Министерство образования и науки Украины Донецкая областная и городская администрации Международный союз машиностроителей Фонд поддержки прогрессивных реформ Национальная металлургическая академия Украины (НИИСТ) Донецкий и Севастопольский национальные технические университеты Брянский государственный технический университет Московский государственный университет инженерной экологии Таганрогский государственный радиотехнический университет Азербайджанский, Жешувский, Остравский, Силезский, Ясский технические университеты, Политехника Любельская Технический университет Молдовы, Политехника Ченстохова Магдебургский, Портсмутский, Тульский университеты Бухарестская военно-техническая академия Институт международного сотрудничества, Российско-Украинский университет Институт механики и сейсмологической стабильности АН РУ Донецкий институт холодильной техники Ассоциация металловедов и термистов Украины Научно-технический союз машиностроения Болгарии Научный центр проблем механики машин НАН Беларуси Издательство «Машиностроение» Брянский АО НИИ «Изотерм», ОАО «ДЗГА», АО «НОРД», ЗАО «НКМЗ» ОАО «Точмаш», НПП «Эталон», ЧП «Технополис», Снежнянский машзавод

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов

## **XIII** МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**Tom 3** 

11-16 сентября 2006 г. в городе Севастополе



Донецк-2006

#### ББК К5я54 УДК 621.01(06)

Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2006. Т. 3. – 306 с.

#### ISBN 966-7907-20-1

В сборник включены материалы XIII международной научнотехнической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», отражающие научные и практические результаты в области обработки изделий прогрессивными методами, создания нетрадиционных технологий и оборудования. Представлены современные достижения и перспективные направления развития технологических систем, металлорежущего инструмента и оснастки. Освещены современные проблемы материаловедения в машиностроении. Рассмотрены вопросы механизации и автоматизации производственных процессов, управления качеством и диагностики технических систем. Приведены сведения об особенностях моделирования, экономических проблемах производства, вопросах инженерного образования и других актуальных проблемах техносферы.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР и специалистов в области машиностроения и техносферы.

#### Издается при содействии Международного союза машиностроителей

Адрес международного организационного комитета:

Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58, ДонНТУ, кафедра ТМ.

Тел.: +38 (062) 305-01-04, факс: +38 (062) 305-01-04

E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

http://www.dgtu.donetsk.ua

ISBN 966-7907-20-1

© Донецкий национальный технический университет, 2006 г.

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА ЗУ-БОПІЛИФОВАНИЯ

**Мазуру С. Г.** (*Т.У.М.*, г. Кишинев, Молдова)

L'efficacité de la rectification de la force et de la vitesse se réalise par le choix correcte du disque rectificateur, par possibilités technologiques de la machine-outil, l'automatisation de charge et de décharge des produits, des méthodes rationales de contrôle, et l'évolution de la machine-outil.

#### Кинематика процесса зубошлифования.

При реализации процесса шлифования зубьев конического колеса с нестандартным профилем зубьев цилиндрическим профильным кругом по кинематической схеме, включающей рабочие и вспомогательные движения:

- 1. Главное рабочее движение резания вращение шлифовального круга с частотой  $\mathbf{n}_1$ , определяющей скорость резания  $\mathbf{V}=\pi \mathbf{D}\mathbf{n}_1$ ; где:  $\mathbf{D}$  диаметр траектории резания (упрощенно диаметр шлифовального круга). От величины данного движения зависят производительность процесса и качество обработанной поверхности (шероховатость и наличие прижогов), а также износ инструмента [1,3].
- 2. Вспомогательное рабочее движение резания, выполняемое ускоренно как движение прямолинейное вдоль венца зуба, со скоростью продольной подачи, как при обычном круговом шлифовании. Это движение выполняется на станке в виде двух возвратно-поступательных движений: первое с подачей  $S_1$  (mm/min); второе возвратно-ускоренное движение инструмента со скоростью  $S_2$  (mm/min) в исходное положение. От величины движения продольной подачи будут зависеть: величина шероховатости обработанной поверхности, наличие либо отсутствие прижогов, степень износа шлифовального круга. При этом необходимо учитывать, что результирующая скорость определяется как:  $V_r = \sqrt{V^2 + S_1^2}$
- 3. Согласованное движение обката поворот колеса на угол  $\Delta \Theta$  за один цикл перемещения инструмента по профилю зуба. Движение: обката вращение колеса и перемещение инструмента определяют точность формирования профиля зуба колеса, которая характеризуются величиной огранки профиля, образование которой в силу дискретности профилирования профиля данным методом неизбежно.

Станок также выполняет следующее движение:

- врезания круга в припуск, выполняемого в радиальном, по отношению к колесу, направлению. Это колесо называют наладочным. От величины круга в этом направлении зависит величина припуска, удаляемого за один проход или один ход шлифовального круга по поверхности зацепления, следовательно и износ круга.

От величины снимаемого припуска будет зависеть энергия резания, сопровождаемая тепловыми и силовыми факторами, которые определяют указанное качество обработанной поверхности.

Эффективность процесса шлифования профиля зуба: производительность, качество формеруемой поверхности, расход инструмента (в зависимости от режимов резания), динамической устойчивости, статической жесткости и точности исполнительных органов, расмотрим кинематику процесса шлифования зацепления на основании анализа размерных цепей: кинематических, технологических и динамических.

Расматривая схему профилирования нестандартного зуба вышеуказанным способом [1,3], наибольшая огранка профиля зуба колеса происходит в зоне перехода от конвексного в конкавный профиль, когда скорость вращения колеса намного меньше

скорости перемещения инструмента. Данный участок характеризуется максимальной погрешностью профиля зуба, которая возникает в результате с учетом динамической погрешности системы СПИД оцененой в работе [4]. Следует отметить, что существующие математические зависимости по определению кинематической погрешности профиля не учитывают влияния всего комплекса параметров процесса шлифования зуба (кинематические неточности станка, динамику процесса шлифования, упругопластические деформации поверхностного слоя детали, силовые и тепловые характеристики процесса контактного взаимодействия единичного зерна с поверхностью) и степень их совместного влияния на указанную погрешность.

С целью учета всех указанных параметров, для оценки кинематической погрешности профиля зуба можно воспользоваться соотношениями, полученными по аналогии с оценкой такого профиля в процессе зубофрезерования. На основе применения вероятносного метода крайних факторов, непосредственно по найденному математическому выражению или модели управлять процессом формообразования по требованиям технолога и достаточно точно прогнозировать фактическую точность профилирования в зависимости от конструкторско-технологических факторов, как:

- 1. кинематика процесса формообразования поверхности зуба заданной формы и размера;
- 2. точность исполнительных органов станка и их динамическая устойчивость при возникающих условиях резания.

Определим максимальную кинематическую огранку профиля зуба в месте перехода от конвексного в конкавный профиль. Для этого необходимо определить максимальное значение  $\delta_{\kappa(max)}$ , угол поворота колеса  $\Delta\Theta$  и время одного цикла  $\tau$ .

Из равенства найденных указанных выражений для временных циклов, получим выражение числа ходов, после которых наступит огранка:

$$n_k = \frac{S_1 \times S_2}{N_x l K (S_1 + S_2)} \tag{1}$$

Определив значение угла  $\alpha_i$  из уравнения координат точек принадлежащих профилю при известном радиусе выступов колеса, получим уравнение (2):

$$d_{k(\text{max})} = 3r_s \frac{1 - \cos\frac{p}{zN}}{\sqrt{z}\cos\frac{p}{zN}}$$
 (2)

где: N – расчитывается из уравнения (1).

При использовании метода расчета по тах и тіп для случайных чисел, подчиняющихся закону равновероятного распределения, следует, что если первое положение профиля круга во впадине считать идеальным, то последнее по закону равной вероятности займет с 50% доверительной вероятностью положение, определяющее максимальное отклонение от теоретического, заданного. Величина этого отклонения будет зависить от:

- 1. осегого ( $\delta_o$ ) и радиального биения ( $\delta_p$ ) шлифовального круга в проекции на вектор контролируемого размера;
- 2. ошипки угла обката ( $\delta\Theta$ ), зависящей от зазоров в механизме согласования частоты вращения колеса с двойными ходами инструмента;
- 3. ошипки перемещения стола ( $\delta_t$ ), точнее его механизма при повороте колеса на угол ( $\alpha_i$ ).
- 4. упругого отжатия детали и шлифовального круга под действием состовляю-

щей силы резания, направленной в доль вектора величины погрешности.

Максимальная погрешность профиля будет равна:  $d_n = d_k + DK$ ;

где:  $\delta_{\kappa}$  — расчитывается по уравнению (1) с учетом изменения угла DQ = DQ + dQ;  $\Delta K$  — динамическая состовляющая процесса, которая определяется как:

$$DK = d_{n} \sin(a_{i}) + d_{n} \cos(a_{i}) + d_{t} + d_{v};$$
(3)

где  $\delta_v = KL$ ;

Значение силы резания согласно данным, приведенным в работе [4], можно раситать по формуле:

$$F_r = 3.4s_r \times S_{sc} \tag{4}$$

где:  $S_r = S_b (1+1,3)$ - разрушающее напряжение для обрабатываемого материала (Па);  $S_{sc}$  — площадь контакта одновременно участвующих в резании зерен инструмента с обрабатываемым материалом;  $\sigma_b$  — предел прочности (Па);  $\psi$  — коэффициент утонения.

Согласно схемы шлифования, число зерен участвующих в резании будут менятся от нескольких факторов. Найдем ширину максимального отрезка, зная число зубьев участвующих в резании  $z_z$ , определим площадь контакта одного зерна с обрабатываемым материалом тогда площать контакта шлифовального круга с колесом будет равна:

$$S_{pc} = \frac{[h_s S_z pm \cos a_i (1 + \frac{1}{N}) + h_s] tg \frac{p}{2N}}{1,5d_a}$$
 (5)

Составляющая силы резания  $F_H$ , действующая на зерно и вызывающая отжатие шлифовального круга, будет зависить от припуска на проход или от величины динамического натяга  $h_H$ .

Из схемы силового взаимодействия зерна с обрабатываемым материалом найдем состовляющую  $F_H$  вызывающую отжатие шлифовального круга от обрабатываемой поверхности:  $F_H = F_R \times \cos g$ . Поскольку вектор деформационного воздействия до разрушения материала направлен по касательной к поверхности, следовательно угол найдем из:

$$g = acrtg(\sqrt{\frac{2S_z}{d_g}})$$
 (6)

В заключение рассуждений, воспользуемся полученными выражениями или математической моделью прогнозирования отклонения профиля, получаемого при шлифования рассматриваемым методом.

Для обрабатываемого колеса из стали 40X твердостью HRC 53-56 с параметрами: z=30, шириной венца B=20 мм, D=150 mm, по данным работы [4]:  $\sigma_b$  =1760MPa,  $\sigma_R$  =2592MPa,  $\psi$ =0,35. При обработке методом обкатки, нормальной точности и жесткости, где  $\delta_p$ =7 мкм;  $\delta_t$ =7 мкм;  $\delta_o$ =3 мкм; ошипка угла обката  $\delta\Theta$ =7"=0,002 (°). Расчитав по уравнению (4) значение  $\gamma$ =39°. Общую площадь контакта получим равную  $S_{sc}$ =06028 мм², а  $F_H$ =194H.

Таким образом, согластно уравнения (3) суммарная динамическая составляющая погрешности профиля будет равна:

 $\Delta K = 7 \times 0.34 + 3 \times 0.94 + 7 + 5 = 17,2 \text{ MKM}.$ 

Полная максимальная погрешность профиля зуба, как  $\delta_{\kappa(max)}$ =2,5 мкм.

выводы.

Кинематическая составляющая погрешности профиля меньше динамической и составляющей, зависящей от точности исполнительных механизмов станка в 7 раз.

Предельная точность профилирования зубьев по такой схеме и для данного колеса даст погрешность профиля не менее  $\delta = 17,2$  мкм.

Список литературы: 1. Mayuru S. ş. a. Cercetarea variației secțiunii transversale teoretice a așchiilor dintre sculă și roată dințată conică recesională la rectificare și frezare. Buletinul institutului politehnic Iași, tomul LIV, Fascicula Vc, Iași, 2004, p. 753 – 756. 2. Procedeu de prelucrare a dinților angrenajului precesional.Brevet nr.2120 MD . I.Cl.: B23 F9/06. Publ. BOPI 2003 nr. 3. Мазуру С.Г. и др. Обработка профиля зубьев методом обкатки прецессирущим инструментом. Cul. Трудов XI conferinței tehnico-științifice internaționale "Техносфера XXI века", Donețk, 2004, volumul 2, p.183-186, ISBN 966-7907-17-1. 4. Комаров В.А. Количественная оценка износа при резании. Материалы международной научно-практической конференции "Tehnology – 2000", Орел. 2001.

#### РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СКОРОСТНОГО ПРОТЯГИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Макаров В.Ф., Чигодаев Н.Е., Токарев Д.И.

(ОАО «ПМЗ», ПГТУ, г.Пермь, Россия)

Results of research of orthogonal cutting of details from scales aviation steels and alloys on various speeds of cutting are presented. It is proved, that optimum conditions of orthogonal cutting are defined proceeding from the optimum temperature of cutting corresponding to temperature of a failure of plasticity for the given material. Thus the minimal values of intensity of deterioration of the tool are observed, optimum values of parameters of quality of a superficial layer and fatigue durability of details are formed. The problem of optimization of process orthogonal cutting is solved by use of the developed method of high-speed orthogonal cutting, optimization of its parameters and the tool.

На ОАО «Пермский моторный завод» в лабораторных и производственных условиях проведены комплексные экспериментально-теоретические исследования процесса протягивания деталей из 30 марок различных жаропрочных сталей и сплавов в широком диапазоне скоростей резания 1,5-60 м/мин с применением как быстрорежущих, так и специально разработанных твердосплавных протяжек на модернизированных и скоростных протяжных станках.

На основании выполненных исследований практически решена проблема оптимизации процесса протягивания путем использования разработанного метода скоростного протягивания, оптимизации его параметров и инструмента. Теоретически и практически доказано, что применительно к условиям прерывистой многолезвийной обработки протягиванием жаропрочных сталей и сплавов, имеющей ярко выраженную статистическую природу, существует такое термомеханическое состояние зоны резания каждого режущего элемента протяжки, характеризуемое некоторой температурой резания, называемой оптимальной, при которой наблюдаются наиболее благоприятные условия формирования требуемых параметров качества обработанной поверхности и минимальные значения интенсивности износа инструмента. Разработаны обобщенные аналитические и экспериментальные математические модели расчета оптимальных ре-

жимов резания при протягивании гаммы труднообрабатываемых сталей и сплавов, применяемых в производстве газотурбинных двигателей [1].

Проведена оценка влияния режимов резания и геометрии протяжек на основные параметры качества поверхностного слоя и усталостную прочность обработанных деталей и замковых соединений в целом. Доказано, что оптимизация процесса протягивания улучшает качество обработки и повышает усталостную прочность протянутых деталей

Очень часто проблемы обрабатываемости протягиванием возникают при обработке наиболее массовых и тяжелонагруженных в условиях эксплуатации сложнофасонных весьма точных замковых соединений дисков и лопаток турбин и компрессоров газотурбинных двигателей (ГТД) из различных жаропрочных сталей и сплавов. В процессе механической обработки деталей ГТД происходит формирование особых свойств поверхностного слоя, которые определяют качество обработанной поверхности и в конечном итоге эксплуатационные характеристики ГТД. Поэтому очень важным является исследование процессов, протекающих в зоне резания, их количественный и качественный анализ.

Экспериментальное исследование было проведено на специальной установке для скоростного протягивания на прямоугольных образцах с использованием специальных многозубых протяжек с различным числом зубьев. Контактная температура замерялась методами искусственной и естественной термопары, данные записывались на осциллограф. Износ по задней грани зубьев протяжек замерялся на микроскопе.

Анализ результатов исследования изменения пластичности  $\delta$ ,  $\psi$  жаропрочного сплава ЭИ787ВД от температуры механических испытаний T (рис.1) и результатов исследования изменения интенсивности износа протяжек  $h_{\rm 03n}$  и температуры резания T от скорости резания V и подачи на зуб Sz (рис.2) показал, что установленное ранее совпадение температуры провала пластичности  $T_{\rm nn}$  с оптимальной температурой резания  $T_{\rm 0}$  для ряда материалов при различных видах лезвийной обработки [2] подтвердилось и при протягивании жаропрочных сталей, титановых сплавов и жаропрочных сплавов на никелевой и железоникелевой основах [1]. Это позволяет объяснить экстремальный характер зависимости износа зубьев от скорости резания  $h_{\rm 03n}=f(V)$  при протягивании с физической точки зрения соответствующим изменением пластических свойств обрабатываемых материалов при повышении температуры резания.

Установлено, что у каждого обрабатываемого материала минимум на кривых интенсивности износа зубьев протяжки  $h_{03\pi}=f(V)$  для разных значений подъема на зуб Sz наблюдается при различных оптимальных скоростях резания, которым соответствует одна и та же оптимальная температура контакта (рис.2). При протягивании жаропрочного сплава ЭИ787ВД с подачами 0,02; 0,06; 0,1 мм/зуб минимумы интенсивности износа протяжек  $h_{030}$  имеют место при скоростях соответственно 30; 22; 15 м/мин при одной и той же оптимальной температуре резания  $T_0=700^{\circ}$ С. При протягивании сплава ЭИ437БУВ на этих подачах, оптимальным скоростям резания 35; 28; 25 м/мин соответствует  $T_0=720^{\circ}$ С. При протягивании сплава ЭП109ВД на этих подачах, оптимальным скоростям резания 20; 15; 12 м/мин соответствует  $T_0=820^{\circ}$ С.

Важно отметить, что при протягивании многосекционным блоком протяжек, по мере продвижения блока и соответствующего перехода от черновых секций к чистовым, с уменьшением величины подачи на зуб Sz скорость протягивания необходимо увеличивать до оптимальных величин, а не уменьшать, как это рекомендовалось ранее. В результате производительность протягивания и стойкость протяжек повышается в несколько раз.

Сравнительное исследование влияния традиционного протягивания на низких скоростях резания (V=2м/мин) быстрорежущими протяжками P18 и скоростного протягивания (V=26м/мин) твердосплавными протяжками BK8 на формирование основных параметров качества поверхностного слоя деталей из жаропрочных сталей и сплавов, дало следующие результаты.

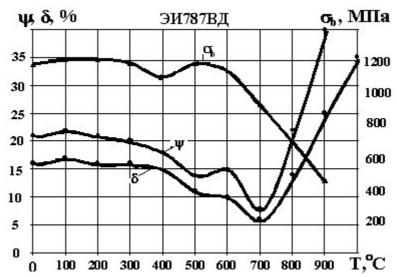


Рис.1. Влияние температуры механических испытаний T на прочностные  $\sigma_{\scriptscriptstyle B}$  и пластические ( $\delta, \psi$ ) свойства жаропрочного сплава ЭИ787ВД.

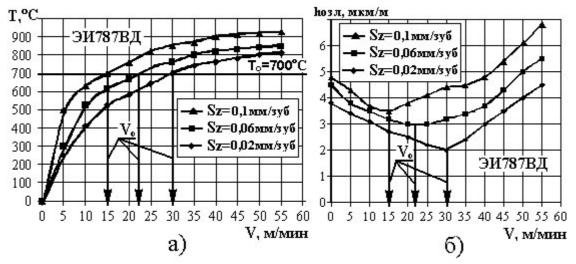


Рис.2. Влияние скорости резания V на изменение температуры резания T (а) и интенсивность износа протяжек  $h_{03л}$  (б) при протягивании жаропрочного сплава ЭИ787ВД с различными подачами на зуб Sz.

При скоростном протягивании титанового сплава ВТ9 степень наклепа N уменьшается с 22% до 8%, а глубина наклепа h с 22 мкм до 15 мкм по сравнению с серийным режимом протягивания. При скоростном протягивании жаропрочной стали ЭИ961Ш, N увеличивается с 4% до 9%, а h уменьшается с 25 мкм до 8 мкм. При скоростном протягивании жаропрочных сплавов ЭИ437БУВД, ЭИ698ВД, ЭП742ПД степень наклепа N изменяется в большую или меньшую сторону в незначительных пределах, при этом

глубина наклепа h увеличивается. Таким образом, процесс скоростного протягивания деталей из жаропрочных сталей и сплавов в целом благоприятно влияет на формирование в поверхностном слое глубины и степени наклепа, особенно при обработке титановых сплавов.

При скоростном протягивании титановых сплавов ВТ9 и ВТ18У по сравнению с серийным режимом протягивания наблюдается уменьшение глубины залегания максимальных остаточных напряжений с одновременным возрастанием их величины. Максимальные значения  $\sigma_{\tau}$  для сплава ВТ9 возрастают с -40 МПА до -110 МПА, а для сплава ВТ18У сжимающие -190 МПА переходят в растягивающие +180 МПА. При скоростном протягивании жаропрочной стали ЭИ961Ш и сплава ЭП742ПД, характер остаточных напряжений практически не меняется. При скоростном протягивании сплавов ЭИ437БУВД, ЭИ698ВД, формируются значительные сжимающие напряжения (-380 и -320 МПА соответственно) по сравнению с серийным режимом протягивания, при котором образуются незначительные остаточные растягивающие напряжения (+70 и +130 МПА соответственно). Таким образом, процесс скоростного протягивания деталей из жаропрочных сталей и сплавов способствует формированию в поверхностном слое более благоприятных остаточных напряжений из-за формирования больших по величине сжимающих напряжений.

Применение твердосплавных протяжек ВК8 целесообразно при скоростях резания более 24 м/мин для нержавеющих жаропрочных сталей, т.к. при меньших скоростях из-за наростообразования не обеспечивается требуемая шероховатость (для деталей ГТД - Ra≤1,25 мкм) (рис.3). Для всех других групп обрабатываемых сплавов применение твердосплавных протяжек обеспечивает требуемую шероховатость во всем диапазоне исследуемых скоростей резания.

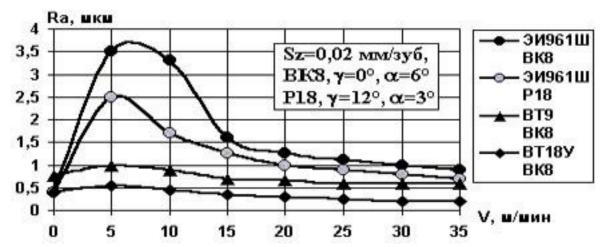


Рис. 3. Влияние скорости резания V на величину шероховатости Ra протянутой поверхности из стали ЭИ961 и из титановых сплавов BT9, BT18У протяжками из быстрорежущей стали P18 и твердого сплава BK8

Применение скоростного протягивания способствует повышению усталостной прочности замковых соединений деталей ГТД по сравнению с низкоскоростной обработкой. При протягивании пазов в кольцах НА из стали ЭИ962 и титанового сплава ОТ-4 усталостная прочность повышается на 8-10%, а при протягивании пазов "ласточкин хвост" в дисках компрессоров из титановых сплавов ВТЗ-1 и ВТ18У увеличение усталостной прочности составляет более 60% по сравнению низкоскоростной обработкой.

При протягивании жаропрочных деформируемых и литейных сплавов повышение усталостной прочности с увеличением скорости резания происходит в меньшей степени [1].

Таким образом, проведение процесса протягивания на более интенсивных режимах резания при температурах контакта, соответствующих температурам провала пластичности, позволяет существенно снизить интенсивность износа протяжек, уменьшить силы резания и деформацию поверхностного слоя, улучшить процесс стружкообразования и тем самым способствовать получению более высоких и стабильных параметров качества поверхностного слоя, повышению усталостной прочности, надежности и ресурса деталей ГТД [1].

Список литературы: **1.** Макаров В.Ф. Интенсификация процесса протягивания труднообрабатываемых материалов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Перм.гос.техн.ун-т. Пермь, 1998. **2.** Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. -М.: Машиностроение, -1976. **3.** Резников А.Н. Теплофизика резания. - М.: Машиностроение, -1969.

#### ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЯ СВЕРДЛОВИННОЇ ГІДРОТЕХНОЛОГІЇ ВИДО-БУТКУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ТЕХНОГЕННИХ РОЗСИПІВ

Маланчук З.Р., Боблях С.Р., Рачковський В.П., Стець С.Є. (НУВГП, м.Рівне, Україна)

In the represented work resulted the technology of hydraulic mining by boreholes and the law of quantitative distribution of heavy metals in technical looses.

Україна зацікавлена у впровадженні принципово нової енергозберігаючої технології розробки родовищ корисних копалин, яка б гарантувала бажаний об'єм видобутку за умов досягнення оптимальних економічних показників (зниження собівартості в 10-15 разів). Альтернативою традиційним методам розробки родовищ є використання принципово нового методу гідровидобутку.

Суть методу свердловинного гідравлічного видобутку корисних копалин заключається в перетворенні їх на місці залягання в гідросуміш і відкачуванні на поверхню. Гідросуміш можна видавати на поверхню ерліфтом, гідроелеватором, зануреним насосом, протитиском подачі в поклад води. В порівнянні з відкритою розробкою, метод гідровидобутку має наступні переваги: при свердловинному гідровидобутку технологічний процес являється одноопераційним, операції з видобутку та транспортуванню корисного компоненту здійснюються водою і не порушується екологічна рівновага ландшафту [1].

Свердловинний гідровидобуток — один з геотехнологічних методів видобутку [2] - найбільш ефективний для розробки родовищ рихлих, слабозцементованих руд. Видобуток корисного компоненту ведеться через спеціально обладнані і підготовлені свердловини, причому видобувна свердловина являється вскриваючою, підготовчим і нарізним виробітком, з якої ведеться очисне виймання корисного компоненту. Один з варіантів технологічної схеми свердловинного гідровидобутку родовищ через здвоєні свердловини представлено на рис.1.

Методи руйнування масиву в основному залежать від його міцності. Відрив частинок рихлих і слабозцементованих порід можна здійснювати створенням фільтраційного потоку з необхідною величиною гідравлічного градієнту в пласті. Найбільш раціонально руйнувати зв'язні породи гідромоніторним струменем води. Інтенсифікація

процесу руйнування можлива впливом вібрації, вибуху, хімічного чи мікробіологічного розпаду цементуючої речовини.

Зруйнована порода подається до всмоктувача видатного пристрою чи самотічними потоками (при достатньому похилі підошви камери), чи напірними потоками води, а потім подається на поверхню. Далі пульпа потрапляє на збагачувальну фабрику, де відбувається вилучення корисного компоненту, а відходи виробництва скидаються у так звані хвостосховища.

Техногенні розсипи утворюються в результаті промислового освоєння целікових розсипів з використанням промивних пристроїв при відкритому і гідравлічному способах розробки, збагаченні пісків підземного видобутку, а також при використанні стаціонарних збагачувальних пристроїв [3].

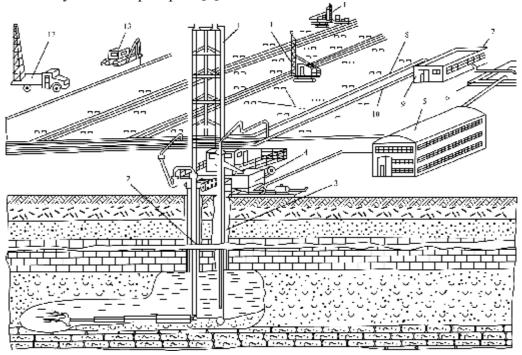


Рис.1. Технологічна схема свердловинного гідровидобутку корисних копалин: 1 — гідровидобувний агрегат; 2 — свердловинний гідромонітор; 3 — пульпопідйомний механізм; 4 — землесос; 5 — збагачувальна фабрика; 6 — водоприймальний басейн; 7 — насосна; 8 – водопроводи;9—компресорна;10 — повітрепроводи; 11 — видобувні свердловини; 12 — бурові верстати; 13 — трубоукладачі

Об'єктивна необхідність залучення до розробки техногенних розсипів полягає в тому, що у зв'язку з неминучим виснаженням мінерально-сировинної бази розсипних родовищ і закономірним зниженням середнього вмісту дорогоцінних металів у розсипах з одночасним збільшенням глибини залягання розсипів, промислова розробка розсипних родовищ стає економічно недоцільною і недопустимою за принципом замикаючих витрат. Тому крім корінних і розсипних родовищ, об'єктами для промислового освоєння можуть бути техногенні розсипи, що дозволяють значно знизити собівартість видобутку дорогоцінного металу. Таким чином, проблема промислового освоєння техногенних розсипів є актуальною, що збільшується в ретроспективі їх утворення [4].

Найбільший інтерес являють хвости ТОВ "Закарпатполіметали", що неподалік села Мужієвого Берегівського району. Запаси сировинної бази лише на Мужіївському

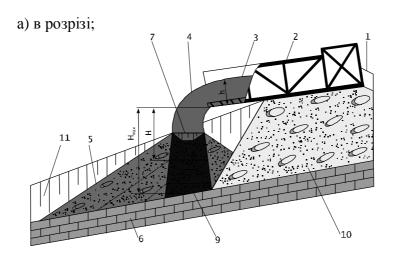
родовищі становлять 42 тонни золота. Дане родовище поліметалічне і в породі є ще й срібло, свинець та кадмій. Їх не вилучають, а зберігаються вони у хвостосховищі. В ньому ж міститься 40 відсотків золота, яке не вилучене з руди і чекає інших технологій. Нині вона—гравітаційна і передбачає для цього лише воду в центрифугах з породою, тобто екологічно безпечна, без використання хімічних добавок, на зразок ціанідів, як це роблять в Румунії і вилучають з породи 95-98 відсотків благородного металу. При цьому не завдається шкода довкіллю, хоча чимало втрачається.

Завдяки Мужіївському золоту Україна увійшла до четвертої десятки країн світу, де золото видобувають з руди. Протягом 2005 року на підприємстві видобуто 182 кілограми золота найвищої проби (три дев'ятки). Враховуючи те, що дане підприємство вилучає лише 50 відсотків золота, а 40 відсотків потрапляє у відвали, тому найбільшою проблемою слід вважати переробку цих скарбів із забезпеченням охорони довкілля.

Крім того, значний інтерес становлять хвости Вільногірської (Дніпропетровська обл.), Іршанської (Житомирська обл.), збагачувальних фабрик, а також Квасівське та Сауляцьке (Закарпаття) родовища, де нині триває дорозвідка і планується видобуток стратегічних видів сировини.

Пропонуються наступні методи підвищення ефективності вилучення золота. Один з них—переробляти у нас конденсат, а не породу, в Україні—на підприємствах, де збагачували уран (технологія майже ідентична). Або відправляти його на румунські підприємства, котрі застосовують для вилучення золота з руди ціаніди і досягають максимального результату. Можна вести мову навіть не про автомобільний, а трубопровідний транспорт.

Найбільшої уваги заслуговує наукове відкриття, яке було зроблене групою вчених на основі теоретичних і експериментальних досліджень з розвідки та розробки розсипних родовищ дорогоцінних металів традиційними способами і геотехнічними методами, суть якого полягає в тому, що було встановлено невідому раніше закономірність кількісного розподілу мінералів в техногенних розсипах. Дана закономірність розглядає техногенний розсип у вигляді геометричної фігури, переважно у формі зрізаного конуса, який містить ядро у формі обеліска до якого приурочена основна маса мінералів (до 95%), що втрачаються при збагаченні корисних копалин, а також ерозійну депресію у формі перекинутого обеліску, розміщену в верхній основі конуса, за якою здійснюють пошук ядра техногенного розсипу (рис.2).



б) на плані

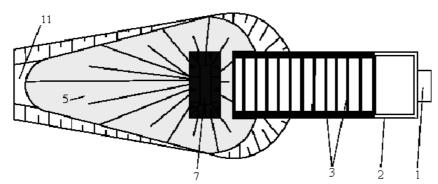


Рис.1. Послідовність формування ядра важких металів у техногенних розсипах: 1—трубопровід; 2—збагачувальний шлюз; 3—трафарети; 4—потік пульпи; 5—техногенний розсип; 6—підстилаючі породи; 7—ерозійна депресія; 8— ядро; 9—нижня основа ядра; 10—підрешіточний матеріал; 11—траншея

Формування техногенного розсипу розглядається на прикладі відкритого способу розробки целікових розсипів з використанням гідроелеваторних промивних пристроїв. Аналогічні закономірності можна встановити при гідравлічному способі розробки, а також при використанні стаціонарних збагачувальних фабрик.

Монолітні шматки твердих компонентів пульпи, складені мулом та глинами, що переміщуються потоком пульпи в шлюзі 2, в процесі перекочування по трафаретах 3 деформуються. Крупні шматки набувають циліндричну форму, перетворюючись в окатиші, а дрібніші набувають форму близьку до кулі, утворюючи гранули. Поверхневий шар окатишів і гранул, знаходячись в постійному контакті з вільними мінералами, збагачується ними за рахунок адгезійних властивостей глин. Збільшення вмісту мінералів в потоці пульпи призводить до інтенсивного збагачення поверхневого шару мінералами, розташованими на килимках, за рахунок проникнення останніх в поверхневий шар. При цьому, мінерали проникають в окатиші і гранули на значну глибину без можливості вивільнення їх в процесі гідротранспортування по довжині шлюзу.

Таким чином, падаючий потік пульпи, при збагаченні корисної копалини з невеликим вмістом мулу і глини, характеризується наявністю в ньому піску, гальки, гравію, а також мінералів, що знаходяться у вільному стані.

Наведемо докази того, що мінерали які зносяться з збагачувальних шлюзів концентруються в ядрі, а не розміщуються по всьому об'єму техногенного розсипу рівномірно.

Самотічний гідротранспорт пульпи, яка зноситься із збагачувальних шлюзів, по поверхні відвалу здійснюється секторами, що зумовлює наявність питомих витрат води по довжині транспортування і непостійності швидкостей потоку. В зв'язку з чим транспортуюча здатність потоку максимальна біля ерозійної депресії і мінімальна біля основи відвалу. Це справедливо для умов, в яких не відбувається міграція води по порових просторах порід, що утворюють техногенний розсип. Вказані умови відсутні в техногенних розсипах, які складені хвостами збагачення з невеликим вмістом мулу та глини. Вказані умови можуть існувати в техногенних розсипах, які складені хвостами збагачення з великим вмістом мулу і глини, включаючи ефельні відвали скрубберних пристроїв. В останньому випадку відбувається кольматація порових просторів порід, що складають техногенний розсип. Проблема заключається у неможливості створення по поверхні техногенного розсипу таких швидкостей, які б дозволили транспортувати всі хвости, включаючи корисний компонент (мінерали, що зносяться з шлюзів). Вказана суттєва відмінність і є основою для формування ядра техногенного розсипу.

Падаючий потік пульпи чинить динамічний тиск на породи, що складають ядро та утворює ерозійну депресію у формі перекинутого обеліска. В околі нижньої основи ерозійної депресії, результуюча швидкість падаючого потоку пульпи, а також швидкості її компонентів, зокрема мінералів, рівні нулю. Ізотахи швидкостей висхідних потоків пульпи в межах перетину ерозійної депресії не перевищують гідравлічної крупності мінералів, що знаходяться в пульпі. Виняток можуть становити частинки тонких не змочуваних мінералів. Вірогідність пружного удару мінералів об галечний матеріал, внаслідок якого мінерали можуть бути викинуті за контури ерозійної депресії, незначна. Таким чином, мінерали на початковому етапі утворення техногенного розсипу концентруються в нижній основі ерозійної депресії, а потім, по мірі збільшення висоти відвалу, накопичуються в межах ядра у формі обеліска.

Розміри верхньої основи ядра 8 відповідають розмірам ерозійної депресії по верху. Довжину ерозійної депресії D з достатнім ступенем точності можна прийняти рівною ширині потоку пульпи III в шлюзі, а ширину депресії B рівною глибині потоку h. Аналогічні розміри  $D_1$  і  $B_1$  нижньої основи 9 ядра  $B_2$ , які відповідають максимальним граничним розмірам ерозійної депресії при  $H_{max}$  встановлюють із залежностей:

$$D_1 = D + 2H_{\text{max}} \cdot tga \tag{1}$$

$$B_1 = B + 2H_{\text{max}} \cdot tga \tag{2}$$

де а - кут розпаду падаючого потоку пульпи.

При укладанні хвостів у відвал 5 з невеликим вмістом мулу і глини, незалежно від розташування шлюзу 2, як на поверхні 10 або развалованних відвалів, так і на поверхні плотика 6 на металевій конструкції, формування ядра 8 підкоряється єдиній закономірності. В перших двох випадках у відвалах утворюється траншея 11 за рахунок розмиву порід і винесення порід потоком пульпи з розташуванням її нижньої основи на поверхні плотика 6. Ширина траншеї 11 по низу відповідає довжині D<sub>1</sub> нижньої основи 9 ядра 8.

В утворюваному ядрі 8 відбувається кількісний розподіл корисних компонентів по його висоті за рахунок міграції останніх по міжпорових просторах порід, що складають ядро. Кольматація порових просторів не відбувається, оскільки процентний вміст мулу і глини в пульпі незначний. При вкладанні хвостів у відвал відбувається сегрегація твердих компонентів пульпи, які розташовуються на поверхні плотика. Таке розташування крупних компонентів пульпи на плотику покращує параметри фільтрації рідкої фази пульпи, як по висоті ядра, так і по перетину відвалу, що сприяє міграції мінералів високої густини у напрямку до поверхні плотика. Основна маса корисних компонентів концентрується в околі поверхні плотика, обмеженого контурами нижньої основи ядра.

На цій підставі, при розробці техногенних розсипів селективним методом, окрім виймання порід ядра 8 на повну висоту, економічно доцільно виконувати також виймання порід плотика на глибину, обмежену зоною тріщинуватості, в тріщини якої мігрують мінерали.

Якщо місткість відвалу не дозволяє розмістити увесь об'єм хвостів без перестановки шлюзу або промивного приладу, виконують його разваловку. При розміщенні шлюзу на поверхні торфів або на відвалах минулих років, використовуючи землерийну техніку, зрізають верхню частину відвалу, розташовану над верхньою осно-

вою траншеї. При розташуванні шлюзу на конструкції 6, використовуючи землерийну техніку, зрізають нижню частину відвалу, розташовану на поверхні плотика. У розглянутих випадках деформації ядра 8 не відбувається. Крім того, сам процес разваловки відвалів позитивно впливає на інтенсивність розподілу мінералів в ядрі по його висоті, оскільки збільшується здатність фільтрації порід, що складають ядро, за рахунок створення зон розвантаження рідкого компоненту пульпи. Не відбувається винесення мінералів за контури ядра внаслідок їх високої густини, а також міграції останніх у напрямку до основи 9 ядра 8.

Таким чином, селективну розробку техногенних розсипів з низьким вмістом мулу і глини доцільно виконувати в межах контурів ядра за запропонованими залежностями його окантування.

При укладанні хвостів промивки у відвал 5, представлених мулом і глинами, сформованими в процесі збагачення на шлюзі в окатиші і гранули, відбувається додаткове збагачення поверхневих шарів мінералами, що знаходяться в падаючому потоці пульпи. При формуванні ядра 8, міграція мінералів у напрямку до нижньої основи 9 не відбувається внаслідок кольматації порових просторів порід, що складають ядро.

Якщо виникає необхідність разваловки відвалу для збільшення його місткості, землерийна техніка деформує сформоване ядро 8. При розташуванні шлюзу на торфах або відвалах минулих років, деформується верхня частина ядра, що розташована над поверхнею. Відбувається винесення мінералів за контури ядра із створенням зони розубожнювання корисних копалин, що знаходяться в ядрі, породами відвалу. Для збільшення місткості відвалу 5, його разваловку виконують в бік переважаючого похилу рельєфу поверхні. Контури зони розубожнювання набувають в плані форму близьку до круга.

При розваловці відвалу 5, створеного з хвостів пульпи, що зноситься із шлюзу, контури зони розубожнювання набувають в плані форму близьку до еліпса за рахунок переважаючого напряму розваловки, прийнятого за технологічними міркуваннями.

Виявлення ядра і подальшу його розробку здійснюють таким чином.

З використанням аерокосмічної зйомки представляється можливим скласти карту регіону, на якій будуть зафіксовані ерозійні депресії, приурочені до верхніх торцевих частин ядер у формі обелісків.

Знайти ядра техногенних розсипів можна також на основі аналізу геологомаркшейдерської документації підприємств, що ведуть розробку розсипних родовищ дорогоцінних металів. Геолого-маркшейдерська документація відображає виробку родовищ в часі і просторі, а також контури полігонів, що розробляються, місцеположення промивних приладів і розташування відвалів. Крім того, документація дозволяє виявити в просторі і в часі бувші розваловки відвалів для збільшення їх місткості, що пов'язано з деформацією ядер і приурочених до них ерозійних депресій.

Одним з можливих способів виявлення ядер  $\varepsilon$  наявність сеперструктури, що складається з вертикальних стійок і горизонтальних балок, на які були встановлені промивні прилади.

Ерозійна депресія характеризується рясною рослинністю в порівнянні з рештою поверхні відвалу, оскільки  $\varepsilon$  накопичувачем поверхневих опадів. Внаслідок підвищеного вмісту мінералів в ядрі у порівнянні з відвалом, рослинність, що приурочена до ерозійної депресії, представлена, в основному, золотарником жовтого кольору.

Після виявлення і окантування ядра, виймання його виконують з використанням екскаваторів, драглайнів, екскаваторів із зворотною лопатою або із застосуванням іншої відомої землерийної техніки.

За допомогою виявленої закономірності кількісного розподілу мінералів в техногенних розсипах представляється можливим вилучити до 40 відсотків дорогоцінних металів, що втрачаються, використовуючи при цьому метод гідровидобутку.

Список літератури: 1. Маланчук З. Р. Научные основы скважинной гидротехнологии. — Ровно.-2002.- 372 с. 2.Аренс В.Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. М., Недра 1975. 3. Черней Э.И., Постоловский Р.М., Маланчук З. Р., Кравець С.В., Калько А.Д., Черней О.Э. Закономерность количественного распределения минералов в золото-и алмазосодержащих техногенних россыпях. Учебное пособие.-Рівне: Волинські обереги, 2005.- 560 с. 4. Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. Изд. АН ССР, 1956.

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА КАРЬЕРАХ

Малыбаев С.К., Тазабеков И.И., Данияров Н.А., Балгабеков Т.К. (КарГТУ, г. Караганда, Казахстан)

By experience of the operation of the manydrives plate-like conveyor in underground conditions is established, that in existence of two or three intermediate drives the normal mode of operations of such conveyors is infringed. However, in the case of synchronous work of the drives of a linkage of the manydrives conveyor through each drive in unit of time an identical amount passes of links with unequivalent step, and on those betweendrives plots where the links with a smaller step the additional elastic deformation is collected (leveling gain circulatting on a closed chain outline), capable to burst the pulling organ.

Особенности разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом придают специфику режиму работы транспортных систем в карьерах и приводят к необходимости создания специализированного транспортного оборудования, которое принципиально отличается от транспорта общего назначения. Разрабатываемые в настоящее время многоприводные конвейеры, предназначенные для эксплуатации в условиях открытых горных разработок со сложной конфигурацией месторождений, должны резко сократить количество механизмов, работающих на карьере, уменьшить штат обслуживающего персонала, а также капитальные и эксплуатационные расходы на транспортные операции [1].

Проведенный анализ опыта эксплуатации, теоретических и экспериментальных исследований и обзор литературных источников показали, что в области создания конвейера без ограничения его длины имеется целый ряд нерешенных вопросов. Многие авторы, рассматривая многоприводные конвейеры не учитывали взаимовлияния смежных межприводных участков МПК и величину гарантированного зазора при взаимодействии кулака промпривода с тяговой цепью и неравнозначность шага звеньев тягово-несущего органа. Вместе с тем, в процессе эксплуатации МПК возможны случаи использования отрезков изношенной цепи (или неравнозначность шага звеньев монтажных отрезков тяговой цепи из-за различия класса точности их изготовления), притом значительной длины. Тогда после установления предпускового предварительного натяжения тягового органа на том межприводном участке, где будет находиться этот от-

резок цепи, общее количество звеньев будет меньше, чем необходимо при нормальном шаге звеньев. В то же время между смежными кулаками приводной цепи вмещается строго гарантированное число звеньев тяговой цепи с любым износом, поэтому прохождение отрезка цепи с повышенным износом звеньев через привод нарушает равенство, то есть произойдет упругая деформация тягового органа в результате неравенства длин «набегающих» на і-ый участок и «сбегающих» с і-го участка в единицу времени отрезков несущего полотна. В момент прохождение отрезков цепи с изношенными звеньями через привод того участка, на котором он находился, происходит перенатяжение тягового органа, а поступление его на последующие участки чрезмерно расслабит последний. Очевидно, оба явления одинаково нежелательны. В связи с этим возникла необходимость компенсировать конструктивно-разностную деформацию замкнутого тяговонесущего органа МПК на каждом межприводном участке.

Таким образом, учитывая опыт эксплуатации и на основе анализа многочисленных исследований в области пластинчатых конвейеров установлено, что для создания работоспособной конструкции единоставного многоприводного пластинчатого конвейера с регулируемыми приводами и средствами компенсации уравнительных усилий, циркулирующих по замкнутому цепному контуру необходимо: электромеханическую систему, которой соответствует пластинчатый конвейер с регулируемым приводом и компенсирующим устройством, расчленить на типовые звенья с передаточными функциями, характеризующими динамические свойства и составить замкнутую структурную схему их взаимодействия; рассмотреть динамику тягово-несущего органа конвейера на межприводном участке, как упруго-вязкого тела, обладающего инерционностью и определить передаточную функцию, определяемую отношением разности относительного удлинения к разности линейных скоростей смежных межприводных участков с учетом постоянной времени, вычисляемой отношением длины зоны деформации полотна к его скорости; определить текущее значение скорости распространения упруговязкой волны по тягово-несущему органу на основе изучения динамики приводов; определить управляющее и возмущающее воздействие компенсирующего устройства на многосвязную систему скорости и натяжения, условия, границы и области устойчивости в зависимости от изменения реальных эксплуатационных параметров конвейера; разработать метод измерения массы на межприводном участке на основе микропроцессорного весоизмерительного комплекса, вычисляющего расчетное значение усилий, соответствующее данному режиму загрузки и выдающего пропорционально данному усилию сигнала на элемент сравнения цифро-аналоговой системы управления регулируемых приводов конвейера и компенсирующего устройства; разработать структурную схему упруго-диссипативной системы І рода (двигатель – редуктор – промежуточный привод) и ІІ родов (упруго-вязкое полотно на межприводном участке) с учетом постоянных времени жесткости, упругости и вязкости; исследовать динамику функционирования компенсирующих устройств горизонтального, вертикального действий, весоизмерителя и определить временные амплитудно-фазовые характеристики при взаимодействии их с опорным ставом и тягово-несущим органом; исследовать взаимовлияние регулируемого привода конвейера, упруго-вязкого полотна и компенсирующего устройства на переходные процессы.

Выполненный анализ показал, что в настоящее время отсутствуют точные и надежные средства определения (контроля) эксплуатационных параметров (СКЭП), которые могли бы обеспечить эффективное функционирование систем автоматического управления и регулирования МПК.

При эксплуатации многоприводных пластинчатых конвейеров (МПК) возможны случаи внезапной остановки их по различным причинам (технологические режимы, аварийные остановки и т.д.) с наложением тормозного момента на ведущие и ведомые приводы. При этом отдельные межприводные участки могут быть полностью загруженными, частично загруженными или незагруженными. При повторном пуске конвейера из-за инерционности узлов систем управления и регулирования (из-за различных положений сельсинов датчиков и приемников, тахогенераторов, датчиков усилий, устройств синхронизации и т.д.) одни приводы запускаются раньше, а другие позже. Пока наступит установившийся процесс, в цепном тяговом органе конвейера возникают динамические нагрузки, значения которых могут достичь значительных величин. На основании принципа Даламбера задачи динамики можно представить в виде задач статики, когда к действующим в расчетной системе моментам или силам добавляются моменты и силы, обусловленные инерционностью движущихся сосредоточенных масс. Учитывая это, для составления уравнений движения достаточно написать выражение равновесия системы в статике

При повторном пуске конвейера из-за инерционности узлов систем управления и регулирования (из-за различных положений сельсинов датчиков и приемников, тахогенераторов, датчиков усилий, устройств синхронизации и т.д.) одни приводы запускаются раньше, а другие позже. Пока наступит установившийся процесс, в цепном тяговом органе конвейера возникают значительные динамические нагрузки, значения которых могут достичь значительных величин [2].

Рассмотрим смежные межприводные участки, промежуточные приводы которых нагружены моментами M,  $M_2$  и  $M_3$  (рис. 1).

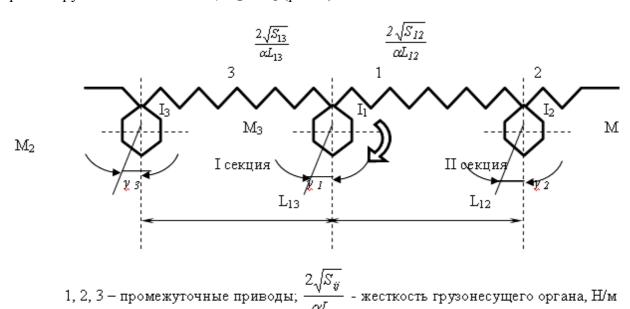


Рис. 1. Расчетная схема смежных межприводных участков

Принимаем ведущим средний промпривод. Для этой системы уравнение движения в процессе разгона будет иметь вид:

$$I_{1}P^{2}\mathbf{g}_{1} + 2(S_{12})^{0.5}(\mathbf{g}_{1} - \mathbf{g}_{2})a^{-1}L_{12}^{-1} = M + 2(S_{13})^{0.5}(\mathbf{g}_{3} - \mathbf{g}_{1})a^{-1}L_{13}^{-1};$$

$$I_{2}P^{2}\mathbf{g}_{2} = 2(S_{12})^{0.5}(\mathbf{g}_{1} - \mathbf{g}_{2})a^{-1}L_{12}^{-1} - M_{2};$$

$$I_{3}P^{2}\mathbf{g}_{3} = -2(S_{13})^{0.5}a^{-1}L_{13}^{-1}(\mathbf{g}_{3} - \mathbf{g}_{1}) - M_{3}.$$

$$(1)$$

где  $I_1$  - моменты инерции ведущего привода,  $\operatorname{Hm}^2$ ;  $I_2$ ,  $I_3$  - моменты инерции ведомых приводов,  $\operatorname{Hm}^2$ ;  $\operatorname{S}_{i^-}$  натяжение тягово-несущего органа, кH;  $\operatorname{L}_{i^-}$  длина межприводного участка, м;  $\alpha$ - коэффициент, который определяется экспериментально;  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_i$  - обобщенные угловые координаты соответствующих приводов;  $\operatorname{M}$  – приведенный момент ведущего привода,  $\operatorname{Hm}$ ;  $\operatorname{M}_2$ ,  $\operatorname{M}_3$ - соответствующие приведенные моменты ведомых при-

водов, Нм; 
$$P = \frac{d}{dt}$$
 - оператор дифференцирования;  $P^2 = \left(\frac{d}{dt}\right)^2$ .

Решив систему дифференциальных уравнений (1) с учетом начальных условий при:

t = 0 
$$g_1 = 0$$
;  $pg_1 = 0$ ;  $g_2 = -0.5(S_{12})^{-0.5}aL_{12}M_2$ ;  
 $pg_2 = 0$ ;  $g_3 = -0.5M_3(S_{13})^{-0.5}aL_{13}$ ;  $pg_3 = 0$ .

определяем усилия на соответствующих смежных межприводных участках  $M_{12}$  и  $M_{13}$  и колебания грузонесущего органа  $z_{1,2}$ 

$$\begin{split} \mathbf{M}_{12} &= 2(\mathbf{M} - \mathbf{M}_2 - \mathbf{M}_3)(\mathbf{S}_{12})^{0.5}[a\mathbf{L}_{12}\mathbf{I}_1(\mathbf{z}_1^2 - \mathbf{z}_2^2)]^{-1} \cdot \{\mathbf{z}_2^{-2}[2(\mathbf{S}_{12})^{0.5}\mathbf{I}_2^{-1} \cdot (a\mathbf{L}_{12})^{-1} +\\ &+ [_02(\mathbf{S}_{12})^{0.5}(a\mathbf{L}_{12})^{-1} + 2(\mathbf{S}_{13})^{0.5} \cdot (a\mathbf{L}_{13})^{-1}]_0\mathbf{I}_1^{-1} - \mathbf{z}_1^2]\cos\mathbf{z}_2\mathbf{t} -\\ &- \mathbf{z}_1^{-2}[\ 2(\mathbf{S}_{12})^{0.5}\mathbf{I}_2^{-1} \cdot (a\mathbf{L}_{12})^{-1} + [_02(\mathbf{S}_{12})^{0.5}(a\mathbf{L}_{12})^{-1} + 2(\mathbf{S}_{13})^{0.5} \cdot (a\mathbf{L}_{13})^{-1}]_0\mathbf{I}_1^{-1} -\\ &- \mathbf{z}_2^2]\cos\mathbf{z}_1\mathbf{t}\ \} + (\mathbf{M} - \mathbf{M}_2 - \mathbf{M}_3)\mathbf{I}_2(\mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3)^{-1} + \mathbf{M}_2.\\ \mathbf{M}_{13} &= 2(\mathbf{M} - \mathbf{M}_2 - \mathbf{M}_3)(\mathbf{S}_{13})^{0.5}[\mathbf{I}_1(\mathbf{z}_1^2 - \mathbf{z}_2^2)a\mathbf{L}_{12}]^{-1} \times\\ &\times \{\mathbf{z}_1^{-2}[2(\mathbf{S}_{13})^{0.5}\mathbf{I}_3^{-1}(a\mathbf{L}_{13})^{-1} + [_02(\mathbf{S}_{12})^{0.5}(a\mathbf{L}_{12})^{-1} + 2(\mathbf{S}_{13})^{0.5} \times\\ &\times (a\mathbf{L}_{13})^{-1}]_0\mathbf{I}_1^{-1} - \mathbf{z}_2^2]\cos\mathbf{z}_1\mathbf{t} - \mathbf{z}_2^{-2}[2(\mathbf{S}_{13})^{0.5}\mathbf{I}_3^{-1}(a\mathbf{L}_{13})^{-1} +\\ &+ [_02(\mathbf{S}_{12})^{0.5}(a\mathbf{L}_{12})^{-1} + 2(\mathbf{S}_{13})^{0.5} \times (a\mathbf{L}_{13})^{-1}]_0\mathbf{I}_1^{-1} - \mathbf{z}_1^2]\cos\mathbf{z}_2\mathbf{t}\} +\\ &+ (\mathbf{M} - \mathbf{M}_2 - \mathbf{M}_3)\mathbf{I}_3(\mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3)^{-1} + \mathbf{M}_3. \end{split}$$

где

$$z_{12} = \left\{ (S_{12})^{0.5} (I_1 + I_2) (aL_{12}I_1I_2)^{-1} + (S_{13})^{0.5} (I_1 + I_3) (aL_{13}I_1I_3)^{-1} \pm \right. \\ \pm \left\{ [(S_{12})^{0.5} (I_1 + I_2) (aL_{13}I_1I_2)^{-1} + (S_{13})^{0.5} (I_2 + I_3) (I_1I_3aL_{13})^{-1} \right]^2 - \\ - 4(S_{12}S_{23})^{0.5} (I_1 + I_2 + I_3) (a^2L_{12}L_{13}I_1I_2I_3)^{-1} \right\}^{0.5} \right\}^{0.5}.$$
(3)

Используя вышеприведенные выражения, произведем некоторые расчеты. При применении электродвигателя ДПЭ-8 с суммарным моментом инерции  $I=680~{\rm Hm}^2$ , постоянной времени  $T=0,14~{\rm c.}$ , угловой скорости  $w_{\rm H}=77,4~{\rm pag/c.}$  определен момент ведущего привода  $M=57,83~{\rm kHm}$ . При радиусе приводных звездочек  $R=0,4~{\rm m.}$  и значении передаточного числа i=24 угловые жесткости  $C_{\rm y1}=11,83~{\rm kHm}$ ,  $C_{\rm y2}=12,17~{\rm kHm}$ , а линейные жесткости тягово-несущего органа конвейера составляют  $C_{\rm 12}=42591,7~{\rm kHm}$ , и  $C_{\rm 23}=43817,8~{\rm kHm}$ , соответственно на смежных межприводных участках при натяжении  $S_{\rm 12}=80~{\rm kH}$  и  $S_{\rm 23}=120~{\rm kH}$ . Определив через маховые моменты [111] моменты инерции  $I_{\rm 2}=710~{\rm Hm}^2$ , и  $I_{\rm 3}=740~{\rm Hm}^2$  при номинальном вращении двигателя n=740

об/мин. определены усилия на межприводном участке  $M_{13}=38,36$  кНм и  $M_{12}=35,86$  кНм. Частоты колебаний роликоопорной пластины ТНО  $z_1=4$   $\Gamma$ ц и линейных пластин  $z_2=7$   $\Gamma$ ц при скорости движения тягово-несущего органа V=1 м/с, линейной плотности  $q_{c1}=215$  кг/м и  $q_{c2}=400$  кг/м. При этом коэффициент перегрузки составляет  $K_{nep}=1,2$ . Величины деформации ТНО на смежных межприводных участках составляет 3,2 и 2,8 радиан соответственно.

При изменении линейной плотности  $q_c$  в 1,9 раза натяжение грузонесущего органа изменилось в 1,4 раза, усилие на смежных межприводных участках изменилась в 1,04, а линейные жесткости на этих же участках в 1,02 раза, моменты инерции смежных приводов в 1,04 раза. Таким образом, подставляя значения косинусов для других смежных межприводных участков, можно будет вычислять максимальные значения нагрузок на рассматриваемых участках.

Полученные выражения (2) и (3) позволяют определить значения уравнительных усилий на каждом межприводном участке и частоту колебаний грузонесущего органа конвейера при ожидающем режиме компенсирующих устройств.

С увеличением длины конвейера соответственно возрастают нагрузки в тяговом органе, появляется необходимость его усиления. Этого можно избежать путем применения промежуточных приводов, способных передавать тяговое усилие на линейных участках по длине конвейера.

Список литературы: 1. Данияров А.Н., Акашев З.Т., Тазабеков И.И. Компенсация дополнительной упругой деформации тяговых органов многоприводных пластинчатых конвейеров // Горный журнал. Изв. Вузов. -1983.-№2.- С. 68-72.; 2. А.С. №962129. СССР. Пластинчатый конвейер. А.Н. Данияров, З.Т. Акашев, И.И. Тазабеков; опубл. 30.09.82, Бюл. №36-2с: ил.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ АППАРАТНОГО МОДУЛЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫ-ЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Мальчева Р.В., Авксентьева О.А., Гриценко А.А. (ДонНТУ, Донецк, Украина)

The executive subsystem as a part of run-time reconfigurable system is described in this paper. The detailed description of separate subsystems and overall system is done. Executive subsystem designing is realized using Unified Modeling Language. This approach tightly concerned with hardware-software co-design, that is why UML is used as modeling and designing tool.

#### Ввеление.

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с проектированием и организацией аппаратного модуля реконфигурируемой системы времени исполнения вычислительного процесса. Исполнительная система является ядром реконфигурируемой вычислительной системы, которое обеспечивает протекание вычислительного процесса. Реконфигурируемая система времени исполнения [1] является более широким понятием и дополнительно включает такие компоненты как память конфигураций и операционную систему. Важным аспектом является то, что некоторые компоненты как реконфигурируемой системы в целом, так и исполнительной системы в частности могут быть реализованы как аппаратно, так и программно. Поэтому при проектировании на первый план выходят вопросы, связанные с совмещенным аппаратно-программным

проектированием[2]. Для обеспечения возможности решения этих вопросов при реализации системы проектирование производится с применением унифицированного языка моделирования[3].

Исполнительная система реконфигурируемой вычислительной платформы.

<u>Исполнительная система реконфигурируемой вычислительной платформы</u> (ИСРВП) – аппаратно-программная система, которая предоставляет аппаратные ресурсы и аппаратно-программный интерфейс для реализации динамических аппаратных вычислительных процессов. <u>Динамический аппаратный вычислительный процесс</u> – вычислительный процесс, реализованный в аппаратуре, который характеризуется конфигурацией аппаратного обеспечения.

Исполнительная система включает ряд подсистем (рис. 1):

- <u>Драйвер исполнительной системы</u> программно-аппаратная составляющая исполнительной системы, которая обеспечивает интерфейс с клиентами исполнительной системы. Интерфейс, предоставляемый драйвером, инкапсулирует подсистемы исполнительной системы:
- Менеджер данных программно-аппаратная составляющая исполнительной системы, которая обеспечивает управление данными. Управление данными включает обработку входных и выходных потоков данных, взаимодействие с модулями динамической памяти:
- Реконфигурируемое аппаратное обеспечение аппаратная составляющая исполнительной системы, которая предоставляет аппаратные ресурсы для реализации динамических аппаратных вычислительных процессов и интерфейсов между ними.

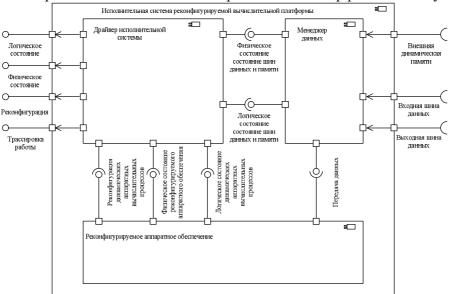


Рис. 1. Исполнительная система реконфигурируемой вычислительной платформы

Все подсистемы исполнительного ядра делятся на два типа: драйвер исполнительной системы и менеджер данных являются подсистемами окружения, реконфигурируемое аппаратное обеспечение является подсистемой исполнения(рис. 2).

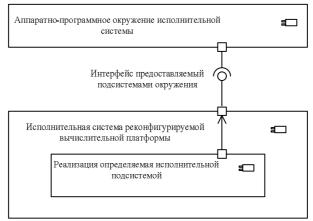


Рис. 2. Модульная структура исполнительной системы РВП

Подсистемы окружения могут быть реализованы в виде программных, аппаратных или комбинированных модулей. Подсистема исполнения всегда реализуется в виде аппаратного модуля. Подсистема исполнения полностью инкапсулируется подсистемами окружения. Клиенты подсистем окружения не могут получить непосредственный доступ к исполнительной подсистеме. Если рассматривать исполнительную систему как единый модуль, то подсистемы окружения определяют интерфейс этого модуля, а подсистема исполнения определяет реализацию.

#### Организация реконфигурируемого аппаратного обеспечения.

Реконфигурируемое аппаратное обеспечение является вычислительным ресурсов исполнительной системы. Ресурсы реконфигурируемого аппаратного обеспечения распределяются между динамическими аппаратными вычислительными процессами. Состояние реконфигурируемого аппаратного обеспечения определяется его текущей конфигурацией: набором вычислительных процессов и связями между ними (рис. 3). Конфигурация реконфигурируемого аппаратного обеспечения определяется клиентами исполнительной системы. Поэтому состояние исполнительной системы не может быть определено без учета внешних факторов.

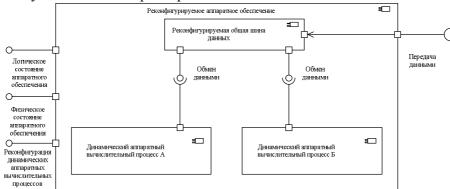


Рис. 3. Структура реконфигурируемого аппаратного обеспечения

• <u>Реконфигурируемая общая шина данных</u> – шина данных, обеспечивающая два типа обмена данными для вычислительных процессов (рис. 4):

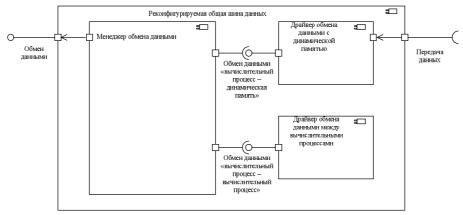


Рис. 4. Структура реконфигурируемой общей шины данных

- о <u>обмен типа «вычислительный процесс динамическая память»</u> обеспечивается интерфейсом общей шины данных с менеджером данных, данный тип обмена подразумевает получение данных из динамической памяти и помещение результатов в динамическую память, предназначен для пакетной обработки;
- о обмен типа «вычислительный процесс вычислительный процесс» используется в случае одновременного конфигурирования двух процессов, выходные данные одного из которых являются входными данными другого. Обмен использует потоковую обработку данных и требует синхронизации вычислительных процессов, ответственность за которую возлагается на шину данных. Задачи используют унифицированный интерфейс получения и передачи данных, построение интерфейсов обмена происходит во время реконфигурации общей шины данных.
- Динамический аппаратный вычислительный процесс (рис. 5) базовый логический компонент исполнительной системы, который представляет собой конфигурацию реконфигурируемого аппаратного обеспечения и характеризуется обрабатываемыми данными и логическим состоянием. Процесс инкапсулирует свое логическое состояние, но может предоставлять информацию о нем по запросу драйвера исполнительной системы. С логической точки зрения вычислительный процесс представляет собой аппаратную реализацию некоторого алгоритма обработки данных, который расширяется дополнительными возможностями. Динамика вычислительного процесса характеризуется тем, что весь процесс или его часть может быть независимо реконфигурировано во время работы.

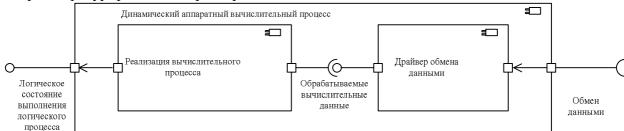


Рис. 5. Структура динамического аппаратного вычислительного процесса

#### Выводы.

Предложенный проект аппаратного модуля исполнительной системы вычислительной реконфигурируемой платформы включает использование современных технологий управляемой моделями архитектуры, совмещенного аппаратного проектирования и объектно-ориентированного проектирования, что дало возможность получить ряд преимуществ:

- проектирование с использованием модельного подхода. Исполнительная система в целом, и все ее подсистемы, представлены в виде компонентных диаграмм с определенными связями между объектами, более детальное проектирование будет включать использование расширенного подмножества диаграмм унифицированного языка моделирования в частности, для проектирования взаимодействия компонент и их поведения;
- инкапсуляцию реализации отдельных компонент путем точного описания интерфейсов этих компонент и их связей с другими компонентами;
- возможность реализации подсистем окружения как в виде программных, так и в виде аппаратных модулей. Подсистема исполнения должна быть аппаратной, так как это является основным критерием реконфигурируемой вычислительной платформы;
- инкапсуляцию подсистемы исполнения интерфейсами подсистем окружения, что позволяет менять аппаратную платформу прозрачно для клиентов исполнительной системы.

Список литературы: 1. Nollet V., Mignolet J-Y., Hierarchical Run-Time Reconfiguration Managed by an Operating System for Reconfigurable Systems, IMEC, Leuven, Belgium, 2003. – 7 pp. 2. Coyle F., Thornton M. From UML to HDL: a Model Driven Architectural Approach for Hardware-Software Co-design, Computer Science and Engineering Dept., Southern Methodist University, Dallas, USA, 2005. – 5 pp 3. Буч Г., Якобсон А., Рамбо Дж. UML. Классика CS. 2-е изд. / Пер. с англ.; Под общей редакцией проф. С. Орлова – СПб.: Питер, 2006 – 736 с.: ил.

#### ПРЕЦИЗИОННОСТЬ ДОВОДКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Маляренко А.Д. (БНТУ, г. Минск, Беларусь)

The article deals with a problem of a polishing glass intensification.

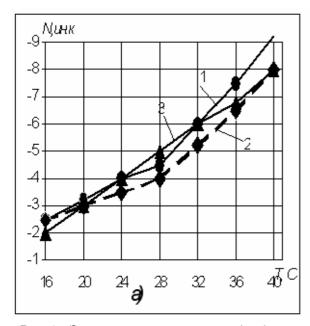
Основной проблемой оптического производства на финишных операциях является обеспечение прецизионности, то есть стабильного достижения заданных параметров высокоточных поверхностей и возможность эффективного регулирования получаемых размеров и формы. Особенностью финишной обработки является большое число различных взаимосвязанных факторов, влияющих на формообразование. Установление влияния этих факторов на процесс доводки позволит добиться оптимальных режимов обработки, снизить трудозатраты, и, в конечном итоге, создать удобные для производственников способы определения режимов обработки. Учитывая, что допустимая величина погрешности формы подобных поверхностей составляет сотые доли микрометра, важно оценить влияние каждого из технологических факторов на окончательные результаты обработки.

Применяемые сегодня в производстве способы управления процессом доводки весьма трудоемки, требуют высокой квалификации и опыта рабочего персонала. Один из путей решения указанных проблем лежит в создании новых, более эффективных

способов управления процессом формообразования. Наиболее перспективным представляется обратимая коррекция формы рабочей поверхности притира за счет термической деформации его корпуса при изменении температуры технологической среды. Для доведения указанного способа до практического применения необходимо выявить влияние конструкции притиров на прецизионность термоуправляемой доводки высокоточных поверхностей, что и явилось целью исследований, результаты которых, представлены в данной статье.

Рассматривалось влияние характеристик материала корпуса притира, его формы, сплошности, а также параметров рабочей части (пенополиуретановой подложки) на характер формообразования обрабатываемой поверхности при изменении термического режима доводки. В процессе исследования осуществлялась обработка выпуклых сферических поверхностей оптических линз из стекла ЛК7. В качестве единицы измерения во всех экспериментах использовались обычные для оптического производства единицы интерферометрического контроля — количество интерференционных колец возникающих при прохождении света через изделия при наложении на контролируемое изделие эталонного (N) и отклонение этих колец от идеальной формы (DN). Одно интерференционное кольцо соответствует изменению контролируемого размера на 0,25 мкм.

Для определения влияния формы корпуса на стабильность получения заданных точностных показателей формы обрабатываемой поверхности при доводке использовались притиры, состоящие из алюминиевых корпусов из сплава АЛ2 и полировальных подложек из пенополиуретана ППМ-1-1 толщиной 1 мм, наклеенной на рабочую поверхность притира. Форма полировальной подложки проектировалась в соответствии с рекомендациями [1]. Корпуса отличались формой нерабочей поверхности, т.е. профилем поперечного сечения: расширяющимся, концентрическим и сужающимся от центра к краю.



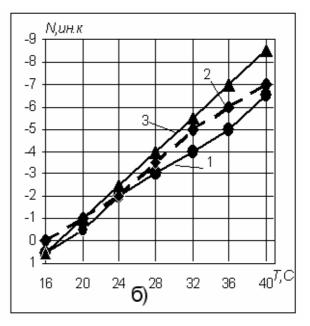


Рис.1 . Зависимость точности обработки N от температуры полировальной суспензии при частоте вращения нижнего звена 180 (a) и 360 об/мин. (б) при обработке притиром с различным профилем поперечного сечения корпуса: 1 – расширяющимся; 2 - концентрическим; 3 - сужающимся от центра к краю

В результате исследований установлено, что профиль корпуса притира оказывает влияние на стабильность получения заданных точностных показателей поверхности при изменении температуры технологической среды вследствие различных термодеформаций корпусов притиров. Притир с увеличивающейся от центра к периферии толщиной корпуса (расширяющимся профилем) показал максимальный разброс погрешности по общей (N) и местной (DN) ошибке формы (кривая 1 рис.1a). При повышенной частоте вращения нижнего звена (360 об/мин) для инструментов с расширяющимся и с концентрическим профилями (кривые 1 и 2 рис.1b) зависимость образования погрешности формы от температуры СОЖ становится линейной, что говорит о предпочтительности обработки на высоких скоростях. Притиры с уменьшающейся от центра к периферии толщиной корпуса (сужающийся профиль) показывают наиболее стабильную работу и линейную зависимость погрешности от температуры (кривые 3 рис.1a, b). Полученные результаты позволяют говорить о предпочтительности данной формы корпуса инструмента.

Кроме формы на термическую деформацию притира оказывает влияние материал корпуса инструмента. Для определения этого влияния было проведено исследование, в процессе которого детали обрабатывались инструментами, корпуса которых были изготовлены из различных материалов: 1). стали 20 ГОСТ 380-71 (температурный коэффициент линейного расширения  $a=12,0*10^{-6}$  1/°C); 2). бронзы БрОЦС 4-4-4 ГОСТ 5017-74 ( $a=18,1*10^{-6}$  1/°C); 3). алюминиевого сплава АЛ2 ГОСТ 1521-76 ( $a=21,1*10^{-6}$  1/°C); 4). органического стекла СТ-1 ГОСТ 15809-70 ( $a=77*10^{-6}$  1/°C).

На рисунке 2 представлены результаты зависимости точности обработки *N* от температуры технологической среды, где номера кривых соответствуют приведенной нумерации материалов корпусов притиров. Анализ графиков показывает, что чем выше температурный коэффициент линейного расширения используемого материала, тем меньший перепад температур требуется для изменения формы на одно интерференционное кольцо. Данное явление можно использовать для настройки притира на размер. Учитывая, что доводка связана с переносом формы инструмента на деталь, а достигаемые размеры задаются с допусками в десятые и сотые доли микрометра, использование контрпритиров из различных материалов для наладки рабочих инструментов позволяет регулировать достигаемую точность в довольно широком диапазоне с высокой точностью.

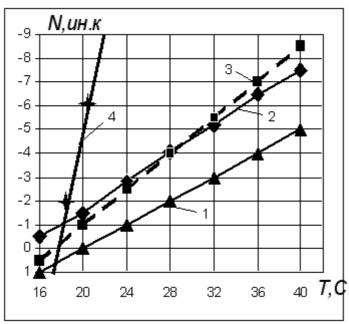
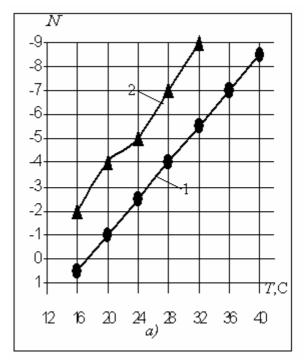


Рис.2. Зависимость точности обработки N от температуры полировальной суспензии при обработке притиром из: 1- стали; 2 – бронзы; 3 - алюминиевого сплава АЛ2; 4 - органического стекла CT-1

Известно, что введение в зону обработки дополнительной энергии способствует увеличению производительности обработки. При использовании притиров с переменной поперечной жесткостью в зоне взаимодействия поверхностей инструмента и детали при обработке возникают дополнительные низкочастотные колебания, интенсифицирующие процесс[2]. Добиться переменной жесткости притира можно за счет создания продольных разрезов в корпусе инструмента. Для определения оптимального количества таких разрезов было проведено экспериментальное исследование, в процессе которого обрабатывались детали полировальниками с различным количеством радиальных разрезов. При проведении исследований было замечено, что время обработки необходимое для снятия матового слоя меньше, если использовать притиры с разрезами рис. 36, причем на температурах больших 30 °C разница во времени обработки достигает 4-5 минут. Данное повышение производительности можно объяснить возникновением дополнительных низкочастотных колебаний притира в процессе обработки из-за неравномерной радиальной жесткости его корпуса. Это также объясняет нелинейные зависимости общей погрешности формы обрабатываемых поверхностей от температуры полировальной суспензии при использовании разрезных притиров.

Результаты исследований показывают, что притиры с разрезами могут эффективно применяться для получения оптических поверхностей среднего класса, у которых заданная точность формы составляет N=3..5, DN=0,3..0,5 интерференционных кольца.

Для установления влияния на процесс термоуправляемой доводки конфигурации в плане и толщины пенополиуретановой полировальной подложки использовались притиры сужающегося профиля с подложками различной толщины в виде четырех лепестков с прямыми и искривленными каналами СОЖ [3].



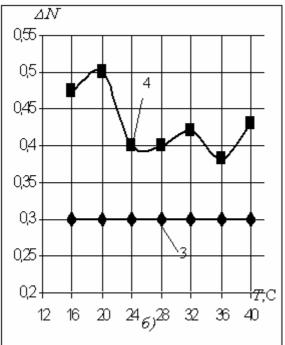


Рис. 4. Влияние конфигурации в плане (а) и толщины (б) пенополиуретановой полировальной подложки на общую N и местную ΔN погрешность формы оптических поверхностей при доводке притирами с различной формой полировальных подложек: 1 — полировальная подложка толщиной 1 мм с искривленными каналами СОЖ; 2 — подложка толщиной 1 мм с прямыми каналами СОЖ; 3 - полировальная подложка толщиной 1 мм с искривленными каналами СОЖ; 4 - полировальная подложка толщиной 0,5 мм с искривленными каналами СОЖ

В процессе исследований установлено, что в рассматриваемом диапазоне температур технологической среды от 16 до 40 °C применение искривленных лепестков позволяет снизить общую погрешность формы N не менее чем на 3 интерференционных кольца (смотри рис. 4а), а при увеличении толщины полировальной подложки с 0,5 мм до 1 мм местная погрешность DN (смотри рис. 4б) с повышением температуры полировальной суспензии снижается с 0,5 интерференционного кольца ( при  $T_{n.c}$  =16°C) до 0,3 ( при  $T_{n.c}$  >30°C).

#### Выводы.

- 1. Проведенные исследования позволили установить, что зависимость точности формы оптических деталей, обрабатываемых инструментом с пенополиуретановой подложкой от температуры полировальной суспензии связана с изменением радиуса кривизны полировального инструмента.
- 2. Отработаны оптимальные для существующего оборудования режимы обработки на операции.
- 3. Выработаны требования к конструкции обрабатывающего инструмента, включающие геометрические характеристики корпуса притира, рекомендации по выбору его материала и требования к полировальной подложке. Геометрические параметры инструмента, обеспечивающего стабильность получения результатов, следующие: от-

ношение радиуса кривизны обрабатывающей поверхности притира к его диаметру соответствует R/d=0.63; - отношение толщины в центре к толщине на краю  $h_0/h=3$ .

- 4. При использовании притиров, корпус которых выполнен в виде сужающегося профиля, линейность изменения общей погрешности формы от температуры суспензии не нарушается. Коэффициент изменения радиуса кривизны (Крк) обрабатываемой поверхности при обработке притиром с таким профилем постоянен во всем диапазоне температур и составляет Крк=0,592 мкм/°К.
- 5. На процесс термоуправляемой доводки оптических поверхностей существенное влияние оказывает материал, из которого изготовлен корпус притира. Чем выше температурный коэффициент линейного расширения используемого материала, тем меньший перепад температур требуется для изменения формы на одно интерференционное кольцо.
- 6. Толщина полировальной подложки также оказывает влияние на процесс термоуправляемой доводки. Как показали исследования, данный процесс протекает стабильно при использовании притиров с толщиной полировальной подложки в диапазоне 0,8...1 мм. При применении «толстых» (с толщиной более 1 мм) подложек наблюдается искажения линейной зависимости изменения радиуса кривизны обрабатываемой поверхности от температуры полировальной суспензии. При использовании «тонких» (с толщиной менее 0,5 мм) подложек существенное негативное влияние на стабильность процесса доводки оказывает клеевая прослойка, ведущая к ухудшению рабочих характеристик обрабатывающего материала и нарушению процесса доводки.
- 7. Проектирование формы полировальной подложки с искривленными каналами для выхода полировальной суспензии с учетом гидродинамических явлений в зоне обработки позволяет повысить прецизионность обработки.

Список литературы: 1. Маляренко А.Д., Филонов И.П. Технологические основы формообразования оптических поверхностей. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ БГПА, 1999. – 212 с. 2. Филонов И.П., Маляренко А.Д, Митенков М.В. Исследование возможности интенсификации финишной обработки оптических поверхностей// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Междун. Сб. Научн. Трудов. – Донецк: ДГТУ, 2000, - Вып. 12 – с. 229-233. 3. Патент Республики Беларусь ВҮ 5702 С1 МПК В24В 13 /00 Способ обработки сферических поверхностей / И.П. Филонов, А.Д. Маляренко, В.И. Юринок, М.В. Митенков; Белорусский национальный технический университет. - № а19990942; Заявл. 1999.10.18; Зарегистр. 2003.07.22.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА НАГРУЖЕНИЯ И СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА НА ПОЛЕ МИКРОНАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В РАМКАХ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ

Марина В.Ю., Марина В.И. (Т.У.М., Кишинев, Молдова)

The paper presents the problem of practical applications of the relationships between structure properties. In order to create a useful system of constitutive equations, a simultaneous

study of the material behavior at the level of material particles, structure elements and conglomerates is necessary. The volume element  $V_0$  being homogeneous at a macroscopic scale, is considered to be composed of an infinite number of kinematically connected sub elements with different thermomecanical features. Based on the system of equations obtained previously, a numerical analysis is performed on the analysis of the range of stress-state at a microscopic scale in accordance with material structure and stress-state at a macroscopic scale.

#### Введение.

До сих пор отдельно существует две группы теории: необратимой деформации и разрушения. Такое положение обусловлено, прежде всего, присущей макроподходу ограниченностью в которой макрочистица не имеет размеров, но в тоже время мыслится что отражает осредненно механические свойства проявляемые им на макроскопическом уровне. Как следствие, в рамках макроскопического подхода, не удается отразить тот факт, что прочностные макрохарактеристики одного и того же материала отличаются при различных внешних воздействиях именно потому, что при различных видах нагружения поля микронапряжений и деформаций в элементарном объеме  $\Delta V_0$  будут существенно неодинаковым.

В структурных моделях среды элементарный объем (конгломерат)  $\Delta V_0$  представляется в виде бесконечного или конечного числа кинематически связанных между собой подэлементов (элементов структур), имеющих различные термореологические характеристики. В рамках этой концепции удаётся учитывать влияние сложной иерархической внутренней структуры, которая по-разному эволюционирует при различных внешних воздействиях, на поведение реальных материалов.

В работе проводится численное исследование влияния вида нагружения на макроскопическом уровне на поле микронапряжений в поликристаллических материалов с кубической кристаллической решетки.

#### 1. Основные соотношения-структурной модели среды.

Пусть  $\Delta V_0$ -область, которую занимает конгломерат содержащая достаточное количество зёрен, чтобы отразили осредненные механические свойства поликристалла, а

 $\Delta S_0$ -ограничивающая его поверхность;  $\tilde{t}_{ij}$ ,  $\tilde{d}_{ij}$ - соответственно тензоры напряжений и деформаций в каждой точке области  $\Delta V_0$ . Внутри области  $\Delta V_0$  удовлетворяются уравнения равновесия сплошной среды и геометрические соотношения Коши. На поверхности  $\Delta S_0$  выполняются следующие граничные условия

$$\frac{d\tilde{u}}{\Delta S_0} = du_i = x_j dd_{ij}, \quad d_{ij} = const, \qquad (1.1)$$

$$P_i^{(n)} / \Delta S_0 = t_{ij} n_j, \quad t_{ij} = const, \qquad (1.2)$$

где  $d_{ij}$ ,  $t_{ij}$  - тензоры макроскопических деформаций и напряжений;  $\pi_i$  - микроперемещение, связанное с перемещением микроточки в объеме  $\Delta V_0$ . Наряду с вектором микроперемещений  $\pi_i$  вводится в рассмотрение вектор макронапряжений  $u_i$ , который относится к макроточке и представляет собой среднее от вектора микроперемещений по элементарному макрообъему  $\Delta V_0$ .

На основе уравнений равновесия  $\widetilde{t}_{ij,\,j}+rb_i=0$  и геометрических соотношений  $d\widetilde{d}_{ij}=\frac{1}{2}\Big[(du_i)_{,\,j}+(du_j)_{,i}\Big]$ , и граничных условий (1.1), (1.2), следуют известные теоремы микромеханики

$$t_{ij} = \left\langle \tilde{\tau}_{ij} \right\rangle = \frac{1}{\Delta V_0} \int_{\Delta V_0} \tilde{\tau}_{ij} dv, \quad dd_{ij} = \left\langle d\tilde{d}_{ij} \right\rangle, \tag{1.3}$$

$$\langle \tilde{\tau}_{ij} d\tilde{d}_{ij} \rangle = \langle \tilde{\tau}_{nm} \rangle \langle d\tilde{d}_{nm} \rangle = t_{pq} dd_{pq},$$
 (1.4)

где  $\langle \cdot \rangle$  - знак осреднения по объему  $\Delta V_0$  .

Для учета явления самосогласования процессов деформирования вводится в рассмотрение еще напряжение и деформации на уровне элемента структуры (зерна). Пусть рассматриваемый структурный элемент имеет объем  $\Delta \overline{V}$ , тогда средние значения напряжений и деформаций, определяются на основе соотношений

$$\bar{t}_{ij} = \left\langle \tilde{t}_{ij} \right\rangle_{\Delta \overline{V}} = \frac{1}{\Delta \overline{V}} \int_{\Delta \overline{V}} \tilde{t}_{ij} dv, \qquad \bar{d}_{ij} = \left\langle \tilde{d}_{ij} \right\rangle_{\Delta \overline{V}}.$$
(1.5)

С учетом этих обозначений случайные поля напряжений и деформаций представляются в виде сумы математических ожиданий и двух видов флуктуаций

$$\tilde{t}_{ij} = t_{ij} + \Delta \bar{t}_{ij} + \Delta \tilde{t}_{ij}, \quad \Delta \bar{t}_{ij} = \bar{t}_{ij} - t_{ij}, \quad \Delta \tilde{t}_{ij} = \tilde{t}_{ij} - \bar{t}_{ij},$$

$$\widetilde{d}_{ij} = d_{ij} + \Delta \overline{d}_{ij} + \Delta \widetilde{d}_{ij}, \quad \Delta \overline{d}_{ij} = \overline{d}_{ij} - d_{ij}, \quad d\widetilde{d}_{ij} = \widetilde{d}_{ij} - \overline{d}_{ij}. \tag{1.6}$$

Подставим (1.6) в (1.4) и учитывая в полученном соотношении (1.3), (1.5) найдем

$$\left\langle \Delta \bar{t}_{ij} \Delta \vec{\delta}_{ij}^{k} + \left\langle \Delta \tilde{t}_{ij} \Delta \vec{\delta}_{ij} \right\rangle_{\Delta \bar{V}} \right\rangle_{\Omega} = 0, \qquad (1.8)$$

где через  $\Omega$  обозначен фактор интегрирования на уровне элементов структуры; в случае поликристаллических материалов  $\Omega$  совпадает с фактором ориентации зерен.

В работе 11 показано, что

$$\left\langle \tilde{\Delta}t_{ij}\hat{\Delta}d_{ij}\right\rangle_{\Lambda\bar{V}} \geq 0, \quad \left\langle \Delta\bar{t}_{ij}\Delta\bar{d}_{ij}\right\rangle_{\Omega} \leq 0.$$
 (1.9)

Эффективность промежуточного уровня напряжений  $\bar{t}_{ij}$  и деформаций  $\bar{d}_{ij}$  следует из следующих выражений для флуктуаций напряжений и деформаций на уровне элементов структуры [2,3]

$$\bar{t}_{ij} - t_{ij} = \overline{A}_{ijkl} \left( \overline{d}_{kl} - d_{kl} \right) + \Delta t_{ij}, \quad \Delta t_{ij} = \left\langle \overline{A}_{ijkl} \left( d_{k\bar{l}} \, \overline{d}_{kl} \right) \right\rangle_{\Omega}, \tag{1.10}$$

$$\left\langle \Delta \bar{t}_{ij} \Delta \bar{d}_{ij} \right\rangle_{\Omega} = Extr \,, \tag{1.11}$$

где симметрия тензоров  $\overline{A}_{ijkl}$  совпадает с симметрией тензора упругих характеристик конгломерата. Для поликристаллических материалов тензоры  $\overline{A}_{ijkl}$  предполагаются

изотропными: 
$$\overline{A}_{ijkl} = \overline{A} V_{ijkl} + B D_{ijkl}$$
,  $D_{ijkl} = I_{ijkl} - V_{ijkl}$ ,  $V_{ijkl} = \frac{1}{3} d_{ij} d_{kl}$ .

В статическом приближении не учитывается влияние неоднородного поля напряжений и деформаций внутри элементов структур (зерен), на поведение конгломерата. В этом случае выражения (1.3) принимают вид

$$t_{ij} = \langle \bar{t}_{ij} \rangle_{\mathbf{O}}, \quad d_{ij} = \langle \bar{d}_{ij} \rangle_{\mathbf{O}},$$
 (1.12)

Если к выражениям (1.10) — (1.12), задается зависимость  $\bar{t}_{ij} \sim \bar{d}_{ij}$ , на уровне элементов структуры, получаем замкнутую систему уравнений, на основе которой определяющие уравнения на макроскопическом уровне выводятся из физических соотношений на уровне элементов структуры.

#### 1. Определение напряжений в элементах структуры

Напряжения  $\bar{t}_{ij}$ , согласно (1.5) соответствуют средним значениям напряжений в рассматриваемом элементе структуры, поэтому дают более полное описание поведения поликристаллического материала, так как характеризуют изменяемость термомеханических состоянии на расстояниях намного меньших размеров конгломерата. На их основе, удается в первом приближении, оценить влияние внешнего воздействия на прочностные характеристики материала.

В обратимой области деформирования элементов структуры локальные определяющие уравнения представляются в виде

$$\overline{d}_{ij} = \overline{S}_{ijnm} \overline{t}_{nm} \,, \tag{2.1}$$

где  $\overline{S}_{ijnm}$  - тензоры упругих поддатливостей элементов структуры. Для однофазных поликристаллических материалов  $\overline{S}_{ijnm}$  зависят только фактора ориентации

$$\overline{S}_{ijnm} = a_{pi} a_{qj} a_{kn} a_{lm} S_{pqkl}, \qquad (2.2)$$

здесь  $S_{pqkl}$  - тензор упругих поддатливостей в кристаллографической системе координат  $(\overline{X}_i)$ ;  $a_{pi} = \cos(\overline{X}_p, X_i)$ ;  $X_i$  - глобальная система координат.

На основе выражений (2.1) и (2.2) для однофазных поликристаллических материалов с кубической кристаллической решеткой, в кристаллографической системе координат, получены зависимости

$$\overline{S}_{11} = \frac{2S + B}{S_{11} - S_{12} + B} \overline{a}_{i1} \overline{a}_{j1} S_{ij}, \quad \overline{S}_{ij} = \overline{t}_{ij} - \frac{1}{3} \overline{t}_{nn} d_{ij}, 
\overline{S}_{22} = \frac{2S + B}{S_{11} - S_{12} + B} \overline{a}_{i2} \overline{a}_{j2} S_{ij}, \quad \overline{S}_{33} = -\overline{S}_{11} - \overline{S}_{22}$$
(2.3)

$$\overline{S}_{ij} = \frac{2S + B}{2S_{AA} + B} \overline{a}_{ni} \overline{a}_{mj} S_{nm}, \quad i \neq j,$$
(2.4)

$$e_{ij} = 2Ss_{ij}, \quad s_{ij} = t_{ij} - \frac{1}{3}t_{nn}d_{ij}, \quad e_{ij} = d_{ij} - \frac{1}{3}d_{nn}d_{ij},$$
 (2.5)

В (2.3) – (2.5) через  $\overline{s}_{ij}$ ,  $s_{ij}$  обозначены девиаторы тензоров напряжений в элементах структуры и на микроскопическом уровне;  $e_{ij}$  - девиатор тензора макроскопических деформаций;  $S_{11}$ ,  $S_{12}$  и  $S_{44}$  независимые компоненты тензора упругих поддатливостей кристалла (в кристаллографической системе координат);  $2S = \frac{1}{2G}$ , G-модуль сдвига конгломерата.

Неизвестные величины S и B определяются на основе (2.3), (2.4), (1.5) и (1.11); в работе [2] получены следующие зависимости

$$B = \sqrt{\frac{S_{44}(S_{11} - S_{12})[4S_{44} + 3(S_{11} - S_{12})]}{3S_{44} + S_{11} - S_{12}}} , \qquad (2.6)$$

$$S = \sqrt{\frac{S_{44}(S_{11} - S_{12})[3S_{44} + S_{11} - S_{12}]}{4S_{44} + 3(S_{11} - S_{12})}} . \tag{2.7}$$

Имея значения величин  $S_{NK}$ , B из (2.3), (2.4) устанавливаем средние значения компонент девиаторов напряжений (в каждой кристаллографической системе координат) в элементах структуры. Выражая  $a_{ij}$  через углы Эйлера

$$\begin{aligned} a_{11} &= \cos y \cos j - \cos q \sin y \sin j \ , \ a_{12} &= \sin y \cos j + \cos q \cos y \sin j \\ a_{13} &= \sin q \sin j \ , \ a_{21} &= -\cos y \sin j - \cos q \sin y \cos j \\ a_{22} &= -\sin y \sin j + \cos q \cos y \cos j \ , a_{23} &= \sin q \cos j \ , a_{31} &= \sin q \sin y \\ a_{32} &= -\sin q \cos y \ , \ a_{33} &= \cos q \ , \end{aligned}$$

$$(2.8)$$

получим зависимости  $\mathbf{S}_{ij} = \mathbf{S}_{ij} (y,j,q,\mathbf{S}_{nm})$ , где  $0 \le q \le p$  ,  $0 \le y \le 2p$  ,  $0 \le j \le 2p$  .

#### 3. Результаты численных исследований.

Проанализируем закономерности изменения компонент главных значений девиаторов тензоров напряжений и модулей  $\mathbf{S} = \sqrt{\mathbf{S}_{ij}\mathbf{S}_{ij}}$  в зёрнах поликристаллического материала a-Fe, при двух видах макронагружения: растяжение ( $\mathbf{S}_1=116,\,\mathbf{S}_2=-58\,\mathrm{M\Pi a}$ ) и сдвиг ( $\mathbf{S}_1=100\,,\mathbf{S}_2=-100\,\mathrm{M\Pi a}$ ). Для данного [4] материала  $S_{11}=0.078\,,S_{11}=0.078\,,S_{44}=0.022\,$ 1/ МПа. На основе этих данных из формул (2.6), (2.7) находим параметры S и B.

Как уже отмечалось, напряжённые состояния в зёрнах поликристаллического материала зависят от трёх переменных: q,y,j. Для наглядного представления закономерности изменения модуля девитора тензора напряжений и главных значений девиатора тензора напряжений, зависимости  $\mathbf{S}_i = \mathbf{S}_i(q,y,j)$  и  $\mathbf{S} = \mathbf{S}(q,y,j)$  построим, для двух фиксированных значений угла y. В случае зёрен с кубической решёткой интегрирование по всей поверхности единичной сферы ( $0 \le q \le p$ ,  $0 \le y \le 2p$ ) можно заменить интегрированием в пределах одного из 48 одинаковых сферических треугольников, на которые делится поверхность этой сферы тремя координатными плоскостями и плоскостями, проведёнными к ним под углом  $\frac{p}{4}$ . Действительно, поворот кристалла с кубической решёткой относительно любого из его рёбер на угол  $\frac{p}{4}$  равносилен повороту

на угол  $\frac{p}{4}-a$ . Таким образом, при исследовании интервалов изменения напряжений можно ограничиваться углами  $0 \le y \le \frac{p}{4}$ ,  $0 \le j \le \frac{p}{4}$ ,  $q_1 \le q \le \frac{p}{2}$ , где  $q_1 = arctg(\sin y)$ . На рис. 1 а,б представленны зависимости модуля девиатора тензора напряжений при одноосном нагружении (на макроскопическом уровне) при двух фиксированных значений угла  $y: y_{\max} = \frac{p}{4}$ ,  $y_{\min} = 0$ , а на рис. 1, в,г – зависимости  $s_1 = s_1(q,y,j)$  и  $s_2 = s_2(q,y,j)$ ,  $s_3 = -s_1 - s_2$ .

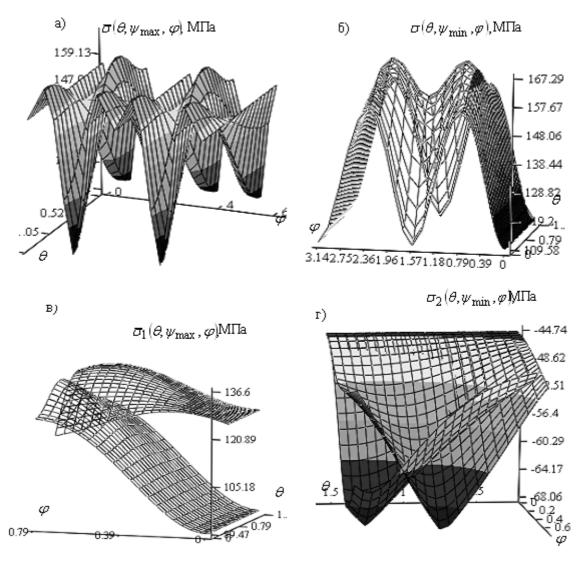
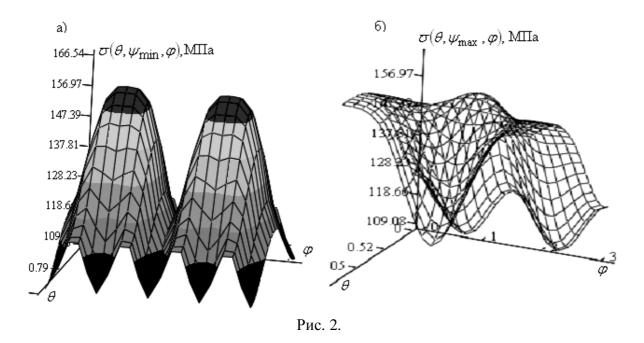


Рис. 1.

Аналогические расчёты проводились и при чистом макроскопическом сдвиге ( $s_1 = 100, s_2 = -100 \text{ M}\Pi a$ ). Закономерности изменения модуля девиатора тензора напряжений в зёрнах представленны на рис. 2 а,б.



Сравнивая данные представленные на рис. 3.1 а,б и рис. 3.2 а,б, можно заключить, что картина изменения напряжений на микроскопическом уровне существенно зависит от вида напряжённого состояния на макроскопическом уровне. Благодаря этому, сложная картина внешне не связанных между собой особенностей деформирования материалов, проявляемыми при различных программах изменения нагрузки и температуры, становиться обозримой и взаимосвязанной при использовании для её интерпретации структурной модели среды.

Список литературы 1.Марина В.Ю. Об одном новом методе определения макроскопических параметров упругости//Прогресивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов - Донецк: Дон ГТУ, 2003, Вып.25-с.248-252. 2. Марина В.Ю. Принципы перехода от микро к макро напряжённодеформированному состоянию. Изв.А.Н.Республики Молдова, Математика, 1988, N 2 (27), c.16-24. 3. Marina V.I. The Principles of the Transition from a Macroscopic to a Macroscopic State//Science of SINTERING. The international journal of basic and applied sintering and related processes, 2000, N3, p.115-124. 4. Введение в микромеханику. Под редакцией Онами, перевод с японского. Москва: Металлургия, 1987, 280 с.

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА І МОМЕНТА ТЕРТЯ ВІД КОНТАКТНОГО ТИСКУ В ШАРНІРАХ ГУСЕНИЦЬ

**Марчук М.М., Колодійчук А.К., Драган М.С., Колодійчук С.А.** (НУВГП, ЛДТУ, м. Рівне, м. Луцьк, Україна)

In this scientific research it is resulted the technique of founding the factor and the moment of friction in the hinges of tractors' caterpillars proceeding from a condition, that force of friction depends on the actual area of contact, which turns out as a result of interaction of microroughness of rubbing bodies (a finger and an eye) and by that gives an opportunity to establish their dependence on loading, geometrical parameters (radius of a finger, length of the

cartridge and a backlash between them) with the respect to the Young's modulus, the size of the area of contact and stress in the center of the contacting areas.

Момент тертя в шарнірах гусениць при умові контакту вздовж лінії або в точці визначають згідно [1]:

$$M_T = \mathbf{m} \cdot P \cdot r_n,\tag{1}$$

де m - коефіцієнт тертя; P - сила, що розтягує шарнір;  $r_n$  - радіус пальця.

Використання залежності (1) для визначення момента тертя включає лише один геометричний параметр  $r_0$ , який пов'язує момент тертя з узагальненим розтягуючим навантаженням. Тому врахувати теоретично більшість інших параметрів, які впливають на втрати потужності в шарнірах гусениць неможливо. Виходячи з цього, необхідно встановити взаємозв'язок момента тертя і сил, що розтягують шарнір, з урахуванням характеру розподілу контактних тисків в парі тертя і коефіцієнта від самих контактних тисків q(a).

Відомо, що сила (або момент) тертя, які виникають при відносному зміщенні взаємодіючих тіл, залежить від пари тертя, швидкості ковзання та інших факторів, в перелік яких входить і величина стискуючих навантажень. В роботі [2] стверджується, що при всіх рівних умовах сила тертя залежить від фактичної площі контакту (ФПК), яка утворюється в результаті взаємодії мікро нерівностей тіл, що труться.

Встановлено, що для криволінійних поверхонь тіл, при взаємодії яких розвиваються значні контактні навантаження, радіус контурної площі контакту, розрахований за теорією Герца для гладкого тіла, збігається з радіусом контурної площі контакту, розрахований з врахуванням мікро нерівностей. В той же час має місце лінійний зв'язок між ФПК і контурною площею контакту [2].

Все це дозволяє передбачити, що при відомій зміні номінальної площі контакту, розрахованій за рівняннями теорії пружності для гладких тіл, можна визначити і зміну сили тертя. Крім того, експериментально встановлено, що коефіцієнт тертя суттєво залежить від стискуючої сили.

3 урахуванням викладеного, вираз елементарної сили тертя можна записати у вигляді:

$$dF_T = \mathbf{m}(q) \cdot q(x, y) \cdot dS, \tag{2}$$

де m(q) - коефіцієнт тертя, що залежить від тиску q на елементарну площину dS; x, y - координати точки зони контакту.

3 урахуванням (2) елементарний момент тертя в циліндричному шарнірі можна визначити:

$$dM_T = dF_T \cdot r_n = \mathbf{m}(q) \cdot q(x, \mathbf{a}) \cdot dS \cdot r_n = r_n^2 \cdot \mathbf{m}(q) \cdot q(x, \mathbf{a}) \cdot dx \cdot d\mathbf{a}, \tag{3}$$

де a,x - кутова і лінійна координати зони контакту пальця і втулки;  $dS = r_n \cdot da \cdot dx$ .

Про інтегрувавши вираз (3), отримаємо:

$$M_T = r_n^2 \cdot \iint_{x \cdot a} \mathbf{m}(q) \cdot q(x, a) \cdot dx \cdot da. \tag{4}$$

Порівнюючи рівняння (1) і (4) бачимо, що (1) є частковим випадком (4), якщо m, не залежить від q.

Таким чином, дати оцінку впливу конструктивних параметрів шарніра гусениці на зміну  $M_T$  за рівнянням (1) неможливо. Використання m, отриманого за рівнянням (1) для конкретного шарніра, при розрахунку момента тертя в шарнірах з іншими конструктивними параметрами при всіх рівних умовах буде пов'язано з похибкою, тим більшою, чим більша ступінь залежності m(q).

Для обчислення подвійного інтегралу необхідно, щоб були визначені функції q(x,a) і m(q), а також границі інтегрування по a (границі інтегрування по x відомі).

На даний час розв'язана задача відносно q(a) для випадку рівномірного розподілу q по довжині твірної циліндра при відомих радіусах пальця і втулки, модулях пружності, коефіцієнта Пуасона і силі, що стискає пару тертя. У даному випадку момент тертя дорівнює:

$$M_T = r_n^2 \cdot l \cdot \int_{-a}^{a} \mathbf{m}(q) \cdot q(a) \cdot da, \tag{5}$$

де l - довжина втулки.

Функцію m(q), яка входить в підінтегральний вираз, експериментально прямим виміром визначити важко, оскільки для цього необхідно реєструвати на достатньо малих ділянках дуги втулки нормальну і дотичну складові зусилля. Експериментально значно простіше встановити  $M_T = f(P)$ , однак і при відомому  $M_T(P)$  розв'язати аналітично інтегральне рівняння (5) відносно m(q) не являється можливим із за значної складності відомих функцій a(P) і q(a,P).

Для того, щоб встановити вигляд функції  $\mathbf{m}(q)$  необхідно встановити розв'язок інтегрального рівняння (5) для деяких конкретних випадків. Наприклад, при e=0 ( $e=r_{\hat{a}}-r_n$ ,  $r_{\hat{a}}$  — радіус втулки) достатньо складну залежність q(a) з невеликою похибкою замінимо простою:

$$q(a) = \frac{2 \cdot P_0}{p \cdot r_n} \cos a,\tag{6}$$

де  $P_0$  - навантаження на одиницю довжини втулки.

Експериментами, проведеними нами на стенді, встановлено, що функція  $M_T=f(P)$  для пар тертя Сталь Г13-Л+Сталь 55 і Сталь 40X+Сталь 40X достатньо точно описується залежністю  $M_T=A\cdot P_0^n$ .

Припустимо, що m(q) можна представити у вигляді:

$$\mathbf{m}(q) = A_I \cdot q^m. \tag{7}$$

Підставивши (6), (7) і значення  $M_T$  у вираз (5) отримаємо:

$$A \cdot P_0^n = r_n^2 \cdot l \cdot A_I \cdot \left(\frac{2}{p \cdot r_n}\right)^{m+1} \cdot P_0^{m+1} \cdot \int_{-a}^{a} \cos^{m+1} a \cdot da. \tag{8}$$

Аналіз рівняння (8) показує, що при незалежності інтеграла від  $P_0$ , рівність лівої і правої частин можлива, якщо рівні показники степенів при  $P_0$ , тобто m=n-1 і

$$A_{I} = A/(r_{n}^{2} \cdot l \cdot (\frac{2}{p \cdot r_{n}})^{n} \cdot \int_{-a}^{a} \cos^{n} a \cdot da),$$

тоді:

$$\mathbf{m}(q) = A \cdot q^{n-1} / (r_n^2 \cdot l \cdot (2/(\mathbf{p} \cdot r_n))^n \cdot \int_{-a}^{a} \cos^n a \cdot da). \tag{9}$$

Аналіз рівняння (9) показує, що при m = n - 1 у випадку незмінної величини зони контакту тіл, коефіцієнт тертя m не залежить від контактного тиску, а відповідно і від сил, що розтягують шарнір гусениці трактора.

У найбільш загальному випадку для визначення момента тертя в шарнірах гусениць його можна представити у вигляді:

$$M_T = A_I \cdot P_0^n + \dots + A_k \cdot P_0^{n-k+1} + \dots + A_n \cdot P_0 = \sum_{k=1}^n A_k \cdot P_0^{n-k+1}.$$
 (10)

Функцію m(q) представимо у вигляді:

$$\mathbf{m}(q) = A'_{I} \cdot q^{m} + \dots + A'_{k} \cdot q^{m-k+1} + \dots + A'_{m} \cdot q = \sum_{k=1}^{m} A'_{k} \cdot q^{m-k+1}.$$
(11)

Підставивши залежності (10) та (11) у (5), отримаємо:

$$\sum_{k=1}^{n} A_k \cdot P_0^{n-k+1} = r_n^2 \cdot l \cdot \sum_{K=1-a}^{m} A_K' \cdot q^{m-K+2} \cdot da.$$
 (12)

Один з варіантів коли рівність (12) можлива, якщо n = m + 1 і

$$A_{j} \cdot P_{0}^{n-j+1} = r_{n}^{2} \cdot l \cdot \int_{-a}^{a} A'_{j} \cdot q^{m-j+2} \cdot da \quad (j = l, n).$$
 (13)

При конкретній залежноті q від  $P_0$ , використовуючи рівняння (13), можна визначити момент тертя в шарнірі.

Для встановлення зв'язку між показниками степені n і m для циліндричного шарніра при наявності зазору ( $e \neq 0$ ), використаємо рівняння Герца [2]:

$$q(y) = \sqrt{1 - (y/c)^2} \cdot q_0, \quad q_0 = 0.59 \cdot \sqrt{P_0 \cdot E \cdot (D\hat{a} - D_{\bar{i}})/(D\hat{a} \cdot D_{\bar{i}})}, \tag{14}$$

де  $\pm c$  - межі площі контакту; E - модуль пружності;  $q_0$  - напруження в центрі площі контакту;  $D_{\hat{a}}$ ,  $D_{\ddot{i}}$  - діаметри втулки і пальця.

Приймаючи  $M_T = A \cdot P_0^n$  і  $\mathbf{m}(q) = A_I \cdot q^m$ , рівняння (5) з урахуванням (14) запишемо у вигляді:

$$A \cdot P_0^n = r_n \cdot l \cdot A_l \cdot q_0^{m+1} \cdot \int_{-c}^{c} [1 - (y/c)^2]^{0.5(m+1)} dy.$$
 (15)

Для обчислення інтеграла в рівнянні (15), розкладемо підінтегральну функцію в степеневий ряд і візьмемо два перші члени ряду. отримаємо:

$$A \cdot P_0^n \approx r_n \cdot l \cdot A_1 \cdot a_2^{m+1} \cdot a_1 \cdot P_0^{0.5m+1} \cdot [1 - (m+1)/6], \tag{16}$$

де

$$a_1 = 1,08 \cdot \sqrt{D_{\hat{a}} \cdot D_{\tilde{i}} / (E \cdot (D_{\hat{a}} - D_{\tilde{i}}))}; \quad a_2 = 0,59 \cdot \sqrt{E \cdot (D_{\hat{a}} - D_{\tilde{i}}) / (D_{\hat{a}} \cdot D_{\tilde{i}})}.$$

Із рівності (16) маємо m = 2(n-1) і

$$A_I\approx A/(\,r_n\cdot l\cdot a_2^{m+1}\cdot a_I\cdot [\,1-(\,m+1\,)/6\,]).$$

Слід відмітити, що зв'язок між показниками степені m і n залежить від закону розподілу навантажень по площі контакту, в даному випадку m=0 при n=1 і, відпо-

відно, m залежить від q. Точність визначення  $A_1$  залежить від кількості членів ряду і величини m.

Можна відмітити, якщо відома залежність m(q), то з метою отримання мінімальних затрат на тертя, а відповідно, і підвищення ресурсу роботи гусениці трактора, можливо провести розрахунок момента тертя в шарнірах при відомих конструктивних параметрах і оптимізувати конструкцію шарніра.

Список літератури: 1. Антонов А.С. Теория гусеничного движителя. - М.: Машгиз, 1949. 2. Крагельский И.В., Добичин М.Н., Камбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 3. Колодийчук А.К. Потери на трение в шарнирах гусениц с/х тракторов и пути их снижения. Канд. диссертация. - М., МАДИ. 1982.

### ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА АДСОРБЕНТОВ ИЗ ОРЕХОВОЙ СКОРЛУПЫ

Маслова Л.А., Пащенко Л.В., Симонова В.В., Кучеренко В.А.

(ДонНУ, ИнФОУ НАН Украины, г. Донецк, Украина)

The possibilities for adsorbents obtaining from walnuts shell were shown. The optimal indexes for process of adsorbents obtaining were determined.

Одной из самых сложных и болезненных проблем современности, игнорирование которой может сопровождаться катастрофическими последствиями для всего человечества, является интенсивное загрязнение окружающей среды. Наиболее острые экологические проблемы возникают в промышленно развитых странах мира, в том числе и в Украине.

В экономически развитых странах мира, промышленность которых является основным «поставщиком» отходов в окружающую среду обитания человека, в настоящее время интенсивно внедряются в практику безотходные технологии, а также разрабатываются способы утилизации уже накопленных отходов.

Во всем мире для улавливания вредных выбросов промышленных предприятий в воздушный и водный бассейны широко используются адсорбенты, среди которых ведущее значение имеют активные угли (АУ). Спектр их использования достаточно широк и включает также другие направления использования: осветление и очистка реактивов, различных пищевых продуктов, питьевой воды, лекарственных препаратов, крови, использование в качестве катализаторов и носителей катализаторов, для детоксикации почв (нейтрализации отрицательного действия пестицидов) и др.[1-4]

В настоящее время активные угли получают практически из любых твердых углеродсодержащих материалов. Наиболее распространенным сырьем для получения различных адсорбентов являются древесина, торф, некоторые бурые и каменные угли, лигнин.[5] Остальные виды сырья используются в специальных или исследовательских целях. Опыт показал, что хорошие адсорбенты можно получать из фруктовых косточек и скорлупы ореха.

В данной работе активированный уголь получали из скорлупы грецких орехов, рассчитывая, что адсорбент унаследует прочность исходного материала и некоторые его свойства, а именно: низкую зольность, малое содержание микроэлементов.

Основной принцип активирования состоит в том, что углеродсодержащий материал подвергается термической обработке в присутствии реагентов-активаторов. В ходе активирования образуются многочисленные поры. Развитие пористой системы резко увеличивает площадь поверхности пор на единицу массы. Существует два метода конверсии материала в адсорбент – так называемая «химическая» и «физическая» активация. При химической активации исходный материал нагревается при температурах 400-900 градусов Цельсия в присутствии гидроксидов щелочных металлов или другие реагенты-активаторы. При физическом методе подготовленный материал нагревают при температурах 700-900 градусов Цельсия и обрабатывают окислительными газами. Это главным образом водяной пар, углекислый газ, но иногда также используются другие реагенты. [6]

Адсорбенты получали методом физической активации водяным паром. Этот метод обеспечивает высокую скорость активации, прост в реализации. кроме того, материал на выходе из активатора является конечным продуктом и не требует дополнительных операций выделения.

Установка состоит из реактора, размещенного в печи, парогенератора и системы улавливания летучих продуктов. Навеску, размещенную на сетчатом дне реактора, разогревали до заданной температуры в потоке аргона. В необходимый момент времени поток аргона заменяли потоком водяного пара.

В общем случае на выход и состав продуктов процесса паровой активации оказывает влияние температура, скорость нагревания, время изотермической выдержки, состав сырья. В настоящей работе изучено влияние температуры и времени изотермической выдержки.

Выход активного угля рассчитывали по отношению массы активированного образца к начальной массе образца. Использовали гостированные методики определения адсорбционной способности активных углей по метиленовому голубому (МГ). Вычисление удельной поверхности активных углей производится путем сопоставления интенсивности пика десорбированного с угля аргона с интенсивностью пика аргона при калибровке, объем которого известен.

В процессе получения адсорбентов варьировали основные факторы, влияющие на результаты активации – время активации и температуру.

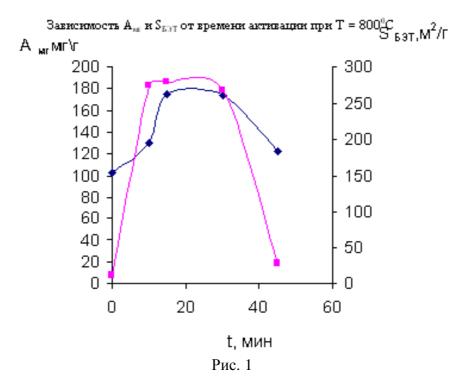
В первом случае изменяли время активации от 0 до 45 минут при постоянной температуре  $800\,^{\circ}\mathrm{C}$ .

Таблица 1. Результаты активации скорлупы и показатели адсорбционных свойств продукта при постоянной температуре активации.

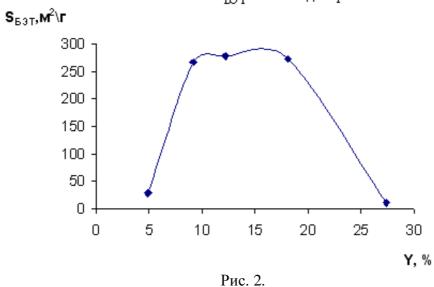
	1 - 7 - 7		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
Темпер	атура, °С	Время, мин	Выход ± 5, %	$A_{M\Gamma} \pm 5$ , $M\Gamma/\Gamma$	$S_{\rm ET} \pm 10$ , $M^2/\Gamma$
8	00	0	27	103	10
8	00	10	18	130	270
8	00	15	12	175	280
8	00	30	9	174	270
8	00	45	5	122	30

Из полученных результатов видно, что зависимость сорбционной активности и удельной поверхности от времени носит экстремальный характер. Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что наилучшие адсорбционные характеристики имеют активные угли, полученные при 15-30 минутах активации. Выход продукта также зависит от времени активации — чем оно продолжительнее, тем выход меньше.

Можно было ожидать, что чем меньше выход, тем больше может быть площадь поверхности пор. Однако, обнаруженная нами зависимость  $S_{\rm БЭТ}$  от выхода AV носит сложный характер (рис.2), что может объясняться выгоранием стенок пор, а следовательно, резким снижением поверхности, при слишком низком выходе AУ. Эти результаты также позволяют определить оптимальный выход продукта при этих условиях. В данном случае это выход около 20 %.



Зависимость  $S_{E\!\!\!>T}$  от выхода при  $T\!\!=\!\!800\,^0\!\mathrm{C}$ 



Второй задачей было определение влияния температуры на основные показатели процесса активации скорлупы. Варьировали Т от 600 до 800 градусов при постоян-

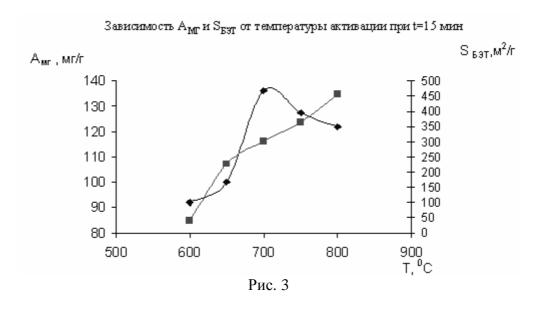
ном времени активации 15 минут, которое было признано оптимальным в первой серии опытов.

Из полученных данных видно, что наилучшие адсорбционные характеристики по метиленовому голубому имеют адсорбенты, полученные при температуре 700°C, а наибольшую площадь поверхности - при температуре 800 °C.

Таблица 2. Результаты активации скорлупы и показатели адсорбционных

свойств продукта при постоянном времени активации

Температура,	Время, мин	$B$ ыход $\pm 5$ ,	$A_{M\Gamma} \pm 5$ ,	$S_{\rm EST} \pm 10$ , $M^2/\Gamma$
°C		%	${ m M}\Gamma/\Gamma$	
600	15	23	97	40
650	15	17	91	230
700	15	17	136	300
750	15	16	127	360
800	15	8	122	460



#### Выволы.

- В работе установлено, что максимальная величина поверхности полученных адсорбентов составляет примерно 450 м  $^2$ /г, т.е превышает в полтора раза величину поверхности медицинского активированного угля, которая равна 330 м $^2$ /г.
- Адсорбционная активность образцов достигает 170 мг/г, что соизмеримо с величинами, характерными для выпускаемых в промышленности осветляющих углей (приблизительно 200 мг/г).
- Выход адсорбента с высокими адсорбционными характеристиками достигает 20%, что является приемлемым для метода физической активации.
- Выполненные эксперименты позволили определить оптимальные условия активации выбранного объекта, а именно возобновляемого углеродсодержащего отхода скорлупы грецкого ореха. Эти условия таковы: 700-800 градусов при времени активации 15 минут.

Таким образом, данная работа показывает возможность получения пористых материалов из скорлупы грецкого ореха, что расширяет сырьевую базу для получения дешевых и эффективных адсорбентов.

Список литературы: 1. Сорбенты из углеродсодержащих отходов / Т.Г. Шендрик, Л.В. Пащенко, Т.В. Хабарова и др. // Труды Международ. науч.- практич. конф. «Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов», Одесса (Украина), апрель 2001 г. – Одесса, 2001. - С. 391-395. 2. Саранчук В.И., Тамко В.А., Швец И.И. Переработка отходов добычи бурых углей // Там же. – С. 311-315. 3. Некоторые проблемы совместного ожижения угля и отходов пластмасс / А.М. Осипов, А.Ф. Попов, Т.Г. Шендрик и др. // Там же. - С. 266-269. 4. Сорбенты из углеродсодержащих отходов / Т.Г. Шендрик, Л.В. Пащенко, Т.В. Хабарова и др. // Там же. - С. 391-395. 5. К.Е. Махорин, А.М. Глухоманюк, Получение углеродных адсорбентов в кипящем слое.- Киев.- Наук. думка. – 1983.- 160 с. 6. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. - Л.: Химия, 1984.-216с.

Использование модификаторов при производстве чугунных мелющих тел, отливаемых в открытых кокилях

## Мельник А.А., Непочатов А.В., Жук В.Л., Туяхов А.И.

(ЗАО «МЛЗ» г. Макеевка, ДонНТУ г. Донецк, Украина)

Results of cupola modification iron by dispersion and ultradispersion materials wich permit to increase hardness of grinding body up to 4,8% and their impact strength more then two times as compares with casting products without modification.

На Макеевском литейном заводе (ЗАО «МЛЗ») изготавливают литые мелющие тела эллипсоидной формы из износостойкого белого чугуна на конвейерно-кокильной машине. Чугун выплавляется в большегрузной вагранке производительностью 13 т/ч.

Одним из путей повышения качества отливок из нелегированного белого чугуна является улучшение их макро- и микроструктуры при вводе в жидкий металл различных дисперсных и ультрадисперсных порошкообразных модификаторов.

По данным промышленного применения ультрадисперсных модификаторов (УДМ), [1, 2, 3] на основе карбидов, нитридов, карбонитридов и силицидов при производстве чугунных отливок обеспечивается увеличение микротвердости цементита (на 10-15%), аустенита (на 20-40%) и перлита (на 30-50%); измельчение структурных составляющих: размер графитных включений уменьшается в два раза, количество перлита увеличивается на 40%. При этом, предел прочности чугуна при растяжении повышается на 40%, а механические свойства отливок возрастают в 1,5-2 раза.

Применение УДМ опробовалось при разработке технологических процессов отливки деталей чугунного фасонного литья для горно-металлургической и машиностроительной промышленности. Однако при производстве чугунных мелющих тел из нелегированного износостойкого чугуна такие модификаторы до настоящего времени на использовались.

Целью настоящей работы являлось повышение служебных характеристик чугунных мелющих тел эллипсоидной формы путем модифицирования жидкого чугуна в разливочном ковше дисперсными и ультрадисперсными модификаторами.

При проведении исследований в литейном цехе ЗАО «МЛЗ» использовался чугун, выплавленный в вагранках производительностью 13т/ч. В качестве шихтовых материалов использовались передельный чугун, оборотный чугунный лом, стальной лом, флюсы, кокс, 45% - ферросилиций. Выплавленный чугун имел следующий состав, масс. %: углерод 3,24-3,35; кремний 0,98-1,18; марганец 0,37-0,56; сера 0,110-0,175; фосфор 0,172. Температура чугуна измерялась оптическим пирометром на струе при сливе чугуна из вагранки в ковш и составляла 1320-1340°C. Масса чугуна в ковше колебалась в интервале 800-900 кг при толщине слоя шлака 10-15 мм и его массе 15-20 кг.

Для модифицирования жидкого чугуна в чугуноразливочном ковше использовались дисперсные и ультрадисперсные порошки с размерами частиц 0.01 - 1.0 мкм в количестве 70 г на ковш. Применялись два типа модификаторов: ультрадисперсный по ТУ У24.6-24242050-001-2002 (углерод 14-20%; титан 44-56%, азот 6-10%, кремний – остальное) и высокодисперсный нитрид титана по ТУ 6-09-112-75 ( $TiN \sim 100\%$ ).

При отработке технологии модифицирования было опробовано четыре варианта ввода модификатора в ковш:

- перед сливом чугуна модификатор в специальном пакете помещался на дно ковша и для предотвращения преждевременного всплывания (насыпная плотность модификатора  $\sim 400 {\rm kr/m}^3$ ) располагался между двумя скрепленными между собой стальными пластинами толщиной 5 мм;
  - модификатор помещался на дно ковша в стальной жестяной упаковке;
- модификатор помещался в герметически закрытую стальную трубу диаметром 1/2'' с толщиной стенки 2 мм и укладывался на дно ковша;
- модификатор, находящийся в герметически закрытой стальной трубе такого же диаметра, вводился в ковш после наполнения его чугуном при помощи приваренной к трубе штанги.

После наполнения ковша отбирались пробы шлака при различных способах ввода модификаторов. В дальнейшем отобранные пробы шлака анализировались на содержание оксидов, в том числе на  $TiO_2$ , среднее содержание которого составило 2,34% по массе. Массовая доля общего титана (в виде  $TiO_2$  и TiN) определялись фотоколориметрическим методом на установке типа КФК2МП и составила 1,46%. Коэффициент распределения TiN между металлом и шлаком рассчитывался, исходя из общей массы шлака в ковше, в среднем составляющей 17 кг. Расчет распределения TiN между шлаком и чугуном производился по формуле:

$$h = \frac{G_{TiN}^{o \delta u \mu} - G_{TiN}^{u n}}{G_{TiN}^{o \delta u \mu}} 100\% ;$$

где  $G_{\mathit{TiN}}^{\mathit{oбщ}}$  - масса введенного в жидкий чугун порошкообразного  $\mathit{TiN}$ ;

 $G_{TiN}^{\it un}$  - масса TiN, перешедшего в шлак.

Количество введенного порошка TiN составило 70 г на 1 т жидкого чугуна для всех способов ввода. На основе результатов химического и фотоколориметрического методов анализа определялась доля TiN в шлаке и металле. Так как содержание непосредственно TiN в металле и шлаке не определяли, поэтому использовались расчетные методы: определялось содержание оксида титана в шлаке и общее содержание титана в шлаке в виде  $TiO_2$  и TiN. Полученное значение коэффициента распределения нитрида титана между шлаком и металлом составило 82,5%, что свидетельствует о достаточно

хорошем усвоении нитрида титана жидким чугуном для разработанных способов ввода в чугун порошкообразного TiN.

Для изучения влияния модифицирования на микроструктуру, ударостойкость и твердость мелющих тел отбирались по три образца в начале, середине и в конце разливки из обычного и модифицированного чугуна. В результате испытаний на ударостойкость (количество ударов до разрушения мелющих тел) на испытательной машине копрового типа среднее значение ударостойкости составило 30,4 из обычного чугуна и 67,3 из модифицированного чугуна. Как видно из приведенных данных, модифицированные мелющие тела превосходят по ударостойкости обычные более чем в 2 раза.

Для определения твердости (использовался метод Бринелля) вырезались образцы мелющих тел типа Т9 модифицированных и сравнительных (без модифицирования) в продольном их сечении в центральной части. Средние значения измерений твердости по сечению образца составили:

- обычные образцы 422HB;
- модифицированные УДМ 440 HB;
- модифицированные *TiN* 444 HB.

Приведенные данные свидетельствуют о положительном влиянии модифицирования, при этом, разница в показателях твердости незначительна. Проведены также исследования микроструктуры этих образцов на нетравленных и протравленных реактивом Ниталя шлифах при увеличении 100-500 крат. Металл обычных образцов включал в основном сульфиды, а в модифицированных образцах кроме указанных включений находились единичные желто-розовые кристаллы нитрида титана в сульфидной оболочке, что свидетельствует о равномерном распределении модификатора по объему металла.

Проведенные исследования по эффективности использования дисперсных и ультрадисперсных материалов на основе карбонитридов титана и нитридов титана позволили определить наиболее рациональный способ их ввода в ковш с жидким чугуном, который обеспечил равномерность распределения и высокую усвояемость (более 80%) этих материалов в чугуне.

Результаты испытаний служебных характеристик мелющих тел, отлитых из модифицированного чугуна, показали повышение твердости на 4-8% и ударостойкости более чем в 2 раза по сравнению с обычными.

Список литературы: 1. Рекламная информация фирмы ПКФ ООО «Статус». – Днепропетровск, 2003. – 3с. 2. Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А. Практические аспекты применения ультрадисперсных модификаторов для чугунных отливок. // Союз-Литье. – 2003. – 3с. 3. Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А. О критериальной оценке эффективности модификаторов при обработке чугунов. // Теория и практика металлургии. – 2004. - №2. – С. 25-29.

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Мельников В.З., Зубков В.А., Ефименко М.А. (*МГИУ*, *Москва*, *Россия*)

The article describes the ways of improving the dependability and quality of gear systems including those based on multiple contacts. Results of bench tests are shown/. The issues of se-

curing multiple contacts in a real gear system given manufacturing error in unit and batch production are considered.

Зубчатые передачи механических трансмиссий силовых агрегатов характеризуются повышенными требованиями к их прочности и ресурсу. Как составная часть силовых агрегатов они существенно влияют на их основные технико-экономические показатели: массу, габариты, ресурс, уровень шума и вибраций, стоимость и т.д. Например, доля стоимости зубчатых передач в стоимости силового агрегата может составлять до 30 %, а масса и габариты такого агрегата в значительной мере определяются размерами его зубчатых передач. В этом отношении повышение качества зубчатых передач является составной частью общей задачи повышения надежности приводных систем для любого машинного агрегата.

Основные причины отказов зубчатых передач - это следствие ошибок при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Повышение качества зубчатых передач традиционными средствами — за счет минимизации ошибок, увеличения размеров и прочности передач и т.д., т.е. путем повышения сопротивляемости передач воздействиям внешней среды во многих случаях малоэффективны, так как требует значительных материальных затрат и не всегда приводит к желаемым результатам. Значительного снижения затрат и улучшения при этом показателей качества зубчатых передач можно достигнуть за счет автоматизация процесса их проектирования. Компьютерные технологии позволяет сократить сроки проектирования, практически исключить ошибки, а также осуществлять оптимальное проектирование передач по заданным условиям прочности и ресурса, в том числе на основе новых технических решений, обеспечивающих более высокий уровень надежности передач.

К новым техническим решениям можно отнести, в частности, применение зубчатых передач с многопарным зацеплением. Такие передачи за счет одновременного контакта нескольких пар зубьев по сравнению со стандартными передачами с однопарным зацеплением имеют более высокие показатели по прочности, ресурсу и шумности. В качестве показателя многопарного зацепления используется коэффициент торцового перекрытия  $e_a$ , численная величина которого, характеризующая отношение длины активной линии зацепления к шагу зацепления, должна быть больше двух. Проектирование передач с многопарным контактом производится путем определения параметров геометрии зацепления при условии, что

$$\mathbf{e}_a > 2 \ . \tag{1}$$

При этом должны обеспечиваться требования по контактной и изгибной прочности зубьев при минимально возможных габаритах передачи. Решение такой задачи возможно в основном с помощью специальных компьютерных программ. Синтез геометрии многопарного зацепления осуществляется на основе высотно-профильной модификации зубьев за счет смещений исходного контура при уменьшенных или нулевых значениях углов наклона зубьев. Параметры исходного контура для многопарных передач выбираются в пределах: угол профиля  $a \le 20^{\circ}$ ; коэффициент высоты головки  $h_a^* \ge 1,2$ . Внешним отличительным признаком многопарных передач может служить увеличенная высота зубьев с коэффициентом высоты  $h^* \ge 2,65$ .

В таблице 1 приведены значения коэффициентов  $e_a$  , полученные путем численной реализации условия (1) для цилиндрических прямозубых передач с внешним

многопарным зацеплением и исходными данными, исключающими подрез и интерференцию зубьев:

Таблица 1  $m=1\;;\;z_1=23\;;\;z_2=23-115\;;\;x_1=-0.045\;;\;a=20^{\circ}\;;\;h_a^*=1.3\;.$ 

$\mathcal{Z}_2$	$x_2$		$\mathcal{Z}_2$	$x_2$	$e_a$
23	-0,045	2,018	35-36	-0,492	2,294
24	-0,100	2,048	37-38	-0,493	2,294
25	-0,160	2,081	39-42	-0,494	2,294
26	-0,220	2,116	43-45	-0,495	2,294
27	-0,279	2,151	46-49	-0,496	2,294
28	-0,337	2,188	50-53	-0,497	2,294
29	-0,396	2,227	54-58	-0,498	2,294
30	-0,454	2,268	59-63	-0,499	2,294
31-34	-0,491	2,294	64-115	-0,500	2,294

где  $z_1, z_2, x_1, x_2$  - числа зубьев колес и коэффициенты смещений.

Как видно из таблицы 1 многопарное зацепление зубьев осуществляется при нестандартных значениях параметров исходного контура, а величина коэффициента  $\boldsymbol{e}_a$  имеет определенный предел. Выбор параметров исходного контура для получения многопарного зацепления производится на основе анализа значений потенциально возможного коэффициента торцового перекрытия  $\boldsymbol{e}_{a0}$ :

$$e_{a0} = \frac{4 \cdot h_a^*}{\mathbf{p} \cdot \sin 2\mathbf{a}} \ . \tag{2}$$

Для стандартного исходного контура  $e_{a0}$ =1,98 т.е. многопарное зацепление со стандартным исходным контуром теоретически неосуществимо. С уменьшением угла профиля a и увеличением коэффициента  $h_a^*$  значения коэффициентов перекрытия  $e_{a0}$  и  $e_a$  увеличиваются и, наоборот, при увеличении a и уменьшении  $h_a^*$  - уменьшаются. Это положение справедливо как для прямозубых, так и косозубых передач. Однако осуществить многопарное зацепление в косозубой передаче значительно сложнее, так как в такой передаче торцовое перекрытие всегда будет меньше из-за

влияния угла наклона зубьев b и с увеличением угла b величина  $e_a$  будет уменьшаться.

Основное преимущество передач с многопарных зацеплением - это снижение нагрузки на зубья за счет многопарного контакта. При расчете прочности многопарной передачи, учитывая неравномерное распределение нагрузки между зубьями, расчетная нагрузка на зубья выбирается в пределах 0,4 - 0,7 от действующей в зависимости от величины парности контакта. При двухпарном зацеплении расчетная нагрузка на зубья принимается равной 0,6...0,7 от рабочей, при трехпарном - 0,4...0,6. Более точное определение нагрузки на зубья производится на основе математической модели многопарного контакта, учитывающей жесткость зубьев. Для расчета контактной прочности многопарных передач можно использовать стандартную методику расчета прочности по ГОСТ 21354-87. При анализе изгибной прочности ввиду сложности применения стандартной методики, рассчитанной в основном на передачи со стандартным исходным контуром, в качестве расчетной схемы используется аналоговая модель зуба в виде консольной балки переменного сечения с защемленным основанием. Это позволяет определять изгибные напряжения во всех сечениях профиля зубьев при любых значениях параметров исходного контура.

Результаты стендовых испытаний многопарных передач [1] показали значительное улучшение их характеристик по сравнению с передачами с однопарным зацеплением: по статической прочности в 1,4-1,8 раза; по шуму на 2-5 дБ. Более значительные результаты можно получить, когда  $e_a > 3$ , т.е. при трехпарном зацеплении. Параметры исходного контура передач в этом случае должны иметь следующие значения: угол профиля  $a < 17^{\circ}$ ; коэффициент  $h_a^* > 1,35$ .

Дополнительным резервом для повышения изгибной прочности многопарных передач может служить увеличение угла профиля зубьев на нерабочей стороне при несимметричной форме зубьев [2], т.е. на рабочей стороне зуба при многопарном зацеплении  $a \leq 20^{\circ}$ , а на нерабочей стороне  $a > 20^{\circ}$ . Таким способом за счет расширения основания зубьев можно повысить их изгибную прочность при многопарном контакте еще в среднем на 10%-15%. Значения профильных углов на нерабочей стороне ограничиваются при этом только условиями незаострения зубьев. В результате только за счет многопарного зацепления в сочетании с несимметричной формой зубьев можно увеличить прочностные и ресурсные показатели зубчатых передач более чем в два раза. Это позволяет в итоге варьировать показатели качества зубчатых передач. Например, иметь повышенный крутящий момент и ресурс при данных габаритах, материалах и технологии упрочнения или уменьшенные габариты при данном моменте и ресурсе, либо компромиссный вариант с улучшенными как ресурсо-прочностными, так и габаритными показателями .

Для серийного изготовления многопарных передач, в том числе с несимметричной формой зубьев, требуется только новый зуборезный инструмент с нестандартной геометрией, по сложности и стоимости практически не отличающийся от стандартного. При единичном или мелкосерийном производстве обработку зубьев таких передач можно производить без предварительного фрезерования зубьев путем чернового и чистового зубошлифования непосредственно из круглой заготовки [3], что исключает потребность в новом зуборезном инструменте. Для минимизации влияния на качество передач погрешностей изготовления номинальное значение коффициента e у передач с многопарным контактом должно быть не менее 2,2. В противном случае пре-

имущества многопарного зацепления могут быть не реализованы. В частности, необходимо контролировать внешние диаметры зубчатых колес до и после термообработки, так как эти диаметры определяют длину активной линии зацепления и по этой причине не должны искусственно уменьшаться при проектировании и изготовлении. Для крупномодульных передач с модулем от 8 мм и выше, учитывая нелинейную зависимость между размерами передач и точностью их изготовления, для обеспечения многопарного контакта необходимо, чтобы номинальное значение коэффициента  $\boldsymbol{e}_a$  было бы не менее 2.3.

Указанные методы повышения качества зубчатых передач в том числе на основе многопарного зацепления, можно распространить также и на другие виды передач - конические передачи с прямыми и круговыми зубьями и червячные цилиндрические передачи, которые также широко применяются в силовых приводах машинных агрегатов.

Список литературы: 1. Мельников В.З. Многопарные зацепления — средство оптими- зации конструкций зубчатых передач. Автомобильная промышленность, 1999, № 4, с. 16-18. 2. Вулгаков Э.Б., Капелевич А.Л. Возможности несимметричных зубчатых передач. Вес- ник машиностроения, 1986, № 4, с. 14-16. 3. Фрадкин Е.И. О шлифовании чугунных зуб- чатых колес из непрорезанной заготовки. Вестник машиностроения, 1996, № 9, с. 22-24.

# МЕХАНИЗМ УПРОЧНЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ДОВОДКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРЕМНЕСОДЕРЖАЩИХ АБРАЗИВНЫХ ПАСТ

Мельникова Е.П. (АДИ ДонНТУ, г. Горловка, Украина)

In work are brought results theoretical and experimental studies of the possibility of the using flint containing abrasive pastes for processing of the metallic surfaces.

В настоящее время для притирки металлических поверхностей в различных отраслях промышленности применяют полимер – абразивные составы [1, 2]. Полимеры, входящие в состав абразивных паст, оказывают сложное действие на процесс притирки. Они, изменяя вязкость абразивных паст, воздействуют на демпфирующее состояние рабочего слоя в зоне притирки и, тем, самым на царапающий эффект абразивных зерен. Кроме того, недостатком этих паст является то, что все они содержат большое число компонентов органического характера. Это существенно повышает их стоимость.

Все это в свою очередь побуждает искать более дешевые заменители неминерального происхождения, позволяющих получать качество поверхности при доводке не ниже, чем на существующих составах.

Предварительные исследования ряда водорастворимых неорганических полимеров, проведенные с целью определения возможности использования их в качестве основы абразивных паст для доводки, показали, что лучшими свойствами обладают составы, содержащие жидкое стекло (ЖС) [3].

Цель настоящей работы – исследование механо – химических процессов, протекающих в контакте «деталь – паста – притир», обработанных с применением различных видов паст (используемой в промышленности и разработанной кремнесодержащей).

Эффективность различных абразивных составов испытывалась на специально разработанной лабораторной установке, реализующей процесс притирки.

Анализ механо-химических процессов, протекающих в контакте «деталь – паста – притир», показал возможность использования жидкого стекла как основы для абразивных паст.

Проведенные теоретические исследования позволили описать процесс взаимодействия абразивных паст с обрабатываемой деталью в присутствии кремнесодержащих компонентов. Установлено, что эффективность обработки обусловлена наличием в составе паст гелеобразной структуры на основе жидкого стекла (ЖС). Образующийся при такой обработке карбонат кальция "встраивается" в промежутки пор в силикатых структурах, действуя как полирующий агент. Механизм действия гидратированных полимерных кремнекислых соединений, входящих в состав паст, заключается в равномерном распределении кальцитов по объему пасты.

Состояние поверхности деформированного материала, в том числе отложения, включения и пленки на ней, кардинальным образом влияет на процессы деформации и разрушения поверхностных слоев образца при трении, определяя кинетику генерации и перемещения дислокаций, а также образования плоских деформационных скоплений, являющихся начальным зародышем трещин [4].

Одним из основных проявлений влияния поверхности на кинетику деформации и, как следствие её, разрушение материала, является возникновение вблизи поверхности так называемых «сил изображения» [5], когда дислокации изнутри кристалла притягиваются к поверхности, если модуль сдвига среды, прилегающей к внешней поверхности меньше модуля сдвига материала матрицы и отталкиваются от нее в обратном случае.

Действие кремниевых структур проявляется в эффекте упрочнения поверхности из-за возникновения отталкивающих «сил изображения», определяемых высоким модулем сдвига соединений кремния.

Рассмотрен случай сил изображения для системы: чугун СП — поверхностная пленка соединений кремния, компоненты которой имеют модули сдвига  $G_1$  и  $G_2$ . Для случая  $G_2$   $\mathbf{f}$   $G_1$  деформирующая дислокации отталкивается от поверхности, причем этот эффект тем сильнее, чем больше разница между модулями сдвига и меньше расстояние до поверхности трения.

Введение в состав среды компонентов, в частности, силикатов, образующих при обработке поверхности пленки с модулем сдвига отличным от модуля сдвига материала, обеспечивают, наряду с большей эффективностью процесса сглаживания рельефа поверхности, эффект упрочнения приповерхностного слоя материала, сохраняющийся достаточно длительное время при последующей эксплуатации деталей.

Электронная микрофотография (рис. 1), иллюстрирует образование вблизи поверхности обрабатываемой детали так называемых "оборванных" малоугловых границ (указана стрелкой), представляющих собой дислокационную конфигурацию схема, которой приведена на рис. 2.

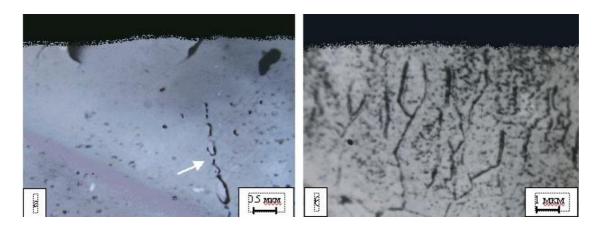


Рис. 1. Оборванные малоугловые границы а – отдельная граница; б – система границ

Малоугловые границы вблизи поверхности не пересекают границу, обрываясь на расстоянии долей или единиц мкм от них (см. рис.1). При этом, как экспериментально установлено, в объеме материала от субграниц до поверхности детали образуется область с высоким, зачастую равным или превышающим макроскопический предел текучести материала, уровнем микроискажений решетки.

Возникновение в приповерхностном слое обрабатываемых деталей областей с высоким уровнем микроискажений экспериментально подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа. При этом использовался метод обратного микропучка. Предметом анализа при этом являлось азимутальное (вдоль дифракционной линии) строение рефлексов от отдельных зерен и их фрагментов в исследуемом материале.

При высокой плотности хаотически распределенных дислокаций и, соответственно, высоком наклепе, рефлексы от отдельных субструктурных составляющих — фрагментов, блоков мозаики, являющихся хорошей моделью областей когерентного рассеивания, сливаются, сама же зона отражения зерна растягивается в азимутальном направлении, и рентгенограмма представляет отдельные, неразделенные на фрагменты дифракционные пятна от зерен материала, расположенные вдоль дифракционной линии. При этом фон между отдельными рефлексами относительно высок.

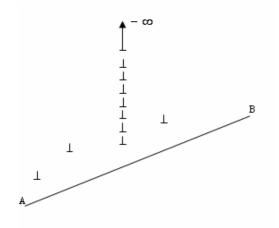


Рис. 2. Схема оборванной границы наклона, AB – граница зерна

Соответствующие условия получения рентгенограмм – размер фокального пятна трубки, не превышающий 40 – 50 мкм, коллимирование первичного пучка, геометрия съемки, обеспечивали получение отдельных рефлексов от областей когерентного рассеивания, т. е. областей свободных от дислокаций в зоне отражения отдельных зерен. Степень разделения в тангенциальном направлении зоны отражения зерна на отдельные зоны отражения от областей когерентного рассеяния характеризует степень микроискажений решетки матрицы в отражающем объеме, в

первом приближении определяющую степень наклепа материала.

При дальнейшем увеличении степени наклепа фон между отдельными отражениями растет, наконец, рефлексы сливаются дифракционная линия становится сплошной, возрастает при этом и ее ширина, что при весьма высоком наклепе приводит к исчезновению эффекта разделения. Соответственно, при малой степени наклепа зоны отражения от отдельных зерен более или менее отделены друг от друга, заметно внутреннее строение отдельных рефлексов, фон между которыми в азимутальном направлении низок. Важно отметить, что при анализе рентгенограмм, полученных при перпендикулярном падении первичного пучка на исследуемую поверхность, в формировании дифракционного изображения участвует слой исследуемого материала толщиной в несколько микрон и эффекты, связанные с собственно поверхностью более или менее вуалируются. Поэтому полученные методом рентгенографии результаты при достаточно жестком используемом излучении следует расценивать лишь как качественные, если предметом исследования, как в данном случае, являются поверхностные слои толщиной меньшей, чем глубина проникновения рентгеновских лучей в исследуемый материал и, соответственно толщина дифрагирующего слоя.

На рис. 3 приведены микроренгенограммы материала чугуна, после обработки в традиционно используемой для доводки пасты КТ (a), а так же кремнесодержащей пасты (б).

Видно, что рефлексы от отдельных зерен (указано на рис. 3, а стрелками) для поверхностей, обработанных с использованием пасты КТ разделены. Тип рентгенограмм свидетельствует о сравнительно невысокой степени наклепа.

На рентгенограмме (рис. 3, б) можно наблюдать два практически сплошных четких рефлекса, в отличии от рентгенограммы образца, обработанного с использованием пасты КТ. Эффекты, обусловленные возрастанием степени наклепа приповерхностных слоев более ярко выражены — рефлексы от отдельных зерен сливаются, дифракционная линия становится сплошной.

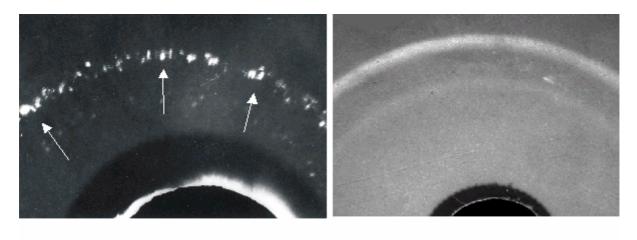


Рис. 3. Рентгенограмма поверхности чугуна, обработанного с использованием: а. – пасты КТ; б – силикатной пасты

Вероятным механизмом упрочнения поверхностного слоя металлов в процессе микропластической деформации при финишной обработке может быть барьерный эффект поверхности. Этот вывод основывается на следующих условиях: усилия трения при финишной обработке относительно небольшие и не ведут к существенному нагреву поверхности, что могло бы интенсифицировать диффузионные процессы и сформировать в поверхностном слое металла включение вторичных фаз или создать атмосферы на дислокациях и тем самым вызвать торможение дислокаций; в состав кремнесодержащих паст входят вещества, обладающие достаточно низкой диффузионной способностью в Fe-C — матрице; их участие в формировании вторичных фаз и атмосфер в условиях финишной обработки маловероятно.

**Выводы**. Таким образом, результаты рентгеноструктурного анализа показывают, что с переходом от обработки с использованием КТ к обработке в силикатной среде, степень наклепа поверхности обрабатываемого материала возрастает. Это коррелирует с предложенной моделью влияния образования при финишной обработке деталей в кремнесодержащих средах поверхностных пленок. Что обеспечит ускорение процесса приработки сопрягаемых поверхностей и их износостойкость в процессе последующей эксплуатации.

Список литературы: 1. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. - М.: Машиностроение, 1988. - 383с. 2. Прогрессивные методы абразивной обработки металлов/Под ред. И.П. Захаренко, В.И. Лавриненко, С.М. Дехтяренко. - Киев: Техника, 1990. - 152с. 3. Головченко И.П., Зубков Е.Н. Жидкое стекло как основа для смазочных материалов. – Ростов н/Д, 1992. - 80с. 4. Алехин В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов. – М.: Наука, 1983. – 277с. 5. Теория дислокаций: Пер. с англ. Дж. Хирт, Лорте И. / Под ред. Э.М.Нагорного, Д.А.Оситьяна. – М.: Атомиздат, 1972. – 599 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ ОРТО-ТРОПНОЙ ОБОЛОЧКИ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИЙ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НОРМИРОВАНИЯ

**Меньков Г.Б.** (ИПриМ РАН, Москва, Россия)

The mathematical modeling of thin-walled cylindrical shells of revolution is considered. The Furie method results in systems of ordinary differential equations. Thus there is a necessity of construction of such fundamental system of solution, which leads to well-posed matrix of the system of linear algebraic equations. The construction of the necessary fundamental system of solutions is provided by the offered method of the functional normalization [1].

Моделирование сложных тонкостенных конструкций, состоящих из слоистых оболочек вращения, в задачах механики деформирования приводит после разделения переменных методом Фурье к жестким системам обыкновенных дифференциальных уравнений. При этом возникает необходимость построения такой фундаментальной системы решений, которая при определении произвольных постоянных из граничных условий приводит к хорошо обусловленной матрице системы линейных алгебраических уравнений. Построение необходимой фундаментальной системы решений обеспечивается предложенным методом функционального нормирования [1].

Рассмотрим задачу деформирования цилиндрической слоистой ортотропной оболочки с учетом деформаций поперечного сдвига по теории типа Тимошенко [2]. Построим систему дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях и такую форму аналитического решения, которая позволяет применить метод функционального нормирования. Уравнения равновесия имеют вид:

$$\frac{\partial (rT_I)}{\partial s} - T_2 \cos q + \frac{\partial T_{2I}}{\partial j} + rk_I Q_I + rq_I = 0, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial (rT_{12})}{\partial s} + \frac{\partial T_2}{\partial j} + T_{21}\cos q + Q_1\sin q + rq_2 = 0, \qquad (2)$$

$$\frac{\partial (rQ_I)}{\partial s} + \frac{\partial Q_2}{\partial j} - rk_I T_I - T_2 \sin q + rq_3 = 0, \tag{3}$$

$$\frac{\partial (rM_I)}{\partial s} + \frac{\partial M_{I2}}{\partial j} - M_2 \cos q - rQ_I + rm_I = 0, \qquad (4)$$

$$\frac{\partial (rM_{12})}{\partial s} + \frac{\partial M_2}{\partial j} + M_{12}\cos q - rQ_2 + rm_2 = 0, \qquad (5)$$

где R — радиус оболочки, г —расстояние рассматриваемой точки от меридиана до оси вращения, для цилиндрической оболочки  $r=R=const;\ q$  - угол между осью вращения и нормалью к исходной поверхности, для цилиндрической оболочки  $q=p/2;\ s,\ a=s/R$  - размерная и безразмерная продольная координата, j - окружная координата;  $T_1,\ T_{12},\ Q_1$  - нормальное, сдвигающее и поперечное усилия в сечении s=const (a=const);  $T_2,\ T_{21},\ Q_2$  - нормальное, сдвигающее и поперечное усилия в сечении  $\phi=const;\ M_1,\ M_{12}$  - изгибающий и крутящий моменты в сечении  $\phi=const;\ M_1,\ M_{12}$  - изгибающий и крутящий моменты в сечении  $\phi=const;\ M_2,\ M_{21}$  - изгибающий и крутящий моменты в сечении  $\phi=const;\ M_2,\ M_2$  - компоненты вектора внешних нагрузок  $\phi=const;\ M_2,\ M_2$  - Для цилиндрической оболочки кривизны  $\phi=const;\ M_2$  -  $\phi=const;\ M_2$  -  $\phi=const;\ M_2$  - компоненты вектора внешних нагрузок  $\phi=const;\ M_2$  - Для цилиндрической оболочки кривизны  $\phi=const;\ M_2$  -  $\phi=const;\ M_2$  -  $\phi=const;\ M_2$  -  $\phi=const;\ M_2$  - компоненты вектора внешних нагрузок  $\phi=const;\ M_2$  - Для цилиндрической оболочки кривизны  $\phi=const;\ M_2$  -  $\phi=const;\ M_2$  -

Шестое уравнение равновесия становится тождеством при использовании предложенных Балабухом и Новожиловым соотношений

$$T_{12} = S + k_2 H$$
,  $T_{21} = S + k_1 H$ ,  $M_{12} = M_{21} = H$ . (6)

Соотношения между деформациями и перемещениями:

$$e_I = \frac{\partial u}{\partial s} + k_I w, \tag{7}$$

$$e_I = \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial j} + \frac{\cos q}{r} u + k_2 w, \tag{8}$$

$$e_{12} = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial j} + r \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v}{r} \right), \tag{9}$$

$$k_I = \frac{\partial y_I}{\partial s} - k_I e_I, \tag{10}$$

$$k_2 = \frac{1}{r} \frac{\partial y_2}{\partial j} + \frac{\cos q}{r} y_1 - k_2 e_2, \qquad (11)$$

$$k_{12} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial y_I}{\partial j} + r \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{y_I}{r} \right) - \frac{k_2}{r} \left( \frac{\partial u}{\partial j} - v \cos q \right) - k_I \frac{\partial v}{\partial s} \right), \tag{12}$$

$$g_I = y_I + \frac{\partial w}{\partial s} - k_I u \,, \tag{13}$$

$$g_2 = y_2 + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial j} - k_2 v, \tag{14}$$

где u, v, w — перемещения точек срединной поверхности;  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  - полные углы поворота прямолинейного элемента;  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  - углы поворота прямолинейного элемента, обусловленные поперечными сдвигами.

Соотношения упругости:

$$T_1 = C_{11}e_1 + C_{12}e_2, (15)$$

$$T_2 = C_{12}e_1 + C_{22}e_2, (16)$$

$$S = C_{66}e_{12}, (17)$$

$$M_1 = D_{11}k_1 + D_{12}k_2, (18)$$

$$M_2 = D_{12}k_1 + D_{22}k_2, (19)$$

$$H = 2D_{66}k_{12}, (20)$$

$$Q_I = A_{II}g_I, (21)$$

$$Q_2 = A_{22}g_2. (22)$$

Рассматриваются замкнутые в отношении окружной координаты оболочки, контуры которых совпадают с линиями a = const. На каждом контуре оболочки задаются по пять граничных условий в усилиях, моментах, перемещениях или их линейных комбинациях.

Построим систему уравнений равновесия в перемещениях. Введем обозначения

$$b_{ij} = \frac{C_{ij}}{h}, d_{ij} = D_{ij} \frac{12}{h^3}, a_{ij} = \frac{A_{ij}}{h}$$
 (i,j=1,2); 
$$b_{33} = \frac{C_{66}}{h}, d_{ij} = D_{ij} \frac{12}{h^3}.$$
 (23)

Для оболочек вращения используем метод Фурье разделения переменных

$$f_{I}(s,j) = f_{I0}(s) + \sum_{k=0}^{\infty} f_{Ik}(s) cos(kj) + \sum_{k=0}^{\infty} f_{Ik}^{*}(s) sin(kj),$$
(24)

$$f_2(s,j) = f_{20}(s) + \sum_{k=1}^{\infty} f_{2k}(s) \sin(kj) - \sum_{k=1}^{\infty} f_{2k}^*(s) \cos(kj),$$
(25)

где j и s - окружная и продольная координаты,  $f_I$  и  $f_2$  обозначают величины (силы, перемещения и т. д.), соответственно симметричные или антисимметричные относительно начального меридиана оболочки. Знаки в (24-25) выбраны так, чтобы в дальнейшем получить одни и те же обыкновенные дифференциальные уравнения для  $f_{ik}(s)$  и  $f_{ik}^*(s)$  (i=1,2).

С помощью соотношений между деформациями и перемещениями (7-14) и соотношений упругости (15-22) получаются выражения усилий и моментов через перемещения. После подстановки их в уравнения равновесия (1-5) с учетом (6), получаются уравнения равновесия в перемещениях. Разделив обе части всех уравнений на Rh, а также последние два уравнения на минус единицу, получим:

$$b_{II} \frac{\partial^2 u}{\partial s^2} + b_{33} \frac{\partial^2 u}{R^2 \partial j^2} + (b_{12} + b_{33}) \frac{\partial^2 v}{R \partial s \partial j} + b_{I2} \frac{\partial w}{R \partial s} + \frac{q_I}{h} = 0,$$
 (26)

$$\left(b_{12} + b_{33} - \frac{h^2}{12R^2} d_{33}\right) \frac{\partial^2 u}{R \partial j \partial s} + b_{33} \frac{\partial^2 v}{\partial s^2} + b_{22} \frac{\partial^2 v}{R^2 \partial j^2} - \frac{a_{22}}{R} \frac{v}{R} + \frac{(a_{22} + b_{22})}{R} \frac{\partial w}{R \partial j} + \frac{h^2}{12R} d_{33} \left(\frac{\partial^2 y_1}{R \partial s \partial j} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial s^2}\right) + \frac{a_{22}}{R} y_2 + \frac{q_2}{h} = 0,$$
(27)

$$\frac{b_{12}}{R}\frac{\partial u}{\partial s} - \frac{a_{22} + b_{22}}{R}\frac{\partial v}{R\partial j} + a_{11}\frac{\partial^2 w}{\partial s^2} + a_{22}\frac{\partial^2 w}{R^2\partial j^2} - \frac{b_{22}w}{R^2} + a_{11}\frac{\partial y_1}{\partial s} + a_{22}\frac{\partial y_2}{R\partial j} + \frac{q_3}{h} = 0, (28)$$

$$\frac{h^{2}}{12R}d_{33}\frac{\partial^{2}u}{R^{2}\partial j^{2}} + \frac{h^{2}}{12R}d_{12}\frac{\partial^{2}v}{R\partial j\partial s} + \left(a_{11} + \frac{h^{2}}{12R^{2}}d_{12}\right)\frac{\partial w}{\partial s} - \left(\frac{h^{2}}{12}d_{11}\frac{\partial^{2}y_{1}}{\partial s^{2}} + \frac{h^{2}}{12}d_{33}\frac{\partial^{2}y_{1}}{R^{2}\partial j^{2}}\right) + a_{11}y_{1} - \frac{h^{2}}{12}(d_{12} + d_{33})\frac{\partial^{2}y_{2}}{R\partial j\partial s} - \frac{m_{1}}{h} = 0,$$
(29)

$$\frac{h^{2}}{12R}d_{33}\frac{\partial^{2}u}{R\partial j\partial s} + \frac{h^{2}}{12R}d_{22}\frac{\partial^{2}v}{R^{2}\partial j^{2}} - a_{22}\frac{v}{R} + \left(a_{22} + \frac{h^{2}}{12R^{2}}d_{22}\right)\frac{\partial w}{R\partial j} + \frac{h^{2}}{12}\left(d_{12} + d_{33}\right)\frac{\partial^{2}y_{1}}{R\partial j\partial s} - \left(\frac{h^{2}}{12}d_{33}\frac{\partial^{2}y_{2}}{\partial s^{2}} + \frac{h^{2}}{12}d_{22}\frac{\partial^{2}y_{2}}{R^{2}\partial j^{2}}\right) + a_{22}y_{1} - \frac{m_{2}}{h} = 0.$$
(30)

Введем безразмерную продольную координату  $\alpha$ =s/R. С учетом (24, 25) ищем решение однородной части уравнений (26-30)в виде:

$$u = A \exp(l \ a) \cos(k j), \tag{31}$$

$$v = B \exp(l \ a) \sin(k j), \tag{32}$$

$$w = C \exp(l \ a) \cos(k \ j), \tag{33}$$

$$y_1 = D \exp(l \ a) \cos(k j) / R, \tag{34}$$

$$y_2 = E \exp(l \ a) \sin(k \ j) / R. \tag{35}$$

После указанной подстановки получаем систему однородных алгебраических уравнений относительно A, B, C, D, E. После сокращения обеих частей уравнений на общие множители, а также деления первого уравнения на  $b_{11}$ , второго – на  $b_{33}$ , третьего – на  $a_{11}$ , четвертого – на  $d_{11}$ , пятого – на  $d_{33}$ , получаем строки матрицы системы в следующем виде:

$$\left\{ I^2 - \frac{k^2 b_{33}}{b_{11}}, \frac{k I b_{12}}{b_{11}} + \frac{k I b_{33}}{b_{11}}, \frac{I b_{12}}{b_{11}}, 0, 0 \right\}. \tag{36}$$

$$\left\{-kI - \frac{kIb_{12}}{b_{33}} + \frac{a^2kId_{33}}{b_{33}}, I^2 - \frac{a_{22}}{b_{33}} - \frac{k^2b_{22}}{b_{33}}, -\frac{ka_{22}}{b_{33}} - \frac{kb_{22}}{b_{33}}, -\frac{ka_{22}}{b_{33}} - \frac{kb_{22}}{b_{33}}, -\frac{a_{22}}{b_{33}} - \frac{a_{22}}{b_{33}} + \frac{a^2I^2d_{33}}{b_{33}}\right\}.$$
(37)

$$\left\{ -\frac{1b_{12}}{a_{11}}, -\frac{ka_{22}}{a_{11}} - \frac{kb_{22}}{a_{11}}, 1^2 - \frac{k^2a_{22}}{a_{11}} - \frac{b_{22}}{a_{11}}, 1, \frac{ka_{22}}{a_{11}} \right\}.$$
 (38)

$$\left\{ -\frac{k^2 d_{33}}{d_{11}}, -\frac{kl d_{12}}{d_{11}}, -\frac{l a_{11}}{a^2 d_{11}}, \frac{l d_{12}}{d_{11}}, l^2 - \frac{a_{11}}{a^2 d_{11}}, \frac{k^2 d_{33}}{d_{11}}, \frac{kl d_{12}}{d_{11}} + \frac{kl d_{33}}{d_{11}} \right\}.$$
(39)

$$\left\{kI, -\frac{a_{22}}{a^2d_{33}} + \frac{k^2d_{22}}{d_{33}}, \frac{ka_{22}}{a^2d_{33}} + \frac{kd_{22}}{d_{33}}, -kI - \frac{kId_{12}}{d_{33}}, I^2 - \frac{a_{22}}{a^2d_{33}} - \frac{k^2d_{22}}{d_{33}}\right\}. \tag{40}$$

$$a^2 = \frac{h^2}{12R^2} \,. \tag{41}$$

Условие существования нетривиальных решений системы - равенство нулю определителя матрицы (36-40) - дает характеристическое уравнение:

$$1^{10} + a_* 1^8 + b_* 1^6 + c_* 1^4 + d_* 1^2 + e_* = 0 (42)$$

После вычисления корней характеристического уравнения (42) и функционального нормирования решение обыкновенных дифференциальных уравнений записываем в виде:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \\ y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{10} \begin{pmatrix} A_i \\ B_i \\ C_i \\ D_i \\ E_i \end{pmatrix} e^{l_i(a-a_*)},$$

$$(43)$$

где  $a_* = a_{min}$ , при  $\text{Re}\lambda_i < 0$ ;  $a_* = a_{max}$ , при  $\text{Re}\lambda_i > 0$ .

Решения (43) построены для произвольного номера члена рядов Фурье. Общее решение рассматриваемой задачи определяется по формулам (24)- (25).

Список литературы 1. Виноградов Ю.И., Меньков Г.Б. Метод функционального нормирования решений жестких линейных обыкновенных дифференциальных уравнений для краевых задач // Доклады РАН. 1998. Т. 358. № 6. С. 763-764. 2. Григоренко Я.М., Василенко В.Т. Задачи статики анизотропных неоднородных оболочек. М.: Наука, 1992. 366 с.

### ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Микулик Н. А., Рейзина Г. Н. (БНТУ, г. Минск, Беларусь)

The idea and the concept of the analysis vibration systems providing is stated on the basis of the mathematical device, theoretical positions of fluctuations of complex {difficult} dynamic systems. Modules of applied programs of mathematical penning of the experiment for research vibroloading are developed.

В настоящее время важной задачей исследования является установление (в ко-

личественных и качественных характеристиках) связей между системами подрессоривания, их элементами и закономерностей изменения в динамике. Знание их характеристик позволяет дать научную оценку той или иной принятой конструкции автотранспортного средства (ATC).

При рассмотрении вопросов выбора оптимальных параметров колебательных систем, происходящих под действием внешних воздействий, а также влияния высокочастотных колебаний, в том числе от двигателя, авторами разработаны методика, ряд факторных моделей, модули прикладных программ. В основу этой методики заложен системный подход [1]. Основными этапами этой методики являются: составление расчетной схемы рассматриваемой системы, составление уравнений, описывающих движение и связь с другими системами, определение внешних воздействий (дорожных), начальных условий, решение дифференциальных уравнений, статистическая обработка полученных реализаций вибронагруженности, составление оптимальных факторных моделей на основе полного факторного эксперимента ( $\Pi\Phi$ ) [1]. В расчетных схемах и соответствующих им математических моделях массы являются сосредоточенными, т. к. они предназначены для определения осредненных характеристик вибронагруженности: математического ожидания, среднеквадратического отклонения и т. д., что значительно упрощает математическую модель, позволяет использовать стандартные модули программ. В то же время предлагаемая система позволяет использовать многомассовые разветвленные расчетные схемы АТС с распределенными параметрами.

Метод формирования управляющих и внешних воздействий основан на определении случайных параметров колебательных систем — это моменты времени включения двигателей и тормозов, скоростной и нагрузочные режимы.

Движение АТС, в результате которого происходят колебания масс, определяется решением соответствующей системы дифференциальных уравнений, используя стандартные программы. Случайные параметры, решения задач линейной алгебры, статистическая обработка реализуются в разработанных модулях. Кроме того, программа обеспечивает решение близкое к оптимальному.

Одним из основных этапов решения этой задачи является разработка адекватных методов синтеза параметров колебательных систем. В данном случае задача синтеза формулируется как многокритериальная. Предположим, что полином показателя вибронагруженности  $Y(x_1, x_2, \mathbf{K}, x_n)$  ограничен членами второго порядка и учитывает только парные взаимодействия факторов:

$$X_0 = x_0 = 1;$$
  $X_1 = x_1;$   $X_2 = x_2;$   $\mathbf{K};$   $X_n = x_n;$   $X_{n+1} = x_1^2;$   $X_{n+2} = x_2^2;$   $\mathbf{K};$   $X_{2n} = x_n^2;$   $X_{2n+1} = x_1x_2;$   $X_{2n+2} = x_1x_3;$  ...;  $X_m = x_{n-1}x_n.$ 

Исключив взаимодействие трех и более факторов, исходные уравнения могут быть представлены уравнением в матричной форме:

$$Y = XB. (1)$$

Каждая составляющая уравнения (1) имеет вид

$$y_c = b_{oc} + x_1 b_{1c} + x_2 b_{2c} + \dots + x_m b_{mc},$$
(2)

или в исходных переменных

$$y_c = b_{oc} + \sum_{i=1}^{n} b_{ic} x_i + \sum_{i+j}^{n} b_{ijc} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n} b_{iic} x_i^2$$
.

Дополнительные условия получены из экспериментального анализа особенно-

стей эксплуатации машины, а также количественного влияния конструктивных факторов на обобщенный показатель вибронагруженности системы. В итоге такого анализа ряду параметров даны конкретные значения, а для остальных – разработана шкала предпочтительности.

Принимая зависимость показателей вибронагруженности от значения параметров (факторов) линейной, получим

$$P = \min_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} K_i x_i , \qquad (3)$$

где P – показатель вибронагруженности параметров  $x_i$ ;

 $K_i$  – коэффициент пропорциональности.

Теперь задача синтеза параметров решается совместно с задачей оптимизации (минимизации) колебаний (вибронагруженности) на реализацию конструктивных факторов. С учетом уравнения (2) получим систему:

$$\begin{cases}
f(X_1, X_2, ..., X_n, a) = 0 \\
P = \min \sum_{i=1}^{n} K_1 x_i; X \in X^*
\end{cases}$$
(4)

В системе (4) первое уравнение получается из уравнения регрессии вида (2) при фиксированном значений  $y=y^*$ ;  $a=b_0-y^*$ . Фиксированное значение y принимается из технического задания на систему по соответствующему показателю. Аналогично ставится задача при многокритериальном варианте. Число критериев эффективности может быть сокращено, если в результате факторного эксперимента обнаружится сильная корреляция между какими-либо показателями.

Часто в практике имеется возможность априорного задания желаемых значений всех частных критериев.

Если уравнения регрессии включают в себя только линейные члены, то задача синтеза решается методом линейного программирования, и ее запись имеет вид:

$$b_{11}x_{11} + bx_{2}... + b_{n2}x_{n} = a_{1}$$

$$b_{1r}x_{1} + b_{2r}x_{2} + ...b_{nr}x_{n} = a_{r}$$

$$P = \min \sum_{i=1}^{n} K_{i}x_{i}$$
(5)

При наличии в уравнении (5) нелинейных членов задача решается методами нелинейного программирования. Таким образом, процедура синтеза связана с задачей оптимизации. Формулируя задачу оптимизации, следует учитывать тот очевидный факт, что сочетания параметров  $X_{onm}$  может доставить экстремум, как правило, только одному из частных критериев. Принципиально бывает возможным среди частных критериев выделить ведущий критерий  $y_1$ , в наибольшей степени характеризующий эффективность системы. Остальные критерии могут быть представлены как ограничения. Целесообразные их значения могут быть приняты на основе обобщенных показателей эксплуатации ближайших прототипов АТС. Уравнение вибронагруженности в этом

случае также должно играть роль ограничения. Тогда постановка задачи имеет вид:

$$y_{1} = optf_{1}(x_{1}x_{2},...,x_{n});$$

$$f_{2}(x_{1}x_{2},...,x_{n}) \leq a_{2};$$
......
$$f_{r}(x_{1}x_{2},...,x_{n}) \leq a_{r};$$

$$f_{r+1}(x_{1}x_{2},...,x_{n}) \leq P,$$
,
(6)

где —  $f_1$  правая часть уравнения регрессии для ведущего критерия  $y_1$ ;

 $f_2, f_3, \mathbf{K}, f_r$  – правые части уравнений регрессии для остальных r-1 критериев;

 $f_{r+1}$  – правая часть уравнения колебания;

 $a_2, a_3, ..., a_r$  — заданные значения ограничений для соответствующих критериев;

P — допустимые вероятности значения параметров или в случае вибронагруженности —  $\sigma$  (среднеквадратическое ускорение).

В этом случае задача сводится к оптимизации данного критерия при учете ограничений на конструктивные факторы и, возможно, на ряд (или все) частных критериев.

Дополнительные резервы эффективности и экономии могут быть выявлены в результате взаимного сопоставления всех критериев в пространстве параметров X, примыкающем к точке экстремума  $X_{onm}$ .

В процессе синтеза и оптимизации могут возникнуть гипотезы, подтверждение которых предполагает получение дополнительного положительного эффекта, но исходных материалов не достаточно для их проверки. В таком случае проводят дополнительный активный эксперимент.

В качестве примера по разработанной методике определены оптимальные параметры дополнительного подрессоривания массы сидения водителя АТС, рабочая матрица которой имеет вид (таблица 1).

Колебания сидения исследуются с учетом массы водителя, степени влияния демпфирования и жесткости для одного варианта конструкции. На первом этапе рассчитывается консервативная система, без учета ускорений со стороны платформы, с учетом определения потенциальных возможностей системы. В результате расчета получаем данные, которые представлены в таблице.

Таблица 1. Рабочая матрица

Интервал варьирования и уровень факторов	Возмуще- ния, м/c <sup>2</sup>	Масса, кг	· ·		Ускорение на $c$ идении, $m/c^2$ ,
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	у
Нулевой уровень	2,05	65	3398	0,45	1,12
Интервал варьирования	0,15	15	32	0,15	0,12
Нижний уровень	1,9	50	3366	0,3	1
Верхний уровень	2,2	80	3430	0,6	1,24

Виброизолирующая характеристика системы рассчитывалась в диапазоне частот 0-4  $\Gamma$ ц, в котором располагаются точки с максимальной и минимальной вибропередачей. Для сравнения определены допускаемые уровни вибронагруженности, а также показатель эффективности  $I_{3l}$ . Последний определяли как отношение вибрационных скоростей подрессоренной и неподрессоренной масс. В результате выявлены количественные зависимости между параметрами процесса, их оптимальные значения:

$$y = 1,565 - 0,0133x_1 - 0,012x_2 - 0,3168x_3$$
.

Использование предложенной методики позволило существенно снизить вибрацию колебательной системы (сиденья), особенно в наиболее опасных октавных полосах 2 и 4 Гц, показатель эффективности составил около 0,4, на этих частотах вибронагруженность моделируемой системы оказалась значительно ниже предельно допускаемых величин.

Рассмотренный метод синтеза параметров колебаний может быть включен в процесс проектирования новых АТС. Его эволюционный характер определяется не только широким использованием результатов эксплуатации существующих образцов машин, но также и тем, что разработка нового образца сопровождается сравнением результатов моделирования процессов эксплуатации нескольких вариантов подвесок АТС. Ускоренный характер процедуры обеспечивается заменой значительной части реального процесса эксплуатации экспериментальных образцов процессом моделирования, что в сочетании с широким использованием средств вычислительной техники и метода планируемого многофакторного эксперимента обеспечивает сокращение сроков как проектирования новых машин, так и введения их в эксплуатацию.

Список литературы: 1. Микулик Н. А., Рейзина Г. Н., // «Разработка факторных моделей прикладных программ для решения задач вибронагруженности систем подрессоривания» // Доклады НАН Беларуси. 2003.Т. 47, № 6. 2. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. // Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с. 3. Математическая теория планирования эксперимента. / Под ред. С. М. Ермака. – М.: «Наука», 1983, 392 с.

### ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Михайлов А.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

In given work are considered questions of the syntheses of the new class technology fabrications product machine building, which are identified function oriented. It is designed new principles of the syntheses designed technology. The general methodology of the creation these technology is offered. It is installed that technology data can serve the base of the creation nanotechnology. They are brought main particularities and features designed technology.

В последнее время, в связи со стремительным развитием техносферы непрерывно совершенствуются технологии машиностроения, широко развиваются и обновляются общие подходы создания технологических процессов и технологий, создаются качественно новые технологии [1, 2, 3, 4, 6, 7]. К таким технологиям, технологиям нового класса, относятся и функционально-ориентированные технологии изготовления изделий машиностроения [1, 2].

Функционально-ориентированная технология изготовления изделия машиностроения [1] это специальная технология, которая основана на точной топологически ориентированной реализации необходимого множества алгоритмов технологического воздействия орудий и средств обработки в необходимые микро, макро зоны и участки изделия, которые функционально соответствуют условиям их эксплуатации в каждой отдельной его зоне. При этом их вид, тип, вариант, количество, качество и алгоритм технологического воздействия целенаправленно определяются, а также топологически, функционально и количественно ориентируются при их реализации в отдельные зоны изделия в зависимости от заданных функциональных особенностей их эксплуатации. Применение функционально-ориентированных технологий для изделий машиностроения позволяет максимально повысить их общие эксплуатационные параметры за счет местного увеличения технических возможностей и свойств отдельных элементов, поверхностей и/или зон изделия в зависимости от функциональных местных особенностей их эксплуатации. При этом изделия машиностроения, изготавливаемые по предлагаемым технологиям, максимально адаптируются по своим свойствам к особенностям их эксплуатации и проявляют свой полный потенциал возможностей в машине.

Следует отметить, что предлагаемый новый класс технологий усложняет процесс изготовления изделий, но в целом обеспечивает качественно новую совокупность свойств и меру полезности изделий машиностроения при эксплуатации. Это дает возможность существенно повысить технико-экономические показатели эксплуатации и использования машин и технических систем.

Вместе с тем, процесс создания функционально-ориентированных технологий требует постоянного совершенствования, так как не в полном объеме разработаны принципы их создания, нет данных о характеристиках и возможностях их применения на макро и микро уровнях. А также еще необходимо проводить большие исследования в области изучения эксплуатационных и функциональных свойств изделий, изготовленных с применением функционально-ориентированных технологий. Однако выполненные предварительные исследования и полученные результаты показывают хорошие результаты, которые необходимо распространять на различные процессы изготовления изделий.

Целью данной работы является совершенствование теории создания функционально-ориентированных технологий изготовления изделий с качественно новой сово-

купностью свойств и качественно новой мерой их полезности. В работе планируется дополнить известные принципы синтеза функционально-ориентированных технологий новыми, уточнить и представить общую методологию их синтеза, а также выполнить исследования основных особенностей и характеристик применения функционально-ориентированных технологий для изделий машиностроения.

Можно отметить, что функционально-ориентированные технологии относятся к специальным видам тонких (прецизионных) и высоких технологий. Эти технологии особенно эффективны только тогда, когда они используются на всех этапах (этап 1,

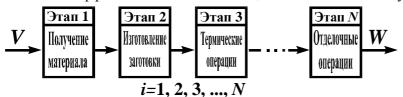


Рис. 1. Структура комплексного технологического процесса

этап 2, ..., этап N) комплексного технологического процесса (рис. 1) изготовления изделия, а именно:

- на этапе получения материала заготовки,
- на этапе изготовления заготовки,
  - на этапе механиче-

ской обработки,

- на этапе термической обработки материала заготовки,
- на этапе нанесения специальных покрытий,
- на этапе отделочной и финишной обработки, а также других этапах изготовления изделия.

Основные подэтапы методики синтеза функционально-ориентированных технологий могут выполняться в порядке, представленном на схеме рис. 2:

1. Деление изделия на функциональные зоны и элементы. Составление из них модулей или интегральных модулей. Разработка классификации.

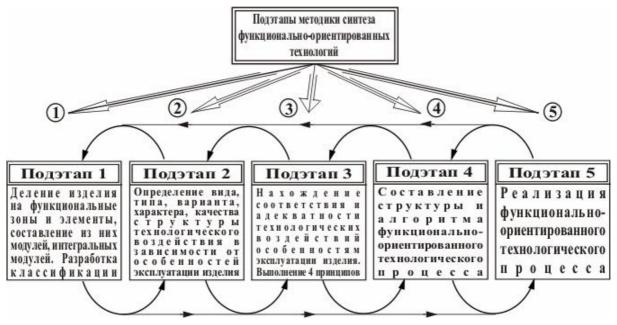


Рис. 2. Основные подэтапы методики синтеза функционально-ориентированных технологий

2. Определение вида, типа, варианта, характера, качества и структуры технологического воздействия в зависимости от особенностей эксплуатации изделия.

- 3. Нахождение соответствия и адекватности технологических воздействий особенностям эксплуатации изделия. Выполнение четырех принципов ориентации технологических воздействий в требуемые микро-, макро-зоны и участки изделия.
- 4. Составление структуры и алгоритма функционально-ориентированного технологического процесса.
  - 5. Реализация функционально-ориентированного технологического процесса.

На **первом подэтапе** методики синтеза функционально-ориетированных технологий выполняется деление изделия (рис. 3) на функциональные зоны **Ф3** и элементы

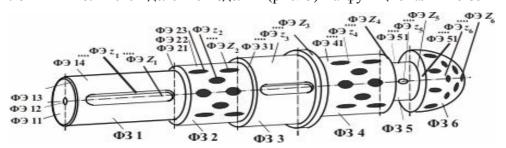


Рис. 3. Схема деления изделия на функциональные зоны и элементы:

 $\Phi 3$  – функциональная зона,  $\Phi 9$  – функциональный элемент

ФЭ. Это могут быть микро-, макро-зоны и участки изделия. При необходимости они могут быть объединены в модули или интегральные модули, которые составляются в

зависимости от их геометрических параметров или параметров качества.

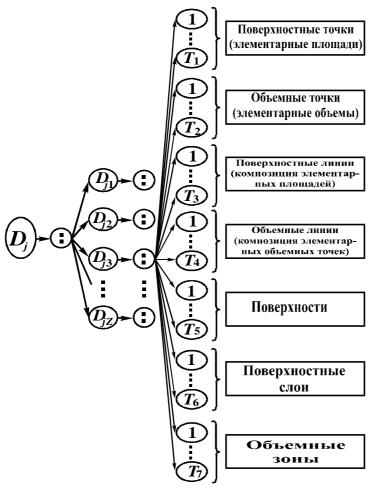


Рис. 4. Гипотетическая схема деления изделия на функциональные зоны и элементы

Этот процесс основывается на предварительной классификации элементов изделия  $D_i$ в виде отдельных функциональных зон  $D_{j} = \{D_{j1}, D_{j2}, ..., D_{jZ}\}$ изделия, на каждую из которых предусматривается реализация определенного вида технологического воздействия, в зависимости от действия в ней заданного модуля функций при эксплуатации изделия. На рис. 4 показано, что каждая функциональная зона изделия может формироваться на основе следующих функциональных элементов: поверхностных точек (элементарных площадей), объемных точек (элементарных объемов), верхностных линий (композиции элементарных площадей), объемных линий (композиции элементарных объемных точек), поверхностей, поверхностных слоев, объемных зон. Здесь знак (:) означает декомпозицию элементов изделия, а буквенные обозначения  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$  определяют общее количество функциональных элементов каждого вида в заданном модуле изделия.

Следует иметь в виду, что каждая функциональная зона изделия  $D_{j\,z}$  составляется на основании операции бинарного  $\bigcirc$  соответствия модуля функций  $F_{j\,z}$  и заданной функциональной зоны изделия  $D_{j\,z}$ , реализуемой при эксплуатации изделия (рис. 5). Процесс декомпозиции изделия  $D_{j}$  на функциональные зоны может выполняться на основании операции декомпозиции общей функции изделия на соответст-

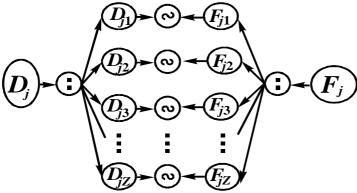


Рис. 5. Общая структурная схема связи функциональных зон изделия и реализуемых ими модулей функций

вующие модули функций  $F_j$  .

Второй подэтап реализафункционально-ЦИИ ориентированных технологий обусловлен определением вида, типа, варианта, характера, качества и структуры технологического воздействия в зависимости от особенностей эксплуатации изделия. Поэтому в общем случае, технологические воздействия могут быть представлены на основе специальных моделей, в которых технологические воздействия

описываются с помощью потоков материального  $M = \{m_1, m_2, ..., m_m\}$ , энергетического  $E = \{e_1, e_2, ..., e_l\}$  и информационного  $I = \{i_1, i_2, ..., i_m\}$  характеров, где  $m_t, e_t, i_t$  - любые элементы множеств M, E, I соответственно. Эти модели могут быть описаны с помощью схем технологического воздействия.

Схемы технологического воздействия орудий и средств обработки для поверхностных или объемных точек (элементарных поверхностей или элементарных объемов) изделия можно представить следующими множествами:

$$\begin{split} TB^{TS} & \xrightarrow{} \{(m_t, e_t, i_t), (dl_t \times dl_v)\} ; \\ TB^{TV} & \xrightarrow{} \{(m_t, e_t, i_t), (dl_t \times dl_v \times dl_w)\} , \end{split}$$

где  $TB^{TS}$  и  $TB^{TV}$  - схемы технологического воздействия на поверхностную и объемную точку, соответственно;

 $(m_t, e_t, i_t)$  - кортеж параметров технологических воздействий материального, энергетического и информационного характеров в зависимости от параметров направления t;  $(dl_t \times dl_v)$  и  $(dl_t \times dl_v \times dl_w)$  - обозначение с помощью декартова произведения элементарной площади и элементарного объема в направлениях t, v, w, соответственно.

Схемы технологического воздействия орудий и средств обработки для поверхностных или объемных линий изделия соответственно имеют следующий вид:

- прерывистая линия

$$TB_{1}^{LS} \to \bigvee_{t=1}^{p} \{ (m_{t}, e_{t}, i_{t}), (dl_{t} \times dl_{v}) \} , \qquad TB_{1}^{LV} \to \bigvee_{t=1}^{p} \{ (m_{t}, e_{t}, i_{t}), (dl_{t} \times dl_{v} \times dl_{w}) \} ;$$

- непрерывная линия

$$TB_2^{LS} \xrightarrow{\sim} \bigwedge_{t=1}^{\infty} \{(m_t, e_t, i_t), (dl_t \times dl_v)\} \ , \qquad TB_2^{LV} \xrightarrow{\sim} \bigwedge_{t=1}^{\infty} \{(m_t, e_t, i_t), (dl_t \times dl_v \times dl_w)\} \ .$$

- единовременная линия

$$TB_3^{LS} \to \bigwedge_{t=1}^{\infty} \{ (m_t, e_t, i_t), dl_t \} \times dl_v , \qquad TB_3^{LV} \to \bigwedge_{t=1}^{\infty} \{ (m_t, e_t, i_t), dl_t \} \times dl_v \times dl_w ;$$

где  $TB_k^{LS}$  и  $TB_k^{LV} - k$ -я схема технологического воздействия на поверхностную и объемную линию изделия, соответственно;

*p* -количество точек *t*-м направлении.

Схемы технологического воздействия орудий и средств обработки для поверхностности или поверхностного слоя изделия имеют следующий вид, соответственно:

- прерывистая поверхность

$$\begin{split} TB_{1}^{SS} & \xrightarrow{r} \bigvee_{v=1}^{r} \{ (m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), (dl_{t} \times dl_{v}) \}, \\ TB_{1}^{SV} & \xrightarrow{r} \bigvee_{v=1}^{p} \{ (m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), (dl_{t} \times dl_{v} \times dl_{w}) \}; \end{split}$$

- непрерывная поверхность

$$TB_{2}^{SS} \xrightarrow{\sim} \bigwedge_{v=1}^{\infty} \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), (dl_{t} \times dl_{v})\},$$

$$TB_{2}^{SV} \xrightarrow{\sim} \bigwedge_{v=1}^{\infty} \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), (dl_{t} \times dl_{v} \times dl_{w})\};$$

- единовременная поверхность

$$TB_{3}^{SS} \rightarrow \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), (\bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_{t} \times \bigwedge_{v=1}^{\infty} dl_{v})\},$$

$$TB_{3}^{SV} \rightarrow \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), (\bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_{t} \times \bigwedge_{v=1}^{\infty} dl_{v} \times dl_{w})\};$$

- непрерывно-прерывистая поверхность

$$TB_{4}^{SS} \xrightarrow{r} \underset{v=1}{\overset{r}{\sim}} \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), (dl_{t} \times dl_{v})\},$$

$$TB_{4}^{SV} \xrightarrow{r} \underset{v=1}{\overset{r}{\sim}} \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), (dl_{t} \times dl_{v} \times dl_{w})\};$$

- единовременно-прерывистая поверхность

$$\begin{split} TB_5^{SS} & \rightarrow \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), \bigvee_{v=1}^{r} \bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t \times dl_v)\} \ , \\ TB_5^{SV} & \rightarrow \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), \bigvee_{v=1}^{r} \bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t \times dl_v \times dl_w)\} \ ; \end{split}$$

- единовременно-непрерывная поверхность

$$TB_6^{SS} \rightarrow \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), \bigwedge_{v=1}^{\infty} (\bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t \times dl_v)\},$$

$$TB_6^{SV} \rightarrow \{(m_{t,v}, e_{t,v}, i_{t,v}), \bigwedge_{v=1}^{\infty} (\bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t \times dl_v \times dl_w)\} ;$$

где  $TB_k^{SS}$  и  $TB_k^{SV} - k$ -я схема технологического воздействия на поверхность и поверхностный слой изделия, соответственно;

 $(m_{t,v},e_{t,v},i_{t,v})$  - кортеж параметров технологических воздействий материального, энергетического и информационного характеров в зависимости от параметров направлений t и v;

r – количество точек в v-м направлении.

При этом схемы технологического воздействия на заданные объемные зоны изделия можно представить с помощью следующих математических моделей:

$$TB_{1}^{V} \xrightarrow{y} \xrightarrow{y} \bigvee_{w=1}^{g} \bigvee_{v=1}^{r} \{(m_{t,v,w}, e_{t,v,w}, i_{t,v,w}), (dl_{t} \times dl_{v} \times dl_{w})\},$$

$$TB_{2}^{V} \xrightarrow{\infty} \bigwedge_{h} \bigwedge_{h} \{(m_{t,v,w}, e_{t,v,w}, i_{t,v,w}), (dl_{t} \times dl_{v} \times dl_{w})\},$$

$$TB_{3}^{V} \xrightarrow{w=1} \bigvee_{v=1}^{g} \bigvee_{v=1}^{r} \bigvee_{v=1}^{\infty} \bigvee_{w=1}^{\infty} \bigvee_{v=1}^{m} \bigvee_{v=1}$$

где  $TB_k^{\ V}-k$ -я схема технологического воздействия орудий и средств обработки на объемную зону изделия;

 $(m_{t,v,w},e_{t,v,w},i_{t,v,w})$  - кортеж параметров технологических воздействий материального, энергетического и информационного характеров в зависимости от параметров направлений t,v,w;

 $(dl_t \times dl_v \times dl_w)$  - элементарный объем в t-м, v-м и w-м направлении или окрестность объемной точки;

*g* – количество элементарных точек в *w*-м направлении.

Следует отметить, что в представленных схемах технологического воздействия могут варьироваться элементы кортежей, обуславливающие значение параметров мате-

риального, энергетического и информационного видов. На базе этих схем можно вести автоматизированное проектирование необходимых алгоритмов, структур и схем технологического воздействия орудий и средств обработки на изделия различных видов и типоразмеров.

На **третьем подэтапе** синтеза функционально-ориентированных технологий выполняется нахождение соответствия и адекватности технологических воздействий особенностям эксплуатации микро-, макро-зон и участков изделия. Этот процесс реализуется на основе четырех принципов, представленных на схеме рис. 6:

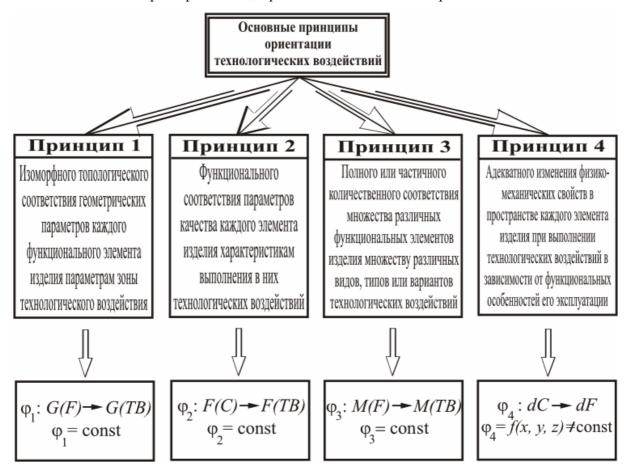


Рис. 6. Основные принципы ориентации технологических воздействий и синтеза функционально-ориентированных технологий изготовления изделий машиностроения

- 1. Изоморфного топологического соответствия геометрических параметров каждого функционального элемента изделия, в котором реализуется заданная элементарная функция при эксплуатации, параметрам зоны технологического воздействия орудий и средств обработки на изделие.
- 2. Функционального соответствия параметров качества каждого функционального элемента изделия особенностям действия в нем эксплуатационных функций и характеристикам выполнения в них технологических воздействий.
- 3. Полного или частичного количественного соответствия множества различных функциональных элементов изделия, имеющихся при эксплуатации, множеству различных видов, типов или вариантов технологических воздействий орудий и средств обработки на изделие с заданными параметрами.

4. Обеспечения адекватного изменения физико-механических свойств в пространстве каждого функционального элемента изделия при выполнении технологических воздействий в зависимости от функциональных особенностей его эксплуатации.

Можно отметить, что на основании *первого принципа* обеспечивается топологическая (геометрическая) ориентация каждого технологического воздействия орудий и средств обработки (по геометрии и пространственному расположению), имеющего заданные свойства, в соответствии с геометрией каждой зоны действия элементарной функции в необходимом функциональном элементе изделия при эксплуатации (рис. 7,а). То есть первый принцип, в полной мере, дает ответы на вопросы: куда и где нужно реализовывать технологические воздействия? Он отвечает за пространственную точность выполнения технологических воздействий в заданные функциональные микро, макро зоны и участки изделия. Этот процесс можно представить следующим отображением [5]:

$$j_1: G(F) \rightarrow G(TB), j_1 = \text{const};$$

где  $\boldsymbol{j}_1$  - отображение множества  $\mathit{G}(\mathit{F})$  в множество  $\mathit{G}(\mathit{TB})$ ;

G(F) - множество геометрических параметров функционального элемента изделия, где действует заданный модуль функций;

G(TB) - множество геометрических параметров зоны технологических воздействий.

На базе *второго принципа* обеспечивается функциональное соответствие параметров качества и свойств каждого функционального элемента изделия особенностям действия в нем эксплуатационных функций за счет реализации заданных характеристик технологических воздействий (рис. 7,б). Этот принцип отвечает на вопрос: какое технологическое воздействие нужно выполнить? То есть он обеспечивает заданное качество микро, макро зон и участков изделия. Данный процесс описывается следующим отображением:

$$j_2: F(C) \rightarrow F(TB), j_2 = \text{const};$$

где  $\boldsymbol{j}_2$  - отображение множества F(C) в множество F(TB);

F(C) - множество функциональных свойств элемента изделия;

F(TB) - множество функциональных характеристик технологического воздействия на заданный функциональный элемент изделия.

На основании *третьего принципа* обеспечивается полное или частичное количественное соответствие множества различных функциональных элементов изделия, имеющихся при эксплуатации, множеству различных видов, типов или вариантов технологических воздействий орудий и средств обработки на изделие с заданными параметрами (рис. 7,в). Третий принцип дает ответ: сколько видов, типов или вариантов технологических воздействий нужно реализовать на изделие в процессе его изготовления? Это количественный принцип, который можно описать следующим отображением:

$$\boldsymbol{j}_3: M(F) \rightarrow M(TB), \, \boldsymbol{j}_3 = \text{const};$$

где  $\boldsymbol{j}_3$  - отображение множества  $M(\mathit{F})$  в множество  $M(\mathit{TB})$ ;

M(F) - множество функциональных элементов изделия;

M(TB) - множество различных видов, типов или вариантов технологических воздействий.

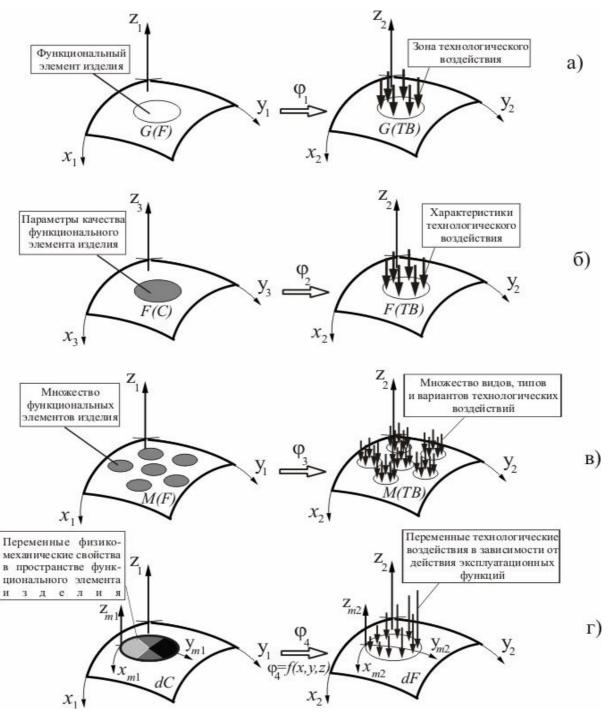


Рис. 7. Гипотетические схемы, поясняющие реализацию основных принципов ориентации и синтеза функционально-ориентированных технологий:

- а схема, поясняющая первый принцип ориентации;
- 6 схема, поясняющая второй принцип ориентации;
- в схема, поясняющая третий принцип ориентации;
- г схема, поясняющая четвертый принцип ориентации

С помощью *четвертого принципа* обеспечивается адекватное изменение физико-механических свойств в пространстве каждого функционального элемента изделия при выполнении технологических воздействий в зависимости от функциональных осо-

бенностей его эксплуатации (рис. 7, г). Этот принцип отвечает на вопрос: какое технологическое воздействие (постоянное или переменное) нужно реализовать на функциональный элемент изделия? Это также качественный принцип, но действующий на микро уровне функционального элемента изделия и обеспечивающий возможность изменения функциональных свойств изделия за счет переменных технологических воздействий по заданному закону. Это принцип можно представить следующим отображением:

$$\mathbf{j}_4: dC \rightarrow dF, \ \mathbf{j}_4 = f(x, y, z) \neq \text{const};$$

где  $\boldsymbol{j}_3$  - отображение элементарного множества dC в элементарное множество dF, которое находится в функциональной зависимости от геометрических пространственных параметров x,y,z;

dC - элементарное множество функциональных свойств микро элемента изделия;

dF - элементарное множество функциональных характеристик технологического воздействия на заданный функциональный микро элемент изделия.

Можно отметить, что на основании четвертого принципа возможно изменение функциональных свойств микро или макро элемента изделия по следующим видам законов (рис. 8):

- линейное изменение свойств (рис. 8,а);
- поверхностное изменение свойств (рис. 8,б);
- объемное изменение свойств (рис. 8,в).

Таким образом, приведенные четыре принципа дают возможность полной адаптации изделий к особенностям их эксплуатации и реализации максимального потенциала возможностей при эксплуатации, а также обеспечиваются условия создания качественно новой совокупности их свойств и меры полезности.

На четвертом подэтапе методики синтеза выполняется составление структуры и алгоритма функционально-ориентированного технологического процесса (рис. 2).

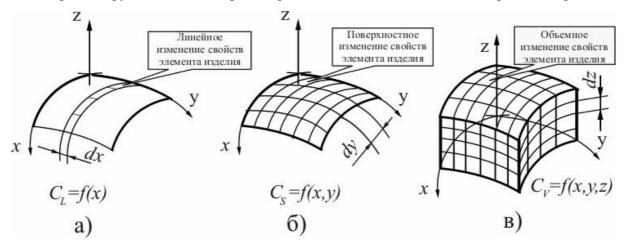


Рис. 8. Гипотетическая схема с вариантами свойств функциональных элементов изделия:

 ${\bf a}$  — линейное изменение свойств,  ${\bf 6}$  — поверхностное изменение свойств,  ${\bf B}$  — объемное изменение свойств

Этот процесс выполняется в следующем порядке. Сначала, для 1-го этапа комплексного технологического процесса (рис. 9) оператор функциональной ориентации технологических воздействий на основании базы данных технологических воздействий, в которой находятся данные по существующим и новым принципам, методам и способам

технологических преобразований изделий, назначает сначала 1-ю функциональноориентированную операцию ( $\Phi OO_1$ ) для первого модуля элементов изделия, потом 2-ю функционально-ориентированную операцию ( $\Phi OO_2$ ) для второго модуля элементов, затем 3-ю функционально-ориентированную операцию ( $\Phi OO_3$ ) для третьего модуля элементов, и так далее до полной реализации всех функционально-ориентированных операций ( $\Phi OO_Y$ ). На базе разработанных функционально-ориентированных операций составляется 1-й функционально-ориентированный технологический процесс. Можно отметить, что при назначении функционально-ориентированной операции выполняется

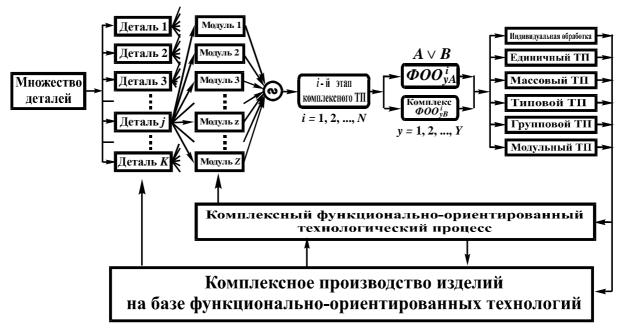


Рис. 9. Блок структурной схемы организации комплексного производства изделий на базе функционально-ориентированных технологий

назначение или элементарной функционально-ориентированной операции  $\Phi OO_{vA}^{l}$  или комплексной функционально-ориентированной операции  $\Phi OO_{vB}^i$ . Описанный цикл повторяется для 2-го этапа комплексного технологического процесса, затем - для 3-го этапа, потом для 4-го этапа и так далее (рис. 9). Процесс завершается тогда, когда полностью реализовано N этапов комплексного функционально-ориентированного технологического процесса изготовления изделия (рис. 1). Во всех случаях, приведенные алгоритмы основаны на разработанных выше новых принципах проектирования функционально-ориентированных технологий. При организации производства изделий на базе функционально-ориентированных технологий, каждая функциональноориентированная операция может реализовываться по одному из видов организационных форм: индивидуальная обработка, единичный технологический процесс, массовый технологический процесс, типовой технологический процесс, групповой технологический процесс, модульный технологический процесс.

Далее, на **пятом подэтапе** методики синтеза функционально-ориентированных технологий выполняется полная реализация этих технологий.

При использовании приведенной выше методики для множества изделий организуется комплексное производство изделий на базе функционально-ориентированных

технологий. Следует отметить, что все подэтапы и этапы комплексного технологического процесса и производства создаются на базе итерационного подхода (рис. 10).

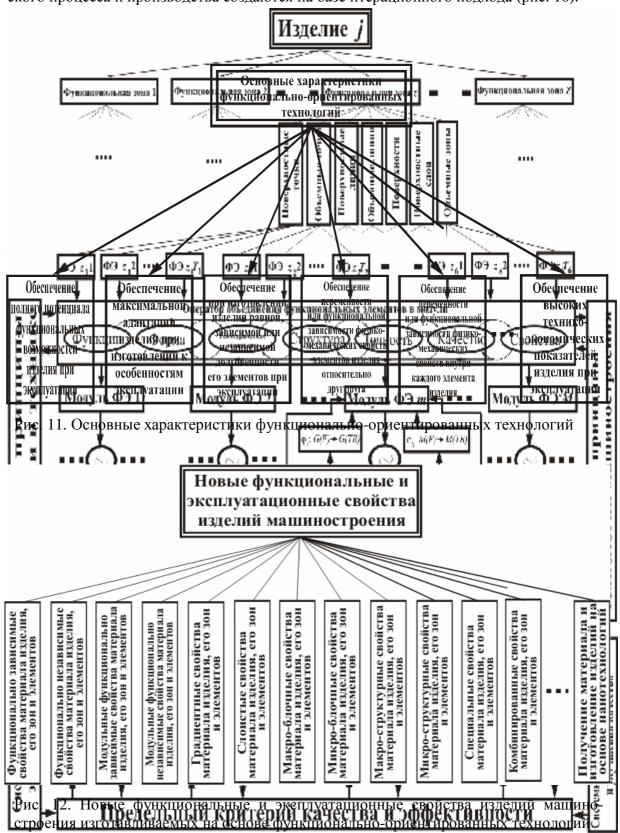


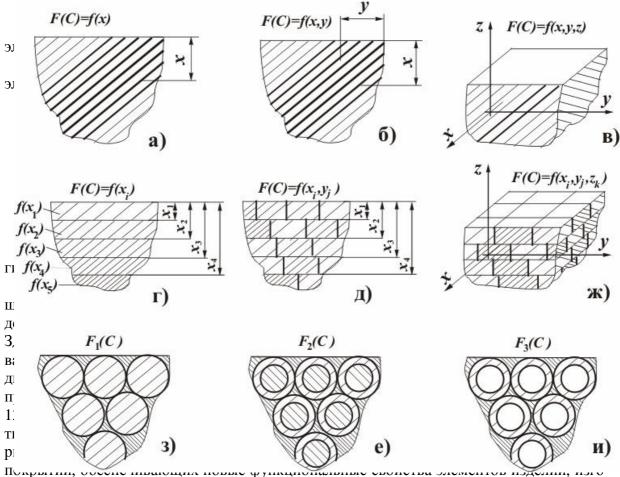
Рис. 10. Гипотетическая схема синтеза функционально-ориентированных технологий: **ФЭ** – функциональный элемент, **ТВ** – технологические воздействия

На рис 11 представлены основные характеристики функциональноориентированных технологий. Основные их достоинства заключаются в том, что на базе этих технологий выполнение следующего:

- обеспечение полного потенциала функциональных возможностей изделий при эксплуатации;
- обеспечение максимальной адаптации изделия при изготовлении к особенностям эксплуатации;
- обеспечение, при изготовлении изделия, равной, зависимой или независимой долговечности его элементов при эксплуатации;
- обеспечение переменности или функциональной зависимости физикомеханических свойств элементов изделия относительно друг друга;
- обеспечение переменности или функциональной зависимости физикомеханических свойств внутри каждого элемента изделия;
- обеспечение высоких технико-экономических показателей изделия при эксплуатации и другие.

Можно отметить, что функционально-ориентированные технологии позволяют не только обеспечивать высокие физико-механические свойства, но и создавать новые функциональные и эксплуатационные свойства изделий машиностроения. Некоторые новые свойства приведены на рис. 12:

- функционально зависимые свойства материала изделия, его зон и элементов;



<sup>Т</sup> Рис. 13. Некоторые варианты схем, поясняющие различные виды реализации специальных функциональных свойств элементов изделий, изготавливаемых с применением функционально-ориентированных технологий:

 ${\bf a}$  — функционально-зависимые свойства в одном направлении;  ${\bf 6}$  — функционально-зависимые свойства в двух направлениях;  ${\bf b}$  — функционально-зависимые свойства в трех направлениях;  ${\bf r}$  — ступенчатые свойства в одном направлении;  ${\bf g}$  — ступенчатые свойства в двух направлениях;  ${\bf w}$  — ступенчатые свойства в трех направлениях;

на рис. 14,г, д, ж – варианты геометрических форм покрытий по высоте; на рис. 14,з, е, и – варианты покрытий со специальными свойствами.

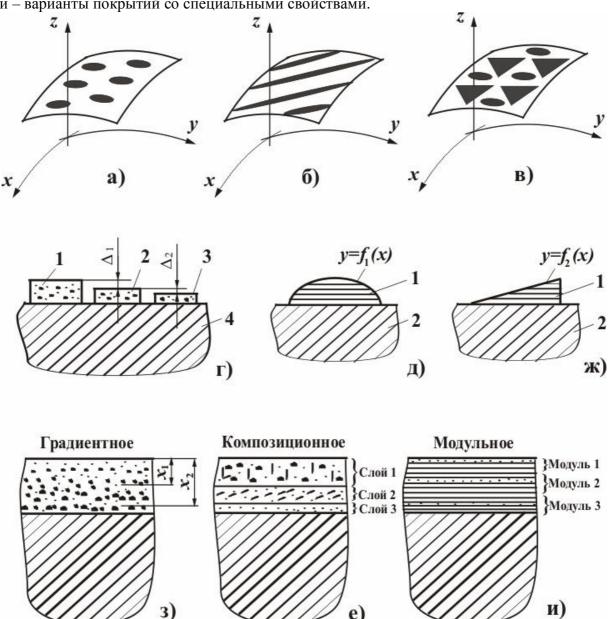


Рис. 14. Некоторые варианты схем, поясняющие реализацию специальных покрытий, обеспечивающих новые функциональные свойства элементов изделий, изготавливаемых с применением функционально-ориентированных технологий:

- а, б, в варианты геометрических форм покрытий на поверхности изделий;
- **г**, д, ж варианты геометрических форм покрытий по высоте;
- з, е, и варианты покрытий со специальными свойствами

Таким образом, разработанный теоретический подход, новые принципы и методология синтеза функционально-ориентированных технологий дают возможность изготавливать различные изделия машиностроения с применением точной ориентации заданных технологических воздействий как на макро уровне, так и на микро уровне изделия. Это в целом дает возможность достигать существенного повышения свойств изделий в период их эксплуатации, а также создавать новые свойства, ранее неизвестные, что обеспечивает высокие технико-экономические показатели машин и технических систем.

В заключение можно отметить, что функционально-ориентированные технологии относятся к специальным высоким наукоемким технологиям, которые позволяют создавать изделия с качественно новой совокупностью свойств и мерой полезности, в том числе дают возможность изготавливать изделия с применением нанотехнологий.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Общий подход в создании функционально-ориентированных технологий машиностроения // Сборник трудов XII международной научно-технической конференции: Машиностроение и техносфера XXI века. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. Т. 2. С. 261 – 274. 2. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Методика и основные принципы синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение. №7. 2005. С. 3 – 9. 3. Базров Б.М. Модульные технологии. – М.: Машиностроение, 2000. – 368 с. 4. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. - Донецк: ДонНТУ, 2002. - 379 с. 5. Математический энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1988. - 847 с. 6. Цветков В.Д. Система автоматизированного проектирования технологических процессов. - М.: Машиностроение, 1972. - 240 с. 7. DeGarmo E.P., Black J.T., Kohser R.A. Materials and Processes in Manufacturing.- New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. – 1259 р.

# ОБЩАЯ КЛАСИФИКАЦИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ

Михайлова Е.А., Михайлов В.А., Гришин Г.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

In work are considered particularities of the evaporation physical vapor deposition on internal surfaces product. The Broughted categorization physical vapor deposition the internal surfaces product machine building. The Presented matrix possible variant special covering the internal surfaces product. The Designed way and device for performing covering the internal surfaces product. Happen to the results of the experimental studies on evaporation covering on internal surfaces product.

С развитием научно-технического прогресса непрерывно повышаются требования к изделиям машиностроения. Это связано с тем, что эксплуатационные параметры современных машин и механизмов постоянно возрастают, увеличиваются их технические и технологические возможности, а также расширяется функциональная структура оборудования. При этом наблюдается тенденция уменьшения габаритных размеров

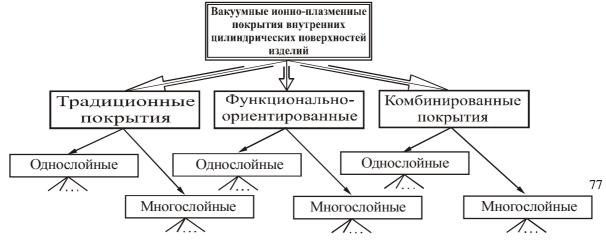


Рис. 1. Общая классификация вакуумных ионно-плазменных покрытий внутрен-

элементов машин и их подсистем, непрерывно возрастает их структурная и функциональная компактность при одновременном стремлении создания машин с качественно новой совокупностью свойств и мерой полезности. Для достижения этого в настоящее время широко используются современные технологии изготовления машин, их механизмов и элементов. К подобным технологиям относятся процессы нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на изделия машиностроения, которые способствуют существенному повышению технико-экономических параметров машин при эксплуатации [1, 2]

В работе выполнена разработка общей классификации вакуумных ионноплазменных покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изделий, которая представлена на рис. 1. Классификация выполнена в виде трех особых групп покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изделий, а именно: традиционные покрытия, функционально-ориентированные покрытия и комбинированные покрытия. При этом каждая из этих групп может выполняться посредством однослойных или многослойных покрытий.

Классификация традиционных вакуумных ионно-плазменных покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изделий представлена на рис. 2.



Эта группа покрытий характеризуется многими параметрами, и выполняется в виде однослойных или многослойных покрытий. Анализ этой группы покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изделий показывает, что это многовариантное множество различных по характеристикам покрытий. Эти покрытия широко могут использоваться для покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изделий в зависимости от функциональных особенностей эксплуатации узла в машине.

Функционально-ориентированные покрытия изделий машиностроения это специальные покрытия его поверхностей и/или отдельных их зон - одним или множеством различных покрытий варьируемых по виду, типу, варианту, качеству и технологии нанесения, которые функционально соответствуют условиям их эксплуатации в каждой отдельной зоне изделия [3, 4, 5]. При этом их вид, тип, вариант, качество и технологии нанесения целенаправленно определяются, а также топологически, функционально и количественно ориентируется при нанесении на каждые отдельные зоны изделия в зависимости от заданных функциональных особенностей их эксплуатации [5]. Применение функционально-ориентированных покрытий для внутренних цилиндрических поверхностей изделий машиностроения позволяет максимально повысить их общие эксплуатационные параметры за счет местного увеличения технических возможностей и свойств отдельных элементов и/или внутренних поверхностей изделия в зависимости от его зональных функциональных особенностей эксплуатации элементов. При этом изделия машиностроения максимально адаптируются по своим свойствам к особенностям их эксплуатации. Здесь на отдельные зоны внутренних поверхностей наносятся различные по своим свойствам покрытия. К ним относятся покрытия различных видов, типов, вариантов, которые реализуются по различным технологиям. Функциональноориентированные покрытия внутренних цилиндрических поверхностей обеспечивают качественно новую совокупность свойств и меру полезности изделий машиностроения. Это дает возможность существенно повысить технико-экономические показатели создаваемых машин и систем.

На рис. 4 представлена классификация функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изде-

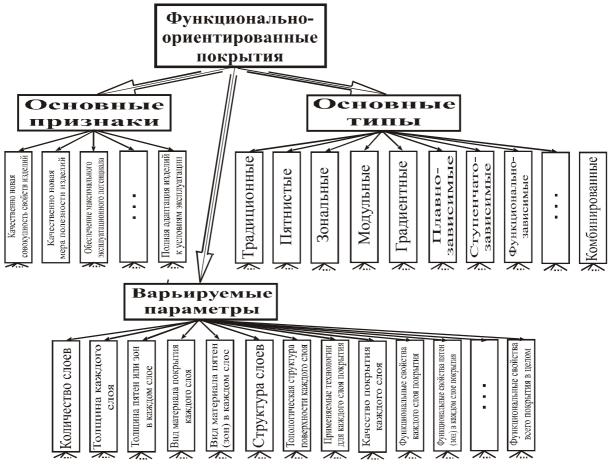


Рис. 3. Классификация функционально-ориентированных вакуумных ионно- 9 плазменных покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изделий

лий. Данная группа покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изделий имеет основные признаки, которые характеризуются следующими параметрами: качественно новой совокупностью свойств, качественно новой мерой полезности, обеспечением максимального эксплуатационного потенциала, ..., полной адаптацией изделий к условиям эксплуатации. Основные типы функционально-ориентированных покрытий определяются варьируемыми параметрами покрытий внутренних цилиндрических поверхностей изделий. При этом в зависимости от варьируемых параметров может быть множество различных типов этих покрытий, а именно: традиционные, пятнистые, зональные, модульные, градиентные, плавно-зависимые и другие типы. Эти типы покрытий определяются следующими параметрами: количеством слоев, толщиной каждого слоя, толщиной пятен или зон в каждом слое, видом материала покрытия каждого слоя и другими параметрами.

Комбинированные покрытия внутренних цилиндрических поверхностей изделий (рис. 1) представляют собой комбинацию традиционных (рис. 2) и функционально-ориентированных покрытий (рис. 3). Это могут быть как однослойные, так и многослойные покрытия внутренних цилиндрических поверхностей различных изделий.

Можно отметить, что одним из интересных для практики типов функциональноориентированных покрытий внутренних цилиндрических поверхностей является пятнистые покрытия. Этот тип покрытий имеет множество различных геометрических вариантов по особенностям пятен и зон (рис. 4).

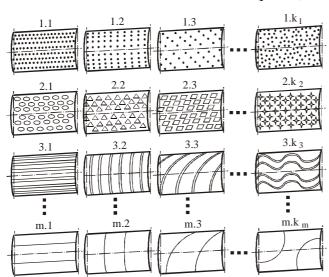


Рис. 4. Матрица возможных вариантов пятнистых или зональных вакуумных ионноплазменных покрытий внутренних поверхностей изделий

Это множество представлено на рис. 4 с помощью матрицы возможных вариантов пятнистых или зональных вакуумных ионноплазменных покрытий внутренних поверхностей изделий. Они могут характеризоваться геометрией пятен или зон покрытия, их пространственным расположением относительно друг друга, плотностью пятен или зон на единице площади поверхности, материалом пятен или зон покрытий, толщиной слоя пятен или зон покрытия и другими параметрами.

Таким образом, в данной работе на основании системного подхода разработана общая классификация вакуумных ионно-плазменных покрытий внутренних цилиндриче-

ских поверхностей изделий машиностроения. Она дает возможность вести направленный поиск и выбор рациональных вариантов покрытий для каждого конкретного практического случая эксплуатации изделия. А также в работе выполнен анализ основных особенностей напыления покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий. В целом выполненная работа дает возможность решать вопросы, связанные с повышением качества изготовления изделий в машиностроении.

**Список литературы: 1.** Машиностроение. Энциклопедия. / Ред. совет: К.В.Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. Т. III – 8 / Ю.В. Панфилов, Л.К. Ковалев, В.А. Блохин и др.; Под общ. ред. Ю.В. Панфилова. 2000. - 744 с. 2. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Ю.Н. Внуков, А.А. Марков, Л.В. Лаврова, Н.Ю. Бердышев. – К.: Тэхника, 1992. – 143 с. 3. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Методика и основные принципы синтеза функциональноориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение. №7. 2005. С. 3 – 9. 4. Mikhaylov A., Mikhaylov V., Mikhaylova E. Bases of synthesis of special functionally oriented vacuum covers of workpieces of mechanical engineering. // Jhe 31 Internationaly Attendeol Scientitic Conference of the Military Technical Academy "Modern Technologits in the 21<sup>th</sup> Century". – Bucharest: МТА, 2005. Р.127-131. 5. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Основы синтеза нового класса вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения // Conferinta Stiintifica Internationala Iasi-Chisinau: Теhnologii Moderne. Calitate. Restructurari. TMCR 2005. Chisinau, 2005. Vol. 2. P. 327-331.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ АЛМАЗОВ – СВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Надуваев В.В., Фролов Е.Н., Лексиков В.П. (БГТУ, г. Брянск, Россия)

The paper considers the possibilities for the effective usage of polikristal - SV diamonds for retargeting grinding wheels used in different kinds of grinding.

В современных условиях постоянно растут требования к качеству и эксплутационным характеристикам деталей машин. Повышение этих показателей достигается, главным образом, применением более прочных и стойких новых видов конструкционных материалов, а также прогрессивных высокопроизводительных методов обработки деталей из этих материалов.

Завершающим этапом изготовления большинства ответственных деталей являются операции абразивной обработки, на которых, как правило, формируются основные показатели качества деталей, такие как точность, качество поверхности и физикомеханические свойства поверхностного слоя. Основными требованиями, предъявляемыми к абразивной обработке, в том числе и к шлифованию, являются повышение производительности и снижение себестоимости обработки при сохранении требуемого качества обработанных поверхностей деталей машин. Несомненные достоинства процесса шлифования реализуются наиболее полно лишь в том случае, когда вместе с процессом шлифования получает аналогичное, или опережающее развитие технология восстановления режущей способности абразивных кругов посредством их правки. Совершенствование процессов правки абразивных кругов является важнейшим условием повышения эффективности шлифования деталей. Это достигается путем использования для правки более производительных и износостойких видов правящих инструментов и оптимизации технологических условий правки [1].

Абразивные круги, как правило, в большей степени расходуются не в процессе шлифования, а в процессе их правки. Следовательно, износ шлифовальных кругов и правящих инструментов, влияющий на показатели процесса шлифования, в значительной мере зависит от вида правящего инструмента и технологических условий правки. Причем затраты времени на правку могут достигать 40-50% штучного времени обра-

ботки. Увеличение производительности процесса шлифования в значительной степени определяется правильным выбором правящих инструментов и совершенствованием самих методов правки. Существенное влияние на работоспособность правящего инструмента и показатели процесса шлифования оказывает правильный выбор вида алмазного сырья. Для изготовления правящих карандашей используются различные виды алмазов.

Проблема замены природных алмазов синтетическими в настоящее время решается не только за счет использования монокристаллических синтетических алмазов, но и путем применения поликристаллических синтетических алмазов.

В связи с этим особое значение приобретают вопросы, связанные с созданием новых видов правящих инструментов при использовании для их изготовления прогрессивных высокопроизводительных инструментальных материалов и более эффективных связок. Наиболее перспективным видом правящих инструментов являются алмазные карандаши, используемые для правки кругов на операциях круглого и плоского шлифования, а также на резьбо- и зубошлифовальных операциях. В настоящее время в правящих карандашах широко используются наряду с инструментальными материалами из природных алмазов различные виды синтетических алмазов и ПСТМ, в том числе и поликристаллические алмазы типа СВ. Алмазы типа СВ имеют достаточно высокую прочность 8-10 ГПа и термостойкость до 1470К, к тому же, обладают изотропией свойств. Данное обстоятельство, а также относительно низкая стоимость данных алмазов позволяют их широко использовать в правящем инструменте, в том числе вместо дорогостоящих природных и некоторых видов синтетических алмазов.

В Брянском государственном техническом университете были разработаны и исследованы ряд конструкций алмазных правящих карандашей, рабочими элементами котрых являются зерна алмазов типа СВ, отработана технология их изготовления и проведены исследования их эксплутационных показателей. В результате предварительно проведенного анализа конструкций правящих инструментов был обоснован целесообразный выбор типоразмеров правящих алмазных карандашей, которые изготавливались типов 01,02,04 исполнения А и С в соответствие ГОСТ 607-80. При изготовлении правящих карандашей использовался метод электроконтактного спекания с последующей горячей допрессовкой на специально созданной установке для спекания (рис.1).

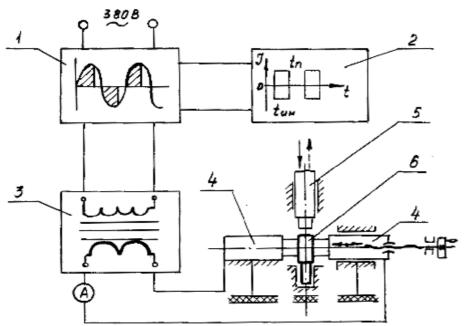


Рис.1 Принципиальная схема установки для электроконтактного спекания алмазных карандашей: 1 — прерыватель линейный (ПСЛ); 2 — система управления; 3 — трансформатор сварочный; 4 — медно-графитовые электроды; 5 — шток пресса(пуансон); 6 — заготовка алмазного карандаша

В результате проведения исследований процесса правки абразивных кругов было установлено, что основными эксплуатационными характеристиками правящих карандашей являются их производительность И износостойкость, скольку от них в значительной мере зависит производительность и себестоимость операций шлифования[2]. Наибольшее влияние на износостойкость правящих карандашей оказывают статическая прочность алмазов, их термостойкость, зернистость и концентрация, а также твердость, износостойкость и прочность алмазоудерживающей связки. Материал связки должен иметь близкий к алмазу коэффициент теплового расширения, чтобы алмаз не испытывал дополнительных термических напряжений в процессе правки. Однако, наиболее распространенные для изготовления алмазных карандашей металлические связки не обеспечивают надежного удержания алмазных зерен. В результате этого до 95% алмазов полностью не расходуются на правку абразивных кругов, так как в процессе правки большинство их них вырывается из связки. Данное обстоятельство является причиной повышенного износа правящего инструмента, нестабильности рабочих характеристик абразивных кругов и ухудшения показателей процесса шлифования. Это явление объясняется достаточно низкой адгезионной активностью большинства металлических связок по отношению к химически инертному алмазу. Это прежде всего относится к связкам на основе композиции Cu+Sn, наиболее широко применяемым при изготовлении правящих карандашей. Повышение прочности алмазоудержания связок достигалось путем введения в их состав незначительных количеств так называемых переходных металлов Cr, Ti, V, Ni, что обеспечило хорошую смачиваем ость жидким металлом поверхности алмаза и, следовательно повышение адгезионной активности связки. Так введение в состав связки Cu+Sn до 1% Ni позволило снизить величину критической глубины заделки алмазного зерна в 1,5-2 раза, что значительно повысило прочность алмазоудержания и способствовало снижению удельного расхода алмазоносного слоя, являющегося основным показателем износостойкости правящих карандашей.

На основании выполненных исследований было установлено, что существенное влияние на показатели износостойкости правящих карандашей оказывает характер износа алмазного слоя. В ходе микроскопического анализа была определена картина износа и установлен механизм изнашивания алмазоносного слоя. Как показали исследования, в процессе правки связка на рабочей поверхности карандаша изнашивается неравномерно. Наиболее интенсивный износ происходит в зоне вокруг алмазного зерна, где образуется углубление под действием потока абразивного шлама, снимаемого с круга в процессе правки, что способствует снижению износостойкости алмазных правящих карандашей. Это явление наблюдается практически для всех видов металлических связок, независимо от их твердости. Повышение износостойкости может быть достигнуто путем введения в связку высокоабразивных наполнителей и относительного повышения концентрации алмазов.

Основные закономерности процесса правки абразивных кругов были подтверждены в ходе экспериментальных исследований, которые проводились для оценки работоспособности алмазных правящих карандашей, изготовленных из алмазов типа CB. Исследованию подвергались карандаши типа 02 и 04 исполнения C, изготовленные из природных алмазов и алмазов типа CB на медно-оловянной и твердосплавной связках. Правке данными карандашами подвергались абразивные круги, изготовленные по ГОСТ 2424-83 типа ПП400х40х203. Процесс правки осуществлялся на универсальном кругло-шлифовальном станке модели 3Б153У на следующих режимах  $V_{\rm кp}$ =36м/с,  $S_{\rm прод}$ =0,5м/мин,  $S_{\rm попер}$ =0,03мм/дв.х.,  $V_{\rm охл}$ =20л/мин. Износ правящих карандашей оценивался весовым методом на аналитических весах WA-31 производства Польши. Износ абразивных кругов определялся линейным методом [3].

По результата проведенных исследований были получены экспериментальные зависимости удельного расхода алмазного слоя правящих карандашей из природных

алмазов и алмазов типа СВ от зернистости и концентрации алмазов, а также твердости и износостойкости связки карандашей и абразивных кругов.

Проведенные теоретико-экспериментальные исследования позволили установить влияние физико-механических свойств связки и ее износостойкости на показатели износостойкости алмазных правящих карандашей. Исследования показали, что при использовании связок, обладающих большей твердостью, например, М6-02 значения удельного расхода алмазного слоя оказалось меньше, чем у карандашей со связкой М2-01. Причем при малых значениях зернистости влияние износостойкости сказывается на удельном расходе гораздо больше, чем при более высоких зернистостях.

Значение удельного расхода алмазного слоя снижается с увеличением концентрации алмазов с 5% до 85% более чем в 3 раза для карандашей их природных алмазов и в 4 раза для карандашей из алмазов типа СВ.

На основании полученных экспериментальных исследований были выявлены оптимальные характеристики для определенного вида правящего инструмента и конкретных условий правки абразивных кругов, которые следует рекомендовать для широкого использования в машиностроительной отрасли (см. табл. 1) [4].

Таблица 1. Рекомендуемые области применения алмазных карандашей для прав-

ки абразивных кругов

Вид шлифо- вания	Параметры шлифовального круга				Характеристика правящего каран- даша		
	Марка аб- разива	Разме- ры Dxh, мм	Зерни-	Твер- дость	Марка ал- маза	Мате- риал связки	Обозначе- ние
Круг- лое на- ружное	24A, 25A 64C	600x63 400x40	16-40	CM-C CT1-CT2	алмаз СВ прир. алм.А	M2-01 M6-02 M8-01	3908-0086 3908-0088 3908-0091 3908-0093
Бесцен-	24A, 25A	400x63	16-40	CT1-CT2 CT1-CT2	алмаз СВ прир. алм.А	M2-01 M6-02 M8-01	3908-0085 3908-0088 3908-0091 3908-0093
Внут-	24A, 25A	150x40	8-40	M-CM-C	алмаз СВ	M2-01	3908-0055 3908-0085
Плос- кое	64C	500x63	16-40	CT1-CT2	прир. алм.А	M6-02 M8-01	3908-0085 3908-0088
Резьбо- и зу- бош- лифо- вание	Эльбор 24A, 25A	400x8 300x32	63/50	Т1-Т2 Ст1-СТ2	алмаз СВ прир. алм.А прир. алм.А	M2-01 M6-02 M6-02	3908-0061 3908-0062 3908-0069

Анализируя результаты полученных исследований можно утверждать, что значения удельного расхода алмазного слоя для карандашей из природных алмазов несколько ниже, чем для карандашей из алмазов типа СВ, в среднем на 15-20% при одинаковых условиях эксплуатации. Однако, при этом следует отметить, что себестои-

мость правящих карандашей, изготовленных из алмазов типа CB в 8-10 раз ниже себестоимости карандашей из природных алмазов. Всесторонний анализ закономерностей процессов правки абразивных кругов и обстоятельства, представленные выше, а также расчеты экономической эффективности процессов шлифования в целом показали, что карандаши из поликристаллических алмазов типа CB достаточно эффективны при правке абразивных кругов различной твердости, а это позволяет рекомендовать их для широкого использования в промышленности.

Список литературы: 1. Малышев, В.И. Прогрессивные методы абразивных кругов/ В.И. Малышев, В.И. Пилинский, Г.Г. Покладий и др. – Киев, техника, 1995. – 112с. 2. Аверченков, В.И. Исследование правки абразивных кругов карандашами на основе ПСТМ-алмазов типа СВ/ В.И. Аверченков, В.В. Надуваев// Прогрессивные технологии – основа качества и производительности обработки изделий, АТН РФ ВВО, – Нижний Новгород, – 1999. – С.40-47. 3. Аверченков, В.И. Исследование технологических возможностей правящих карандашей из поликристаллических сверхтвердых материалов – алмазов типа СВ/ В.И. Аверченков, В.В. Надуваев, Е.Н. Фролов, В.В. Радьков// Сверхтвердые материалы. – 1998. – №2, С.72-76. 4. Надуваев, В.В. Повышение эффективности правки абразивных кругов карандашами из алмазов типа СВ/ В.В. Надуваев, Е.Н. Фролов// Высокоэффективные технологии в машиностроении: тез. докл. конф. – Москва – 2003. – С 56-58.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ КОНСТАНТ ДЛЯ ПРОИЗВОДНЫХ ЭЛКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ

Настасенко В.А. (ХНТУ, г. Херсон, Украина)

On the basis of established connection of Plank's parameters of length  $l_p$ , time  $l_p$  and mass  $m_p$  with the fundamental physical constants: Plank's circular constant  $T_p$ , gravitational constant  $T_p$  and light speed in vacuum  $T_p$ , opened only of electric and magnetic elements regularities expressed only by means of constants  $T_p$ ,  $T_p$ ,  $T_p$ .

Связь проблемы с основными научными направлениями.

Работа относится к области создания естественных систем единиц измерения, в частности — определения величин производных констант электрических и магнитных единиц измерения. В ее основу положены 5 фундаментальных физических констант: круговая постоянная Планка T, гравитационная постоянная G, скорость света в вакууме c, универсальная электрическая постоянная  $e_o$  и универсальная магнитная постоянная  $m_o$ , что выводит исследования на уровень основ мироздания, в частности — квантовой механики, электричества и магнетизма. При этом обеспечиваются новые возможности для создания естественных систем единиц измерения, что существенно расширяет границы более полного понимания сущности и строения материального мира, а также создает базу для разработки единой системы единиц измерений. Решение указанных проблем представляет большой теоретический и практический интерес не только для метрологии, но и для развития науки в целом, как общей системы познания материального мира.

## Анализ состояния проблемы и постановка задачи.

В настоящее время в Международной системе единиц измерения (**СИ**) [1], кроме трех основных механических единиц измерений: единицы длины l, равной l метру (м),

единицы массы m, равной 1 килограмму (кг) и единицы времени t, равной 1 секунде (c), введена также четвертая основная единица – электрическая: сила электрического тока I. равная 1 амперу (А). Величина 1(А) представляет силу неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным на расстоянии в 1 м друг от друга в вакууме, вызывал бы на каждом участке проводника длиной в 1 м, силу взаимодействия, равную 2·10<sup>-7</sup>Н [1]. В сфере электричества и магнетизма, на базе этих единиц измерений, найден ряд производных электрических и магнитных единиц, в т.ч. получивших специальные названия: - количество электричества (электрический заряд) Q, выраженные величиной в 1 Кулон (Кл); электрическое напряжение U, выраженное величиной в 1 Вольт (В); электрическое сопротивление R, выраженное величиной в Ом (Ом); электрическая проводимость r, выраженная величиной в 1 сименс (См), электрическая емкость C, выраженная величиной в 1 фараду ( $\Phi$ ); магнитный поток F, выраженной величиной в 1 Вебер (Вб); индуктивность L, выраженная величиной в 1 Генри  $(\Gamma_H)$ : магнитная индукция B, выраженная величиной в 1 Теслу  $(\Gamma_H)$  [1]. При этом основные единицы и все вытекающие из них производные единицы, ни качественно, ни количественно несогласованны между собой, что является существенным недостатком, усложняющим их воспроизведение и применение, т.к. требует создания для них своих эталонов, способов измерения и систем применения. Кроме того, изначальная привязка основных единиц измерения к Земным параметрам (1 метра – как 1/10000000 от 1/4 длины Парижского географического меридиана; 1 секунды – как <sup>1</sup>/<sub>86400</sub> части Земных суток, в рамках которых они в настоящее время выражены через величины периодов излучения атомов; 1 килограмма – в виде массы платинового цилиндра, диаметром и высотой 39 мм, хранимого в Международном бюро мер и весов в Париже; 1 ампера -как величины силы тока, вызывающего взаимодействие двух проводников в условиях, приведенных выше в определении), затрудняет понимание их истинного физического смысла. Кроме того, обоснованность применения таких численных значений основных и производных физических величин в рамках Вселенной сомнительна, хотя бы потому, что Земля не является ее основополагающим центром или ключевой системой отсчета.

Приведенные недостатки вынуждают искать новые численные значения данных величин и систем их измерений, поскольку для механических единиц они уже найдены [2]. Поэтому их поиск составляет главную цель выполняемой работы.

#### Поиск путей реализации поставленной цели.

Ранее выполненные автором работы [2-5] позволяют заключить, что среди всех систем измерений высший уровень обобщения имеют те, которые основаны на единых для всей Вселенной единицах, к каким следует отнести фундаментальные физические константы. Однако для электрических и магнитных единиц данная задача не решена, хотя ее актуальность, по мере все более глубокого проникновения науки и техники к основам материального мира, постоянно возрастает.

Исследования [2-5] позволяют утверждать, что в настоящее время наибольшие возможности в создании единой системы единиц измерения обеспечивает обращение к планковским величинам длины  $l_p(1)$ , времени  $t_p(2)$  и массы  $m_p(3)[1]$ :

$$l_{p} = \ddot{\mathcal{O}}(T_{1}G/c^{3}) = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ M};$$

$$t_{p} = \ddot{\mathcal{O}}(T_{1}G/c^{5}) = 5,39056 \cdot 10^{-44} \text{ c};$$

$$m_{p} = \ddot{\mathcal{O}}(T_{1}c/G) = 2,17671 \cdot 10^{-8} \text{ KF};$$
(3)

$$t_p = O(T_0 G/c^3) = 5.39056 \cdot 10^{-44} \,\mathrm{c};$$
 (2)

$$m_p = \ddot{\mathbf{O}}(T_{C/G}) = 2,17671 \cdot 10^{-8} \,\mathrm{Kr};$$
 (3)

где T – круговая постоянная Планка, T = 1,05457266·10<sup>-34</sup>Дж·с, (4)

$$G$$
 – гравитационная постоянная,  $G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{c}^2)$ , (5)

$$c$$
 – скорость света в вакууме,  $c = 0.299792458 \cdot 10^9$  м/с. (6)

При этом главными особенностями планковских единиц  $l_p$ ,  $t_p$ ,  $m_p$  является то, что

- 1) их получение не относится к произвольно выбранным природным параметрам с произвольными численными пределами, как это было ранее сделано с механическими единицами - метром, секундой и килограммом, а вытекает из строгих зависимостей (1...3), составленных на базе трех фундаментальных физических констант: T (4), G (5) и c (6), единых для всей Вселенной;
- 2) они являются реальными величинами, связанными с параметрами Вселенной, что строго доказано в работах [2-5] на базе закона всемирного тяготения и вытекающей из него 1-й космической скорости: — планковская длина  $l_p$  представляет собой толщину планковских сферических слоев, которые охватывают друг за другом все пространство Вселенной, планковское время  $t_p$  представляет время прохождения одного стого слоя со скоростью света c, а планковская масса  $m_p$  представляет собой общую массу этого слоя;
- 3) полученные из них производные механические единицы планковского уровня (плотность, давление и др.), также характеризуют свои параметры слоев Вселенной и являются для нее минимальными или максимальными вторичными фундаментальными физическими константами [2];
- 4) до тех пор, пока не будут найдены другие физические константы, подобного константам T, G, c фундаментальные уровня, а из них не будут строго получены новые физические зависимости, дающие иные численные характеристики слоистой структуры Вселенной, их применение является правомочным для описания материального мира.

Указанные факторы подтверждают особое место всех планковских параметров в общей системе мироздания, при этом следует учесть, что наличие планковского уровня реальных физических констант, производных от механических единиц измерения, дает все основания полагать, что подобная связь возможна также для планковского уровня констант, производных от других основных единиц измерения, в т.ч. – электрических и магнитных. Поэтому их поиск является следующей целью выполняемой работы.

## Определение производных фундаментальных физических констант для существующих электрических и магнитных величин.

Проведенный анализ показал, что обе поставленные в данной работе цели: – 1) обоснование возможности создания единой системы механических и электрических единиц измерений, 2) определение производных фундаментальных электрических и магнитных констант с последующим нахождением их связи с реальными объектами материального мира, объяснением их реального физического смысла и определением их численного значения, могут быть достигнуты на базе проименения основных единиц измерения: - метра, секунды, килограмма, ампера, выраженных планковского уровня величинами длины  $l_p$ , времени  $t_p$ , массы  $m_p$  и силы тока  $I_p$ .

Для доказательства этого, в дальнейших исследованиях использована открытая в работе [6] возможность получения первичных фундаментальных физических констант c, G, T на базе производных физических констант  $l_p$ ,  $t_p$  и  $m_p$ , в рамках их собственной размерности (7...9):

$$c \text{ (M/c)} = l_p/t_p = 1,61621 \cdot 10^{-35} \text{(M)}/5,39109 \cdot 10^{-44} \text{(c)} = 0,2997928 \cdot 10^9 \text{(M/c)},$$

$$G \text{ (M}^3/(\text{KF} \cdot \text{c}^2)) = l_p^3/(m_p t_p^2) =$$
(7)

$$= (1,61621 \cdot 10^{-35} (\text{M}))^{3}/(2,17650 \cdot 10^{-8} (\text{K}\Gamma) \cdot (5,39109 \cdot 10^{-44} (\text{c}))^{2}) = 6,67393 \cdot 10^{-11} \text{M}^{3}/(\text{K}\Gamma \cdot \text{c}^{2}),$$
(8)  

$$\mathcal{H}(\text{Дж} \cdot \text{c}) = \mathcal{H}(\text{K}\Gamma \cdot \text{M}^{2}/\text{c}) = m_{p} l_{p}^{2} / t_{p} =$$

$$= 2,17650 \cdot 10^{-8} (\text{K}\Gamma) \cdot (1,61621 \cdot 10^{-35} (\text{M}))^{2}/5,39109 \cdot 10^{-44} (\text{c}) = 1,054575 \cdot 10^{-34} (\text{K}\Gamma \cdot \text{M}^{2}/\text{c}).$$
(9)

$$= 2,17650 \cdot 10^{-8} (\text{K}\Gamma) \cdot (1,61621 \cdot 10^{-35} (\text{M}))^{2} / 5,39109 \cdot 10^{-44} (\text{c}) = 1,054575 \cdot 10^{-34} (\text{K}\Gamma \cdot \text{M}^{2} / \text{c}). \tag{9}$$

Тогда, по аналогии с зависимостями (7)...(9), для электрической постоянной  $e_o =$  $= 8,854187817...\cdot 10^{-12} \,\mathrm{A}^2 \mathrm{c}^4 / (\mathrm{кr}\cdot \mathrm{m}^3) \,[1]$ , по ее размерности  $\mathrm{A}^2 \mathrm{c}^4 / (\mathrm{кr}\cdot \mathrm{m}^3)$  получим исходную зависимость (10) для определения планковской силы тока  $I_p$  (11):

$$e_o(A^2c^4/(\kappa\Gamma \cdot M^3)) = I_p^2 t_p^4/(m_p l_p^3) = 8,854187817...\cdot 10^{-12} A^2c^4/(\kappa\Gamma \cdot M^3), (10)$$

$$I_p = \ddot{O}(e_o m_p l_p^3/t_p^4)(A). \tag{11}$$

 $I_p = \ddot{\mathcal{O}}(e_o m_p l_p^{\ 3}/t_p^{\ 4})(A).$  (11) Подставив в (11) численные значения  $e_o = 8,854187817...\cdot 10^{-12} \text{A}^2 \text{c}^4/(\kappa \Gamma \cdot \text{M}^3)$ , а также  $t_{p}$  (2),  $m_{p}$  (3) и  $l_{p}$  (1), получим численное значение планковской силы тока  $I_{p}$  (12):

$$I_{p} = \ddot{O}(e_{o}m_{p}l_{p}^{3}/t_{p}^{4}) =$$

$$= \sqrt{(8,8541878 \cdot 10^{-12} (\text{A}^{2}\text{c}^{4}/(\text{kf} \cdot \text{m}^{3})) \cdot 2,17671 \cdot 10^{-8} (\text{kf}) \cdot (1,61605 \cdot 10^{-35} (\text{m}))^{3}/(5,39056 \cdot 10^{-44} (\text{c}))^{4})} =$$

$$= 0,981497 \cdot 10^{25} (\text{A}). \tag{12}$$

Подставив далее в выражение (12) аналитические зависимости (1),(2),(3), можно определить величину  $I_p$  уже через первичные фундаментальные физические константы  $T_0$ , C, C, C0 по зависимости (13):

$$I_{p} = \ddot{\boldsymbol{O}}(\boldsymbol{e}_{o}\ddot{\boldsymbol{O}}(\boldsymbol{T}\boldsymbol{c}/\boldsymbol{G}) \times \ddot{\boldsymbol{O}}(\boldsymbol{T}\boldsymbol{G}/\boldsymbol{c}^{3}))^{3} / (\ddot{\boldsymbol{O}}(\boldsymbol{T}\boldsymbol{G}/\boldsymbol{c}^{5}))^{4}) = c^{3}\ddot{\boldsymbol{O}}(\boldsymbol{e}_{o}/\boldsymbol{G}) =$$

$$= (0.299792458 \cdot 10^{9} (\text{M/c}))^{3} \cdot \ddot{\boldsymbol{O}}(8.854187817 \cdot 10^{-12} (\text{A}^{2}\text{c}^{4}/(\text{K}\text{G}\cdot\text{M}^{3}))/6,67259881 \cdot 10^{-11} (\text{M}^{3}/(\text{K}\boldsymbol{\Gamma}\cdot\boldsymbol{c}^{2})) =$$

$$= 0.981497 \cdot 10^{25} (\text{A}). \tag{13}$$

Аналогичные значения планковской силы тока  $I_p$  (14)...(16) будут получены при использовании в качестве исходной величины магнитной постоянной  $m_0$  [1], имеющей размерность  $H/A^2$  и численное значение  $m_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/A^2$ , что подтверждает их верность в рамках связи  $m_0 = 1/(e_0c^2)$  [1]:

$$m_{o}(H/A^{2}) = m_{o}(\kappa_{\Gamma} \cdot M/(c^{2} \cdot A^{2})) = m_{p}l_{p}/(t_{p}^{2}I_{p}^{2}), \qquad (14)$$

$$I_{p} = \ddot{O}(m_{p}l_{p}/(t_{p}^{2}m_{o})) =$$

$$= \sqrt{(2,17671 \cdot 10^{-8}(\kappa_{\Gamma}) \cdot 1,61605 \cdot 10^{-35}(M)/((5,39056 \cdot 10^{-44}(c))^{2} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}(\kappa_{\Gamma} \cdot M/(c^{2} \cdot A^{2}))))} =$$

$$= 0,981497 \cdot 10^{25} (A). \qquad (15)$$

$$I_{p} = \ddot{O}(\ddot{O}(\pi_{C}/G) \cdot \ddot{O}(\pi_{C}/c^{3})/((\ddot{O}(\pi_{C}/c^{5}))^{2}m_{o})) = \ddot{O}(c^{4}/(Gm_{o})) =$$

$$= \sqrt{((0,299792458 \cdot 10^{9}(M/c))^{4}/(6,67259 \cdot 10^{-11}(M^{3}/(\kappa_{\Gamma} \cdot c^{2})) \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}(\kappa_{\Gamma} \cdot M/(c^{2} \cdot A^{2}))))} =$$

$$= 0.981497 \cdot 10^{25} (A). \qquad (16)$$

При этом в выражениях (13) и (16) исключается энергетическая константа Т, а остается гравитационная постоянная G, что свидетельствует о единстве материального мира на планковском уровне. Следует учесть, что получение зависимостей (7)...(16) не является простым выражением констант c, G, T,  $e_o$ ,  $m_o$  самих через себя, поскольку данные зависимости не выродились в тождества, кроме того, планковские производные константы основных единиц измерения в них используются в различных комбинациях. Найденные выражения для планковской силы тока (12)...(16) выведены строгим путем и уточняют полученные в работе [5] априорным путем значения  $I_p$ , отличающиеся от новых  $I_p$  (12)...(16) на величину коэффициента  $\ddot{O}(4p)$ , что доказывает принципиальную верность обоих подходов, но свидетельствует о неточностях предыдущей работы [5].

Достижение полученных результатов для независимых друг от друга констант c,  $G, T_1, e_o, m_o$  возможно лишь при реальной взаимосвязи этих параметров с планковскими величинами  $l_p, t_p, m_p, I_p$ , т.к. при ее отсутствии искусственным путем согласовать все параметры (1...16) практически невозможно. Поэтому есть все основания считать их реальными, как и другие производные от них физические константы, а связь первичных констант с планковскими сферами Вселенной позволяет свести реальный физический смысл любых производных от первичных констант к дополнительным характеристикам данных сфер и протекающих в них процессов, что еще раз подтверждает потребность в определении всех принципиально возможных производных физических констант.

При решении данной задачи для известных в настоящее время электрических и магнитных величин, использовали найденную в работе [2] связь между первичными и производными от них вторичными фундаментальными физическими константами и их размерностью. В этом случае любые новые производные фундаментальные физические константы и связанные с ними планковские физические величины могут быть найдены таким же путем. Например, количество электричества или электрический заряд:

$$Q_p = I_p t_p = 0.981497 \cdot 10^{25} (A) \cdot 5.390561479 \cdot 10^{-44} (c) = 5.29082 \cdot 10^{-19} (A \cdot c).$$
 (17)

Дальнейшее преобразование найденной величины заряда (17) выполнено через производные планковские константы  $I_p$  и  $t_p$ , которые уже выражены через первичные физические константы c, G, T,  $e_o$ , (13), (2), что дает окончательное выражение той же величины заряда в виде искомой производной планковской константы  $Q_p$ :

$$Q_{p} = I_{p}t_{p} = c^{3}\ddot{\mathcal{O}}(e_{o}/G) \times \ddot{\mathcal{O}}(T_{0}G/c^{5}) = \ddot{\mathcal{O}}(T_{0}ce_{o}) =$$

$$= \sqrt{(1,05457266 \cdot 10^{-34}(\text{Дж} \cdot \text{c}) \cdot 0,299792458 \cdot 10^{9}(\text{M/c}) \cdot 8,854187817 \cdot 10^{-12}(\text{A}^{2}\text{c}^{4}/(\text{K}\Gamma \cdot \text{M}^{3})))} =$$

$$= 5,290819804 \cdot 10^{-19}(\text{A} \cdot \text{c}). \tag{18}$$

Для выраженного той же размерностью (A·c) потока электрического смещения D [1], характеризующего магнитные показатели, дальнейшие преобразования выполнены через производные планковские константы  $I_p$  и  $t_p$ , которые выражены через первичные физические константы c, G, T, m, (16), (2), что дает новое выражение для величины электрического смещения в виде искомой производной планковской константы  $D_p$ :

$$D_{p} = I_{p}t_{p} = \ddot{\mathbf{O}}(c^{4}/(G\mathbf{m}_{o})) \times \ddot{\mathbf{O}}(T_{0}G/c^{5}) = \ddot{\mathbf{O}}(T_{0}/(c\mathbf{m}_{o})) =$$

$$= \sqrt{(1,05457266 \cdot 10^{-34}(\Pi_{xx} \cdot c)/(0,299792458 \cdot 10^{9}(M/c) \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}(\kappa_{x} \cdot M/(c^{2} \cdot A^{2})))} =$$

$$= 5,290819804 \cdot 10^{-19}(A \cdot c). \tag{19}$$

Таким образом, путь получения других производных физических констант для известных в настоящее время электрических и магнитных величин [1] можно считать найденным, что позволяет приступить к выводу требуемых расчетных зависимостей и определению их количественных значений. При этом целесообразна дифференциация всех окончательно найденных зависимостей, по аналогии с электрическим зарядом (18) и электрическим смещением (19), в рамках преобладания электрической или магнитной характеристик, отражающих физический смысл данной константы.

Поскольку дальнейшее получение других производных констант электрических и магнитных единиц в рамках предложенного принципа является чисто формальным процессом, доступным для повторения любым специалистом в данной сфере, поэтому далее приводятся лишь конечные результаты из выведенных формул и вытекающих из них количественных значений, которые сведены в таблицу:

Таблица 1. Основные и производные фундаментальные физические константы

для электрических и магнитных параметров

<u> </u>	1 1		I	1	
$N_{\underline{0}}$	Наименование	Единица	Размер-	Формула	Численное
$\Pi/\Pi$	Панменование	измерен.	ность		значение
1	2	3	4	5	6
1	Длина $l_p$	M	M		$1,61621\cdot10^{-35}$
2	$\mathbf{B}$ ремя $t_p$	c	c	$\ddot{O}(T_1G/c^5)$	5,39109·10 <sup>-44</sup>
3	Macca $m_p$	КГ	ΚΓ	Ö(T₁c/G)	$2,17650\cdot10^{-8}$
4	Сила электрического тока $I_p$			$a^3\ddot{\Omega}(a/C)$	
	Магнитодвижущая сила $F_{mp}$ или	A	Α	$c^{3}\ddot{\mathbf{O}}(\mathbf{e}_{o}/G)$ $c^{2}/\ddot{\mathbf{O}}(G\mathbf{m}_{o})$	$9,81497\cdot10^{24}$
	разность магнитных потенциалов			C/U(GIII <sub>0</sub> )	
5	Плотность электрического тока $J_p$	$A/m^2$		$c^6 \ddot{m{ extbf{O}}}$	
			$A/m^2$	$(e_o/(T_1^2G^3))$	$3,75745\cdot10^{94}$
				)	
6	Линейная плотность электрическо-	А/м	А/м	$\ddot{\ddot{\mathcal{O}}}(e_o \ c^9/(T_iG^2))$	6,07283·10 <sup>59</sup>
	го тока $a_p$	/A/M	/A/M	$c^9/(T_0G^2)$	0,07283.10

	Напряженность магнитного поля $H_p$ Намагниченность или интенсивность намагничивания $Hi_p$			$ \begin{array}{c} \ddot{o} \\ (c^7/(T_1G^2\mathbf{m}_o)) \end{array} $	
7	Магнитный момент амперовский $p_p$	A⋅m <sup>2</sup>	$\mathbf{A} \cdot \mathbf{M}^2$	(Th/c)Ö (G/m₀)	2,56329·10 <sup>-45</sup>
8	Количество электричества или электрический заряд $Q_p$ Поток электрического смещения $L_p$	Кл Кл	А·с Кл <b>А</b> ×с	Ö(Tice₀) Ö(Ti/(cm₀))	5,29082·10 <sup>-19</sup>
9	Пространственная плотность электрического заряда $r_{qp}$	$Kл/м^3$	$A \cdot c/m^3$	$ \begin{array}{c} c^5 \ddot{\mathbf{O}}(\mathbf{e}_o) \\ /(\mathcal{H}^2 G^2)) \\ \ddot{\mathbf{O}}(c^7 \mathbf{e}_o /(\mathcal{H} G^2)) \end{array} $	$1,25323\cdot10^{86}$
10	Поверхностная плотность электрического заряда $S_{qp}$ Электрическое смещение $D_p$	Кл/м <sup>2</sup> Кл/м <sup>2</sup>	$A \cdot c/m^2$ $K \pi/m^2$ $A \times c/m^2$	$ \begin{array}{c} \ddot{\mathbf{O}}(c^{7}\mathbf{e}_{o}/(\mathcal{H}G^{2})) \\ \dot{\mathbf{C}}(c^{5}/(\mathcal{H}G^{2}\mathbf{m}_{o})) \end{array} $	2,02548·10 <sup>51</sup>
11	Электрический момент диполя $p_{ep}$	Кл∙м	А·с·м	$(T_{c})\ddot{\mathcal{O}}$ $(Ge_{o})$	8,55108·10 <sup>-54</sup>
12	Электрическое напряжение $U_p$ Электродвижущая сила $\mathcal{I}_p$ Электрический потенциал $\mathbf{j}_p$ или разность электрических потенциалов	В	кг·м <sup>2</sup> /(А·с <sup>3</sup> ) <b>Н</b> *м/Кл Дж/Кл Вт/А	$c^2/\ddot{\mathcal{O}}(Ge_o)$	3,69760·10 <sup>27</sup>
13	Напряженность электрического поля $H_p$	В/м	кг·м/(А·c <sup>3</sup> ) <b>Н/Кл</b>	$\ddot{o} \ (c^7/(G^2T_1e_o))$	$2,28760 \cdot 10^{62}$
14	Электрическая емкость $C_p$	Φ	$A^2 \cdot c^4 / (\kappa \Gamma \cdot M^2)$ <b>К</b> л/ <b>B</b>	$e_o\ddot{\mathcal{O}}(\mathcal{H}G/c^3)$	1,43087 ·10 <sup>-46</sup>
15	Абсолютная диэлектричсеская проницаемость $e_p$	Ф/м	$A^2 \cdot c^4 / (\kappa \Gamma \cdot M^3)$ <b>К</b> л/( <b>В</b> × <b>M</b> )		8,85419·10 <sup>-12</sup>
16	Магнитная индукция $B_p$	Тл	$K\Gamma/(A \cdot c^2)$ $H/(A \times M)$ $B6/M^2$	$ \begin{array}{c c} \ddot{o} \\ (c^7 m_{\circ}/(G^2 T_1) \\ )) \end{array} $	7,63059·10 <sup>56</sup>
17	Магнитный поток $F_p$	Вб	кг·м²/(А·с ²) Дж/А Вж	$\ddot{O}(\mathcal{H}c\mathbf{m}_{o})$	1,99321·10 <sup>-16</sup>
18	Магнитный момент кулоновский $j_p$	Вб∙м	кг·м <sup>3</sup> /(A·c <sup>2</sup> ) Джжм/А Вж жм	(Th/c)Ö (Gm <sub>o</sub> )	3,22145·10 <sup>-51</sup>
19	Индуктивность $L_p$	Гн	КГ·М <sup>2</sup> /(A <sup>2</sup> ·c <sup>2</sup> ) Дж/A <sup>2</sup> Вб/А	$m_o\ddot{\mathcal{O}}(\mathcal{T}_0G/c^3)$	2,03099·10 <sup>-41</sup>

20	Абсолютная магнитная проницаемость $m_p$	I H/M	$\mathbf{K}\Gamma \cdot \mathbf{M}/(\mathbf{A}^2 \cdot \mathbf{c}^2)$ $\mathbf{H}/\mathbf{A}^2$	<b>m</b> <sub>o</sub>	12,56637·10 <sup>-7</sup>
21	Магнитное сопротивление $R_{mp}$	Гн <sup>-1</sup>	$\mathbf{A}^2 \cdot \mathbf{c}^2 / (\mathbf{K} \Gamma \cdot \mathbf{M}^2)$ $\mathbf{A}^2 / \mathbf{J} \mathbf{x}$	$\ddot{O}(c^3/\hbar G m_o^2)$	4,92371·10 <sup>40</sup>
22	Электрическое сопротивление $R_p$	Ом	$K\Gamma \cdot M^2/(A^2 \cdot c^3)$ $BT/A^2$ $B/A$	1/(c <b>e</b> <sub>o</sub> )	3,76730·10 <sup>2</sup>
23	Удельное электрическое сопротивление $r_p$	Ом·м	$K\Gamma \cdot M^3/(A^2 \cdot c^3)$	$\ddot{O}(T_0G/(c^5\mathbf{e}_o^2))$	6,08875·10 <sup>-33</sup>
23	Электрическая проводимость $G_p$	См	$A^2 \cdot c^3 / (\kappa \Gamma \cdot M^2)$ ) A/B	<i>c</i> <b>e</b> ₀	2,65442·10 <sup>-3</sup>
24	Удельная электрическая проводимость $S_p$	См/м	$A^2 \cdot c^3 / (\kappa \Gamma \cdot M^3)$	$\begin{array}{c} \ddot{0} \\ (e_o c^5 / (ThG)) \end{array}$	$1,64237 \cdot 10^{32}$
10	Электромагнитная энергия $w_p$	Дж	$\kappa \Gamma \cdot M^2/c^2$	$\ddot{O}(T_1c^5/G)$	1,95613·10 <sup>9</sup>
11	Активная мощность $P_p$	Вт	$\kappa \Gamma \cdot M^2/c^3$	$c^5/G$	$3.62847 \cdot 10^{52}$

#### Анализ полученных результатов.

Приведенные в уравнениях (12...19) результаты подтверждают принципиальную возможность сведения всех известных электрических и магнитных величин до уровня производных констант от первичных фундаментальных констант c, G, T,  $e_o$ ,  $\mathbf{m}_o$ . Новое представление производных электрических и магнитных констант позволяет выявить ряд особенностей материального мира, в первую очередь – строгую количественную связь производных констант между собой. Для многих из них эта связь явно выражена как между собой, так и между силовыми (H) и энергетическими (Дж) показателями (выделены в таблице). Эта связь является важным достоинством нового представления многих физических величин, что позволяет уточнить их физический смысл. В рамках реальности первичных фундаментальных физических констант, по аналогии с ранее полученными [2] производными механическими константами.

Верность всех полученных зависимостей подтверждается полным совпадением планковских величин абсолютной диэлектрической проницаемости (п. 15) и магнитной проницаемости (п. 20) с реально определенными фундаментальными физическими константами: электрической постоянной  $e_o = 8,854187817...\cdot 10^{-12} \text{A}^2 \text{c}^4/(\text{кгм}^3)$  и магнитной постоянной  $m_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{H/A}^2$  [1].

## Основные выводы и сделанные открытия.

На базе открытой ранее возможности получения фундаментальных физических констант c, G, T через основные физические единицы измерения планковского уровня,  $l_p$ ,  $t_p$ ,  $m_p$ , вытекающей из собственной размерности данных констант, впервые найдены полученные на базе численных величин и размерностей: 1) электрической постоянной  $e_o = 8.854187817...\cdot 10^{-12} \text{A}^2 \text{c}^4/(\text{кгм}^3)$ ; 2) магнитной постоянной  $m_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{H/A}^2$ , строгие физические закономерности для определения основной электротехнической единицы измерения — силы тока  $l_p$  планковского уровня:

$$I_p = \ddot{O}(e_o m_p l_p^3/t_p^4) =$$

$$= \sqrt{(8,8541878 \cdot 10^{-12} (\text{A}^2 \text{c}^4/(\text{kg} \cdot \text{m}^3)) \cdot 2,17671 \cdot 10^{-8} (\text{kg}) \cdot (1,61605 \cdot 10^{-35} (\text{m}))^3/(5,39056 \cdot 10^{-44} (\text{c}))^4)} =$$

$$= 0,981497 \cdot 10^{25} \text{ (A)};$$

$$\begin{split} I_p &= \ddot{\pmb{O}}(m_p l_p / (t_p^2 \pmb{m}_0) = \\ &= \sqrt{(2,17671 \cdot 10^{-8} (\text{kg}) \cdot 1,61605 \cdot 10^{-35} (\text{m}) / ((5,39056 \cdot 10^{-44} (\text{c}))^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} (\text{kg} \cdot \text{m} / (\text{c}^2 \cdot \text{A}^2))))} = \\ &= 0.981497 \cdot 10^{25} \text{ (A)}. \end{split}$$

мерения — силы тока 
$$I_p$$
 через фундаментальные физические константы  $T_p$ ,  $T_c$ ,

На основе открытой ранее возможности получения производных физических констант для механических единиц измерения, вытекающей из основных физических единиц измерения планковского уровня:  $l_p$ ,  $t_p$ ,  $m_p$ , и собственной размерности данных производных констант, впервые найдены строгие физические закономерности для определения планковского уровня производных фундаментальных электрических и магнитных констант, вытекающие из размерностей и численных величин данных констант и основных механических и электрических единиц измерения планковского уровня:  $l_p$ ,  $t_p$ ,  $t_p$ ,  $t_p$ , которые представлены в таблице.

Найденные закономерности являются объективно существующими, затрагивают основы мироздания и получены впервые, что полностью отвечает всей совокупности признаков, позволяющих считать их научными открытиями.

Список литературы: 1. Политехнический словарь /Ред. кол.: А.Ю.Ишлинский (гл. ред.) и др., –3-е изд., перераб. и доп. –М.: Сов. энциклопедия, 1989. -с. 638. 2. *Настасенко В.А.* Определение естественных констант для производных механических единиц измерения // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк, ДонГТУ, 2005. Т2. –с 299-305. 3. *Настасенко В.А.* Эталон массы в элементах квантовой физики//Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. –Донецк, ДонГТУ, 2000, Т1. –с 95-100. 4. *Настасенко В.А.* О системе измерений на основе планковских единиц. //Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. трудов IX Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк, ДонГТУ, 2002. Т2. -с. 170-174. 5. *Настасенко В.А.* Открытие возможности объединения механических и электрических единиц измерения // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XI Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк, ДонНТУ, 2004. Т2. –с 261-266. 6. *Настасенко В.А.* Открытие предельно возможных величин волновых

параметров. // 10-я Юбилейная Международная конференция "Теория и техника передачи, приема и обработки информации". Сб. тезисов докладов. Ч.1. – Харьков: ХНУРЭ, 2004, -c.30-31.

### ПРОЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ ЗУБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

### Настасенко В.А. (ХНТУ, г. Херсон, Украина)

Modern trends of hobs development and their influence on the process of modernizing machines tooth are determined on the bases of the analysis of the ways of hob improvement and the tasks to be solved in the nearest future have been formulated according to the results obtained. A simple and effective variant of their modernization which considerably.

Связь проблемы с основными научными направлениями.

Работа относится к области машиностроения, в частности – к производству зубообрабатывающих станков. В ее основу положен анализ путей совершенствования червячных фрез, на базе которого определены современные тенденции и дана оценка их влияния на процесс усовершенствования зубообрабатывающих станков, а на их базе выделены задачи, решение которых перспективно и возможно в ближайшем будущем. Для зубофрезерных станков предложен простой и эффективный вариант их реализации, ограниченный рамками минимальной модернизации существующих конструкций, не требующих значительных затрат труда и капитальных вложений. Выбор данной темы обусловлен тем, что зубофрезерные станки, вследствие их относительной простоты, высокой точности и производительности, получили широкое распространение в нашей стране и за рубежом, а в настоящее время в нашей стране, во многих случаях, их парк является устаревшим морально и физически, и требует замены или ремонта. Решение данных задач, в условиях постоянных требований усовершенствования производства, является актуальным и представляет большой практический и теоретический интерес, как для улучшения самих зубофрезерных станков, так и для повышения точности и производительности обработки на них зубчатых колес.

### Анализ состояния проблемы и постановка задачи.

Среди основных путей усовершенствования червячных фрез, наиболее важными из общей системы критериев развития технических систем [1], являются:

- 1) функциональные (производительность, точность, стойкость, надежность и долговечность, универсальность по числу нарезаемых зубьев и др.);
- 2) технологические (трудоемкость, технологичность изготовления и расчленения на сборочные единицы, применение материалов и их обрабатываемость и др.);
- 3) экономические (затраты на материалы, оборудование, инструменты, оснастку, трудовые затраты на эксплуатацию и обслуживание, энергетические затраты, затраты на подготовку и запуск продукции, затраты на продвижение продукции на рынке и др.);
- 4) социальные (безопасность, экологичность, эргономичность, эстетичность и другие).

Анализ комплексной оценки производительности [2], точности [3], стойкости [4] и разработанной в их рамках концепции развития червячных зуборезных инструментов [5-7] показал, что наиболее предпочтительными являются многозаходные многозубые лезвийные инструменты (червячные фрезы и шеверы), оснащенные твердосплавными или сверхтвердыми инструментальными материалами, в т.ч. в виде специальной формы неперетачиваемых пластин. Их доля среди общего количества червячных инструментов

непрерывно растет, как в отечественном производстве [8], так и в продукции мировых производителей, например фирм FETTE, Saacke и др.

Однако следует учесть, что до настоящего времени широкого распространения подобные инструменты так и не получили. Объясняется это тем, что при их создании и применении не учтен весь комплекс их потенциальных возможностей, а традиционно однобокий подход привел к усилению противоречивых показателей, в т.ч. негативных, резко снижающих эффективность их применения.

Например, оснащение червячных фрез твердосплавными материалами или СТМ ведет к резкому их удорожанию и усложнению конструкции, поэтому их применение целесообразно лишь в случае ужесточения других факторов зубообработки, главными из которых являются повышение твердости и прочности обрабатываемых материалов, увеличение длины резания при большом количестве нарезаемых зубьев и увеличение объема удаляемого из межзубых впадин материала при больших модулях. Поэтому для черновой и чистовой обработки незакаленных зубчатых колес 10...6 степеней точности, составляющих основную долю во всем объеме нарезаемых в настоящее время зубчатых изделий, фрезы из твердого сплава практически не применяются. Однако, учитывая их потенциальные возможности, целесообразно устранение указанного противоречия, что является первой целью выполняемой работы.

## Поиск путей достижения поставленной цели.

Проведенный выше анализ показал, что основными недостатками традиционных конструкций червячных фрез и твердого сплава и СТМ являются высокая стоимость и сложность их изготовления и обслуживания при эксплуатации. Уменьшение указанных недостатков возможно двумя путями:

- 1) снижением стоимости и сложности изготовления и эксплуатации фрез;
- 2) перекрытием дополнительных затрат за счет других показателей.

Для первого пути основным резервом признано применение неперетачиваемых пластин специальной формы [7], поскольку оно обеспечивает существенную экономию дорогостоящих инструментальных материалов и упрощает процесс изготовления фрез, а также исключает потребность в выполнении переточек при эксплуатации со всем комплексом сопутствующих этим процессам затрат:

- 1) на дорогое и сложное в наладке и обслуживании специальное оборудование, оснастку и инструмент для выполнения заточки по винтовым поверхностям;
  - 2) на производственные площади для данного заточного отделения;
  - 3) на содержание основного и обслуживающего персонала заточного отделения;
- 4) на расход силовой электроэнергии и других материалов, необходимых для выполнения переточек;
  - 5) на другие накладные цеховые и заводские расходы, связанные с заточкой.

Другим важным достоинством данных червячных фрез является возможность многократного использования корпуса и последующего приобретения лишь комплекта сменных пластин.

Для второго пути основным резервом признано повышение производительности зубообработки за счет способности фрез работать при повышенных режимах резания.

Исходными для сравнения приняты стандартные цельные червячные фрезы из быстрорежущих сталей и процесс обработки ими на зубофрезерных станках средних модулей m=2...6 мм. При этом стоимость C таких фрез принята в пределах 50...100 у.е. на единичный модуль: C=(50...100 y.e.)m, в зависимости от класса их точности (B...A), а себестоимость выполнения переточки составляет  $\approx 5\%$  от их стоимости. Поскольку

при их эксплуатации возможно выполнение 8...10 переточек, дополнительные затраты у потребителя стандартных фрез составляют 3 = 40...50% от их стоимости, что приведет к общим затратам  $3_{o1} = C + 3 = (70...150 \text{ y.e.})\text{m}$ . Окончательными для сравнения приняты червячные фрезы по патентам РФ  $N \hspace{-.085mm} = N \hspace{$ 

Ранее накопленный автором опыт изготовления предлагаемых твердосплавных фрез с неперетачиваемыми пластинами специальной формы показал [9], что стоимость их корпуса составляет ≈ (100 у.е.)m, а комплекта пластин ≈ (300 у.е.)m. Учитывая, что предлагаемые твердосплавные пластины позволяют выполнить 4 переустановки, то при их стойкости, в 5 раз более высокой, чем у базовых быстротрежущих фрез (что реально для данных материалов), и при увеличении в 2...3 раза количества устанавливаемых пластин-зубьев, по сравнению с количеством режущих зубьев стандартных фрез (что предусмотрено у фрез предлагаемых конструкций), затраты на приобретение корпуса и пластин будут меньше затрат на приобретение базовых фрез, начиная с 5-го комплекта, которые заменят ≈ 20 базовых фрез. При этом затраты на эксплуатацию предлагаемых фрез заключаются лишь в их разборке, переустановке пластин и последующей сборке, которая, из-за более высокой стойкости предлагаемых фрез, осуществляется в 10 раз реже, чем процесс переточек базовых фрез, и в 2 раза менее трудоемка, чем процесс переточек, поэтому снижение затрат на эксплуатацию предлагаемых фрез эквивалентно затратам на приобретение 2-х комплектов пластин, что сократит предельный объем их окупаемости до 3-х комплектов пластин, заменяющих 12 базовых фрез. Таким образом, если у потребителя быстрорежущих фрез их расход превышает 12 штук, то суммарные затраты  $3_{02}$  на приобретение и эксплуатацию предлагаемых фрез с неперетачиваемыми быстросменными твердосплавными пластинами, будут меньшими, чем базовых  $3_{o1}$ .

Следует учесть, что значительно больший экономический эффект у потребителя предлагаемых фрез возникает за счет возможности повышения производительности зубофрезерования, что целиком отвечает второму из предложенных путей повышения эффективности твердосплавных фрез. Объясняется это тем, что затраты на червячные фрезы в 5...10 раз ниже суммарных затрат на выполняемые ими операции и каждых 10% повышения производительности зубофрезерования в отечественном производстве создает экономический эффект ≈(300 у.е.)m, что эквивалентно стоимости, как минимум еще 1 комплекта пластин и адекватно снижает порог их окупаемости и при повышении производительности в 2 раза окупается даже первый комплект фрез. Однако при этом необходимо обеспечение возможности повышения производительности зубофрезерных станков. Решение данной задачи является второй (и главной) целью данной работы.

#### Реализация пути достижения поставленной цели.

Известно [8], что эффективная скорость резания для твердосплавных материалов составляет  $\upsilon_p \approx 120$  м/мин, поскольку при меньших  $\upsilon_p$  не в полной мере используются их режущие свойства, а при больших  $\upsilon_p$  начинает резко расти износ. Таким образом, при диаметрах сборных червячных фрез средних модулей m=2...6 мм, составляющих  $D_{\varphi}=100...150$  мм, частота их вращения должна составлять  $n_{\varphi}=380...300$  об/мин, что входит в диапазон верхних границ частот вращения шпинделей зубофрезерных станков среднего класса  $n_{max}=400...600$  об/мин (кроме 5E32, у которого  $n_{max}=200$  об/мин) [10], но уже близко к их предельным величинам. При таких  $n_{\varphi}$  частота вращения рабочего стола станка, в случае нарезания зубчатых колес с небольшим количеством зубьев:  $z_{\kappa}==15...30$ , составит  $n_{c\tau}=25...10$  об/мин, что существенно превышает па-

раметры частот его рациональной эксплуатации, ограниченные скоростью скольжения червячной пары стола, примерно равной окружной скорости червяка, которая для червячных колес с бронзовым венцом не должна превышать  $\upsilon_{\rm q}=3~{\rm m/c}$ :

$$v_{\rm q} = \pi d_{\rm q} n_{\rm q} / (1000.60) \text{ m/c},$$
 (1)

где d<sub>ч</sub> – диаметр начальной окружности червяка, мм,

n<sub>ч</sub> – частота вращения червяка, об/мин:

$$n_{\rm H} = z_{\rm HK} n_{\rm \phi} z_{\rm \phi} / z_{\rm K} \, {\rm off/M} {\rm MH}, \tag{2}$$

здесь  $z_{чк}$  – количество зубьев червячного колеса,

 $n_{\varphi}$  – частота вращения фрезы, об/мин,

 $z_{\phi}$  – количество заходов фрезы,

 $z_{\scriptscriptstyle K}-$  количество зубьев обрабатываемого колеса.

Поэтому, несмотря на потенциальные возможности твердосплавных червячных фрез, частоту их вращения уменьшают до 150...100 об/мин, что адекватно уменьшает скорость резания до величин 60...45 м/мин, неблагоприятных для данных материалов, что не только не обеспечивает оптимальной их стойкости, но и не позволяет повысить производительность обработки зубчатых колес. Кроме того, практически исключает применение многозаходных червячных фрез, признанных наиболее целесообразными для повышения производительности зубофрезерования [5-7].

Таким образом, на данном этапе зубообработки, лимитирующими являются не возможности червячных фрез, а самих зубофрезерных станков [11], в первую очередь – червячной пары механизма вращения их стола, что требует решения данной задачи.

Следует учесть, что наиболее простым, для практической реализации, вариантом ее решения является поиск новых видов зубчатых зацеплений. Их совершенствование осуществляется различными путями, среди которых наиболее доступными являются: оптимизация конструктивных и геометрических параметров колес и червяков в целом, оптимизация параметров зубьев, а также применение более качественных материалов. Однако для цилиндрических червячных пар эти возможности практически исчерпаны, поэтому от них нельзя ожидать новых решений, увеличивающих показатели более, чем на 5...10%, что не отвечает требованиям современного научно-технического прогресса.

Одним из вариантов усовершенствования червячных пар механизмов вращения столов зубофрезерных станков является переход к глобоидным червячным передачам. Однако их возможности ограничены лишь повышением нагрузочной способности, без повышения точности, что не создает возможностей для уменьшения трения. Другим их недостатком является усложнение технологии производства как червяков, так и колес. Оптимизация данных параметров производится многими исследователями длительное время, поэтому от них также не следует ожидать более, чем 5-10% увеличения.

Предлагаемым вариантом усовершенствования червячных пар является переход к гиперболоидным червячным передачам (патенты РФ №№ 2124421, 2169061, 2200262) с гиперболоидными червяками и сформированными на их базе червячными колесами. Главными преимуществами таких пар над цилиндрическими и глобоидными является повышение точности зубчатого зацепления. Объясняется тем, что у гиперболоидных червяков полностью исключено несовпадение исходного зубчатого контура с винтовой поверхностью основного червяка при любых углах подъема его винтовой линии, что обеспечивает возможность использования многозаходных червячных пар. Такой прием отвечает известным принципам проектирования высокоточных червячных передач [12], однако в отличие от известных конструкций, разработанных проф. Витренко А.Н. и Витренко В.А. на базе основного червяка, созданного однополостным ги-

перболоидом вращения, предлагаемые червяки сформированы по принципиально новому способу и по новым конструкциям, в виде двуполостного гиперболоида в плоскости его осевого сечения, которые защищены полноправными патентами РФ №№ 2124421, 2169061, 2200262. При этом по сектору охвата зубьев предлагаемые гиперболоидные червячные передачи занимают промежуточную нишу между цилиндрическими и глобоидными.

Комплексное решение данной задачи требует создания гиперболоидных фрез и других инструментов для обработки многозаходных червячных колес и червяков, что позволяет перейти к высокоточной шлифовке их профиля и замене бронзовых венцов червячных колес закаленными стальными венцами. При этом технологический процесс изготовления червячных передач, в случае применения предложенных в патентах РФ №№ 2169061, 2200262 невысокой сложности вариантов модернизации существующих зуборезных, токарно-винторезных, резьбофрезерных и резьбошлифовальных станков, практически совпадает с технологическим процессом изготовления цилиндрических червячных передач, что облегчает их реализацию в ближайшем будущем.

Таким образом, повышение точности новых червячных передач, в сочетании со значительным увеличением количества их заходов и материалов высокой твердости и износостойкости, позволяет повысить качественные показатели более, чем на 5..10%.

#### Общие выводы и рекомендации.

Предлагаемый вариант модернизации зубофрезерных станков предусматривает замену цилиндрической червячной передачи привода вращения стола многозаходной гиперболоидной червячной передачей на базе двуполостного гиперболоида вращения. При этом обеспечиваются возможности для увеличения частоты вращения стола до n<sub>cт</sub>= 150...300 об/мин, что создает возможности для его динамической стабилизации при зубофрезеровании, ведущей к повышению точности обработки зубчатого венца колеса. Только такие станки позволяют в наиболее полной мере использовать все возможности твердосплавных червячных фрез, в т.ч. предлагаемых высокоточных многозаходных, при этом наивысшие технико-экономические показатели могут быть обеспечены при комплексной реализации предлагаемых проектов усовершенствования фрез и станков, что позволит повысить производительность зубофрезерования в 2 и более раз.

Учитывая, что в настоящее время отечественный парк зубофрезерных станков устарел морально и физически, а потребность в изготовлении зубчатых колес, по мере возрождения отечественного машиностроения, будет возрастать, поэтому он подлежит замене или ремонту, что облегчает переход на новый вид червячных передач врещения стола станка. Однако на Украине зубофрезерные станки пока еще не выпускаются, что требует в скором будущем заполнения имеющейся производственной ниши. На первом этапе оно может осуществляться путем закупки, пример, в России, существующих зубофрезерных станков, с последующей заменой у них червячной пары. При этом повышение их качества позволит конкурировать с подобной продукцией на мировом рынке, за счет чего накопить основные фонды и на втором этапе перейти к выпуску данных станков на каком-либо из передовых предприятий Украины, например – НКМЗ.

Список литературы: 1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. -368 с. 2. Настасенко В.А. Комплексная оценка путей повышения производительности червячных фрез. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов X Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк, ДонГТУ, 2003, Т3. –с. 290-297. 3. Настасенко В.А. Комплексная оценка путей повышения точности червячных фрез. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов Междунар.

науч.-техн. конф. в г. Севастополе. –Донецк, ДонГТУ, 2004, Т2. –с.266-270. 4. Настасенко В.А. Комплексный подход к выбору формы передней и затылованной задней поверхностей зубьев высокоточных фрез //СТИН. 1998. №12. -c.17-21. **5.** Nastasenko V.A. Development of perspective designs of worm teeth cutting tools and methods of their designing. //4<sup>th</sup> World Congress on Gearing and Power Transmission. – Paris, France: M.C.I. 1999. Т1. -р.507-514. 6. Настасенко В.А. Червячные фрезы нового вида и их САПР //Вестник машиностроения. 2000. № 8, -с.28-32. 7. Настасенко В.А. Новая концепция повышения точности червячных зуборезных инструментов. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. -Международный сб. научных трудов. -Донецк: ДонГТУ, 2001. Вып.17.-с.109-114. 8. Справочник инструментальщика /И.А.Ординарцев, Г.В.Филиппов, А.Н.Шевченко и др. Под общ. ред. И.А.Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. с.492-700. 9. Настасенко В.А. Опыт изготовления пружинно-пластинчатых червячных зуборезных инструментов. //Прогрессивные технологии машиностроения. -Междунар. сб. научных трудов.-Донецк: ДонГТУ, 2000. Вып. 13. -с. 27-32. 10. Овумян Г.Г., Адам Я.И. Справочник зубореза. –2-е изд., перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 1983. –223 с. 11. Настасенко В.А. Новому поколению червячных фрез – новое поколение зубофрезерных станков. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов IX Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк, ДонГТУ, 2002, Т2. –с. 164-169. 12. Витренко А.Н., Витренко В.А., Зуй Б.С. и др. Повышение качества изготовления зубьев при обработке многозаходным инструментом //Современные проблемы машиностроения и технический прогресс. Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Донецк: ДонГТУ, 1996. -c. 41-42.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ «КРАН – ПОДКРАНОВОЕ СООРУЖЕНИЕ»

Наугольнов В.А., Волков А.В. (Ви ЮРГТУ, ОАО ВНИИАМ, г. Волгодонск, Россия)

The paper presents an experiment-calculated research of stresses and deformations of the system "crane - sub crane construction". Well-known normative documents on load-lifting crane analysis do not provide for crane metallic structural loads due to curvature in the space of railway lines. The research object was a bridge crane with its lifting capacity 160 tons, the spacing 28 meters, and the length of rail way 700 meters. On account of a large stretch of the industrial building, ground deformations caused the non-uniformity of depression of supports columns of the sub crane construction. The calculations have been performed by FEM. Deformations and stresses in sub crane beams, main and end crane beams have been determined.

Цель работы - определение напряженно деформированного состояния в системе металлических конструкций (м/к) «КРАН – НЕСУЩИЕ СТРУКТУРЫ» для производственного корпуса значительной протяженности. Объектами исследования были мостовой кран грузоподъёмностью 160 т., пролётом 28 м, а также м/к, на которых располагался рельсовый путь длиной 700 м.

В условиях завода был выполнен эксперимент для получения данных о напряженно-деформированном состоянии системы «КРАН – НЕСУЩИЕ СТРУКТУРЫ» и проверки адекватности разработанной математической модели реального сооружения. Экспериментальные значения деформаций были получены методом электрического тензометрирования с помощью тензостанции СИИТ-3 и компьютера, а значения напряжений

косвенно - через закон Гука. Напряжения были измерены в главной и концевой балках моста крана, а также подкрановой балке.

Выбор мест установки тензодатчиков обусловлен удобством доступа и информативностью. Расположение тензодатчиков на м/к крана и подкрановой балке и показано на рис.1,2.

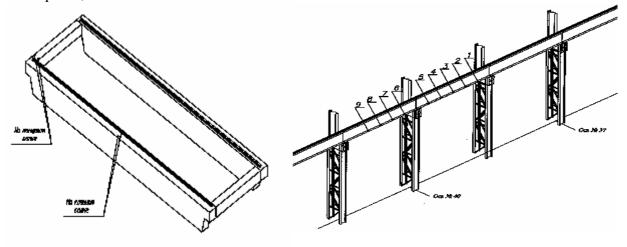


Рис. 1. Положение датчиков на м/к крана

Рис. 2. Положение датчиков на подкрановой балке

Начальное положение крана, направление его перемещения и конечное положение при выполнении эксперимента показано на рис. 3. В начальном положении, кран находится в осях колонн №№28–30, принадлежащих другому блоку корпуса. При таком положении исключено взаимное влияние исследуемого крана и подкранового сооружения исследуемого блока. Кран двигался по пролету со скоростью примерно 1м/с. Заезжая за ось №49, он останавливался. Выждав некоторое время, кран начинал движение в обратном направлении. Кран в профиль представлен на рис. 4.

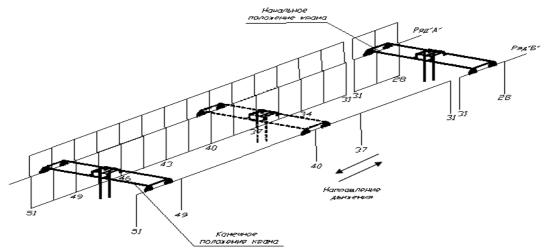


Рис. 3. Схема движения крана

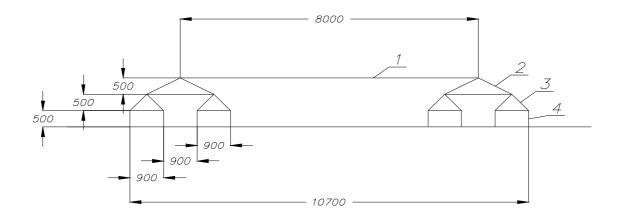


Рис. 4. Кран в профиль: 1-концевая балка, 2-главный балансир, 3-малый балансир, 4-ходовые колеса

Для рассмотренной системы м/к в программном комплексе «ANSYS» была создана расчетная модель рис. 5.

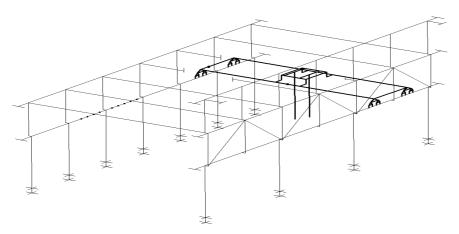
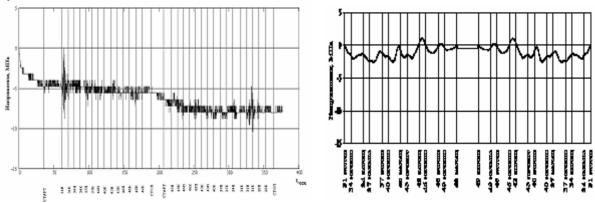
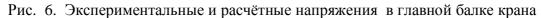


Рис. 5. Расчетная модель системы

Выполнялся статический расчет для последовательных положений крана. Расчетные напряжения были получены в местах размещения центров датчиков.

Экспериментальные и расчетные напряжения в балках крана представлены на рисунках 6–7.





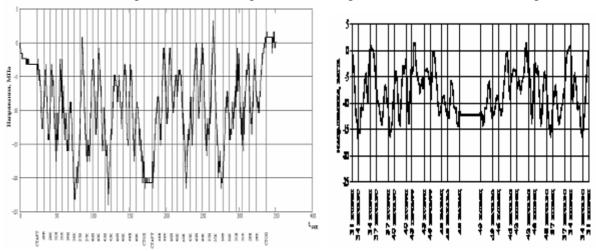


Рис. 7. Экспериментальные и расчётные напряжения в концевой балке крана

Экспериментальные и расчетные напряжения в подкрановых балках представлены на рис. 8–10.

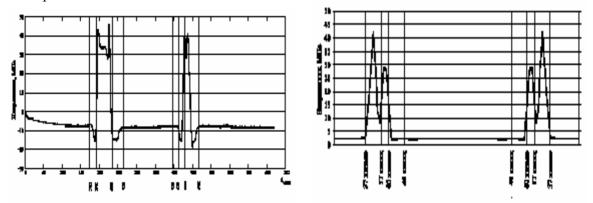


Рис. 8. Подкрановая балка, тензодатчик 4

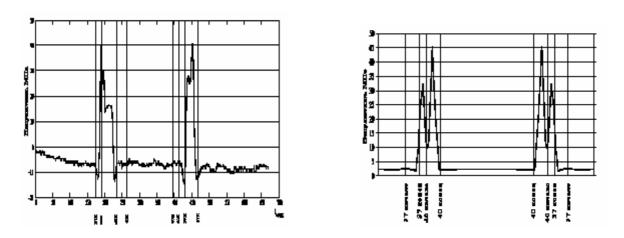


Рис. 9. Подкрановая балка, тензодатчик 7

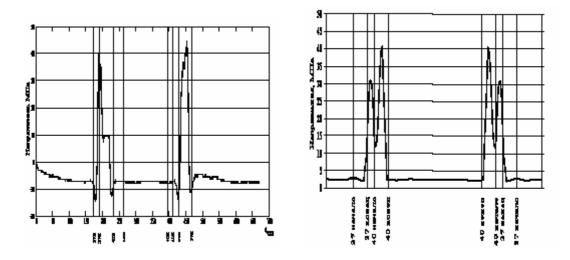


Рис. 10. Подкрановая балка, тензодатчик 8

Параллельно с измерениями фиксировалось время прохождения крана, мимо осей колонн. Если ось главной балки совмещалась с осью колонны, то записывали, к примеру, «37начало» или «37 конец». Частота поступлений данных измерения:  $7.6~\Gamma \mu - \mu$  главной балки,  $14.1~\Gamma \mu - \mu$  для концевой балки и  $1.8~\Gamma \mu - \mu$  для подкрановой балки.

При выполнении расчётов были использованы данные геодезических измерений вертикальных и горизонтальных отклонений несущих колонн на уровне подкрановой балки. Эти отклонения, обусловленные просадочными грунтами под производственным корпусом, привели к деформации рельсового пути и появлению дополнительных нагрузок, которые не учитываются в действующих нормативных документах [1], [2]. Появившиеся дополнительные напряжения, при определённой осадке некоторых колонн, могут воспрепятствовать нормальной эксплуатации крана. Для восстановления последней прибегали к поднятию (или осадке) некоторых несущих колонн.

Вывод: для протяжённых производственных корпусов, расположенных на просадочных грунтах, помимо нагрузок, перечисленных в нормативных документах по расчётам м/к кранов необходимо учитывать нагрузки от неравномерной осадки несущих колонн по длине корпуса.

Список литературы: 1. Краны грузоподъёмные. Основные положения расчёта. ГОСТ 28609-90. – М.: Издательство стандартов. 1990. – 8 с. 2. НП – 031 – 01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций// Вестник Госатомнадзора России. - 2001.- №6. – С. 7-31.

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ БУКСОВОГО ПОДШИПНИКА ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Невмержицкая Г.В., Ольшевский А.А. (БГТУ, г. Брянск, Россия)

The work on stress of the parts of the two-row bevel roller bearing for two versions of car axle-boxes is carried out, variable loading on the axle-box are taken into account. The spreading surfaces of normal efforts on the bearing's bodies of rolling from vertical forces in the range of 40 - 192 (kn) with the help of the numerical method using three-dimensional

design circuits. The blocks of stress of the bearing's parts when the carriage moves at different speeds are obtained.

В работе представлены результаты исследования напряженнодеформированного состояния буксовых узлов и законов распределения нагрузок на ролики подшипника с применением трехмерных конечноэлементных расчетных схем. При разделении расчетных схем были использованы 6- и 8- узловые конечные элементы. Для разделения деталей расчетных схем на конечные элементы использован программный комплекс DPMFEM [2].

В качестве объектов исследования выбраны два буксовых узла грузового вагона: с типовой конструкцией корпуса буксы и с корпусом в виде адаптера. При построении конечноэлементных схем деталей буксовых узлов их геометрические модели использованы без существенных упрощений.

В расчетной схеме в качестве контактных поверхностей рассмотрены внутренняя поверхность корпуса буксы, внешняя поверхность наружного кольца подшипника, а также поверхности роликов и контактирующие с ними поверхности колец. Условия контактного взаимодействия колец подшипника и оси не рассматривались.

Для обоих вариантов буксовых узлов использованы одинаковые конечноэле-



Рис.1.Конечно -элементная схема подшипника (вид в разрезе)

ментные схемы подшипников и оси колесной пары. Для обеспечения сопоставимости результатов расчетов в качестве буксового подшипника использован двухрядный конический подшипник ВПЗ-15 с числом роликов 24 в каждом ряду и углом контакта 10°. Целесообразность использования его в расчетных схемах объясняется также и тем, что он рассматривается как один из наиболее перспективных с точки зрения долговечности и затрат на обслуживание.

Конечноэлементная схема подшипника в разрезе представлена на рис. 1. Расчетные схемы для двух вариантов букс с приложенными к ним внешними нагрузками показаны на рис. 2 и 4.

Расчёты выполнены при вертикальных нагрузках на буксу 40, 60, 80, 100, 116, 136, 156, 176 и 192 кН. Также вы-

полнены расчеты с учетом боковой силы, меняющейся в диапазоне  $20-80~\mathrm{kH}$  с шагом  $20~\mathrm{kH}$ . Диапазон изменения нагрузок определён по результатам компьютерного моделирования движения гружёного и порожнего полувагона с различными скоростями.

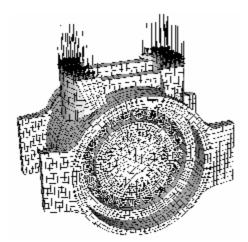


Рис. 2. Конечноэлементная схема буксы с типовой конструкцией корпуса

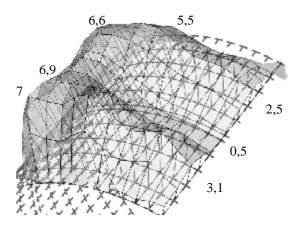


Рис.3. Эпюры контактных давлений на поверхности корпуса буксы с типовой конструкцией корпуса (МПа)

Среди прочих результатов интерес представляет распределение давлений на поверхностях контакта корпуса букс и наружных колец подшипников (рис. 3, 5). Для буксы грузового вагона с типовым корпусом значения наибольших давлений носят

характер экстремальных, и расположение этих областей строго соответствует расположению приливов для передачи вертикальных нагрузок на верхний свод корпуса буксы и соответствующих их ребер жесткости. По этим законам распределения можно сделать вывод, что жесткость ребер недостаточна, чтобы распределить давления более равномерно.

Эпюры давлений в контакте адаптера с наружными кольцами подшипника характеризуются следующими особенностями. На эпюрах чётко прослеживаются повы-

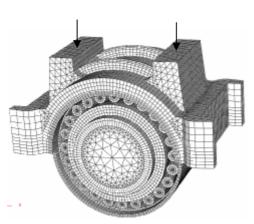
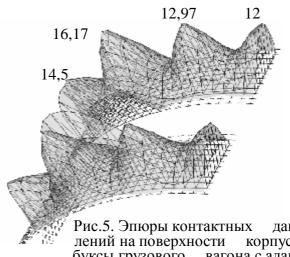


Рис. 4. Конечноэлементная схема буксового узла с адаптером



буксы грузового вагона с адаптером (МПа)

шенные давления напротив роликов подшипника. Между ними давления снижаются. Соотношение давлений между вершинами и впадинами эпюр достигает 3,5. Наибольшее давление наблюдается над третьим сверху роликом. Над верхним роликом оно на 27% меньше. При нагрузке на буксу 116 кН, максимальное давление составляет 16,2  $M\Pi a$ .

Получены законы распределения нагрузок на ролики подшипников для всего диапазона изменения вертикальных сил. Для буксы грузового вагона с типовым корпусом для переднего и заднего рядов роликов получены одномодальные законы распределения, нагруженными оказываются 8 роликов, наибольшая нагрузка приходится на верхние ролики подшипника (рис.ба). Нагрузки для роликов различаются незначительно, т. е. полноценно загруженными оказываются шесть роликов, а два ролика нагружены слабо. Начиная с нагрузки 100 кН на буксу, получены слабовыраженные двухмодальные законы ее распределения на ролики. Угол охвата роликов, находящихся под нагрузкой, равен 120°. На передний ряд роликов подшипника приходится 53% общей нагрузки на буксу, а на задний 47%.

Для каждого ролика буксы с типовым корпусом получено неравномерное распределение интенсивности нагрузки по его длине. Интенсивность нагрузки на конце ролика, расположенном ближе к переднему торцу буксы для обоих рядов роликов выше, чем для другого конца ролика.

Для буксы с адаптером получены определенно выраженные двухмодальные законы распределения нагрузок на ролики (рис.6б). Наибольшая нагрузка приходится на третий ролик при отсчете от вертикальной оси подшипника. При отсутствии зазоров в корпусе нагруженными оказываются—9 роликов; угол охвата нагруженных роликов составляет 120°. Благодаря бочкообразности ролика (образующая его описана дугой окружности радиуса 29,4 м) нагрузка по длине ролика распределена неравномерно с ярко выраженным экстремумом посередине. Назначенный радиус бомбины обеспечивает отсутствие краевых эффектов при всех значениях вертикальной нагрузки на буксу.

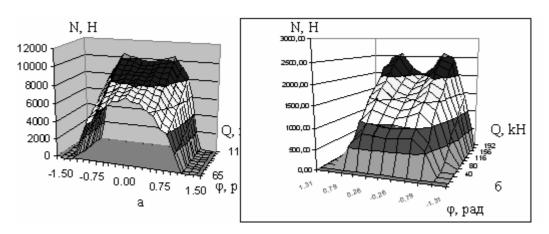


Рис.6. Поверхности распределений нормальных усилий N в зоне контакта наружного кольца подшипника и роликов букс (H):

а – с типовой конструкцией корпуса; б – с адаптером

Зазор в сопряжении адаптера с наружным кольцом подшипника существенно влияет на распределение нагрузок на ролики. Так, при номинальной нагрузке 116 кН в случае отсутствия зазора на наиболее нагруженный ролик приходится 10,55 кH, а при зазоре 0,145 мм - 12,93 кH. При наличии зазора в контакт попадают лишь 7 роликов, и угол охвата составляет  $90^{0}$ .

Найдено распределение сил по роликам подшипника при приложении к адаптеру вертикальной силы 116 кН и осевой силы. При приложении боковой силы передний ряд роликов разгружается, а задний догружается. При силе 60 кН нагруженными остаются только 3 ролика переднего ряда, а все ролики заднего ряда попадают под нагрузку. Нагрузка на наиболее нагруженный, как правило, третий сверху ролик слабо зависит от зазора: при осевой силе 80 кН при отсутствии зазора между адаптером и наружным кольцом подшипника она составляет 26,6 кН, а при наличии зазора 27,14 кН.

При больших осевых силах неблагоприятно распределение давлений по длине ролика заднего ряда. В контакт вступают участки боковой поверхности ролика, прилегающие к торцу, обращенному к середине подшипника. Краевой эффект характеризуется давлениями высокого уровня. Осевая сила вызывает существенную догрузку роликов. Так, при осевой силе равной 40 кН усилие на наиболее нагруженный ролик достигает 18,9 кН, тогда как от вертикальной нагрузки оно составляло 12,93 кН, т. е. оно увеличилось на 46%.

От нормальных усилий, действующих на исследуемые точки подшипника буксы, был сделан переход к контактным напряжениям в них. В результате получена реализация реального процесса нагружения в виде потоков единичных воздействий – отнулевых циклов контактных напряжений различной интенсивности. Затем по данным

реализациям были построены ступенчатые функции распределения контактных напряжений (частные блоки нагружения) исследуемых точек для всего скоростного режима движения вагона и двух вариантов загрузки вагона. На основе частных блоков нагружения получены смешанные блоки нагружения для колец и тел качения подшипника.

Для построения функции распределения усталостной долговечности буксового подшипника использован метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). В качестве критерия отказа подшипника рассмотрен один из наиболее вероятных его видов - усталостное выкрашивание. Для оценки наработки до отказа использована линейная модель накопления повреждений Пальмгрена-Майнера.

Предел контактной выносливости рассмотрен как нормально распределенная случайная величина со средним значением, равным 1600 МПа и коэффициентом вариации, равным 0,1. Контактные напряжения ступеней смешанного блока нагружения на множестве букс рассмотрены как нормально распределенные случайные величины.

При оценке надежности подшипника считали, что выкрашивание одного его элемента приводит к отказу подшипника в целом. В качестве наработки до отказа подшипника j-й буксы принято минимальное из полученных значений наработок. Повторяя вычислительные опыты M раз (M=1000), была получена выборка наработок до отказа, по которой рассчитан показатель безотказности подшипника - вероятность безотказной работы.

При сопоставлении графиков вероятностей безотказной работы подшипников для двух вариантов букс выявлено, что фактор распределения нагрузки по телам качения оказывает существенное влияние на безотказность подшипника. Так, при наработке 1 млн. км пробега вероятность безотказной работы составила: для буксы с типовым корпусом 0,92; для буксы с адаптером 0,85; вероятность отказа соответственно 0,08 и 0,15. Таким образом, более благоприятное распределение нагрузки по телам качения буксы снижает вероятность отказа в 1,87 раза.

Список литературы: **1.**Невмержицкая Г.В., Ольшевский А.А. Исследование прочности и жесткости буксовых узлов численным методом // Динамика и прочность транспортных машин: Сб. научных трудов – Брянск: БГТУ, 2000.- С. 144-151. **2.**Sakalo V.I., Olshevsky A.A., Shevchenko C.V. RSFEM program package for contact units investigation/consideration of railway transport problems//4-th Int. Conf. Railway bogies and running gears.-Виdapest, 1998.-Р 447-452. **3.**Невмержицкая Г.В. Нагруженность элементов буксовых узлов железнодорожного подвижного состава и ее влияние на надежность буксового подшипника. Дис. канд. техн. наук.- Брянск, БГТУ, 2003.- 198 с.

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

Непомилуев В.В., Дюпин И.В. (РГАТА, г. Рыбинск, Россия)

The possibility of Schewhart' control chart utilization for all production processes and development of technique for determination of amount of sampling's value and frequency of sample taking into accordance with the specific characteristics of the process using computer modeling method is under consideration.

В современном производстве авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) актуальны задачи гарантированного обеспечения качества и достижения максимальной идентичности изделий. Такие задачи могут быть решены лишь в условиях использова-

ния статистически управляемых процессов. Основным инструментом для достижения этого является использование контрольных карт Шухарта (ККШ).

Теоретически ККШ предназначены для использования в технологических процессах, параметры качества продукции которых подчиняются нормальному закону распределения. Однако подобных процессов существует не так много. В большинстве реальных технологических процессов присутствует доминирующий системный фактор, оказывающий влияние на характер распределения случайной величины. Кроме того, по существующему стандарту ГОСТ Р 50779.42-99 значения параметров контрольной карты (n - количество изделий в выборке и t - периодичность ее взятия) выбираются по таблицам, ни в коей мере не отражающим особенности отдельных характеристик используемого технологического процесса.

Примером подобного процесса может являться процесс шлифования - типичный негауссов процесс: здесь превалирует влияние доминирующего фактора — износа шлифовального круга. Вследствие этого в настоящее время этот процесс является нестабильным.

С целью совершенствования процесса механической обработки и снижения количества изделий, имеющих несоответствия, необходимо, чтобы данный процесс был статистически управляем. Для достижения этого необходимо осуществлять постоянный контроль за изменением параметров качества данного процесса, чтобы в случае появления тренда вовремя произвести корректирующее действие, а не разбираться затем с уже произведенными дефектными изделиями. С этой целью для управления процессом необходимо использовать контрольные карты.

Для теоретического обоснования возможности такого управления авторами был использован метод компьютерного моделирования процесса применения ККШ, одновременно учитывались накопленные современной технологией машиностроения знания о характере и особенностях процесса шлифования. Такой подход обеспечивает чистоту эксперимента и исключает воздействие посторонних факторов.

Авторами был разработан программный комплекс CAE-система «Control chart» (в среде программирования LabVIEW) для исследования процесса управления с помощью ККШ. При помощи данного комплекса имитируется изготовление изделий с заданными законами распределения параметров качества, взятие контролируемой выборки с заданными объемом и периодичностью, расчет требуемых для ведения контрольной карты параметров и принятие решения о подналадке процесса. Это позволяет оптимизировать величины п и t именно для рассматриваемого процесса без необходимости проведения эксперимента.

Обобщенная схема программного комплекса показана на рисунках 1 и 2.

При реализации этого метода исследуются сгенерированные на компьютере процессы, характеристики которых подчиняются наиболее часто практически встречающимся распределениям в сочетании с вероятными изменениями характера доминирующего фактора. В таких процессах исследуется взаимосвязь между изменением закона и параметров распределения результатов процесса, управляемого при помощи данной контрольной карты, количеством изделий в выборке, периодичностью взятия выборки и характеристиками процесса (изменение параметров качества во времени). Устанавливается возможность использования ККШ, рассчитанных на основании ГОСТ Р 50779.42-99, определяется связь между стандартным отклонением σ параметров качества процесса, управляемого ККШ и n, t, а также характеристиками процесса. Такая методика позволяет обоснованно назначать n и t в зависимости от требований к процессу.

Реализация. На основе разработанной САЕ-системы создана новая методика использования ККШ, основанная на предварительном компьютерном моделировании процесса. Ниже приведен пример

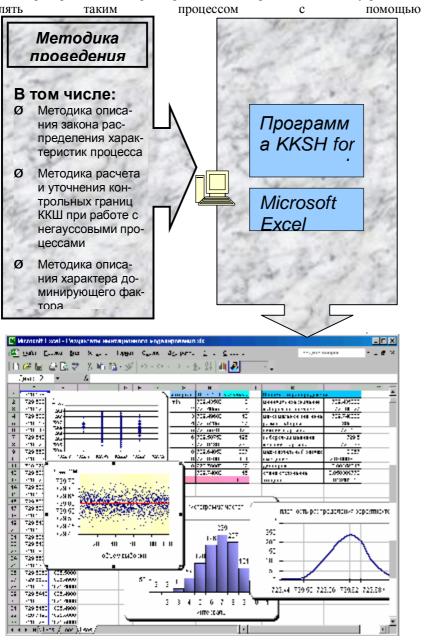


Рис. 1. CAE-система «Control chart». Общая схема

В результате проведенного исследования установлено следующее.

1. Управление рассматриваемым негауссовым процессом при помощи ККШ возможно.

- 2. В результате использования ККШ происходит изменение закона распределения размеров деталей на близкий к нормальному.
- 3. Зависимость σ от рассматриваемых параметров ККШ для процесса шлифования может быть представлена следующей математической моделью:

$$\sigma = A \sigma(n) \sigma(t) \sigma(tg\alpha) \ll$$

$$\sigma = \begin{cases} A\left(10^{-5} \ n^2 - 4*10^{-5} \ n + 0,00287 \ \right) (3 \cdot 10^{-5} \ t + 0,0029 \ ) (2,725 \ tg \ \alpha + 2115 \ \cdot 10^{-6} \ ) & npu \ 1 \leq n \leq 8; \\ A\left(10^{-5} \ n + 0,0032 \ \right) (3 \cdot 10^{-5} \ t + 0,0029 \ ) (2,725 \ tg \ \alpha + 2115 \ \cdot 10^{-6} \ ) & npu \ n > 8. \end{cases}$$

где А - постоянный коэффициент;

tg  $\alpha$  - тангенс угла наклона касательной на участке нормального износа на графике зависимости величины износа шлифовального круга от количества обработанных деталей.

### Подпрограмма генерации случайных чисел

Вход: информация о законе распределения случайных чисел, диапазоне случ. чисел, количестве случ. чисел.

Выходные данные: таблица сгенерированного N-го количества чисел, подчиняющихся определенному заданному закону, находящихся в определенном диапазоне.

## Подпрограмма имитации изменения доминирующего фактора

Вход: таблица сгенерированного N-го количества чисел, информация о характере изменения доминирующего фактора (прямолинейная, синусоидная, и др.)

Выходные данные: таблица сгенерированного N-го количества чисел, имитирующих влияние определенного доминирующего фактора.



#### Подпрограмма построения ККШ

Вход: таблица сгенерированного N-го количества чисел, имитирующих влияние определенного доминирующего фактора; значения: среднего значения X0 (середина интервала генерации), величина допуска T.

Выходные данные: построенные R и X карты с подсчитанными границами.



### Подпрограмма моделирования использования ККШ

Вход: таблица сгенерированного N-го количества чисел, имитирующих влияние определенного доминирующего фактора, построенные R и X карты с подсчитанными границами; информация о диапазоне значений n и t

Выходные данные: таблица данных, подвергнутых управлению со стороны ККШ, для каждого значения n и t с высчитанным значением среднего квадратического отклонения для каждого сочетания n и t; количество сделанных корректировок, гистограммы распределений.

### Подпрограмма анализа данных

Анализируются данные для того, чтобы сделать соответствующие выводы по последовательностям (строятся графики для n и t и др от σ; определяются уравнения зависимостей необходимые для построения математических моделей) в Microsoft EXCEL, MathCAD.

Рис. 2. Блок-схема структуры программы «KKSH for nonnormal process»

Выводы.

Таким образом, возможно еще до реального осуществления процесса шлифовальной обработки определить характеристики и параметры распределения планируемых к изготовлению деталей в зависимости от параметров ККШ, при помощи которой планируется осуществлять управление данным процессом.

Практическое использование данного инструмента и разработанной методики позволяет расширить область применения ККШ и использовать их для статистического управления негауссовыми процессами, обеспечивая высокое качество продукции.

В свою очередь при этом достигается:

### требуемый основной эффект:

• Улучшение качества и повышение производительности, т. е. стабильность характеристик производимых изделий, снижение расходов, связанных с браком и исправлениями, сокращение производственных циклов.

### – конечные эффекты:

- Улучшение вертикального и горизонтального обмена в иерархической структуре (статистический контроль процессов предлагает элементы общего языка между всеми функциями предприятия).
- Улучшение мер по решению проблем качества в производстве (облегчает поиск причин и определяет результаты действий). Улучшение обмена с потребителями (статистический контроль процессов предлагает цифровые данные для объективного обсуждения с потребителями заказчиками продукции).

Статистический контроль производственных процессов посредством ККШ на основе предлагаемой методики – это инструмент, который, подтверждая контроль рассматриваемого процесса, позволяет облегчить контроль на деталях с вычисленным и контролируемым риском.

Список литературы: 1. Непомилуев В.В., Дюпин И.В. Контрольные карты Шухарта как инструмент управления негауссовыми процессами //Методы менеджмента качества. – 2005. - № 9.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК КОКСОВЫТАЛКИВАТЕЛЯ ПРИ ВЫ-ДАЧЕ КОКСОВОГО ПИРОГА

### Нестеров А.Н., Остапенко М.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

At the design of the power loading arising up at delivery of coke, three areas of deformation of coke mass are examined: way of barbell during deformation; length of more compact is made mass of coke; area of the not deformed part. Length of the not deformed part is determined from the condition of durability of coke the masses. At determination of length of more

compact is made mass distributing of tensions on its length is taken into account. The method of computation of the power loading is offered.

Силовые нагрузки, возникающие при выдаче кокса из камер коксования, являются определяющими при расчете конструктивных параметров механизма выталкивания кокса, а также при выполнении прочностных расчетов кладки коксовой батареи. Они зависят от состояния кладки печи, а также от соответствия температурного режима коксования и состава угольной шихты и поэтому являются объектом пристального многолетнего внимания ученых и конструкторов [1 - 6].

Усилие проталкивания загрузки в горизонтальных, наклонных и вертикальных печах непрерывного коксования, которые разрабатываются в ДонНТУ и УХИНе [7 – 10], также является важнейшим исходным параметром для расчета механизма проталкивания и конструктивных элементов кладки печи.

Несмотря на многообразие работ, посвященных этой проблеме, в настоящее время отсутствует научно - обоснованная методика расчета силовых нагрузок, возникающих при проталкивании кокса или коксующейся угольной загрузки в щелевых камерах. Расчеты основываются на эмпирических формулах, которые включают различные коэффициенты, характеризующие неучтенные факторы. Отсутствует методика расчета максимального допустимого усилия выдачи кокса, не вызывающего прогрессирующего износа кладки камеры коксования.

Схема к моделированию силовых нагрузок коксовыталкивателя при выдаче кокса показана на рисунке 1.

Процесс выдачи коксового пирога включает следующие стадии [11]:

- уплотнение (прессование) коксового пирога при перемещении головки выталкивающей штанги на участке  $L_{\rm I}$ ;

- начало движения уплотненной массы кокса длиной  $L_{\scriptscriptstyle 2}$ , как не деформируемого твердого тела, приводящего в движение не разрушенную часть коксового пирога на участке  $L_{\scriptscriptstyle 3}$  .

Суммарная сила трения  $F_{3mp}$  при перемещении не разрушенной части кокса на участке  $L_3$  является силой сопротивления для уплотненной массы на участке  $L_2$  и определяется по формуле

$$F_{3mp} = L_3 (B - 2t)(H - \Delta H) r_o gf, \qquad (1)$$

где В – ширина камеры коксования;

 $t\,$  - боковой зазор между коксом и кладкой печи, который составляет  $20-30\,$  мм [11];

H – высота камеры коксования;

 $\Delta H$  - высота подсводового пространства;

r - плотность не разрушенной массы коксового пирога;

*g* - ускорение при свободном падении;

f - коэффициент трения коксового пирога о под печи.

Длина  $L_3$  не разрушенной части коксового пирога определяется из условия его монолитности при воздействии осевой нагрузки со стороны уплотненной массы кокса на участке  $L_2$ , то есть из условия, что напряжение  $\mathbf{S}_{2-3}$  на границе участков  $L_2$  и  $L_3$  равно пределу прочности коксового пирога [12].

$$s_{2-3} = \frac{F_{3mp}}{(B-2t)(H-\Delta H)} = s_{ny}.$$
 (2)

где  $S_{nu}$  - предел прочности коксового пирога.

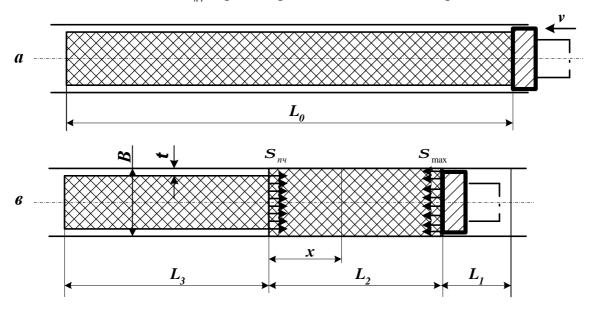


Рис.1. Схема моделирования силовых нагрузок при выдаче кокса: а — исходное положение системы «коксовый пирог — головка штанги»; в — положение штанги, соответствующее окончанию процесса уплотнения коксового пирога и началу движения не разрушенной массы кокса на участке $L_3$ 

С учетом выражения (1) из равенства (2) находим

$$L_3 = \frac{s_{nq}}{r_{o}gf},\tag{3}$$

Изменение величины среднего по поперечному сечению напряжения по длине уплотненной массы кокса может быть описано ранее установленной нами зависимостью [13]

$$S_{x} = S_{nq} \frac{\left[1 - 0.5kf \frac{\Pi}{S} L_{2} \cos\left(\frac{p}{L_{2}}x\right)\right]}{\left[1 - 0.5kf \frac{\Pi}{S} L_{2}\right]},$$

$$(4)$$

x - расстояние от границы уплотненной и не разрушенной масс кокса до расчетного поперечного сечения;

k,f - соответственно коэффициенты бокового давления и внешнего трения коксового пирога;

 $\Pi,S$  - соответственно периметр контакта кокса с камерой и площадь поперечного сечения коксового пирога.

При  $x=L_2$  получаем формулу для определения среднего максимального напряжения на поверхности контакта головки выталкивающей штанги и коксового пирога

$$s_{\text{max}} = s_{nu} \frac{1 + 0.5kf \frac{\Pi}{S} L_2}{1 - 0.5kf \frac{\Pi}{S} L_2}.$$
 (5)

При проведении расчетов по формуле (5) возникают затруднения, связанные с тем, что длина  $L_2$  зависит от  $S_{n_4}$ , k, f,  $\Pi$  и S, то есть является неизвестной величиной.

В связи с этим, преобразуем формулу (5). Заметим, что

$$L_2 B r = (L_1 + L_2)(B - 2t) r_0 = (L_0 - L_3)(B - 2t) r_0,$$
 (6)

Из равенства (6) находим, что

$$r = r_o \frac{\left(L_o - L_3\right) \left(B - 2t\right)}{L_2},\tag{7}$$

где  $L_0$  – начальная длина коксового пирога;

r - средняя плотность уплотненной массы кокса на участке  $L_2$ .

С другой стороны величина r может быть определена по формуле

$$r = \frac{1}{L_2} \int_0^{L_2} r_x dx,$$
 (8)

где  $\boldsymbol{\varGamma}_x$  - средняя по поперечному сечению объемная плотность уплотненной массы кокса на расстоянии  $\boldsymbol{x}$  от границы участков  $L_2$  и  $L_3$ .

Известная степенная зависимость плотности сыпучих и зернистых материалов от напряжения [14] действует в ограниченном диапазоне напряжений. В связи с этим, нами использована линейная зависимость между усилием прессования и деформацией коксового пирога, которая была установлена путем тензометрических исследований силовых нагрузок при выдаче коксового пирога [11, 15].

$$S_{n} = E_{n} e_{n}, \tag{9}$$

где  $\mathbf{S}_n$  - среднее напряжение на поверхности контакта головки выталкивающей штанги и коксового пирога;

 $E_n$  – модуль упругости коксового пирога;

 $e_n$  - относительная деформация коксового пирога.

Величина  $r_{_x}$  может быть определена по формуле

$$r_{\mathcal{X}} = \frac{r_0}{1 - e_{\mathcal{X}}},\tag{10}$$

где  $e_x$  - относительная деформация бесконечно малого элемента длиной dx, расположенного на расстоянии x от границы участков  $L_2$  и  $L_3$ .

Из формулы (9) следует, что

$$\mathbf{e}_{x} = \mathbf{S}_{x} / E_{n}. \tag{11}$$

Подставив в правую часть формулы (8) выражения (10), (11) и (4), а в левую – выражение (7), приходим к выражению (12), которое после интегрирования решается относительно  $L_2$ .

$$(L_o - L_3) \frac{(B - 2t)}{B} = \int_0^{L_2} \frac{dx}{\left\{1 - \frac{s_{ny}}{E_n} \frac{[1 - 0.5kf(\Pi L_2/S)\cos(px/L_2)]}{[1 - 0.5kf(\Pi L_2/S)]}\right\}}.$$

(12)

Таким образом, разработана математическая модель, теоретические зависимости которой позволяют прогнозировать силовые нагрузки при выдаче кокса.

Предлагается следующая методика их расчета:

- 1. По формуле (3) рассчитывается длина  $L_3$  не разрушенной части коксового пирога.
- 2. С использованием выражения (12) определяется длина  $L_2$  уплотненной части коксового пирога.
- 3. По формуле (5) рассчитывается величина среднего максимального напряжения  $\mathbf{S}_{\max}$  на поверхности контакта головки выталкивающей штанги и коксового пирога.
- 4. Рассчитывается максимальное усилие  $F_{max}$  выдачи коксового пирога по формуле

$$F_{\text{max}} = s_{\text{max}} B(H - \Delta H), \tag{13}$$

Полученные теоретические зависимости позволяют также по данным экспериментальных исследований максимального усилия проталкивания  $F_{max}$  и длины участка прессования  $L_{I}$  определить косвенным методом физико-механические и деформационные параметры коксового пирога.

Список литературы: 1. Азимов А.А. Уравнение движения системы "Механизм выталкивания – коксовый пирог" // Кокс и химия. – 1970. -  $N_2$ 12. – С. 42 – 48. **2.** Кузяев И.М., Филлипенко Е.С., Брус С.А Характер изменения нагрузок, действующих на механизм выдачи кокса // Кокс и химия. – 1981. - №3. – С. 43 – 46. 3. Лобов А.А., Вирозуб А.И., Журавский А.А. и др. Усилие выдачи коксового пирога из печных камер объемом 41.6 м<sup>3</sup> // Кокс и химия. – 1987. - №2. – С. 10 – 15. **4.** Журавский А.А., Торяник Э.И., Гербали С.Н. Компьютерный анализ процесса выдачи коксового пирога // Кокс и химия. – 2002. - №8. – С. 19 – 22. 5. Назаренко Б.Г., Бронников В.К., Коневский Б.И. Прогнозирование усилия выдачи кокса //Кокс и химия. - 1978. - №10. - С. 18 - 20. **6.** Журавский А.А., Сытенко И.В., Карпов А.В. и др. Определение усилия выдачи коксового пирога из печных камер большого объема // Кокс и химия. – 1988. - №11. – С. 13 – 17. 7. Слюсарь И.П., Веретельник С.П., Галушко Л.М. Усилие проталкивания загрузки в печах непрерывного коксования // Кокс и химия. -1976. - N $_{2}$ 7. - C. 28 - 32. **8.** Карпов А.В., Зубилин И.Г., Скляр М.Г. Влияние технологических факторов на усилия проталкивания коксующейся угольной загрузки // Кокс и химия. -1975. - №1. - C. 18 - 22. 9.Топоров А.А., Парфенюк А.С., Веретельник С.П. Математическое моделирование процесса прессования - проталкивания загрузки в камерных агрегатах непрерывного коксования // Кокс и химия. – 1996. - №11. – С. 22 – 25. **10.** Парфенюк А.С., Веретельник С.П., Топоров А.А. и др. Определение параметров и режимов работы прессующепроталкивающего устройства термолизных печей // Кокс и химия. – 2002. - №5. – С. 36 – 38. **11.** Непомнящий И.Л. Коксовые машины, их конструкции и расчеты. М.: Металлургиздат, 1963. - 388с. **12.** Чамов А.В., Остапенко М.А., Кузнецов Е.Р. и др. О прочности коксового пирога в горизонтальных печах непрерывного действия // Металлургия и коксохимия. Республ. межвед. науч. – техн. сб. – К.: Техніка. – 1976. - №51. – С. 54 – 57. **13.** Остапенко М.А., Нестеров А.Н. Распределение напряжений при прессовании порошковых и сыпучих материалов// Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2002. - Вып. 22. – С. – 23 – 27. **14.** Веретельник С.П., Зыков Д.Д., Карпов В.С. Исследование уплотнения твердого топлива в процессах термической переработки // Химия твердого топлива. – 1978. - №5. – С.129 – 136. **15.** Комолов В.Г., Макаров Г.Н. Новые машины и оборудование для производства кокса. – М.: Металлургия, 1987. – 143с.

## УПРАВЛЕНИЕ ДИВЕРСИФИКАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ МАШИНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

## Нестеров А.Н., Нестерова Н.А., Остапенко М.А.

(ДонНТУ, ДонГУЭТ, Донецк, Украина)

Basic principles of diversification of machine-building enterprise are considered. For the increase of efficiency of diversification the generalized index which shows the change of percent of income of enterprise at the change of volume of sales of commodity on 1% is offered.

Важным средством повышения конкурентоспособности машиностроительных предприятий в современных условиях Украины является наличие научно обоснованной стратегии диверсификации, которая обеспечивает их устойчивость, самообновление, гибкость, адаптивность и повышение инновационной привлекательности.

В работах отечественных [1,2] и зарубежных [3,4] исследователей отмечаются две стороны процесса диверсификации: с одной – это мощный потенциал стабилизации, развития и повышения общей нормы прибыли за счет более эффективного использования предпринимательского резерва, а с другой – это способ снижения предпринимательских рисков.

Стратегия диверсификации машиностроительного предприятия состоит в организации новых видов деятельности и создании новых производственных связей (коалиций). Если при этом предприятие диверсифицируется в рамках существующей компетенции, используя накопленный опыт, имеющиеся преимущества и развивает связанные виды деятельности, то коалиция получает гарантированный синергетический эффект. В том случае, если предприятие планирует расширение диапазона традиционных видов деятельности, возможность получения синергетического эффекта становится более неопределенной; деятельность становится более рискованной, однако - и более выгодной в случае успеха.

Следовательно, можно говорить о том, что использование диверсификации может способствовать превращению предпринимательского резерва, не приносящего прибыль, в потенциал предприятия для получения прибыли, что является одной из важнейших задач для ориентированного на получение предпринимательской выгоды машиностроительного предприятия.

Посредством диверсификации происходит постоянный перелив и распределение ресурсов предприятия между различными сферами деятельности в зависимости от понижения и повышения нормы прибыли, что обусловливает стремление развивать виды деятельности с высокой рентабельностью и тормозить с низкой.

Принятие решения о диверсификации деятельности машиностроительного предприятия требует:

- 1. Изучения и анализа основных предпосылок диверсификации.
- 2. Наличия методического обеспечения управления процессом диверсифика-
- 3. Формирования благоприятных внешней и внутренней сред для ее осуществления.

Основные предпосылки диверсификации предприятия, а также их характеристики приведены в таблице 1. Анализ и учет указанных предпосылок является необходимым условием высокой эффективности диверсификации.

Таблица 1. Предпосылки осуществления диверсификации

гаолица т. предпосылки осуществления диверсификации								
Предпосылки диверсифи- кации	Характеристика предпосылок							
Мотивы дивер- сификации	Социально- экономи- ческие	Технин эконом чески	1И-			инан- овые	Экологи- ческие	
Стратегические цели предпри- ятия	Выживание			Развитие				
Критерии реализации стратегических целей	Жизнеспособность, эффектив- ность деятельности			Положительные характеристи- ки темпов прироста эффектив- ности				
Стратегия ди- версификации	Рост: Внедрение связанных видов деятельности			Развитие: Разработка несвязанных видов деятельности				
Критерии ус- пешности ди- версификации	Максимизация эффекта			Максимизация темпов прироста эффективности				
Ограничения	Ресурсы пред ятия	я строитель			машин	0-	Ι	Зремя

Анализ результатов, ориентированных на практическую реализацию исследований, позволяет выделить следствия диверсификации, которые наиболее часто приводятся среди основных источников, определяющих эффективность работы диверсифицированных предприятий [3,4]:

1. Способность добиваться реального синергетического эффекта (взаимного усиления) в различных видах деятельности. В качестве примера можно отметить применение опыта результатов научных исследований и разработок, выполненных в одной

сфере, в подразделениях, специализирующихся в совершенно других областях, а также положительное воздействие мероприятий по продвижению на рынок одних товаров фирмы на сбыт других.

- 2. Тщательная подготовка и обоснование диверсификации на основе оценок стратегических альтернатив.
  - 3. Приоритетное ускоренное проникновение на новые рынки.
- 4.Повышение значимости организационной структуры, внутрифирменной культуры и качества менеджмента.

Связь между диверсификацией и эффективностью не является строго детерминированной. Достаточно часто после реализации решения о диверсификации эффективность повышается за счет рационального перераспределения производственных, финансовых и людских ресурсов, но затем с течением времени она снижается, так как возрастает сложность задач управления и обнаруживаются противоречия в принципах и процедурах выработки и принятия управленческих решений в разных подразделениях предприятия.

Обобщение исследований в области диверсификации [5-7] позволило выявить основные закономерности и тенденции:

- 1. Диверсификация увеличивает доход при оптимизации инвестиционного портфеля, реструктуризации производства и управления, оптимизации распределении ресурсов предприятия.
- 2. Затраты на управление процессом диверсификации зависят от числа видов деятельности компании и качества реализации функции координации между ними.
- 3. Связанная диверсификация является более предпочтительной, чем несвязанная, так как предприятие действует в более известной обстановке и меньше рискует.
- 4. Стратегическая производственная коалиция может реализовать многие выгоды связанной диверсификации без увеличения затрат на управление. Однако при создании коалиции у предприятия возникает риск обрести в лице партнера конкурента.
- 5. При увеличении степени диверсификации вступает в действие «закон уменьшающегося возврата», суть которого состоит в том, что, достигнув определенного уровня, экстенсивная диверсификация приводит к падению доходов на единицу затраченного ресурса. Это связано с тем, что предприятие, в первую очередь, эксплуатирует наиболее прибыльные благоприятные возможности, а напоследок остаются наименее прибыльные, что ограничивает возможности развития системы.

Как видно из вышеприведенной информации, последствия диверсификации зависят от многих взаимно противоречивых факторов и оценка этих последствий для конкретного машиностроительного предприятия является сложной в научном плане и весьма важной в практическом отношении задачей.

В связи с этим, для оценки последствий диверсификации предприятия предлагается использовать обобщенный показатель - «совокупный операционный леверидж» [8], который используется для анализа зависимости финансовых результатов операционной деятельности предприятия от изменений объемов производства и реализации товарной продукции, постоянных расходов и переменных издержек на производство продукции.

Применительно к оценке эффективности диверсификации предприятия, совокупный операционный леверидж показывает изменение процента, связанной с диверсификацией, прибыли при изменении объема продаж товара на 1%.

В соответствии с определением, формула для расчета совокупного операционного левериджа имеет вид

$$L_0(x) = \frac{100\% - \frac{f(x + \Delta x) - FC}{f(x) - FC} \cdot 100\%}{100\% - \frac{f(x + \Delta x)}{f(x)} \cdot 100\%},$$

где  $L_{0}(x)$  - уровень операционного левериджа при объеме продаж x ;

FC - величина постоянных затрат;

f(x) - функция маржинального дохода.

Выбор данного показателя для оценки последствий диверсификации связан с тем, что он зависит от основных наиболее важных показателей деятельности предприятия: цена единицы товара; величина переменных затрат на единицу изделия; объем реализации продукции; уровень постоянных затрат.

Разработан алгоритм расчета величины совокупного операционного левериджа для предприятия, осуществляющего  $\boldsymbol{k}$  видов деятельности.

Введем следующие обозначения:

 $X = (X_1, X_2, ..., X_k)$  - вектор объемов реализации услуг,  $X_i$  - объем реализации услуг i -го направления деятельности,  $i = \overline{1,k}$ ;

 $H = (h_1, h_2, ..., h_k)$  - вектор величин переменных затрат на единицу услуг,  $h_i$  - величина переменных затрат на производство единицы услуг i - го направления деятельности,  $i = \overline{1,k}$ ;

 $C=(c_1,c_2,...,c_k)$  - вектор цен,  $c_i$  - цена реализации услуг i - го направления деятельности,  $i=\overline{1,k}$  .

Расчет величины совокупного операционного левериджа проводится в следующей последовательности:

1. Определяется совокупный доход предприятия, по всем видам деятельности:

$$D = X(C - H)$$
.

2. Определяется доход предприятия по каждому виду деятельности:

$$d_i = x_i(c_i - h_i).$$

3. Рассчитывается доля дохода от каждого вида деятельности в совокупном доходе:

$$\frac{d_i}{D} = \frac{x_i(c_i - h_i)}{X(C - H)}.$$

4. Определяется величина операционного левериджа по каждому виду деятельности:

$$L_0 = (l_0^1(x_1), l_0^2(x_2), ..., l_0^k(x_k)),$$

где  $I_0^i(\mathbf{X}_i)$  - величина операционного левериджа i -го вида деятельности.

5. Рассчитывается совокупный операционный леверидж по формуле:

$$L_{0}^{^{*}}=L_{0}\cdot V$$
 , или  $L_{0}^{^{*}}=\sum_{i=1}^{k}I_{0}^{i}(x_{i})\cdot rac{d_{i}}{D},$ 

где 
$$V$$
 представляет собой вектор следующего вида  $V = \left(\frac{d_1}{D}, \frac{d_2}{D}, ..., \frac{d_k}{D}\right)$ .

Совокупный операционный леверидж для диверсифицированного предприятия определяется как взвешенная сумма величин операционных левериджей по каждому виду деятельности предприятия. При этом величина совокупного операционного левериджа не может превосходить величину максимального из левериджей по всем направлениям деятельности. Это означает, что диверсификация приводит к уменьшению величины операционного левериджа предприятия.

В таком случае критерий следующего вида

$$L_0^* \to \min$$

(1) будет означать стремление к увеличению разнообразия объекта управления (диверсификации предприятия). В то же время, в случае, если это разнообразие превысит разнообразие системы управления, эффективность функционирования системы ухудшится. Поэтому стремление к диверсификации предприятия (увеличению разнообразия объекта управления) должно быть ограничено минимально допустимым порогом доходности предприятия.

$$D \geq D^*$$
,

(2)

где  $D^*$  - минимально допустимый порог доходности.

Оптимизационная модель, описываемая выражениями (1) и (2) базируется на принципе действия закона Эшби [7], согласно которому для эффективного функционирования системы управления разнообразие объекта управления не должно превосходить разнообразия управляющей системы.

#### Выводы:

- 1. Для управления диверсификацией машиностроительного предприятия предлагается использовать обобщенный показатель «совокупный операционный леверидж», который показывает изменение процента прибыли предприятия при изменении объема продаж товара на 1%..
- 2. Реализация оптимизационной модели (1) при выполнении ограничения (2) позволяет сбалансировать разнообразие объекта управления и разнообразие управляющей системы и свести до минимума предпринимательские риски при диверсификации машиностроительного предприятия.

Список литературы: 1 Лысенко Ю.Г. и др. Моделирование диверсификации производства // Новое в экономической кибернетике (Сб. науч. ст.) / Под общ. ред. Ю.Г. Лысенко. Донецк: ДонГУ, 1999. — с.18-39. 2. Лысенко Ю.Г., Петренко В.Л., Тимохин В.Н. и др. Экономическая динамика. — Донецк: ДонГУ, 2000. — 176 с. 3. Забродский В.А., Клебанова Т.С., Петренко В.Л. Адаптивные механизмы и их место в экономике // Кибернетика. — 2000. — №1-2. — с.98-109. 4. Паське Марциал. Диверсификация и эффективность // Проблемы теории и практики управления. — №3. — 1994. — с.79-82. 5. Промышленная логистика / Под ред. А.А. Колобова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. — 204 с. 6. Основы логистики: Учеб. пособие / Под редакцией Л.Б. Миротина и В.И. Сергеева. — М.: ИНФРА-М, 1999. — 200 с. 7. Соколов В.Г., Смирнов В.А. Исследование гибкости и надежности экономических систем. — Новосибирск: Наука, 1990. — 187с. 8. Большаков С.В. Основы управления финансами. — М.: ИД ФБК-ПРЕСС, 2000. — 288 с.

# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ РОБАСТНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Никитина Т.Б. (УИПА, г. Харьков, Украина)

The method of the approached synthesis of  $H^2$  and  $H^\infty$  control by the multichannel system, based on decomposition of initial movement of multichannel system on movements of the separate channels which are included in system is developed. Thus synthesis of  $H^2$  and  $H^\infty$  control of multichannel system is reduced to consecutive synthesis of separate channels since the first basic power channel and finishing last low-power high-speed channel.

Многоканальные системы, работающие по принципу грубого и точного управления, позволяют существенно повысить точность управления, а в ряде случаев обеспечить точность, недостижимую в одноканальных системах. В тяжелых металлорежущих станках находит применение схема двухдвигательного электропривода, суммирования силовых воздействий от которых осуществляется через механический дифференциал [2]. Широкие возможности для повышения точности открываются при использовании гидравлических приводов, когда реализация уточняющего движения может осуществляться за счет управляющего зазора в паре винт — гайка и т.д. [1]. Второй точный канал может быть реализован в виде магнитострикционного либо пьзострикционного двигателя, жестко закрепленного на подвижной каретке, управляемой первым основным силовым электромеханическим приводом.

Повышение точности многоканальных систем сдерживается наличием нелинейных эффектов. Особенно сильно сдерживает повышение точности одновременное влияние нелинейных эффектов совместно с упругими элементами. Такое влияние проявляется в неплавном движении рабочего органа, сопровождающегося остановками и рывками. Рассмотрим синтез многоканальных систем с учетом нелинейностей и упругих элементов. В работе [1] рассмотрены вопросы синтеза многоканальных систем, оптимальных по квадратичным критериям качества. Такие регуляторы позволяют получить высокие динамические характеристики при известных моделях многоканальной системы и внешних воздействий. Однако при изменении параметров и структуры математических моделей при использовании синтезированных регуляторов динамические характеристики системы могут существенно ухудшится вплоть до потери устойчивости [2-3].

Целью данной работы является синтез робастного управления многоканальными системами по смешанному критерию, позволяющему обеспечивать работоспособность системы при заданном изменении моделей объектов управления и внешних воздействий и высокой точности многоканальной системы [4-6].

Рассмотрим алгоритмическую схему многоканальной системы, показанную на рис.1. Задающие воздействия  $y_{31}(k)$ ,  $y_{32}(k)$ ... $y_{3n}(k)$  обычно являются достаточно близкими, в частности, равными между собой координатами. При этом помехи отдельных измерителей  $f_1, f_2...f_n$  как правило существенно отличаются в связи с различными дискриминаторными характеристиками измерительных устройств. К выходу каждого канала приведены возмущения  $F_i(k)$ .

Каждый канал состоит из неизменяемой части объекта управления  $w_{0i}$  и собственно регулятора  $r_i$ , структуру и параметры которого необходимо определить. Для формирования управления i-го канала  $u_i(k)$  используется сигнал измеренной ошибки

 $e_{iu}(k)$ , также вектор переменных состояния i-го канала  $\overset{\mathbf{r}}{x}_{ui}(k)$ , доступный для измерения.

Задача синтеза регуляторов каналов заключается в минимизации ошибок каналов  $e_i(k)$  при ограничении управления и переменных состояния. Обычно результирующая точность многоканальной системы определяется ошибкой  $e_n(k)$  последнего n - ного канала.

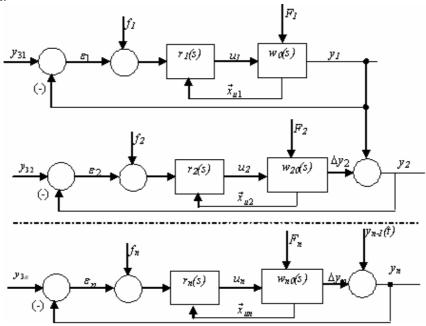


Рис. 1. Схема многоканальной системы

Введем вектор задающих воздействий  $y_3(k) = \{y_{3i}(k)\}$ , вектор выходных координат  $y(k) = \{y_i(k)\}$ , вектор выходных координат отдельных каналов  $\Delta y(k) = \{\Delta y_i(k)\}$ , вектор помех измерения  $f(k) = \{f_i(k)\}$ , вектор возмущений  $f(k) = \{F_i(k)\}$ , вектор управлений  $f(k) = \{u_i(k)\}$ , вектора ошибок  $f(k) = \{e_i(k)\}$  и измеренных ошибок  $f(k) = \{e_i(k)\}$ . Введем передаточные функции объектов управления  $f(k) = \{e_i(k)\}$  и матрицу передаточных функций объекта управления  $f(k) = \{e_i(k)\}$ . Если спектральные плотности внешних воздействий известны и могут быть аппроксимированы дробно — рациональными функциями, то синтез регуляторов может быть сведен к минимуму квадратичного критерия качества. Этот оптимальный регулятор может быть найден в частотной области [7]. Для нахождения такого регулятора необходимо выполнить операции сепарации и факторизации соответствующих матриц спектральных плотностей. Эти операции к настоящему времени достаточно формализованы и имеются соответствующие программные продукты для их решения.

Эта задача может быть также решена и во временной области. При этом уравнение состояния исходной многоканальной системы содержит модели отдельных каналов и модели формирующих фильтров векторов задающих  $\overset{\mathbf{r}}{x}(k)$  и возмущающих  $\overset{\mathbf{r}}{F}(k)$  воздействий. Управление по полному вектору состояния, минимизирующее квадратичный критерий, реализуется с помощью наблюдателя. Для определения матриц коэффициен-

тов усиления оптимального регулятора и оптимального наблюдателя необходимо решить две системы уравнений Риккати.

Вектора задающих  $y_3(k)$  и возмущающих F(k) воздействий, как правило, нельзя считать, сигналами типа белого шума. Обычно система проектируется таким образом, чтобы отрабатывать вектор задающих воздействий  $y_3(k)$  и компенсировать вектор возмущающих воздействий F(k) так, чтобы вектор ошибок e(k) был достаточно малым вектором. При этом, естественно, полоса пропускания замкнутой системы должна быть достаточно большой либо, по меньшей мере, соизмеримой со спектрами задающих и возмущающих воздействий, чтобы отработать задающее и компенсировать возмущающие воздействия. Однако полоса пропускания замкнутой системы при этом, не должна быть достаточно широкой, чтобы не усиливать шумы измерительных устройств и не увеличивать составляющую ошибки системы, вызванную шумами измерительных устройств. Поэтому будем формировать вектора задающих x(k) и возмущающих F(k) воздействий с помощью моделей — формирующих фильтров с соответствующими матрицами передаточных функций.

С учетом введенных обозначений рассмотрим схему многоканальной системы, рис.2.

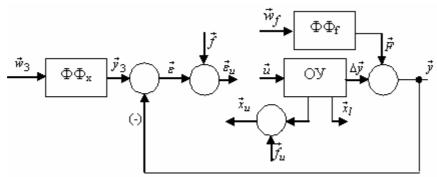


Рис.2. Схема синтезируемой системы

Введем вектор состояния объекта управления  $\overset{\mathbf{r}}{x_0}(k)$  и запишем уравнение состояния, вектора выхода  $\overset{\mathbf{r}}{\Delta y}(k)$  и измерения  $\overset{\mathbf{r}}{x_u}(k)$  в следующем виде

Введем также вектор переменных состояния объекта управления  $\overset{\mathbf{r}}{x_l}(k)$ , которые необходимо ограничивать и запишем уравнение в следующем виде

$$\vec{x}_l(k) = C_l \vec{x}_0(k)$$

Введем вектор состояния  $\overset{\Gamma}{x_3}(k)$  модели (формирующего фильтра) вектора задающего воздействия  $\overset{\Gamma}{y_3}(k)$  и запишем уравнение состояния и выхода в следующем виде

$$\vec{x}_3(k+1) = A_3 \vec{x}_3(k) + B_3 \vec{w}_3(k), \quad \vec{y}_3(k) = C_3 \vec{x}_3(k)$$

Аналогично введем вектор состояния  $\overset{\mathbf{I}}{x}_{F}(k)$  формирующего фильтра вектора возмущающего воздействия  $\ddot{F}(k)$  и запишем уравнения состояния и выхода в следуюшем виде

$$\vec{x}_F(k+1) = A_F \vec{x}_F(k) + B_F \vec{w}_F(k), \quad \vec{F}(k) = C_F \vec{x}_F(k)$$

Основное назначение системы заключается в минимизации вектора ошибки e(k) отработки с помощью объекта управления вектора задающего воздействия  $y_3(k)$  и компенсации вектора возмущающего воздействия F(k). Как следует из схемы, показанной на рис. 2.

$$\stackrel{\mathbf{r}}{e}(k) = \stackrel{\mathbf{r}}{y_3}(k) - \Delta \stackrel{\mathbf{r}}{y}(k) - \stackrel{\mathbf{r}}{F}(k),$$

а выходная координата системы равна  $\overset{\mathbf{r}}{y}(k) = \Delta \overset{\mathbf{r}}{y}(k) + \overset{\mathbf{l}}{F}(k) \, .$ 

$$\mathbf{r}(k) = \Delta \mathbf{y}(k) + F(k)$$

Приведем данную систему к стандартному виду, принятому в теории  $H^2$  и  $H^\infty$  регуляторов [4]. Введем вектор состояния системы  $\overset{\mathbf{r}}{x}(k)$ , компонентами которого являются векторы состояния объекта управления  $\overset{\mathbf{r}}{x_0}(k)$ , формирующих фильтров задающего  $\overset{\mathbf{r}}{x_3}(k)$  и возмущающего  $\overset{\mathbf{r}}{x_F}(k)$  воздействий в следующем виде

$$\mathbf{r}(k) = \begin{cases} \mathbf{r}_T(k), \mathbf{r}_T(k), \mathbf{r}_T(k) \end{cases}$$

Введем вектор внешних воздействий  $\stackrel{\mathbf{I}^{\bullet}}{w}(k)$ , компонентами которого являются вектора  $w_3(k)$  и  $w_F(k)$ , возбуждающие формирующие фильтры векторов задающего  $\vec{x}_{3}(k)$  и возмущающего  $\vec{F}(k)$  воздействий, а также вектор помехи  $\vec{f}(k)$  измерения ошибки системы  $\stackrel{\bullet}{e}(k)$  и вектор помех  $\stackrel{\bullet}{f}_{u}(k)$  измерения вектора переменных состояния  $\vec{x}_{u}(k)$  в следующем виде:  $\vec{w}(k) = \{\vec{v}_{u}^{T}(k), w_{F}^{T}(k), f(k), f_{u}^{T}(k)\}^{T}$ . Введем вектор измеряемых переменных v(k), компонентами которого являются вектор измеренных ошибок систе- $\overset{\mathbf{r}}{e}_{u}(k)$  и измеренный вектор состояния  $\overset{\mathbf{r}}{x}_{u}(k)$  в следующем вектор управляющего воздействия  $\overset{\mathbf{r}}{u}(k)$  в следующем виде  $\overset{\mathbf{r}}{z}(k) = \overset{[\mathbf{r}]}{e}(k), \overset{\mathbf{r}}{x_I}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)$ .

Рассмотрим применение такого подхода к синтезу двухканальной электромеханической следящей системы [7]. Минимальное значение дисперсии ошибки двухканальной системы по критерию  $H^2$  составляет  $2,1\cdot 10^{-6}$  рад<sup>2</sup>. Однако при этом величины дисперсий управляющих воздействий и переменных состояния принимают недопустимо большие значения. Учет ограничений на управления и переменные состояния каналов при водит к существенному увеличению дисперсий ошибок как первого канала, так и двухканальной системы в целом составляет соответственно  $\bar{e}_1^{\,2}=2.1\cdot 10^{-5}\,\mathrm{pag}^2,$  $\bar{e}_2^2 = 2,6 \cdot 10^{-6}$  рад<sup>2</sup>.

Список литературы: 1. Куценко А.С., Никитина Т.Б. Уточнение параметров нелинейных оптимальных регуляторов каналов многоканальных систем при последовательном синтезе. Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - №59. с.17 – 25. **2**. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизація виробничих процесів. Київ. - 2003. - №2(17). - С.62-65. **3**. Никитина Т.Б. Приближенно оптимальное цифровое управление электроприводами с аналитическими нелинейностями. //Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научных трудов. Харьков: НТУ «ХПИ».- 2003. - №10. Т1. - С.321-322. **4.** Limebeer D., Green M., Walker D. "Discrete Time  $H^{\infty}$  control" Proc. Of Conf. on Decision and control, Tampa, Fl., Dec. 1989. **5**. Khargonekar P., Petersen I., Rotea M.,"  $H^{\infty}$  optimal control with state feedback ", IEEE Trans. Automat. Contr., AC – 33, pp.783 – 786, 1988. **6.** J.Doyle, K. Glover, P.Khargonekar, and B. Francis, "State — space solutions to standard  $H^{2}$  and  $H^{\infty}$  control problems". IEEE Trans. Automat. Contr., AC – 34, no 8. pp.831 – 847, Aug. 1989. **7.** Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005. – 511с.

## СВОЙСТВА ПОРОШКОВ АЛМАЗА, СИНТЕЗИРОВАННОГО В СИСТЕМЕ Fe-Si-C

Новиков Н. В., Богатырева Г. П., Боримский А. И., Нагорный П. А., Невструев Г. Ф., Ильницкая Г. Д., Ткач С. В., Лещенко О. В. (ИСМ им.В.Н.Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина)

The results of studies of powders of diamond synthesized in Fe-Si-C system are presented in this paper. These powders are heterogeneous and consist of grains of different series – from AC2 to AC50. But strength of diamond of all grain sizes corresponds to AC6 series. Quantity of intracrystalline inclusions varies from 7.2 % to 1.8 %.

Синтез алмаза из графита осуществляют в присутствии сплавов-растворителей углерода различного состава при высоких давлениях и температурах в области термодинамической стабильности алмаза. Как правило, в состав сплавов-растворителей углерода входят металлы переходной группы (Fe, Co, Ni).

В настоящей работе приведены результаты исследования некоторых свойств алмазного сырья, полученного в системе Fe-Si-C [1, 2] при соотношении Fe: Si = 14:1. Степень превращения графита в алмаз при синтезе составляла 30-36 % (по массе).

При выполнении исследований исходное алмазное сырье было разделено на зернистости методом ситовой классификации, после чего была определена разрушающая нагрузка при статическом сжатии для полученных порошков согласно методике, указанной в ДСТУ 3292-95 «Порошки алмазные синтетические».

Затем порошки алмаза каждой из полученных зернистостей были разделены в магнитном поле различной напряженности на 3 магнитных продукта, различающиеся между собой магнитной восприимчивостью и содержанием включений. Магнитную восприимчивость порошков алмаза измеряли по методике, разработанной в ИСМ им.В.Н.Бакуля, а содержание включений определяли методом рентгеновского микроанализа с помощью растрового электронного микроскопа BS-340 [3]. Следует отметить, что магнитную восприимчивость алмазных порошков измеряли как в исходном состоянии (после применяемой на практике химической очистки), так и после дополнительной химической обработки (очистки поверхности порошков) сильным окислителем, в качестве которого нами использовалась хлорная кислота.

На основании результатов, полученных при определении разрушающей нагрузки для алмазных порошков, было определено распределение зерен алмаза по маркам для порошков различных зернистостей как в исходном состоянии, так и после разделения их на продукты, различающиеся магнитной восприимчивостью.

Для порошков алмаза различных зернистостей было рассчитано значение коэффициента однородности по прочности, который определяли по специальной методике, разработанной в ИСМ им.В.Н.Бакуля.

Содержание порошков алмаза различных зернистостей в исходном продукте синтеза представлено на рис. 1.

Установлено, что алмазный продукт, полученный при указанных выше условиях, состоит преимущественно из порошков зернистостью 160/125–63/50. По значению показателя прочности при статическом сжатии порошки алмаза всех зернистостей соответствуют марке АС6. При этом значения коэффициента однородности по прочности для полученных порошков алмаза находились в диапазоне от17 до 28 %, что свидетельствовало о значительной неоднородности порошков в пределах каждой зернистости.

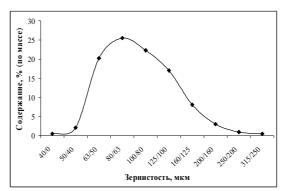


Рис.1. Содержание порошков алмаза разных зернистостей (ситовая классификация)

На рис. 2 показано содержание порошков алмаза различных марок в продукте синтеза, из которого следует преобладающее содержание в продукте порошков марок AC2 и AC4. При этом содержание порошков алмаза марок AC15 – AC20 составляет 10-15 % (по массе).

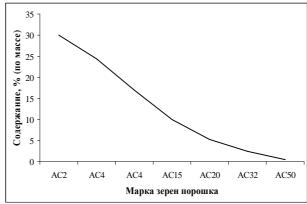


Рис.2. Содержание зёрен разных марок в порошках алмаза, синтезированного в системе Fe-Si-C

На рис. 3 приведено содержание зерен алмаза марки AC2 в порошках зернистостей от 160/125 до 63/50.

Из рис. 3 следует, что содержание зерен алмаза марки AC2 в порошке алмаза зависит от крупности зерен: чем меньше зернистость, тем больше содержание зерен алмаза марки AC2.

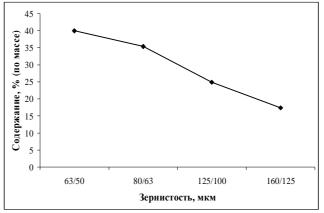


Рис. 3. Содержание зерен алмаза марки AC2 в порошках разных зернистостей

Результаты магнитно-фракционного анализа порошков алмаза различных зернистостей представлены в таблице.

Таблица 1. Результаты магнитно-фракционного анализа порошков алмаза различных зернистостей

личных зерни	Обозначение	Выход,		н. воспр., м <sup>3</sup> /кг	Содержание включений $B_{\text{вкл}}$ , % (по массе)	Уд. магн. воспр. включений, $\chi_{\text{вкл}} 10^{-8}$ м $^3/\text{кг}$
Зернистость	магнитной фракции	% (по массе)	исх.	после хим. обр.		
200/160	1-й магн.	25.0	1890	542		
	2-й магн.	50.6	300	205	_	-
	3-й магн.	24.4	134	131	_	
	Исходный	100.0	418	231		
160/125	1-й магн.	16.5	1318	630	6.964	9053
	2-й магн.	61.2	284	234	3.115	7528
	3-й магн.	22.3	136	123	2.252	5483
	Исходный	100.0	342	226	-	-
125/100	1-й магн.	15.3	1050	629	7.241	8693
	2-й магн.	54.9	263	198	3.383	5867
	3-й магн.	29.8	106	106	1.841	5784
	Исходный	100.0	268	209	-	-
100/80	1-й магн.	18.6	977	609		
	2-й магн.	48.6	251	223		
	3-й магн.	32.8	92	92	-	-
	Исходный	100.0	244	208		
80/63	1-й магн.	10.6	910	550	6.902	7975
	2-й магн.	56.1	254	210	3.698	5692
	3-й магн.	33.3	81	80	2.054	3919
	Исходный	100.0	187	150	-	-

Из представленных результатов следует, что порошки алмаза, полученные в системе Fe-Si-C, обладают хорошо выраженными магнитными свойствами. Величина удельной магнитной восприимчивости порошков алмазов повышается по мере увеличения их зернистости. Отметим, что после дополнительной химической обработки удельная магнитная восприимчивость сильномагнитных порошков алмаза крупных зернистостей снижалась в 3,5–1,5 раза, а слабомагнитных порошков всех зернистостей снижалась не более чем на 10 %. Очевидно, сильномагнитные зерна алмаза имеют более дефектную поверхность, на которой прочно удерживаются металлические составляющие сплава-растворителя углерода, применявшегося при синтезе.

Содержание внутрикристаллических включений (см. табл.) в порошках алмаза зернистостей 160/125, 125/100 и 80/63 определяли после их дополнительной химической обработки.

Удельная магнитная восприимчивость включений  $\chi_{вкл}$  в порошках алмаза определялась по методике, представленной в [4]. Как видно из представленных результатов, магнитная восприимчивость включений в порошках алмаза всех исследованных нами зернистостей снижается при переходе от сильномагнитных фракций алмаза к слабомагнитным, что свидетельствует, по-видимому, о различном элементном и фазовом составе включений.

На рис. 4 приведены гистограммы распределения по маркам порошков алмаза в продуктах с различной магнитной восприимчивостью зернистостью 160/125.

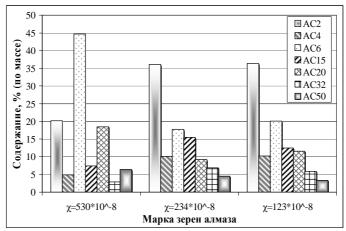


Рис.4. Содержание порошков алмаза различных марок в продуктах с различной магнитной восприимчивостью зернистостью 160/125

Из рис. 4 следует, что порошки алмаза всех магнитных продуктов состоят из зерен различных марок – от марки AC2 до марки AC50. В порошках, для которых  $\chi$ = 234·10<sup>-8</sup> м<sup>3</sup>/кг и  $\chi$ = 123·10<sup>-8</sup> м<sup>3</sup>/кг, содержание зерен алмаза марки AC2 составляет 36 %, а в порошке наиболее магнитной фракции ( $\chi$ =530·10<sup>-8</sup> м<sup>3</sup>/кг) – 21 %.

Следует отметить, что значения коэффициента однородности по прочности для порошков алмаза всех фракций составляет 44 %, т.е. почти в 2 раза выше, чем у порошков, не подвергавшихся магнитной сортировке.

#### Выволы.

При синтезе алмаза в системе Fe-Si-C представляется возможным получать порошки различных марок, последующая сортировка которых различными методами

обеспечивает получение элитных однородных по прочности порошков марок от AC2 до AC15.

Список литературы: 1. Боримский А. И., Делеви В. Г., Нагорный П. А. Кинетика образования и роста алмазов в системе Fe-Si-C. // Сверхтв. материалы. — 1999. - № 3. — С 9—14. 2. Федоров В. Б., Шоршоров М. Х., Хакимова Д. И. Углерод и его взаимодействие с металлами. — М.: Металлургия, 1978. — 208 с. 3. Woods G. S. Investigation of stacking fault and microtwin in synthetic diamond. — Philos. Mag. 1971, vol 23, P. 473-484. 4. Физические свойства алмаза. Справочник под ред. акад. Н. В. Новикова. Киев: Наук. думка, 1987. — С. 85-98.

### ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИКЛАДАННЯ УКРАЇНСЬКОЮ МО-ВОЮ В БАГАТОНАЦІОНАЛЬНОМУ РЕГІОНІ

## Онацька Н.Г., Мітасова Е.Ф., Павлиш В.М. (ДонНТУ, Донецьк)

The important problems of using of Ukrainian language in educational process for international region are considering.

Однією з найважливіших особливостей розвитку східнослов'янських мов  $\varepsilon$  їх постійна конвергенція. Взаємний вплив відбувається постійно, бо для цього існують всі підстави.

Складні державотворчі процеси в нашій країні, проголошення української мови як державної, нові соціальні умови, породжені демократизацією суспільного життя, сприяли формуванню нового ставлення до мовних проблем і навіть нового мовного смаку в суспільстві.

Сьогодні змінилося на краще не тільки ставлення до української мови як державної, а й ставлення до мови взагалі як до важливого суспільного явища, здатного суттєво впливати на суспільні процеси.

Українсько-російська двомовність – питома ознака мовної ситуації протягом не одного десятиліття.

Історично територію України було розділено на дві частини, одна з яких зазнавала впливу польської мови, за рахунок чого сформувалися західноукраїнськи діалекти, а інша — російської, що сформувала східноукраїнські діалекти. Розглянемо детальніше процес взаємовпливу мов.

Конвергенція російської та української мов породжує "русизми", так званий "суржик". Суржик — це продукт взаємодії мов, носіями якого є люди з низьким рівнем освіти. Суржик не є повноцінним діалектом. Це мовне явище належить до специфічної форми побутування мови в Україні. Його національну й соціальну природу відображає сам термін, запозичений з сільськогосподарської лексики. Суржик (буквально — суміш жита з пшеницею, ячменю з вівсом та ін.) — мова, в якій штучно об'єднані без дотримання літературних норм елементи різних мов.

Аналогічний мовленєвий феномен відомий і в Білорусі, де суміш російскої й білоруської мов зветься трасянкою. Ця назва має з суржиком спільне джерело походження. Дехто з білоруських лінгвістів припускає, що білоруський термін виник за аналогією до українського.

Багатий матеріал для дослідження історії суржика містять рукописні пам'ятки XVIII ст. на території Лівобережної України. На кінець XIX – початок XX століття мішана мова вже набула значного поширення, що зафіксовано в художній літературі та

публіцистиці. Зараз в Україні склалася досить цікава ситуація навколо використання української мови. Цьому сприяли й історичні події, і те, що на території України мешкають люди різних національностей. Ось чому україно-російська двомовність -важлива ознака мовної ситуації в Україні. Мовна взаємодія помітно позначається на культурі обох мов. А з культурою мови пов'язують уміння правильно говорити й писати, добирати мовно-виражальні засоби відповідно до мети та обставин спілкування.

Спираючись на певну систему, культура мови стверджує наступні норми: <u>лексичні</u> (розрізнення значень семантичних відтінків слів, закономірність лексичної сполучуваності), <u>граматичні</u> (вибір правильного закінчення синтаксичної форми), <u>стилістичні</u> (доцільність використання мовно-виражальних засобів), <u>орфоепічні</u> (вимова), <u>орфографічні</u> (правопис).

Споконвіку слова переходять з однієї мови до іншої, збагачуючи її. Запозичення вважається правомірним, коли з'являється нове поняття, а також тоді, коли іншомовне слово має дещо інше значення. Коли ж слово з таким самим значенням є в українській мові, запозичення стає неправомірним. Наприклад, немає підстав вживати русизм рішити (коли є вирішити), умісний (коли є доречний), появитися (коли є з'явитися), слідуючий (коли є наступний), сводка (коли є зведення) та інше.

Суржик з'являється тоді, коли володіння українською мовою не  $\varepsilon$  достатнім. Саме тоді трапляються помилки через збіг у вимові українських та російських слів, що мають різні значення. Наприклад:

Російська мова	Українська мова
речь (укр. промова)	річ (рос. предмет)
человек (людина)	чоловік (людина чол. статі)
час (60 хвилин)	час (невизначена його кіль-
	кість)
неделя (7 днів тижня)	неділя (воскресенье)
красный (червоний, рос.	красний ( лише красивый)
красивый)	

Історичний досвід свідчить, що подмінити одну мову іншою не можна.

Такого типу білінгвізм згубно позначається на культурі обох мов — у даному випадку і російської, і української.

Російська мова не збагатилася від того, що нею заговорили різні народи, забувши свою мову. Ті, хто зневажив, знецінив власну мову, так само поставився і до іншої.

Інтерференційний вплив російської мови в сучасній українській комунікації дуже відчутний і навряд чи його можна перебороти найближчим часом. Перш за все тому, що лексикографічний, лінгводидактичний матеріал, на якому вчилося не одне покоління, акцентував не особливості української мови, а спільні з російською мовою ознаки. Коли людина шукає в пам'яті український відповідник для російського слова, вона оперує, як правило, лише словниковим складом співзвучних слів. А насправді, український відповідник може лежати поза цими межами.

Тривалий час панувала тенденція нівелювання мовної діяльності білінгвів. Це досягалося настійними рекомендаціями вивчати та описувати тільки загальне в обох мовах, щоб не протиставити українську мову російській. Ця тенденція призвела до забуття національної специфіки української мови, до формування збідненого міжмовного стандарту.

Культура мови покликана оцінювати доречність, доцільність або недоречність, недоцільність використання різних засобів мовного висловлення. Вона виступає тим чутливим інструментом, який першим відзначає нові явища в лексиці, граматиці, фразеології, підказує мовцям стилістичне забарвлення мовних форм, попереджає про втрату словом інфрмативного та емоційного заряду. Виховане мовне чуття обов'язково приверне увагу читача до ненормативних мовних висловів. Найчастіше можна спостерігати помилки такого типу.

Фонетичні помилки: вимова(наголос)

Російською	Українською
легко́	ле́гко
Російською	Українською
высоко́	ви́соко
цыган	ци́ган
колесо́	ко́лесо
дрова́	дро́ва
при <b>я</b> тель	при́ятель

## Голосні і приголосні звуки:

Помилково	Вірно
cnac <mark>i</mark> бi	cnac <u><b>u</b></u> бi
во <u>і</u> нський	во <b>ї</b> нський
завдяк <u>і</u>	завдяк <u>и</u>
серд <u>є<b>чьн</b></u> о	серд <u>ечн</u> о
<u>К</u> рещат <u>і</u> к	<u><b>Х</b></u> рещат <u>и</u> к
<u><b>под</b></u> розділ	<u>під</u> розділ

### Лексичні помилки(найтиповіший прояв суржику):

Помилково	Вірно
відмічати	відзначати
міроприємство	захід, заходи
разнувати	святкувати
залізна дорога	залізниця
другий	інший
рахую	вважаю
текучий рік	поточний рік
доклад	доповідь
заказ	замовлення
первий	перший
повістка дня	порядок денний
виписувати газети	передплачувати газети
підписка	передплата
являється	$\epsilon$

Помилки у морфологічному оформленні слів:

- вживання закінчення -**a** замість -**u** у словах з числівниками 2, 3, 4 (два підручник<u>а</u>, замість два підручник<u>и</u>; три олівц<u>я</u>, замість три олівці);
- закінчення -**ой**, -**єй** в орудному відмінку іменників жіночого роду 1-ї відміни (аксіом<u>ой</u>, замість аксіом<u>ою</u>; акці<u>єй</u>, замість акці<u>єю</u>);
- неправильне утворення дієприкметникових форм (аналізуємий, замість що аналізується; виконавший що виконав);
- недотримання чергувань голосних  $\mathbf{0}$ ,  $\mathbf{\epsilon}$  з  $\mathbf{i}$  (незалежн<u>і</u>сті, як<u>і</u>сті замість незалежн<u>о</u>сті, як<u>о</u>сті);
- нерозрізнення граматичних форм роду і числа в іменниках: дріб (чол. р. од.) велика дріб замість велик<u>ий</u> дріб; біль (чол, р. од.) гостра біль замість гострий біль; меблі (множ.) українська мебель замість українські меблі.

Виходячи з цього, можна визначити, що суржик — це спотворена, просторічна форма недомінуючої мови, яка  $\varepsilon$  результатом спроби мовця наблизитися до опанування домінуючої мови. Функціонально суржик співвідноситься з українським просторіччям. За нормальних обставин українське просторіччя має бути однією з підсистем української мови, однак суржик не  $\varepsilon$  такою підсистемою, оскільки до його складу входять елементи, які не можуть бути заре $\varepsilon$ стровані в жодному нормативному словнику української мови.

Як соціолінгвістичний феномен суржик потребує грунтовного аналізу в трьох аспектах — лінгвістичному, психолоїчному й соціальному. Одним з головних практичних питань таких досліджень має стати створення навчальних методик, здатних заблокувати розповсюдження впливу цього мовного явища. Достеменно володіти певною національною мовою означає володіти всіма лексико-фразеологічними засобами: від літературно-розмовних, розмовно-сленгових форм до високих зразків книжно-писемної мови. Принаймні це ідеал, якого слід прагнути, зокрема в ситуації двомовності.

Особлива увага має бути приділена проблемі впровадження викладання українською мовою у вищій школі таких багатонаціональних та традиційно російськомовних регіонів, як Донбас, Одещина, Крим, Дніпропетровщина, Харківщина. Процес переходу ні в якому випадку не може прискорюватися штучно, директивно, а з іншого боку, викладачів, що виявляють готовність до цього важливого заходу, треба всебічно заохочувати. Взагалі, при розгляді мовних проблем в освіті треба неухильно дотримуватися принципів толерантності та поступовості.

Список літератури: **1.** Павлиш В.М., Мітасова Е.Ф., Онацька Н.Г. Проблема двомовності в Україні та її місце у сфері вищої освіти Донецького регіону.// Матеріали V та VI науково-технічних конференцій "Методологічні проблеми розвитку бізнесосвіти". — Донецьк, 2005. — с.155-157. **2.** Мітасова Е.Ф., Онацька Н.Г., Павлиш В.М. Проблема двомовності в аспекті історичних подій в Україні та її місце у сфері вищої освіти.// Сб. трудов XII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», том 2. — Донецк, 2005. — с.280-284.

## КОММУНИКАЦИОННЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРИТЕЛЬНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

### Павлыш В.Н., Миньковская М.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

The communication and information processes in the system of management of machine building enterprises are considering. The criterions of quality of decisions are analyzing.

Современное состояние рынка характеризуется повышением значимости и ценности информации в процессе формирования управленческих решений. строительное предприятие является сложной открытой системой, взаимодействующей с субъектами с помощью информационных потоков, которые способствуют образованию конкурентных преимуществ предприятия в занимаемом сегменте рынка. Поэтому качество и скорость передачи информационных потоков является важным элементом в информационной системе, которая составляет контур внутренней и внешней среды машиностроительного предприятия. Качественная информация зависит от применяемых современных методов обработки, представления и передачи информации, следовательно, финансовые ресурсы предприятия в условиях развития информационных технологий являются фактором, способствующим ускорению или замедлению передачи информационных ресурсов. Роль современных информационных коммуникаций возрастает в условиях динамичности и глобализации общества и в иерархической лестнице целей предприятия занимает лидирующее место. Информационное взаимодействие зависит от эффективности использования потенциала коммуникационного инструментария [1].

Целью работы является установление критериев эффективности использования информационных коммуникаций для обоснования принимаемых решений в управлении предприятиями машиностроительного комплекса.

Характерным признаком современного машиностроительного производства является то, что информация и знания воплощены в большинстве создаваемых продуктов и развитие информационно-коммуникационных технологий усиливает стратегический потенциал комплекса. Коммуникации между людьми и организациями превращаются в стратегический ресурс управления, открывают возможности для участия в национальных и мировых финансовых рынках и инвестиционных проектах [2, с. 90]. Эти выводы также вытекают из виртуального развития крупных корпораций, размывающего контуры хозяйствующих субъектов. Корпорации, используя различные формы, каналы, инструменты, технологии коммуникации, вместе с потребителями участвуют в создании и усовершенствовании потребительских ценностей. Коммуникации также являются важнейшим элементом системы управления знаниями, связующим звеном в структуре интеллектуального капитала. Поскольку экономические системы не могут развиваться без воспроизводства всех видов интеллектуального капитала, без обновления образовательного, культурного и научного потенциала, коммуникативный фактор в развитии экономических систем становится условием экономического прогресса и внутренним элементом устойчивого экономического роста.

В политологическом энциклопедическом словаре коммуникация – это сообщение, передача, беседа, разговор. А.Леонтьев представляет коммуникацию в социологическом понятии как процесс обмена результатами психологической деятельности. С точки зрения кибернетики (А.Урсул, Н. Виннер) коммуникация определяется как обмен информации между сложными системами и их частями, накопление и переработка

информации. По мнению В. Бебик в научном понятии коммуникация является непосредственным и целенаправленным взаимодействием двух субъектов»[3, с. 28]. Это взаимодействие может происходить в реальном пространстве и астрономическом времени или в многомерном виртуальном пространстве и времени с помощью коммуникационных каналов.

Коммуникационный канал - это средство целенаправленной передачи информации в процессе коммуникационной деятельности, содействующий созданию, передаче и приему информации. Для этого нужны материальные носители информации (язык, коды, знаки) и техническое оснащение (шифраторы, приборы приема и передачи сигналов, дешифраторы сигналов и т.д.). Основные каналы передачи смысловых сообщений: невербальные (несловесные) и вербальные (словесные). Невербальный канал предусматривает использование мимики, жестов, движений, интонаций. Значение невербального канала существенно, т.к. до 70% эмоционального значения (информации) передается не словами, а мимикой, жестами, движениями, интонациями и т.д. Невербальный канал считают более правдивым, поскольку невербальные реакции генерируются на подсознательном уровне правой частью мозга («чувственной»), а словесные высказывания контролируются левым полушарием мозга («мыслящим»). Словами руководить проще, чем эмоциями. Поэтому последние более правдивые. С этим связано использование так называемых детекторов лжи. Их работа построена на «считывании» невербальной информации во время ответов на вопросы. Вербальный канал коммуникаций основывается на языковых способностях человека и реализуется через передачу языковых сообщений (текстов) в устной или письменной форме. Для того чтобы передавать языковые сообщения, человек должен владеть:

- языковой способностью, которая передается наследственно и заключается в возможности говорить и понимать других людей;
- одним из естественных языков, которым человек овладевает в детстве в процессе первичной социализации.

Естественный язык, содержащий социальную память, отличается от речи, материализации результатов мышления с помощью языка, который сохраняется в индивидуальной памяти и используется в процессе коммуникации. Язык и речь не могут существовать в отдельности: речь реализуется через язык, а без языка нет речи. Следовательно, вербальный и невербальный каналы коммуникаций отражают и формируют тип руководителя на предприятии, уровень квалифицированных профессиональных связей; зависят от организационной системы управления; являются частью коммуникационной политики.

По мнению Г. Багиева предприятиям при разработке коммуникационной политики целесообразно следовать следующим принципам [4; с.115]:

принцип последовательности, который требует согласования каждой переменной величины с другими переменными;

принцип взвешенного подхода, который предполагает исследование и учет чувствительности рынка к постоянно меняющимся переменным конъюнктуры рынка;

принцип учета изменения бюджетных и прочих расходов предприятия.

В управленческой политике машиностроительного предприятия необходимо четко определять цели и задачи, чтобы оценить эффект совершенствования управления с помощью коммуникаций. Допустим, между стадиями принятия решения покупателем и эффективными коммуникативными каналами, доводящими информацию о товаре, существует определенная зависимость (табл. 1).

Для достижения эффективности коммуникационная политика должна строится не только на поиске уникальных коммерческих аргументов для продвижения товара, но и концентрации на его уникальных покупательских свойствах; причинах, по которым потенциальный потребитель отдаст предпочтение товару, сравнив его с аналогичными продуктами других предприятий. Уникальные покупательские свойства, находящие выражение в ощутимых выгодах для покупателя, главным образом являются субъективными и напрямую не зависят от объективных свойств товара. Потребитель сравнивает аналогичные продукты различных предприятий и отдает предпочтение тому, который для него «более приятен и полезен». В этой связи понятие образа имеет определяющий смысл. Поэтому создание и поддержание оптимального образа компании и выпускаемых продуктов является основой не только специализированных видов коммуникации, но влияет на весь комплекс продвижения продукции (реклама, персональная продажа, стимулирование сбыта).

Таблица 1. Характер стадий принятия решения покупателем и цели коммуникационной политики

Стадия принятия решения	Цели (эффекты)		
покупателем	коммуникацион-		
	ной политики		
Незнание (потребитель не знает о существовании мар-	Осведомленность		
ки)	о марке		
Осведомленность, знание (потребитель ознакомлен, но	Отношение к		
эмоциональная оценка его случайна)	марке		
Положительное отношение (потребитель ознакомлен с	Намерение ку-		
информацией и разделяет данную ей оценку)	пить		
Предпочтение, желание купить (потребитель	Содействие по-		
ознакомлен с информацией, разделяет данную ей оцен-	купке		
ку, и готов транслировать ее)			

В процессе специализации управленческого труда коммуникация выделяется как относительно самостоятельный вид деятельности, который в нашей стране пока несовершенен. Коммуникация может объединить два направления в развитии экономики: количественный рост за счет конъюнктуры факторов и качественный рост основных воспроизводственных процессов. Эффективное управление коммуникацией может стать важнейшим ресурсом развития экономики страны.

К сожалению, в мировой и отечественной литературе наиболее полно исследованы проблемы теории, истории, психологии, социологии коммуникации [1,2,3,4,5]. При этом большая часть работ по теории коммуникации посвящена *public – relations* (PR) [6]. Экономические аспекты коммуникаций в управленческой и производственной деятельности машиностроительных предприятий являются частью комплексного теоретического и практического исследования в дальнейшем.

По мнению Т.Орловой, экономическая роль коммуникации в основном рассматривается в качестве рекламы. Не уделено должного внимания коммуникации как фактору конкурентоспособности предприятий. Практически не изучены вопросы управления коммуникациями на региональном уровне. Все это приводит к необходимости разработки специального теоретического подхода в управлении коммуникациями.

В своем исследовании Т.Орлова рассматривает сущность коммуникационного менеджмента, как фактор повышения эффективности управления экономическими системами, который проявляется в двуединой природе.

С одной стороны, коммуникационный менеджмент выступает как составляющая часть управления экономическими системами, т.к. изучает взаимодействие и взаимосвязь времени и пространства элементов, которые формируют и эффективно используют виды капитала экономических систем; изучает закономерности связи с информацией, знаниями и интеллектуальной собственностью в процессе формирования и развития экономической системы.

С другой стороны, коммуникационный менеджмент рассматривается как самостоятельная профессиональная деятельность производителя, посредников, потребителя (субъектов и объектов экономической системы) в реальной коммуникационной стратегии, сформированной в соответствии с мотивами, установленными интересами, отношениями и конкретными целями каждого.

Коммуникации являются фактором создания добавленной стоимости. Стоимость, создаваемая коммуникациями, является основой экономического роста, даже при отсутствии крупных хозяйственных достижений. Общеизвестно, что для улучшения результатов деятельности предприятия необходимо управлять не только финансовыми показателями, но и нематериальными аспектами, создаваемые с помощью коммуникаций. К ним относятся: репутация компании, прозрачность, деловые связи, способность создавать альянсы, а также торговые марки, бренды, патенты и авторские права, квалифицированные кадры и талантливые сотрудники.

Если финансовые оценки отражают результаты работы предприятия за определенный период, то нефинансовые, зависящие от восприятия компании внешним миром, позволяют сопоставить их с ожиданием клиентов и достижениями конкурентов.

Коммуникации являются фактором конкурентоспособности. В этом качества выступает важнейший нематериальный актив - бренд, стоимость которого, как известно, может в десятки раз превышать балансовую стоимость компании. Многочисленные исследования показывают, что украинские национальные бренды не являются ведущими. Перспективы развития национальных брендов связаны с их способностью конкурировать с глобальными брендами транснациональных корпораций по таким направлениям, как поддержка стандартов качества, стратегия в области маркетинговых коммуникаций, высокий уровень дизайна, полиграфии.

С управлением коммуникациями непосредственным образом связаны информационные технологии: управление взаимоотношениями с клиентами, управление цепочкой поставщиков, интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений ситуационного управления, корпоративные технологии совместной работы. В свою очередь, новые задачи коммуникаций способствуют развитию новых информационных технологий. Производителям, работающим в высоко конкурентных рыночных секторах, приходится прикладывать все больше усилий, чтобы удерживать клиентов. По статистике, в среднем уменьшение оттока клиентов к конкурентам на 5% в год приводит к росту доходов на 25 – 55%. Понятие «выгодный клиент» влияет на выбор стратегических приоритетов и, соответственно, на выбор концепции автоматизации. Если прежние концепции были ориентированы только на оптимизацию внутренней производственно-хозяйственной деятельности предприятия, то сейчас информационные технологии позволяют использовать покупательские возможности клиента для усовершенствования маркетинговой политики предприятия. В частности, в процессе управления взаимоотношениями с клиентами – CRM (Customer Relay Management), один из компонентов CRM – коммуникационный -- ориентирован на непосредственное взаимодействие производителя с потребителем. Взаимодействие осуществляется различными способами – это и персональные контакты, и обычная и электронная почта, телефон, факс, онлайновые каталоги и т.п. Они объединяют и синхронизируют сведения, полученные в результате многоканального общения с клиентом.

В качестве конечных критериев оценки эффективности коммуникационного менеджмента Т.Орлова предлагает:

величина и динамика капитализации предприятия и рынка;

стоимость нематериальных активов предприятия (в соотношении с материальными);

снижение трансакционных издержек;

рост доходов от рекламы.

Промежуточными критериями выступают:

уровень информативности и доверия целевых аудиторий организации, определяемый соответствующими исследованиями и показателями;

положительный имидж компании;

поведение и оценка компании в ситуации кризиса.

Для территории конечные критерии оценки эффективности коммуникационного менеджмента выглядят следующим образом:

рост инвестиционной привлекательности рекламы за счет улучшения имиджа и репутации, эффективное использование инвестиций;

использование конкурентных преимуществ региона для создания новых рабочих мест, развития сферы торговли и услуг, роста благосостояния жителей территории.

Промежуточными критериями оценки эффективности коммуникационного менеджмента в данном случае могут служить создание и эффективное функционирование регионального (городского) делового центра, а также реализация на базе делового центра социально ориентированных проектов.

Автор отмечает, что использование коммуникативного ресурса в управлении экономическими системами характеризуется эффектом сетевого взаимодействия. Эффект сетевого взаимодействия порождает возрастающую полезность коммуникативного ресурса и его возрастающую предельную производительность. Чем больше участников коммуникационного процесса, тем больше ценность каждого контакта. Чем больше коммуникационных контактов, тем больше полезность и экономический эффект от каждого отдельного контакта. Возникает своего рода положительная обратная связь, когда все участники коммуникации заинтересованы в расширении этой сети и получают прирост эффекта от расширения. Кроме того, эффект сетевого взаимодействия выражается в использовании выработанных коммуникаций стандартов. Допустим, выгоды от использования английского языка как нематериального актива компании возрастают именно потому, что этим языком пользуются контрагенты, клиенты, инвесторы и множество других лиц, входящих в круг интересов компании. А заниматься созданием, поддержанием и защитой репутации выгодно потому, что это оборачивается ростом капитализации.

К стандартам коммуникаций, выраженным через управление, можно отнести также производителей брендов со своими потребителями. Каждый потребитель брендового товара заранее убежден, что качество продукции безупречно, дизайн является отражением корпоративной мудрости изготовителей этой продукции; что обладание этими изделиями повышает общественный статус потребителя, переводя его на более высокий социальный уровень.

Управление коммуникациями сопряжено также с внешним эффектом, который также проявляется в сетях. Заботясь о своей репутации, о прозрачности своего бизнеса, совершенствуя бренд и т.п., собственники и менеджеры компании обеспечивает себе таким образом стабильный инвестиционный климат, приток квалифицированных кадров, завоевывают расположение потенциальных потребителей. Внешний сетевой эффект особенно заметен при решении экономических задач неэкономическими методами – речь идет об этических кодексах, кодексах корпоративного управления, о востребованности организационных ценностей компании, а также о неэкономических способах влияния на поведение экономических субъектов.

Следовательно, задачи коммуникационного менеджмента требуют нового сочетания технологических инструментов, позволяющих содержательно реформировать управление коммуникациями экономической системы, используя интегрированный подход.

Коммуникационный менеджмент опирается на следующие технологии и инструменты:

- связи с общественностью;
- связи с акционерами, инвесторами и партнерами;
- брендинг;
- формирование имиджа и управление репутацией;
- связи со средствами массовой информации;
- программу продвижения региона.

Существует еще так называемый синергетический эффект. Синергизм - термин, означающий эффект взаимодействия различных инструментов коммуникаций, возникающий при их совместном использовании. Сохраняя единое позиционирование в рамках каждого целевого сегмента, инструменты коммуникаций усиливают друг друга, создавая синергетический эффект. Синергетический эффект от использования технологий и инструментов коммуникационного менеджмента состоит в достижении эффективного конечного результата функционирования экономической системы.

**Выводы.** Как показывает анализ, коммуникативные функции должны достичь такой степени унификации, чтобы организация (отрасль, предприятие) «говорила в один голос». Это может служить аргументом в пользу интегрированной системы коммуникаций. Поэтому проблема необходимости разработки и реализации специальных программ обучения теории и практике коммуникационного менеджмента остается актуальной и может составить предмет дальнейших исследований. Решением проблемы может стать применение системного подхода в анализе негативных и позитивных сторон развития коммуникационного пространства предприятия, развитие теоретических исследований различных направлений коммуникационного менеджмента.

Систематизация экономического и коммуникативного потенциала предприятий может стать решающим фактором в достижении гармоничного развития экономической системы машиностроительной отрасли. Проблема коммуникаций как обмена информацией, знаниями и интеллектуальной собственностью является вопросом практического применения на предприятии и требует развития новой законодательной и теоретической базы в Украине.

Список литературы: **1**.Годин В.В., Корнеев И.К. Управление информационными ресурсами: 178-модульная программа для менеджеров «Управление развитием организации» Модуль 17.- М.: «ИНФРА- М», 1999. – 432 с. **2**.Масленникова Т. Формирование информационных технологий управлении экономикой// Проблемы теории и

практики управления. – 2004. - №6.- С.90-95. **3**. Бебик В. К проблеме: коммуникация и ее функции// Персонал. - 2004. - №3. – С.28 – 33. **4**. Багиев Г.Л. Маркетинг: Учебник для вузов/Г.Л.Багиев, В.М. Тарасевич, Х. Анн. Под общ. ред. Г.Л.Багиева. – М: - ОАО «Изд-во «Экономика», 1999. - 703 с. **5**. Соколов А.В. Общая теория социальной коммуникации: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2002.- 461 с. **6**. Котлер Ф. Маркетинг и менеджмент – Спб: Питер Ком, 1998. – 896 с.

### ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА В ИСПОЛЬЗОВАНИИ НОВЫХ ИНФОРМАЦИ-ОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

### Павлыш В.Н., Зайцева М.Н Хохлаткина В.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

New informational techniligies with software means usage contribute the personality intellectual formation and self development intensification as well as subjects integration and broadening and delpening of investigated subjects region.

The usage of new informational technologies will lead to the new methods of education origin.

Процесс информатизации образования и связанное с этим использование возможностей средств новых информационных технологий (СНИТ) в процессе обучения приводит не только к изменению организационных форм, но и к возникновению новых методов обучения.

Математизация и информатизация предметных областей, интеллектуализация учебной деятельности, общие интеграционные тенденции процесса познания окружающей информационной, экологической, социальной среды, поддерживаемые использованием СНИТ, приводят к расширению и углублению изучаемых предметных областей интеграции изучаемых предметов или отдельных тем. Это обусловливает изменение критериев отбора содержания учебного материала. Они основываются на необходимости интенсификации процесса интеллектуального становления и саморазвития личности обучаемого, формирования умений формализовать знания о предметном мире, извлекать знания, пользуясь различными современными методами обработки информации.

Таким образом, в связи с развитием процесса информатизации и образования изменяется объем и содержание учебного материала, происходит переструктурирование программ учебных предметов (курсов), интеграция некоторых тем или самих учебных предметов, что приводит к изменению структуры и содержания учебных предметов (курсов) и, следовательно, структуры и содержания образования.

Параллельно этим процессам происходит внедрение инновационных подходов к проблеме уровня знаний студентов, основанных на разработке и использовании комплекса компьютерных тестирующих, диагностирующих методик контроля и оценки УРОВНЯ усвоения. Изменение содержания и структуры образования, представлений об организационных формах, методах обучения и контроля за его результатами приводит к изменению частных методик преподавания.

Реализация возможностей СНИТ в процессе обучения и связанное с этим расширение спектра видов учебной деятельности приводят к качественному изменению дидактических требований к средствам обучения, учебной книге. Это наглядно демонстрируется на примере программных средств (ПС) учебного назначения.

Педагогические программные средства - совокупность компьютерных программ, предназначенных для достижения конкретных целей обучения.

ПС являются главной частью компьютерного программно-методического комплекса, включающего кроме педагогических программных средств методическое и дидактическое сопровождение данных программ.

Средства вычислительной техники должны поступать в систему образования с программным обеспечением, ориентированным на задачи обучения различным дисциплинам. Проблема создания и использования компьютерных учебных программ продолжает оставаться актуальной. Педагогическая ценность и качество ПС зависит от того, насколько полно учитываются при его разработке комплекс требований, предъявляемый к ним.

В настоящее время нет единой классификации ПС, хотя во многих работах в зависимости от методических целей, реализация которых оправдывает введение ПС, выделяют среди них следующие типы:

- 1. Программы-тренажеры предназначены для формирования и закрепления умений и навыков, а также для самоподготовки обучаемых. При использовании этих программ предполагается, что теоретический материал обучаемыми уже усвоен. Многие из этих ПС составлены в духе бихевиоризма, когда за один из ведущих принципов берется подкрепление правильного ответа, персональный компьютер (ПК) в случайной последовательности генерирует учебные задачи, уровень трудности которых определяется педагогом. Если обучаемый дал правильное решение, ему сообщается об этом, иначе ему либо предъявляется правильный ответ, либо предоставляется возможность запросить помощь. Компьютерные учебные программы такого типа реализуют обучение, мало чем отличающееся от программированного обучения с помощью простейших технических устройств. Однако ПК обладает значительно большими возможностями в предъявлении информации, чем в типе ответа. Многие системы позволяют даже вводить с некоторым ограничением конструированные ответы.
- 2. Контролирующие программы, предназначенные для контроля определенного уровня знаний и умений. Известно, что контроль знаний обучаемых представляет собой одно из самых важных и в то же время по характеру организации и уровню теоретической исследованности одно из самых слабых звеньев учебного процесса. Главный недостаток существующих форм и методов контроля заключается в том, что в большинстве случаев они еще не обеспечивают необходимой устойчивости и инвариантности оценки качества усвоения учебной информации, а также необходимой адекватности этой оценки действительному уровню знаний. Совершенствование контроля за ходом обучения должно концентрироваться вокруг узловой проблемы - проблемы повышения достоверности оценки формируемых знаний, умений и навыков. Эту проблему можно рассматривать в двух аспектах: во-первых, как увеличение степени соответствия педагогической оценки действительному уровню знаний обучаемых; во-вторых, как создание и реализацию таких методических приемов контроля, которые обеспечили бы независимость оценок от случайных факторов и субъективных установок учителя. Использование соответствующих пакетов контролирующих программ позволит повысить эффективность обучения и производительность труда преподавателя, придаст контролю требуемую устойчивость и инвариантность, независимость от субъективных установок учителя.
- 3. Наставнические программы, которые ориентированы преимущественно на усвоение новых понятий, многие из них работают в режиме, близком к программированному обучению с разветвленной программой. Обучение с помощью таких программ

ведется в форме диалога, однако по большей части ведется диалог, построенный на основе формального преобразования ответа обучаемого, т.е. фактический диалог.

4. Демонстрационные программы, предназначенные для наглядной демонстрации учебного материала описательного характера. Преподаватель может успешно использовать компьютер в качестве наглядных пособий при объяснении нового материала. Большими возможностями в интенсификации учебного процесса обладают те демонстрационные программы, в которых используется диалоговая или интерактивная графика. Например, изготовление и использование видеосюжетов. В первый момент кажется, что без видеокамеры, дорогой платы оцифровки видеоизображения невозможно обойтись и, следовательно, за видео не стоит и браться. Но, если вдуматься, то всегда ли необходима живая съемка, чтобы сделать видеосюжет? Когда на занятии по предмету "Вегуваи" рассматривают строение шахты, и, рассказывая о классификации горных выработок, основываются только на графические схемы, то на успех такого преподавания надеяться трудно. Видеосюжет сделал бы материал более интересным и более доходчивым. Для реализации такого фрагмента, кроме достаточно простого компьютера, нужен сканер и программа Adobe Premiere.

Данная программа позволяет из файлов графики создать динамичный фильм, который сопровождается фоновой музыкой, двигающимися надписями, закадровым голосом. Можно привлечь видеоматериал, который доступен на ряде CD-R в виде файлов \*.avi. То есть достаточно простыми средствами можно делать великолепный материал и использовать его и на занятии, демонстрируя с помощью мультимедийного проектора и компьютера, и вставлять в электронные учебники. Причем, нет необходимости делать большой фильм. Делая постепенно маленькие фрагменты, их впоследствии можно либо объединить в большой фильм, либо организовать файлы для выборочного показа через соответствующее меню, которое можно сделать даже в программе Power-Point.

Работа над подобным электронным учебником для студентов, изучающих специальность "Bergbau", ведется в настоящий момент в ДонНТУ.

5. Информационно-справочные программы предназначены для вывода необходимой информации.

В недалеком будущем обучаемый при подготовке к занятиям или на занятиях сможет использовать ПК, подключенный через модем и телефонную линию связи к другим компьютерам и к библиотеке. В этом случае он может получить любую необходимую информацию, имея доступ к компьютеризированному каталогу книг и периодических изданий. С помощью компьютера студент сможет осуществить доступ к любому организованному хранилищу информации, ко многим различным банкам данных. Знать, как с помощью компьютера можно получить информацию, так же важно, как уметь пользоваться энциклопедией или библиотекой,

6. Имитационные и моделирующие программы, предназначенные для «симуляции» объектов и явлений. Эти программы особенно целесообразно применять, когда явление осуществить невозможно или это весьма затруднительно. При использовании таких программ абстрактные понятия становятся более конкретными и легче воспринимаются обучаемыми. Кроме того, студенты получают гораздо больше знаний при активном усвоении материала, чем просто запоминая пассивно полученную информацию.

# ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Парикян Ф.А., Христафорян С.Ш., Баласанян Б.С., Бабаян А.С., Григорян Г.Р. (ГИУА, АООТ "Гоар", Ереван, Республика Армения)

Are examined questions of an increase in the quality indicators of the reinforced surfaces of the details of technology by application in the technological process of the surface hardening of ecologically clean gaseous media. Is proven the expediency of using as the medium oxygen, which leads to an increase in the microhardness of the reinforced surface and the exception of adhesive phenomena.

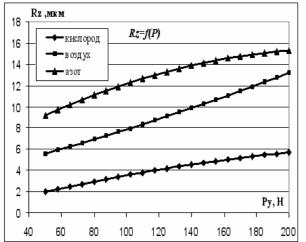
При достаточно широкой номенклатуре конструкционных материалов специального назначения, серьезные технологические и инструментальные проблемы изготовления деталей техники из отмеченных материалов, проблемы получения поверхностей деталей соответствующего качества, точности и набора физико-механических свойств, вопросы необходимой надежности и долговечности деталей механической части современной техники и многие другие, весьма актуальны с позиций развития техники. Как правило, технологические решения обработки детали подбираются таким образом, чтобы обеспечить необходимую геометрическую и размерную точность поверхности обработки, а структура поверхностного слоя детали самоорганизуется независимо от требований к ней. Этим вызвана явная необходимость дополнительно структурировать поверхность детали, которая имеет неоспоримое преимущество, заключающееся в том, что основное тело детали изготовлено из определенного материала, обеспечивающего служебные характеристики детали в качестве элемента взаимодействия с такими же, но при этом формируется такая структура поверхностного слоя детали, которая выполняет в корне иные служебные функции в контактах поверхностей деталей техники.

В этом контексте в последние десятилетия поверхностно упрочняющие технологии и разрабатка соответствующего инструмента, получили широкое развитие. Создаются технологии и материалы для покрытий поверхностей деталей техники, развиваются традиционные и разрабатываются новые технологии термического упрочнения и др., которые можно объединить в качестве процессов специального, целенаправленного структурирования поверхностного слоя деталей техники. Исследования вопроса влияния газовых сред на процесс упрочнения поверхностей деталей техники проведены в рамках темы "Реологические основы совершенствования технологических процессов машиностроения" в проблемной лаборатории "Машиностроительные технологии" ГИ-УА, в которых были рассмотрены и сравнительные характеристики процесса деформационного упрочнения поверхностей с использованием специальных эмульсий, полученных ультразвуковым эмульгированием в работе по г/б тематике Т-414.

Известно решающее влияние качества обработанной поверхности деталей техники на их эксплуатационные свойства при работе в обычных атмосферных и в, менее благоприятных, а иногда и агресивных, средах и поэтому появляется настоятельная необходимость формирования поверхностей с определенным набором характеристик и свойств и технологическим воздействием управлять этим процессом. Для достижения указанной цели успешно применяются методы обработки металлов резанием и поверхностного пластического деформирования (ППД) с использованием различных смазочно-охлаждающих технологических сред или комбинаций этих сред с газами.

В последнее время все больше уделяется внимание аспекту экологии достижения качества поверхности [1,7] с применением различных СОЖ и масел, которые опасны при высоких давлениях и температурах, сопутствующих процесс резания и, зачастую, становятся определяющим фактором при выборе того или иного метода обработки. Процесс формирования поверхностных слоев в активных и инертных газовых средах в процессе резания металлов исследованы сравнительно подробно, тогда как существует определенный пробел в исследовании структурирования этих слоев методами ППД с использованим газов. Опубликованные за последнее время работы подтверждают эффективность влияния газовых сред, особенно кислорода на процесс формирования физических свойств поверхностей трибологических пар при трении и в изнашивании, а также на формирование обработанной резанием поверхности [1,2,4,6,8]. В этом аспекте исследования процесса ППД в газовых средах представляют определенный интерес и актуалены, в связи с чем нами проведены комплексные исследования обкатки шариком различных материалов в среде кислорода и азота в сравнении с данными, полученными при обкатке в воздухе. Исследования проведены на основе разработаного нами метода математического планирования эксперимента [5].

Зависимости  $R_z = f(P)$  и  $R_z = f(S)$  демонстрируют однозначность эффективности влияния кислорода на величину шероховатости поверхности не зависимо от подачи в рассмотренном интервале силового воздействия, которая, в сравнении с полученными в воздухе и азоте, меньше в 2,5-3 раза. Выявление механизма влияния газов, в частности кислорода, всегда находилось в сфере интересов исследователей вопросов трибологии, а также у специалистов в области обработки материалов резанием и обработки с ППД. В процессе обкатки, в сущности, действуют такие механизмы, которые весьма близки к процессам, происходящим в зоне трения и износа в газовой среде и тут формирование поверхностных слоев в значительной степени зависит от скорости диффузионных процессов и степени пластической деформации, точнее диффундировании кислорода из окружающей среды или непосредственно из воздуха [4,6].



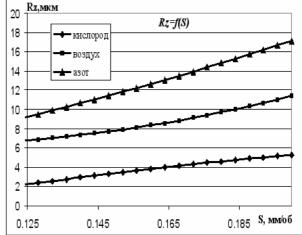


Рис.1. Влияние составляющей силы Ру на величину шероховатости поверхности Rz (Железо Армко Э10, S=0.15 мм/об)

Рис.2. Влияние подачи S на величину шероховатости поверхности Rz (Железо Армко Э10, P=100 H)

Известно, что в зависимости от степени деформации увеличиваются плотность дислокаций и плотность точечных дефектов, приводящие к резкому росту активности диффузионных процессов и, в зависимости от окружающей среды, реализующихся за

счет диффузии атомов кислорода если среда воздух или чистый кислород, в случае же обкатки в среде азота - за счет взаимной диффузии атомов трущихся поверхностей металлов [6]. В этом случае существенно возрастают адгезионные явления и во всем исследованном диапазоне изменения усилия и подачи шероховатость обработанной поверхности увеличивается и качество обработанной поверхности ухудшается, за счет генерации или зарождения узлов металлических связей и их дальнейшего разрушения или деградации. Последнее явно подтверждается иллюстрациями внешних видов обкатанных поверхностей в среде азота и, частично, в воздухе, представленные на рисунке 3. Отмеченные здесь темные образования являются следами разрушенных узлов металлических связей.

В среде кислорода в результате его диффузии в поверхностные слои, какиелибо химические реакции не отмечаются до тех пор, пока в твердом растворе перенасыщеного кислородом и при определенных условиях не образуются окисли различного химического состава. Естественно, что некоторое повышение температуры (до 100-200°С) эти процессы заметно активирует при относительно высоких усилиях обкатки и повышает роль кислорода при структурировании поверхностного слоя. Обкатанная в среде кислорода поверхность образца гладкая, без видимых следов задир, вырывов или наслоений металла. Влияние воздуха на процесс обкатки проявляется в качестве промежуточного положения между влияниями азота и кислорода, причем в некоторых локальных частях олбкатанной поверхности, где действие кислорода слабее ввиду его недостаточного количество или разрушены защитные пленки, роль металлических связей адгезионного характера повышается и при этом отмечены несколько слабые или неявные ассоциации вырывов и наслоений металла.

Окружающая среда заметно влияет на степень пластического деформирования обкатанных поверхностных слоев и при этом подтверждаются закономерности влияния окислительных и нейтральных сред на процесс. Повышенная в сравнении со средой воздуха, а в некоторых случаях, и со средой азота, микротвердость поверхности, еще раз подтверждает реальную возможность самообразования или возникновения достаточно прочных поверхностных тонких слоев, за счет диффузии кислорода и образования химических соединений или твердых растворов (рис.4). Это особенно важно при эксплуатации деталей техники, когда на первый план выдвигаются набор физикомеханических характеристик и геометрических показателей шероховатости поверхностного слоя, ввиду того, что хорошо известное явление наследственности после чистовых и окончательных операций, особенно при поверхностно пластических деформациях, может стать определяющим и при трении и износе этих поверхностей. Повышенный, в сравнении с другими средами, показатель микротвердости после обкатки в среде азота, итог наклепа поверхностных слоев и их интенсивной пластической деформации, что проявилось при всех условиях упрочняющей обкатки.

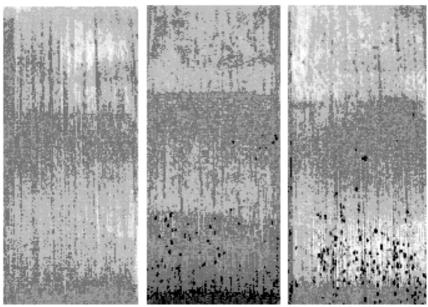


Рис.3. Внешний вид поверхностей после обкатки. Железо Армко Э10, Р=50H, S=0,12 мм/об. Среда: а -кислород, б -воздух, в - азот

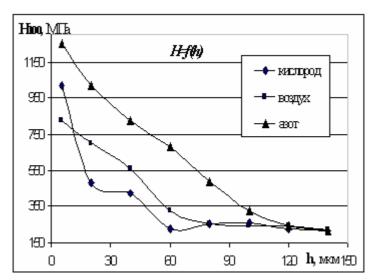


Рис.4. Зависимость микротвердости и глубины упрочнения при обкатке железа Армко Э10 в газовых средах, P=50 H, S=0,17 м/мин

Наряду с отмеченным заметим, что совместным воздействием на поверхностно-упрочняющий процесс энергии ультразвуковых колебаний индентора и газовых сред, то есть явным расширением возможностей материальных структур к спонтанному самоорганизационному процессу структурообразования, почему — бы и не к целенаправленной самоорганизации, вполне реальным представляется возможность существенно повысить степень упрочнения поверхностных слоев, их износостойкость и прочие характеристики, а также производительность процесса упрочнения, в сравнении с традиционными методами, сократив при этом потребное количество обрабатывающего инструмента, что создаст явные предпосылки управления качеством упрочняющей об-

катки и автоматизации процесса. Не стоит исключить возможность того, что отделочно-упрочняющие методы ППД могут быть использованы с целью получения качественных поверхностей и в таких условиях, когда нежелательные окислительные явления, то есть, например, в среде азота, аргона и даже в вакууме. Одновременно, явно определенные перспективы для формировании качественных поверхностей методами ППД в газовых, экологически чистых, средах раскрываются не только в производстве деталей техники, но и в иных отраслях производства, например изделий полученных методами порошковой металлургии или в производстве ювелирном изделий из цветных и драгоценных металлов с использованием энергии ультразвуковых колебаний.

На основании результатов исследований можно утверждать, что кислородная среда является наиболее эффективной для осуществления поверхностно-упрочняющей технологии, присутствие которого в качестве технологической среды ощутимо улучшает качественные показатели поверхностных слоев деталей техники и позволяет решать экологические вопросы.

Список литературы: 1. Латышев В.Н., Наумов А.Г. Об эффективности использования кислорода в процессе резания. Высокие технологии в машиностроении. — Харьков.:Сб.науч.трудов НТУ "ХПИ", вып.1(4).- 2001, электронная версия <a href="http://users.kpi.kharkov.ua/cutting/izdanija/">http://users.kpi.kharkov.ua/cutting/izdanija/</a>. 2. Касьян М.В., Парикян Ф.А. Эффективность действия газовых сред на процесс резания металлов. — Ереван.: Известия НАН РА, Серия тех.наук, том 3, 1995. 3. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972.- 408с. 4. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. —К.: Техника, 1970.- 396с 5. Баласанян Б.С., Христафорян С.Ш., Парикян Ф.А., Бабаян А.С. и др. Способ определения математической модели. — Ереван.: Патент АР, ном.1645 А2, 2005.- 11с. 6. Носовский И.Г. Влияние газовой среды на износ металлов.- К.:Техника, 1968.- 179с. 7. Ивченко Т.Г., Легащева Т.А. Технологическое обеспечение качества поверхностей деталей машин экологически чистыми методами. ДГТУ, электронная версия. <a href="https://magneticliquid.narod.ru/autority/093.htm">donetsk.ua/~masters/ 2001/mech/legasheva/publ/oup/</a>. 8. Применение магнитных жидкостей в качестве технологических сред при механической обработке металлов.Под ред.ПодгорковаВ.В.,электронная версия. <a href="https://magneticliquid.narod.ru/autority/093.htm">https://magneticliquid.narod.ru/autority/093.htm</a>.

## ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ПО-ВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Парикян Ф.А., Христафорян С.Ш., Григорян Г.Р. (ГИУА, АООТ "Гоар", г. Ереван, Республика Армения)

The results of comprehensive studies of the influence of gaseous media on the characteristics of the process of the materials cutting and the quality of the processed surface, make it possible to assert that the application of gaseous media allows the possibility actually to act on the process of cutting and achieving the very acceptable results, which assumes the possibility of reduction in the need for the ecologically inadmissible lubricants, since in many technological processes it is possible to replace them with gaseous media.

На современном этапе развития общества в сфере создания современной техники явно отмечается несогласованность между электрической и механической частьями техники, проявляющееся в том, что частоты или скорости с которой работают первые на несколько порядков превышают их же для механической части устройств. Такое положение, связанное с вопросами технологий, не только серьезно сдерживает развитие

техники, но может явиться барьером для дальнешего развития техники и производства. Одновременно, поиск решений в повышении производительности обработки труднообрабатываемых материалов вызвал необходимость создания соответствующего инструментального материала, что не всегда удается. Поэтому в машиностроение внедряются различные комбинированные методы обработки, позволяющие обеспечить более высокую производительность и качество обработки при нормированной размерной стойкости инструмента. Иным решением является обеспечение низкотемпературного режима формообразования деталей за счет использования смазочно-охлаждающих жидкостей, с различными присадками. Но и здесь есть определенные проблемы и первая из них проблема экологии окружающей среды и утилизации отработавщих смазочно-охлаждающих жидкостей и вопросы воздействия паров смазочно-охлаждающих жидкостей на здоровье человека.

Отметии, что наука и практика резания материалов имеет опыт использования метода резания в раздичных газовых средах, причем и в ЕрПИ, под руководством академика М.В. Касьяна, были проведены достаточно глубокие исследования, при этом акцентировались газы составляющие атмосферу планеты, то есть, практически, экологически чистые среды, но полученные тогда в науке о резании материалов многообещающие результаты не удосужились глубоких исследования и не получили заслуженного распространения ввиду экономических соображений, которые сегодня, с учетом развития техники получения сжиженных газов, мало значимы.

На процесс формирования поверхностного слоя резанием влияют многие факторы, которые оставляют в "памяти" детали условия, оказывающие наследственное влияние при дальнейшей обработке или во время эксплуатации. Влияние большинства входных параметров на формообразование поверхности резанием исследованы весьма подробно и глубоко, в том числе - на основе новейших достижений синергетики и неровновесной термодинамики, причем исследователи [3,5,8] отмечают значимость воздействия на структурирование поверхностных слоев окружающей газовой среды и, наряду с применением специальных СОТС, при обработке металлов продолжает существовать естественная окружающая среда - воздух , т.е. осуществляется резание "всухую", доля которого по некоторым данным достигает до 40% общего объёма металлообработки. Отметим, что воздух зачастую воспринимается как единая, естественная среда, в то же время не уделяется должного внимания такому компоненту воздуха, каким является активнейший кислород и нельзя не учитывать основную часть воздушной среды азот - нейтральный газ, который в некоторых условиях может диффундировать во внешные поверхностные слои, особенно при обработке титановых сплавов, создавая при этом явные приемущества. Иначе, наряду с воздухом, используемом как "отдельная" среда, всё чаще исследователи обращаются к его компонентам: кислороду, аргону и азоту, используя их при обработке металлов резанием в качестве технологической среды, кстати экологически чистой. В отдельных же случаях, с целью раскрытия механизма влияния различных газов, осуществляется также обработка в вакууме.

Влияние среды на контактные процессы исследованы подробно и фундаментально в теории и практике трения и износа, но отождествлять влияние газовых сред на трение при резании металлов не совсем корректно, особенно если учесть, что при резании на контактных поверхностях развиваются иные физико-механические явления, хотя и они в равной мере подчиняются законам самоорганизующихся диссипативных процессов, при этом, между поверхностью раздела деформируемой структуры и окружающей средой существует термодинамическое равновесие, т.е. равенство потоков энергии, следовательно, её следует рассматривать как открытую диссипативную систе-

му [1]. Известно, что при резания металлов образуются чрезвычайно активные, напряженно -деформированные ювенильные поверхности с высокой свободной поверхностной энергией, способствующие протеканию термодинамически маловероятных химических реакций с компонентами среды в обычных условиях [2]. Доказано, что на степень воздействия газовых сред наибольшее влияние окызывает скорость резания.

Согласно данных нашим экспериментов влияние газовой среды на процесс резания не исчерпывается только зоной малых и средних скоростей резания, но проявляется, при некоторых сочетаниях инструментального и обрабатываемого материалов, и при больших скоростях. Малые скорости резания отмечены тенденцией снижения влияния газовой среды, поскольку напряженное состояние поверхностей контакта и низкая температура резания протеканию химических реакций со средой не благоприятствуют. Если и отмечается какое-то влияние, то не в результате химической реакции окисления, т.к. в этих условиях газы не обладают достаточной энергией активации для реализации химической реакции, а путем адсорбции, приводящей к пассивированию на контактных поверхностях сил металлических связей. На рис.1 приведены фотографии передней поверхности режущего клина, показывающие, что в среде аргона основным видом взаимодействия контактных поверхностей является схватывание, причем на различных расстояниях от режущей кромки адгезионные явления проявляются в различной степени развития. В среде нейтрального аргона, адсорбцией которого ввиду её незначительности можно пренебречь, диффузионные процессы реализуются за счет взаимной диффузии между активизированными контактными поверхностями, приводящей к развитию процесса схватывания и соответственному увеличению длины контакта.

При резании в среде кислорода значительная часть дискретного металлического контакта устраняется, и явления схватывания, явно развитые в среде аргоне и частично в воздухе переходят в граничное трение между контактными поверхностями в первом приближении похожее на внешнее "сухое" трение. Поскольку важнейшее проявление действия кислорода связано с уменьшением схватывания трущихся поверхностей, то в итоге происходит значительное снижение адгезионной составляющей силы трения и снижение общего сопротивления резанию. Отмечено, что наибольшее влияние газовых сред наблюдается при резании пластичных сталей, а по мере снижения пластических свойств и контактной активности стали и с ростом содержания углерода, действие газовых сред снижается, что подтверждают данные таблицы 1. Действие газовых сред зависит и от механических свойств материалов, но и от их химической активности к самим газовым средам, что определяется способностью к окислению, которая растет с уменьшением содержания углерода в стали.

Известно, что при стружкообразовании пластическая деформация материала распространяется впереди резца охватывая как срезаемый слой, так и, расположенные

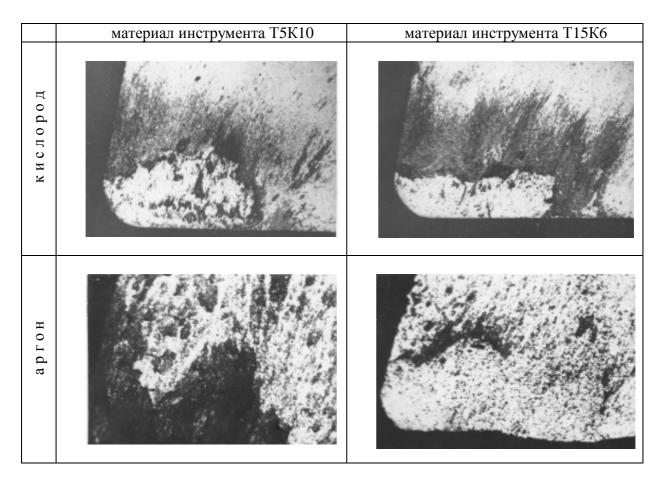


Рис.1. Фотографии передней поверхности резца при резании стали 20 в различных газовых средах. V=49 м/мин, S=0,1 мм/об , t= 0,8 мм. х 64

Таблица 1. Длина контакта стружки с передней поверхностью резца

Газовая		Кислород				Воздух	K	Аргон			
среда											
Углерод		0,2	0,45	0,8	0,2	0,45	0,8	0,2	0,45	0,8	
%											
, >	30	0,65	0,47	0,38	0,92	0,74	0,62	1,5	1,3	1,1	
V /M	49	0,65	0,46	0,4	1,05	0,8	0,55	1,6	1,1	-	
	97	0,58	0,65	0,4	0,7	0,75	0,48	0,98	0,9	-	

впереди резца за линией среза, слои. В литературе можно встретить часто косвенные утверждения, что наростообразование в среде кислорода практически отсутствует, несмотря на то, что высокие контактные давления вблизи режущей кромки создают такое напряженное состояние, при котором, даже в кислороде, нарост полностью не исчезает. Сказанное хорошо иллюстрируют микрофотографии корней стружек на рис. 2, где отмечается явная разница между формой и размерами нароста в зависимости от того, образуются ли они в окислительных или в нейтральных средах, естественно при прочих равных условиях резания. В среде кислорода нарост со значительно малым радиусом вершины имеет форму клина - такую самовозникающую форму, которая способствует процесса образования самоорганизующейся структуры стружки, продукта резания, с

наименьшими потоками внешней энергии [1]. При этом нарост устойчивый, прочный, без сколов и вырывов (рис.3), а его микротвердость существенно выше микротвердости нароста, образующегося в среде аргона (в среде воздуха нарост имеет промежуточные характеристики и потому данные не приводятся).

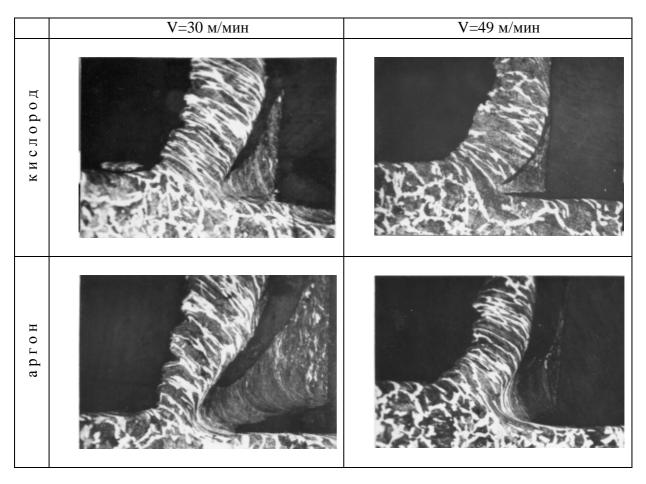


Рис.2. Микрофотографии корней стружек, полученных при резании стали 45 инструментом из T5К10 в различных газовых средах. х 83

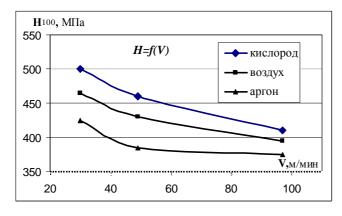


Рис.3. Средняя микротвердость нароста в различных газовых средах

Согласно Костецкому Б.И повышение микротвердости частично можно объяснить диффузионным насыщением кислорода сильно деформированными слоями нароста, а согласно дислокационному механизму пластической деформации и упрочнения, можно было ожидать повышение микротвердости нароста в аргоне, вследствие более высокой степени пластической деформации, но отмеченное явление в кислороде свидетелствует, что на поверхностях нароста существуют явно благоприятные усло-

вия для протекания химических реакций окисления и образования окислов, твердость

которых превосходит микротвердость исходного металла [7]. Воздействие нароста на стружкообразование проявляется в повороте по часовой стрелке зоны текстурирования и её сужении, что существенно уменьшает пластически деформированную область обработанной поверхности.

С другой стороны, с увеличением радиуса при вершине нароста, растет длина криволинейной части "режущей кромки", что приводит к ухудшению условий трения, и частицы металла проходят больший путь в напряженной области деформирования претерпевая более явные пластические формоизмененния, растет объем металла, подвергшегося деформации сжатия, что приводит к возрастанию степени и глубины распространения в поверхностных слоях пластической деформации.

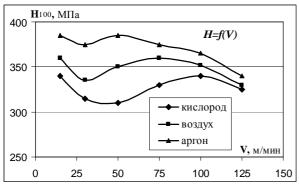


Рис.4. Микротвердость поверхности в газовых средах при резании стали 45 инструметом из T5K10

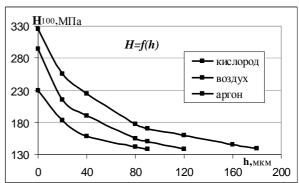


Рис.5. Влияние газовых сред на глубину упрочненного слоя при резании стали 45 инструметом из T5K10

Таким образом нарост, развитый в той или иной мере, в зависимости от газовой среды, оказывает ощутимое влияние на структурирование поверхностного слоя. Причем более эффективной средой является кислород, улучшающий основные показатели

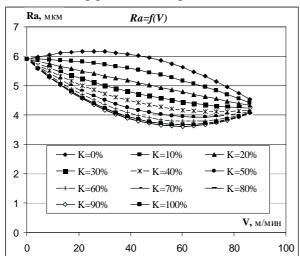


Рис.5. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от скорости резания в различных газовых средах (K= 0%—чистый азот, K=100% -чистый кислород), железо Армко Э10, нструмент Т15К10.

качества поверхности: шероховатость, микротвердость, степень и глубина упрочненного слоя.

Шероховатость поверхности является одним из основных её геометрических параметров, характеризующая качество обработанной поверхности, более того, этот параметр приобретает совершенно новую интерпретацию при создании современных нетрадиционных технологий обработки, особенно в связи с развитием нанотехнологий, когда шероховатость поверхности становится свойством структуры самой поверхности.

Обработки проводились в вакуумной камере, позволяющей исследовать влияние чистых газовых сред на процесс резания и использованием метода принудительной подачи газа в зону резания, что с достаточной точностью позволило обна-

ружить влияние среды на исследуемые параметры процесса. Исследования проводились с применением новой методики (патент РА) определения математической модели объекта, позволяющей выявить экстремумы зависимостей и реально повысить адекватность модели.

Результаты комплексных исследований влияния газовых сред на характеристики процесса резания материалов и качество обработанной поверхности, позволяют утверждать, что применение при резании газовых сред допускает возможность реально и целенаправленно воздействовать на процесс резания и достижения весьма приемлемых результатов, что, в свою очередь, явно предполагает возможность снижения потребности в экологически недопустимых смазочно охлаждающих жидкостях, так как во многих технологических процессах их можно заменить газовыми средами.

Список литературы: 1. Христафорян С.Ш. О процессе резания материалов как самоорганизующейся структуре по переработке вещества. – Ереван.: Изв. НАН РА, Серия тех.наук, том 2, 1999. - 145-152 с. 2. Якубов Ф., Ким В.А. Энергетика процесса самоорганизации при трении и изнашивании. Высокие технологии в машиностроени. -Харьков.:Сб.науч.трудов. НТУ,,ХПИ"-вып.1(4).-2001. Электронная http://users.kpi.kharkov.ua/cutting/izdanija. 3. Латышев В.Н., Наумов А.Г. Об эффективности использования кислорода в процессе резания. Высокие технологии в машиностроении. – Харьков.:Сб.науч.трудов НТУ "ХПИ", вып.1(4).- 2001. Электронная версия http://users.kpi.kharkov.ua/cutting/izdanija/. 4. Кириллов А.К., Верещака А.С., Дюбнер Л. Разработка системы экологически безопасной формообразующей обработки резанием. Высокие технологии в машиностроении.-Харьков.:Сб.науч.трудов НТУ "ХПИ" вып.1(4).- 2001. Электронная версия. http://users.kpi.kharkov.ua/cutting/izdanija/ 5. Касьян М.В., Парикян Ф.А. Эффективность действия газовых сред на процесс резания металлов. – Ереван.: Известия НАН РА, Серия тех.наук, том 3, 1995. 6. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972.-408с. 7. Костецкий Б.И.Трение, смазка и износ в машинах. -К.: Техника, 1970.- 396с. **8.** Подгорков В.В. «Резание металлов» Ивановский государственный энергетический университет. Электронный конспект лекций, www.ispu.ru/library/lessons/Podgorkov/intro.html. 9. Баласанян Б.С., Христафорян С.Ш., Парикян Ф.А. и др. Способ определения математической модели. -Ереван.: Патент АР, ном.1645 А2, 2005.- 11с.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВОЇ СЕГРЕГАЦІЇ АТОМІВ НА ТРИ-БОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕВТЕКТИЧНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Fe-Mn-C-B-Si ЛЕГОВАНИХ Cr

**Пашечко М.І.,** Лєнік К.С. (Люблінський політехнічний інститут, Національний університет "Львівська політехніка", м.Люблін, м.Львів, Україна, Польща)

They have researching the control action of atomic surface segregation an wear resistant of eutectic alloy Fe-Mn-C-B-Si system. They are received in plasma surfacing by welding on base of powder alloy. The result been definition surface segregation C, B and Si.

#### 1. ВСТУП

Одним з перспективних шляхів для підвищення надійності і довговічності деталей машин і механізмів  $\epsilon$  створення захисних евтектичних покриттів (ЕП). Покриття можна наносити методами плазмового наплавлення та напилення, електродугового на-

плавлення з використанням порошкових дротів та іншими сучасними та перспективними методами поверхневої обробки матеріалів [1-4]. Це дозволяє по суті створити новий конструкційний матеріал із заданими властивостями або комплексом фізикомеханічних властивостей.

Процес тертя та зношування матеріалів супроводжується складними фізико-хімічно-механічними процесами на поверхні тертя.

Існування механічної, молекулярної, молекулярно-механічної та енергетичної теорій тертя і багатьох фізичних, хімічних та теоретичних описів процесів тертя [5-11] зумовлено складною природою та різноманітністю фізико-хімічно-механічних явищ, які його супроводжують. Навіть незначна зміна режимів тертя може призвести до зміни домінуючих процесів.

Тому доцільним  $\varepsilon$  виявлення та пізнання відповідно до превалюючої складової природи тертя, зношування та мащення з метою побудови узагальнюючих моделей перебігу процесу, а також моделей поверхні тертя.

Одним із методів, за допомогою якого можна отримати відповідне пізнання і дослідження фізико-хімічного стану поверхні тертя  $\epsilon$  використання Оже-електронної спектроскопії.

На можливе явище "графітизації" при терті вказував І.В.Крагельський [12]. Однак із-за відсутності можливості аналізу дуже тонких шарів вуглецю існуючими на цей час традиційними методами рентгенівського аналізу, дане явище не було вивчене.

Особливості перерозподілу атомів вуглецю при фрикційному зміцненні, яке  $\epsilon$  практично різновидністю тертя, виявив Ю.І.Бабей [13].

На процеси поверхневої сегрегації атомів C, Si та Al при терті сплавів Fe-C, Fe-Si, Fe-Al, Cu-Al, Cu-Sn вказує Д.Баклі [14]. Однак він відмічає, що про однозначний вплив сегрегації вуглецю на антифрикційні властивості сталі вказати важко. З однієї сторони, наявність вуглецю на поверхні тертя знижує адгезійну взаємодію контактуючих твердих тіл, а з іншої — часто зменшує ефективність змащування. При цьому слід відмітити зміну механічних властивостей поверхневого шару згідно відомих ефектів А.Ф.Іоффе, П.А.Ребіндера, Р.Росско та І.Р.Крамера [14].

Л.І.Куксьонова та Л.М.Рибакова [11] методом малокутової рентгенографії дослідили особливості будови поверхневого шару при вибірковому переносі міді. Показано, що при наявності на поверхні поверхнево активних або інактивних речовин відбувається відповідно пластифікація, за рахунок зменшення потенціального бар'єру, який долають дислокації при виході на поверхню твердого тіла, або окрихчення матеріалів [10].

#### 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Структурно-хімічні дослідження вторинних структур, утворених при зношуванні евтектичних покриттів, проведені за допомогою методу Оже-електронної спектроскопії JAMP-10S (JEOL). Зразки вирізали із дисків діаметром 50 мм (зовнішній) у вигляді сегментів, на які наносили з протилежної сторони від поверхні тертя концентратори. Сегменти зламували у вакуумі. Аналіз проводився по поверхні злому з глибини до поверхні тертя.

Прискорююча напруга при аналізі становила 10 кВ, струм, який поглинається зразком – 1 мкА, модулююча напруга – 5 В, залишковий вакуум –  $5 \times 10^{-7}$  Па. Кількісний аналіз проводився з використанням факторів елементної чутливості для чистих металів. Перед записом спектрів проводилось іонне бомбардування аналізованої області пучком іонів аргону (прискорююча напруга – 3 кВ, струм іонів ~  $10^{-5}$  А). Для запису спектрів

вибирались найбільш типові по хімічному складу області, типовість яких визначалась статистичним набором спектрів, а також з допомогою детектора пружно відбиваючих електронів, формуючих, зокрема, зображення у режимі СОМРО (composition) у залежності від складу аналізованої поверхні.

Розподілу елементів визначали за допомогою Superprobe-733.

Дослідження зносостійкості евтектичних покриттів на сталі 45 проведено по схемі тертя диск-диск ( $\emptyset$ 50мм) з коефіцієнтом взаємного перекриття 0,2. Навантаження становило 4, 8 та 15 МПа, швидкість тертя ковзання — 1 м/с, час дослідження — 6 год. Мастильне середовище — АМГ10. Реалізовано граничне мащення. У якості контртіла використовувалась загартована сталь 45 після низького відпуску, 52...54 HRC. Зносостійкість зразків визначали ваговим методом, та з допомогою профілографа Suftronic  $3^+$ .

Евтектичні зносостійкі покриття із розроблених порошкових сплавів отримували методом плазмового наплавлення на модернізованій установці [11]. Відпрацьовано технології плазмового напилення покриттів у захисній атмосфері аргону, імпульсноплазмового напилення, електродугового наплавлення з використанням порошкових дротів, наморожування, електроіскрового легування та інші [1-4].

#### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті проведених досліджень зносостійкості розроблених матеріалів показано, що пара тертя евтектичне покриття – сталь 45 характеризується найвищою зносостійкістю (рис.1). Слід відмітити, що у порівнянні із покриттями одержаними із порошкових сплавів ПГ-СРЗ та ПГ-10Н-01 (порошок – аналог 10009 "Боротак", фірми Кастолін, Швейцарія) евтектичні сплави характеризуються у 2-10 рази вищою зносостійкістю (рис.1) [1-3].

Структура покриття, одержаного із порошкового сплаву системи Fe-Mn-C-B-Si легованого Cr складається із складнолегованого фериту (матрична фаза), марганцовистого карбіду заліза  $Fe_{0.4}Mn_{3.6}C$  (армуюча фаза) і включень борида заліза  $Fe_2B$  (дисперсійна фаза). Зміна співвідношення Fe, Mn і C у складі порошкового сплаву суттєво впливає на кількісне співвідношення матричної і армуючої фаз і цим самим сприяє формуванню покриттів із до-, за- і евтектичним складами фаз. Збільшення у складі сплаву Fe або Mn у порівнянні із їхнім евтектичним базовим складом призводить до збагачення рідкої фази відповідними атомами. Це сприяє формуванню у структурі покриття більшої кількості складнолегованого фериту або марганцовистого карбіду заліза  $Fe_{0.4}Mn_{3.6}C$  [1-3].

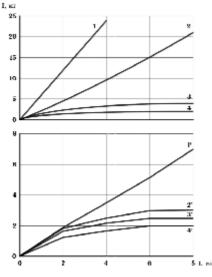


Рис. 1. Кінетика зношування евтектичних покриттів (1-4), одержаних методом плазмового наплавлення із порошкових сплавів ПГ-СРЗ (1), ПГ-10H-01 (2), ПГ-12H-01 (3), ФМІ-43 (4) і контртіла із загартованої сталі 45 (1'-4') при граничному мащенні

Природний композит дозволяє одержувати оптимальне співвідношення зносостійкої твердої і демпфуючої більш пластичної матричної фаз.

Умови дії на композиційний сплав середовища (масляне, абразивне, масляноабразивне та інші) і руйнування ним поверхні визначають його необхідний хімічний склад, структуру, фазовий стан та властивості.

Зменшення мікротвердості евтектичної основи до 6 ГПа зміщує область максимальної зносостійкості у сторону більш високого (до 60-95%) вмісту надлишкових твердої армуючої складової та включень. Одержані результати, а також аналіз поверхні тертя свідчить про наступне. Енергія тертя акумулюється в основному у підповерхневому шарі, створює поля напружень, сприяє значному ростові кількості дефектів кристалічної решітки, зокрема дислокацій. Ці явища відбуваються у більш пластичній феритній складовій евтектики і призводять до мікронаклепу і втомних процесів. Пластинки  $Fe_{0.4}Mn_{3.6}C$  та дрібнодисперсні частинки більш твердих фаз  $Fe_2B$  та  $Cr_7C_3$  слугують перешкодами для переміщення дислокацій і не дозволяють їм накопичуватися і трансформуватися у об'ємні дефекти (пори, тріщини). Завдяки високому ступеню диференційованості евтектичних складових вказані процеси локалізуються у міжпластинчастих об'ємах евтектики шириною 1-5 мкм.

Слід відмітити, що демпфуючі властивості матриці при абразивному зношуванні менш важливі, ніж при терті ковзання.

Таким чином виявлено вплив структури евтектичних покриттів на їх зносостійкість і встановлено, що найбільшою зносостійкістю в умовах тертя ковзання характеризуються покриття із доевтектичною структурою, а в умовах ударно-абразивного зношування — із вмістом твердих фазових складових 60-95%. При цьому менш тверді покриття можуть мати більш високу зносостійкість. При абразивному зношуванні зносостійкість покриттів збільшується пропорційно твердості [1-4].

При цьому, чим більш пластичною і м'якою в досліджуваному діапазоні навантажень  $\epsilon$  евтектика, тим більшу долю енергії тертя вона сприйма $\epsilon$  і ма $\epsilon$  більшу схильність релаксувати напруження. Відповідно, менша доля енергії при терті буде витрачатись на втомні процеси в твердих фазових складових.

Жодних змін в розподілі атомів C, Si, Ni, Mn, B, Fe, Cr на поверхні тертя в результаті мікро рентгенівського аналізу (Superproby–733, Camebax) не виявлено (рис. 2,3).

Проведені з використанням спектроскопії Auger'а дослідження дозволили виявити сегрегацію на поверхню тертя атомів, яка відбувається при зношуванні розроблених евтектичних покриттів на основі системи Fe-Mn-C-B легованих Si, Cr. Виявлено сильне підвищення C, B та Si на поверхні тертя (табл. 1, рис. 4). Зокрема у порівнянні із порошковим сплавом концентрація C, B та Si збільшується відповідно від 0,9 до 1,2; від 2,7 до 8,3; від 2,6 до 19,9 мас. %.

Таблиця 1. Вміст елементів у порошковому сплаві і на поверхні тертя (мас. %)

Система	e	n			i	i	r			
	Порошковий сплав									
Fe – Mn –C –										
B – Si – Cr (PMI-43)	9,55	,4	,9	,7	,6		,8		,03	,02
	Поверхня тертя									
Fe – Mn –C –										
B – Si – Cr (PMI-43)	0,1	,9	,2	,3	5,9		,5	,1		

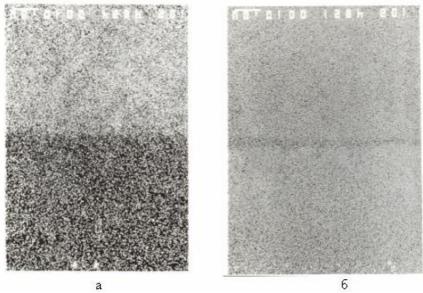
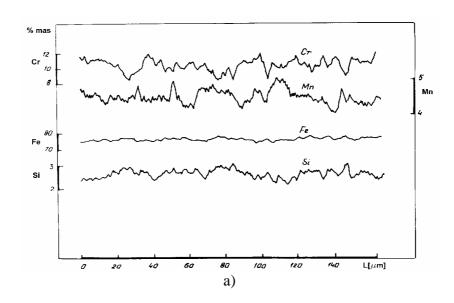


Рис. 2. Розподіл атомів C (а) та Fe (б) по глибині евтектичного сплаву системи Fe — Mn — C — B легованого Cr (PMI-43) на сталі 45 одержаного методом плазмового наплавлення.  $\times$  1000



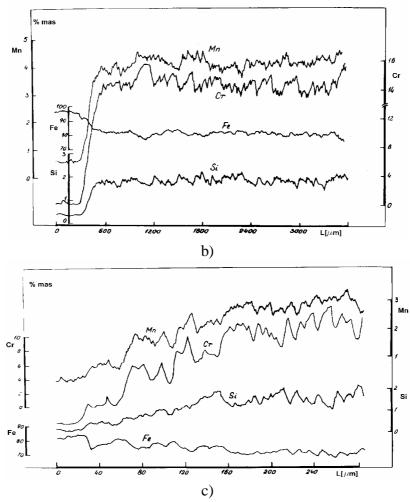


Рис. 3. Розподіл елементів по глибині евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-B легованого Cr (PMI-43) (a) і покриття на сталі 45 одержаного методом плазмового наплавлення  $(\mathfrak{G},\mathfrak{C})$ 

Форма піків спектра вуглецю дозволяє зробити висновок, що він знаходиться у вільному (аморфному) стані.

Головною відмінною ознакою процесу тертя  $\varepsilon$  відсутність дифузії кисню із атмосфери повітря у глибину покриття. Максимальна локальна кількість кисню 1,1 ат. % свідчить про відсутність процесів фазоутворення великої кількості оксидів на поверхні тертя евтектичного покриття. Утворення оксидів можливе на фізичних плямах контакту.

Тобто однозначно можна стверджувати про неможливість утворення суцільної плівки оксидів на поверхні тертя та окиснення сплаву.

#### 4. ДИСКУСІЯ

Особливо важким  $\epsilon$  експериментальне дослідження особливостей структурних змін в тонких поверхневих шарах із мікрокристалічною, або навіть нанокристалічною і аморфною структурою.

При хаотичному розміщенні атомів існує впорядкування близького порядку, в якому домінують відповідні просторові конфігурації, як наслідок появи відповідних хімічних зв'язків.

На фізичних плямах контакту поверхні тертя можливе утворення оксидних фаз

системи  $B_2O_3 - SiO_2$ , оксидів заліза та нестехіометричних на їхній основі. Температура плавлення системи  $B_2O_3 - SiO_2$  збільшується від 450 (температура плавлення  $B_2O_3$ ) до 1650 °C (температура плавлення  $SiO_2$ ) (рис. 5).

Таким чином можна стверджувати, що в процесі тертя в наслідок сегрегації атомів B та Sі на поверхні композиту можливе утворення стехіометричних оксидів  $B_2O_3$ ,  $SiO_2$  відповідно системи  $B_2O_3 - SiO_2$ , і нестехіометричних на їхній основі, які при відповідних режимах тертя розм'якшуються або переходять в рідкий стан. Це сприяє зменшенню коефіцієнта тертя до величини, яка відповідає коефіцієнту тертя у рідині.

Наявність вуглецю у формі графіту забезпечує відповідно мащення поверхні тертя та зменшення коефіцієнта тертя [13].

Беручи до уваги те, що температура плавлення  $B_2O_3$  становить 450 °C,  $B_2O_3$ —  $SiO_2-450$ —1650 °C можна зробити висновок про те, що температура в зоні тертя перевищувала 450 °C. Розплавлена плівка  $B_2O_3$ , або  $B_2O_3$ — $SiO_2$ , що утворилася при терті, слугує мастилом. Вона запобігає підвищенню температури на поверхні тертя вище температури плавлення  $B_2O_3$  або композиції системи  $B_2O_3$ — $SiO_2$ . Плівку, що утворилася називають сервовитною (від латинського слова Servovit — забезпечити життя).

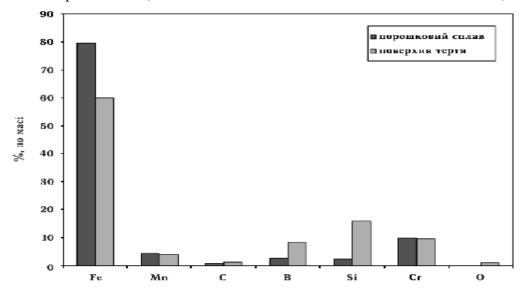


Рис. 4. Розподіл елементів на поверхні тертя та у порошковому сплаві системи Fe-Mn-C-B легованого Cr

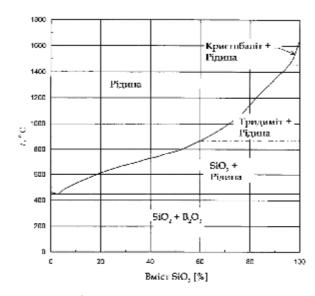


Рис. 5. Діаграма стану  $B_2O_3 - SiO_2$ 

#### 5. ВИСНОВОК

Таким чином, одержані результати дозволили виявити новий ефект у трибології композиційних дисперсійно зміцнених евтектичних сплавів на основі системи Fe-Mn-C-B. При зношуванні відбуваються інтенсивні дифузійні процеси, які призводять до сегрегації і відповідно зростання на поверхні тертя вмісту C, B та Si. B та Si найбільш ймовірно утворюють на фізичних плямах контакту оксиди. Вуглець перебуває у вільному стані. Це призводить до зменшення коефіцієнта тертя, а відповідно до підвищення зносостійкості евтектичних сплавів.

Доцільним  $\epsilon$  проведення подальших досліджень з метою встановлення механізму зношування поверхневих шарів із врахуванням сегрегації атомів C, B та Si в процесі тертя і самоорганізації поверхні.

Список літератури: 1. Пашечко М.І, Чернець М.В., Опеляк М., Комста Г. Поверхневе руйнування та зміцнення матеріалів. – Львів: Євросвіт, 2005. – 384 с. 2. Чернець М., Пашечко М., Невчас А. Методи прогнозування та підвищення зносостійкості триботехнічних систем ковзання. Т.2 Поверхневе зміцнення конструкційних матеріалів трибосистем ковзання. В 3-х томах. — Дрогобич: Коло, 2001. — 512 с. 3. Пашечко М.И., Голубец В.М., Чернец М.В. Формирование и фрикционная стойкость эвтектических покрытий. К.: Наук. думка, 1993.-344 с. 4. Голубец В.М., Пашечко М.И. Износостойкие покрытия из эвтектики на основе системы Fe-Mn-C-B. - К.: Наук. думка, 1989.-160 с. 5. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа. -К.: Знание, 1981.-30 с. 6. Чичинадзе А.В., Браун Е.Д., Гинсбург А.Г. и др. Расчет, испытание и подбор фрикционных пар. -М.: Наука, 1979.-267 с. 7. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчета на трение и износ. -М.: Машиностроение, 1977.-256 с. 8. Трение и износ фрикционных материалов /Под. ред. А.В. Чичинадзе. - М.: Наука, 1977.-135 с. 9. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. - К.: Техника, 1970.-396 с. 10. Гаркунов Д.Н. Триботехника. -М.: Машиностроение ,1985.-424 с. 11. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металлов. -М.: Машиностроение ,1982.-212 с. 12. Крагельский И.В., Трение и износ. -М.: Машиностроение ,1968.-480 с. 13. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна.-К.: Наук. думка, 1988.-240 с. 14. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрик-

# СОЗДАНИЕ КОПМЛЕКСА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Петривский Я.Б. (РДГУ, г.Ривне, Украина)

In a paper are offered the technological plans of making of a complex of a lixiviation functioning because of exterior filtration of a process engineering of a lixiviation a useful component from technogenic deposit of uranium with the purpose of liquidation of radioactive contamination of territories of the injured in an outcome of large-scale ecological catastrophe are justified.

Стремительный прогресс и развитие науки, техники, производства, проникновение сложных машин, механизмов и технологий во все сферы человеческой деятельности с ее активно - преобразующим, а не пассивно- приспособленческим отношением к биосфере, являются характерными особенностями современной цивилизации. К сожалению, помимо всесторонних благ, удобств и комфорта результатами технократии, не смотря на строжайшие меры безопасности, также являются и крупномасштабные негативные последствия, возникающие вследствии аварий и катастроф. Очевидна актуальность разработки системы методов по предупреждению, локализации и ликвидации пагубного влияния на биосферу результатов таких чрезвычайных проишествий.

По прошествии более 20- ти лет после аварии на Чернобыльской АЭС все еще очевидной остается планетарная актуальность проблемы превращения ЧЗО в экологически безопасную систему. Для ее решения в 1994г. был проведен международный конкурс, в котором участвовало 230 проектов из 18 стран. Рассматривались варианты, которые можно соотнести к трем группам[1-3].

**Первая группа проектов** была направлена на строительство «Укрытия -2» (проект «Консоль» - создание герметичного «Укрытия-2» над существующим объектом, обеспечивающего длительное хранение топлива, вплоть до окончательной разборки).

Сторонники второго направления предлагают разобрать «Укрытие -1» и вывезти высокоактивные вещества с последующим их захоронением (проект «Зеленая лужай-ка», полная разборка «Укрытия», проект «Промежуточное омоноличивание» - последовательная заливка бетоном помещений объекта, а в будущем его разборка).

Третья группа проектов предлагает захоронение саркофага в земной коре на различных глубинах. Правительственная Межведомственная комиссия по комплексному решению проблем Чернобыльской АЭС под председательством премьер-министра Украины приняла решение, которое нашло отражение в Протоколе № 2 от 12 марта 2001 года: пункт 2.4 — «С целью ускорения работ по преобразованию объекта «Укрытие» и с учетом настойчивых рекомендаций ЕБРР и независимых экспертов признать, как базовый, проект конфаймента типа «АРКА» с включением в него перспективных технических решений других проектов». По предварительным проработкам «АРКА» должна иметь максимальную ширину ~ 260м, максимальную высоту ~ 100м и глубину ~ 100м. Она монтируется и затем надвигается на «Укрытие».

Одной из самых больших проблем «Укрытия» является судьба значительной части «утерянного» ядерного топлива, которое находилось во взорвавшемся реакторе. «Утерянное» ядерное топливо вызывает наибольшие опа-

сения, поскольку несет угрозу не только радиационного загрязнения, но что более опасное - возникновения самоподдерживающихся цепных реакций. По самым осторожным оценкам специалистов на данный момент, общее количество топлива разрушенного реактора, оставшаяся в объекте «Укрытие», составляет более 125т по урану, другая оценка ~ 150 т[4-6]. Кроме того, в Чернобыльской зоной отчуждения (ЧЗО), по оценкам специалистов, сосредоточено порядка 70-80% объема высокоактивных и длительносуществующих РАО, которые подлежат изоляции[7].

Достаточно перспективным в решении проблемы радиационной безопасности аварийного энергоблока и ЧЗО в общем, является предложение использования результатов научного открытия «Закономерность снижения радиоактивности техногенных формаций при бактериальном выщелачивании урана» [8,9]. Предлагается использовать сформулированную в научном открытии неизвестную раньше закономерность снижения радиоактивности техногенных формаций, заключающуюся в том, что при переходе урана из твердых урансодержащих образований техногенных формаций в выщелачивающие растворы, не растворяющие эти образования, происходит обогащение выщелачивающих растворов ураном, подлежащим утилизации.

Аварийный четвертый энергоблок ЧАЭС, по мнению авторов, следует рассматривать как техногенное месторождение полезных ископаемых, минеральное вещество (полезный компонент) в котором представлено ядерным топливом — двуокисью обогащенного урана. Главными элементами инженерной системы комплекса бактериального выщелачивания урана при комбинированном вскрытии техногенного месторождения, расположенного в саркофаге являются: горные породы, находящиеся в саркофаге (руды); горные породы, подстилающие саркофаг; защитный экран; система горных выработок, обеспечивающих сбор продукционных растворов.

**Процесс выщелачивания урана** по инфильтрационной схеме изображен на рис.1.

С использованием скважинных гидромониторов, установленных в крыше саркофага выщелачивающий раствор 1 в виде капель поступает на поверхность радиоактивной пыли 2, а затем в трещины гидроразрыва 3, созданные в лавообразных топливосодержащих массах 4. Трещины гидроразрыва 3 создают с использованием обсадных колон 5 и рабочего агента (воды, воздуха, газов) под высоким давлением. По поверхности раздела 6 топливосодержащих масс 4 и разрушенным основанием 7 аварийного блока, выщелачивающий раствор поступает в систему трещин 8 основания. Затем выщелачивающий раствор по поверхности раздела 9, разделяющего основание 7 аварийного блока и кровли подстилающих пород 10 поступает в систему трещин 11, образованных методом гидроразрыва с использованием рабочего агента и обсадных колон 12. Обсадные колонны 5 и 12 не извлекают, что предупреждает смыкание трещин 3 и 11. Из системы трещин 11 выщелачивающий раствор поступает на поверхность раздела 13 подстилающих пород 10 и искусственного днища 14. На поверхности искусственного днища выщелачивающий раствор, насыщенный ионами урана с использованием гидротранспортной системы подается на сорбционные колонны.

На рис. 2 изображена технологическая схема выщелачивания урана.

Для создания эффективной пористости подстилающих пород 10, ограниченных с боков бетонными стенками технологической камеры 15, штрека, отрезной щели 16, щелевой выработки и защитным экраном 14, производят гидроразрыв последних. Для этого из щелей выработки по направлению к штреку бурят систему горизонтальных скважин 17 с установленными расчетом расстояниями между рядами скважин и между скважинами в рядах. Скважины оборудуют перфорированными трубами в тор-

цевых отрезках которых в пределах бетонной крепи при помощи пакера создают уплотнения, способные выдержать большое давление. Для образования разрывов или глубоких трещин в техногенном месторождении 4 и подстилающих породах 10 в горизонтальные скважины закачивают под большим давлением газ, воду или специальную вязкую жидкость, осуществляя тем самым гидроразрыв и образуя при этом систему радиальных трещин 3,11, пересекающихся между собой.

Таким образом, полезное ископаемое 4, находящееся в саркофаге 18 через систему трещин 7, расположенных в разрушенном основании четвертого энергоблока, а также через систему искусственно созданных трещин 11, гидравлически связано с поверхностью защитного экрана 14 с возможностью течения в подстилающих породах 10 продукционных растворов под воздействием градиентов давления.

На крыше саркофага 18 монтируют магистральный трубопровод 19 для подачи выщелачивающего раствора. Магистральный трубопровод 19 соединяют с участковыми трубопроводами 20, снабженные задвижками.

На магистральном трубопроводе между смежными участковыми трубопроводами устанавливают задвижки 21. В отверстиях, пройденных в крыше саркофага, размещают отрезки труб 22, верхние торцы которых соединяют с участковыми трубопроводами 20. Наружную поверхность каждого отрезка трубы снабжают пакерирующими элементами для предотвращения попадания атмосферных осадков на полезное ископаемое 4.

На нижних торцевых частях отрезков труб 22 устанавливают скважинные гидромониторы 23, которые орошают поверхность полезного ископаемого выщелачивающим раствором.

Вскрытие и подготовку месторождения к выщелачиванию совмещают со строительством инженерной системы подачи выщелачивающего раствора через саркофаг в руду, находящуюся в саркофаге, которая иллюстрирована на рис. 3.

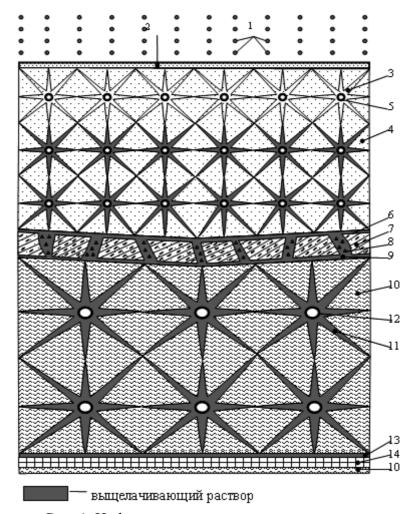


Рис. 1. Инфильтрационная схема выщелачивания

В окрестности саркофага на промышленной площадке 24 устанавливают основной 25 и резервный 26 насосы, которые через задвижки 27 и 28 соединяют с емкостями 29 и 30 с выщелачивающим раствором. На крыше саркофага 18 монтируют магистральный трубопровод 19 для подачи выщелачивающего раствора. Магистральный трубопровод 19 соединяют с трубопроводами 31 и 32, которые через задвижки 33 и 34 подсоединяют к нагнетательным патрубкам насосов 25 и 26, соответственно. На крыше саркофага к магистральному трубопроводу 19 подсоединяют участковые трубопроводы 20, снабженные задвижками 35. На магистральном трубопроводе между смежными участковыми трубопроводами устанавливают задвижки 21. В отверстиях, пройденных в крыше саркофага, размещают отрезки труб 22, верхние торцы которых соединяют с участковыми трубопроводами 20.

Наружную поверхность каждого отрезка трубы 22 снабжают пакерирующим элементом для предотвращения попадания атмосферных осадков на руду 4. На нижних торцевых частях отрезков труб 22 устанавливают скважинные гидромониторы 23, которые орошают поверхность руды выщелачивающим раствором.

На рис.4 показана технологическая схема выщелачивания урана.

Выщелачивание полезного компонента, представленного диоксидом урана, осуществляют следующим образом. Из емкости, например 29, при открытых задвижках 27,33 и закрытой 34 при включенном насосе 25 выщелачивающий раствор по трубо-

проводу 31, а затем и по магистральному трубопроводу 19, отрезкам труб 22 подают на скважинные гидромониторы 23. Скважинные гидромониторы 23 работают в автоматическом режиме орошения - первоначально радиоактивной пыли 2, а затем и руды 4. В данном случае, как указывалось, целесообразно применять инфильтрационную схему бактериального выщелачивания, которая предусматривает создание вертикального потока выщелачиваемого раствора.

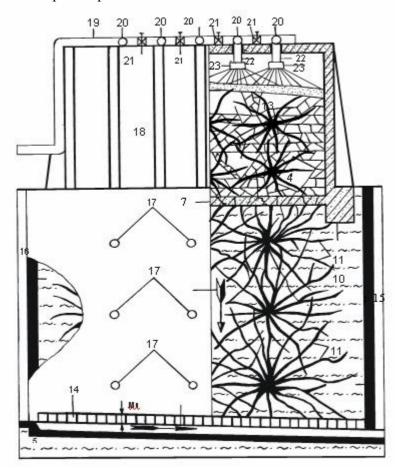


Рис. 2. Технологическая схема бактериального выщелачивания урана

Возможны контурная и сплошная схемы выщелачивания.

Сплошная схема выщелачивания предусматривает орошение всего объема руды, заключенной в саркофаге. Насосы 25 и 26 при открытых задвижках 33 и 34 работают в параллельном режиме, при этом насос 26 при открытой задвижке 28 подает выщелачивающий раствор из емкости 30.

Задвижки 21 на магистральном трубопроводе и задвижки 35 на участковых трубопроводах 20 открывают. Наблюдение за процессом орошения руды осуществляют с использованием скважинных телевизионных систем, установленных в саркофаге.

Извлечение полезного компонента из продукционных растворов производят на промышленной площадке, расположенной в окрестности аварийного энергоблока.

Для этой цели используется комплекс сооружений, называемый сорбционной установкой. Комплекс состоит из сорбционных и регенерационных колонн, бассейнов для богатых и бедных растворов, емкостей для доводки химического концентрата, насосов, системы трубопроводов и вспомогательных сооружений для приготовления выщелачивающих растворов.

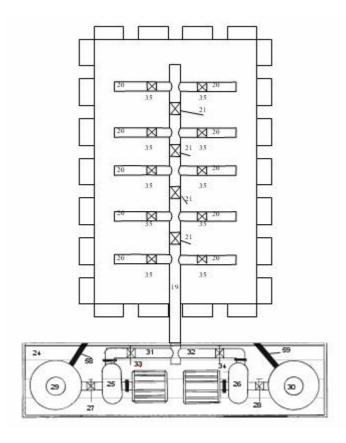


Рис.3. Технологическая схема подачи выщелачивающего раствора в руду, находящуюся в саркофаге. 24 — промышленная площадка; 25,26 — основной и резервный насосы; 27,28 — задвижки; 29,30 — емкости с выщелачивающим раствором; 19 — магистральный трубопровод; 31,32 — трубопроводы; 33,34 — задвижки; 20 — участковые трубопроводы; 35 — задвижки

Выщелачивающий раствор готовится в специальном бассейне путем добавления в обычную техническую воду кислоты или щелочи до требуемой концентрации. Прошедший через руду и обогатившийся ураном выщелачивающий раствор носит название продукционного раствора. Извлечение урана из продукционного раствора происходит в сорбционных колоннах диаметром 2-3 и высотой 6-8м, в которых находится ионообменная смола, обладающая избирательными сорбционными свойствами. Уран из раствора сорбируется на смоле, а обедненный раствор направляется в бассейн, доукрепляется реагентами и вновь используется для выщелачивания.

Разработаны и нашли широкое применение высокопроизводительные сорбционные колонны с зажатым слоем смолы или колонны с верхним дренажем. Особенность их конструкции и принципа работы заключается в том, что дренажное устройство располагается в верхней части колонны. Движение раствора осуществляется снизу вверх. Загруженная в колонну ионообменная смола потоком раствора поднимается вверх и прижимается к дренажной сетке. По мере прокачивания богатого раствора нижний слой смолы насыщается быстрее остального объема и периодически выпускается в промежуточную емкость. Одновременно с выпуском насыщенной смолы сверху догружается свежая смола, объемом, равным выпущенному. Насыщенная ураном смола

перекачивается в регенерационную колонну, в которой она освобождается от сорбированного урана путем прокачивания через нее специального раствора. Обогащенный ураном раствор в виде товарного реагента поступает на каскад осаждения, состоящий из трех последовательно подключенных емкостей. В первой емкости кислотность раствора снижается до значения pH = 4,5, во второй - до значения pH = 7,5, в третьей получают пульпу концентрата и откачивают ее в сгуститель, из которого в виде товарного концентрата отправляют на перерабатывающее предприятие.

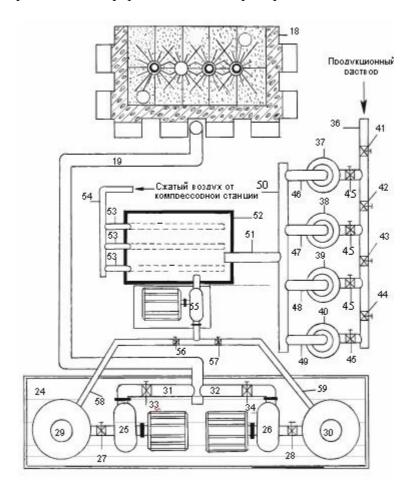


Рис. 4. Технологическая схема выщелачивания урана. 19 — магистральный трубопровод; 37- 40 — сорбционные колонны; 41-45 — задвижки; 50 — коллектор; 51 — трубопровод; 52 — бассейн; 53 — система труб с диспергаторами; 54, 58, 59 — трубопроводы; 55 — насос

Автоматизация сорбционного комплекса осуществляется путем установки соответствующих устройств, датчиков и приборов, необходимых для контроля за технологическим режимом и управления процессом, а также для передачи информации в центральный диспетчерский пункт на ЭВМ, которая сигнализирует о всех отклонениях от заданного режима.

В случае выщелачивания руды по сплошной схеме работают сорбционные колонны 37-40 при открытых задвижках 41-45. Обедненный раствор после сорбционных колонн по трубопроводам 46-49 поступает в коллектор 50 и по трубопроводу 51 гидротранспортируется в бассейн 52. Для насыщения обедненного раствора кислородом в

бассейне 52 устанавливают систему труб 53 с диспергаторами, в которых по воздуховоду 54 от компрессорной станции нагнетают сжатый воздух.

В обедненный раствор добавляют реагенты и бактерии до требуемой концентрации. Выщелачивающий раствор требуемой концентрации из бассейна 52 насосом 55 при открытых задвижках 56 и 57 подают в емкости 29 и 30 по трубопроводах 58 и 59 соответственно.

**Предложены и обоснованы** технологические схемы создания комплекса выщелачивания урана из техногенного месторождения, функционирующего по сплошной схеме в инфильтрационном режиме выщелачивания, главной задачей которого является ликвидация радиационного загрязнения территорий пострадавших в результате крупномасштабной экологической катастрофы.

Список литературы: 1. Соботович Е.В. Де і як ховати радіоактивні відходи? Вісник НАН України, 1998, №3-4.2. Описание объекта «Укрытие» и требования к его преобразованию. (Минчернобыль Украины, Академия Наук Украины). - Киев, Наукова думка, 1992.3. Шевцов Н.Р., Гудзь А.Г., Бабичев В.А. Технология глубинного захоронения аварийного энергоблока Чернобыльской АЭС. Вестник национального горного университета Украины, 1999, №5.4. Боровой А.А., Лагуненко А.С., Пазухин Э.М. Оценка количества топлива в подаппаратном помещении 305/2 4-го энергоблока ЧА-ЭС// Атомная энергия, т. 84, вып. 4, 1998г., с. 356 - 362.5. Боровой А.А., Богатов С.А., Пазухин Э.М. Современное состояние объекта «Укрытие» и его влияние на окружающую среду//Радиохимия,1999,т.41, № 4, с. 368 - 378.6. http://www.ignph.kiae.ru.7. Шестопалов В., Шибецький Ю. Ізоляція радіаційних відходів у геологічному середовищинавіщо, як, коли та скільки? // Геолог України.-№3, 2005, 50-60с. В. Черней Э.И., Булат А.Ф., Садовенко И.А., Постоловский Р.М., Петривский Я.Б., Калько А.Д. и др. Закономерность снижения радиоактивности техногенных формаций при бактериальном выщелачивании урана. – М.: Открытие №261 от 24 августа 2004г., Рег. № 318. 9. Закономерность снижения радиоактивности техногенных формаций при бактериальном выщелачивании урана/ Черней Э.И., Булат А.Ф., Садовенко И.А., Постоловский Р.М., Петривский Я.Б., Калько А.Д. и др.- Рівне: Волинські обереги, 2004.-572с.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧИСЕЛ ЦИКЛОВ С УЧЕТОМ ИЗНОСА

#### Петрова И.М. (ИМАШ РАН, Москва, Россия)

The effect of cyclic loading, wear and corrosion on the fatigue strength and on the fatigue damage accumulation in the wide range of cycle numbers is considered. The method of the failure probability estimation is proposed. An example of probability estimation is presented.

Создание моделей накопления повреждений, управление процессами усталости, износа и достижения предельных состояний должно быть основано на механике комплексного износоусталостного повреждения и разрушения. Обобщенные эакономерности комплексных износоусталостных повреждений базируются на изучении механики взаимодействия повреждений, обусловленных циклическими усталостными, фрикционными, термодинамическими и электрохимическими воздействиями, на теории предельных состояний динамических силовых систем при комплексном нагружении.

В самостоятельных научных направлениях механики разрушения и трибологии разработаны базовые методы и критерии анализа износа и усталости. При комплексном взаимодействии этих процессов возникают эффекты нелинейного их сочетания с усилением роли каждого из видов повреждения. Сопутствующие в ряде случаев коррозионные эффекты создают дополнительное ускорение процессов разрушения и повреждения.

В соответствии с ГОСТ 25.504  $\sigma_{\text{-1Д}}$  - предел выносливости детали с учетом конструктивных технологических и эксплуатационных факторов, определяется выражением

$$\mathbf{S}_{-1,\mathcal{I}} = \frac{\mathbf{S}_{-1}}{f(K_s, K_{ds}, K_{F,} K_V)} \tag{1}$$

где  $\sigma_{-1}$  -предел выносливости её материала, определенный путем испытаний гладких лабораторных образцов на базе испытаний  $N_{\delta} = 5 \times 106 \dots 107$  циклов;

 $f(K) = f(K_S, K_{dS}, K_F, K_V)$  функция, учитывающая влияние конструктивных, технологических факторов;  $K_S$  -эффективный коэффициент концентрации;  $K_{dS}$  - коэффициент влияния масштабного фактора;  $K_F$  - коэффициент влияния чистоты поверхности;  $K_V$  - коэффициент влияния поверхностного упрочнения. Для многих деталей и элементов конструкций, работающих при наличии коррозионной среды, трения в выражение (2) должны быть включены коэффициенты, учитывающие снижение предела выносливости при коррозии  $K_{\kappa op}$  и при трении  $K_{mp}$ . Тогда  $f(K) = f(K_S, K_{dS}, K_{dS}, K_F, K_V, K_{\kappa op}, K_{mp}.)$ .

Справедливость формулы (1) в области долговечности, выраженной суммарным числом циклов нагружения  $N_{\text{сум}}$  подтверждена многочисленными исследованиями прочности деталей машин и практикой их эксплуатации, если  $N_{\text{сум}}$  лежит в пределах  $N \leq 10^7$  циклов. Так как многие технические системы в настоящее время исчерпали назначенный ресурс и должны эксплуатироваться на основе данных о техническом состоянии, большое значение приобретает изучение характеристик усталости в области чисел циклов  $10^9$ - $10^{11}$ , так как исчерпывающей информации об этом участке кривых усталости для многих материалов в справочной литературе в настоящее время нет.

В то же время результаты экспериментальных исследований в области гигацикловой усталости, проведенные в последнее время [1] позволяют сделать следующие основные выводы:

-кривая усталости в общем случае имеет вид представленный на рис. 1

причем зоны I, 2 соответствует зарождению трещины на поверхности (при отсутствии поверхностного упрочнения), зона II имеющая незначительный наклон - условный предел выносливости, зона III - зарождение трещины под поверхностью (трещина типа "рыбий глаз") свидетельствует о смене механизма разрушения, очагом зарождения трещины являются включения, IV - зона нераспространяющихся трещин которую можно назвать порогом чувствительности по напряжениям.

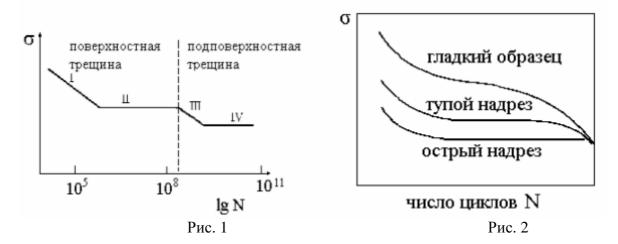
-влияние концентрации напряжений с ростом числа циклов возрастает (увеличивается значение эффективного коэффициента концентрации [2]. Затем это различие уменьшается (рис.1) и в области долговечностей  $10^{11}$  циклов кривые усталости гладких кривые усталости и надрезанных образцов совпадают (рис. 2) [1].

Снижение предела выносливости в результате трения обусловлено во многом износом трущихся поверхностей. Методы расчета на износ деталей машин основаны на экспериментально-теоретических подходах В случае механического разрушения поверхностей, когда химические и тепловые процессы не имеют решающего значения,

интенсивность изнашивания в соответствии с [ 3 ] может быть определена в физически информативных (безразмерных) обобщенных факторов

$$I_{hM} = f(\Phi_a, \Phi_{cM}, \Phi_v, \Phi_{III})$$
 (2)

где  $\Phi_a$  - комплекс характеризует напряженное состояние контакта,  $\Phi_{cm}$  - комплекс определяет относительную толщину смазочного слоя в контакте,  $\Phi_y$  - характеризует характеристики усталостной прочности трущихся поверхностей,  $\Phi_m$  - характеризует влияние шероховатости контактирующих поверхностей.



Влияние коррозионно-эрозионных процессов на предел выносливости можно описать в соответствии с [ 4 ] выражением

$$\mathbf{S}_{-1ch} = \mathbf{S}_{-1} \left[ b_1 \left( \frac{\mathbf{v}_{ch}}{\mathbf{n}_{ch(\mathbf{S})}} \right)_1 \right]^{1/2} \tag{3}$$

 $\sigma_{\text{-1ch}}$  - предел усталости с учетом коррозионно-эрозионных процессов,  $\sigma$ -1 - предел усталости исходного материала,  $b_1$  - коэффициент, учитывающий процессы коррозионной эрозии, определяется экспериментально;  $v_{ch}$   $v_{ch(\sigma)}$  скорости коррозии металла без напряжения и при действии напряжений. Уравнение ( 3 ) может использоваться при прогнозировании снижения величины предела выносливости вследствие влияния комплексных повреждающих процессов и отдельно по коррозионно-эрозионному, либо усталостному повреждениям.

Величина предела выносливости образцов, поврежденных циклическим деформированием может быть представлена в следующем виде зависит от величины циклических напряжений и их длительности и может быть записана в виде [5]

$$\mathbf{S}_{-1noe} = \mathbf{S}_{-1ucx} \left[ 1 - \frac{n_H}{N_H} K \left( \frac{\mathbf{S}_a}{\mathbf{S}_{-1ucx}} - 1 \right) \right]$$
(4)

где K - коэффициент, зависящий от механических характеристик материала;  $n_H$ - число циклов начального переменного нагружения при напряжении  $\sigma_a$ ;  $N_H$  - число циклов переменного нагружения при напряжении  $\sigma_a$  соответствующее кривой усталости.

При этом из рассмотрения исключается эффект повышения сопротивления усталости от предварительного циклического нагружения напряжениями, меньшими чем  $\sigma_{-1}$ , так как указанный эффект нивелируется при многократном повторении блоков нагружения, содержащего амплитуды  $\sigma_a > \sigma_{-1}$ . Поэтому расчет на прочность может базироваться на учете снижения предела выносливости, вследствие перегрузок. Для каждого заданного значения суммарное число циклов за весь срок эксплуатации  $N_{\text{сум}}$ , соответствующего определенному ресурсу, можно определить предельный коэффициент нагруженности  $n_p = \sigma_{a \text{ max}} / \sigma_{-1_{\text{д}}}$  который обозначает, что при  $\sigma_{a \text{ max}} / \sigma_{-1_{\text{д}}} < n_p$  будут наступать усталостные разрушения до истечения срока службы, а при  $\sigma_{a \text{ max}} / \sigma_{-1_{\text{д}}} < n_p$  разрушений не будет. Предел выносливости детали перед началом эксплуатации  $\sigma_{-1_{\text{д}}}$ .

В качестве примера влияния динамического нагружения на снижение предела выносливости приведены статистические характеристики сопротивления усталости основного металла труб нефтепровода в исходном состоянии и после длительной эксплуатации ( $\tau$ =30÷40 лет) и проведен сравнительный статистический анализ базовых характеристик механических свойств труб в различных состояниях [4].

Исследования были выполнены для металла труб в исходном состоянии, из аварийного запаса, хранилась более 30 лет на открытом воздухе и труб, которые находились в эксплуатации более 30 лет, условия эксплуатации - штатные. Образцы были изготовлены из основного металла элементов трубы. Испытания на усталость проводились при консольном нагружении поперечным изгибом в одной плоскости с применением статистических методов исследования. База испытаний была принята равной N=106 циклов. Критерием предельного состояния считалось появление усталостной трещины в опасном сечении. Предел выносливости и среднее квадратическое значение предела выносливости определенные методом "лестницы".

Основной вывод, который следует из результатов испытаний элементов труб в исходном состоянии и после эксплуатации, состоит в том, что сопротивление усталости после длительной эксплуатации систематически и существенно ниже, чем до эксплуатации. Среднее значение предела выносливости элементов труб в зоне основного металла снизилось на 14,9%, его среднее квадратическое отклонение - на 18%.

Суммарное влияние перечисленных факторов оказывает существенное влияние на вероятность развития повреждений и разрушения. В этой связи возникает задача о прогнозировании влияния повреждающих процессов на вероятность усталостного разрушения с использованием обобщенного критерия предельного состояния. В первом приближении для решения этой задачи можно использовать уравнения ( 2 ) и

( 3 ). Введением уравнений ( 2 ) и ( 3 ) в уравнение ( 4 ), представляется возможным учесть в количественной форме изменение вероятности разрушения P по мере исчерпания ресурса .

Таким образом снижение предела выносливости в эксплуатации определяемое влиянием динамических нагрузок, износа, коррозией и может быть описано зависимостью (4). Всё вместе позволило сделать приближенную оценку влияния износа на вероятность появления отказа, например изменение вероятности разрушения шатуна компрессора в зависимости от изменения значения предельного коэффициента нагруженности вызванного износом и, как следствие, увеличением зазора.

Прогнозирование технического состояния механизмов и его изменение с использованием компьютерного моделирования позволяет провести расчет остаточного ресурса по различным критериям:

$$T_o = min\{T_u, T_u, T_M, T_{\gamma}\}$$

где  $T_u$ , - остаточный ресурс по критерию износа пар трения;  $T_u$ , - остаточный ресурс по критерию циклической прочности;  $T_M$  - остаточный ресурс по критерию механических свойств материала деталей;  $T_\gamma$ , - остаточный ресурс по заданной вероятности безотказной работы.

Математические модели динамики и износа механизмов реализованы в программном пакете на ЭВМ.

Список литературы: 1. Proceedings of the Third International Conference on Very High Cycle Fatigue. Ritsumeikan University, Kusatsu, Japan. September 16-19, 2004. 689p. 2. Tauscher H., Buchholz H. Dauerschwingverhalten der Stahle unter extrem langer Beanspruchugsdauer. // Maschinenbautechnik, 1974, Heft 12, s. 565-567. 3. Когаев .П.,Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. М: Высшая школа. 1991. с 319. 4. Махутов Н.А., Сосновский Л.А., Бордовский А.М., Воробьев В.В., Гаденин М.М.. Определение характеристик остаточной прочности, долговечности и риска магистральных трубопроводов.Проблемы безопаности и чрезвычайных ситуаций. ВИ-НИТИ, 2003, №5, с.186-209. 5. Серенсен В.П., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность М: Машиносторение, 1975, с.488.

МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН УСТАНОВОК ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ ООО ПО «КИРИШИНЕФТЕОРГСИНТЕЗ»

# Пильч Л. М., Сидоров И. Б., Максимов С. В., Герасимов Л.А., Спасенихин П.Е., Сиротинкин Д.С. Беляевский М.Ю.

(ЗАО «ПИРО», МГУИЭ)

Настоящая работа посвящена разработке программы по модернизации внутренних устройств всего колонного оборудования установок первичной переработки нефти на ООО ПО «Киришинефтеоргсинтез», целью которой было:

- обеспечить высокую четкость погоноразделения между бензиновыми, керосиновыми и дизельными фракциями;
- улучшить качество (снизить содержание «балластных» компонентов) фракций, являющихся сырьем вторичных процессов;
- увеличить отбор «светлых» (фр. <  $360^{\circ}$ C) за счет снижения их содержания в мазуте;

обеспечить требуемое качество гудрона, сырья для получения высококачественных битумов;

улучшить качество вакуумных погонов.

- снизить удельные энергозатраты при перегонке обессоленной нефти.

На основании предоставленных исходных данных и требований предъявляемых к качеству продукции, ЗАО «ПИРО» выполнило последовательный технологический и гидравлический расчет всех колонн для каждой технологической установки. Из анализа произведенных расчетов следовало:

1. Использование для модернизации атмосферных колонн и колонн работающих под избыточным давлением высокоэффективных клапанных трапециевидных тарелок с оптимально выбранным «живым» сечением для прохода пара и жидкости в каждом конкретном сечении колонны позволит получать продукты требуемого качества при требуемой производительности в существующих корпусах колонн.

2. Использование для модернизации вакуумных колонн в качестве контактных устройств высокоэффективных регулярных насадок с низким гидравлическим сопротивлением (для колонны K-10 – насадка «Ваку-пак», для колонны K-5 – «ПИРО-Х-60») позволит получать гудрон и вакуумные газойли требуемого качества при заданной производительности в существующих корпусах вакуумных колонн.

## ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА

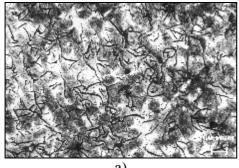
Покровский А.И. (ФТИ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)

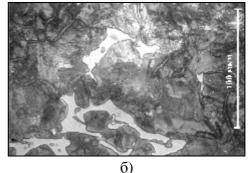
The investigation has been made of the tribotechnical characteristics of iron subjected to hot deformation.

**Введение**. Воздействие горячей деформации на чугунную заготовку позволяет придать изделию форму довольно сложной конфигурации с минимальными припусками для механической обработки и кардинальным образом изменить его структуру [1-3]. Это приводит к существенному изменению свойств, например, при определенных параметрах можно добиться показателей прочности до 1400 МПа. Однако структура и свойства сильно зависят от направления вытяжки.

**Целью работы** являлось исследование триботехнических характеристик деформированного чугуна и их анизотропии после горячего выдавливания: 1) сравнивали показатели литого и деформированного чугуна при работе со смазкой и без смазки; 2) определяли, как влияет степень деформации на износостойкость, и какая структура деформированного чугуна эффективнее противостоит износу - продольная или поперечная; 3) исследовали комплекс триботехнических характеристик чугуна - коэффициент трения, момент трения, температуру в зоне контакта, работу выхода электронов трущейся поверхности, максимально допустимое давление.

**Методика исследований.** Исследовали серый, половинчатый, ковкий и высокопрочный чугуны, отличающиеся формой графита и наличием цементитных включений (рис. 1). Из заготовок различного диаметра путем выдавливания через матрицу получали прутки со степенью обжатия от 20 до 80%, из которых вырезали образцы (рис. 2).





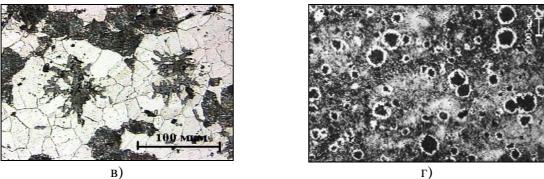


Рис. 1. Микроструктура чугунов в литом состоянии: а) - серый, б) - серый половинчатый, в) - ковкий, г) - высокопрочный

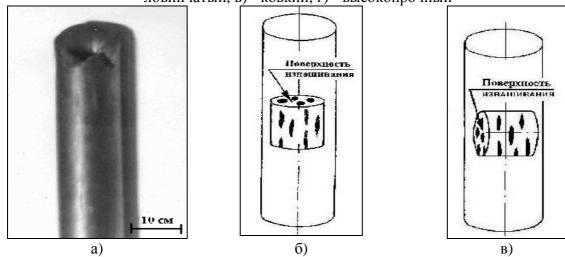


Рис. 2. Схема вырезки образцов из деформированного прутка для испытаний на трение: а) – общий вид прутка, б) поперечных, в) продольных. Схематично изображено расположение вытянутых графитных включений.

### Результаты испытаний при сухом трении.

- 1. Сравнительные испытания литых чугунов с перлитной структурой показали, что в порядке убывания износостойкости они располагаются следующим образом: половинчатый, высокопрочный, ковкий, серый (рис. 3).
- 2. В условиях сухого трения на износостойкость чугуна существенно влияет текстура деформации. Продольное расположение графитных включений в плоскости трения ухудшает износостойкость по сравнению с литым состоянием, поперечное улучшает. С увеличением степени деформации эта закономерность усиливается. Перлитная структура чугуна, как в литом, так и в деформированном состоянии эффективнее противостоит износу, чем ферритная (рис. 4).
- 3. При использовании деформированного чугуна в условиях, требующих низкого коэффициента трения, рекомендуется его горячая пластическая деформация со степенью 50-60% (рис. 5).
- 4. Для обеспечения максимальной износостойкости чугуна рекомендуется его пластическая деформация со степенью 80% и последующим охлаждением на воздухе, причем графитные волокна должны располагаться поперек поверхности трения. Это повышает износостойкость в 1,4 раза по сравнению с недеформированным состоянием (рис. 4).

5. Температура в зоне контакта при износе вначале возрастает, а затем стабилизируется (рис. 6). Характер этой зависимости при различных степенях деформации одинаков, а темпы роста и абсолютные величины температур существенно отличаются.

#### Результаты испытаний при трении со смазкой.

1. У всех чугунов зависимость  $K_{\tau p}$  от удельной нагрузки имеет одинаковый характер (рис. 7, а). Повышение нагрузки от нулевых значений до величин 2-6 МПа приводит к существенному росту  $K_{\tau p}$ , его максимум, приходится на 4-6 МПа. Дальнейшее повышение нагрузки до 6-8 МПа приводит к снижению  $K_{\tau p}$ , а при нагрузках выше 8 МПа - он сохраняется стабильным до момента схватывания. После пластической деформации с  $\varepsilon$ =50% коэффициент трения снижается до 0,02-0,04. Наилучшие значения (как, впрочем, и в литом состоянии) показал высокопрочный чугун ( $K_{\tau p}$ =0,021).

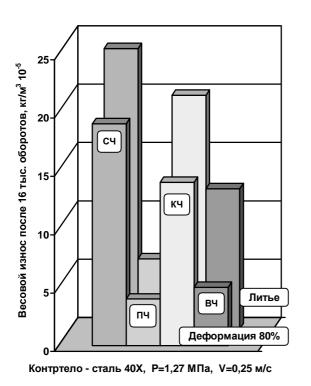


Рис. 3. Весовой износ чугунов при сухом трении

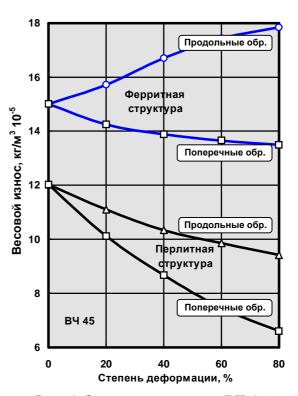
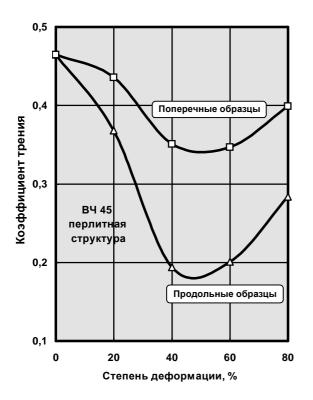


Рис. 4. Зависимость износа ВЧ 45 от степени деформации. Сухое трение



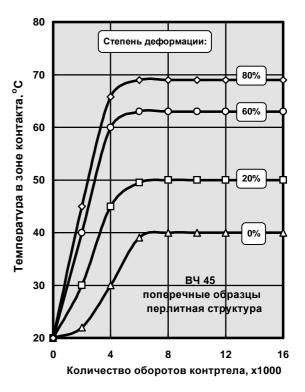


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения от степени деформации. Сухое трение

Рис. 6. Зависимость температуры в зоне трения ВЧ 45 от продолжительности испытаний

- 2. Лучше других противостоит схватыванию при износе высокопрочный чугун. Нагрузка, при которой происходило заедание, составила для ВЧ 30 МПа, в то время как у серого и ковкого чугунов для схватывания оказалось достаточно 12-14 МПа.
- 3. Горячая пластическая деформация улучшает триботехнические характеристики всех типов чугунов в условиях трения со смазкой. Наиболее эффективно воздействие деформации на высокопрочный чугун. Оптимальной степенью деформации для него является  $\varepsilon$ =50%. Коэффициент трения высокопрочного чугуна составляет 0,021, а температура в зоне контакта не превышает 70°C (рис. 7, б).

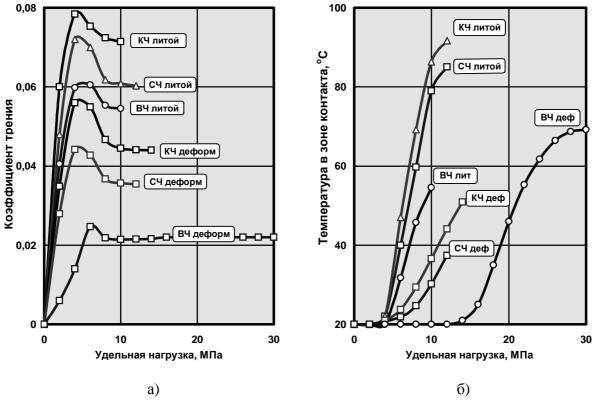


Рис. 7. Зависимости коэффициента трения (а) и температуры в зоне контакта (б) от удельной нагрузки. Трение скольжения со смазкой.  $V = 10.8 \text{ м/c}, n = 2100 \text{ мин}^{-1}$ 

**Резюме.** Горячая пластическая деформация улучшает триботехнические характеристики всех типов чугунов. Наиболее эффективно воздействие деформации с  $\epsilon$ =50% для высокопрочного чугуна. Его коэффициент трения - 0,021, а температура в зоне контакта не превышает 70°C даже при нагрузке до 30 МПа. Поэтому деформированный высокопрочный чугун рекомендуется для изготовления высоконагруженных деталей.

Список литературы: 1. Разработка и внедрение технологии изготовления высококачественных изделий из деформированного чугуна. // Наука и инновации. -2005. -№ 4. С. 54–65. 2. Покровский А.И. Особенности трансформации структуры и свойств чугуна при выдавливании. // Машиностроение 21 века: Сб. тр. 10-ой междунар. конф., - Донецк, 2003. - Т. 3. - С. 44–48. 3. Structure formation of iron during hot plastic deformation and development of technology for production of high-quality items. // Heat Treatment and Surface Engineering in Automotive Applications: 2nd International Conference Associazione Italiana di Metallurgia. - Milano, Italy, 2005. S.118.

# ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЯЗОК ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ИХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ АЛМАЗАМИ

#### Полуян А.И., Прокопович Н.Н. (ИМИНМАШ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)

The sintering of metal powders with ultra dispersed diamond (UDD) has allowed to improve mechanical and tribophysics properties of composite materials. In this publication the research was describes of these properties in conditions how concentration of UDD was varied. The quality of cut surface was analyzed metallographically.

Металлические связки, используемые в настоящее время ведущими мировыми изготовителями алмазного инструмента, обладают рядом недостатков. На сегодняшний день такие показатели качества алмазного инструмента, полученного спеканием, как твердость и ударная вязкость, коэффициент трения, удельный расход алмазов и удельная производительность достигли своих граничных значений. Дальнейшее
повышение качества и эксплуатационных параметров алмазного инструмента невозможно без применения новых материалов, методов моделирования конструкций и
технологий его изготовления.

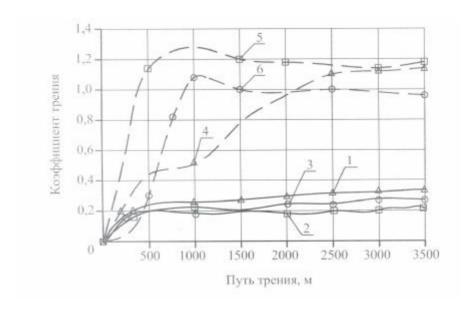
Таким образом, создание новых металлических связок с улучшенными эксплуатационными свойствами является актуальной проблемой. Практически ставится задача создания нового класса инструментальных материалов. Большие возможности в этом плане открывает разработка технологии получения металлических связок, модифицированных ультрадисперсными алмазами (УДА). Порошок УДА обладает уникальной величиной удельной поверхности 400-500 м²/г, что позволяет использовать его в различных материалах для существенного улучшения характеристик. Введение УДА способствует повышению износостойкости, снижению коэффициента трения, увеличению предельной нагрузки, повышению стойкости к агрессивным средам и температурным воздействиям [1].

Исходя из вышеизложенного, представляется возможным применить УДА для модифицирования структуры металлических связок и повышения их эксплуатационных свойств.

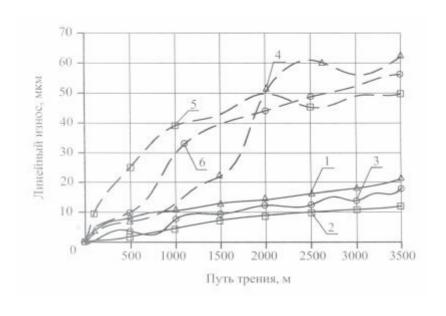
Цель настоящей работы – изучение эксплуатационных свойств металлических связок, модифицированных ультрадисперсными алмазами.

Для исследований были выбраны типовые связки следующих составов: M2-01 (Cu, Sn), M2-06 (Co, WC), M6-14 (Fe, Cu, Sn, Ni). В качестве модификатора был использован порошок ультрадисперсного алмаза (УДА-СП) ТУ РБ 28619110.001-95. Методом порошковой металлургии, а именно спеканием и уплотнением в нагретом состоянии с последующим охлаждением под давлением, были изготовлены образцы указанных связок с содержанием УДА 0,5 %, 0,75%, 1,0% и без него. Полученные образцы подверглись триботехническим испытаниям и металлографическим исследованиям. Измерения коэффициента трения и линейного изнашивания проводились на установке для триботехнических испытаний по схеме «палец-диск» в условиях трения без смазки. Использовались образцы прямоугольной формы с площадью рабочей поверхности 64 мм² Скорость скольжения образца относительно контртела в процессе испытаний составляла около 0,5 м/с, нагрузка — 10H. Контртело изготавливалось из закаленной стали, твердостью - 43...45 HRC.

Исследования триботехнических свойств показали, что модифицирование металлических связок ультрадисперсными алмазами приводит к существенному повышению износостойкости и снижению коэффициента трения. На рисунке 1 показаны изменения вышеуказанных параметров выбранных связок при наиболее оптимальной их модификации по сравнению с аналогичными не модифицированными образцами.



а - зависимость коэффициента трения от пути трения



б - зависимость линейного изнашивания от пути трения 1-M2-01+0.5% УДА; 2-M6-02+0.5% УДА; 3-M6-14+0.75 УДА; 4-M2-01; 5-M6-02; 6-M6-14 —модифицированные связки; --- немодифицированные (чистые) связки

Рис. 1 Трибологические свойства металлических связок

Как следует из представленных результатов триботехнических испытаний, у модифицированных УДА связок, время приработки значительно меньше по сравнению с немодифицированными. Также следует обратить внимание на более стабильное протекание процесса трения у модифицированных связок. Это свидетельствует об умень-

шении явления схватывания при трении. Изучение микрорельефа поверхностей трения показало, что преобладающим механизмом изнашивания поверхностей является абразивное изнашивание. Однако, по сравнению с поверхностями трения при базовых составах, изнашивание которых происходит по абразивному и адгезионному механизмам, поверхности трения модифицированных УДА связок, отличаются меньшей глубиной следов абразивного взаимодействия и незначительной площадью очагов схватывания. Испытания показали: снижение интенсивности изнашивания подтверждает повышение износостойкости модифицированных металлических связок, а снижение коэффициента трения, свидетельствует об уменьшении сил резания и термонагруженности как на связку, так и на рабочую поверхность инструмента.

Были также проведены исследования микроструктуры металлических связок. Исследования элементного состава проводилось на сканирующем микроскопе «Нанолаб-7» фирмы «Оптон» (ФРГ) с микрорентгеноспектральным анализатором АМ 10000 фирмы «Линк Аналитикл» (Англия) по программе количественного анализа ZAF4-FLS. Погрешность метода в данном случае составляет 3-5 относительных процентов. Гомогенность структуры изучалась на световом микроскопе «МеF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при увеличении х100. Фотографии микроструктур приведены на рисунках 2, 3, 4.

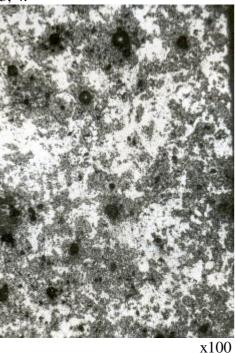


Рис. 2. Микроструктура металлической связки M2-01

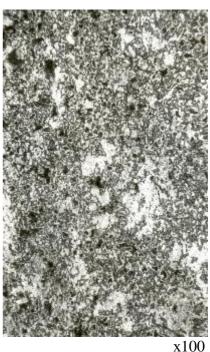


Рис.3. Микроструктура металлической связки M6-14

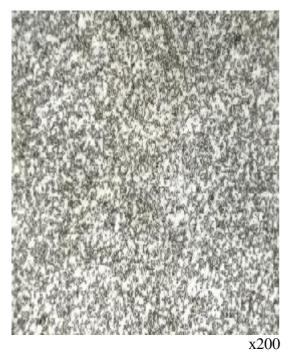


Рис 4. Микроструктура металлической связки M6-02

Микрорентгеноспектральные исследования экспериментальных образцов режущих элементов на основе модифицированных металлических связок, показали большую гомогенность спеков. Наблюдалось некоторое снижение ударной вязкости, но при этом снизились значения таких трибологических свойств связок как коэффициент трения и интенсивность изнашивания. Величина модифицирования металлических связок ультрадисперсными алмазами может составлять до одного объемного процента.

По-видимому, именно за счет высокой поверхностной активности частиц наномодификатора происходит изменение морфологии сплава, наблюдается уменьшение размеров зерен, что положительно сказывается на эксплуатационных свойствах металлических связок.

Таким образом, модифицирование металлических связок с помощью УДА позволяет улучшить их триботехнические характеристики и на их основе создать новые образцы алмазного инструмента с повышенными эксплуатационными свойствами.

**Список литературы: 1.** Витязь П.А., Жорник В.И. Перспективы применения алмазов при создании машин и технических систем // Надежность машин и технических систем: Материалы междунар.науч.-техн.конф.: В 2 т. - Мн.: ИТК НАНБ, 2001. – Т.1. – С.30-34.

# ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ФИНИШНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Порошин В.В., Боровин Ю.М. (ГОУ МГИУ, г. Москва, Россия)

The analytical equation is developed, allowing to make a tentative estimation of influence of modes of finishing ultrasonic processing on a roughness of the processed surface.

Одной из важнейших задач современного машиностроения является повышение качества выпускаемых изделий. Эксплуатационные характеристики изделий, такие, как: надежность, долговечность, износостойкость, контактная жесткость и др., в значительной мере определяются комплексом геометрических и физико-механических характеристик поверхностного слоя изделий.

Для формирования вышеуказанных характеристик качества поверхностного слоя деталей в последнее время широко применяют различные методы отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) [1,2,3]. При этом предпочтение отдается эффективным и производительным методам, одним из которых является ультразвуковая отделочно-упрочняющая финишная обработка (УЗО).

В результате проведенных литературных исследований была предложена обобщенная модель обработки поверхности методом ППД (УЗО) (рис. 1). На основании разработанной модели проведены экспериментальные исследования по влиянию технологических параметров УЗО на высоту неровностей профиля по десяти точкам -  $R_{Zucx}$ . Показано, что наибольшее влияние на данный параметр оказывает диаметр индентора - D и меньшее – исходная шероховатость обрабатываемой поверхности  $R_{Zucx}$ . Влияние других параметров статическая сила прижима инструмента -  $F_{cm}$ , скорость обработки - V, амплитуда ультразвуковых колебаний - A (в диапазоне принятых в настоящее время режимов обработки) характеризуется, как правило, линейной зависимостью. Удельный вес (влияние)  $F_{cm}$ , V, A на  $R_{Z_{Gbix}}$  значительно меньше, чем D и  $R_{Zucx}$ .

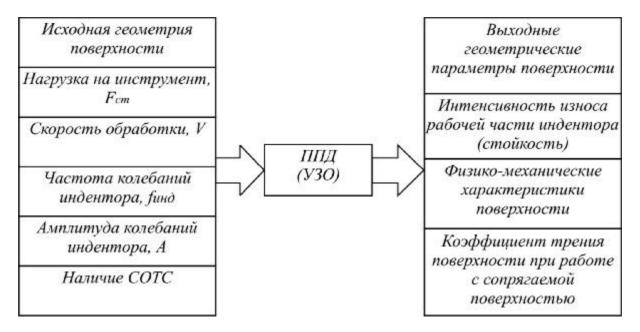


Рис. 1. Обобщенная модель обработки поверхности методом ППД (УЗО)

Предложена аналитическая зависимость для определения выходных параметров шероховатости  $R_{Z_{\textit{вых}}}$  в зависимости от исходной шероховатости поверхности ( $R_{Z_{\textit{ucx}}}$ ), режимов обработки и геометрических параметров инструмента:

$$R_{Z\hat{a}\hat{u}\tilde{o}} = K \cdot (R_{Z\hat{e}\tilde{n}\tilde{o}} - 0.5 \cdot \sqrt[3]{D^2})$$
 (1)

Параметр K, учитывающий остальные технологические факторы УЗО, может быть представлен в следующем общем виде:

$$K = K_F \cdot K_V \cdot K_A, \tag{2}$$

где  $K_F$ ,  $K_V$ ,  $K_A$  — соответственно учитывают влияние на  $R_{Z_{6blX}}$  скорости обработки, статической силы, амплитуды колебаний индентора.

Как показали проведенные исследования, коэффициенты, входящие в уравнение (2), в первом приближении могут быть определены следующими зависимостями:

$$\hat{E}_{F} = \frac{F_{\text{max}} + F_{\text{min}}}{F_{\text{max}}}$$

$$\hat{E}_{A} = \left(\frac{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}{A_{\text{max}}}\right)^{0,5}$$

$$\hat{E}_{F} = \frac{V}{V_{\hat{i}\hat{e}\hat{o}}}$$
(3)

где  $F_{max}$ ,  $F_{min}$ ,  $A_{max}$ ,  $A_{min}$  – интервалы допустимых значений статических сил и амплитуд индентора;  $V_{o\kappa p}$  – окружная скорость заготовки. Для практических расчетов K=1,8-2,2.

Для контроля параметров шероховатости изделий, обработанных УЗО, использовалась специально спроектированная и изготовленная система измерения параметров шероховатости поверхности HW-MSIU T500 на базе профилометра Hommel Tester T500. Система позволяла задавать параметры измерения, производить необходимое количество измерений, рассчитывать параметры шероховатости поверхности согласно ГОСТ 2789-73 и международному стандарту ISO 4287-1.2:1995, выводить на печать протокол расчетов (рис. 2). Необработанные результаты измерений сохранялись в цифровом формате TRC для хранения или передачи в прикладные пакеты CAD/CAM программ.

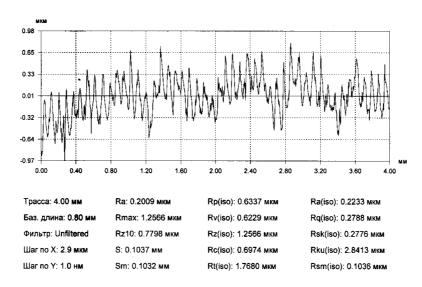


Рис. 2. Результаты измерения шероховатости

Сопоставление результатов расчетов параметра  $Rz_{\text{вых.}}$  (рис. 3) полученных с помощью аналитического уравнения (1) – кривые 1, 4 и экспериментальных исследований – кривые 2, 3, показало их удовлетворительную сходимость. Технологические параметры УЗО изменялись в следующих пределах:  $Rz_{\text{исх}} = 1,45$  - 1,60 мкм;  $F_{cm} = 50$  и 100 H; A = 10 и 25 мкм; V = 3,14 и 5,71 м/мин.

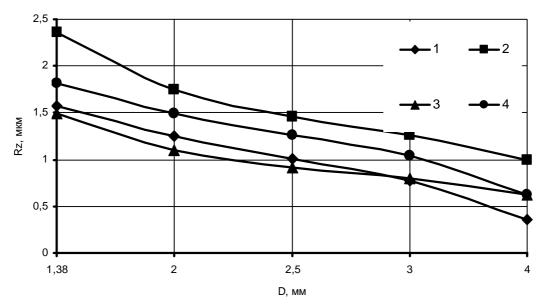


Рис. 3. Влияние диаметра рабочей части инструмента D на параметр шероховатости Rz:

Таким образом, полученная зависимость (3) может быть использована для предварительной оценки влияния режимов обработки на величину  $Rz_{\text{вых}}$ .

Список литературы: **1.** Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. М., 1981. – 244 с. **2.** Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностей пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978. –152 с. **3.** Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами. – М.: Машиностроение, 1975. – 160 с.

# ОТБОР БУДУЩИХ СТУДЕНТОВ НА СПЕЦИАЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРИИ ТРАНСПОРТА И ОЦЕНКА ИХ ПОДГОТОВКИ ВО ВРЕМЯ ЕДИНОГО ПРИЕМА В ВУЗЫ ЛИТВЫ

#### Прентковский О., Клюкас Р., Данюнас А.

(Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, г. Вильнюс, Литва)

The problems of selecting applicants to the Lithuanian universities and the level of knowledge of the applicants to transport engineering specialities will be discussed in this paper. Some statistical data reflecting the results of Joint applicants' admission to the Lithuanian universities are presented. The selection of applicants to study transport engineering courses at the Lithuanian universities is analyzed.

#### 1. Введение

После вступления Литвы в Евросоюз транспорт стал одной из ключевых отраслей народного хозяйства. Основными задачи транспорта являются увеличение объема перевозок, улучшение качества оказываемых услуг, безопасности пассажиров, перевозимых грузов и движения. Решение этих задач должно осуществляться комплексно, с учетом возможностей всех звеньев транспортной системы. Первостепенное значение при этом приобретает человеческий фактор [1-4].

Организация перевозок, обеспечивающих высокую эффективность и безопасность движения, требует от специалиста (выпускника вуза — бакалавра или магистра инженерии транспорта) глубоких и разносторонних знаний. Он должен иметь хорошую подготовку по автомобильной технике, дорожному делу, организации дорожного движения, прикладной математике, теории автоматизированных систем управления и другим техническим наукам.

Профориентирование учащихся средних школ и гимназий, их ознакомление со спецификой работы в той или иной области хозяйства страны, мотивация выбора специальности, воспитание и отбор абитуриентов (будущих студентов) в вузы — это лишь первые шаги обеспечения рынка труда компетентными и инициативными работниками.

В статье анализируется, как происходит отбор будущих студентов (и уровень их подготовки) в вузы Литвы на специальности в области инженерии транспорта на дневное отделение во время Единого приема [5-11] абитуриентов в вузы Литвы на первую ступень обучения. Анализируются статистические данные отбора будущих студентов 2005 года, так как данная статья готовилась к публикации в то время, когда Единый прием 2006 года только начинался.

В Едином приеме абитуриентов в вузы Литвы участвовало 35916 абитуриентов средних школ и гимназий, 26211 из них приглашено для обучения в вузах [12].

#### 2. Вузы Литвы и специальности в области инженерии транспорта

В Литве подготовку квалифицированных специалистов транспорта, уровень подготовки которых неплохо оценивается в странах Евросоюза, осуществляют три вуза [6, 9-13]:

- Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса;
- Клайпедский университет;
- Каунасский технологический университет (есть филиал Паневежский институт).

Дислокация вузов и предлагаемые ими специальности (программы обучения) в области инженерии транспорта (на дневном отделении) представлены на рис. 1. После четырех лет обучения и окончания обучения по той или иной специальности, представленной на рис. 1, выпускнику вуза присваивается квалификация бакалавра инженерии транспорта.



Рис. 1. Дислокация вузов Литвы и предлагаемые ими специальности в области инженерии транспорта (на дневном отделении)

Несмотря на в общем положительную оценку уровня подготовки специалистов транспорта, работодателям хотелось бы получить специалиста высоко квалифицированного, с универсальной подготовкой, с умением разбираться в различных технологиях, хорошего организатора, имеющего достаточно знаний и навыков не только в области инженерии транспорта, но и в области предпринимательства. Преподавателям, выпускникам вузов и работодателям понятно, что универсальным специалистом можно стать лишь спустя несколько лет после окончания вуза, получив практический опыт работы на конкретном предприятии. Для этого также необходимы фундаментальные технические знания, знания в области инженерии транспорта и соответствующие условия работы на предприятии.

Универсального специалиста транспорта можно подготовить в результате совместных усилий и тесного сотрудничества преподавателей вузов и работодателей.

В статье далее используются сокращения – аббревиатура, применяемая в Литве: VGTU – Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса; KTU – Каунасский технологический университет; KTU PI – Паневежский институт Каунасского технологического университета; KU – Клайпедский университет.

## 3. Составляющие конкурсных баллов при поступлении на специальности в области инженерии транспорта в вузы Литвы

Абитуриенты средних школ и гимназий Литвы могут сдавать как государственные, так и школьные выпускные экзамены на аттестат зрелости, а школьные дисциплины изучать по уровням сложности (T, A, B в порядке уменьшения сложности) [5-7, 9-11].

Абитуриенты средних школ и гимназий отбираются в вузы Литвы по величине конкурсного балла. В связи с тем, что вузы Литвы участвуют в Едином приеме, все оценки из аттестата зрелости пересчитываются в обобщенную систему оценок [5-7, 9-11]. Конкурсный балл для поступления на конкретную специальность рассчитывается так: оценка по конкретному предмету (экзаменационная или годовая) из аттестата зрелости умножается на коэффициент значимости предмета, затем все составляющие суммируются. При поступлении на некоторые специальности необходимо сдать тест, иногда за определенные достижения добавляются дополнительные баллы. Алгоритмы подсчетов баллов оговорены в Правилах приема в конкретный вуз.

Составляющие конкурсных баллов при поступлении на специальности в области инженерии транспорта в различные вузы Литвы и максимально возможные конкурсные баллы представлены в таблице. Максимально возможные конкурсные баллы рассчитаны, принимая во внимание, что экзаменационные оценки — 100 баллов (государственный выпускной экзамен на аттестат зрелости), годовые оценки — 10 баллов (уровень T) при вычислении оценки пересчитываются в обобщенную систему оценок [5-7, 9-11].

Таблица 1. Составляющие конкурсных баллов при поступлении на специальности в области инженерии транспорта в вузы Литвы и максимально возможные конкурсные балпы

		JIDI		
Экзаменационная	Коэффициент	Годовая оценка	Коэффициент	Максимально
оценка в аттестате	значимости	в аттестате зре-	значимости	возможный
зрелости		лости		конкурсный
				балл
Вильнюсский техни				
Инженерия транспор	21,35			
Управление полетами				

Пилотирование лета	тельных аппо	аратов				
математика	0,50	иностранный	0,15			
литовский язык	0,20	язык или физика				
физика или ино-	0.15					
странный язык	0,15					
Каунасский техноло	гический ун	иверситет,				
Паневежский инсти	гут Каунассі	кого технологическо	го универ-			
ситета:						
Инженерия транспор	тных средси	пв		21,90		
математика	0,50			21,90		
литовский язык	0,20					
физика	0,20					
иностранный язык	0,10					
Клайпедский универ	ситет:					
Инженерия плавучих	Инженерия плавучих средств					
Технология морского						
математика	0,38	математика	0,17			
физика или инфор-		физика или ин-		19,59		
мационные техноло-	0,25	формационные	0,10			
ГИИ		технологии				
иностранный язык	0,06	иностранный	0,04			
		язык				
Клайпедский университет:						
Управление плавучим						
Эксплуатация энерген						
математика	0,33	математика	0,12	20,03		
физика	0,25	физика	0,10			
иностранный язык	0,15	иностранный	0,05			
		язык				

## 4. Анализ статистических данных отбора будущих студентов на специальности в области инженерии транспорта

Во время Единого приема абитуриентов в вузы Литвы абитуриент мог претендовать на одну из двадцати специальностей, указанных в заявлении о поступлении [5-7, 9-11].

О популярности специальностей в области инженерии транспорта (по упоминанию их в первой и других строках заявления) можно судить по рис. 2. Цифра над столбиком показывает, сколько раз специальность того или иного вуза упоминалась в заявлении.

Во время Единого приема абитуриентов в вузы Литвы на обучение по различным специальностям в области инженерии транспорта в 2005 году на дневное отделение были приглашены 427 абитуриентов (рис. 3). Всего на обучение в вузы, как упоминалось ранее, были приглашены 26211 абитуриентов [12].

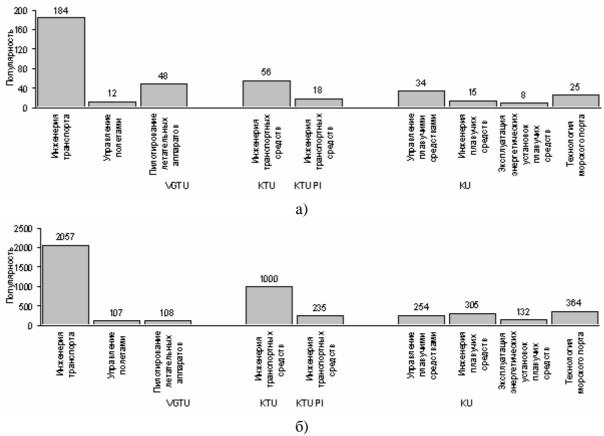


Рис. 2. Популярность специальностей в области инженерии транспорта по упоминанию в заявлениях о поступлении в вуз: а – в первой строке; б – во всех строках

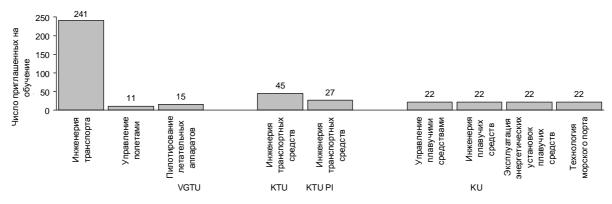


Рис. 3. Число приглашенных на обучение по специальностям в области инженерии транспорта в вузы Литвы

Уровень подготовки поступающих в вузы Литвы на нелегкие технические специальности в области инженерии транспорта неодинаков. Это наглядно демонстрируют статистические данные, представленные на рис. 4 и 5. Из графических зависимостей видно, что обучаться по специальностям в области инженерии транспорта приходят неплохо подготовленные абитуриенты – будущие студенты [12].

При поступлении на ту или иную специальность конкурсные баллы подсчитываются по-разному (см. таблицу). Для того, чтобы качественно сравнить поступающих на разные специальности, вводятся безразмерные соотношения. На рис. 4 представлены

соотношения между минимальным и максимальным конкурсными баллами приглашенных на обучение по той или иной специальности с максимально возможным конкурсным баллом (их значения представлены в таблице) для данной специальности. Максимальное соотношение может быть равно 1,00.

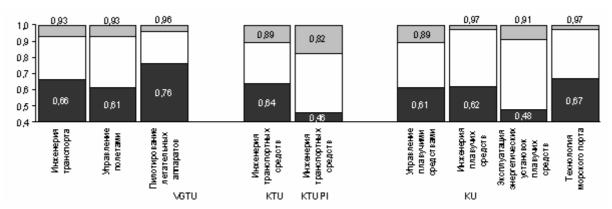


Рис. 4. Соотношения между минимальным (верхняя граница черной части) и максимальным (нижняя граница черной части) конкурсными баллами приглашенных на обучение по той или иной специальности с максимально возможным конкурсным баллом для данной специальности

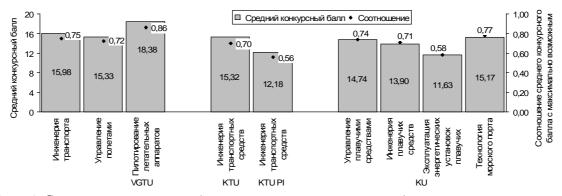


Рис. 5. Средний конкурсный балл всех приглашенных на обучение по той или иной специальности и соотношение среднего конкурсного балла с максимально возможным конкурсным баллом для данной специальности

Как видно из рис. 4, конкурсные баллы приглашенных на обучение по специальностям в области инженерии транспорта в Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса (VGTU) и Клайпедский университет (KU) выше, чем конкурсные баллы поступающих в Каунасский технологический университет (КTU). Как видно из рис. 5, средние конкурсные баллы всех приглашенных на обучение по той или иной специальности и соотношения средних конкурсных баллов с максимально возможными конкурсными баллами в упомянутых университетах также выше.

#### Выводы

Из представленных статистических данных Единого приема в вузы Литвы видно, что популярность специальностей в области инженерии транспорта при поступлении в Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса и Клайпедский университет выше, чем при поступлении в Каунасский технологический университет. По-видимому причины заключаются в следующем:

- Вильнюс (столица Литвы) и Клайпеда (порт Литвы) два крупных города, в которых сосредоточено множество транспортных фирм, и, следовательно, ощущается большая потребность в специалистах в области инженерии транспорта;
- в столицу Литвы Вильнюс привлекаются большие инвестиции, здесь сконцентрировано множество промышленных предприятий, логистических центров, стремительно увеличиваются темпы строительства;
- в Клайпедском порту отмечается нехватка специалистов в области инженерии транспорта;
- в Вильнюсе достаточно крепки традиции подготовки специалистов в области инженерии транспорта;
- в Каунасском технологическом университете имеется лишь одна специальность в области инженерии транспорта, в Вильнюсском техническом университете им. Гедиминаса три, в Клайпедском университете четыре, что также обуславливает популярность не только университета, но и специальностей в области инженерии транспорта.

Список литературы: 1. Баублис А., Богдявичюс М., Прентковский О. и др. Транспорт: технологии, экономика, окружающая среда, здоровье: монография (Baublys A., Bogdevičius M., Prentkovskis O. ir kt. Transportas: technologijos, ekonomika, aplinka, sveikata. Monografija). Вильнюс: Техника, 2003. 876 с. (на литовском языке). 2. Jurkauskas A., Micevičienė D., Prunskienė J. The main principles of modelling the interaction between transport infrastructure development and economy. Transport, Vol 20, No 3. Vilnius: Technika, 2005, p. 117-122. 3. Išoraitė M. Evaluating efficiency and effectiveness in transport organizations. Transport, Vol 20, No 6. Vilnius: Technika, 2005, p. 240-247. **4.** Kabashkin I. The new European transport research activities. *Transport*, Vol 19, No 4. Vilnius: Technika, 2004, p. 191-194. 5. www.lamabpo.lt – сайт Ассоциации высших учебных заведений Литвы по организации единого приема (на литовском языке). 6. Данюнас А., Клюкас Р., Плакис В., Прентковский О., Бернотене В. Узнай об обучении в Вильнюсском техническом университете им. Гедиминаса (Daniūnas A., Kliukas R., Plakys V., Prentkovskis O., Bernotienė V. Sužinok apie studijas Vilniaus Gedimino technikos universitete). Вильнюс: Техника, 2006. 164 с. (на литовском языке). 7. Данюнас А., Клюкас Р., Прентковский О. Единый прием в университетские вузы Литвы. Матеріали першої міжнародної науково-практичної конференції "Науковий потнціал СВІТУ 2004", 1-15 листопада 2004 року. Том 42. Стратегічні напрями реформування системи освіти. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004, с. 12-18. 8. Данюнас А., Клюкас Р., Прентковський О. Прогрес країни обумовлюється кваліфікацією інженерів і менеджерів. Сборник трудов XII международной научно-технической конференции "Машиностроение и техносфера XXI века", состоявшейся 12-17 сентября 2005 г. в городе Севастополе, Том 1. Донецк: ДонНТУ, 2005, с. 246-253. **9.** www.vgtu.lt – сайт Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса. 10. www.ktu.lt - сайт Каунасского технологического университета. 11. www.ku.lt – сайт Клайпедского университета. 12. Kliukas R., Prentkovskis O., Daniūnas A. Qualitative analysis of the knowledge of applicants to transport engineering courses of study. Transport, Vol 21, No 2. Vilnius: Technika, 2006, p. 103-112. 13. www.aikos.smm.lt – открытая система информации, консультаций и ориентирования Министерства образования и науки Литовской Республики (Lietuvos Respublikos Švietimo ir mokslo ministerijos Atvira informavimo, konsultavimo, orientavimo sistema (AIKOS)).

## АКУСТИЧНИЙ, МЕХАНІЧНИЙ ТА ТЕПЛОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ МЕТАЛЕВИХ МОСТІВ

### Прохоренко В.Я.<sup>1,3</sup>, Коваль П.М.<sup>2</sup>, Прохоренко С.В.<sup>1</sup>

<sup>«1»</sup> (НУ "Львівська Політехніка", Україна), <sup>«2»</sup> (Державний дорожній науководослідний інститут ім. М.П. Шульгіна "ДерждорНДІ", Україна), <sup>«3»</sup> (Жешівський університет, Польща)

Вследствие интенсификации грузопотоков особую значимость приобрела проблема оценки действительного состояния мостов. Классические методы исследования неудобны в полевых условиях. Нами применён метод скрайбирования материала алмазным индентором с регистрацией Акустического Emission излучения. Методика недостаточно стандартизирована, поэтому необходимо сравнение с эталоном. В качестве эталонного использован модернизированный микротвёрдомер, дополнительно оборудованный устройством измерения thermороwer. Измерения thermороwer чувствительно к структурнр-фазовым изменениям материала мостовых конструкций во время их эксплуатации.

Owing to an intensification of traffic densities the special significance was gained with a problem of an estimation of the real condition of bridges. Classical research techniques are inconvenient in field conditions. We apply a method of scribing of a material by the diamond-pointed pyramid with recording Acoustical Emission radiations. The procedure is insufficiently standardized, comparison with the etalon therefore is necessary. In the capacity of reference the upgraded microhardness gauge follow-up riged with the device of gauging thermopower utilised. Gaugings thermopower it is sensitive to structural-phase changes of a material of bridge constructions in a time of their maintenance.

В умовах інтенсифікації вантажопотоків особливо гостро повстають проблеми: оцінки реального стану мостів, що тривалий час перебувають у експлуатації; прогнозування їх довговічності та залишкового ресурсу; вибору стратегії ремонту, реконструкції та перебудови; раціональної експлуатації мостів, що передбачає встановлення безпечних швидкостей руху транспорту, контроль за можливим екстремальним навантаженням.

Особливості експлуатації залізничних та автодорожніх мостів полягають у тому, що постійно зростаючі сталі статичні навантаження супроводжуються значними динамічними навантаженнями знакозмінного характеру. Останнє принципово ускладнює розрахунок конструкційної міцності споруд. Діагностика реального стану мостів у процесі тривалої експлуатації ускладнюється також руйнівною дією атмосферної та грунтової корозії, періодичними коливаннями температури, впливами тектонічного походження та природнім деформаційним старінням навантажених елементів конструкцій. Усі ці та інші малопередбачувані фактори впливу зумовлюють необхідність моніторингу реального стану мостів з ефективним добором комплексу неруйнівних методів діагностики.

Незалежно від умов виникнення та механізму розвитку процесу — руйнування конструкційного матеріалу являє собою трансформацію випадкових мікропошкоджень у спрямований регулярний процес. Отже, доцільно розглядати як мінімум два рівні процесу: мікрорівень, коли руйнування зв'язків між структурними одиницями матеріалу має стохастичний характер та макрорівень, котрий визначається межею міцності матеріалу як результатом об'єднання та скерованого розвитку великої кількості мікропошкоджень.

Одним з найбільш чутливих ефектів, що несуть інформацію про окремі події мікропошкоджуваності матеріалу, є явище акустичної емісії (АЕ), пов'язане з випромінюванням пружних хвиль, генерованих у результаті внутрішньої динамічної локальної перебудови структури матеріалу. Проте, не зважаючи на деякі вдалі спроби емпіричного характеру [1], на сьогодні не існує надійного аналітичного зв'язку між параметрами АЕ та параметрами міцності. Саме тому поєднання експериментальних методів дослідження цих двох фізичних явищ не лише поглиблює знання про природу руйнування, але, перш за все, - забезпечує вирішення найважливішої практичної задачі, - попередження руйнування на ранніх стадіях його розвитку.

У польових умовах використання класичних методів визначення міцності та твердості є складним для реалізації. Тому для поточного контролю міцності ми обрали опосередкований динамічний метод визначення механічних властивостей, заснований на скрайбуванні (дряпанні) матеріалу алмазним індентором, котрий не деформується у процесі контакту з поверхнею під сталим навантаженням [2]. За критерій твердості скрайбування « $H_{u}$ » обрано приповерхневу ширину подряпини «b» при заданому навантаженні «P». У процесі формування подряпини у металі спочатку відбувається пластична деформація, а потім, коли напруження досягає величини, що відповідає опору руйнування « $S_{\rm K}$ », відбувається порушення цілісності поверхні. Істинний опір руйнуванню « $S_K^{\text{IST}}$ » при використанні алмазної піраміди з кутом  $90^{\circ}$  при вершині розраховуємо за формулою Давиденкова:  $S_{\rm K}^{\rm IST}$  =4(1/ $b_{50}$  – 22,5) кг/мм², де  $b_{50}$  –ширина подряпини, виконаної під навантаженням 50г. П'єзоперетворювач акустощільно приєднано до індентора, що дає змогу порівнювати характеристики спектру АЕ з хамеханічного руйнування (скрайбування) приповерхневого досліджуваного матеріалу. Таке об'єднання механічного та акустичного методів у одному комплексі дає змогу забезпечити постійний експрес-контроль по всій довжині конструкції з метою моніторингу реального стану характеристик міцності матеріалу.

При усій привабливості та експресності методики скрайбування необхідно враховувати, що на сьогодні вона ще недостатньо стандартизована. Тому спектр АЕ, трансформований факторами зовнішнього впливу, необхідно порівнювати з еталонним.

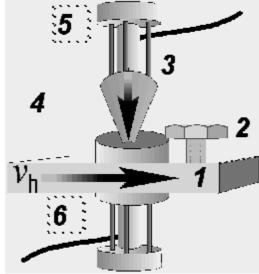


Рис. 1. Схема навантаження зразка з використанням мікротвердоміра ПМТ-3: 1- досліджуваний зразок; 2- затисковий фіксатор зразка; 3- індентор; 4- зусилля навантаження/дряпання; 5,6- варіанти встановлення п'єзоелемента

Паралельно з мобільною збіркою АЕ-скрайбування нами у якості еталонного використовується комплекс АЕ-модернізований мікротвердомір [3] для тестування процесів пошкоджень матеріалу конструкцій. На еталонному комплексі здійснюється тестування конструкційного матеріалу, приведеного у структурно-рівноважний стан (для порівняння з характеристиками матеріалу у реальних умовах експлуатації).

Для вимірювання мікротвердості зразків конструкційної сталі у стані поставки нами обрано тестований мікротвердомір ПМТ-3, у конструкцію котрого введено певні модернізації, що дають змогу вивчати спектри AE при двох типах випробування: a) мікровдавлювання з регульованими швидкістю  $v_V$  вертикального руху індентора та часом його контакту зі зразком;  $\delta$ ) дряпання з заданими горизонтальною швидкістю  $v_h$  та тривалістю руху зразка під певним навантаженням індентора.

У кожному типі випробувань передбачено два варіанти зняття сигналів АЕ: з поверхні зразка, зворотної до тої, що піддається деформуванню (використовується стандартний звуковід), або безпосереднє використання штока з індентором у якості звуководу (рис. 1.).

Відомо, що при заданому напруженні  $\sigma_i$  руйнування не відбувається миттєво, а розвивається у часі. Тому енергія акустичної емісії залежить як від часу, так і від навантаження  $E(t,\sigma_i)$ . Особливістю розвитку руйнування є його лавиноподібний характер: інтенсивність та швидкість руйнування зростають у міру наближення до граничного стану (повного руйнування) за експоненціальним законом. Встановлено, що лавиноподібний характер наростання інтенсивності випромінювання має місце і у сигналах АЕ. Однак при навантаженні матеріалу з високою швидкістю будуть відсутніми ефекти, пов'язані з саморозвитком руйнування, а випромінювання сигналів АЕ визначається зміною зовнішнього напруження. При заданій швидкості руху індентора (v=const), котра визначається кількістю  $N_{\rm v}$  елементарних об'ємів певного розміру, що руйнуються за час t, залежність нагромадженої енергії сигналів  $E_c(t)$  описується лінійним законом  $E_c = kvt$ , де k—коефіцієнт пропорційності що визначається фізико-механічними характеристиками матеріалу чи характером та ступенем термопластичної обробки певного матеріалу, тобто визначається ступенем його відхилення від стану термодинамічної рівноваги. Тому використання мікротвердоміра для генерації спектру акустичної емісії у вказаних вище режимах випробовувань є досить перспективним методом діагностики стану матеріалу.

'.Δ**T**,Δ**E** 



Рис. 2. Схема навантаження зразка з використанням мікротвердоміра ПМТ-3 та зовнішнього джерела точкового розігріву: 1- досліджуваний зразок; 2- затисковий фіксатор зразка; 3- індентор; 4- "холодна" термопара, напівжорстко змонтована з індентором; 5- передвимірювач термо-е.р.с з блоком узгодження; 6- зовнішнє джерело точкового розігріву гарячого спаю термопари

Згадана у вступі багатофакторність руйнівних чинників, що одночасно діють на конструкційні матеріали металевих мостів, у ряді випадків утруднює встановлення основної причини спостережуваних пошкоджень, а, відповідно, - шляхів її усування або мінімізації впливу. Задача ідентифікації причин погіршення експлуатаційних властивостей матеріалів вирішується шляхом залучення додаткових фізичних методів контролю.

До комплексу АЕ-твердість/зношуваність ми долучаємо комплекс температуратермо-е.р.с., принципову схему котрого подано на рис.2.

Метод термо-е.р.с. наразі не набув достатнього поширення у діагностиці металевих споруд. Однак цей метод у матеріалознавстві визнається багатообіцяючим для ідентифікації структурно-фазових змін, що відбуваються у процесі експлуатації стальних конструкцій а також завдяки простоті вимірювання термо-е.р.с. Висока чутливість методу термо-е.р.с. виявлена у процесах, що супроводжують експлуатацію конструкційних та арматурних сталей. Термо-е.р.с. сталі достатньо чутлива до ступеня наклепу, а також ступеня деформаційного старіння та міжкристалітної корозії [4]. У вуглецевих та низьколегованих сталях у тому (числі — арматурних) після гартування та самовідпуску метод термо-е.р.с. виявився досить чутливим до мартенситно-бейнітного перетворення, коли інші методи, навіть рентгеноструктурного аналізу, вже стають нечутливими [4, 5].

Загалом, - цей метод модифікованої термо-е.р.с. методично поєднується з вимірюванням АЕ та поверхневої температури, а тому може прояснити виникаючі при електророзігріві арматури значної величини локальні коливання температури, котрі зумовлені наявністю неметалевих включень і можуть істотно понизити міцність матеріалу. Важливо ці включення виявити ще при вхідному контролі арматури, що порівнянно легко зробити контролем арматури перед встановленням її у опалубку при виготовленні напруженого залізобетону [6].

Список литературы: 1. Скальський В.Р., Коваль П.М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. –Львів, Сполом, 2005. –396с. 2. Золотаревський В.С. Механические испытания и свойства металлов. -М., Металлургия, 1974. –303с. 3. Прохоренко В.Я., Прохоренко С.В., Філоненко С.Ф., Ґузек Р., Легутко П. Комплексний контроль процесів пластичної деформації та топлення-кристалізації металів методом акустичної емісії. // Збірник наук. праць < Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Електромагнытний, ультразвуковий та оптичний неруйнівний контроль матеріалів > ЛеоТЕСТ-06. випуск 11.- Львів. -2006. 4. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1980. - 320 с. 5. Прохоренко С.; Прохоренко В., Талан С. Термоактивовані релаксаційні процеси у хромелі після пластичної деформації. // Вісник Державного університету < Львівська Політехніка >. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів: Вид. ДУ <Львівська політехніка>. - №371. - 1999. - С. 112 - 116. 6. Прохоренко С.В., Прохоренко В.Я., Бужанский М.И. Тепловой и акустический контроль качества стальной арматуры. // Сб. трудов Донецкого госгортехуниверситета науч.

< Прогрессивные технологии и системы машиностроения >. - 2001. - вып.17. - с.202-206.

#### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ОСЕСИММЕТ-РИЧНЫХ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЯХ С УЧЕТОМ ВОЛНИСТОСТИ И ШЕРОХО-ВАТОСТИ

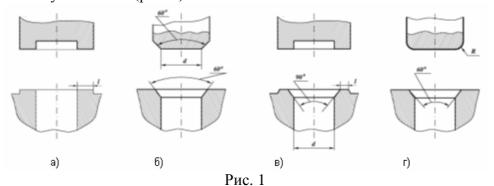
### Радыгин В.Ю., Порошин В.В., Богомолов Д.Ю., Шейпак А.А. $(ГОУ M \Gamma U Y, Mock 6a, Poccuя)$

This paper proposes numerical model of hermetic axially symmetric face seal, considering real surface waviness and roughness. Model is based on the Reynolds equation for laminar continuum flow in the thin layers expressed in polar coordinates. All calculations are executed according to finite element method (FEM). Acquired results are approbated on basic problems.

Все возрастающие требования к современной технике вызывают необходимость постоянного поиска новых конструктивных решений, новых материалов уплотнительных систем для большого разнообразия рабочих сред, совершенствования технологических процессов изготовления, сборки и контроля, разработки новых теоретических моделей и программного обеспечения при проектировании герметизируемых соединений.

Отсутствие расчетного аппарата приводит к необходимости проведения длительного и трудоемкого экспериментального подбора технологических параметров герметизируемого соединения, что существенно удлиняет и удорожает подготовительную стадию производства и препятствует разработке систем САПР. Использование современных численных методов расчета позволяет значительно сократить время и затраты на технологическую подготовку производства на стадии проектирования.

Одним из характерных видов уплотнительных устройств, сочетающих в себе многие наиболее общие свойства и рабочие характеристики, являются металлметаллические уплотнения (рис. 1).



**Рис. 1.** Типы металл-металлических уплотненний по форме контакта: а) плоский; б) конусный; в) линейный; г) конусно-сферический

Данные уплотнения широко применяются во многих отраслях промышленности для разделения агрессивных сред, а также в условиях сверхнизких и сверхвысоких температур. Их герметичность является одним из важнейших технологических параметров изделий и ее обеспечению необходимо уделять значительное внимание.

В предлагаемой работе рассмотрена обобщенная модель осесимметричного торцевого уплотнения, учитывающая совместное влияние на величину утечек волнистости

и шероховатости его поверхностей. Методика расчета потока рабочей среды в торцевых уплотнениях основана на методе конечных элементов, реализованном для уравнения Рейнольдса в полярных координатах.

Модель потока рабочей среды в уплотнении с учетом влияния шероховатости может описываться модифицированным уравнением Рейнольдса течения сплошной среды в тонких слоях, предложенным Патиром и Чженом [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h_T^3 \mathbf{r} (h_T) \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h_T^3 \mathbf{r} (h_T) \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0,$$

$$h_T = H + h_1(x, y) + h_2(x, y),$$
(1)

где  $h_{1,2}(x,y)$  – волнистость обеих поверхностей уплотнения как функции координат (x,y); H – зазор по средним линиям волнистости;  $h_T$  – реальный зазор в уплотнении;  $r(h_T)$  – функция, характеризующая влияние шероховатости.

Для осесимметричных торцевых уплотнений, имеющих характерную кольцевидную форму, данное уравнение следует решать в полярных координатах:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( h_T^3 \mathbf{r} (h_T) \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{h_T^3 \mathbf{r} (h_T)}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial}{r \partial j} \left( h_T^3 \mathbf{r} (h_T) \frac{\partial p}{r \partial j} \right) = 0$$
(2)

При решения задачи методом конечных элементов, она преобразуется к эквивалентной задаче нахождения минимума функционала:

$$c = \iint_{\tilde{Q}} \left[ h_T^3 \mathbf{r} \left( h_T \right) \left( \frac{\partial \hat{p}}{\partial x} \right)^2 + h_T^3 \mathbf{r} \left( h_T \right) \left( \frac{\partial \hat{p}}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy ,$$
(3)

где  $\tilde{Q}$  — кольцевая область (рис. 2),  $\hat{p}$  — пробная функция, удовлетворяющая граничным условиям:

1.1. 
$$\hat{p} = \hat{p}_A$$
 при  $r = r_A$ 

1.2. 
$$\hat{p} = \hat{p}_{B}$$
 при  $r = r_{B}$ 

 $P_{A}$   $\overline{Q}$   $r_{B}$   $r_{A}$  r O  $P_{B}$ 

Рис. 2. Модель исследуемой области

(4)

На области  $\widetilde{Q}$  вводится полярная сетка с постоянным шагом по радиусу и углу j (рис. 3). Каждый элемент сетки представляет собой косоугольную трапецию, которая при использовании метода конечных элементов дополнительно делится на два треугольника диагональной линией. Полученные при таком разбиении элементы будут разного размера, но это не мешает применению метода конечных элементов [2].

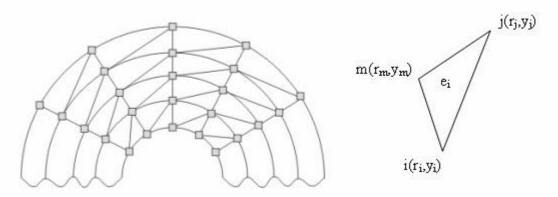


Рис. 3. Разбиение исследуемой области на конечные элементы

Пробные функции должны быть непрерывны, и иметь кусочно-непрерывные первые производные. Кроме того, они должны удовлетворять граничным условиям. Поэтому, в качестве пробных функций на конечных элементах могут быть выбраны линейные по радиусу и углу зависимости:

$$\widetilde{p}^{e_i}(x,y) = a_1^{e_i} + a_2^{e_i}r + a_3^{e_i}j, r,j \in e_i,$$
(5)

где  $e_i$  – отдельный конечный элемент;  $a_1^{e_i}$ ,  $a_2^{e_i}$ ,  $a_3^{e_i}$  – коэффициенты, зависящие от элемента. Для определения данных коэффициентов в уравнение (5) нужно подставить значения давления в узловых точках ( $\overline{p}_i$ ,  $\overline{p}_j$  и  $\overline{p}_m$ ):

$$\overline{p}_{i} = a_{1} + a_{2}r_{i} + a_{3}\mathbf{j}_{i},$$

$$\overline{p}_{j} = a_{1} + a_{2}r_{j} + a_{3}\mathbf{j}_{j},$$

$$\overline{p}_{m} = a_{1} + a_{2}r_{m} + a_{3}\mathbf{j}_{m}.$$
(6)

Разбиение области и условия непрерывности, накладываемые на пробные функции, позволяют записать функционал в виде:

$$c = \sum_{i=1}^{l} c^{e_i}, \tag{7}$$

где l - количество элементов;  $c^{e_i}$  - элементный вклад, определяемый равенством:

$$C^{e_i} = \iint_{e_i} \left[ h_T^3 r \left( h_T \right) \left( r \left( \frac{\partial \hat{p}}{\partial r} \right)^2 + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial \hat{p}}{\partial j} \right)^2 \right) \right] dr dj . \tag{8}$$

После подстановки выражения для пробной функции выражение для элементарного вклада преобразуется к виду:

$$\mathbf{c}^{e_i} = \frac{\iint h_T^3 \mathbf{r}(h_T) d\mathbf{r} d\mathbf{j}}{\Delta^2} \left( c_i \overline{p}_i + c_j \overline{p}_j + c_m \overline{p}_m \right)^2 + \frac{\iint \frac{h_T^3 \mathbf{r}(h_T)}{r} d\mathbf{r} d\mathbf{j}}{\Delta^2} \left( d_i \overline{p}_i + d_j \overline{p}_j + d_m \overline{p}_m \right)^2$$

(9)

где  $\Delta$  — определитель системы уравнений (6), а коэффициенты c и d выражаются через горизонтальные координаты узлов элемента.

В точке минимума производные функционала по каждому узловому значению  $\overline{p}_r$  обращаются в нуль:

$$\frac{\partial \mathbf{c}^{e_{i}}}{\partial \overline{p}_{r}} = \frac{\iint_{e_{i}} h_{T}^{3} \mathbf{r}(h_{T}) dr d\mathbf{j}}{\Delta^{2}} c_{r} \left( c_{r} \overline{p}_{r} + c_{s} \overline{p}_{s} + c_{t} \overline{p}_{t} \right) + \frac{\iint_{e_{i}} h_{T}^{3} \mathbf{r}(h_{T})}{r} dr d\mathbf{j}}{\Delta^{2}} d_{r} \left( d_{r} \overline{p}_{r} + d_{s} \overline{p}_{s} + d_{t} \overline{p}_{t} \right) . \tag{10}$$

Присутствующий в выражении интеграл может быть вычислен численно.

Полученные зависимости суммируются и приравниваются к нулю. Все вместе они образуют систему линейных уравнений:

$$K = \begin{pmatrix} k_{11} & \mathbf{L} & k_{1n} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ k_{n1} & \mathbf{L} & k_{nn} \end{pmatrix}, \quad k_{ij} = \sum_{e_k: p_i, p_j \in e_k} \frac{c_r c_s \iint_{e_i} h_T^3 \mathbf{r}(h_T) dr dj}{\Delta^2} + \frac{d_r d_s \iint_{e_i} \frac{h_T^3 \mathbf{r}(h_T)}{r} dr dj}{\Delta^2},$$

$$(11)$$

где индекс  $s(e_k) = i$ , индекс  $r(e_k) = j$ , n – количество узлов сетки. Данная система может быть решена на ЭВМ методом Гаусса или итерационными методами.

Полученная в результате карта давлений может быть использована для расчета утечек в уплотнении. Для этого надо просуммировать элементарные утечки вдоль всей его внешней (или внутренней) границы:

$$Q_{A} = \sum_{i=1}^{nj} \Delta j \frac{h_{mi}^{3}}{12m} \frac{(p_{A} - p_{nr-1,i})}{\Delta r}, \quad h_{mi} = \frac{h_{Tnr,i} + h_{Tnr-1,i}}{2},$$

$$Q_{B} = \sum_{i=1}^{nj} \Delta j \frac{h_{mi}^{3}}{12m} \frac{(p_{2,i} - p_{B})}{\Delta r}, \quad h_{mi} = \frac{h_{T1,i} + h_{T2,i}}{2}.$$
(12)

где  $\Delta j$  — шаг сетки по угловой координате,  $\Delta r$  — шаг сетки по радиальной координате, nj — число разбиений по угловой координате, nr — число дорожек (разбиений по радиальной координате),  $p_{2,i}$  — значение давления в узловых точках на первой внутренней дорожке,  $p_{nr-1,i}$  — значение давления в узловых точках на последней внутренней

дорожке,  $h_{Tj,i}$  — значения реального зазора в соответствующих узлах сетки. Массовые утечки могут быть определены аналогичным образом:

$$Q_{MA} = \sum_{i=1}^{nj} \Delta j \frac{h_{mi}^{3}}{6m} \frac{(p_{A})^{2} - (p_{nr-1,i})^{2}}{\Delta r},$$

$$Q_{MB} = \sum_{i=1}^{nj} \Delta j \frac{h_{mi}^{3}}{6m} \frac{(p_{2,i})^{2} - (p_{B})^{2}}{\Delta r}.$$
(13)

#### Выводы.

Рассмотренная модель позволяет учитывать совместное влияние волнистости и шероховатости поверхностей осесимметричного торцевого уплотнения на его герметичность. Сходимость данной модели проверена на типовых задачах.

Список литературы: **1.** Patir, N., and Cheng, H.S., "An Average Flow Model for Determining Effects of Three-Dimensional Roughness on Partial Hydrodynamic Lubrication", ASME Journal of Lubrication Technology, vol. 100 <sup>1</sup>1, Jan. 1978, pp. 12-17. **2.** Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. – М.: Мир, 1981. – 304с.

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ МНОГО-ПРОФИЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Резчиков Е. А., Некрушев В. А., Щербак Е. Г. (МГИУ, г. Москва, Россия)

The article presents the results of development of complex electrical safety monitoring of multifunctional power consumer.

В последние годы стали типичными аварии в системах электроснабжения, ряд этих аварий имели системный характер и привели к тяжелым последствиям.В большинстве случаев объект потребления электроэнергии является многопрофильным комплексом: от жилого дома до производственного корпуса завода, в котором в число потребителей электрического тока входят лампы освещения; приводы различного оборудования, включая лифты, станки, насосы, вентиляторы, тельферы, краны и т.д.; электронное оборудование; печи и иные нагревательные устройства и многое другое.

Характер аварии в комплексе, да и в любой другой структуре может бытьсовершено различным. Например, в электрической цепи присутствует потребитель,который выходит из строя. Как один из возможных вариантов, происходит замыкание электрической цепи. Остальные потребители, завязанные в эту цепь, естественно тоже выходят из строя. Следует учесть, что в данной цепи также могут присутствовать и не рядовые потребители электроэнергии, например, аварийное освещение и оборудование пожарного реагирования.

Возможен также вариант, когда происходит разрыв цепи. В малой цепи это не так страшно, но когда имеется цепь из нескольких тысяч потребителей, многие из которых должны функционировать в любом случае (например, серверные подстанции) встает важный вопрос, как добиться некоторой степени безотказности нашей системы.

Раньше в предприятиях электрических сетей и в сетях электроснабжения промышленных предприятий отсутствовали средства для расчета и анализа электрических режимов, главным образом из-за отсутствия средств телеизмерения

параметров. Сейчас на предприятиях внедряются средства телемеханики, цифровые устройства, средства диспетчерского управления и другие измерительные системы, оперативно-информационные комплексы и SCADA-систем. Но, в тоже время, программные средства для расчета и анализа электрических режимов практически не внедряются, хотя их стоимость значительно ниже стоимости аппаратных средств измерения.

Особая проблема в вопросе электробезопасности – это недолговечность тех или иных устройств и средств их коммуникации. Никогда нельзя с точностью сказать, когда выйдет из строя тот или иной участок цепи. Даже абсолютно новое устройство, в силу непредвиденной ситуации или внутренних недоработок может выйти из строя. Следует учитывать, что для большинства видов производств внедрение АСУ ТП с использованием SCADA-систем на верхнем уровне позволяет реализовать полную и автоматизированную (иногда даже автоматическую) систему управления производством. Но для управления электрическими режимами в настоящее время технически невозможно создать полноценную АСУ ТП используя только SCADA-системы. Это вызвано тем, что электрическая сеть линейна и на электрический режим в любой точке влияют все участники единой электрической системы, особенно близлежащие потребители, генерирующие источники и электрические сети. Математического аппарата большинства универсальных SCADA-систем, которые чаще всего применяются, недостаточно для реализации даже функции расчета установившегося режима электрической сети целей анализа и планирования. А без этого весь этот набор оборудования и программного обеспечения будет выполнять только функции измерения и хранения данных. Если рассматриваемая электрическая сеть достаточно крупная, то оперативно-диспетчерский персонал не сможет использовать большинство собираемой информации из-за ее огромного количества, что делает бессмысленным само внедрение SCADA-систем.

Поэтому создание полноценных АСУ ТП электрических сетей возможно только в интеграции различных средств измерения, оперативно-информационных комплексов, SCADA-систем и программных комплексов для анализа параметров электрических цепей и режимов. Для обеспечения наибольшего эффекта программные средства, входящие в состав АСУ ТП должны выполнять функции для целей планирования режимов и диспетчерского управления электрической сети в отображении на различных мнемосхемах измеренных параметров режима от приема и первичной обработки измерений аналогов и дискретных сигналов до выполнения расчетов различных режимов электросетей непосредственно с мнемосхемы.

Основной метод обеспечения безопасности — это мониторинг, включающий наблюдение за узлами данной цепи. Как бы то ни было, но данный метод остается пока единственным наиболее эффективным. На предприятиях существует специальная служба, отвечающая за электробезопасность. Разрабатываются специальные нормативные документы и инструкции по охране труда, которые обязаны быть прочитаны работникам. Наблюдение может осуществляться как человеком лично, так и с помощью специальных приборов и датчиков, установленных на данных участках цепи (это аппаратный мониторинг). Аппаратный мониторинг как раз и заключается в том, что наблюдение за состоянием комплекса происходит только с помощью специальной аппаратуры. Это могут быть различные приборы по измерению напряжения, силы тока, температуры, могут быть и устройства управления. Операции управления возложены на аппаратный блок достаточной сложной конструкции.

В данный момент наиболее интересным и современным считается программный мониторинг. Суть его в том, что в комплексе также установлена система датчиков и

измерительных приборов, при этом информация с них приходит не на устройство, а на главный компьютер, подключенный к некоторому устройству управления сетью. На этом компьютере установлено специальное программное обеспечение, задача которого отследить изменения в системе, выявить неисправности и исправить аварийную ситуацию.

Основная положительная сторона использования программного мониторинга — это гибкость настройки. Добавление, удаление узлов, изменение структуры, изменение каких-то особенностей, модификация алгоритма и критериев правильности работы электрической сети, все это достаточно легко произвести. Также программный продукт имеет достаточно удобный и наглядный интерфейс для работы с системой. Все зависит только в возможности компьютера и само программное обеспечение, установленное на данном компьютере, а при аппаратном для внесения изменений требуется реконструкция устройств, что достаточно дорого и трудоемко.

Реализация системы мониторинга электробезопасности многофункционального объекта возможна с помощью программного обеспечения, осуществляющего контроль управления системой, представленной в виртуальном виде, но выполняющей определенные действия при возникновении конкретных, в том числе аварийных, ситуаций.

#### РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ И МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРАКТИ-ЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАСС ТРУБОПРО-ВОДОВ

Сахно К.Н. (АГТУ, г. Астрахань, Россия)

In the given work the idea stated in the literature [1] is considered. Results of research can be used at system engineering CAD/CAM of designing of pipelines and open an opportunity: arrangements of pipelines in view of scientifically-grounded maximum deviations and maintenance of the given requirements of trace; perfection of manufacturing techniques of pipes under the design information with the purpose of increase of volume of preliminary made pipes without adjustment « in a place ».

В процессе проектирования, после определения оптимальной трассировки, необходимо определить форму и размеры отдельных труб, с учетом суммарных погрешностей изготовления. Основу методики расчетов составляют теоретические положения и математические соотношения, изложенные в литературе [1, 2].

Структура программы расчета включает в себя:

- 1. Исходные данные.
- а) Координатные размеры трубы, (мм).

Характерные точки с координатами:  $1(x_1, y_1, z_1), \ldots, i(x_i, y_i, z_i)$ .

- б) Число прямых участков, n.
- в) Погрешности операций:

продвижения  $(c_1,...,c_i)$ , мм; погиба  $(a_1,...,a_i)$ , град; разворота  $(b_1,...,b_i)$ , град; резки (k), мм.

При наличии сведений о характере распределения погрешностей, указываются величины, соответствующие выбранному закону рассеяния  $(t, \lambda)$ .

При отсутствии каких-либо данных о погрешностях операций в расчете могут быть использованы следующие величины, основанные на исследованиях работы применяемого оборудования для резки и гибки труб: для резки —  $\pm 3$  мм, для продвижений —  $\pm 2$  мм, для погибов и разворотов -  $\pm 0.3^{\circ}$ .

При определении отклонений координатных размеров, если рассматриваемая точка является концом трубы, то учитываются погрешности всех операций. Если рассматриваемая точка принадлежит i-ому отрезку, то учитывается влияние  $c_1,...,c_{i-1}$ ;  $a_1,...,a_{i-1}$ ;  $b_1,...,b_{i-2}$ . Если рассматриваемая точка является вершиной i-ого погиба, то учитывается влияние  $c_1,...,c_i$ ,  $a_1,...,a_{i-1}$ ,  $b_1,...,b_{i-2}$ .

- 2. Определение отклонений координатных размеров под влиянием погрешностей изготовления
- а) резки; б) продвижения; в) погиба; г) разворота
  - 3. Результат. Отклонения координатных размеров

При отсутствии данных о характере распределения погрешностей выбор метода расчета зависит от конструктора. При проведении размерного анализа рекомендуется использовать вероятностный метод при t = 3,  $\lambda^2 = 1/9$ .

В этом случае, предельные отклонения координатных размеров труб определяются соотношениями:

$$(\Sigma_{x})_{\text{max}} = \sqrt{\sum_{1}^{i-1} (xc_{i})_{\text{max}}^{2} + \sum_{1}^{i-1} (xa_{i})_{\text{max}}^{2} + \sum_{1}^{i-2} (xb_{i})_{\text{max}}^{2} + (xk)_{\text{max}}^{2}}$$

$$(\Sigma_{x})_{\text{min}} = \sqrt{\sum_{1}^{i-1} (xc_{i})_{\text{min}}^{2} + \sum_{1}^{i-1} (xa_{i})_{\text{min}}^{2} + \sum_{1}^{i-2} (xb_{i})_{\text{min}}^{2} + (xk)_{\text{min}}^{2}}$$

$$(\Sigma_{y})_{\text{max}} = \sqrt{\sum_{1}^{i-1} (yc_{i})_{\text{max}}^{2} + \sum_{1}^{i-1} (ya_{i})_{\text{max}}^{2} + \sum_{1}^{i-2} (yb_{i})_{\text{max}}^{2} + (yk)_{\text{max}}^{2}}$$

$$(\Sigma_{y})_{\text{min}} = \sqrt{\sum_{1}^{i-1} (yc_{i})_{\text{min}}^{2} + \sum_{1}^{i-1} (ya_{i})_{\text{min}}^{2} + \sum_{1}^{i-2} (yb_{i})_{\text{min}}^{2} + (yk)_{\text{min}}^{2}}$$

$$(\Sigma_{z})_{\text{max}} = \sqrt{\sum_{1}^{i-1} (zc_{i})_{\text{max}}^{2} + \sum_{1}^{i-1} (za_{i})_{\text{max}}^{2} + \sum_{1}^{i-2} (zb_{i})_{\text{max}}^{2} + (zk)_{\text{max}}^{2}}$$

$$(\Sigma_{z})_{\text{min}} = \sqrt{\sum_{1}^{i-1} (zc_{i})_{\text{min}}^{2} + \sum_{1}^{i-1} (za_{i})_{\text{min}}^{2} + \sum_{1}^{i-2} (zb_{i})_{\text{min}}^{2} + (zk)_{\text{min}}^{2}}$$

Использование разработанного метода расчета при выборе конфигурации труб позволяет спроектировать трассу, состоящую из труб с наименьшими отклонениями в заданных направлениях. Ниже приводятся примеры расчетов для основных форм труб, классифицированных по взаимному расположению первого и последнего участков (замыкающих участков):

I - трубы с расположением замыкающих участков на одной линии;

II - трубы с взаимно перпендикулярными участками в одной плоскости;

III - трубы с взаимно параллельными участками в одной плоскости;

IV - трубы с взаимно перпендикулярными участками в разных плоскостях.

Изменяя длины прямых участков, углы погибов, количество погибов и их взаимное расположение определяются заданные отклонения координатных размеров труб (рис.1-4), (табл.1). Фиксированными остаются координатные размеры концов труб и расположение замыкающих участков.

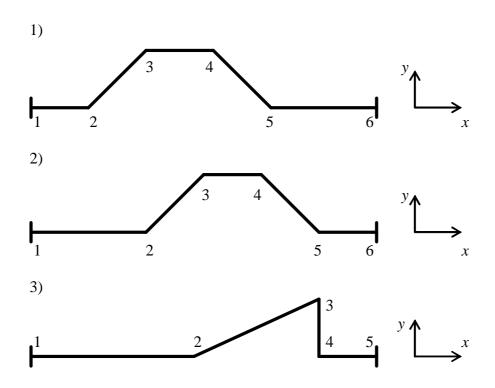


Рис.1. Примеры труб I группы

Таблица 1. Расчетная таблица к рисункам 1-4

Груп-	$N_{\underline{0}}$		Координатные размеры труб, <i>мм</i>						Отклонения,
па	трубы		1	2	3	4	5	6	мм
		x	0	400	800	1300	1700	2350	±4.3
	1	у	0	0	400	400	0	0	±14.7
		Z	0	0	0	0	0	0	±7.6
т.		x	0	850	1250	1650	2050	2350	±4.3
I	2	у	0	0	400	400	0	0	±10.7
		$\mathcal{Z}$	0	0	0	0	0	0	±5.7
		x	0	1000	1692.8	1692.8	2350	ı	±4.2
	3	у	0	0	400	0	0	ı	±8.9
		$\mathcal{Z}$	0	0	0	0	0	ı	±4.9
		x	0	350	650	1250	1250	ı	±8.0
	1	у	0	0	300	300	1000	ı	±7.0
		Z	0	0	0	0	0	1	±3.7
11		x	0	350	350	1250	1250	-	±6.5
II	2	у	0	0	650	650	1000	ı	±7.8
		$\mathcal{Z}$	0	0	0	0	0	ı	±5.1
	3	х	0	350	1250	1250	ı	1	±3.3
		у	0	0	519.6	1000	ı	-	±6.6
		Z.	0	0	0	0	-	-	0
		х	0	300	600	1000	1300	1950	±4.0

	1	у	0	0	300	300	300	300	±11.7
		z.	0	0	0	0	-300	-300	±8.0
		$\frac{\lambda}{x}$	0	300	600	1000	1300	1950	±4.0
	2	$\frac{x}{y}$	0	0	0	0	300	300	±8.0
	_	$\frac{y}{z}$	0	0	-300	-300	-300	-300	±11.7
III		$\frac{\lambda}{x}$	0	300	1000	1300	1950	-300	±3.7
	3		0	0	300	300	300	_	±9.4
		<u>y</u>	0	0	0	-300	-300		
		Z	1	2	3	-300 4	5	6	±6.0
		Х	0	300	1300	1950	-	-	±3.7
	4	у	0	0	300	300	-	-	±6.7
		z	0	0	-300	-300	-	-	±6.7
	1	х	0	300	600	1200	1200	1200	±8.8
		у	0	0	300	300	300	900	±8.9
		z	0	0	0	0	-800	-800	±4.9
		х	0	300	600	1200	1200	1200	±8.6
	2	у	0	0	0	0	0	900	±5.7
IV		Z	0	0	-300	-300	-800	-800	±9.7
1 V	3	х	0	300	761.9	1200	1200	-	±8.1
		у	0	0	0	0	900	-	±5.0
		Z	0	0	-800	-800	-800	-	±7.6
		х	0	1200	1200	1200	-	-	±6.6
	4	у	0	0	0	900	-	-	±4.1
		Z	0	0	-800	-800	-	-	±5.1

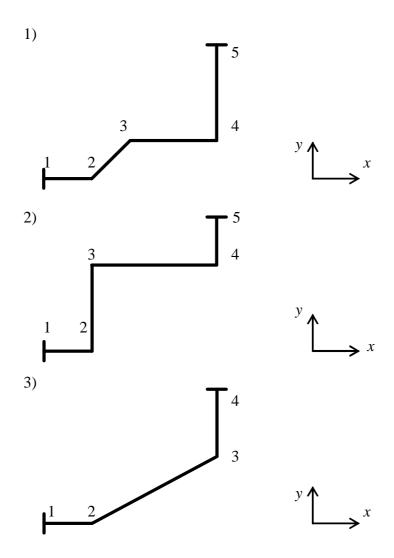


Рис.2. Примеры труб II группы

Разработанный метод расчета позволяет проследить влияние погрешностей операций изготовления отдельных труб на накопление суммарных отклонений всей трассы. Применяя разработанную схему расчета отклонений координатных размеров труб для трасс трубопроводов, получим:

$$\Delta \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{\sum\limits_{1=1}^{m \, i-1} (xc_{im})^2 + \sum\limits_{1=1}^{i_T-1} (xa_{i_T})^2 + \sum\limits_{1=1}^{i_T-2} (xb_{i_T})^2 + \sum\limits_{1=1}^{m} (xk_m)^2} \\ \sqrt{\sum\limits_{1=1}^{m \, i-1} (yc_{im})^2 + \sum\limits_{1=1}^{i_T-1} (ya_{i_T})^2 + \sum\limits_{1=1}^{i_T-2} (yb_{i_T})^2 + \sum\limits_{1=1}^{m} (yk_m)^2}} \\ \sqrt{\sum\limits_{1=1}^{m \, i-1} (zc_{im})^2 + \sum\limits_{1=1}^{i_T-1} (za_{i_T})^2 + \sum\limits_{1=1}^{i_T-2} (zb_{i_T})^2 + \sum\limits_{1=1}^{m} (zk_m)^2}} \end{pmatrix}, mm$$

где m и  $i_T$  – соответственно порядковый номер трубы и участка в трассе.

Такой подход, устанавливая взаимосвязь между конфигурацией трубы и ее отклонениями, расширяет возможности применения размерного анализа при проектировании трасс трубопроводов в насыщенных помещениях.

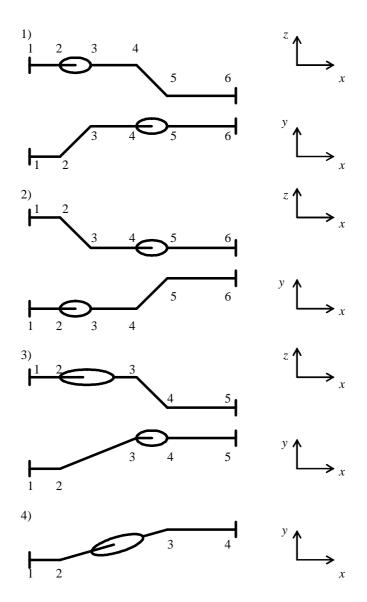


Рис.3. Примеры труб III группы

Выводы. Разработанный по результатам исследований метод расчета, основанный на взаимосвязи конфигурации и отклонений координатных размеров труб, позволяет проектировать трассы трубопроводов с заданными отклонениями и увеличить объем проектируемых труб до 60-70%. Увеличение объема проектируемых труб обеспечивает сокращение сроков строительства и повышение производительности путем запараллеливания трубопроводных работ при формировании объекта и снижения, в среднем на 13-15%, трудоемкости изготовления труб. Результаты исследования могут быть использованы при разработке системы CAD/CAM проектирования трубопроводов и открывают возможность: расположения трубопроводов с учетом научно-обоснованных предельных отклонений и обеспечения заданных требований трассировки; совершенствования технологии изготовления труб по проектной информации с целью увеличения объема предварительно изготавливаемых труб без пригонки «по месту». Результаты

разработки применимы при проектировании трасс трубопроводов, независимо от их функционального назначения.

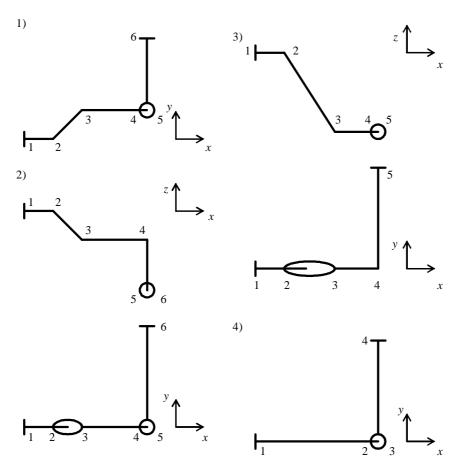


Рис.4. Примеры труб IV группы

Список литературы: 1. Сахно К.Н. Особенности моделирования трубопроводных систем сложных технологических комплексов. /Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения», выпуск 27. — Донецк: ООО «Лебедь», 2004. — С.206-210. 2. Сахно К.Н. Исследование влияния погрешностей изготовления на точность координатных размеров труб сложных судовых технологических комплексов. / Дис....канд. техн. наук. — СПб.: СПбГМТУ, 2000.

#### СБОРОЧНЫЕ СВЯЗИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Семенов А.Н. (РГАТА, г. Рыбинск, Россия)

In clause the questions of basing of details in assembly educations are considered. It is offered to consider three circuits of basing, which choice is defined by a level of the analysis. Real assembly connections are the places of actual contact, which perceive and pass assembly and operational loadings.

Известно, что передача рабочих нагрузок деталями осуществляется через совокупность базовых поверхностей, а условия взаимодействия этих поверхностей предопределяют износостойкость, жесткость, несущую способность, которые относятся к яв-

ным показателям работоспособности. В то же время, имеется группа показателей, которые в силу неявного проявления и отсутствия адекватных теоретических обобщений выявляются и обеспечиваются чаще всего на стадии доводки и опытной эксплуатации новых изделий. К ним можно отнести уровень внутренних напряжений, точность расположения исполнительных поверхностей, неуравновешенность и др., которые формируются при сборке в процессе создания стыков между деталями.

Безусловное выполнение служебного назначения абсолютным большинством деталей требует одновременного обеспечения плотного контакта всех базовых поверхностей. Образование контакта между сопрягаемыми деталями означает ограничение их перемещений в пространстве, т. е. наложение связей, которые в теоретической механике не имеют определенных физических свойств. В сборке, как процессе обеспечения функционального качества изделий, под механической связью следует понимать непосредственный точечный контакт двух поверхностей, который способен воспринимать или передавать реальные физические нагрузки. Исходя из условий работоспособности таких связей, можно определить следующие их свойства:

- сборочная связь может быть только односторонней, т. е. ограничивать перемещение тела только в одном направлении, поскольку атомным, молекулярным или магнитным взаимодействием можно пренебречь из-за отсутствия условий их образования;
- длина сборочной связи равна нулю, что не позволяет их адекватного моделирования иными, чем точка примитивами;
- прочность контактной связи предельна и определяется механическими свойствами материалов, геометрией поверхности, взаимным влиянием соседних связей, наличием промежуточных сред.

При таком подходе оказывается, что возможность передачи сборочных и эксплуатационных нагрузок стыками деталей может обеспечиваться только многократным резервированием связей, т. е. созданием насыщенного контакта поверхностей. Для рассмотрения схем базирования поверхностей более удобно использовать равнодействующие этих связей по каждой базовой поверхности, которые предлагается именовать структурными связями. При анализе схем базирования деталей следует рассматривать структурно-функциональные связи, которые отражают схемы базирования каждой поверхности с учетом функционального назначения всей совокупности баз.

В зависимости от конструктивного исполнения детали могут сопрягаться друг с другом по следующим идеализированным схемам:

точечного контакта (шарики – кольца шарикоподшипников, рабочие поверхности шариковых направляющих и т. д.);

линейного контакта (ролики и кольца роликоподшипников, колеса зубчатых передач, кулачки и т. д.);

поверхностного контакта (направляющие скольжения, затянутые плоские стыки, цилиндрические и конические сопряжения).

В реальных сопряжениях эти схемы также следует считать структурными, поскольку сборочные связи реализуются на совокупности малых площадок, распределенных, соответственно, по кругу, линии или площади.

Формирование связей при сборке плоских поверхностей изначально предполагает избыточность контактных связей между микронеровностями. Однако последствия избыточности связей следует рассматривать в зависимости от условий сопряжения. В случае свободного присоединения плоских поверхностей наиболее общим случаем взаимодействия является упруго-пластическое контактирование наиболее высоких выступов. С увеличением сжимающей нагрузки контактные площадки еще больше де-

формируются, что приводит к сближению деталей. В области малых давлений сближение будет расти интенсивнее, чем в области больших вследствие увеличения фактической площади контакта и, соответственно, числа избыточных связей.

Количественное изучение числа связей при контакте плоских поверхностей впервые было проведено в одной из первых работ по контактной жесткости. Исследование чугунных стыков размером  $40 \times 160$  мм [1] показали, что в случае контакта грубо ( $Rz = 4 \dots 7$  мкм) и чисто шабреных ( $Rz = 2 \dots 3$  мкм) чугунных поверхностей при давлении 1,66 МПа количество площадок контакта составляет соответственно от 12 до 18 и от 24 до 36 единиц на номинальной площади контакта размером  $25 \times 25$  мм². При использовании других способов механической обработки (шлифование, притирка) оценка не проводилась по причине более плотного распределения множества малых пятен контакта и их слияния. Приведенные факты свидетельствуют о том, что любой контакт в стыках деталей дискретен, а каждая площадка фактического контакта обеспечивает несущую способность стыка и является контактной связью.

Общей тенденцией в обеспечении эксплуатационного качества машин является повышение жесткости их стыков путем повышения точности изготовления деталей и снижения шероховатости. Высокая энергонасыщенность машин приводит к совместности деформаций многих деталей и увеличению числа точек контакта базирующих поверхностей, поэтому обеспечение плотности их стыков, которое является целью конечных стадий технологических процессов и обкатки трущихся сопряжений, по существу сводится к повышению избыточности сборочных связей между поверхностями. Создание высокой степени избыточности связей по всем базовым поверхностям деталей формирует их статическую неопределимость, поэтому избыточные связи играют двоякую роль: повышая все эксплуатационные свойства — точность, жесткость, надежность, являются источником проблем в производстве и эксплуатации. Поэтому познание закономерностей сборочного базирования и управление процессом формирования сборочных связей является непременным условием обеспечения работоспособности современных машин.

Для нахождения количества сборочных связей предлагается рассматривать следующие схемы базирования детали, определяемые видом, количеством прикладываемых связей и областью применения: теоретическую, структурно-функциональную, функционально-необходимую. Теоретическая схема полностью соответствует идеализированным представлениям механики и теории базирования Б. С. Балакшина, по которым для создания определенности положения детали в пространстве необходимо и достаточно лишить ее шести пространственных перемещений путем наложения соответствующих связей. Ограниченность использования этой схемы заключается в том, что исходные принципы теории базирования применимы только к абсолютно твердым телам, поэтому данная схема может использоваться на начальной стадии создания машины – при разработке технического проекта и расчете достижимой точности.

Структурно-функциональная схема базирования основана на выявлении структурных связей, образующихся на всех вспомогательных базах детали при силовом замыкании стыков и обеспечивающих функциональное назначение этих баз.

Схема базирования детали, максимально полно отражающая реальный характер взаимодействия всех базовых поверхностей на уровне сборочных и эксплуатационных связей является функционально-необходимой.

Каждая из предложенных схем базирования предназначена для использования только на определенном этапе технологической подготовки производства, поэтому до-

полнительным классификационным признаком всех схем базирования детали является четкое определение области их применения.

Таким образом, анализ особенностей взаимодействия деталей в сборочных образованиях позволяет расширить представления об условиях обеспечения их пространственной определенности и ограничить допустимые границы применимости классической теории базирования в машиностроении рамками проектных задач. Необоснованное расширение области использования классической теории базирования на конструктивные образования высокой точности и ответственного назначения является причиной несоответствия расчетных и фактических параметров точности, снижения надежности и эксплуатационного качества высокотехнологичных изделий.

Список литературы: 1. Вотинов К. В. Жесткость станков. – Л.: ЛОНИТОМАШ, 1940. – 62 с. 2. Безъязычный, В. Ф., Семенов А. Н. Структурно-функциональная модель базирования деталей // Фундаментальные и прикладные проблемы теории точности процессов, машин, приборов и систем. – СПб: ИПМаш РАН, 2002. – С. 285 – 289.

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРЕНДИПОВЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ДЕТАЛЯХ И УЗЛАХ, ИМЕЮЩИХ СЛОЖНУЮ СТРУКТУРУ

Семенович О.В. (ОИЭЯИ-Сосны НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)

The work presents the information about the program package developed by the author for computation simulation of temperature fields in bodies of complex spatial configuration and inner structure. The considered program package has been used for investigation of temperature fields in the elements of constructions of cores of nuclear reactors, units of energy equipment, metal-cutting tool, details of internal-combustion engines, super-large integral microcircuits, power chip packages. For numerical solution the method of finite elements in variation formulation is used. The problems of the first and/or the third kinds are solved.

Задачи моделирования температурных полей в элементах конструкций актуальны в различных областях машиностроения и техники, так как температурный режим подвергаемых нагреву деталей и узлов является одним из основных факторов, влияющих на их ресурс, надежность и работоспособность. Исследуемые объекты в большинстве случаев имеют сложную пространственную конфигурацию и внутреннюю структуру: состоят из материалов, имеющих различные теплофизические свойства; могут содержать внутренние источники тепла.

В настоящее время распространено немало пакетов программ, реализующих метод конечных элементов (МКЭ). Но во многих из них используются линейные элементы. Это приводит к тому, что реальные границы расчетной области, если они не являются плоскостями (отрезками прямых линий), искажаются. Более существенный недостаток заключается в том, что применение линейных функций формы эквивалентно предположению о постоянстве (в пределах конечного элемента) градиентов искомой функции. Таким образом, фактически блокируются основные преимущества МКЭ. Отметим также, что пользователь, как правило, не имеет доступа к исходным текстам программ таких пакетов.

Использование нелинейных (квадратичных, кубичных) функций формы устраняет названные недостатки и позволяет получать более точное решение при меньших затратах компьютерных ресурсов. Это требует, однако, сложных алгоритмов нодализации. Такой алгоритм, предложенный автором и реализованный в разработанном им программном комплексе (ПК), рассматривается в докладе. ПК позволяет решать стационарные и нестационарной задачи теплопроводности. На внешних границах задаются граничные условия 1-го или 3-го рода или их комбинация. При задании граничных условий 3-го рода предполагается, что величина коэффициента теплоотдачи может быть представлена суммой двух слагаемых: конвективной и радиационной составляющих. На внутренних границах конструкционных элементов исследуемого объекта учитывается термическое сопротивление на поверхностях контакта.

Дискретные аналоги решаемых задач строятся с помощью МКЭ в вариационной формулировке [1]. В этом случае требуется решить одну из систем уравнений:

$$[K]{T} = {F} \tag{1}$$

или

$$[C] \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\} + [K] \{T\} + \{F\} = 0 \tag{2}$$

для стационарной и нестационарной задач, соответственно. Выражения для матриц теплопроводности и теплоемкости и вектора тепловой нагрузки систем (1) и (2) приведены в [1, 2]. Использованы следующие обозначения: [C] – глобальная матрица теплоемкости;  $\{F\}$  – глобальный вектор тепловой нагрузки; [K] – глобальная матрица теплопроводности; [K] – температура, [K] – время, [K] с.

Для дискретизации расчетной области применяются двумерные (четырехугольные) и трехмерные (семейство шестигранных призм) серендиповы элементы: линейные, квадратичные и кубичные [1, 2]. Эти семейства элементов выбраны потому, что по сравнению с разбиением на элементы в форме тетраэдров (в двумерном случае — треугольников) удается существенно уменьшить число узлов и, следовательно, количество уравнений в решаемой системе. Кроме того, обеспечивается большая наглядность рас-

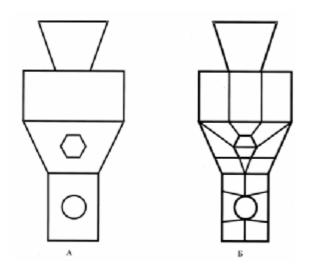


Рис. 1. Пример разбивки расчетной области на макроэлементы: A – исходная область; Б – макроэлементная сетка

четной сетки. В явном виде функции формы для всех указанных элементов приведены в работе [2]. В зависимости от конфигурации исследуемого тела и его составных элементов могут быть использованы как изопараметрические, так и субпараметрические элементы. Дискретизация исследуемой области на элементы проводится в два этапа [3]: 1) выделяются макроэлементы (см. рис. 1); 2) макроэлементы разбиваются на конечные элементы.

Разбиение на макроэлементы осуществляется пользователем. На рис. 1 представлен пример разбивки на макроэлементы расчетной области (для простоты выбрана двумерная область). Дискретизация макроэлементов выполняется соответствующими программами ПК. При этом учитываются теплофизические свойства макроэлементов, наличие источников тепла, характер тепловыделения.

После завершения процедуры дискретизации выполняется перенумерация элементов и узлов с целью минимизации профиля матрицы решаемой системы. Для этого применяются алгоритмы, рекомендованные в монографии [4]. В процессе решения применяется метод LDL<sup>T</sup>-факторизации, использующий для хранения матриц профильную схему, схожую со схемой рассмотренной авторами [5]. Поэтому минимизируется именно профиль матрицы, а не ширина ленты. Следует отметить, что матрица системы всегда разреженная. Важно учитывать это обстоятельство: в результате удается существенно снизить требуемое количество памяти и процессорного времени. По сравнению с методами, использующими ленточные схемы хранения, памяти необходимо меньше на треть (в зависимости от конфигурации объекта эта оценка может несколько варьироваться). Выигрыш же в процессорном времени, по сравнению с гауссовскими процедурами, составляет 20–25 раз. Это опровергает высказываемое в солидных изданиях, например – [6], но, тем не менее, ошибочное мнение о том, что при решении задач рассматриваемого типа не стоит учитывать разреженность матриц.

Заметим, что даже в случае, когда можно пренебречь зависимостью теплофизических свойств и характера тепловыделения от температуры, граничные условия и, следовательно, глобальные матрицы теплоемкости и теплопроводности и вектор тепловой нагрузки от температуры зависят. Поэтому для решения системы (1) и (2) на каждом шаге по времени применяется итерационная процедура. В рассматриваемом ПК реализовано несколько итерационных методов. Выбор того либо иного из них осуществляется с учетом специфики решаемой задачи. Для решения нестационарной задачи применяется неявный метод переменных направлений (схема Дугласа-Гана) [7].

Чтобы убедиться в точности пространственной дискретизации, используется прием, основанный на известном факте [1]: увеличение порядка аппроксимации на единицу более эффективно, чем уменьшение пространственного шага вдвое. Вычисления проводятся с использованием (для аппроксимации температурного поля) квадратичных элементов. По достижении сходимости, приняв полученное решение в качестве нулевого приближения, выполняется пересчет на сетке кубичных элементов. Если новый результат совпадает, в пределах требуемой точности, с предыдущим - более детальная дискретизация не требуется. В противном случае, элементы, для которых необходимо дальнейшая детализация, разбиваются, узлы и элементы перенумеровываются, и расчет повторяется. Элементы, содержащие точки, в которых отмечено расхождение результатов, заменяются девятью (в случае двумерной расчетной области) или двадцатью семью (в трехмерном случае) новыми элементами. Смежные с их вершинами и/или ребрами (вершинами и/или ребрами, и/или гранями) элементы также разбиваются на более мелкие. На рис. 2 представлена схема, на простом примере иллюстрирующая применяемый способ дополнительной дискретизации конечных элементов. При этом учитывается очевидный факт, что треугольник можно рассматривать как четырехугольник, две из сторон которого являются продолжающими друг друга отрезками одной и той же линии. Такая процедура позволяет локализовать подвергающуюся дискретизании полобласть.

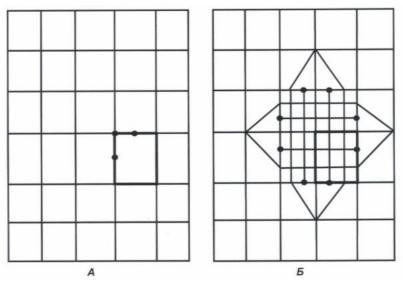


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая применяемый способ дополнительной дискретизации. А – фрагмент исходной конечноэлементной сетки (отмечены точки, в которых не достигнута сходимость). Б – тот же фрагмент после процедуры дискретизации (здесь жирными точками указаны границы ребер, представляющих собой отрезки одной линии)

Список литературы: 1. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. – М.: Мир, 1986. – 318 с. 2. Семенович О.В. Расчет температурных полей в интегральных микросхемах. Математическая модель процессов теплообмена и методика расчета. – Минск, 1997. – 45 с. – (Препринт / НАН Беларуси. Ин-т проблем энергетики; ИПЭ-28). 3. Семенович О.В. Расчет температурных полей в конструкционных элементах, имеющих сложную структуру // Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. науч. трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополе 13–18 сентября 2004 г. / Донецкий национальный технический университет: В 4 т. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – Т. 3. – С. 89–93. 4. Писсанецки С. Технология разреженных матриц. – М.: Мир, 1988. – 410 с. 5. Джордж А., Лю Дж. Численное решение больших разреженных систем уравнений. – М.: Мир, 1984. – 333 с. 6. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник / В.И. Мяченков, В.П. Мальцев, В.П. Майборода и др.; Под общ. ред. В.И. Мяченкова. – М.: Машиностроение, 1989. – 520 c. 7. Douglas J., Gunn J.E. A General Formulation of Alternating Direction Methods -Part I. Parabolic and Hyperbolic Problems. – Numerische Mathematik. – 1964 – V. 6. – P. 428 - 453.

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ АЛ-МАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

**Смиловенко О.О., Хотейкина Ю.С.** (ИМИНМАШ НАН Беларуси, г.Минск, Беларусь)

On the basis of the obtained experimental data the model linking among themselves parameters of a manufacturing process of cold chemical treatment and a wear resistance of a diamond tool to hardening cover is compounded. With usage of a method of synthesizing of the characteristics of technical systems the parameters of a manufacturing process ensuring best

operational parameters of the tool are determined, the stability which one is heightened in 1,5 - 2,0 times.

Повышающиеся требования к точности обработки, к производительности процесса с одновременным снижением затрат обусловлены нуждами современного машиностроительного производства. Следует отметить, что при прочих выигрышных характеристиках гальванического алмазного инструмента, стойкость его, по сравнению со спеченным, невысока. Поэтому разработка методов и средств, позволяющих повысить стойкость такого инструмента, является актуальной задачей. Улучшение эксплуатационных характеристик, в частности, повышение стойкости, алмазного инструмента может быть достигнуто прежде всего изменением свойств режущего (поверхностного) слоя. Одним из путей совершенствования алмазоабразивного инструмента, обеспечивающих его оптимальные эксплуатационные свойства является получение комбинированных алмазосодержащих покрытий.

Нанесение упрочняющего покрытия непосредственно на алмазоносный слой методом низкотемпературной химической обработки (НХО) позволяет повысить стой-кость алмазного инструмента, изготовленного способом гальваностегии, снизить удельный расход алмаза при его эксплуатации и повысить режущую способность. Это достигается за счет образования на поверхности металлической связки антифрикционной пленки, способствующей снижению момента резания, и создания в поверхностном слое напряжений сжатия, что приводит к повышению алмазоудержания, а следовательно к повышению стойкости алмазного инструмента [1].

Упрочненный по технологии НХО алмазный инструмент обладает более высокими потребительскими свойствами по сравнению с неупрочненным инструментом такого же назначения и типоразмера. Оценивать работоспособность такого инструмента в соответствии с имеющимися данными по характеристикам неупрочненного не представляется возможным. Однако, в силу новизны применяемой технологии, не имеется достаточной базы данных, описывающих эксплуатационные свойства упрочненного инструмента. Задача оценки качества упрочненного алмазного инструмента представляет не только научный, но и практический интерес.

Работоспособность алмазного инструмента зависит от большого числа факторов, связанных с его конструкцией, технологией изготовления, нанесения упрочняющего покрытия и эксплуатационных. К конструктивным факторам следует отнести все, что геометрическими размерами, формой, точностью изготовления. шероховатостью поверхности корпуса, а также то, что связано с физикомеханическими свойствами, маркой и зернистостью алмазного порошка, выбранного для инструмента определенного вида и типоразмера. Технологические факторы подразделяются на две большие группы: факторы связанные с изготовлением самого методом гальваностегии и факторы, связанные с нанесением упрочняющего покрытия на поверхность готового инструмента. При изготовлении инструмента действуют следующие факторы: состав связки, режимы процесса гальваностегии и связанная с ними равномерность распределения алмазного порошка, также высота заделки зерна и наличие операций вскрытия.

При нанесении упрочняющего покрытия следует учитывать такие факторы, как состав упрочняющей суспензии в рабочей ванне, временные и температурные режимы нанесения покрытия, режимы при которых происходит термообработка, наличие операции промасливания после нанесения упрочняющего покрытия. Все приведенные технологические факторы определяют "технологическую наследственность" каждого

изготовленного инструмента и в значительной степени влияют на его работоспособность и стойкость при обработке изделий.

Выбор оптимальных параметров технологического процесса. Теоретические исследования показали, что ведущими механизмами, определяющими физическую осуществимость и возможность промышленного освоения технологической системы для получения материала с заданными свойствами, являются процессы образования диссипативных структур в многомерном пространстве состояний и фрагментация последнего [2]. В возникновении таких структур, конструктивную роль играет диссипация параметров технологического процесса. Конфигурация, расположение и объем этих образований определяют возможность получения материала с заданными свойствами и выполнения требований к уровню воспроизводимости свойств продукции. Структуры, внутри которых все требования по уровню заданных свойств материала выполняются с вероятностью равной единице, получили название - области устойчивости. Структуры, где эти требования не выполняются - области неустойчивости.

Исследованиями установлено, что гиперпараллелепипед состояний содержит большое количество областей устойчивости и неустойчивости. Каждая точка этих областей представляет собой один из возможных вариантов технологической системы и производимого ею материала. Качество функционирования системы и свойства материала для каждого варианта известны и представлены соответствующим набором показателей. Координаты варианта в объеме гиперпараллелопипеда также известны и определены как значения параметров технологии. В общем случае пространство состояний технологической системы содержит огромное множество качественно различных режимов поведения, принадлежащих областям устойчивости и неустойчивости. Тот факт, что нам уже известны не только отдельные варианты системы, но и все области, содержащие качественно различные варианты, становится исходным пунктом принципиально нового подхода к исследованию и проектированию технологических систем.

Наличие не единственной, а нескольких областей устойчивости, в которых все требования по уровню свойств материала выполняются с вероятностью равной единице, свидетельствует о том, что в принципе, на множестве областей устойчивости может быть найдено бесконечное число вариантов материала с наперед заданными свойствами. Однако, большинство вариантов не может быть принято как решение задачи получения материала с заданными свойствами, ввиду того, что они не могут быть реализованы на стадиях доводки опытного образца, освоения промышленного производства и эксплуатации технологической системы с необходимым уровнем воспроизводимости свойств материала. Достоверность этого теоретического вывода, полученного с помощью компьютерных технологий, подтверждается фактом частого появления отрицательных результатов при разработке материалов на основе ис-

пользования традиционных методов, не позволяющих получать сведения о структуре многомерного пространства состояний технологической системы и учитывать их при создании последних.

В качестве управляемых параметров технологического процесса низкотемпературного нанесения антифрикционного покрытия на алмазный инструмент выбраны наиболее влиятельные параметры: концентрация активных компонентов рабочей среды, кислотность готовой рабочей суспензии, температура и время выдержки. На базе предварительно проведенных экспериментов назначены интервалы возможных изменений параметров технологического процесса НХО.

Математическая модель, связывающая параметры с критерием представлена в виде регрессионного уравнения. В качестве критерия работоспособности алмазного уп-

рочненного инструмента принята его стойкость до полного изнашивания алмазного слоя и потери режущей способности. Используя специальную компьютерную программу «Синтез характеристик технических систем» построено многомерное пространство состояний, точки которого представляют собой возможные сочетания параметров техпроцесса.

Для технологического процесса HXO определено новое пространство параметров, внутри которого выполняются требования по критерию «минимальный износ». Предварительное пространство параметров и область устойчивости технологического процесса по управляемым параметрам приведена в таблице 1.

Таблица 1. Параметры технологического процесса НХО

Параметр	Интервал возможных из-	Номинал и допустимые		
	менений параметра	границы разброса парамет-		
		pa		
Концентрация активных	0160	54,5 (23,385,6)		
веществ, г/л				
Кислотность рабочей ван-	2,85,5	4,9 (4,35,4)		
ны, рН				
Температура процесса хи-	45100	71,2 (59,782,9)		
мической обработки, <sup>0</sup> С				
Выдержка в рабочей ванне,	860	55,7 (51,959,5)		
мин				

Визуализация результатов. Для оценки результатов, полученных при решении задачи выбора оптимальных параметров технологического процесса, полезно рассмотреть топологию многомерного пространства управляемых параметров системы. Однако, существующие методы построения наглядных изображений не позволяют выполнить визуализацию результатов при учете таких особенностей технической системы, как многокритериальность, многопараметричность и стохастичность. Подобные графические представления невозможно построить на базе традиционных процедур разработки новых материалов и технологий их получения, поскольку методы визуализации возможных состояний строго ориентированы на использование информации, полученной в результате многомерного компьютерного синтеза.

На рисунке 1 (а-г) показаны изменения конфигурации и размеров областей состояний управляемых параметров технологического процесса. Красными точками обозначены области устойчивости, в которых выполняются требования по минимизации критерия. Плоское изображение позволяет увидеть области состояний только для двух управляемых параметров одновременно, в то время, как и область состояний и область устойчивости представляют собой многомерные объемы, границы которых представлены в таблице 1. Анализ рисунков а, б, в и значений в таблице 1 позволяет сделать вывод о том, что оптимальная концентрация активных веществ составляет 50-70 г/л. Более низкие концентрации недостаточны для образования покрытия на поверхности, а при более высоких концентрациях, вероятно, более крупные частицы, образующие суспензию не обладают достаточной энергией, чтобы внедриться в поверхность, но в то же время, покрывая поверхность, препятствуют соприкосновению с ней мелких частиц. Данные по кислотности рабочей среды практически согласуются с найденными ранее экспериментальным путем. Из рис. 1,в видно, что область устойчивости процесса

сдвинута в сторону более низких концентраций и больших по длительности выдержек в рабочем растворе.

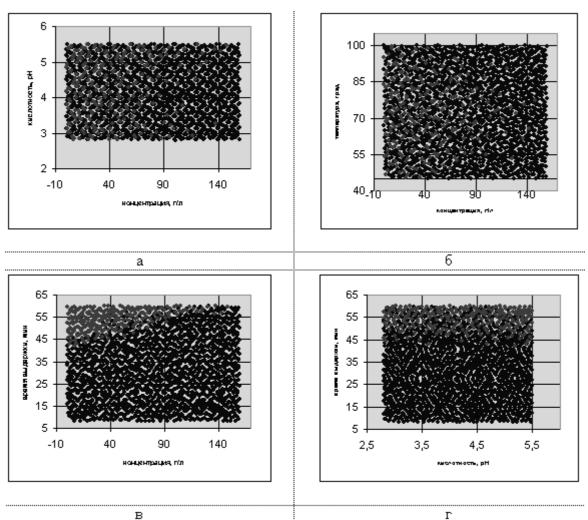


Рис.1. Область изменения параметров технологического процесса низкотемпературной химической обработки для получения многослойных антифрикционных покрытий

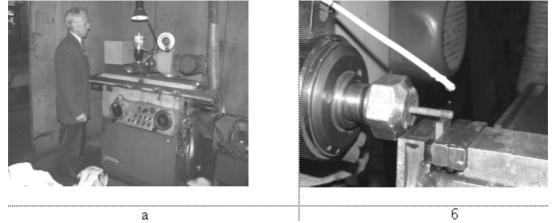


Рис. 2.Испытания головок алмазных шлифовальных на заточном станке (a), при обработке пластинки твердого сплава ВК8 упрочненной головкой (б).

Экспериментальная проверка. Проведены сравнительные испытания упрочненных и неупрочненных алмазных шлифовальных головок при обработке образцов твердого сплава (рис. 2). Средний удельный расход алмаза при обработке твердого сплава упрочненными алмазными шлифовальными головками составляет 11,15 мг/см<sup>3</sup>, что на 50% ниже, чем при работе неупрочненными головками. Реальное повышение стойкости составляет от 30 до 100% к первоначальной стойкости в зависимости от типоразмера к конфигурации инструмента.

Список литературы: 1. Смиловенко О.О., Шматов А.А., Карагулькин В.К. «Поверхностное упрочнение инструмента методом низкотемпературной химической обработки». Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Донецк, 2003 г. 2. Смиловенко О.О., Жилинский О.В. Скорынин Ю.В. «Метод оценки качества функционирования и надежности технической системы на основе ЛП-последовательностей» Международная н-т конференция "RELCOMEX'89", Вроцлав, ПНР, 1989.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИН ПЛАСТМАССЫ МЕТАЛЛОЛПЛАСТМАС-СОВОЙ ВТУЛКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЙ В НАГРУЖЕННОЙ ЗОНЕ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

> Снеговский Ф.П. , Властопуло (Лукашенко) В.И. (НИИ Жизни и Экологии, г. Одесса, Украина)

Researched the influence of the thicknesses of metallpiastic plain bearing with the distribution of field pressures in loading zone.

На стенде  $\Phi$ . П. Снеговского проводилось экспериментальное исследование рас-пределения давления в подшипниках скольжения при помощи датчиков, заделанных в вал.

Втулки отливали методом центробежного формования, термически обрабатывали в масле и с натягом 1 мм запрессовывали в стальную обойму. Рабочая поверхность втулок обрабатывалась на станках по 6 классу чистоты поверхностей.

Вал изготовлен из стали 45 и термически обработан до твердости НВ 250 260, шлифование по наружной поверхности до 8 класса чистоты. В качестве смазки использовалось масло индустриальное 45 (ГОСТ 1707 – 51), которое подавалось в подшипник от циркуляционной смазочной системы. Прокачка масла обеспечивала поддержание температурного режима работы подшипника, контролируемого термопарами.

Были испытаны подшипники скольжения при окружной скорости скольжения V= 3,9 м/с и удельной нагрузке Pcp = 50 кгс/см2. Относительный зазор менялся в широком диапазоне от 0,005 до 0,03, а толщина пластмассы во втулке от 2 до 10 мм. Важность выяснения влияния конструктивных элементов любого подшипника скольжения, в том числе и подшипника с пластмассовой втулкой, неоднократно выдвигалось многими исследователями, в которой указывалось, что площадь поверхности, через которую передается нагрузка от цапфы на подшипник, невелика.

Результаты исследований представлены на осциллограммах (рис. 1-5).

При увеличении толщины пластмассовой втулки до 1=10 мм и установке ее в подшипник с зазором  $y=0{,}005$  вследствие нагрузочно-температурных деформаций произошло уменьшение зазора, в результате чего протяженность зоны давлений воз-

росла на  $168^{\circ} \pm 3^{\circ}$ , а в некоторых опытах более, вплоть до защемления. При этом часть нагруженной зоны почти не воспринимала нагрузку.

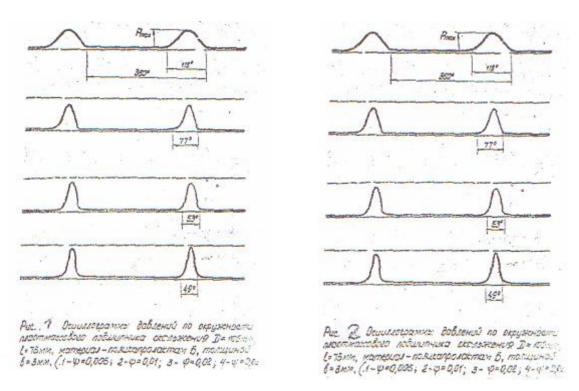
Исследовались также подшипники с толщиной слоя поликаролактима в = 2.5 мм, длиной l = 75 мм и относительным зазором y = 0.0052. Испытания проводились при скоростях скольжения V = 1-4 м/с и удельных нагрузках Pcp = 10-50 кгс/см2.

На рис 6 показаны осциллограммы распределения давлений и протяженности нагруженной зоны, записанные по окружности указанного подшипника.

Линии отсчета оборотов показаны позицией -1, кривые распределения давлений и протяженности нагруженных зон -2, нулевые линии -3.

Рассмотренные осциллограммы, показанных на рис 6 позволяют отметить, что при удельной нагрузке Pcp = 10 кгс/см2 протяженность нагруженной зоны  $a_n = 103^{\circ} - 6^{\circ} = 97^{\circ}$ , максимальное давление Pmax = 21 кгс/см2 (рис. 6.); при удельной нагрузке Pcp = 20 кгс/см2, (рис. 6..2), протяженность нагруженной зоны  $a_n = 113^{\circ} - 6^{\circ} = 107^{\circ}$ , максимальное давление Pcp = 50 кгс/см2 (рис. 6..3) протяженность нагруженной зоны  $a_n = 126^{\circ} - 6^{\circ} = 120^{\circ}$ , максимальное давление Pmax = 79 кгс/см2.

В результате обработки осциллограммы построены эпюры распределения давлений и протяженности зоны нагрузки, показанные на рис. 7. Кривыми 1, 2, 3 показаны эпюры давлений соответственно для: Pcp = 10 кгc/cm2, Pcp = 20 кгc/cm2, Pcp = 50 кгc/cm2.



Из рассмотрения осциллограммы и эпюр давлений можно отметить, что отношение наибольшей величины давлений Ртах к удельной нарузке Рср составляет соответственно: 2.1, 4,2, 1,58.

Результаты исследований подшипников скольжения, имеющих антифрикционный слой выполнения из баббита E-83, позволяют отметить, что при смазке минеральным маслом MK-22, y=0.0025, V=110 м/с, Pep=25 100 кгс/см2, протяженность

зоны давлений  $a_n=81920$ , отношение Pmax/Pcp = 3,2 - 3,68. С изменением относительного зазора до  $y=0{,}0032$ ,  $a_n=6$  - 800, при дальнейшем возрастании до  $y=0{,}004$ ,  $a_n=45$  - 500.

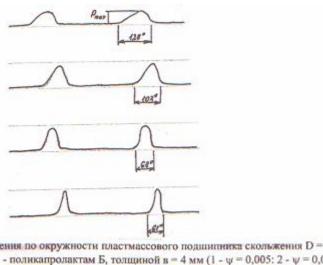


Рис. 3.Осциплограммы давления по окружности пластмассового подшипника скольжения D=100 мм, 1=75 мм, материал - поликапролактам B, толщиной B=4 мм  $(1-\psi=0.005; 2-\psi=0.01; 3-\psi=0.02; 4-\psi=0.03)$ .

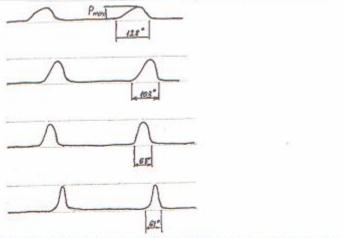


Рис. 4.Осциплограммы давления по окружности пластмассового подшипника скольжения D=100 мм, 1=75 мм, материал - поликапролактам E, толщиной E=5 мм (E=0.005) E=0.0050 - E=0.0051 - E=0.0052 - E=0.0053 - E=0.0

В работе [ 1 ] отмечено, что удовлетворительная работоспособность баббитовых подшипников скольжения обеспечивается при условии если y =0,004 и в качестве предпочтительных относительных зазоров y = 0,0012 – 0,0025. С увеличением значения относительного зазора больше 0,004 резко сокращается протяженность рабочей зоны, что приводит к большим локальным перегрузкам, вследствие чего, как правило, происходит местный перегрев и выход подшипника из строя.

Экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

#### Выводы.

При относительном зазоре y=0,0052 и толщине слоя поликапролактама .b=2,5 мм, испытываемые подшипники сохраняют хорошую работоспособность;

Протяженность рабочей зоны в подшипнике из поликапролактама больше чем в три раза превосходит величину рабочей зоны баббитовых подшипников при y = 0.0052 и прочих равный условиях;

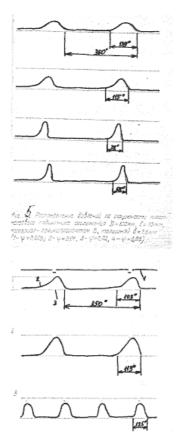


Рис.6. Осциллограммы давлений по окружности подшинника скольжения D = 100 мм; l = 75 мм:  $\psi$  = 0,0052 материал — поликапролактам, толщиной в = 2,5 мм.

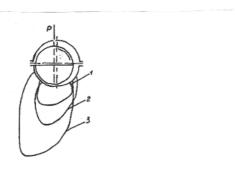


Рис. 7. Эпюры давлений в пластмассовом подшипнике скольжения D=100 мм  $\psi=0,0052$ , толщины покапролактама 2,5 мм. (  $1-p_{cp}\!=\!10$  кгс/см²; V=2 м/с;  $2-p_{cp}\!=\!20$  кгс/см²; V=2 м/с;  $3-p_{cp}\!=\!50$  кгс/см²; V=4 м/с)

Полностью подтверждаются выводы работы [ 2 ], что при нагружении подшипников из полиамидов слой термопласта и вал упруго деформируются и радиусы кривизны вала и, главным образом, подшипника сближаются тем больше приложенная нагрузка, что способствует более благоприятному распределению давлений в несущей области подшипника;

Протяженность нагруженной зоны an зависит в первую очередь от относительного зазора, модуля упругости материала втулки, нагрузки, конструктивных особенностей и других факторов.

Список литературы. 1. Снеговский.Ф.П. Опоры скольжения тяжелых машин. – М.: Машиностроение, 1969.-256с. 2. Снеговский. Ф.П., Властопуло.В.И. (Лукашенко) Экспериментальные основы Термоконтактногидродинамической теории смазки. Всесоюзная конференция по контактной гидродинамике. Самара.: 1991.- с.17-19.

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТОЛЩИН СМАЗОЧНОГОСЛОЯ И ДАВЛЕНИЯ В СЛОЕ В НАГРУЖЕННОЙ ЗОНЕ МЕТАЛЛОЛПЛАСТМАССОВЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Снеговский Ф.П. , Властопуло (Лукашенко) В.И. (НИИ Жизни и Экологии, г. Одесса, Украина)

Received experimental distributions the thickness and pressures of lubricant layer in loading zone of the metallpiastic hardlyloading plain bearings.

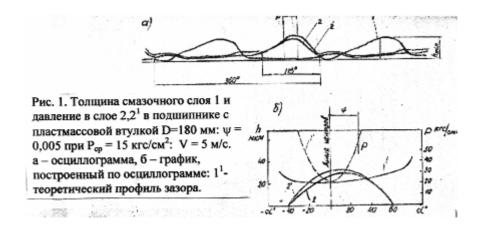
Исследовались подшипники с металлопластмассовыми втулками диаметром 180 и 100 мм. с толщиной полиамидной (П-68), предварительно запрессованной в стальную обойму, втулки 3.0 мм. Относительная длина испытуемых втулок I = 0.75. Испытание проводилось при циркуляционной смазке минеральным маслом. Внутренняя поверхность пластмассовых втулок — вкладышей предварительно была покрыта тонким (5 мкм) токопроводящим слоем металла.

Исследование проводилось на стенде Ф.П. Снеговского. Относительный зазор в подшипнике при сборке (при  $20^{\circ}$ С) y =0,006. Диаметр датчика давлений составлял 6,0 мм, что соответствует  $a_{\pi}$  =9°. При исследовании использовались как раздельные датчики давлений и толщины смазочного слоя, расположенные на валу диаметрально противоположно (через 1800), так и совмещенный датчик, записывающий одновремен-но толщину смазочного слоя и давление в слое.

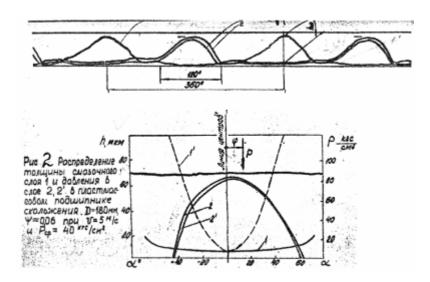
На рис.1. показаны осциллограммы толщины смазочного слоя 1 и давление в слое 2, записанные в среднем сечении подшипника. На осциллограмме записано также распре-деление давлений 2 в сечении, отстоящем от торца на 5 мм.

При удельной нагрузке  $Pcp = P/Dl = 15 \ \kappa \Gamma c/cm2$ , окружной скорости скольжения  $n = 5 \ \text{м/c}$  протяженность зоны гидродинамических давлений ап составили  $a_n = 115^{\circ} - 9^{\circ} = 106^{\circ}$ . Отношение Pmax / P ср для среднего и крайнего сечения близки к 2,0. Угол между линией действия нагрузки и линией центров ј 300 , значение hmin= 20 мкм.

По данным осциллограммы построены графики изменения давлений и толщины слоя смазки в нагруженной зоне подшипника скольжения (рис. 1б), из которого следует, что теоретический профиль зазора 1 значительно отличается от ответного. В зоне нагружения поверхности шипа и втулки стали почти параллельными.



При повышении удельной нагрузки до 40 кГс/см2 выравнивание радиусов шипа и пластмассовой втулки еще заметны, что подтверждается осциллограммой и графиками, полученными при ее обработке (рис. 2.). Протяженность зоны давлений составляет  $a_n = 120^{\circ} - 9,0^{\circ} = 111^{\circ}$ , отношение Pmax/Pcp = 2. Угол j = 180, hmin= 9 мкм.



Такие же результаты получены и при исследовании другого типоразмера подшип-ника скольжения с диаметром металлопластмассовой втулки D=100м, длиной l=70 мм и относительным зазором  $y=0{,}006$ .

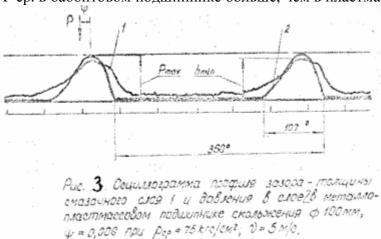
На рис. 3. показана осциллограмма изменения толщины смазочного слоя 1 и давления в слое 2 в среднем сечении подшипника, записанная при  $Pcp = 75 \text{ к}\Gamma c/cm2$  и и =5 м/с на другом стенде. Протяженность зоны давлений составила  $a_n = 107^\circ - 6^\circ = 101^\circ$ , а угол j = 170.

На рис. 4 приведены экспериментальные профили зазоров в пластмассовом подшипнике полученные Д.С. Кодниром [ 1 ], использовавшего в своей работе такую же методику определения толщины смазочного слоя. Форма профилей зазоров, полученных Д.С. Кодниром и нами, достаточно близки. Недостатком экспериментов Д.С. Коднира, однако, является их крайняя узость, поскольку, не определяя распре-деления давлений по окружности подшипника, Д.С. Коднир не смог экспериментально определить ни протяженности зоны повышенных давлений по окружности, ни границ несущего слоя и характера распределения давления внутри этих границ, ни угла смещения линии центров по отношению к линии действия нагрузки. Кодниру Д.С. по этой причине

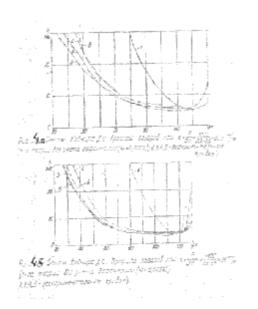
не удалось отчетливо показать особенность работы подшипника с пласт-массовой втулкой по сравнению с подшипником с втулкой, залитой, например, баббитом Б-86.

Снеговский Ф.П. [ 2 ], определяя толщину слоя смазки и давление в слое убедительно показал, что при прочих одинаковых условиях протяженность зоны, воспринимающей нагрузку в пластмассовом подшипнике больше, чем в баббитовом, что способствует уменьшению величин наибольших давлений Ртах и в конечном итоге при достаточном охлаждении подшипника можно получить одинаковую грузоподьемность баббитового и пластмассового подшипников, хотя прочность и модуль упругости у пластмассы ниже, чем у баббита.

На рис. 5 приведены профили зазора и эпюр давлений в смазочном слое баббитового подшипника, полученные Снеговским Ф.П. При y=0,004 значение .  $a_n=47^\circ$ , что меньше в два, с лишним раз, чем в пластмассовых подшипниках,, хотя они имели и большие по сравнению с баббитовым относительные зазоры. Как видно из рис. 5 , отношение Pmax/P ср. в баббитовом подшипнике больше, чем в пластмассовом.



На рис. 6 приведены уточненные данные о протяженности по дуге окружности зоны давлений, из которых следует, что в подшипниках скольжения диаметром 100 1100 мм с баббитовым антифрикционным слоем, с толщиной баббита 3 мм, протяженность зоны давлений колеблется от  $a_n = 100 \ 110^\circ$  при y = 0,0005 до  $a_n = 35 \ 55^\circ$  при



y=0,004, а в таких же пластмассовых подшипниках (полиамид 68) она составляет ап =  $110^{\circ}$  при y=0,004 и  $a_n=50^{\circ}$  при y=0,03. Для пластмассовых подшип-ников, таким образом, возможен более широкий диапазон монтажных зазоров, чем для баббитовых. В этом одно из важных достоинств пластмассовых подшипников. Кривая 2 на рис. 6 показывает, в свою очередь, что для пластмассовых подшипников диапазон наиболее благоприятных зазоров лежит в пределах y=0.005,008.

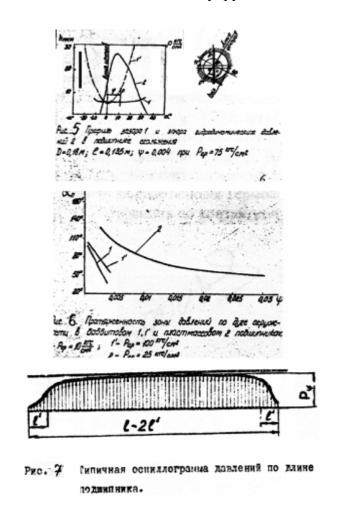
Опыты показали, что по длине нормально установленного подшипника давление распределяется в любом сечении практически равномерно. На рис 7. показана осцилло-грамма

распределения давлений по образующей подшипника, расположенной в цент-ральном сечении (на линии действия нагрузки). Уменьшение отклонения шлейфа, регистрирующего величину давлений, в начале и конце длины образующей свидетель-ствует не о понижении давления, а выходе датчика из зоны давлений. В данном опыте размер датчика по диаметру составляет 6 мм, а длина подшипника — 70 мм. Поэтому на осциллограмме отклонения шлейфа будут соответствовать действительному давлению лишь на расстоянии 6 мм от торца подшипника. Как видно из рис 7, на оставшейся  $70-2 \times 6 = 58$  мм длины подшипника давление практически равномерно.

#### Выводы.

Экспериментально определены и исследованы форма и размеры несущих нагрузок полей давлений в подшипниках скольжения с металлопластмассовой втулкой – вкладышем.

Экспериментально установлено, что в зоне давлений пластмассового подшипника скольжения вследствие упругой податливости пластмассы радиус кривизны под-



шипника приближается к радиусы кривизны цапфы, т.е. шип в подшипниках в этой зоне становятся параллельными или почти параллельными, что соответствует исходным предпосылкам контактногидродинамической теории смазки.

Экспериментально подтверждена теоретическая зависимость Pmax / Pcp от  $a_n$  в широком диапазоне относительных зазоров в подшипнике y = 0.005- 0.03.

Получены экспериментальные зависимости протяженности зоны давлений по дуге окружности ап от конструктивных и режимных параметров пластмассового подшипника – относительного зазора у и толщины b пластмассовой втулки

Протяженность несущей зоны, при прочих равных условиях, в пластмассовых подшипниках по сравнению с баббитовыми больше в два и более раз, что объясняет их практически одинаковую несущую способность, полученную экспериментально.

Подшипник скольжения с металлопластмассовыми втулками

работоспособны в ши-роком диапазоне сборочных зазоров (от y = 0.005 до y = 0.03 и более). Баббитовые подшипники имеют, как известно, удовлетворительную работоспособность в гораз-до более узком диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 до y = 0.005 диапазоне относительных зазоров (y = 0.005 диапазоне относительных зазоров

Список литературы: **1.** Коднир. Д.С. Контактно-гидродинамический расчет подшип-ников скольжения. – М.: Машиностроение, 1988.- 232с. **2.** Снеговский. Ф.П., Властопуло.В.И. (Лукашенко) Экспериментальные основы термоконтактногидродинамической теории смазки. Всесоюзная конференция по контактной гидродинамике. Самара. 1991 с.17-19.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКІВ ЗАГОТОВОК У НАГРОМАДЖУВАЧАХ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Собчук Л.Н. (ЛДТУ, г.Луцьк, Украина)

Experimental studies of static characteristics of stock flows in storage's with guiding devices were made in conditions of production.

These experimental results can be applied for doing more exact scientific prognostication of economic efficiency of devices of the designed type.

Для успішного вирішення задач синтезу виробничих систем методами математичного моделювання потрібен коректний опис випадкових компонентів потоку заготовок між вузлами механізмів, що проектуються. Випадкові компоненти формуються не тільки відмовами обладнання, а також при помилкових спрацьовуванням справних завантажувальних або орієнтаційних пристроїв. Опис цих компонент з допомогою експоненціальних функцій щільності вірогідності відмов, яка має монотонно спадаючий вид, не завжди вірно. Розробляються [1] методи математичного моделювання, що враховують не монотонність цієї функції і забезпечують облік появи в ній дискретних складових.

Перспективна можливість спрощення обрахунку і отримання аналітичних рішень для інтенсивності потоку, що змінюється в часі з'являється при використанні замість експоненціального розподілу тривалості безвідмовної роботи розподілу дискретного геометричного [1]. Вибір виду розподілу, що адекватно відображає суть формування випадкових компонентів, важливий для забезпечення точності і достовірності прогнозування параметрів пристроїв що проектуються. Із цього видно що актуальність експериментальних досліджень у виробничих умовах реальних потоків заготовок механізмів пристроїв що орієнтують і нагромаджують.

До типових механізмів в яких створюються потоки з дискретним розподілом інтервалів часу між заготовками відносяться бункери-орієнтатори[2]. При постійний частоті обертання лопастей механізму подачі і при постійній вірогідності q захвату заготовок в орієнтованому положенні розподіл інтервалів часу між подіями подачі заготовок повинен підпорядковуватись геометричному закону

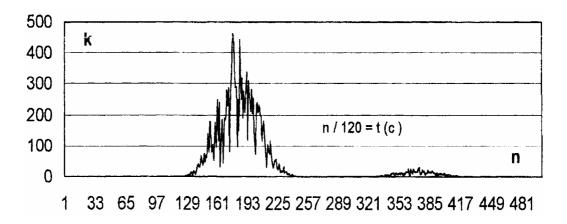
$$W_n(q) = q \cdot (1-q)^{n-1}$$

Наприклад, якщо ймовірність захвату заготовки з першої (n=1) спроби при q=0.9 рівна  $W_1$ =0.9, то ймовірність подвійного інтервалу часу на порядок менша і рівна 0.09, потрійного – 0.009 і т.д.

Швидкість сходження ймовірності  $W_n$  до нуля є чутливою функцією q. Якщо q дуже відрізняється від 1, то в принципі можуть виявитися відмінними від нуля ймовірності дуже великих інтервалів. Дискретний геометричний закон використовується в монографії Р.Асфаля [3], який склав матриці ймовірності переходів між станами орієнтації заготовок і вивчив збіжність результуючого ефекту серії послідовних орієнтуючих дій на заготовку.

Якщо період Т обертання валу змінний, інтервали часу між заготовками повинні бути розприділені біля кратних величин за законом, проміжному між дискретно геометричним і яким-небудь неперервним. Ця особливість механізму проявляється на гістограмі k(n), яка отримана нами в експерименті з лопастевим захватом елеваторного нагромаджувача.

На даному рисунку наведена крива k(n) для інтервалів t між моментами подачі заготовок. Кількість зареєстрованих моментів захоплення — 15000, кількість інтервалів гістограми (дискретів) — 500, масштаб часу t між заготовками: в 1 секунді міститься 120 дискретів. Ламкість кривої — наслідок обмеженої кількості експериментальних точок що розподілені між малими дискретами.



В експерименті, який проводився на ДПЗ-28 (м.Луцьк), моменти подачі реєструвались таймером що вмонтований в ЕОМ РС-АТ 286. Дані в виді числових масивів потрапляли на магнітний диск, потім, після закінчення серії вимірів, оброблялись і аналізувались з допомогою програми статистичної обробки, яка складена на мові Pascal. Середня квадратична похибка реєстрації моментів події — менше 0.007 секунд. Досліджувались 4 види пристроїв:

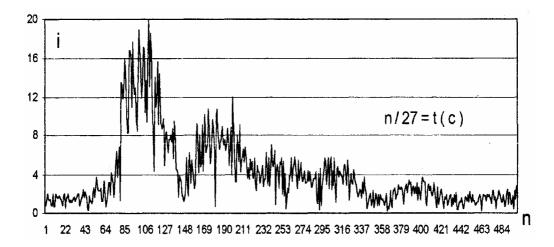
- нагромаджувач елеваторного типу;
- вібронагромаджувач лотковий і роликовий фірми "Мікроза";
- дисковий нагромаджувач-орієнтатор з дном що обертається.

Перший і найбільший максимум на графіку що приведений вище відповідає найбільш частому періоду між спробами захоплення заготовок, з яких в середньому біля 95% є вдалими. Другий – захопленням з другої спроби, якщо перша виявилася невдалою. Якщо кількість точок в зонах піків створює геометричну прогресію, то гіпотетично на третій кратний інтервал повинно попасти біля 0.0025 частини від загального числа точок. В різних серіях вимірів ця кількість точок була в межах від 8 до 58, що в цілому протирічить створеній гіпотезі. Аналогічні криві, з більш вузькими піками, отримані механізму захвату для нагромаджувача-орієнтатора з дном що обертається (q=0.96, відстань між піками відповідає періоду Т обертання дна).

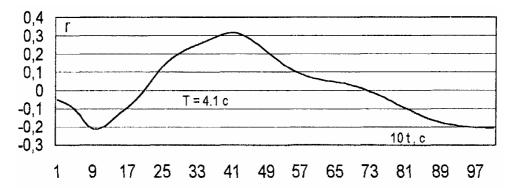
Несподіванні результати отримані для вібронагромаджу вачів, в яких при переміщеннях заготовок набувають випадкових орієнтацій, і тільки при правильній орієнтації попадають в направляючий паз пристрою розвантаження. На малюнку приведена гістограма інтервалів часу між подіями орієнтації заготовок в лотковому вібронагромаджувачі:

$$i = k^{\frac{1}{2}}, \sum k(n) = N = 15000.$$

З принципів роботи таких нагромаджувачів не випливає їх впорядковуючий вплив на час орієнтації. Але таки вплив має місце. В експериментально отриманому розподілі 15000 інтервалів часу між надходженнями орієнтованих заготовок спостерігаються екстремуми з інтервалами біля 4 секунд. Можна спостерігати, що в процесі переорієнтації заготовок в ємкості вібронагромаджувача дійсно можуть відбуватися процеси, що впорядковують вихідний потів в часі.

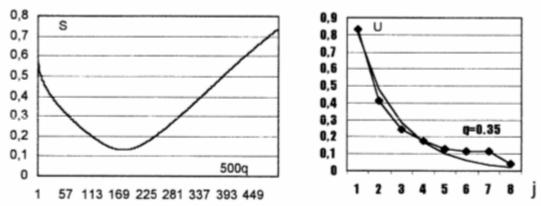


Розрахунок емпіричних параметрів T, q отриманого статистичного розподілу проведений методом Фурьє-аналізу. Залежність коефіцієнта кореляції r(t) між експериментальною кривою і першою гармонікою від періоду цієї гармоніки має типовий хвилеподібний вид. Виходячи з умови максимуму r(t) отримано значення періоду гармоніки в 102 дискрети і T=4.1 секунди. Той факт, що максимум чітко визначений, свідчить про явно виражену періодичну складову в розподілі k(t), що створюється лотковим вібронагромаджувачем.



Слідуючий етап обробки експериментальної гістограми – перевірка гіпотези про те, що кількості точок в районах максимумів підпорядковується закону геометричної прогресії. Спочатку гістограма згладжувалась (усереднювалась по часовим дискретам j, що охоплюють області піків), далі отримана U(j) нормувалась, а потім робилась спроба апроксимації U(j) дискретним геометричним розподілом. Для цього розраховувалось середнє квадратичне відхилення S(q) між експериментальним і теоретичним розподіленням U(j), після чого S(q) мінімізувалась по показнику прогресії q.

Із рисунка видно, що для середньо квадратичного відхилення S(q) в данному випадку існує тільки один мінімум біля значення q=0.35. Вид опосередкованої (точки) функції U(j) спадання амплітуди дискретної компоненти із збільшенням номеру рівня j, близький до гіпотетичної кривої (лінія без точок), свідчить про справедливість зробленого припущення про те, що експериментальне розподілення інтервалів в зонах, що охоплюють піки, близькі до геометричної прогресії. Найбільші відносні розходження спостерігаються в зонах малих U через недостатній об'єм статистичної виборки при великих інтервалах t.



Для роликового вібронагромаджувача отримані аналогічні результати з емпіричними параметрами T=6.8 секунд, q=0.22 при максимальних значеннях коефіцієнту кореляції r=0.24 і мінімальному середньо квадратичному відхиленні S=0.19.

Виявити механізм явища дискретизації потоку і зв`язок розрахованих емпіричних параметрів функції статистичного розподілу інтервалів між заготовками з конструктивними параметрами пристроїв (в тому числі – з частотою вібрації бункера), а також з формою, матеріалом, якістю поверхонь заготовок не вдалось через обмежене число досліджених варіантів механізмів.

Зрозуміло, що досліджене явище дискретизації потоку вібронагромаджувачем обумовлено специфічними колективними ефектами, що виникають в об`ємі заготовок що вібрують. Напевно, ступінь дискретизації є багатопараметричною функцією, для представлення якої в явному виді потрібні досліди методами математичного моделювання. Продовження експериментальних досліджень в стендовому варіанті, в яких планується переналагоджувати механізми орієнтації на відмінні від паспортних режими роботи, може дати додатковий матеріал, необхідний для розробки математичної моделі явища виникнення періодичної складової в густині розподілу інтервалів між заготовками.

З отриманих експериментальних даних випливає, що випадкова складова густини може бути апроксимована гармонійною функцією із спадаючою амплітудою, або, в іншому вигляді — дискретним гармонійним розподілом з розширеними максимумами. Порівняння результатів моделювання результатів роботи конкретного накопичувача (завантажуючий і розвантажуючий пристрій, буфер) з використанням дискретної [1] і експоненціальної апроксимацій ймовірності випадкових переходів між станами нагромаджувача приводить до передбачуваної рентабельності, яка при місткості буфера до 20 заготовок може бути відмінною одна від одної на 4-7% і більше. Необхідно виходити з можливості виникнення періодичних складових в потоках заготовок між вузлами механізмів пристроїв що орієнтують, завантажують і враховувати такі складові при математичному моделюванні і економічному обгрунтуванні варіантів конструкцій що розробляється.

Список літератури: **1.** Sobchuk, Szabajkowicz W., Miezencew S.: Modulow zasobnikowych elastycny systemow montazowich. Technologia i Automatyzacja montazu, N2,1996, s.11-16. **2.** Бляхеров М.С., Варьят Г.М. и др. Автоматическая загрузка технологических машин:Справочник/Под общ.ред.И.А.Клусова./М.: Машиностроение, 1990.-400 с.:ил. **3.** Асфаль С.Р. Роботы и автоматизация производства / Перевод с англ М.Ю.Евстегнеева, и др.-М.:Машиностроение.1989-448 с.:ил.

### ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ГАММА-ПРОЦЕНТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

### Стрельников В.П., Праник Б.В., Волощук А.Н.

(ИПММС НАН Украины, г. Киев, Украина)

The mathematical device is developed and expressions for planning and estimation confidential intervals (boundary estimations) gamma-percentile operating time to failure of objects are received on the basis of use of DN-distribution.

Экспериментальные методы основаны на использовании статистических данных, получаемых при испытаниях изделий на надежность или данных опытной или подконтрольной эксплуатации. Экспериментальная оценка показателей надежности является обязательным этапом и практически основным способом установления реальных количественных показателей надежности в процессе разработки и серийного производства изделий. В связи с этим вопросы планирования и обработки результатов испытаний на надежность являются весьма важными в общей проблеме обеспечения надежности изделий. Оценки показателей надежности, в частности, гамма-процентных показателей надежности, определяемые по результатам испытаний или подконтрольной эксплуатации, получают в виде точечных оценок  $\widetilde{T}_g$  и доверительных границ интервала  $T_{g_R}$ ,  $T_{g_S}$ . В случае, когда осуществляют наблюдение эксплуатируемых объектов, планирование не проводят, а определяют оценки показателей надежности (точечные и граничные) с заданной доверительной вероятностью q и вычисляют относительную ошибку d, соответствующую конкретному объему статистических данных об отказах.

Существующие наиболее распространенные нормативные материалы [1-3], устанавливающие параметрические методы оценки показателей надежности по результатам испытаний (наблюдений), основаны на использовании таких законов распределения наработки до отказа, как экспоненциальный, Вейбулла, нормальный и логарифмически нормальный. Как известно, принятие той или иной теоретической модели надежности может существенно повлиять как на оценку показателей надежности, так и на планы испытаний. Сравнительный анализ моделей отказов, выполненный в [4], свидетельствует о том, что диффузионные распределения по ряду требований (физичности, адекватности, универсальности, статистическим и формальным свойствам) превосходят традиционные модели. Из этого следует, что планы испытаний на их основе также должны быть эффективнее традиционных.

В работах [4-6] показано, что наиболее адекватной моделью отказов изделий электронной техники представляется DN-распределение (диффузионное немонотонное распределение), которое и рекомендуется использовать в качестве теоретической функции распределения наработки до отказа систем, содержащих электронные элементы.

Интегральная функция *DN*-распределения имеет выражение

$$F(t) = DN(t; \mathbf{m}, \mathbf{n}) = \Phi\left(\frac{t - \mathbf{m}}{n\sqrt{mt}}\right) + \exp\left(\frac{2}{n^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{t + \mathbf{m}}{n\sqrt{mt}}\right),$$

где  $\Phi(\cdot)$  - функция нормированного нормального распределения;

 $\emph{m}$  - параметр масштаба, совпадающий с математическим ожиданием наработки до отказа;

 $n\,$  - параметр формы, совпадающий с коэффициентом вариации наработки до отказа.

Если предполагается использовать план испытаний типа [NUr], то число отказов r, необходимое для удовлетворения задаваемой точности (d) и достоверности (q) при известном параметре n определяют по следующей формуле:

$$r = \left(\frac{n U_q}{d}\right)^2 \frac{\left(1 + \sqrt{1 + d^2}\right)}{2}.$$

При неизвестном значении ожидаемого коэффициента вариации наработки до отказа исследуемых изделий число отказов r, необходимое для удовлетворения задаваемой точности (d) и достоверности (q), определяют по следующей формуле:

$$r = \frac{(1+2n^2)U_q^2}{4d^2} \left(1+\sqrt{1+d^2}\right).$$

Необходимое число образцов N , которое нужно поставить на испытание, чтобы обеспечить появление r отказов за фиксированное время t определяется из соотношения

$$N = \frac{r}{1 - g} .$$

Испытания N образцов продолжаются до появления r отказов.

В случае, когда ожидаемое число отказов r достаточное (более 20) вычисляют параметры закона распределения наработки до отказа (m, n), решая следующую систему уравнений:

$$\left\{ n^{2} + \frac{m'_{1}}{m} - mm'_{-1} - \frac{1}{r} \sum_{j=1}^{N-r} \left[ \frac{n^{2}DN(t_{j}; m, n) + \frac{m'_{1j}}{m} - mm'_{-1j}}{1 - DN(t_{j}; m, n)} \right] = 0; \\
2 + n^{2} - \frac{m'_{1}}{m} - mm'_{-1} - \frac{1}{r} \sum_{j=1}^{N-r} \left[ \frac{(2 + n^{2})DN(t_{j}; m, n) - mm'_{-1j} - \frac{m'_{1j}}{m}}{1 - DN(t_{j}; m, n)} \right] = 0,$$

где  $t_1, t_2, ..., t_r$  - наработки до отказа;  $t_1, t_2, ..., t_{N-r}$  - наработки неотказавших об-

разцов; 
$$m_1' = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i$$
;  $m_{-1}' = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{t_i}$ ;  $m_{1j}' = \int_0^{t_j} t f_N(t) dt$ ;  $m_{-1j}' = \int_0^{t_j} \frac{1}{t} f_N(t) dt$ ;

 $f_N(t)$  - плотность DN -распределения;

$$DN(t_j; \mathbf{m}, \mathbf{n}) = \Phi\left(\frac{t_j - \mathbf{m}}{n\sqrt{\mathbf{m}t_j}}\right) + \exp\left(\frac{2}{n^2}\right) \Phi\left(-\frac{t_j + \mathbf{m}}{n\sqrt{\mathbf{m}t_j}}\right).$$

В случае, когда число отказов менее 6, параметр формы n DN -распределения определяют, используя рекомендации [4-6], а параметр масштаба m вычисляют, используя оценки по методу квантилей:

$$\widetilde{\boldsymbol{m}} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^{r} \frac{t_i}{x(i/N;n)}.$$

При достаточной статистике (r > 6) и планах испытаний [NUr] нижние доверительные границы (НДГ) параметров вычисляют по формулам:

$$\underline{\mathbf{m}} = \widetilde{\mathbf{m}} \, x \left( 1 - q \, ; \, \frac{\widetilde{\mathbf{n}}}{\sqrt{r}} \right);$$

$$\underline{n} = \tilde{n} \left\{ 1 + \frac{(1 + 2\tilde{n}^2)U_q^2}{4r} - \frac{U_q}{4r} \sqrt{\left[8r + (1 + 2\tilde{n}^2)U_q^2\right](1 + 2\tilde{n}^2)} \right\}.$$

Верхние доверительные границы (ВДГ) параметров DN-распределения вычисляют по формулам:

$$\overline{\boldsymbol{m}} = \widetilde{\boldsymbol{m}} x \left( q; \frac{\widetilde{\boldsymbol{n}}}{\sqrt{r}} \right);$$

$$\overline{\boldsymbol{n}} = \widetilde{\boldsymbol{n}} \left\{ 1 + \frac{(1 + 2\widetilde{\boldsymbol{n}}^2)U_q^2}{4r} + \frac{U_q}{4r} \sqrt{\left[ 8r + (1 + 2\widetilde{\boldsymbol{n}}^2)U_q^2 \right] (1 + 2\widetilde{\boldsymbol{n}}^2)} \right\}.$$

При единичных отказах ( $r \le 6$ ) граничные оценки параметра формы n *DN*-распределения определяют в соответствии с рекомендациями [4-6], а доверительные границы параметра масштаба m вычисляют по вышеприведенным формулам.

Точечную оценку и доверительные границы гамма-процентной наработки до отказа (ресурса) вычисляют по формулам:

$$\widetilde{T}_g = \widetilde{\mathbf{m}} \cdot x(1-\mathbf{g}; \widetilde{\mathbf{n}} \ ); \ \underline{T}_g = \underline{\mathbf{m}} \cdot x\left(1-\mathbf{g}; \overline{\mathbf{n}} \ \right); \ \overline{T}_g = \overline{\mathbf{m}} \cdot x(1-\mathbf{g}; \underline{\mathbf{n}}) \ .$$

где значение x(1-g,n), равное относительной наработке  $x=\frac{t}{m}$ , определяют из таблиц функции DN -распределения по значениям F=1-g и n или решая уравнение

$$g = \Phi\left(\frac{1-x}{n\sqrt{x}}\right) - \exp\left(\frac{2}{n^2}\right) \Phi\left(-\frac{1+x}{n\sqrt{x}}\right).$$

Пример. В лаборатории находятся 8 мониторов одного типа, которые практически в одно время начали эксплуатироваться. В течение трех лет подконтрольной эксплуатации (наработка 7300 час) зафиксированы отказы 5 мониторов:  $t_1$  =3550 час,  $t_2$  =5760 час,  $t_3$  =6100 час,  $t_4$  =6850 час,  $t_5$  =7300 час. Остальные три монитора проработали указанное время безотказно. Ситуация наблюдений (испытаний) соответствует плану [NUr]. Необходимо определить гамма-процентную наработку данных мониторов и граничные оценки для g = 0,95 с доверительной вероятностью q = 0,9 . В качестве теоретической модели отказов мониторов принимают DN -распределение.

Решение. Поскольку статистика приведенных результатов не позволяет определить коэффициент вариации наработки изделий, определяем коэффициент вариации согласно рекомендациям [6]. Исходя из рекомендаций и опыта эксплуатации исследуемых изделий принимаем следующие оценки коэффициента вариации наработки до отказа мониторов: n = 0.6;  $\tilde{n} = 0.8$ ;  $\bar{n} = 1.0$ .

Вычисляем точечную оценку параметра масштаба DN -распределения:

$$\begin{split} \widetilde{\mathbf{m}} = & \left\{ \sum_{j=1}^{r} t_j \left[ x(j/N; \widetilde{\mathbf{n}}) \right]^{-1} \right\} / r = \\ = & \frac{1}{5} \left( \frac{3550}{0,338} + \frac{5760}{0,444} + \frac{6100}{0,609} + \frac{6850}{0,763} + \frac{7300}{0,942} \right) = 10044 \text{ час.} \end{split}$$

Вычисляем граничные оценки параметра масштаба т:

$$\underline{\underline{m}} = \widetilde{\underline{m}} x \left( 1 - q; \frac{\widetilde{n}}{\sqrt{5}} \right) = 10044 x (0,1; 0,36) = 6026 \text{ vac};$$

$$\overline{\underline{m}} = \widetilde{\underline{m}} x \left( q; \frac{\widetilde{n}}{\sqrt{5}} \right) = 10044 x (0,9; 0,36) = 14835 \text{ vac}.$$

Значение величины x(F; n) определяют из табл.[4-6].

Вычисляем гамма-процентную наработку до отказа исследуемых мониторов:

$$\begin{split} \widetilde{T}_g &= \widetilde{\mathbf{m}} \cdot x (1 - g; \widetilde{\mathbf{n}} \ ) = 10044 \cdot x \big( 0,05; \, 0,8 \big) = 10044 \cdot 0,249 = 2500 \ \textit{vac} \ ; \\ \underline{T}_g &= \underline{\mathbf{m}} \cdot x \, (1 - g; \overline{\mathbf{n}} \ ) = 6026 \cdot x \big( 0,05; \, 1,0 \big) = 6026 \cdot 0,184 = 1110 \ \textit{vac} \ ; \\ \overline{T}_g &= \overline{\mathbf{m}} \cdot x \, (1 - g; \underline{\mathbf{n}} \ ) = 14835 \cdot x \big( 0,05; \, 0,6 \big) = 14835 \cdot 0,347 = 5148 \ \textit{vac} \ . \end{split}$$

**Выводы.** Представлен математический аппарат для планирования испытаний с целью оценки гамма-процентных показателей надежности объектов (изделий электронной техники и систем, содержащих электронные элементы) на основе использования DN-распределения. Представлены формулы для определения объема испытаний (минимальное число отказов r и необходимое число образцов N) для удовлетворения требований по точности d и достоверности, а также представлены аналитические выражения для оценки доверительных интервалов (граничных значений).

Список литературы: 1. ГОСТ 23773-88. Машины вычислительные электронные цифровые общего назначения. Методы испытаний. — Введ. 01.07.89. 2. ГОСТ

27.410-87. Надежность в технике. Методы и планы контрольных испытаний на надежность. – Введ. 01.01.89. **3.** ГОСТ 27.503-88. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по результатам испытаний. – 01.07.89. **4.** ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – 43 с. **5.**Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с. **6.** Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.

# БЕСКОНТАКТНОЕ КОПИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИКИ

Строк Е.Я., Бельчик Л.Д., Строк Д.Е., Александрова Т.Л., Клюев А.И., Глушко Е.В. (ИМИНМАШ НАН Беларуси, РПУП «Завод «Измеритель», г.Минск, г.Новополоцк, Беларусь)

Indirect methods of depth measurement of a ploughing, for example, regulating on a draught resistance, don't allow to provide high demands to an agrotechnics. Application of systems of an on-the-fly sensing of a position of mounted tools above a ground surface allows to raise a quality level of soil-cultivating operations. Thus raising an overall performance of mobile machine is attained at decreasing of its skidding using a means of global positioning mobile technological object.

Технические характеристики современной мобильной техники, например, тракторов и сельскохозяйственных машин, обеспечивают их функционирование при скоростях около 30 км/ч [1]. В этом случае оператор не может производить контроль всех необходимых параметров, что может привести к повреждению рабочих органов при столкновении с препятствием. Использование механических копиров, с помощью которых регулируется расстояние до поверхности, приводит к усложнению конструкций, а также к прерыванию операций уборки из-за засорения элементов копира. Чтобы устранить эту проблему, рабочие органы должны удерживаться над поверхностью на определенном уровне без механического контакта. Реализация этой функции требует автоматического определения расстояния до поверхности и препятствий в сочетании с быстрым откликом позиционного управления навесным устройством.

Дистанционное измерение положения рабочих органов также актуально в дорожном строительстве при создании систем розлива автогудронаторов. Кроме этого, системы копирования рельефа поверхности позволяют качественно поддерживать заданную глубину при обработке почвы сельскохозяйственными орудиями.

В технологии сельского хозяйства происходит бурное развитие нового направления, которое называют системой точного земледелия. Это одна из наиболее перспективных концепций сельскохозяйственного производства, которая предполагает выполнение операций в оптимальном режиме с целью обеспечения минимума общих затрат. При этом агрономические операции необходимо выполнять точно (прецизионно). Поэтому элементы управления гидравлическими приводами должны обеспечивать достаточно быстрый отклик на входные сигналы.

Указанным требованиям удовлетворяют быстродействующие мехатронные устройства, разработанные с использованием современных средств электрогидравлики и электроники, которые позволяют с высокой надежностью реализовать управление ис-

полнительными механизмами гидравлических приводов в условиях наличия гидродинамических сил сопротивления и сухого трения, а также колебаний температуры и загрязненности рабочей жидкости.

Система силового регулирования, созданная для регулирования глубины пахоты рабочих органов навесных плугов, не обеспечивает качественное выполнение почвообрабатывающих операций для многокорпусных полунавесных и прицепных плугов. Использование многокорпусных навесных плугов для энергонасыщенных тракторов ограничено условиями устойчивости агрегата в транспортном положении орудия.

Нарушение равномерности глубины обработки почвы в природных условиях, где пахотный горизонт настолько тонок, что совпадает с нужной глубиной вспашки, приводит к смешиванию пустой породы с гумусом-почвой и надолго лишает почву плодородия. В свою очередь, буксование ведущих колес трактора изменяет структуру почвы и нарушает бактерицидную жизнь, что также вызывает снижение плодородия. Причем установлено, что 1 мм плодородного слоя нарастает заново за 100-300 лет [2].

С возрастанием мощности сельскохозяйственных тракторов до 200...350 л.с. представляется актуальным эффективное использование длиннобазовых полунавесных и прицепных плугов при соблюдении заданных агротехнических показателей. По результатам известных исследований пахотных агрегатов в составе многокорпусных плугов с опорным колесом при одноконтурном управлении в режиме силового регулирования тягового сопротивления имеет место нестабильность глубины обработки почвы в зоне передних корпусов. Установлено также, что при увеличении среднеквадратичного отклонения глубины от заданной на 1 см урожайность снижается на 3,5...5 % [2].

Для повышения уровня качества почвообрабатывающих операций для пахотных агрегатов с использованием длиннобазовых полунавесных плугов при снижении расхода топлива путем обеспечения равномерной глубины обработки почвы по всей ширине захвата плуга необходимо автоматическое регулирование положения передних корпусов плуга с помощью корректирующего воздействия со стороны навесного устройства трактора. В этом случае командами для управления данным контуром могут являться сигналы от ультразвукового датчика прямого измерения глубины пахоты. При этом дополнительно предусматривается позиционное регулирование опорного колеса относительно остова плуга для устранения влияния на качество копирования утечек рабочей жидкости в магистралях гидросистемы.

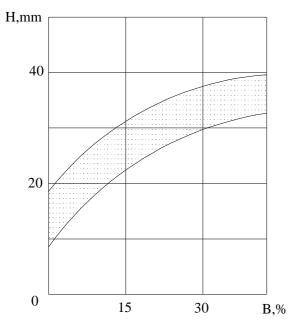


Рис.1. Графическое изображение параметрического поля

Повышение эффективности работы энергомашины при точном копировании рельефа поверхности рабочими органами мобильной машины достигается при снижении ее буксования, которое можно выразить как разность между теоретической и фактической скоростями перемещения по поверхности. Для оценки теоретической скорости мобильной машины предполагается использование дискретного индуктивного датчика числа оборотов элементов трансмиссии, а фактическую скорость целесообразно измерять посредством радарного устройства или системы глобального позиционирования. Установлено, что изменение глубины обработки

почвы на 1 см увеличивает буксование агрегата в среднем на 15% [1]. Зависимость относительного буксования агрегата от глубины пахоты приведена на рис.1.

Средства бесконтактного копирования рельефа поверхности, приведенные на рис.2, включают гидравлический привод с электрическим управлением, содержащий насос 1, электрогидравлический регулятор 2, гидроцилиндр 3, а также микропроцессорный контроллер 4, датчик 5 перемещения навесного устройства относительно остова трактора, ультразвуковой датчик (дальномер) 6 дистанционного измерения расстояния оси подвеса длиннобазового плуга 7 с опорным колесом 8 до поверхности, устройство 9 для определения теоретической скорости агрегата и систему 10 глобального позиционирования. Влияние стерни на работу указанного ультразвукового датчика исключено, а результаты мгновенных измерений из-за неровностей рельефа почвы могут отличаться и подлежат усреднению.

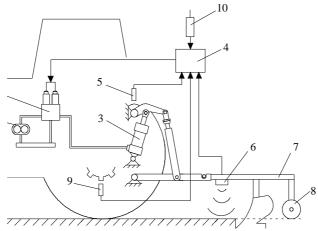


Рис. 2. Расположение контуров регулирования глубины пахоты на тракторном агрегате

На рис.3 показана блок-схема контуров регулирования глубины пахоты.

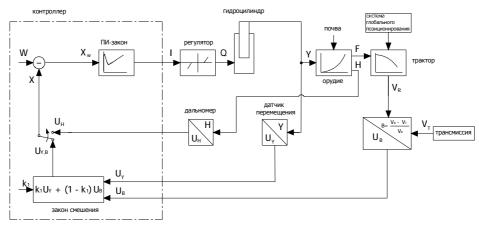


Рис. 3. Блок-схема контуров регулирования глубины пахоты

Перемещение Y навесного устройства определяется выходным напряжением датчика перемещения  $U_Y$ . Взаимодействие орудия с почвой на расстоянии H его оси подвеса от поверхности определяет тяговое сопротивление F. Величина относительного буксования B вычисляется по фактической  $V_R$  и теоретической  $V_T$  скоростям агрегата, которые определяются соответственно системой глобального позиционирования и устройством измерения скорости вращения зубчатых элементов трансмиссии. Смешанный сигнал обратной связи  $U_{Y,B}$  вычисляется в микропроцессорном контроллере согласно алгоритму управления по коэффициенту передачи  $k_1$ , который устанавливается оператором на пульте вместе с задающей величиной W. Сигнал обратной связи X сравнивается с величиной W, определяя при этом рассогласование  $X_W$ , которому ставится в соответствие ток I, управляющий электрогидравлическим регулятором согласно пропорционально-интегральному (ПИ) закону. При этом величина потока рабочей жидкости Q поступает от регулятора в силовой гидроцилиндр при подъеме навесного устройства и вытекает при его опускании.

Для бесконтактного копирования рельефа поверхности рабочими органами предусмотрен контур регулирования расстояния H оси подвеса длиннобазового плуга до поверхности почвы на основе ультразвукового дальномера с выходным сигналом  $U_H$ .

Алгоритмическое обеспечение должно реализовать высокие динамические качества срабатывания исполнительных механизмов гидропривода. При этом задачи динамики, энергетики и надежности решаются одновременно путем синтеза оптимальных структур гидравлических, электронных и электромеханических элементов без введения корректирующих устройств.

Выбор конструкционных параметров контуров регулирования глубины пахоты с целью обеспечения необходимого запаса устойчивости и качества осуществлен путем компьютерного моделирования с идентификацией откликов по экспериментальным осциллограммам. Для этого выполнено математическое описание основных компонентов на основе алгебраических и дифференциальных уравнений, разработан алгоритм их численного решения. На рис. 4 приведена реакция в виде напряжения U контура регулирования трактора «Беларус-1222» с замкнутой обратной связью на ступенчатое воздействие W, имеющее значение 2,25B, со стороны задатчика в позиционном режиме.

Рис. 4. Изменение напряжения управления при отработке ступенчатого задающего воздействия

Указанный подход позволяет создать с наименьшими затратами систему бесконтактного копирования рельефа поверхности для мобильных машин, что дает воз-

можность по совокупности конструкционных и эксплуатационных показателей выйти на новый технический уровень.

Список литературы: **1.** Ксеневич И.П. Современные проблемы прикладной механики наземных тягово-транспортных систем / Приводная техника - Москва, 2002, №4(38). – 38 с. **2.** Гельфенбейн С.П., Волчанов В.Л. Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах. – М., Агропромиздат, 1986. – 239 с.

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕГЛАМЕНТИРОВАННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЛЯ ТРАНСМИССИЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

### Сусин А.А. (ИМИНМАШ НАНБ, г. Минск, Беларусь)

It is shown, that with a modern level of production the achievement of reliability of gearing basically is determined basically by a technological heredity, quality of materials and chemical thermal hardening. The normative parameters of quality for casehardened steels, required the manufacturing technology basic stages for crucial gear wheels of high durability are given.

В настоящее время для изготовления деталей машин применяется широкий перечень конструкционных материалов, которые по своим техническим свойствам зачастую мало чем отличаются по ряду свойств [1,2]. Вместе с тем анализ применяемых материалов показывает, что эффективное их использование существенно зависит от изменения первоначальных параметров качества в процессе технологического передела в деталь. В ИМИНМАШ НАН Беларуси разработан системный подход, который основывается на анализе таких свойств материала как закаливаемость и прокаливаемость, величина зерна, направление волокон, теплостойкость, влияние легирующих элементов, а так и на изменении этих свойств в процессе технологического передела. Кроме того, системный подход учитывает технологическую цепочку изготовления, где в качестве подсистем выступают отдельные стадии и техпроцессы, определяющие структуру и свойства материала, данные о зарождении и распространении трещин в элементах субмикроструктуры металла. Это позволяет связать взаимодействия микро- и субмикроструктуры при наложении внешних нагрузок и сопротивление разрушению.

Для деталей силовых передач определяющими являются:

- требования к качеству поставляемого металла (сортовому горячекатаному прокату) по химсоставу, механическим свойствам, прокаливаемости, наследственному зерну аустенита, металлургическим дефектам, влияющим на склонность металла к трещинообразованию, анизотропию свойств, повышенную деформацию и ухудшение обрабатываемости при механической обработке;
- требования к качеству заготовок, изготавливаемых методом горячей пластической деформации и прошедших предварительную термическую обработку, (качество поверхности заготовок, величина действительного аустенитного зерна, ориентация волокон к рабочим поверхностям и направлению приложения сил, микроструктура и твердость, обеспечивающая удовлетворительную обрабатываемость резанием);
- требования к качеству деталей, упрочняемых химико-термической обработкой (твердость, эффективная толщина упрочненного слоя, микроструктура слоя и сердцевины).

С учетом этих требований определены нормативные показатели качества, регламентирующие основные стадии технологии изготовления ответственных зубчатых колес высокой долговечности [1,2,5]

Предлагаемый, апробированный на практике подход к проектированию процессов химико-термической обработки цементуемых зубчатых колес ответственного назначения позволяет обеспечить как существенное сокращение объема и сроков исследовательско-технологических работ и испытаний, так и высокую стабильность химико-термической обработки и требуемый уровень качества зубчатых колес повышенной долговечности.

Основные технические характеристики конструкций, машин и деталей (прочность, долговечность, надежность) зависят не только от технологических факторов, но в огромной степени от физико-механических свойств выбранного материала. Последние тесно связаны с качеством структуры упрочненного слоя после химико-термической обработки.

Проведенные исследования структурного строения и прочностных свойств металла позволили установить следующее. Причиной пониженного сопротивления контактной усталости является присутствие в упрочненном слое бейнита и реечного мартенсита, где усталостная трещина, не встречая препятствий, развивается вдоль мартенситных пакетов и бейнитных включений. Именно наличие разного количества бейнита и пакетного мартенсита обычно не выявляется металлографически в мелкозернистой структуре, и обуславливает дисперсию  $\sigma_{\text{Hlim}}$  в слоях с твердостью 650-730 HV. Способствует снижению сопротивления усталости цементованных слоев присутствие карбидов, количество остаточного аустенита, темной составляющей и др. (см. рисунок 1а).

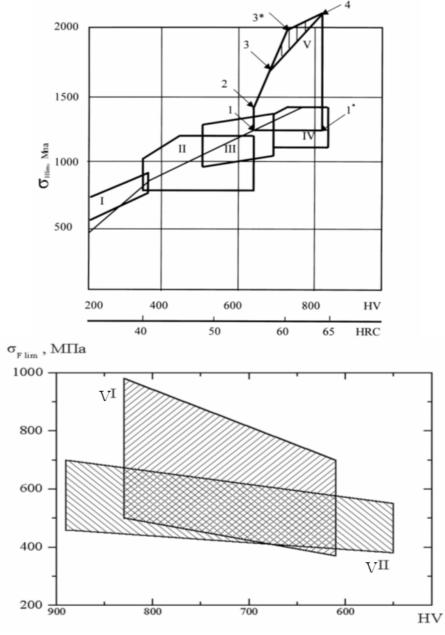
Разрушение зубьев цементованных зубчатых колес от изгибных нагрузок находится в прямой зависимости от твердости и структуры упрочненного слоя и сердцевины, ориентации волокон, толщины диффузионного слоя и распределения твердости по его глубине, содержания продуктов немартенситного типа, дисперсности структуры, величины и знака остаточных напряжений (см. рисунок 1б).

Из рисунков видно, что в результате многочисленных исследований зубчатых колес после стендовых и эксплуатационных испытаний, на основе которых получены новые представления о критериях работоспособности цементованных зубчатых колес, работающих в условиях высоких изгибных и контактных нагрузок [3,4]. Получено, что для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик цементованные зубчатые колеса должны иметь эффективную толщину слоя до участка с микротвердостью HV750, равную (0,08-0,1)m, HV700 - (0,12-0,15)m, HV600 - (0,2-0,22)m. У высоконапряженных зубчатых колес с меньшей эффективной толщиной обычно развивается глубинное контактное выкрашивание. Для зубчатых колес с большей эффективной толщиной слоя характерны сколы зубьев.

Показано, что сопротивление контактной усталости высоконапряженных цементованных зубчатых колес обусловлено величиной твердости и качеством структуры упрочненного слоя на некотором расстоянии от поверхности контакта. Получена зависимость для определения предела контактной выносливости, используемая при расчете ресурса зубчатых колес, обеспечиваемого сопротивлением глубинной контактной усталостью упрочненных слоев зубьев. Приведены кривые глубинной контактной усталости, полученные для цементованных слоев зубчатых колес. При построении кривых усталости была соблюдена идентичность структурных характеристик опасных зон с учетом смещения их в глубину слоя при повышении уровня контактных нагрузок. Такой подход предлагается впервые и позволяет оценивать сопротивление усталости уп-

рочненного материала вне зависимости от геометрических параметров зубчатых колес.

Кроме того, для цементованных зубчатых колес ответственного назначения первостепенное значение имеет обоснованный выбор критериев качества структуры упрочненного слоя, влияющий в конечном итоге на эксплуатационные характеристики. Нормативные показатели качества упрочнения, принятые в различных отраслях машиностроения стран СНГ и других развитых станах, не учитывают в полной мере такие структурные характеристики упрочненного слоя, как эффективная толщина слоя, содержание и глубину залегания бейнита, карбидов, величину зерна и дисперсность структуры, морфологию строения мартенсита, которые могут приводить в преждевременным выходам из строя высоконапряженных зубчатых колес. Отсутствует единая методика контроля и не производится полная оценка качества деталей ответственного назначения, упрочненных химико-термической обработкой [1,2,5].



I - углеродистые и легированные улучшенные стали; II – поверхностная закалка с газоплазменным и индукционным нагревом, закалка по различным режимам нагрева

и охлаждения + отпуск; III - азотирование; IV - азотирование стали, газовое азотирование; V - цементация и нитроцементация, закалка по различным режимам, низкий отпуск, старение; VI - цементация и нитроцементация; VII – азотирование.

Рис. 1. Зависимость характеристик контактной  $\sigma_{H \text{ lim}}$  и изгибной усталости цементованных сталей от твердости  $\sigma_{F \text{ lim}}$  и структуры

Разработанную конструктивную модель системы иллюстрирует рисунок 2. Здесь, исходя из изложенного, модель системы в применении к данной задаче можно определить схемой системного подхода, а также базой данных по структуре и свойствам стали после химико-термического упрочнения стали и техническими требованиями к качеству высоконапряженных деталей, технологическим маршрутом изготовления детали и другими нормативно-техническими материалами, приведенными ниже.

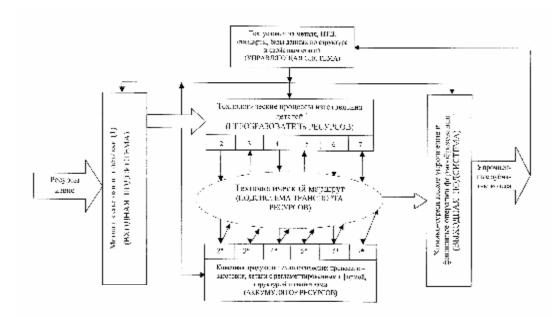


Рис. 2. Схема системного подхода при реализации технологического процесса изготовления высоконапряженных зубчатых колес трансмиссий: 2...7 – последовательность технологических операций; 2\* ...7\* - продукция переработки (заготовки и детали с регламентированной структурой после горячего пластического деформирования, предварительной термообработки и т.д.)

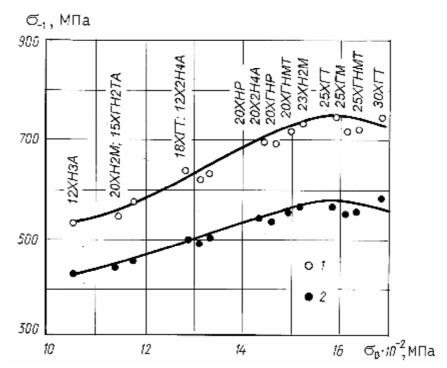
По результатам исследований установлено, что при оптимальном качестве химико-термического упрочнения цементованных сталей могут быть достигнуты пределы усталости при контактном выкрашивании до 1700-2000 МПа, что обеспечивает высокую несущую способность зубчатых колес.

Высокие пределы изгибной выносливости до 1100 МПа обеспечиваются только при высокой твердости упрочненного слоя 750-800HV, его эффективной толщине не менее 0,05m, сжимающими напряжениями 650-750МПа на этой глубине и структурой, практически не содержащей мартенсита с реечным строением троостита, темной составляющей, бейнита и карбидов. Следует учитывать также тот факт, что изгибные напряжения существенно зависят от направления волокна (рисунок 3).

Полученные результаты могут быть использованы для улучшения параметров

качества используемых материалов в процессе технологического передела, а также при совершенствовании и разработке новых процессов изготовления и химикотермического упрочнения высокопрочных конструкционных сталей (ВКС) [2].

Для обеспечения производства автотракторной техники нового поколения необходимы высокопрочные конструкционные стали с повышенным сопротивлением изгибной усталости до 1200 МПа и контактной усталости до 1500-1700 МПа при удовлетворительной вязкости, а также с теплостойкостью, обеспечивающей минимальное разупрочнение до температур  $300-500\,^{0}\mathrm{C}$ .



- 1 при продольном расположении волокон;
- 2 при поперечном расположении волокон

Рис. 3. Зависимость сопротивления усталости при изгибе ( $\sigma_{-1}$ ) цементуемых сталей после закалки и низкого отпуска от предела прочности ( $\sigma_{B}$ ) (по Б.И. Александрову)

В частности, по данным проведенных исследований зубчатые колеса высокого качества должны иметь эффективную толщину слоя с микротвердостью 750 HV (0,08 - 0,1)m, 700 HV (0,12 -0,15)m, 600 HV (0,2 -0,22)m при мелкоигольчатой мартенситно-аустенитной структуре, не содержащей бейнита и реечного мартенсита. Как показал наши исследования именно при таких параметрах упрочненного слоя и твердости сердцевины в пределах 30-41 HRCэ обеспечиваются высокие характеристики изгибной и контактной усталости.

Опыт применения известных высокопрочных хромоникелемолибденовых сталей при изготовлении деталей по технологическим переделам, принятым в машиностроении, показал необходимость оптимизации химического состава теплостойких высокопрочных сталей. Особенно эта задача актуальна для массового производства ответственных трансмиссий энергонасыщенных тракторов и большегрузных автомобилей.

Оптимизация химического состава высокопрочных цементуемых сталей необходима для использования в массовом производстве прогрессивных технологий изготовления на современном компьютеризированном печном и станочном оборудовании:

- технологий горячего пластического деформирования заготовок при изготовлении поковок (штамповок);
- технологий предварительных термических обработок, обеспечивающих улучшение обрабатываемости и за счет этого уменьшения стоимости механической обработки изделий;
- технологий химико-термической обработки, обеспечивающих высокую растворимость углерода в диффузионном слое при цементации в современных печных агрегатах с автоматическим регулированием параметров технологического процесса, а также мелкозернистую структуру при нагревах и выдержках в процесса химико-термической обработки, высокую прокаливаемость при проведении закалки с охлаждением как в закалочных баках, так и при закалке в камере с интенсивным охлаждением в газовой среде, что гарантирует минимальное коробление деталей.

В качестве примера приводим результаты исследований стали 20Х2АН4М2ФСЮ (патент Республики Беларусь №7310 «Сталь» от 25.06.2002), использованной для изготовления экспериментальной партии высоконапряженных зубчатых колес энергонасыщенной техники (рисунок 4).

Следует еще раз подчеркнуть, что стали для изготовления высоконапряженных зубчатых колес силовых передач должны обладать не только высокими характеристиками сопротивления усталости, но и теплостойкостью. Такие характеристики могут быть обеспечены только при применении сталей упрочняемых ХТО и дисперсионным твердением. Наметилась также тенденция изготовления рядом ведущих зарубежных фирм зубчатых колес энергонасыщенных машин из сталей с высокими теплопрочностью, усталостной прочностью и размерной стабильностью за счет использования высокопрочных дисперсионно твердеющих никель-хром-молибденовых и никельхром-ванадиевых сталей с глубоким насыщением поверхности изделий азотом и углеродом.

Выбор стали для изготовления ответственных зубчатых колес трансмиссий проводился на основании исследований мартенситно-стареющих сталей.

Для проведения исследований были выбраны две марки стали типа  $20X2H4M2C\Phi$ Ю с содержанием углерода (0,20-0,27~%~u~0,15-0,20~%) и алюминия  $(\sim 1,1\%~u~0,7~-0,4~\%)$ , а также мартенсинто-стареющая сталь BKC10 без алюминия и с пониженным содержанием углерода  $\sim 0,10\text{-}0,15~\%$ .

Основным критерием для выбора марки стали служили механические свойства сталей после термической обработки, теплостойкость после нагрева до  $350-500\,^0\mathrm{C}$  и способность сталей к науглероживанию.

Для рекомендуемой стали 20X2H4M2CФЮ (патент № 20020540), разработаны:

- технические условия на сталь ТУ РБ 1001185302.045-2000;
- инструкция изготовления зубчатых колес с повышенной теплопрочностью и сопротивлением усталости, включающая технологию плавки металла, разливки стали, ковки слитка, термическую обработку зубчатых колес;
- технологический маршрут изготовления зубчатых колес из стали 20X2H4M2CФЮ в производственных условиях;
- техническое задание на изготовление опытной партии зубчатых колес из теплостойкой мартенситностареющей стали.

Исходными данными для разработки технологии химико-термической обработки являются качество заготовок и деталей после механической обработки, распределение твердости по толщине слоя, определяющее его эффективную толщину, а также нормативные показатели качества микроструктуры.

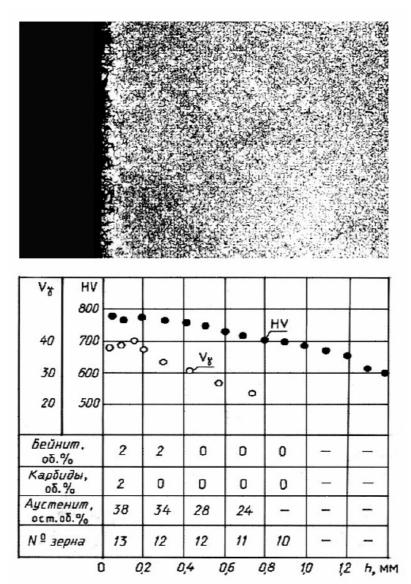


Рис. 4. Структурные характеристики и эффективная толщина упрочненного слоя зубчатых колес высокой долговечности после химико-термической обработки с автоматическим регулированием углеродного потенциала по технологии ИМИМАШ (зубчатые колеса m=10 мм солнечная шестерня конечной планетарной передачи промышленного трактора)

Разработка режимов ХТО зубчатых колес основывалась на:

- определении концентрации углерода по слою, обеспечивающего требуемую эффективную толщину слоя и его структуру;
- разработке режимов цементации по данным математического моделирования процессов науглероживания и расчета на ЭВМ величины углеродного потенциала печной атмосферы, обеспечивающего заданное распределение углерода по слою;

- разработке температурно-временных режимов подстуживания, нагрева под закалку и условий охлаждения при закалке, обеспечивающих заданную твердость и структуру слоев с регламентированным содержанием углерода.

Определение концентрационного профиля содержания углерода по слою выполнялось с учетом геометрических размеров деталей (характеристического размера). В процессе математического моделирования процесса науглероживания получен двухступенчатый режим цементации сталей 20Х2Н4М2СФЮ и 20Х2Н4А, который позволяет сократить время цементации на 25-30% по сравнению с серийным процессом XTO.

Показано, что нормативные показатели качества и технические на цементуемые стали и технологию изготовления должны включаться в нормативнотехническую документацию на качество стали и все стадии изготовления, а также регламентироваться техническими условиями чертежа и карт техпроцессов.

Список литературы: 1. Сусин А.А. Химико-термическое упрочнение высоконапряженных деталей, Мн., Беларуская навука, 1999. –175с. 2. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач. Учеб .пособие/ В.Е.Антонюк, Сусин А.А., Руденко С.П. и др. Под ред. В.Е. Старжинского и М.М.Кане: Минск УП "Технопринт".2003. 766 с. 3. Сусин А.А. Структура и субмикроструктура, сопротивление контактной усталости химико-термически упрочненных сталей. Доклады НАНБ. 2002. Т. 46. №1. с.120-123.. 4. Сусин А.А., Руденко С.П. Изгибная усталость, структура и субмикроструктура химико-термически упрочненных сталей// Доклады НАН Беларуси. 2002. Т.46.№ 2.С.111-114. 5. Сусин А.А. Качество цементованных сталей и технология изготовления зубчатых колес энергонасыщенной автотракторной техники// Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века: Тез. межд. н.-т. конф., Севастополь, 11-17 сент. 2000 г. Донецк. 2000. С. 114-120.

### К ПРОБЛЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИЙ КОН-КУРЕНТОСПОСОБНОЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

### Сусин А.А., Руденко С.П. (ИМИНМАШ НАНБ, г. Минск, Беларусь)

The items of information on a technique of forecasting of durability of gear wheels depending from the mark of steel, technology of manufacturing, type of the used thermal equipment and technological modes of chemical and heat treatment processing are given.

Прогнозирование надежности зубчатых передач является составной частью комплексного подхода Института механики и надежности машин Национальной академии наук Беларуси к разработке технологии химико-термического упрочнения высоконапряженных зубчатых колес. Достоверность и экспериментальная обоснованность методики прогнозирования основаны на: - моделировании на ЭВМ условий работы зубчатых колес при эксплуатационном и стендовом нагружении, базирующимся на уточненных методиках расчета напряженного состояния, распределения нагрузки в зацеплении с учетом реальной геометрии, точности изготовления зубчатых колес и податливости зубьев; - экспериментально подтвержденных методиках расчета долговечности, разработанных с учетом результатов многолетних стендовых испытаний зубчатых колес из различных марок сталей после ХТО по различным технологиям; - базе данных по влиянию качества структуры цементованного слоя, вида напряженного состояния на предельные величины характеристик сопротивления усталости зуб-

чатых колес из разных марок сталей; - методах определения качественных характеристик структуры цементованных слоев, оказывающих основное влияние на работоспособность высоконапряженных зубчатых колес.

Реализация в разработанном методе современных представлений об условиях работы зубчатого зацепления и механики разрушения зубьев, а также о связи структурных параметров и сопротивления усталости цементованных зубчатых колес позволяет при моделировании на ЭВМ получать достоверные данные о долговечности упрочненных поверхностей зубьев при определенных условиях нагружения.

Разработанный метод прогнозирования надежности зубчатых колес представляет собой комплекс следующих методик и работ: 1. Металлографические исследования структурных характеристик зубчатых колес после химико-термической обработки по конкретной технологии. 2. Оценка конструктивных и геометрических параметров зубчатой передачи. Определение эксплуатационных режимов нагружения. 3. Моделирование профилей зубьев и расчет их напряженного состояния. 4. Расчет долговечности зубчатых колес, обеспечиваемой сопротивлением усталости при изгибе, поверхностной и глубинной контактной усталостью зубьев.

Метод прогнозирования реализован в виде компьютерных программ и методик экспериментального определения характеристик структуры материала, ответственных за работоспособность зубчатых колес.

Металлографические исследования качества структуры, проводимые на первом этапе прогнозирования, необходимы для выявления тех характеристик упрочненного слоя и сердцевины, которые ответственны за работоспособность зубчатых колес. К таким структурным характеристикам относится твердость слоя и ее распределение по глубине, а также структурные составляющие, оговариваемые в технических требованиях ИМИНМАШ к качеству ХТО высоконапряженных зубчатых колес [1, 2]. Для получения достоверных данных металлографические исследования проводятся специалистами с применением методик металлографического анализа, разработанных в ИМИНМАШ [3-5].

Конструктивный анализ передачи включает в себя определение неравномерности распределения нагрузок между ее основными звеньями. При отсутствии экспериментальных данных для рядных передач используются рекомендации ГОСТ 21354-87.

Особую часть методики занимают режимы нагружения исследуемой передачи, от достоверности и точности определения которых зависят конечные результаты прогнозирования долговечности. Для исследуемой передачи необходимо иметь трехпараметрический синтез эксплуатационных нагрузок, который определяется при проведении эксплуатационных испытаний объекта исследования или его аналога.

При расчете зубчатых колес на прочность и долговечность необходимо знать напряженное состояние в опасном сечении зуба. В ГОСТ 21354-87 приведены значения коэффициента, учитывающего форму зубьев, исходный контур которых соответствует ГОСТ 13755-81. Однако в практике изготовления зубчатых колес исходный контур окончательно обработанных зубьев зачастую не соответствует стандартным параметрам. Особенно это касается шлифованных, накатанных и шевингованных колес. Поэтому для повышения точности расчета необходимо в каждом конкретном случае оценивать напряженное состояние зубьев с учетом их реальной геометрии и с использованием точных методов теории упругости. В методике прогнозирования используется метод граничных интегральных уравнений, реализованный в виде компьютерной программы расчета и позволяющий оценивать напряженное состояние зубьев

эвольвентного зацепления, которым соответствует как стандартный, так и нестандартный исходный контур.

Исследования контактной выносливости поверхностей зубьев позволили установить критерии работоспособности цементованных зубчатых колес. Получено, что в высоконапряженном контакте при действии напряжений, превышающих по величине предел выносливости, присутствуют два вида усталостного разрушения поверхностных слоев: питтинг и отслаивание (глубинное контактное разрушение) (рисунки 1-3). Каждому виду соответствует свой механизм разрушения. Следует отметить, что оба вида имеют усталостный характер и возникают при потере материалом устойчивости к воздействию переменных по величине и длительности контактных нагрузок. В зависимости от геометрических параметров зубчатых колес, величины контактной нагрузки, условий работы и качества упрочненных слоев оба вида поверхностного разрушения могут присутствовать одновременно (рисунок 16) или при известных условиях превалирует один из них (рисунок 1a, 1a, 2, 3). Значительное влияние на возникновение и развитие усталостного контактного разрушения оказывают структурные характеристики цементованных слоев. Причем для каждого вида контактного разрушения это влияние различно.

На основании многочисленных экспериментальных данных установлено, что критерием работоспособности высоконапряженных цементованных зубчатых колес является глубинное контактное выкрашивание поверхностей зубьев - отслаивание, которое характеризуется большими по глубине и площади выкрашенными частицами и имеет тенденцию распространяться по всей зоне однопарного зацепления. На условия возникновения отслаивания решающее влияние оказывают напряжения сдвига, возникающие под действием контактных нагрузок в упрочненном слое на определенной глубине от поверхности. Глубина расположения и величина максимальных напряжений сдвига зависит от многих факторов, основными из которых являются: радиусы кривизны профиля зуба, величина поверхностных контактных напряжений (давлений), величина и характер распределения твердости по глубине цементованного слоя.

На завершающем этапе прогнозирования выполняется расчет показателей надежности зубчатых колес, при котором определяется, в частности, срок службы или ресурс, соответствующий определенной вероятности неразрушения, обеспечиваемый сопротивлением изгибной и контактной усталости зубьев. Статистические характеристики сопротивления усталости при расчете зубчатых колес из цементуемых сталей принимаются в зависимости от качества химико-термического упрочнения, характеризуемого таким обобщенным критерием, как эффективная толщина цементованного слоя. Исследования показали, что эта характеристика, определяемая расстоянием от поверхности до зон слоя с определенной твердостью, оказывает значительное влияние на изгибную и контактную выносливость зубчатых колес. Анализ современного уровня производства ряда отечественных промышленных предприятий показывает, что качество выпускаемой на них продукции характеризуется большой нестабильностью значений эффективной толщины цементованных слоев упрочненных деталей. Так, например, анализ данных по исследованию твердости цементованных слоев зубчатых колес из сталей 20ХНР, 20Х2Н4А, 20ХН3А, 20ХН2М с качеством, соответствующим общепринятым нормам, проведенный на ряде заводов автомобильной и тракторной промышленности (МТЗ, БелАЗ, МАЗ, Уралтрак, Гомсельмаш) показал, что: твердость цементованных слоев колеблется в широких пределах 650-900 HV (57-64 HRCэ) на поверхности, 450-600 HV в переходной зоне, 300-450 HV в сердцевине.

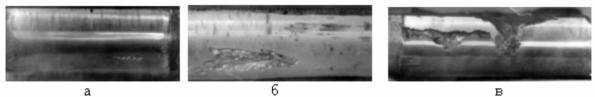


Рис. 1. Виды контактного разрушения зубьев: а – поверхностное (питтинг); б – поверхностное и глубинное; в – поверхностное и глубинное, переходящее в скол вершины зуба



Рис. 2. Усталостное поверхностное контактное повреждение зуба (питтинг)

На рисунке 4 приведены кривые усталости зубьев при изгибе зубчатых колес с модулем 7 мм при различной эффективной толщине упрочненного слоя. В таблице приведены пределы выносливости при изгибе зуба в зависимости от значений эффективной толщины цементованного слоя при вероятности неразрушения 90 и 50% и базе испытаний  $4 \cdot 10^6$ , полученные на основании статистических характеристик механических свойств цементуемых сталей после закалки и низкого отпуска в результате статистической обработки экспериментальных данных плавочного контроля разных марок сталей.



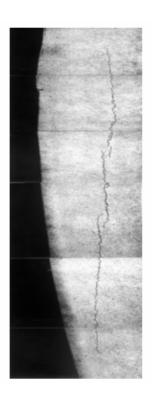


Таблица 1. Значения пределов выносливости при изгибе зубьев после цементации, закалки и отпуска, МПа

	Эффективная толщина до твердости 700HV								Коэффициент
									вариации
Марка стали	0,15m		0,1m		<0,1m		0		$V(\sigma)$
	50%	90%	50%	90%	50%	90%	50%	90%	
18X2H4MA	907	835	838	771	727	670	589	542	0,062
20X2H4A	930	898	858	828	784	757	644	622	0,027
12X2H4A	855	809	783	741	711	673	574	543	0,042
12XH3A	755	685	689	623	611	555	485	440	0,072
25ХГНМТ	957	913	885	844	813	776	666	635	0,036
23XH2M	990	957	926	896	829	800	681	658	0,026
20XH2M	815	720	745	658	635	561	507	448	0,091
15ХГН2ТА	820	736	740	664	661	594	529	475	0,080
25XΓM	956	917	870	835	812	780	665	638	0,032
20XHP	932	881	860	813	787	644	643	608	0,043

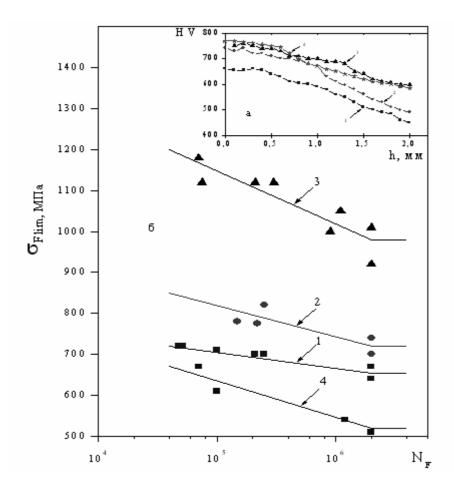


Рис. 4. Зависимость сопротивления изгибной усталости цементованных зубчатых колес от твердости и эффективной толщины диффузионных слоев: а) поверхностная твердость и эффективная толщина упрочненных слоев после различных режимов XTO, б) характеристики сопротивления изгибной усталости упрочненных сталей после обработки по различным режимам

- 1.Поверхностная твердость 660 HV; Эффективная толщина при твердости до: 750HV h =0; 700HV h =0; 650HV h =0,45 мм; 600HV h =0,9 мм.
- 2. Поверхностная твердость 750 HV : Эффективная толщина при твердости до: 750 HV h = 0,2 мм; 700 HV h = 0,6 мм; 650 HV h = 1,1 мм.
- 3. Поверхностная твердость 770 HV: Эффективная толщина при твердости до: 750 HV h =0,75мм; 700 HV h =1,2мм; 650 HV h =1,5мм; 600 HV h =1,8 мм.

На рисунке 5 представлены кривые глубинной контактной усталости цементованных слоев зубьев, полученные при различных уровнях напряжений в зоне контакта в зависимости от величины твердости на глубине слоя в зоне действия максимальных контактных напряжений сдвига (~0,1m). Видно, что долговечность цементованных слоев при твердости в этой зоне 650 -670 HV (кривая 3) примерно в 4 раза меньше, чем при твердости 750 - 770 HV (кривая 1). Ограниченный предел контактной выносливости в этом случае понижается на 25 %. К снижению сопротивления усталости цементованных слоев приводит присутствие в нем бейнита.

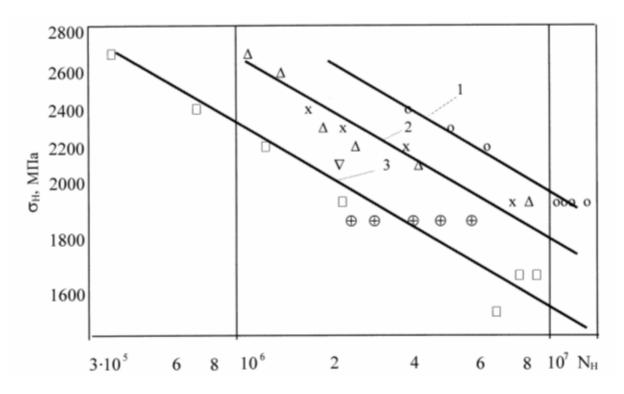


Рис. 5. Зависимость сопротивления контактной усталости зубчатых колес от твердости цементованного слоя на глубине ~ 0,1 m:

1 - «о» — при твердости слоя 750-770 HV; 2 — « $\Delta$ » — 700-710HV; 3 — « $\Box$ » — 650-800 HV; «x» — при наличии бейнита 10%; « $\nabla$ » — при наличии бейнита 20%; « $\oplus$ » — при наличии глобулярных карбидов 20%

Наличие в слое при величине твердости 750-770HV на глубине ~0,1m в виде отдельных выделений в мартенситной матрице бейнитной фазы до 10% приводит к снижению долговечности зубчатых колес примерно в 2 раза (испытания "x"). При увеличении количества бейнитных выделений (20%) долговечность зубчатых колес понижается в 3 раза (испытание "\nabla"). Исследованиями установлено также, что к значительному понижению сопротивления глубинному контактному выкрашиванию приводит присутствие в цементованных слоях на глубине ~ 0,1m глобулярных карбидов. Результаты испытаний показывают, что наличие в этой зоне карбидов приводит к катастрофически быстрому выходу из строя зубчатых колес как из-за прогрессирующего контактного выкрашивания, так и из-за сколов вершин зубьев. Отметим, что на большинстве машиностроительных предприятиях применяют рекомендации ряда исследователей по увеличению содержания глобулярных карбидов для повышения контактной выносливости цементованных поверхностей зубчатых колес. Однако исследования показали, что долговечность зубчатых колес при содержании карбидов в цементованных слоях до 20 % в 1,5 - 3,5 раза меньше (испытания "Ф"), чем зубчатых колес с высококачественной структурой цементованных слоев, состоящей из игольчатого (пластинчатого) мартенсита и 35 - 45% остаточного аустенита с твердостью слоя на глубине ~0,1m - 750-770 HV.

При расчете на глубинную контактную выносливость предел глубинной контактной выносливости  $\tau_{\text{Him}}$ , соответствующий базе испытаний  $N^{\text{G}}_{\text{HO}} = 5 \bullet 10^7$ , определя-

ется в зависимости от величины микротвердости опасной зоны упрочненного слоя по формуле [5]:

$$t_{Hlim} = 3.15 \, H_{HV}^{0.616}$$
,

где  $H_{HV}$  - твердость по Виккерсу.

Таким образом, разработанная методика позволяет на стадии проектирования прогнозировать надежность зубчатых колес силовых передач на основании моделирования напряженного состояния зубьев, определения режимов нагружения и характеристик сопротивления усталости, обеспечиваемых эффективной толщиной и качеством структуры упрочненных слоев, которое определяется уровнем технологии изготовления на конкретном производстве. Полученные данные позволяют существенно сократить объем стендовых и эксплуатационных испытаний и используются при разработке промышленной технологии ХТО с учетом возможностей конкретного оборудования, обеспечивающей рекомендуемое качество и требуемую надежность зубчатых передач.

Список литературы: 1. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач". Учеб .пособие/ В.Е. Антонюк, Сусин А.А., Руденко С.П. и др. Под ред. В.Е. Старжинского и М.М.Кане: Минск УП "Технопринт". 2003. С. 184-235. 2. Сусин А.А. Структура и субмикроструктура, сопротивление контактной усталости химико-термически упрочненных сталей. Доклады НАНБ. 2002. Т. 46. №1.С.120-123. 3. Сусин А.А. Химико-термическое упрочнение высоконапряженных деталей, Мн., Беларуская навука, 1999.-175с. 4. Сусин А.А., Руденко С.П. Изгибная усталость, структура и субмикроструктура химико-термически упрочненных сталей// Доклады НАН Беларуси. 2002. Т.46.№ 2.С.111-114. 5. Руденко С.П. Сопротивление усталости цементованных зубчатых колес// Вестник машиностроения. 1999.

## ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Таратынов О.В., Герасин А.Н., Хончев А.М. (МГИУ, Москва, Россия)

The article deals with the issues of the influence of the quality of a machined surface and its working conditions on its wear resistance.

Продолжительность периода, в течение которого качество поверхности трения снижается до недопустимых пределов, как известно, зависит от нагрузочно-скоростных и тепловых характеристик, действующих на пару, а также исходного состояния исполнительного поверхностного слоя каждой из образующих ее деталей. Кроме того, изнашивание данного слоя имеет двойственную природу: с одной стороны, в результате трения имеет место микросрезание вершин шероховатости, исчисляемое сотыми долями микрона, а с другой — процесс контакта двух сопрягаемых тел сопровождается образованием в их тонких поверхностных слоях вторичных структур, которые могут по физико-механическим свойствам значительно отличаться от исходных. Иначе говоря, параметры качества, которые отражают конкретные условия работы, окончательно формируются только в процессе контактирования исполнительных поверхностей. Хотя их формирование идет на всем протяжении технологического процесса изготовления пары, в том числе на особенно важных с этой точки зрения операциях окончательной (финишной) обработки. Причем сложность процессов, протекающих при финишной

обработке, до сих пор не позволяет теоретически прогнозировать параметры точности и качества поверхностного слоя, поскольку их выходные значения приходится рассчитывать в основном на базе экспериментально-статистических данных, а не на математических описаниях как этапов проектирования технологий обработки деталей и формирования соответствующего качества поверхностного слоя, так и условий эксплуатации (нагрузочно-скоростных характеристик).

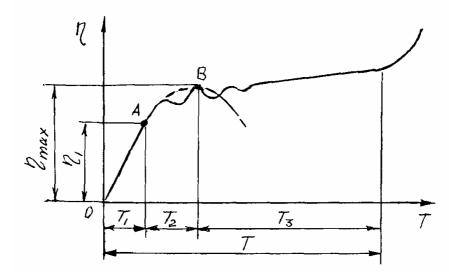


Рис. 1. Зависимость периода стойкости трибологической поверхности от параметра  $h = f(R_{\tau}, h)$ 

Однако решение данной проблемы возможно. И его подсказывает типовая и веем хорошо известная зависимость (рис. 1), связывающая период T стойкости трибологической поверхности с коэффициентом  $\eta$ , характеризующим толщину h ее исполнительного слоя и его шероховатости  $R_z$ .

Как видно, на этом рисунке очень четко просматриваются три периода:  $T_1$  приработки, в течение которого трибосистема приспосабливается к условиям эксплуатации, т. е. заданным нагрузочно-скоростным, тепловым и другим характеристикам и параметрам;  $T_2$  устойчивого состояния (незначительного износа);  $T_3$  катастрофического изнашивания, когда в результате увеличившегося зазора в трибологической системе (исполнительный слой изношен полностью) возникают значительные колебания и вибрации. Отсюда вывод: точку перехода  $T_2$  в  $T_3$  желательно смещать по оси T как можно дальше вправо, т. е. увеличивать толщину поверхностного слоя трущихся пар.

Однако нужно установить взаимосвязь таких факторов, как условия работы трибологической пары, шероховатость поверхности и толщина поверхностного слоя, обладающего определенными (заданными) физико-механическими характеристиками.

Для решения задачи использован аналитический подход, в основу которого положена заданная продолжительность периода T стойкости исполнительной поверхности, ее исходная шероховатость  $R_{\scriptscriptstyle 2}$  близкая к установившейся в процессе эксплуатации, и параметр h (рис. 2), характеризующий толщину измененного поверхностного слоя в процессе финишной обработки деталей трибологической пары. Причем влияние двух последних факторов можно с помощью коэффициента  $\eta$ , т.е. функциональной зависимости  $\eta = f(R_{\scriptscriptstyle 2}h)$ .

Из экспериментально полученных зависимостей, отражающих характер износостойкости трибологической системы (см. рис. 1), следует, что период T стойкости слоя, измененного в процессе финишной обработки, можно записать в виде:

$$T = T_1 + T_2 + T_3$$
, (1) или 
$$T = T_1 + T_2 m$$
,

где  $T_{I}$  – длительность периода приработки;

 $T_2$ ,  $T_3$  — соответственно начальный и полный период установившегося износа исполнительной поверхности детали; m — коэффициент, характеризующий полный период установившегося износа поверхностного слоя h с шероховатостью  $R_z$ , рис. 2

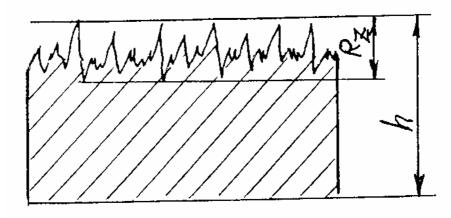


Рис. 2. Толщина и шероховатость  $R_z$  поверхностного слоя детали, полученные в процессе финишной обработки

Согласно рис. 1 в период приработки (участок ОА)

$$\sin (KT_1) = \eta_1,$$
или

 $KT_1 = \arcsin \eta_1$ , (2)

где K — коэффициент, учитывающий размерность параметров, входящих в формулу (2).

Для участка *ОВ* 

$$\sin [K(T_1 + T_2)] = 1$$
, или  $K(T_1 + T_2) = \arcsin 1 = \pi/2$ .

Из последнего выражения получим

$$KT_1 = \pi/2 - KT_2.$$
 (3)

Из уравнений (2) и (3) имеем

$$\arcsin \eta_1 = \pi/2 - KT_2. \tag{4}$$

После соответствующих преобразований уравнений (2) и (4) находим

$$T_{2} = T_{I} \frac{p - 2 \arcsin h_{I}}{2 \arcsin h_{I}} = T_{I} \frac{p - 2f(h_{I})}{2f(h_{I})} , \qquad (5)$$

где:  $f(h_I) = arcsinh_I$ , pad;  $T_I u T_2$ , час.

Из уравнений (1) и (5) получаем

$$T = T_{I} \left[ \frac{p - 2f(h_{I})}{2f(h_{I})} m + 1 \right]. \tag{6}$$

То есть уравнение (6), в аналитическом виде устанавливающее связь между заданной продолжительностью периода T стойкости (износостойкостью) рабочей поверхности, толщиной измененного поверхностного слоя h и исходной шероховатостью  $R_{z,}$  поверхности, полученной на окончательной (финишной) операции обработки детали.

В данное уравнение входит, как видим, коэффициент  $\eta_I$ , зависящий от шероховатости  $R_z$  поверхности и толщины h рабочего ее слоя, а также коэффициента m. Зная их величины и задавшись значением T, не представляет труда определить величину  $T_I$ . То есть то качество (параметр h) поверхности, полученное на операциях финишной обработки, которое после приработки в течение времени  $T_I$  гарантирует ресурс исполнительных поверхностей трибологической пары, равный T. Нужные для такого расчета значения параметров, входящих в формулу 6, дает эксплуатационная статистика. Так, для поверхностей ряда деталей легковых автомобилей  $\eta_I = (0, 5 \div 0, 66) \eta_{max}$ ,  $R_z$  поверхности в процессе эксплуатации, исходя из нагрузочно-скоростных, тепловых характеристик и условий смазки, лежит в пределах 4—15 мкм,  $m \sim 50$ ;  $T_2 \sim 1, 2T_I$ .

В качестве примера рассчитаем величину h при следующих исходных данных: T = 1500 u;  $R_z = 4 \text{ мкм}$ ;  $\eta_I = 0.66$ ; m = 50.

Поскольку  $\eta_I$ = 0,66, то  $f(\eta_I)$ =  $\arcsin(0,66) = \pi/4,31 = 0,729$ . По формуле 6 находим:  $T_I$  = 25,6  $\gamma$ . Далее в первом приближении принимаем, что  $R_z/h = T_I + 2T_2/T$ , откуда  $h = R_z T/T_1 + 2T_2 = 4 \cdot 1500/25,6 + 2 \cdot 1,2 \cdot 25,6 = 68,9$  мкм. Это означает, что в условиях сухого или полусухого трения значение  $\gamma$  после  $\gamma$  наработки составит  $\gamma$  мкм. Однако в реальных условиях жидкостного трения значение  $\gamma$  будет меньше. Это учитывается с помощью коэффициента  $\gamma$  который изменяется в пределах  $\gamma$  после если взять среднее его значение, т. е.  $\gamma$  по  $\gamma$ 

Список литературы: **1.** Таратынов О.В., Хончев А.М. Качество исполнительной поверхности и износостойкость трибологической пары. М.: «Автомобильная промышленность», 2006, № 1, с. 21-22.

НОВЫЕ ПРОГРЕССИВНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ, ПРОИЗВОДИМЫЕ В УКРАИНЕ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРАН СНГ И ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

**Терновой Ю.Ф., Зубкова В.Т., Левин Б.А., Джигурда В.А., Бойченко Т.В.** (УкрНИИспецсталь, ОАО «Днерпоспесталь», г. Запорожье, Украина)

Production of new promising foreign powder steels providing for high level of physical-mechanical and performance properties for tools of various applications has been fulfilled in Ukraine.

В связи с ускоренным и прогрессивным развитием ведущих отраслей машиностроения (авиастроения, приборостроения, ракетной и оборонной техники) всё большую актуальность приобретает проблема изыскания и применения новых высокопроизводительных инструментов и инструментальных сталей.

Современное машиностроение, в первую очередь производство авиа-космической техники, характеризуется широким использованием жаропрочных сталей и сплавов, прочность которых достигает уровня  $1500-2000~{\rm H/mm}^2$ , что создает трудность при их механической обработке.

Внедрение автоматизированных металлообрабатывающих комплексов и систем предъявляют повышенные требования к качеству и работоспособности используемых инструментов. Снижение обрабатываемости высокопрочных сталей и сплавов, с одной стороны, и необходимость обеспечения высокой производительности инструментов, с другой стороны, ставят перед машиностроителями трудную задачу выбора соответствующих инструментальных материалов.

Сегодня металлургическая промышленность Украины (ОАО «Днепроспецсталь», УкрНИИспецсталь) предлагает целый ряд новых марок быстрорежущих и штамповых сталей повышенной производительности, полученных современными методами порошковой металлургии[1].

Технология производства порошковых инструментальных сталей включает в себя выплавку, распыление нейтральным газом (азотом), классификацию порошка, горячее газостатическое прессование контейнеров с порошком, деформационный передел и термическую обработку компактного металла.

Газораспыленные порошки инструментальных сталей в виде микрослитков сфероидальной формы характеризуются высокодисперсной дендритно-ячеистой структурой с полным отсутствием грубых карбидных фаз (рис.1a).

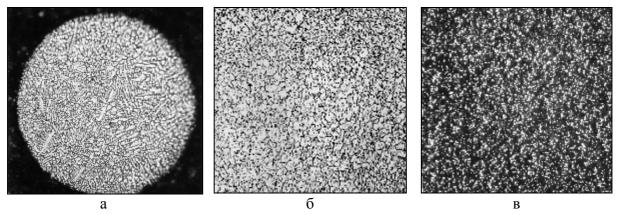


Рис.1. Микроструктура быстрорежущей стали, полученной методом порошковой металлургии, увеличение  $400^{\times}$ 

Размер ячеек и расстояние между вторичными осями дендритов, так называемый дендритный параметр, составляет 1-3 мкм. Исходная структура порошковых частиц обеспечивает в заготовках инструментальных сталей тонкодисперсную структуру с равномерным распределением как избыточных, так и вторичных карбидных фаз.

Порошковые инструментальные стали имеют мелкозернистую структуру с величиной зерна аустенита в пределах 10-12 балла, что обеспечивает им высокую технологическую пластичность и служебные характеристики (рис.1б).

После проведения полного цикла термической обработки достигается совершенная структура с точки зрения однородности распределения мелкодисперсных упрочняющих фаз типа Me<sub>6</sub> C, MeC и Me<sub>23</sub>C<sub>6</sub> в мартенситной основе (рис. 1в).

С целью гармонизации норм и показателей качества институт «УкрНИИспецсталь» совместно с ОАО «Днепроспецсталь» разрабатывает государственный стандарт Украины (ДСТУ) на новые марки порошковых быстрорежущих сталей (далее ПБС), свойства которых приведены в табл.1.

Таблица 1. Марочный сортамент, классификация и свойства порошковых быстрорежущих сталей, вводимых в ДСТУ

	Марка стали	рорежущих стален ,	Физико-механические свойства			
№ п/ п		Группа стали	Втор. твер- дость,	Проч- ность при изгибе,	Красно- стойкость, °С	
			HRC	H/mm <sup>2</sup>	(59HRC <sub>3</sub> )	
1	Р6М5-МП	Универсального на-	64-66	3200-4200	620-625	
2	Р2М9Ф-МП	значения, умеренной	64-65	3400-4400	620-625	
3	Р2М9Ф2-МП	красностойкости (нормальной произво-	64-66	3200-4200	620-625	
4	Р12МФ2-МП	дительности)	64-66	3200-4200	620-625	
5	Р6М5Ф4-МП	Повышенной износо-	65-67	3200-4200	625-630	
6	Р12МФ4-МП	стойкости (повышен- ной производительно- сти)	65-67	3100-4100	625-630	
7	Р12М6Ф5-МП		65-67	3000-4000	625-630	
8	Р4М3Ф8-МП	CIH)	65-67	2800-3800	625-630	
	1	ı				
9	Р12МФ4К5-МП	Высокой износостой-	66-67	3000-4000	630-635	
9 10	Р12МФ4К5-МП Р12МФ5К5-МП	кости улучшенной	66-67 66-67	3000-4000 3400-4200	630-635 630-635	
-		кости улучшенной шлифуемости				
10	Р12МФ5К5-МП	кости улучшенной	66-67	3400-4200	630-635	
10 11	Р12МФ5К5-МП Р9М2Ф5К6-МП	кости улучшенной шлифуемости (высокой производи-	66-67 66-68	3400-4200 2500-3500	630-635 630-635	
10 11 12	Р12МФ5К5-МП Р9М2Ф5К6-МП Р6М5Ф3К8-МП	кости улучшенной шлифуемости (высокой производительности) Высокой износостойкости, вторичной	66-67 66-68 66-68	3400-4200 2500-3500 3000-3800	630-635 630-635 630-635	
10 11 12 13	Р12МФ5К5-МП Р9М2Ф5К6-МП Р6М5Ф3К8-МП Р10М2Ф5К8-МП	кости улучшенной шлифуемости (высокой производительности) Высокой износостойкости, вторичной твердости и красно-	66-67 66-68 66-68	3400-4200 2500-3500 3000-3800 2500-3400	630-635 630-635 630-635	
10 11 12 13 14	Р12МФ5К5-МП Р9М2Ф5К6-МП Р6М5Ф3К8-МП Р10М2Ф5К8-МП Р10М3Ф4К8-МП	кости улучшенной шлифуемости (высокой производительности) Высокой износостойкости, вторичной	66-67 66-68 66-68 67-68	3400-4200 2500-3500 3000-3800 2500-3400 2400-3300	630-635 630-635 630-635 635-640	
10 11 12 13 14 15	Р12МФ5К5-МП Р9М2Ф5К6-МП Р6М5Ф3К8-МП Р10М2Ф5К8-МП Р10М3Ф4К8-МП Р10М5Ф3К9-МП	кости улучшенной шлифуемости (высокой производительности) Высокой износостойкости, вторичной твердости и красностойкости (высокой	66-67 66-68 66-68 67-68 67-68	3400-4200 2500-3500 3000-3800 2500-3400 2400-3300 2200-3200	630-635 630-635 630-635 635-640 635-640	
10 11 12 13 14 15 16	Р12МФ5К5-МП Р9М2Ф5К6-МП Р6М5Ф3К8-МП Р10М2Ф5К8-МП Р10М3Ф4К8-МП Р10М5Ф3К9-МП Р2М10ФК8-МП	кости улучшенной шлифуемости (высокой производительности) Высокой износостойкости, вторичной твердости и красностойкости (высокой	66-67 66-68 66-68 67-68 67-68 67-69	3400-4200 2500-3500 3000-3800 2500-3400 2400-3300 2200-3200 2000-2500	630-635 630-635 630-635 635-640 635-640 635-640	
10 11 12 13 14 15 16 17	Р12МФ5К5-МП         Р9М2Ф5К6-МП         Р6М5Ф3К8-МП         Р10М2Ф5К8-МП         Р10М3Ф4К8-МП         Р10М5Ф3К9-МП         Р2М10ФК8-МП         Р12М3К8Ф2-МП	кости улучшенной шлифуемости (высокой производительности) Высокой износостойкости, вторичной твердости и красностойкости (высокой	66-67 66-68 66-68 67-68 67-68 67-69	3400-4200 2500-3500 3000-3800 2500-3400 2400-3300 2200-3200 2000-2500 2000-3000	630-635 630-635 630-635 635-640 635-640 635-640 635-640	

Реализация разрабатываемого стандарта (ДСТУ) позволит увеличить объёмы порошковой металлопродукции отечественного производства за счет расширения марочного сортамента и номенклатуры высокопроизводительных инструментов, применяемых в условиях предприятий потребителя.

Несмотря на высокую степень легирования порошковые стали системы Fe-W(Mo)-V-Co имеют улучшенную шлифуемость, в том числе и стали, содержащие 3-6% ванадия. Высокая производительность шлифования способствует увеличению надежности и стойкости металлорежущих инструментов из-за уменьшения вероятности образования дефектов в виде прижогов и микротрещин.

Значительное повышение стойкости сложно-профильных и многолезвийных инструментов (фрез, протяжек, метчиков, шеверов, долбяков и т.д.), у которых выход из строя лимитируется развитием явления скалывания, микровыкрашивания и хрупкого разрушения, может быть достигнуто при использовании новых эффективных марок ПБС (аналогов зарубежных сталей T15-PM, M42-PM, ASP2030, ASP2060 и др.).

Наиболее перспективной маркой штамповых сталей является порошковая сталь 17X5ВЗМФ5С2-МП (ДИ90-МП), предназначенная для изготовления тяжелонагруженных элементов штампов холодного деформирования, работающих в условиях повышенного износа.

Благодаря рациональной схеме легирования и технологии производства сталь 17X5B3MФ5C2-МП (ДИ90-МП) обладает высокооднородным распределением мелкодисперсной упрочняющей фазы, представленной высокотвердыми карбидами хрома (Ме<sub>7</sub>C<sub>3</sub>) и ванадия (МеС). Эта особенность строения структуры стали ДИ90-МП и определяет высокий уровень физико-механических свойств (табл.2) и высокую износостойкость – в 3-5 раз выше по сравнению с высокохромистыми сталями типа X12-X12Ф4М традиционного способа производства.

Таблица 2. Физико-механические свойства порошковой штамповой стали повышенной износостойкости 17X5B3MФ5C2-МП (ЛИ90-МП)

monovovioninovini i y i i o z i y i i o z i y i i o z i y i i o z i y i i o z i y i i o z i y i i o z i y i i o						
Режим	Номер	Твёрдость	Прочность	Ударная	Предел уп-	Предел те-
термооб-	зерна	после зак.	при изги-	вязкость	ругости	кучести при
работки	аусте-	и отп.,	бе	KC,	при сжатии	сжатии $\sigma_{0,2}$ ,
	нита	$HRC_{\mathfrak{I}}$	$\sigma_{\rm m}$ , H/mm <sup>2</sup>	$M$ Дж $/$ м $^2$	$\sigma_{0,05}$ , H/mm <sup>2</sup>	$H/mm^2$
$T_3=1050^{\circ}C$	12-13	61-62	3700-4300	0,45-0,6	2000-2100	2500-2600
Т <sub>отп.</sub> =200°С						
выд. 2ч.						
$T_3=1110^{\circ}C$ ,	11-12	63-64,5	3600-4000	0,3-0,4	2400-2600	2800-3100
Т <sub>отп.</sub> =530°С						
3р. по 1ч.						

Наибольший интерес для внедрения новых марок порошковых инструментальных сталей на машиностроительных предприятиях стран СНГ представляют следующие марки:

- сталь повышенной износостойкости P6M5Ф4-МП (M4-PM) И P4M3Ф8-МП (ASP2053) взамен универсальных сталей широкого назначения типа P18, P6M5, P6M5Ф3-МП, P7M2Ф6-МП и др.
- стали высокой вторичной твердости с улучшенной шлифуемостью P12MФ5K5-МП (Т15-РМ), P6M5Ф3K8-МП (ASP2030) и P9M2Ф5K6-МП (ДИ106) взамен высоколегированных сталей типа P12M3K5Ф2-МП, P9M4K8-МП и др.
- стали высокой износостойкости и красностойкости так называемые сверх быстрорежущие стали: P2M10ФК8-МП (M42), P10M2Ф5К8-МП (ASP2052) и P6M7Ф6К10 (ASP2060) взамен высоколегированных сталей типа P12M3К8Ф2-МП, P12M3К10Ф3-МП и др.

Уникальная структура и высокий уровень вторичной твердости, красностойкости и прочности при статическом изгибе ПБС с принципиально новой и сложной схемой легирования позволит использовать их для высокопроизводительного инструмента при обработке высокопрочных и жаропрочных сталей с  $\sigma_{\rm R} > 1000~{\rm H/mm}^2$ .

Новые марки порошковых инструментальных сталей целесообразно применять для изготовления режущих инструментов, работающих в условиях значительного силового нагружения и разогрева рабочих кромок, а также деформирующих и штамповых инструментов повышенной износостойкости (рис.2).





Рис.2. Режущий, штамповый и деформирующий инструмент из высокопроизводительных порошковых инструментальных сталей

В настоящее время институт «УкрНИИспецсталь» проводит комплекс работ по разработке, изготовлению и поставке наукоёмкой металлопродукции из порошковых инструментальных сталей на рынки стран СНГ (Украины, России, Беларуси, Молдовы и др.) и Европейского Союза (Испании, Италии, Германии, Франции, Финляндии и др.).

Для решения проблемы повышения конкурентоспособности порошковых инструментальных сталей на мировом рынке институт разрабатывает и передаёт машиностроительным предприятиям стран СНГ и Европейского Союза документацию по технологическому обеспечению качественной термообработки и механической обработки высокопроизводительных инструментов из этих сталей.

**Выводы:** Ведущие предприятия Украины (ОАО»Днепроспецсталь», УкрНИ-Испецсталь) производят высокопроизводительные марки порошковых инструментальных сталей, используемые в различных отраслях машиностроения (авиа-космической, ракетной и оборонной техники) стран СНГ и Европейского Союза.

Список литературы: 1. Барков Е.Н., Зубкова В.Т., Ревякин С.В., Макогон В.Н., Штургунов И.Л. Освоение производства новых порошковых высоколегированных инструментальных сталей // Сталь. – 2002. - №9. – С. 87-89. 2. Терновой Ю.Ф., Зубкова В.Т., Ноговицын А.В., Бойченко Т.В. Создание и применение порошковых инструментальных материалов для износостойкого инструмента // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов международной научно=технической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2005г. – Донецк: ДонНТУ, 2005. –Т.3. – С. 260-263.

## ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЖИДКОСТЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНО-СТРОЕНИИ, НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

#### **Тетерин Е.П., Кузнецов Н.А.** (К ГТА им. В.А. Дектярева, Ковров, Россия)

An architecture of express-analysis measurement system for liquid quality monitoring is discussed. The key requirement for element of that system has been requirement. Also, a substantiation of velocity of both longitudinal and shear ultrasonic modes as a basis for express-analysis has been made.

Создание надежных и удобных в эксплуатации методов экспресс- анализа качества жидкостей различного назначения является весьма актуальной задачей для современного машиностроения. Являясь одной из разновидностей технического контроля,

экспресс- анализ качества жидкостей как система контроля включает в себя (рис.1) оптимальную систему параметров контроля, методики и средства их определения, системы представления результатов измерений и стратегии (алгоритмы) принятия решений.

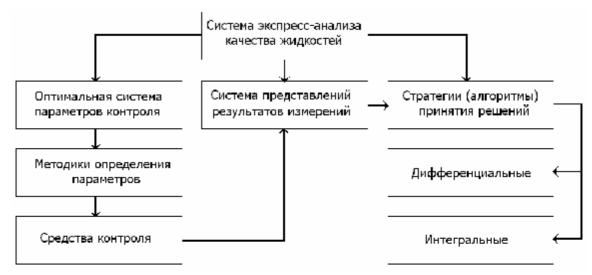


Рис.1. Система экспресс-анализа качества жидкостей

Оптимальность системы параметров предполагает: их минимальное количество при достаточной информативности о состояние контролируемого объекта, малое время определения (единицы или доли минут), измерение в условиях одного образца.

Идеология выбора параметров, по которым предполагается осуществлять экспресс- анализ качества жидкостей, должна базироваться на следующих представлениях. Жидкости - как объект материального мира — целостны, и наделение их совокупностью качеств или свойств есть уступка способности человеческого сознания воспринимать и отражать объекты физического мира. При изменении условий, в которых находится жидкость, ее состояние меняется. В результате меняются все ее свойства в большей или меньшей степени в зависимости от характера воздействия. В этом смысле все свойства и соответствующие им количественные показатели (параметры) оказываются коррелированны. Таким образом, с позиций осуществления контроля за качеством соответствующей жидкости, нет необходимости определения всей совокупности приписываемых ей параметров. Достаточно вести наблюдение за теми свойствами, которые в наибольшей степени изменяются при изменении существующих условий.

Всю совокупность свойств рабочих жидкостей можно представить в виде трех групп показателей: физико-химических, эксплутационных и экологических. Первая группа показателей имеет количественные значения (размер), а вторые две группы показателей относятся к классу, так называемых, лингвистических параметров [1], которые характеризуют свойства объекта качественно или через какие-либо косвенные показатели. Естественно, что для практики приоритетными являются эксплутационные и экологические свойства. Но поскольку они, как правило, не имеют прямой количественной оценки, то при производстве контроля за их качеством приоритетными оказываются физико-химические показатели, которые в силу коррелированности всех свойств жидкостей отражают и эксплутационные, и экологические свойства.

Из всей совокупности физико-химических параметров, характеризующих свойства жидкостей, оптимальной следует рассматривать совокупность физических параметров, удовлетворяющих следующим соображениям: каждый параметр - физическая

величина, зависит от молекулярного состава, межмолекулярных сил, характера теплового движения и характеризует преимущественно либо структуру, либо особенности взаимодействия между молекулами. Поэтому минимальная комбинация физических величин должна отражать структуру, характер сил межмолекулярного притяжения и отталкивания и особенности теплового движения молекул. Среди физических параметров структуру характеризуют плотность и коэффициент объемного расширения; силы межмолекулярного притяжения - коэффициент сдвиговой, кинематической и объемной вязкости; силы отталкивания - коэффициенты изотермической и адиабатической сжимаемости; тепловое движение молекул - теплофизические характеристики. Таким образом, представленный комплекс параметров отражает все фундаментальные свойства жидкостей.

Определение этих параметров осуществляется либо по индивидуальным методам, что не приемлемо для экспресс-анализа, либо комплексно [2], но с рядом конструктивных особенностей (наличие подвижный элементов, необходимость вертикальной установки датчика и т.д.), усложняющих условия эксплуатации приборов.

Альтернативными перечисленным параметрам являются ультразвуковые — скорость распространения и коэффициент поглощения ультразвука, которые также отражают фундаментальные свойства жидкостей. Скорость распространения продольных ультразвуковых волн связана с плотностью  $\rho$  и адиабатической сжимаемостью  $\beta_s$  из-

вестным соотношением:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \beta_s}} \tag{1}$$

и таким образом, характеризуют структуру и силы межмолекулярного отталкивания.

Еще одним, практически не используемым ультразвуковым параметром, является скорость распространения сдвиговой ультразвуковой волны в жидкостях, описываемая формулой [3]:

$$c_{\tau} = 2\sqrt{\frac{\pi v \eta_s}{\rho}} \,, \tag{3}$$

где  ${\it c_{\tau}}$  - скорость распространения сдвиговой волны,  ${\it v}$  - частота волны,  ${\it \eta_s}$  - сдвиговая вязкость.

Эта формула показывает, что скорость распространения сдвиговых волн характеризует силы притяжения и структуру жидкости.

Таким образом, достаточно надежную характеристику фундаментальных свойств жидкостей — структуры и сил межмолекулярного притяжения и отталкивания дают два параметра — скорости распространения продольных и сдвиговых ультразвуковых волн. Поэтому они могут быть использованы для создания ультразвукового метода экспресс-анализа качества жидкостей различного назначения, применяемых в машиностроении.

Проведение экспресс-анализа качества жидкостей по результатам определения ограниченного числа параметров предъявляет, по крайней мере, три обязательных требования к методу измерений: комплексность измерений (одновременное измерение контролируемых параметров в условиях одного образца); высокая точность измерений (на уровне прецизионных лабораторных методов); малое время измерений (секунды, единицы минут).

Выполненные нами исследования показали, что ультразвуковой пьезопреобразователь продольных волн при приложении к нему переменного электрического поля оказывается в сложно напряженном состоянии, осуществляя одновременно осевые и радиальные колебания. Вследствие этого он создает в контактирующую с ним среду не только продольные, но и поперечные ультразвуковые волны. Таким образом, появляется возможность с использованием одного пьезопреобразователя обеспечить проведение измерений скорости распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн.

В нестоящие время абсолютное большинство методов определения скорости ультразвуковых волн основаны на статическом подходе к производству измерений, при котором изменения происходящие с измерительной системой при создании измерительного воздействия на объект исследования либо не учитывается, либо включается в систематическую составляющую погрешности измерений. От этого недостатка свободен динамический подход к производству измерений. Если проведение статических измерений предполагает регистрацию установившегося сигнала отклика y измерительной системы на измерительное воздействие x в виде y = f(x), то проведение динамических измерений предполагает регистрацию переходного процесса установления отклика измерительной системы y(t) на измерительное воздействие x в виде y(t) = f(x,t).

Отсюда видно, что описание динамических методов измерений является более сложным, т.к. регистрируемые величины изменяются во времени. Вследствие этого, в уравнениях описывающих измерительный процесс появляется величины, характеризующие поведение измерительной системы. Определение и учет этих величин позволяет повысить точность измерения определяемых параметров, предоставить диагностическую информацию о состоянии измерительного средства.

В этой связи нами был разработан метод моделирования измерительного процесса в системе «генератор – пьезопреобразователь – жидкость – пьезопреобразователь - входные цепи регистрирующего блока» по определению скорости распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн в контролируемой жидкости. Суть этого метода заключается в следующем. Системой дифференциальных уравнений, в качестве констант которых входят ультразвуковые параметры жидкости, описывается процесс формирования и распространения ультразвуковой волны в жидкости с учетом прохождения ультразвуковой волны в излучающем и приемном пьезопреобразователях и явления прямого и обратного пьезоэффектов. Таким образом, создается математическая модель измерительного процесса. Далее регистрируется и оцифровывается сигнал, соответствующий процессу прохождения ультразвуковой волны в измерительном тракте, на известное воздействие на излучающий пьезопреобразователь. Затем осуществляется сравнение сигнала отклика измерительной системы с математической моделью этого сигнала при переборе констант модели. Значение констант, при которых модель сигнала отклика максимально совпадает с экспериментально наблюдаемым сигналом отклика измерительной системы, принимается в качестве искомых ультразвуковых параметров контролируемой жидкости.

Представленный метод позволяет исключить, до уровня точности совпадения модели с наблюдаемым сигналом, систематические погрешности определения скорости продольных и поперечных ультразвуковых волн, обусловленных дифракционными и интерференционными явлениями в акустических элементах измерительной системы, неравномерностью колебаний излучающей поверхности пьезопреобразователя, влияни-

ем электрических цепей генератора и входных цепей регистрирующего блока на процесс возбуждения и регистрации ультразвуковой волны.

Аппаратная реализация рассмотренного метода определения ультразвуковых параметров контролируемой жидкости осуществлена на основе применения технологии программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), позволяющей создавать специализированные вычислительные структуры для решения соответствующих систем дифференциальных уравнений и других математических и логических преобразований. Представление результатов измерений и принятие решения о состоянии контролируемого объекта по разработанным алгоритмам на основе дифференциальных или интегральных критериев так же реализуется с использованием ПЛИС.

Малый объем контролируемого образца (до 1 мл), простота конструкции ультразвукового датчика при отсутствие подвижных элементов, компактность и высокая надежность измерительной системы делают экспресс-анализ качества жидкостей различного назначения на основе ультразвуковых измерений эффективным элементом системы управления качеством продукции машиностроительных предприятий.

Список литературы: 1. Назаров А.Г., Архангельская Е.А. Современные методы и алгоритмы обработки измерений и контроля качества продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1995.-163с. 2. Тетерин Е.П., Тарасов И.Е., Потехин Д.С. Неразрушающий контроль жидкостей различного назначения на основе акустических измерений. - Контроль. Диагностика. – №7. – 2000. – С.33-37. 3. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980 – 280с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ САМОСИНХРОНІЗАЦІЇ ДЕБАЛАНСНИХ ВІБРОЗБУД-НИКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАКЕТУ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ MAPLE

Тимощук В.М., Ярошевич Т.С. (Луцький державний технічний університет, м. Луцьк, Україна)

The research of process of self-synchronization of debalanced exciters of vibrational machines with the help of software package Maple is conducted.

Для створення високоефективних і надійних вібраційних машин конструктори і дослідники використовують явище самосинхронізації механічних віброзбудників. В наш час теорія синхронізації таких збудників розроблена досить повно. Більшість результатів отримана аналітично методом малого параметру А. Пуанкаре, а також методами усереднення, прямого розділення рухів та за допомогою інтегрального критерію стійкості синхронних рухів [1-3]. Проте для виявлення можливості практичного застосування явища самосинхронізації важливим є питання визначення умов встановлення синхронних режимів. Оскільки теоретично отримані умови існування та стійкості стаціонарних режимів обертання роторів збудників ще не гарантують виникнення синхронних режимів при заданих початкових умовах, що зустрічаються у конкретних системах, необхідно вдаватись або до експериментальних досліджень, або до побудови відповідних моделей за допомогою ЕОМ.

Застосуємо пакет прикладних програм MAPLE для моделювання самосинхронізації дебалансних віброзбудників вібраційних машин.

Нехай на тримкому твердому тілі (вібруючому органі машини), встановлені кінематично нез'єднані між собою дебалансні збудники, що приводяться в рух від неза-

лежних електродвигунів асинхронного типу (рис. 1). Тримке тіло зв'язане з нерухомою основою за допомогою пружних елементів і може здійснювати плоскі коливання. Система характеризується узагальненими обертальними координатами — кутами повороту віброзбудників  $j_s$ , та трьома коливними координатами — горизонтальним, вертикальним та кутовим переміщеннями тримкого тіла x, y, j.

Математична модель руху такої коливної системи являє собою систему диференціальних рівнянь виду [1]:

$$I_{s} = L_{s}(j - R_{s}(j - R_{s}($$

де M , I — маса та момент інерції тримкого тіла;  $L_s(j \&_s)$  ,  $R_s(j \&_s)$  — обертальний момент на валу електродвигуна та момент сил опору обертанню;  $m_s$  ,  $e_s$  ,  $I_s$  — відповідно, маса s —го віброзбудника, його ексцентриситет і момент інерції відносно осі обертання;  $c_x$  ,  $c_y$  ,  $c_j$  — жорсткості, пов'язані з переміщенням тримкого тіла у напрямках осей x, y та з поворотом на кут j ;  $b_x$  ,  $b_y$  ,  $b_j$  — коефіцієнти опору лінійного демпфуючого елементу;  $r_s$  — відстань від центра мас тримкого тіла до осі s -го віброзбудника; g — пришвидшення вільного падіння.

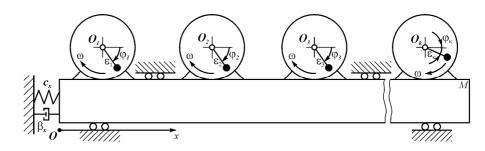


Рис. 1. Схема вібраційної машини з прямолінійними коливаннями тримкого тіла

Розглядаючи задачі про синхронізацію віброзбудників, досить обмежитися статичною характеристикою електродвигуна, оскільки час механічних перехідних процесів є значно більшими, ніж електричних [1]. Опір обертанню роторів віброзбудників є не великим (як свідчить аналіз динаміки роботи вібраційних машин) і двигуни працюють у режимі, близькому до режиму холостого ходу. Тому принципове значення має вид механічної характеристики зі змінним кутом g, під яким вона перетинає вісь Ox (рис. 2). Нестійка ділянка характеристики AB показана в цій моделі у вигляді відрізка прямої, яка проходить через точки  $A\left(0,L_{nyc\kappa}\right)$  та  $B\left(w_{\max},L_{\max}\right)$ , стійка ділянка BC — у вигляді прямої, яка має той самий кут нахилу до осі, що й реальна механічна характеристика.

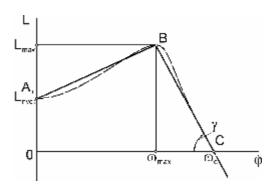


Рис. 2 Лінійна модель механічної характеристики асинхронного електродвигуна

Чисельне інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь (1) здійснювалося за допомогою стандартного пакету комп'ютерних програм Maple 9. При цьому математична модель реалізовано у вигляді програмного комплексу, що здатний чисельно розв'язати диференціальні рівняння другого порядку і результати представити у вигляді графіків зміни узагальнених координат переміщення тримкого тіла, різниці фаз між віброзбудниками та графіків їх синхронних і парціальних кутових швидкостей на протязі перших тридцяти секунд після пуску двигунів.

Розглянемо спочатку, найпростіший приклад самосинхронізацію віброзбудників на тримкому тілі з одним ступенем вільності (рис. 1). На рис. 3-4 результати моделювання самосинхронізації лебалансних навелені вібровозбудників з "майже однаковими" [1] парціальними кутовими швидкостями для таких значень параметрів:  $m_1 = m_2 = 4.8 \text{ кг}; \ e_1 = e_2 = 0.034 \text{ м}; \ I_1 = I_2 = 0.017 \text{ кг м}^2;$  $M = 100 \, \text{кг}; \, c_x = 1 \cdot 10^5 \, H/\text{м}; \, d = 0.03 \, \text{м}; \, I = 0.003 \, \text{.} \, Y$  вібраційній машині використані звичайні асинхронні короткозамкнені електродвигуни muny *4AA63A4*  $(n_c = 1500 \text{ ob} / xe, N_{HOM} = 0.25 \text{ kBm}).$ 

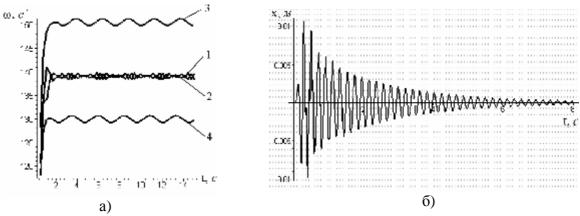


Рис. 3. Залежність від часу: а) синхронних (1,2) і парціальних (3,4) кутових швидкостей;

б) переміщення тримкого тіла

Одержані графічні залежності демонструють динаміку виходу віброзбудників на синхронний режим руху. Цей режим характеризується, перш за все, сталістю різниці фаз між збудниками та рівністю їх середніх кутових швидкостей.

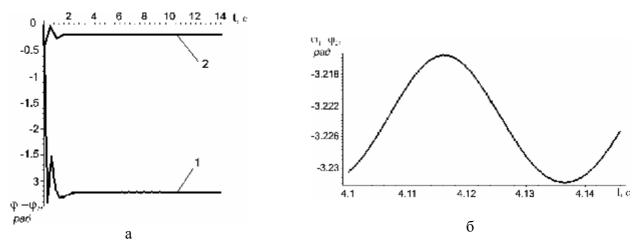


Рис. 4. Залежність різниці фаз між віброзбудниками від часу на протязі: а) усього досліджуваного періоду; б) одного циклу усталеного руху; 1 – випадок  $p_x > w$ ;  $2 - p_x < w$ 

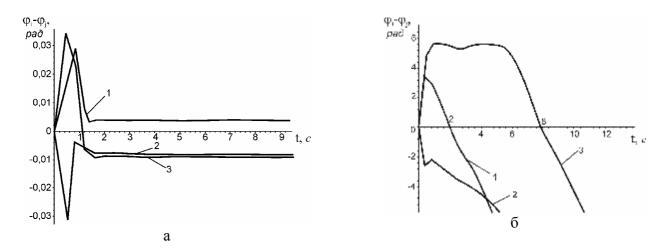


Рис. 5. Залежність різниці фаз між збудниками від часу:  $1 - j_1 - j_2$ ;  $2 - j_1 - j_3$ ;  $3 - j_1 - j_4$ ;  $a - випадок <math>p_x > w$ ;  $b - p_x < w$ 

Результати чисельного моделювання задачі про самосинхронізацію чотирьох майже однакових віброзбудників, встановлених на тримкому тілі, яке може здійснювати прямолінійні коливання, співпадають з результатами, одержаними аналітичним шляхом [3]; в дорезонасній області всі чотири збудники обертаються синфазно (рис. 5, а), а після резонансу їх синхронний рух є нестійким. При цьому, на протязі деякого досить нетривалого періоду часу два або три з чотирьох віброзбудників можуть обертатися синхронно, але в усіх випадках синхронізація руху збудників не досягається (рис. 5, б).

Проведене чисельне моделювання явища самосинхронізації, показує добру узгодженість між чисельними та одержаними раніше аналітичними і експериментальними результатами, дозволяє досліджувати вплив параметрів коливної системи на самосинхронізацію віброзбудників, а також визначити параметри пристроїв, що використовуються для підсилення ефекту самосинхронізації.

**Список літератури**: 1. Блехман И.И. Самосинхронизация в природе и технике // М.: Наука, 1981. — 352 с. 2. Нагаев Р.Ф. Гузев В.В. Самосинхронизация инерционных

вибровозбудителей // Под ред. К.М.Рагульскиса. — Л.: Машиностроение, 1990. — 178 с. 3. Ярошевич М.П. Складні випадки в теорії самосинхронізації механічних віброзбудників. — Луцк: ЛДТУ, 2005. - 192 с.

# О РОЛИ ПРИЭЛЕКТРОДНЫХ ПАДЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Топала А.П. (Р.Молдова, Бэлцкий Государственный Университет)

The article deals with the problem of electrical erozion of various materials. It has been theoretically analyzed and experimentally proven that current density is one of the basic parameters influencing the process of erosion. A greater erosion of the anode compared to the cathode is explained by a fall of tension/voltage in the anode.

Несмотря на довольно глубоко изученных процессов электрической эрозии разными авторами, до сих пор не существует однозначного мнения на этот счет. Разные авторы рассматривают эти процессы по разному и, соответственно, их описывают.

До сих пор считалось, что источник тепла, который нагревает и плавит поверхность электродов образуется непосредственно на них. Эта гипотеза не совсем верна, поскольку все образующиеся кратеры при импульсных электрических разрядах имеют форму сегмента сферы и не могут образоваться за счет воздействия плоского источника тепла. На сегодняшний день, все чаще исследователи допускают, что источники тепла являются точечными и расположены на поверхностях электродов. Если эта картина верна, то все кратеры должны представлять ровно половину сферы, но это в большинстве случаев не так.

В данной работе предлагается, чтобы для случая больших межэлектродных промежутков (МЭП) считать в качестве точечных тепловых источников тепла электродные пятна (анодные и катодные) расположенные на определенном расстоянии от обрабатываемой поверхности и центры которых являются одновременно и центрами сегментов сферических кратеров полученных при электрической эрозии, обусловленной импульсными электрическими разрядами.

Исходя из результатов, полученных различными авторами при изучении электрических разрядов [1, 2, 3, 4, 5] и эрозии поверхностей электродов при импульсных разрядах на промежутках больше пробивных полученных автором [8, 9], можно считать, что эрозионные процессы вызваны воздействием электродных пятен второго типа, т.е. «горячими» электродными пятнами, которые зарождаются при слиянии двух и более пятен первого типа-«холодных» электродных пятен. Для более простого понимания процессов, происходящих в межэлектродном промежутке при импульсных электрических разрядах допустим, что плотность тока в одном электродном пятне первого типа является постоянной и квантифицированной, а в пятне второго типа она множественна (п) плотностям тока в пятнах первого типа.

Из-за пинч-эффекта в процессе единичного импульсного электрического разряда происходит слияние двух и более существующих каналов, в которых протекают параллельные токи замыкающихся с электродами посредством электродных пятен. Если допустить что плотность тока в существующих каналах постоянна и одновременно токи протекают в двух параллельных каналах которые сливаются, тогда вновь возникающий

канал будет иметь диаметр отличный от первых двух, который может быть рассчитан исходя из вышеизложенных условий:

$$j_1 = \frac{4I_1}{pd_1^2} \text{ if } j_2 = \frac{4I_2}{pd_2^2}$$
 (1)

В формуле (1)  $I_1$  и  $I_2$  являются соответственно токами в каналах проводимости,  $d_1$  и  $d_2$  диаметры этих каналов, а  $j_1$  и  $j_2$  – плотность токов в них. Если допустить, что эти два канала идентичны и через них проходят одинаковые токи, тогда первое уравнение может быть записано:

$$j_1 = j_2 = const \tag{2}$$

Вновь образовавшийся канал проводимости будет иметь диаметр отличающийся от первых и в нем будет протекать электрический ток с плотностью  $j_3\rangle j_1$  .и  $j_2$ 

Из условия образования расплава на поверхности обработки по данным [] можно определить диаметр канала разряда, допуская что он совпадает с диаметром кратера (эрозионного следа) из условия:

$$d_c = \sqrt{4W/pSQ_{nn}} \tag{3}$$

в которой: W=  $\int_0^t U(t)i(t)dt$ , S-величина межэлектродного промежутка, Q-теплота

плавления материала электрода (  $Q = q \cdot r$ , q-удельная теплота плавления, r – плотность материала электрода),  $\tau$  - длительность разряда.

В ряде работ [1, 8, 10] доказано, что падение напряжения на межэлектродном промежутке зависит от его значения и материала электродов и является величиной постоянной в конкретных условиях и может быть определено выражением:

$$U=\alpha+\beta S$$
 (4)

В которой  $\alpha$ - суммарное падение напряжения на электродах,  $\beta$  - коэффициент пропорциональности, S – величина МЭП. Необходимо отметить, что значение  $\alpha$  колеблится в пределах 19... 22В для различных пар электродов а коэффициент пропорциональности  $\beta$  для воздушной среды равен 14,235 В/мм [9].

Если возвести в квадрат выражение (3) и вывести за знак интеграла напряжение, получим:

$$d_0^2 = \frac{4U}{pSQ_{nn}} \cdot \int_0^t i(t)dt \tag{5}$$

обозначив через  $\mathbf{D} = \frac{U}{SQ_{nn}}$  получим :

$$d_c^2 = 4\Delta \int_0^t i(t)dt$$

(6) или

$$\frac{1}{\Delta} = \frac{4\int_{0}^{t} i(t)dt}{pd_{c}^{2}}$$
 (7)

поскольку  $\int\limits_0^t i(t)dt=I_3$  - является суммарным током за весь период разряда, то из выра-

жения (7) можно рассчитать значение плотности тока  $j_3$  необходимое для образования жидкой фазы на обработанной поверхности:

$$j_3 = rac{4\int\limits_{o}^{t}i(t)dt}{pd_c^2}$$
 или  $j_3 = rac{SQ_{n_7}}{U}$ 

Исходя из выражения (8) можно рассчитать критическую плотность тока, необходимую для появления жидкой фазы на обработанных поверхностях электродов выполненных их различных материалов. Расчетные значения для различных материалов и в зависимости от способа включения электрода в цепь разряда приведены в таблице.

Таблица 1. Зависимость диаметров кратеров, падений напряжения на МЭП и

плотностей токов для разных материалов от величины промежутка

Плотностей токов для разных материалов от величины промежутка  Материал Диаметр Диаметр $S = U_s(V) = j_a A/mm^2 = j_a A/m$					: A/252	
Материал	Диаметр	Диаметр		,	$j_3$ ,A/mm <sup>2</sup>	$j_3$ ,A/ $\mathrm{MM}^2$
электрода	кратера	кратера на	(mm)	[9]	на аноде	на катоде
	электроде	электроде			, ,	
	на аноде	катоде				
Сталь-30	2,85	1,55	0,1	20,8	129,6	438,4
	2,35	1,40	0,5	25,75	161,2	454,3
	1,70	1,10	1,0	36.0	239,9	573,3
Cu	1,65	1,15	0,1	21,8	369	753
	1,38	1,05	0,5	27,75	432	1218
	1,12	0,78	1,0	37,07	516	1237
Ti	2,55	2,15	0,1	21.05()	160,4	225
	1,85	1,72	0,5	26,82()	238,0	671
	1,03	0,85	1,0	36,78()	561,5	1344

Данные, приведенные в таблице, указывают на то, что для одного и того же промежутка, падения напряжения на нем практически мало изменяется с изменением материала электродов, в то время как критическая плотность тока, необходимая для появления жидкой фазы на обработанной поверхности существенно зависит от теплофизических свойств последних. Если исходить из падений напряжения на МЭП то в принципе невозможно заметить существенную разницу в оплавлении разных материалов, но учитывая согласно выражению (4), что она имеет две компоненты падение напряжения на электродах (катоде и аноде) и на столбе разряда вторая из которых зависит только от величины промежутка становится понятым, что определяющую роль в электроэрозионных процессах отводится падению напряжений на электродах. Исходя из данных работы [1, 7] электродные пятна имеют малую толщину и таким образом в при электродных зонах создаются сильные электрические поля в которых носители тока сильно ускоряются приобретают большую энергию и передают ее электродам при

столкновении с ними, таким образом при электродные падения напряжений играют важную роль в развитии эрозионных процессов.

Экспериментальные результаты разных авторов [1, 8, 9, 10], указывают на то, что для одинаковых условий, эрозия электрода-анода в случае обработки металлических материалов, практически всегда больше эрозии электрода-катода. Если представить МЭП в виде трех последовательно соединенных сопротивлений, то, соответственно, падение напряжения будет делиться на три составляющие  $U_a$ ,  $U_{cm}$  и  $U_{\kappa}$ . Величины лунок, образовавшихся на поверхностях анода и катода, выполненных из того же материала — разные и всегда больше на аноде. Следует что, несмотря на то, что в цепи разряда течет один и тот же ток, плотность его на аноде  $(j_A)$  и катоде  $(j_K)$  будет разным из-за разности диаметров лунок и логически, было бы допустить что оно больше на катоде, значит, в этом случае преобладающая эрозия анода может быть обусловлена только большим значением падения напряжения на аноде.

Исходя из условий (3, 4, 7) и учитывая значение глубины лунки можно вычислить ее объем и соответственно массу эродированного материала, а исходя из этого оценить величины падений напряжения на аноде и катоде. Исходя из данных работы [1] глубина лунки может быть определена выражением:

$$h_c = kW_u$$
 (9)

в которой k=0,5 для сталей а  $W_u$ -является энергией разряда. Последнее выражение указывает на то что глубина лунки прямо пропорционально энергии разряда но надо учитывать что она перераспределяется между электродами и каналом проводимости наверное этим и объясняется необходимость более больших токов при увеличении промежутка. Из полученных результатов и проведенного анализа можно сделать вывод о том, что, на промежутках больше пробивных приэлектродные падения напряжения на аноде примерно в 3...3,5 раза больше катодных, а плотность тока в 2...2,5 меньше чем и объясняется его более сильная эрозия.

Список литературы: 1. Мицкевич М.К., Бушик А.И., Бакуго И.А., Шилов В.А., Девойно И.Г. Электроэрозионная обработка металлов, Минск, Наука и техника, 1988, с. 216.2.Галинов И.В., Лубан Р.Б., Пеккер Л.С. О физических процессах в межэлектродном промежутке при электроискровом легировании металлов Кишинев, Электронная обработка материалов, 1990. 3. Guile A.E., Juttner B. Basic erosion processes of oxidized and clean metal cathodes by electrical ares // IIIE Trans. On Plasma Science. 1980 PS-8. N 3. P 259-269.4. Hurley R.E. Electrical phenomena occurring at the surface of electrically stressed cathodes // J. Phys. D.:Appl.Phys.1980. 13. P.1121 -1126.5.Guile A.E., Hitchcock A.H. Oxide films on arc cathodes and their emission and erosion// J. Phys. D.:Appl.Phys.1975. 8. P.663 -669.6. Любимов Г.А, Раховский В.И., Катодное пятно вакуумной дуги //Успехи физических наук. 1978, вып. 4, с.665...706.7. Keil A., Merl W. A., Vinaricky E. Elektrishe kontakte und ihre werkstoffe. Berlin.1984.8. Топала П.А., Душенко В.Ф., Гитлевич А.Е., Об условиях образования расплава на поверхности детали-катода при электроискровом легировании на установках типа "Разряд", Кишинев, Электронная обработка материалов, 1990, №6, стр. 17...18.9. Topala Pavel, Bălcănuță Nicolae, Caracteristicele ale descărcărilor electrice în impuls, Chişinău, MODERNE, CALITATE RESTRUCTURARE, MAI 2001, PG.203...208.10.3 олотых Б.Н., Мельдер Р.Р., Физические основы электроэрозионной обработки, Москва, Машиностроение, 1977.

## УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА УЧАСТКАХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Топала П. (БГУ, г.Бэлць, Молдова), Стойчев П.(ТУМ Кишинев), Епуряну А. (Галацкий Университет, Румыния), Бешлиу В. (БГУ, г.Бэлць, Молдова)

An analysis of the processes on electrodes within electro-spark alloy on Razread installations under conditions when the dust material is not provided has been made. The author focuses on the peculiarities of the impulse plasma discharge influence on the cathode surface when the size of the interelectrode interval is increased. They point out the possibility of consolidating the metal surfaces by plesma of low volt impulse discharge excluding the erosion of processed areas.

В настоящее время, для исследователей в связи с развитием нанотехнологий приобретают весомое значение развитие новых способов обработки с большой производительностью, обеспечивающих обработку готовых деталей без изменения или с улучшением шероховатости поверхностей.

Электроискровое легирование (ЭИЛ) на установках типа «Разряд» основано на взаимодействии частиц порошка, подаваемых в межэлектродный промежуток (МЭП), с каналом импульсного разряда и полярным переносом продуктов взаимодействия на катод-деталь [1,2]. На таких установках процесс ЭИЛ осуществляется при МЭП равных 0,5-1,5 мм и более, и напряжениях 50-300 В, для которых данные промежутки больше пробивных. Аналогичные промежутки используются при ЭИЛ с помощью двухкаскадных разрядных систем [3] для обеспечения повышения равномерности и сплошности формируемых поверхностных слоев.

При МЭП больше пробивных создаются благоприятные условия для управления основными процессами, протекающими при развитии и взаимодействии с поверхностью электродов импульсного разряда. Подробно эти процессы проанализированы при изучении динамики импульсного разряда в условиях использования его для ЭИЛ в работе [4], где отмечено, что варьирование величиной МЭП позволяет регулировать в широких пределах термическое воздействие импульсного разряда, полярный перенос материала электродов, очистку поверхности в зоне контакта плазмы разряда с твердым телом, создавая условия для различных режимов электроискровой обработки металлических поверхностей, например, термического упрочнения, нанесения покрытий, контактной сварки и т.п.

Если при контактном ЭИЛ газоразрядная плазма находится в стесненных условиях и приэлектродные процессы и процессы в столбе разряда практически неразделимы (при этом эрозия электродов при каждом разряде проявляется в виде образования единой лунки, размеры которой определяются энергией разряда), то при больших МЭП появляется возможность проследить за явлениями в приэлектродной зоне и в столбе разряда, за различными стадиями его развития и особенностями взаимодействия плазмы с поверхностью электродов [4]. В последнем случае это взаимодействие более сложное, приводящее к появлению двух видов эрозионного разрушения поверхности катода, связанных с образованием в период разряда электродных пятен первого и второго типов [5,6]. Первые возникают на поверхности электрода сразу после пробоя МЭП и представляют собой быстро перемещающиеся катодные пятна, существующие независимо друг от друга и вызывающие незначительную эрозию поверхности катода (эрозионный след имеет вид отдельно расположенных неглубоких лунок с неровными краями без явных следов оплавления), вторые появляются спустя некоторое время по-

сле пробоя МЭП на местах существования пятен первого типа, обладают меньшей скоростью перемещения и производят значительно большую эрозию чем первые (в зоне их воздействия появляется жидкая фаза материала электрода).

Как показали эксперименты, преобладание того или иного типа пятен, а следовательно, характера электрической эрозии и других термических эффектов взаимодействие плазмы с поверхностью электродов зависит от величины МЭП, параметров разряда и других факторов. Ими можно и задавать вид обработки поверхности. Например, в работе [7] при вакуумном дуговом разряде создавались условия, когда разряд осуществлялся при преимущественном развитии пятен первого типа, что позволило практически без эрозии катода проводить термическую обработку поверхности образцов из стали 65Г, получив при этом толщину упрочненной зоны равной 100-120 мкм и микротвердость 790-820 кгс/мм<sup>2</sup> (выше исходной более чем в 1,5 раза).

Учитывая результаты, полученные в [4,7] нами была изучена возможность проведения аналогичных процессов в воздушной среде на установках типа «Разряд» при использовании импульсных разрядов с длительностью  $t_u \approx 250 \text{мкc}$ . Обычно процесс ЭИЛ на установках «Разряд» осуществляется путем подачи в МЭП порошкового материала. В данных экспериментах изучались электроэрозионные и термические явления на катоде при условиях, когда порошковые материалы в МЭП не подавались. В основном рассматривалась возможность упрочнения металлических поверхностей за счет термических явлений.

Обработка образцов из стали 3 и 45, титана ВТІ, ВТ6 проводилась с помощью стержневого (графитового) и дискового (медного) вращающихся электродов (рис.1). В первом случае деталь перемещалась относительно неподвижного электрода, во втором электрод (диск) перемещался относительно детали. Межэлектродный промежуток изменялся в пределах 0,03-2,5 мм, напряжение разряда в диапазоне 160-480 В при рабочей емкости 600 мкф, частота поджигающих импульсов составляла 1-40 Гц. При МЭП больше 0,3-0,5 мм как при единичных разрядах так и при непрерывном процессе обработки в области воздействия разряда появляются две зоны, из которых внешняя зона имеет цвет свежетравленной поверхности и покрыта сплошным слоем мелких лунок (6-10 мкм) с неровными краями, внутренняя – представляет собой сплошной слой жидкой фазы, созданной электродными пятнами второго типа. Величина этих зон изменяется с ростом МЭП – внутренняя монотонно уменьшается и при МЭП больше 1,5-2 мм на поверхности электрода отмечаются только отдельные небольшие (30-40 мкм) лунки со следами жидкой фазы. При непрерывном процессе ЭИЛ на промежутках более 2 мм практически вся обработанная поверхность представляет собой внешнюю зону т.е. термического воздействия.

Наблюдаемые изменения на поверхности катода можно связать с действием нескольких факторов, во-первых, увеличение МЭП изменяет структуру разряда и при превышении определенного значения МЭП (>2,5 мкм) разряд взаимодействует с катодом через пятна первого типа, во-вторых, происходит перераспределение общей энергии разряда между каналом разряда и электродами. Доля энергии, выделяющейся в канале разряда, увеличивается с ростом МЭП, это приводит соответственно к снижению энергии, выделяющейся на электродах [8]. Кроме того, следует учитывать фактор, связанный с расширением «опорной пятки» канала на катоде с ростом МЭП, способствующего к уменьшению плотности теплового потока в этой зоне. В конечном итоге все это обуславливает минимальную эрозию поверхности катода при наличии термического воздействия разряда. Следует заметить, что в нашем случае процесс

происходит в воздухе и поэтому взаимодействие с материалом катода носит химикотермический характер.

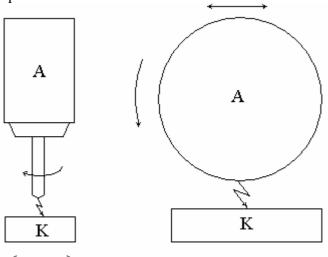


Рис.1. Кинематические схемы электроискрового упрочнения на установках типа «Разряд» с помощью стержневого (а) и дискового (б) электродов-инструментов

Последовательное изучение влияния величины МЭП  $(S_n)$  и энергии разряда, которая изменялась за счет напряжения заряда  $(U_3)$  рабочей емкости, показало, что оптимальные значения  $(S_n)$  и  $(U_3)$  с точки зрения эрозии катода и термического воздействия разряда составляют соответственно 1,5-2,5 мм и 240-400 В (термическое воздействие оценивалось по размерам зоны упрочнения белого слоя, наблюдаемой на поперечных шлифах образцов из изучаемых материалов).

Воздействие разряда при указанных выше условиях приводит к образованию в обработанной зоне равномерного и сплошного и практически без дефектов (трещин, пор) белого слоя, микротвердость которого зависит от кратности воздействия разряда.

Длительность обработки определялась числом проходов электрода-анода по одному и тому же участку катода (или перемещением участка относительно электрода) при условии, что при одном проходе зоны воздействия и каждого разряда с поверхностью катода для обеспечения сплошности располагались друг возле друга с некоторым перекрытием.

Анализ шлифов показал, что после 2-3 проходов как на стали 3 и 45, так и на титане твердость белого слоя достигает максимальных значений (рис.2). При дальнейшей обработки микротвердость стали 45 начинает уменьшаться, а титана остается неизменной (рис.2). Очевидно, в первом случае происходит отпуск закаленных слоев.

При МЭП более 1,5 мм шероховатость упрочняемых участков катода изменяется незначительно в зависимости от длительности обработки (измерения проводились на профилографе-профилометре модели 250), поэтому основным параметром, по которому следует оптимизировать процесс упрочнения является максимальная микротвердость.

Рассмотренный выше вариант ЭИЛ на установке «Разряд» может быть использован и по другому назначению. Так, при МЭП менее 1,5 мм после нанесения покрытий из порошковых материалов, обработка импульсными разрядами поверхности сформированных слоев позволяет уменьшить ее шероховатость, а воздействие плазмы разряда

на окислы и загрязнения приводит к их испарению практически без эрозии поверхности, т.е. наблюдается эффект очистки.

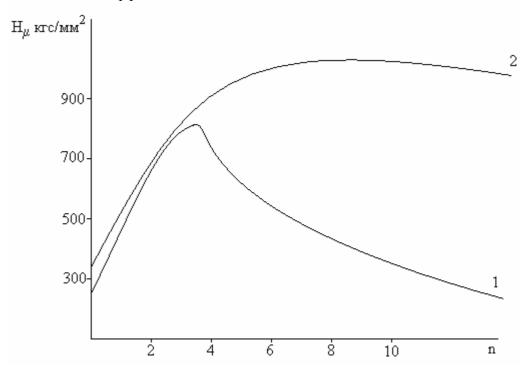


Рис. 2. Зависимость микротвердости  $H_m$  белого слоя, полученного на стали (1) и на титане (2) после воздействия импульсных разрядов от числа (n) проходов (величина МЭП 2,0 мм, напряжение разряда 240 В, частота разряда  $f=10 \Gamma \mu$ )

Установлено что при искровых разрядах на промежутках больше пробивных происходит обогащение поверхностного слоя элементами среды и частицами эродирования с поверхности электрода-инструмента имеет место образование карбидов материала подложки кода инструмент изготовлен из графита и окислов гидроокислов и нитридов при использовании вольфрамового электрода [9]

Таким образом, на установках типа «Разряд», варьируя условия воздействия импульсного разряда на материал электрода, например, за счет изменения МЭП или энергии разряда, а также наложения на МЭП электромагнитных полей [10], возможно создание режимов обработки, позволяющих проводить упрочнение, шлифование и очистку поверхности катода-детали.

Список литературы: 1.Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев, Изд-во «Штиинца», 1985, с.195. 2. Гитлевич А.Е. и др. Оборудование для электроискрового легирования металлических поверхностей порошковыми материалами. Электронная обработка материалов, №6, 1983, с.78-81. 3. Мицкевич М.К., Бушик А.И., Бакуго И.А., Шипов В.А., Мрочек Ж.А. Способ электроискрового нанесения покрытий. Авт.свид. СССР, №730521, опубл. в Б.И. 1980, № 16. 4. Мицкевич М.К., Гитлевич А.Е., Бакуго И.А., Бушик А.И., Шилов В.А. Динамика импульсного разряда в условиях использования его для электроискрового легирования. Электронная обработка материалов, №3, 1986. 5.Любимов Г.А., Раховский В.И. Катодное пятно в вакуумной дуге. УФИ, т.125, вып.4, 1978, с.665-706. 6. Бушик А.И, Мицкевич М.К., Шилов В.А, Бакуто

И.А. Некоторые аспекты реакции низковольтного импульсного разряда на удлинении межэлектродного промежутка. Материалы IV Всесоюзного симпозиума по сильноточной электронике. Томск, 1982. т.2, с.28-31. **7.** Булат В.Е., Кейтлин Л.Г., Эстерлис М.Х. Структурные и фазовые преобразования в приповерхностных слоях стали при воздействии опорных пятен электродугового разряда в вакууме. ДАН УзССР 1994, №7, с. 30-32. **8.** Золотых Б.Н., Мельдер Р.Р. Физические основы электроэрозионной обработки. — М.: Машиностроение, 1972, с.42. **9**.Немошкаленко В.В., Топала П.А., Томашевский Н.А., Мазанко В.Ф., Носовский О.И., Особенности формирования поверхностных слоев при искровых разрядах, Киев, Металлофизика, Т12, №3, с. 132... 133., **10**.Гитлевич А.Е., Топала П.А., Вишневский А.Н., Влияние импульсного магнитного поля на взаимодействие канала разряда с поверхностью электродов , Электронная обработка материалов, №3, 1990, с. 24... 27.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА УСТАНОВКАХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ В РЕЖИМЕ НЕ-ДОНАПРЯЖЕНИЯ

Топала П. (БГУ, г.Бэлць, Молдова), Стойчев П. (ТУМ Кишинев), Епуряну А. (Галацкий Университет, Румыния), Руснак В. (БГУ, г.Бэлць, Молдова)

An analysis of electro-erosional processes on electrodes under conditions of impulse discharge has been made. It has been ascertained that it is necessary to create greater volumetric density of energy in the interelectrode space than the volumetric heat of the electrode fusion in order to melt the processing surface.

Исследование процессов на электродах в условиях электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов на установках типа «Разряд» (когда импульсные разряды протекают в режиме недонапряжения) показало, что варьируя энергетическими параметрами разряда и величиной межэлектродного промежутка (МЭП) можно в широких пределах менять характер электрической эрозии электродов, и в первую очередь связанной с привалирующим образованием паровой или жидкой фазы в зоне воздействия газоразрядной плазмы [1-3].

В свою очередь, в таких устройствах характер электрической эрозии может задавать определенную технологическую направленность процессом электроимпульсной поверхностной обработки материалов. Например, при МЭП более 1,5...2,0 мм при низковольтных разрядах с энергией в импульсе 2...10 Дж без нанесения порошка можно проводить упрочнение стальных и титановых деталей практически без изменения геометрии их поверхностей [1]. В случае нанесения покрытий из порошков количество паровой или жидкой фазы подложки, появляющейся в зоне разрядов, может существенно влиять на свойства формируемых покрытий, фазовый состав, адгезионную прочность, пористость и т.п. [2, 3].

В работе [3] были детально изучены особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения для условий формирования покрытий из порошковых материалов на установках типа «Разряд». Получено семейство кривых, с помощью которых возможно определение величины зоны образования жидкой фазы в зависимости о значении МЭП и энергии разряда. Однако эти зависимости не дают возможности определить критерии для оценки характера электрической эрозии катода-детали, а, следовательно, и выбора параметров процесса

обработки при нанесении покрытий из компактных или порошковых материалов в режиме недонапряжения.

В данной работе сделана попытка выявить такие критерии. С этой целью на основе полученных нами ранее в [3] зависимостей

$$d_{n}, h_{n} = f\left(S\right) \tag{1}$$

где  $d_{n}$ - диаметр лунок с жидкой фазой;

S – величина межэлектродного промежутка;

W – энергия разряда, определенная путем осциллографирования; были построены экспериментальные зависимости

$$d_{_{\pi}}, h_{_{\pi}} = f\left(\frac{W}{S}\right) \tag{2}$$

при различных значениях энергии разряда (рассматривается случай при постоянной длительности импульсов 50-250 мкс). Результаты, представленные на (рис.1), показывают, что зависимость диаметра лунок в определенном диапазоне значений W/S является линейной и коэффициенты пропорциональности слабо зависят от W для постоянных значений W/S (при варьировании S и W диаметры лунок на кривой представлены в виде вертикальных отрезков, соответствующих диапазону разброса их значений). Из (рис.1) следует, что диаметр лунки с жидкой фазы образовавшейся в следствии воздействия единичных импульсов разрядов, может быть выражен зависимостью:

$$\frac{pd_{\pi}^2}{4} = \frac{1}{a} \frac{W}{l} \tag{3}$$

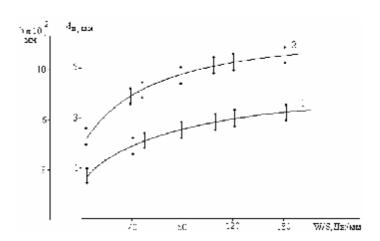


Рис.1. Зависимость диаметра лунок с жидкой фазы (1) и глубины (2) от отношения энергии разряда к величине МЭП

Анализируя зависимость (1) и данные таблицы, в которой приведены значения объемной плотности энергии при варьировании W и S для условий пока существует жидкая фаза на поверхности катода, т.е. пока плотность энергии, реализуемой в канале разряда и передаваемой от плазменного столба электродам, достаточна для плавления поверхности катода в зоне контакта плазмы с твердым телом, можно записать:

$$Q = \frac{4W}{pd_n^2 S} \ge Q_{nn} \tag{4}$$

где  $Q_{nn}$  – обменная теплота плавления материала катода равная  $Q_{nn} = q_{nn} r$ ,  $q_{nn}$  и r - соответственно, удельная теплота плавления и плотность материала подложки.

Средний диаметр лунки с жидкой фазой на поверхности катода-детали при единичном разряде может быть определен как:

$$d = \sqrt{\frac{4W}{pSQ}} \tag{5}$$

При анализе кривой (2) рис.1 видно, что она может быть аппроксимирована выражением вида:

$$h_{n} = \kappa C^{n} \tag{6}$$

где  $c = \frac{W}{S}$ , k - коэффициент пропорциональности, зависящий от теплофизических свойств обрабатываемого материала, n - показатель степени.

Величины  $d_{_{\it Л}}$  и  $h_{_{\it Л}}$  имеют важное значение при проведении процесса формирования покрытий из порошковых материалов, т.к. взаимодействие жидких фаз напыляемых частиц и материала подложки способствует образованию упрочняющих фаз, диффузионным процессом, повышению адгезионной прочности и т.п.

Таким образом, выражения (4) и (6) могут служить для предварительной оценки характера эрозионных процессов в зоне разряда и выбора параметров W и S для нанесения покрытий из порошковых материалов на поверхность катода-детали.

Таблица 1. Плотность энергии в межэлектродном промежутке (с учетом цилиндрической формы канала разряда) при условии образования жидкой фазы в зоне разряда

S, мм	$P = W / pd_{\pi}^2 S$					
	$P_1(Дж/мм^3)$	$P_2(Дж/мм^3)$	$P_3(Дж/мм^3)$	$P_4(Дж/мм^3)$		
0,1	6,11					
0,3	3,62	3,52	3,99	6,80		
0,5	3,19	3,39	3,13	4,42		
0,8	7,05	3,89	3,05			
1,0	9,84	4,55	3,55	2,95		
1,3		9,44	4,51	3,15		
1,5			6,52	4,10		
1,7			7,55	4,72		
2,0				5,35		

Список литературы: 1. Гитлевич А.Е., Топалэ П.А., Куку И.И., Иванов В.И., Снегирев В.А. О возможности упрочнения металлических поверхностей на установках для электроискрового легирования типа «Разряд». ЭОМ, 1987, №2, с.24-27. 2.Гитлевич А.Е., Топалэ П.А., Снегирев В.А., Игнатьков Д.А. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения. ЭОМ, 1988, №3, с.9-12. 3. Гитлевич А.Е., Топалэ П.А., Ревуцкий В.М., Шистик Л.М. Взаимодействие частиц порошка с каналом импульного разряда в условиях электроискрового нанесения покрытий. ЭОМ, 1988, №6, с.20-25.

#### СТЕРЕОТИП СТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В МОДЕЛИ ЗНАНИЯ ПРЕДМЕТОВ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Трунин В. Б., Щербак Е.Г., Таратынов О.В. (МГИУ, Москва, Россия)

The article considels models of knowledge of scientific and technical subjects which can simulate the results of experts creative work regardless of the quality of cognitive and reformatory vital activity and of the amount of the information represented.

На протяжении многих веков в обществе существует достаточно парадоксальная ситуация. Нет единого понимания таких понятий как модель и знание. Это результат отсутствия однозначного объяснения их в науке. Без этого нельзя понять сущность противоречивого явления реальности. Поэтому в существующей системе образовании человека не предусмотрено изучение модели знания сущности предмета<sup>1</sup>. В результате он не готов к целесообразной познавательно-преобразующей деятельности в обществе. Здесь причина не знания сущности явления микро- взаимодействия в физике элементарных частиц. Поэтому его нет и при объяснении многообразия предметного отношения<sup>2</sup> макро- взаимодействий в технике. Хотя необходимые научные факты для адекватного решения этой проблемы созданы более 100 лет назад.

Ситуацию усугубляет язык узко профессионального общения специалистов при решении повседневных проблем науки и техники. Он не способствует достижению взаимопонимания даже среди специалистов одной проблемной области. Не все из повседневного общения людей нужно для постоянного развития их социальных отношений. Это объективный факт из становления взаимопонимания в обществе. Поэтому на протяжении веков существует проблема обмена знаниями в науке и технике. Это уже объективный факт из области становления мировоззрения человека как социальной личности.

Модель — естественная возможность стереотипного восприятия информации и аналогичного изучения абстракции. Она определяет адекватное понимание реальности конкретных ситуаций. Как стереотип аналогичного становления информации в опыте человека она определяет достижение взаимопонимания в обществе. Это то, чего нет при изучении сущности явлений предметной взаимосвязи и взаимодействия в реальном мире. В результате в обществе возникла новая проблема — обмен знаниями в науке и технике. Этот объективный факт из становления взаимопонимания в обществе. Об этом свидетельстуют научные факты из естествознания, диалектики и нейрофизиологии живого организма.

-

<sup>1 –</sup> все то, что может обладать каким-либо свойством или находиться в отношении.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> – момент взаимосвязи всех явлений.

Недостаточная **обще**научная подготовка и язык **узкопро**фессионального общения специалистов прикладной науки и техники не позволяет им ограниченными средствами модели отражать и объяснять явления предметов **не**органиченной информационной емкости. Поэтому эргатические системы типа «человек – машина – среда» не имеют **одно**значного объяснения в науке и технике. Например, в технологии машиностроения нет **обще**признанной модели отражения и изучения свойств гибкого автоматизированного производства. Однако адекватные решения аналогичных проблем науки и техники известны. Это такие общенаучные формы явления информации как:

- § ортогональная система кординат отражает знание сущности взаимодействия;
- § объемная матрица отражает непрерывно-прерывную взаимосвязь предметов.

Они являются **обще**признанными моделями отражения и изучения предметов науки и техники неограниченной информационной емкости. Поэтому используются в узкопрофессиональном творчестве специалистов достаточно высокой квалификации.

В области познания стереотипом становления информаци в знания предлагается считать моделью типа «непрозрачный ящик». Объясняется это не изученностью естественных возможностей и способностей человека в науке. Поэтому изучению предметной реальности мешают так называемые «проклятия познания»:

- § начало и конец изучения явлений всеобщей взаимосвязи;
- **§** размерности свойств явлений всеобщего взаимодействия.

Модель «непрозрачный ящик» можно заменить на модель типа «прозрачный ящик». Для этого достаточно использовать ортогональную систему координат Декарта.

В настоящее время ортогональная система координат Декарта является основой языка общения всех специалистов науки и техники. Она используется как стереотип аналогичного становления информации в предметах творчества специалистов:

- **§** техники при проектировании объектов любой информационной емкости;
- **§ науки** при отражении результатов независимо от области изучения .

Однако ее утилитарные свойства как модели знания еще не изучены. Для этого мало одних знаний из области инженерной графики. Нужны комплексные знания основ естествознания, диалектики, нейрофизиологии.

Знание основ физики достаточно для решения проблемы — «начала и конца изучения явлений всеобщей взаимосвязи». Дело в том, что ортогональная система кординат Декарта в физике известна под названием — «инерциальная система отсчета». Она реализует принцип относительного становления информации. Поэтому изучение реальности не зависит от пространства, времени и структуры ее явления.

Знании основ диалектики и нейрофизиологии достаточно для решения проблемы — **«размерности** свойств явлений всеобщего взаимодействия». Это снимается **мерой качественного** и **количественного** восприятия свойств явления (рис.1). Что позволяет понять возможный **качественный** смысл и **количественное** значение свойств предмета. Эти возможности ортогональной системы координат Декарта не зависят от:

- § предмета творчества узкопрофессиональных специалистов в обществе;
- § информационной емкости отражаемого предмета науки и техники;
- § области познавательно-преобразующией жизнедеятельности человека.

Поэтому стереотип информационной структуры ортогональной системы координат Декарта может моделировать такие явления как:

- § становление информации в знаниях;
- § снятие сущности противоречивого явления предмета.

Такое понимание требует знание основ естествознания, фундаментальных и прикладных наук. Только в этом случае будет понятно почему ортогональная система координат Декарта отражает **объективный** и **научный** факты становления информации в знании сущности взаимодействия предметов реальности (рис.1).

Так этапы явления информации в ней отражают такие законы диалектики как:

- § единство и борьба противоположности процесс формообразования предмета;
- **§** переход количества в качество продукт явления меры единства предмета;
- отрицание отрицания снятие относительного изменения единства предмета.

Тот **научный** факт, что человек воспринимает только **относительное** изменение единства внешних воздействий, стал известен 170 лет назад. Сделал это в своем открытии физиолог **Э. Вебер**. Он так же подтвердил **объективный** факт восприятие человеком меры качественного и количественного изменения. До него это было лишь **научным** фактом из области философии.

Надо только сопоставить все **объективные** и **научные** факты из естественных, фундаментальных и прикладных наук для очевидного вывода — **ортогональная система координат** Декарта отражает становление информации в знания.

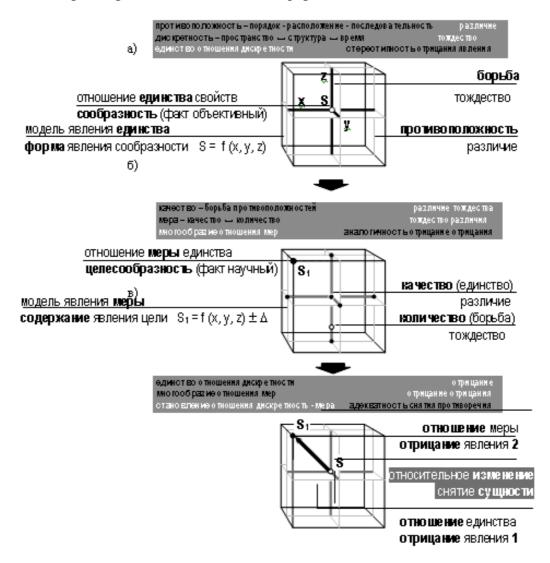


Рис.1. Ортогональная система координат как модель становления информации в знания предмета творчества специалистов науки и техники

В технологии изготовления и эксплуатации изделий машиностроительного производства предлагается моделировать макро- взаимодействия как отношения:

- § неранопрочности типа «инструмент работа заготовка» (рис. 3);
- § ранопрочности типа «деталь работа деталь» (рис. 2).

Эти отношения достаточно универсальны и отражают явления:

- **§ макро-** изменения и сохранения предмета (рис.2 и табл.1);
- **§** дискретность взаимодействия (табл.1);
- **§ становление** информации при механическом взаимодействии предметов (табл. 1). В результате появляется возможность использовать метод объемных матриц и ортогональную систему координат Декарта как стереотип взаимодействия предметов с использованием общенаучных понятий и теорий. Однако как формы **стереотипного** явления информации они мало изучены.

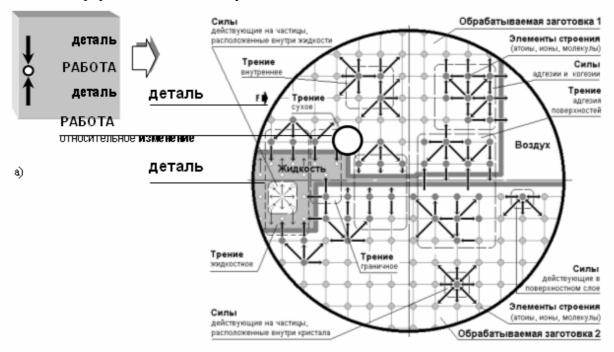


Рис.2. Узко **научное** объяснение механического **макро**- взаимодействия в отношении равнопрочности «деталь — **работа** — даталь»

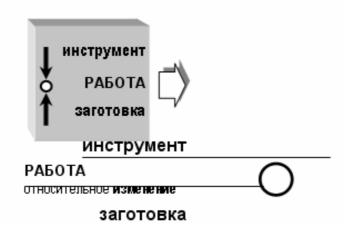


Рис.3. Узко научное объяснение механического макро- взаимодействия

в отношении **не** равнопрочности «инструмент – работа – заготовка».

Таблица 1. Формы общенаучного отражения взаимосвязи предметов творчества специалистов науки и техники неограниченной информационной емкости

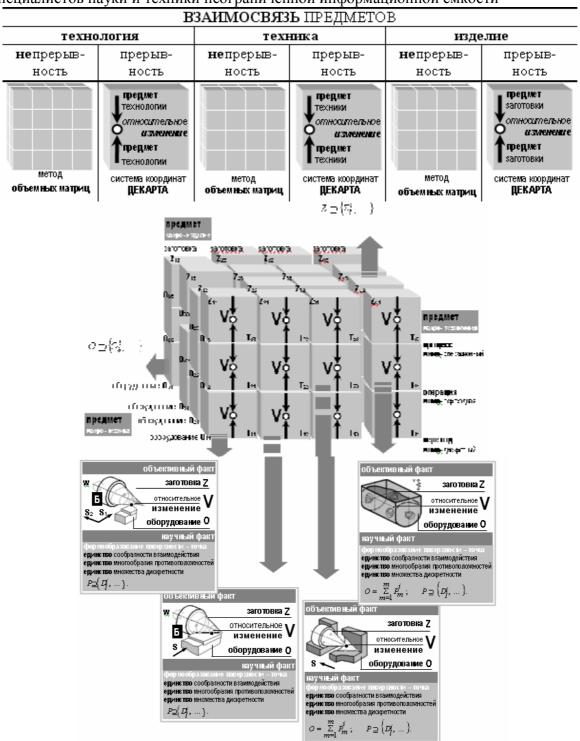


Рис.4. Метод объемных матриц как стереотип взаимодействия макро- предметов. с использованием общенаучных понятий и теорий

Поэтому их утилитарные свойства еще не исчерпаны. Не изучен вопрос и их совместного использования в качестве модели отражения и изучения свойств прерывной непрерывности всеобщей взаимосвязи.

Как видно из рис.4 и табл.1 совместное использование объемных матриц и ортогональной системы координат позволит изучить на модели целесообразность создания технических объектов любой информационной емкости. Что не сделать при узкопрофессиональном понимании технологического процесса.

Универсальность предлагаемого подхода в общенаучном понимании единых проблем узкопрофессионального решения задач общества. Нужны лишь навыки, умения и знания. Они определяют профессиональную пригодность и возможность «конвертации» специалистов науки и техники в обществе. Поэтому предлагаемый подход можно использовать при моделировании предметов в любой познавательно-преобразующией жизнедеятельности специалистов науки и техники. Это могут быть заводы автоматы по производству изделий машиностроения, робототехнические комплексы любого проблемного назначения, космические корабли и др.

**ВЫВОДЫ:** В обществе давно известны, но не имеют **целе**сообразного использования в науке и технике такие **формы стереотипного** становления информации как:

- **§ система кординат ДЕКАРТА** средство отражения знания предмета;
- **метод объемных матриц** способ отражения **непрерывно-прерывных** явлений. Они могут моделировать результаты творчества специалистов независимо от:
- **§ качества** познавательно-преобразущей жизнедеятельности;
- **§ количества** отражаемой информации.

Это подтверждается объективными и научными фактами из фундаментальных, естественных и прикладных наук.

Список литературы: 1. Веденов А.А. Моделирование элементов мышления М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит., 1988. – (Соврем. пробл. физики). – 160 с. 2. Информация и управление. Философско-методологические аспекты. –М.: Наука, 1985. – 288 с. 3. Советский энцеклопедический словарь / Гл. ред. М. Прохоров. 2-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 1600 с. 4. Трунин В.Б., Щербак Е.Г., Таратынов О.В. Создание гибкого производственного модуля обработки заготовок. Машиностроение и техносфера XX1 века// Сборник трудов X11 международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12 – 17 сентября 2005 г. В 5-и томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. Т.З. С. 294 – 302. 5. Трунин В.Б., Щербак Е.Г. Синтезирующая функция языка при отражении мерных ситуаций// Концепции, проблемы, решения (ТDG-2005): Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МГИУ, 2005. С. 282 – 286. 6. Трунин В.Б., Щербак Е.Г., Таратынов О.В. Гибкий производственный модуль обработки заготовок / Сбор. науч. трудов. Прогрессивные технологии и оборудование в машиностроении и металлургии. Часть 2. Липецк: ЛГТУ. 2006. С. 244 – 248.

#### ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗО-ВАНИЕМ ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Тюрин Ю.Н., Жадкевич М.Л., Колисниченко О.В., Мазунин В.М. (Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины, Киев, Украина)

New devices and methods for the plasma detonation deposition of coatings, which give a permanent delivery of gases and powders into the combustion chamber, have been developed. They allow one to increase the delivery accuracy and promote an operation frequency of 2 to 20 Hz for these detonation devices. Non-stationary regimes of the detonation combustion of a combustible gaseous mixture are realized due to introduction of an additional electric energy, permit to control the characteristics of a pulsed jet, as well as to the ability change the jet power density from  $10^3$  to  $10^7$  Wt/cm², the jet temperature from  $2x10^3$  to  $3 \times 10^4$  K and its velocity from 600 m/s to 8000 m/s. A new type of device has been developed for deposition of coatings both modifying of a surface of the tool and parts of machines.

Исследования показывают, что эффективность импульсного воздействия на поверхность металлических сплавов обусловлена высокими скоростями нагрева и охлаждения, упругопластической деформацией поверхности и, как следствие, интенсификацией практически всех известных механизмов диффузии. Рост коэффициентов диффузии при скоростной упругопластической деформации,  $e = \frac{\Delta h/h}{t} \ge 20\,c^{-1}$ , где:

 $\Delta h$ -степень деформации,  $\tau$  -время деформирования, объясняется увеличением средней концентрации вакансий, которая превышает равновесную [1-2]. Импульсное воздействие на поверхность (время деформации  $\tau$ =4x10<sup>-3</sup>c, степень деформации-10%, температура 800 °C) повышает коэффициент диффузии (D=8,3x10<sup>-3</sup>cm²/c) на два порядка выше, чем в жидком металле. Аналогично повышает тепломассоперенос и скоростное деформирование в импульсном магнитном поле. Высокие скорость нагрева и охлаждения поверхностного слоя ( $10^5...10^8$  K/c) способствуют формированию метастабильных состояний с высокой концентрацией легирующих элементов.

Установлено, что одновременное воздействие упруго-пластическими, магнитными, акустическими, электрическими импульсными полями значительно увеличивает тепло-массоперенос и это увеличение носит синергетический характер.

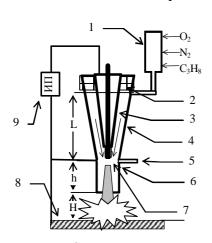


Рис.1.Схема импульсноплазменного устройства

Для высокоэнергетической обработки поверхности разработана специальные генераторы импульсной плазмы, которые работают на основе нестационарных детонационных режимов горения горючих газовых смесей в реакционное камере, где между двумя коаксиальными электродами наведено электрическое поле E, puc.1 [3].

Устройство состоит из детонационной камеры 1; установленного на изоляторах 2 конического электрода — анода 3; катода 4; трубопровода для подачи легирующих элементов (порошков) 5; камеры для нагрева и ускорения — легирующих элементов 6; расходуемого электрода 7; поверхности металлического изделия - катода 8; источника питания электрическим током 9.

После инициирования детонации в камере 1, продукты сгорания поступают в межэлектродный зазор и замыкают электрическую цепь между анодом 3 и като-

дом 4. Образуется электропроводный слой, который ускоряется магнитогазодинамическими силами. Расходуемый электрод 7 испаряется и обеспечивает ввод в плазменную струю легирующих элементов. Кроме того, легирующие элементы в виде порошковых сплавов периодически вводят через трубопровод 5.

Плазменная струя замыкает электрическую цепь между электродом – анодом и поверхностью изделия – катодом 8. В результате прохождения по этой струе элек-

трического тока, плазма и поверхность дополнительно нагревается за счет Джоулева тепловыделения  $Q = \sigma E^2 \, B T/M^3$ .

Высокоэнергетическая струя плазмы формирует на поверхности изделия ударно-сжатый слой (УСС), который состоит из легирующих элементов. Энергия электрического тока обеспечивает плавление поверхности, легирование и перемешивание.

Энергетические параметры плазменного потока определяются решением известной двумерной нестационарной задачи распространения ДВ в электрическом поле между коаксиальными электродами. Эта задача была упрощена, и средние значения температуры, скорости, давления и плотности продуктов сгорания по оси РК определялись без учета изменения ее сечения. Течение газа в канале за ДВ описывалась системой дифференциальных уравнений в частных производных с учетом геометрических параметров РК, длины РК - L, площади сечения кольцевого зазора A, угла между коническими образующими электродов РК - В.

Решение дифференциального уравнения представлено [3] в виде формулы для расчета коэффициента усиления энергии продуктов детонационного сгорания горючих газовых смесей. Анализ формул показывает, что температуру, давление, скорость и плотность импульсной плазменной струи можно изменять в широких пределах. Изменяя длину РК можно получать следующие технологические характеристики импульсной плазмы: плотность мощности струи в диапазоне, от  $10^3$  до  $10^7$  BT/cm², температуру от  $2x10^3$  до  $3x10^4$  K, скорость от 600 до 8000 м/с. Максимальные значения параметров плазмы получают при длине РК 0,5 м.

В результате воздействия импульсной плазмой поверхность нагревается до плавления, а затем быстро охлаждается, рис. 2. Одновременно поверхность обрабатывается импульсами электрического тока, магнитного поля (см.рис.2 а), акустическими (150 Дб) и упруго-деформационными волнами.

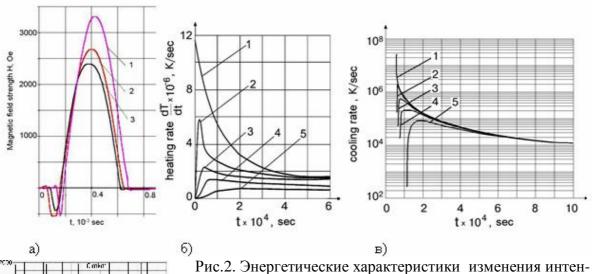


Рис.2. Энергетические характеристики изменения интенсивности воздействия на поверхностный слой изделия - магнитного поля (а), нагрева (б), охлаждения (в): 1-глубины слоя  $\delta$ =0, 2-  $\delta$ =20 мкм, 3- $\delta$ =40 мкм, 4- $\delta$ =60 мкм, 5- $\delta$ =80 мкм

Интенсивность теплового воздействия на поверхность уменьшается в голубиных слоях изделия (см.рис.2 б,в). Время между импульсами воздействие на поверхность 0,3-0,5 сек., что обеспечивает охлаждение и кри-

a)

200

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

1-100

Рис.3. Изменение температуры слоя поверхности во времени при циклическом возлействии плазмы

сталлизацию формируемого на поверхности сплава, рис. З. Последующий импульс обеспечивает плавление, легирование, перемешивание нового сплава и скоростню кристаллизацию.

Управление временем воздействия плазменного импульса и его энергетическими характеристиками осуществляется: емкостью C, напряжением  $U_{\text{зар}}$  на обкладках конденсаторной батареи, индуктивностью L, расстоянием до поверхности изделия H и размером пятна взаимодействия плазмы c поверхностью.

В результате обработки импульсной плазмой на поверхности изделий формируется слой нового сплава, рис.4. Концентрация легирующих элементов и наличие видимых дефектов в слое зависит от состава плазмы и количества импульсов обработки.

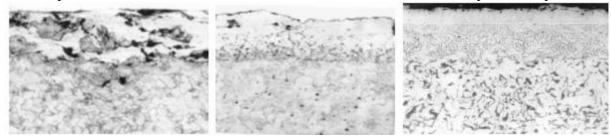


Рис.4. Слои поверхности после плавления, легирования и перемешивания: С медью (a), титаном (б), вольфрамом (в). Один импульс (a,б), пять импульсов (в). x500

Плавление поверхности производилась одним и пятью импульсами. Энергия импульса - 3000 Дж. Частота следования импульсов 1,5 Гц. От центрального электродаанода к поверхности пропускали электрический ток до 7000 А.

Легирование сплава возможно осуществлять различными металлами, азотом и углеродом. Например, легирование медью. После одного импульса поверхность имеет слой неравномерно перемешанного материала основы и меди. Толщина слоя 80...150 мкм (см.рис. 4 а). Он содержит фазы: Си, а - Fe, FeO, CuO. По границе интерметаллидов Си-Fe имеются включения серого цвета, твердость которых достигает 20000 МПа. Матрица наплавленного слоя имеет твердость 2000-2700 МПа. В слое имеются многочисленные монолитные светло-голубые зерна, твердостью 6100 МПа. Твердость меди в покрытии составляет 580 МПа.

После обработки плазмой содержащей титан образуются следующие фазы, (см.рис.4 б): а-Ті, а-Fе, FeO. Твердость наплавленного слоя: 4000 - 8000 МПа, твердость переходного слоя 4000-5000 МПа. Микрорентгеноспектральный анализ показал, что на границе с основным металлом имеется прослойка, содержащая до 60% титана и 26-27% железа, выше размещается слой практически чистого титанового сплава, содержащего до 1,5% Fe. Между этими слоями имеется узкая диффузионная зона. В наружном слое видны желтоватые включения с голубоватыми границами (интерметаллиды Fe-Ti, нитриды, оксиды титана и железа). Пяти кратная обработка импульсной плазмой содержащей титан формирует слой с равномерным послойным содержанием легирующих элементов. Твердость покрытия 6000-10000 МПа.

Например, после пяти импульсов обработки плазмой, содержащей вольфрам (см. рис.4 в) на границе с основным металлом и на поверхности образуются мелкодисперсные включения с содержанием W до 98%. На границе с основой наблюдаются интерметаллиды системы Fe-W. К границе примыкает тонкая прослойка, обогащенная вольфрамом. Ближе к поверхности размещен слой с плавным изменением содержания вольфрама от 8 до 16%, затем слой содержащий вольфрам до 18%. К поверхности прилегает слой содержащий до 20% вольфрама. Это совпадает с результатами спектрального ана-

лиза, согласно которым содержание вольфрама в поверхностном слое составляет 11-20%.

Исследования [4] показывают, что эффективна обработка импульсной плазмой поверхности изделий из\_железографитового материала. Наблюдается закрытие поверхностных пор, и образование новых сплавов из элементов плазмы и материала основы.

Импульсно-плазменная технология может обеспечить модифицирование поверхности без плавления. Для обработки поверхности без плавления, удельная мощность плазменной струи должна быть не выше  $10^6~{\rm Bt/cm}^2$ .

На рис. 4 приведены результаты исследования поверхности изделия из углеродистой стали на твердость. Испытания на нанотвердость (см.рис.4 а) проводились Дубом С.Н. Применяли нанотвердомер Nano Indenter II (MTS Systems Inc., Oak Ridge, USA). Результаты измерения твердости показывают, что модифицированный слой имеет твердость в 2-3 раза выше, чем твердость после стандартной закалки, см. рис.4 б. Анализ результатов измерения нанотвердости и твердости полностью коррелируют.

Рентгенофазовый анализ упрочненных импульсной плазмой поверхностных слоев образцов из углеродистых сталей фиксирует уширение линий α-Fe и появление линий остаточного аустенита Fe. Увеличение числа импульсов влечет за собой дальнейшее уширение линий α-Fe при уменьшении их интенсивности, а также увеличение относительной интенсивности линий γ-Fe. Судя по отношению интенсивностей линий остаточного аустенита и феррита, количество аустенита при одном и том же режиме обработки наибольшее в случае использования электрода из тяжелых элементоввольфрама. Рентгеноспектральные исследования показали, что материал расходуемого электрода проникает в упрочненный слой изделия. Например, при использовании расходуемого электрода из металлов (W, Mo, Ti, Cr, Cu, Al) они были обнаружены в упрочненном слое на глубине до 20...30 мкм. [5].

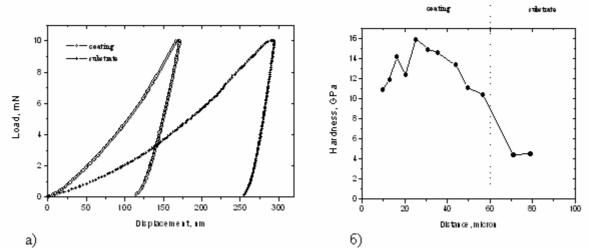


Рис. 5. Результаты измерения нанотвердости (a) и микротвердости (б) в слое углеродистой стали У-8 до и после импульсно-плазменной обработки

Определение массопереноса легких элементов проводили методами ожеспектроскопии на образцах из инструментальной стали 9XC. Результаты исследования показали, что при воздействии на поверхность изделия 30-ю плазменными импульсами ( $\tau_{\text{им}}$ =0,6 мс), концентрация азота на глубине 20 мкм составляет до 3.2 атом.%,.

Импульсно-плазменное оборудование эффективно также и для нанесения покрытий из порошка. Например, покрытие из порошка  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> имело толщину до 0,8 мм и

содержало до 8%  $\gamma$ -фазы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, аморфные фазы и  $\alpha$ -фазу. Микротвердость слоя составляла 9000...13000 Н/мм<sup>2</sup> [5].

При напылении твердого сплава (WC 98%, Co 12%) формируется плотное покрытие толщиной 0,1...1,0 мм и твердостью 8000...12800 Н/мм². Сцепляемость покрытия из порошка твердого сплава (WC 98%, Co 12%) с медной подложкой составляет 200...250 МПа [5].

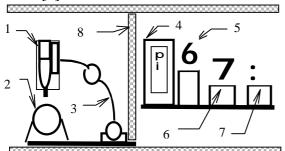


Рис.7. Состав оборудования участка для импульсно-плазменного модифицирования и нанесения покрытий.

Импульсно-плазменная технология осуществляется на оборудование, рис.6, которое комплектуется специальным генератором плазмы 1, манипулятором 2, роботом 3, преобразователем электрической энергии 4 и порошковым питателем 5. Установка содержит газобаллонные системы подачи газов, пульты управления 6 и системы контроля за технологией 7. Можно, использовать стандартные боксы 8 и системы для нейтрализации шума.

Например, подобное оборудование использует ОАО "Череповецкий сталепрокатный завод" для модификации поверхности металлорежущего инструмента, матриц и пуансонов, штампов холодного и горячего деформирования металла. Импульсную плазменную обработку применяют в качестве конечной операции. Упрочнению подвергают только поверхности режущих кромок инструмента. Перед упрочнением поверхность изделия не требует очистки или какойлибо другой подготовительной операции. Работоспособность инструмента после упрочнения увеличилась в 2-4 раза [6].

Список литературы: 1. Лариков Л.Н., Фальченко В.М., Мазанко В.Ф. Аномальное ускорение диффузии при импульсном нагружении.// ДАН СССР.-1975.,т. 221, №5.-с.1073. 2. Герцрикен Д.С., Костюченко В.Г., Тишкевич В.М., Фальченко В.М. Влияние пластической деформации в импульсном магнитном поле на миграцию атомов в металлах // Док. НАН Украины, 1997 г., № 3. –с. 678. 3. Yu.Tyurin , A.D. Pogrebnjak. Advances in the development of detonation technologies and equipment for coating deposition // Surface and Coatings Technology. –111. (1999). 269-275. 4. Тюрин Ю.Н., Жадкевич М. Л., Колисниченко О.В. Особенности импульсно-плазменного легирования поверхности сплавов на основе железа // Автоматическая сварка. Киев, №3, 2002, стр. 41-454 5. Погребняк А.Д.. Тюрин Ю.Н. Модификация свойств материалов и осаждение покрытий с помощью плазменных струй // Успехи физических наук. Москва. РАН. 2005, Том 175, №5 Стр.515-545 6. Тюрин Ю.Н., Колисниченко О.В., Цыганков Н.Г. Импульсно-плазменное упрочнение инструмента // Автоматическая сварка №1. 2001, стр. 38-44.

### ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРУПНОГАБА-РИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

#### Тюрин Ю.Н., Жадкевич М.Л. Головенко С.И.

(Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины, Киев, Украина)

The specification statement of technology and devices for thermocyclic of surfacing of largesized cylindrical workpieces of a type a crankshaft and (or) boring pipes is given. The technology ensures management of heat rate and chilling in a gamut from 20 up to 500 °C/s, that allows to construct on a surface of workpieces local surface segments having hardness up to 64 ed. HRC and thickness of the hardened stratum in a gamut 0,1... 10 mm. The efficiency of technology is ensured with a high utilization factor of electrical energy (up to 80 %) and low expenditures on fabrication of the device for thermocyclic of hardening.

Работоспособность цилиндрических деталей, например, тяжелого вала или буровой трубы зависят от прочности и способности опорной поверхности противостоять износу.

Шейки вала контактируют с вкладышами из антифрикционного сплава. Режим

Рис.1. Схема размещения твердых участков на поверхности излелия.

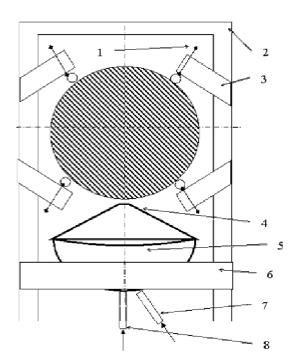
трения граничный. Износ поверхности бурильной трубы, вследствие трения об абразивную породу на стенках скважины, ослабляет ее прочность, что является причиной аварий. Для упрочнения применяется термоциклическая электролитно-плазменная технология (ТЦ ЭПТ). Эта технология обеспечивает выполнение противоречивых требований, предъявляемых к изделиям. Например, к буровым трубам - это повышенное сопротивление абразивному износу и способность материала трубы противостоять разрушению при знакопеременных динамических нагрузках.

ТЦ ЭПТ обеспечивает на поверхности формирование твердого слоя (толщина 6...10 мм) на локальных участках, рис.1. Система твердых (50-66

HRC) участков на изнашиваемой поверхности обеспечивает многократное повышение работоспособности изделий.

Например, промышленные испытания показали, что с использованием ТЦ ЭПТ работоспособность буровых штанг станка СБШ-250 МНА была увеличена в 2...3 раза (проведено на Ингулецком ГОКе, г.Кривой Рог). ТЦ ЭПТ буровых штанг обеспечивает производительность до 5 метров погонных трубы в час при установленной мощности преобразователя электрической энергии 40 кВА.

ТЦ ЭПТ применяется также и для упрочнения шеек вала, например, коренных и шатунных шеек коленчатого вала. На поверхности шейки создаются прямоугольные



Для ТЦ ЭПТ крупногабаритных изделий изготовлены установки, которые содержат навесные нагреватели, бак с насос-

твердые участки, ориентированные своей длинной частью перпендикулярно направления движения. Система твердых участков ведет к образованию на поверхности рельефа, который обеспечивает гидродинамическую смазку, воспринимает износные нагрузки и обеспечивает сжимающие напряжения в поверхностном слое изделия. Мягкие участки поверхности обеспечивают релаксацию напряжений. Эти позволяют существенно повысить эффективность работы машины.

287

Рис.2. Схема навесного нагревателя ТЦ

ной станцией, источник электрического питания, пульт управления температурой поверхности и манипулятор.

На установке, по команде с пульта, осуществляется периодический нагрев участков поверхности и охлаждение. В процессе периодического повторения технологии (нагрев / охлаждение / поворот) на поверхности изделия формируется система упроченных локальных участков с твердым слоем.

На рис. 2 приведена схема навесного устройства для **ТЦ ЭПТ** цилиндрических деталей: буровых штанг и шеек коленчатого вала. Навесной нагреватель содержит опоры 1, которые посредством корпусной рамки 2 и кронштейнов 3 обеспечивают фиксирование нагревателя 4, 5 на цилиндрической поверхности изделия. Электролитный нагреватель закреплен на планке 6, которая имеет возможность перемещения относительно упрочняемой поверхности. Электролит и электрический ток подводятся к нагревателю через штуцера 7 и 8. **ТЦ ЭПТ** обеспечивает на поверхности изделия систему твердых участков. Эти участки могут иметь форму круга, квадрата или овала.

Сущность **ТЦ** ЭПТ заключаются в том, что нагрев поверхности осуществляется электрическими разрядами в плазменном слое между поверхностью изделия и электродом из водного раствора соли щелочного металла [1].

Распределение электрической энергии в нагревателе и плазменном слое можно проследить на схеме, рис.3. Нагреватель содержит корпус из диэлектрического материала и металлический анод с характерными размерами  $D_a$ . В аноде выполнены отверстия, через которые протекает электролит к катоду (нагреваемой поверхности). В объ-

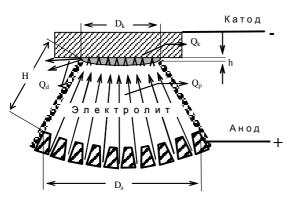


Рис.3. Схема электролитно-плазменного нагревателя.

еме электролита, между электродами, имеют место перекрестные эффекты [2]. Полная плотность тока в электролите есть сумма плотностей трех независимых токов. Это, прежде всего, ток проводимости или "миграционный ток" – ионы движутся относительно вмещающей их жидкости под действием сил электростатической природы. Затем диффузионный ток – ионы одинакового сорта диффундируют под действием осмотического давления относительно окружающей жидкости, вне зависимости от напряженности электрического поля или движения жидкости. И, наконец, конвективный ток - ионы перемещаются текущим

раствором, как если бы они были «вморожены» в нейтральную жидкость вне зависимости от напряженности поля или градиента их концентрации. Линейная комбинация трех плотностей токов в приближении полной диссоциации записывается для каждого сорта ионов соотношением Нернста-Планка [2],

$$J_i = u_i p_i E_i - \phi_0 u_i / z_i \text{ grad } p_i + v p_i$$
.

Здесь:  $u_i$ ,  $z_i$  означают характерные параметры ионов номера i=1,2,3... - их подвижность и валентность;  $p_i=n_i$   $z_i$  е,  $n_i$ ,  $j_i$ , - локальная объемная плотность распределения электрических зарядов, концентрация и плотность тока ионов сорта i; E, v - напряженность электрического поля и механическая скорость жидкости;  $\phi_0=kT/e$ - специфический осмотический потенциал, равный для водных растворов 25,9 мВ при температуре T=300 K; k, e- постоянная Больцмана и модуль заряда электрона.

Взаимодействия ионов между собой, с электродами и с изолирующими стенками нагревателя достаточно сложные, но при большом объемном заряде и высокой скорости протекания электролита конвективный ток много больше диффузионного и миграционного тока, что позволяет при расчете их не учитывать.

Распределение энергии в нагревателе можно представить в виде:

$$Q_k = U_{ak} J_{ak} - Q_p - Q_{d,}$$

где:  $Q_k$  - энергия нагрева плазменного слоя и поверхности катода;  $Q_p$  - энергия испарение электролита;  $Q_d$  - энергия излучения;  $J_{ak}$  - электрический ток между металлическими анодом и изделием;  $U_{ak}$  - электрическое напряжение.

Толщина плазменного слоя (h = 2...3 мм), по отношению к величине его периметра S=150-300 мм небольшая и рассеиванием энергии в виде излучения ( $Q_d$ ) можно пренебречь. Основные затраты энергии идут на нагрев поверхности изделия и образование плазменного слоя. В плазменном слое энергия к изделию передается в виде специфичной формы неравновесных электрических разрядов. Разряды имеют диффузионную привязку к поверхности жидкого электрода-анода.

Электропроводность электролита между сетчатым анодом и плазменным слоем содержит электростатическую и гидродинамическую составляющую, что снижает резистивные потери  $Q_p$ . Энергия, в основном преобразуется в тепло в плазменном слое и идет на нагрев катода  $Q_k$ . Рассеивание энергии  $Q_d$  мало, что обусловлено малостью толщины слоя h по сравнению с активной площадью нагрева, ограниченной диаметром выходного сопла нагревателя  $D_k$ . В зависимости от соотношений  $D_a/D_k$ , h/H и электрических режимов технология обеспечивает управление скоростью нагрева и охлаждения поверхности изделия в диапазоне 20-500 °C/сек, при плотности мощности  $10^3$ - $10^4$   $Bt/cm^2$ .

Анализ результатов эксперимента показывает, что чередование включения электрического потенциала при напряжении  $U_v$ = 320 B и  $U_n$  = 200 B обеспечивает прогрев поверхности изделия на глубины до 10 мм, рис. 4. При этом максимальная твердость поверхностного слоя (900 кг/мм²) не зависит от толщины упрочненного слоя [3,4].

Твердость упрочненного слоя изделия плавно понижается от максимальной (900 кг/мм $^2$ ) к твердости основы (250 -300 кг/мм $^2$ ) и, как правило, не зависит от времени нагрева.

Размещение термически обработанных слоев на поверхности изделия зависит

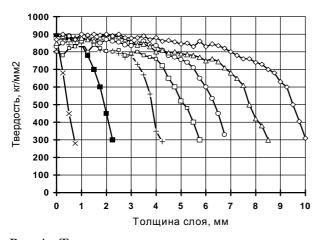


Рис.4. Твердость закаленного слоя на поверхности сплава 0,50 % С в зависимости от времени -t нагрева и напряжение электрического потенциала – U

от скорости, траектории перемещения электролитных нагревателей относительно упрочняемой поверхности и конструктивных особенностей самих нагревателей.

Оборудование для ТЦ ЭПТ, как правило, комплектуется из стандартных манипуляторов и преобразователей электрической энергии, а нестандартное оборудование (нагреватели и пульт управления) могут быть навесным, съемным и переносным. Опыт промышленного использования и оборудования подтвердили высокую эффективность ТЦ ЭПТ [3,4]. Например, при упрочнении тяжелых

коленчатых валов, затраты на внедрение технологии окупаются после упрочнения 10-20 валов, что составляет 2-3 недели.

Технология является энергосберегающей и экологически чистой, 80-85% электрической энергии расходуется непосредственно на нагрев участков поверхности. **ТЦ ЭПТ** подвергаются только изнашиваемые поверхности, без нагрева всего изделия.

Список литературы: 1. Ясногородский Я.З. Автоматический нагрев в электролите // М.: Оборонгиз. 1947. С. 24 . 2. Остроумов Г.А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. Москва. «НАУКА». 1979. С. 310. 3. Туштіп Ү.N., Pogrebnjak A.D. Electric heating using a liquid electrode // Surface and Coatings Technology 142-144 (2001) 293-299. 4. Тюрин Ю.Н., Жадкевич М.Л., Головенко С.И. Электролитно-плазменная обработка изделий из стали // Сб. Трудов ОТТОМ-2. Технология термической и термомеханической обработки. Харьков. 2001. Стр. 160-167.

### ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ И ТРЕНИЯ НА ЛОКАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ШЛИФОВАНИЯ

Унянин А. Н. (УлГТУ, г. Ульяновск, Россия)

Numerical modelling local temperatures is executed at grinding. And factor of friction of grain about preparation influence of conditions of cooling of a zone of processing is established on local temperature from cutting and plastically grains.

Определение условий и режима шлифования, обеспечивающих минимальную интенсивность налипания металла заготовки на абразивные зерна (АЗ) шлифовального круга невозможно без расчета локальных температур. Однако нам не известны исследования, в которых были бы разработаны модели для расчета локальных температур, позволяющие учесть наложение тепловых импульсов от отдельных зерен, зависимость теплофизических свойств контактирующих объектов (АЗ, круга, заготовки и стружки) и механических свойств материала заготовки (интенсивности напряжений и твердости) от температуры, а также условия охлаждения этих объектов.

Тепловые процессы при плоском шлифовании периферией круга моделировали на основе совместного решения дифференциальных уравнений теплопроводности с общими граничными условиями в зоне контакта объектов. Абразивное зерно представили в виде усеченного конуса, стружку и заготовку – в виде прямоугольных параллелепипедов [1]. Приняли во внимание относительное перемещение контактирующих объектов и тепловыделения в зонах деформирования зерном материала заготовки и трения стружки о зерно и зерна о заготовку. Мощности источников тепловыделения рассчитывали, используя аналитические зависимости для расчета составляющих силы микрорезания [2], содержащие в качестве аргумента коэффициент трения АЗ о заготовку.

Для расчета температур численным методом (использовали метод конечных разностей) разработали оригинальные программы.

Численное моделирование и экспериментальные исследования выполнены для плоского многопроходного шлифования периферией круга при следующих исходных данных: материал заготовки — сталь 40X, НВ 167 ... 187; материал АЗ — электрокорунд белый; рабочая скорость круга  $V_{\rm kp}=35\,$  м/с; скорость продольной подачи  $Vs_{\rm np}=10\,$  м/мин; глубина шлифования  $t=0.01\,$  мм; смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) —

3 % – ная эмульсия Укринол-1. Зависимости теплофизических свойств и механических характеристик вышеприведенных материалов от температуры известны.

Влияние условий охлаждения на температуру исследовали, варьируя коэффициентом  $\xi$ , определяющим долю СОЖ в объеме воздушно-жидкостной смеси, проникающей в зону шлифования, в пределах от 0,25 до 0,75 [3]. Значение  $\xi$ , равное 0,25, имеет место при подаче СОЖ в зону обработки свободно текущей струей (поливом). Значение  $\xi$ , близкое к единице, можно получить, в частности, при шлифовании в среде жидкости (в жидкостной ванне). Различные условия работы АЗ моделировали, изменяя коэффициент трения зерна о заготовку  $\mu_0$  от 0,15 (что соответствует трению АЗ без налипов о заготовку при наличии смазки в зоне контакта) до 0,5 (трение о заготовку зерна, поверхность которого полностью покрыта налипами материала заготовки, при отсутствии смазки).

Фиксировали локальные температуры в точках, расположенных на площадках контакта зерна с заготовкой (линия EV на рис. 1) и со стружкой (линия EN), а также в точках, удаленных от этих площадок вглубь зерна (линии E'V' и E'N' соответственно) в зависимости от расстояния  $x_3$  и  $x_{\Pi}$  от вершины зерна (точки E на рис. 1). Температуру заготовки фиксировали в точках, лежащих на линиях, проведенных перпендикулярно к линии, имитирующей траекторию движения АЗ ( $F_1F_2$  на рис. 1), в зависимости от расстояния y от поверхности заготовки. Температуру деформируемого слоя заготовки (площадка BCDE на рис. 1) использовали при расчете интенсивности напряжений и твердости материала заготовки при шлифовании.

Усредняя температуру поверхностных слоев заготовки в различных точках и в различные моменты времени, получали среднюю температуру в зоне контакта. Адекватность физических и математических моделей для расчета температур реальным условиям проверяли, сравнивая среднюю температуру в зоне контакта  $T_{\rm K}$ , полученную расчетным путем, с результатами ее измерения методом полуискусственной термопары. Расхождения температур  $T_{\rm K}$ , зафиксированных при различной глубине шлифования, не превышают 15 %, что свидетельствует о возможности использования предложенного метода для теплофизического анализа процесса шлифования.

Установлено, что температурное поле стабилизируется за период времени, соответствующий времени последовательной работы двадцати шести зерен. Всего на элементарный объем заготовки за время нахождения его в границах зоны контакта заготовки с кругом при данных условиях и режиме шлифования согласно расчета действуют тепловые импульсы от 48 зерен.

При варьировании коэффициентом  $\xi$ , зависящим от условий охлаждения зоны шлифования, изменяются коэффициенты теплоотдачи от поверхностей объектов в окружающую среду. В частности, коэффициенты теплоотдачи от поверхностей CD и VF заготовки, находящихся в зоне шлифования, и от поверхностей MN и MD стружки (см. рис. 1) при увеличении  $\xi$  от 0,25 до 0,75 увеличились в 3 раза. При увеличении коэффициента  $\xi$  к моменту входа в зону контакта с заготовкой очередного зерна поверхностные слои заготовки успевают остыть до более низких температур. Поэтому снижается температура деформируемого слоя материала заготовки  $T_{1cp}$  (при увеличении  $\xi$  от 0,25 до 0,75 с 1140 до 1070 K, т. е. на 6 %) и увеличивается интенсивность напряжений и мощность источников тепловыделения (рис. 2). В результате при увеличении  $\xi$  температура заготовки  $T_1$  уменьшается, а локальные температуры  $T_2$  и  $T_2$ ′ увеличиваются. Однако изменение  $\xi$  в широком диапазоне (от 0,25 до 0,75, т. е. в 3 раза) привело к снижению температуры заготовки  $T_1$  на 5 – 7 % и увеличению локальных температур на 14-15 % (рис. 3-5).

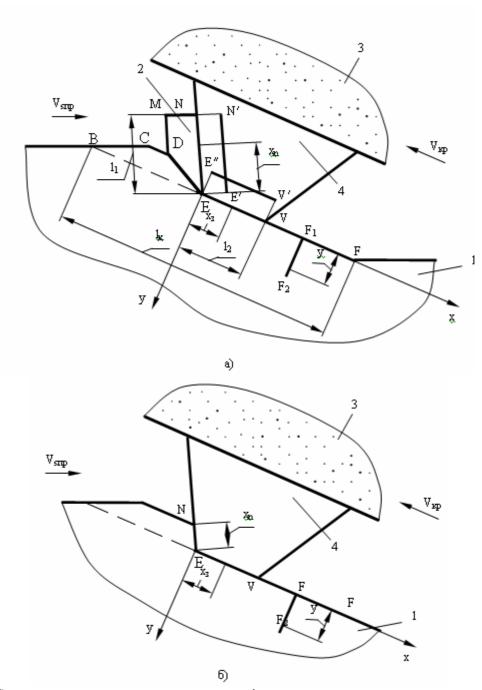


Рис. 1. Схема к расчету температур при шлифовании в зоне контакта с заготовкой режущего (а) и пластически деформирующего зерна (б): 1 – заготовка; 2 – стружка; 3 – шлифовальный круг; 4 – A3

С увеличением коэффициента  $\mu_0$  от 0,15 до 0,5 температура деформируемого слоя материала заготовки увеличивается на 50 % (рис. 6). В результате почти в 4 раза снижается мощность источника тепловыделения от работы деформирования  $W_{\hat{c}}$ , что объясняется снижением интенсивности напряжений с увеличением температуры деформируемого материала заготовки. Мощности источников тепловыделения от трения стружки о зерно  $W_{1T}$  и зерна о заготовку  $W_{2T}$  увеличиваются на 60 и 80 % соответст-

венно (рис. 7), что и является причиной увеличения локальной температуры  $T_2$  (рис. 8) и температуры заготовки  $T_1$  (рис. 10).

Зависимость локальной температуры  $T_2'$  на площадке контакта A3 со стружкой от  $\mu_0$  имеет экстремальный характер (рис. 9). При увеличении  $\mu_0$  до 0,3 температура  $T_2'$  снижается на 23 – 25 %, однако при дальнейшем увеличении до 0,5 увеличивается.

При изменении  $\mu_0$  от 0,15 до 0,3 мощности источников тепловыделения от трения стружки о зерно  $W_{1T}$  и зерна о заготовку  $W_{2T}$  увеличиваются незначительно (на 5 – 7 %), в то же время мощность источника от работы деформирования  $W_\partial$  снижается более чем в 2 раза. В результате локальная температура  $T_2$  на площадке контакта A3 с заготовкой практически не изменяется, а  $T_2$ ′ существенно снижается. Это объясняется тем, что, поскольку площадка контакта A3 со стружкой расположена в непосредственной близости от зоны деформирования (см. рис. 1), то теплота, выделяемая в этой зоне, оказывает превалирующее влияние на температуру  $T_2$ ′. При  $\mu_0$  = 0,3 температура  $T_2$ ′ не достигает температуры плавления материала A3 ни в одной точке.

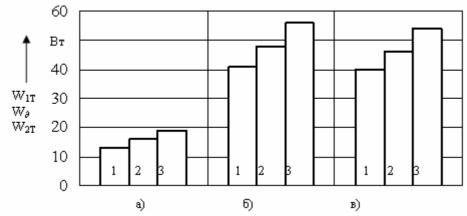


Рис. 2. Влияние коэффициента  $\xi$  на мощности источников тепловыделения в момент времени  $\tau=17\cdot 10^{-6}$  с работы зерна: а, б, в - W $_{1T}$ , W

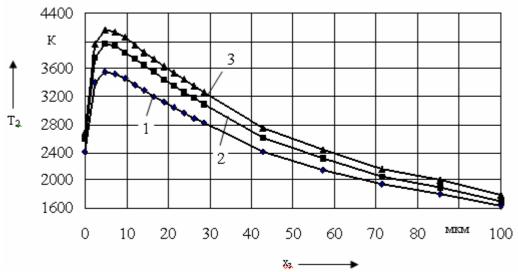


Рис. 3. Распределение температуры  $T_2$  на площадке контакта режущего A3 с заготовкой в момент времени  $\tau = 17 \cdot 10^{-6}$  с в зависимости от расстояния  $x_3$  от вершины зерна и коэффициента  $\xi$ : 1, 2, 3 −  $\xi$  = 0,25; 0,5; 0,75; зерно № 30

Очевидно, для процесса шлифования существует оптимальная температура деформируемого материала заготовки. Для данных условий и режима шлифования при температуре  $1050-1180~{\rm K}$  зафиксированы минимальные локальные температуры, что позволяет прогнозировать и минимальную интенсивность физико-химического взаимодействия A3 с материалом заготовки.

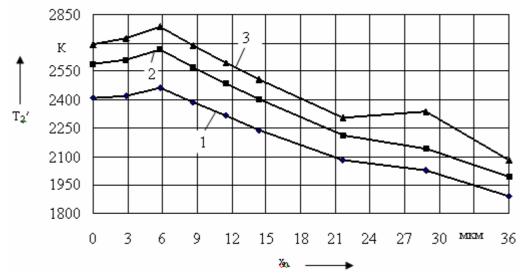


Рис. 4. Распределение температуры  $T_2'$  на площадке контакта режущего A3 со стружкой в момент времени  $\tau=17\cdot 10^{-6}$  с в зависимости от расстояния  $x_n$  от вершины зерна и коэффициента  $\xi$ : 1, 2, 3 −  $\xi$  = 0,25; 0,5; 0,75; зерно № 30

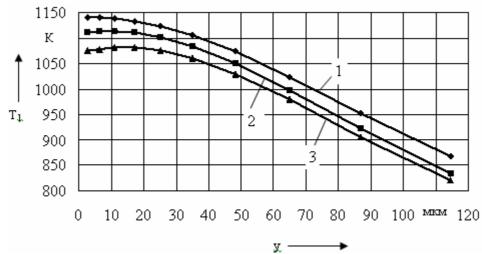


Рис. 5. Изменение температуры  $T_1$  заготовки в зависимости от расстояния у от ее поверхности и коэффициента  $\xi$  в сечении, расположенном в середине дуги контакта круга с заготовкой в момент времени  $\tau = 17 \cdot 10^{-6}$  с: 1, 2,  $3 - \xi = 0.25$ ; 0,5; 0,75 соответственно;  $\mu_0 = 0.2$ ; зерно N = 30

Высокие значения коэффициента трения могут иметь место в процессе шлифования зернами, поверхность которых практически полностью покрыта налипами материала заготовки в условиях сухого трения (при отсутствии в зоне контакта граничной пленки СОЖ). Следовательно, с целью недопустимости значительного роста темпера-

тур весьма актуально принимать меры, способствующие предотвращению или снижению интенсивности налипания частиц материала заготовки на АЗ, а также удалять налипшие частицы.

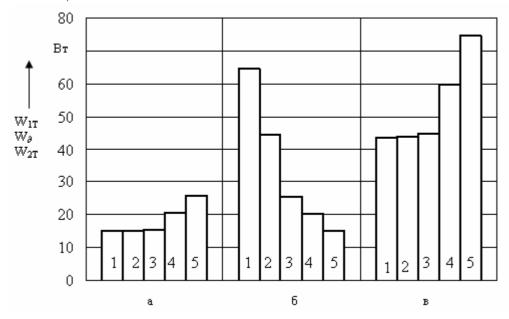


Рис. 6. Влияние коэффициента трения  $\mu_0$  на температуру деформируемого слоя материала заготовки  $T_{1cp}$ : 1, 2, 3, 4, 5 −  $\mu_0$  = 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 соответственно;  $\xi$  = 0,25; зерно № 21

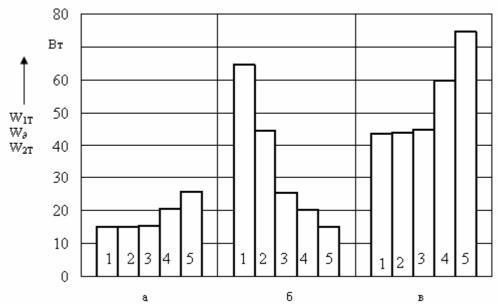


Рис. 7. Влияние коэффициента трения  $\mu_0$  на мощности источников тепловыделения в момент времени  $\tau=17\cdot10^{-6}$  с работы зерна: а, б, в −  $W_{1T}$ ,  $W_{\partial}$ ,  $W_{2T}$  соответственно; 1, 2, 3, 4, 5 −  $\mu_0=0.15$ ; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 соответственно;  $\xi=0.25$ ; зерно № 21

Очевидно, наблюдаемое на практике снижение температуры в зоне шлифования с увеличением расхода СОЖ связано, прежде всего, не с увеличением ее охлажда-

ющего действия, а с усилением других функциональных действий, прежде всего смазочного и моющего, благодаря которым снижается коэффициент трения.

Закономерности влияния коэффициентов  $\xi$  и  $\mu_0$  на локальные температуры, возникающие на площадках контакта с заготовкой пластически деформирующего АЗ, практически не отличается от закономерностей, выявленных для режущих зерен, однако температуры от пластически деформирующих АЗ в среднем на 20 % ниже, чем от режущих.

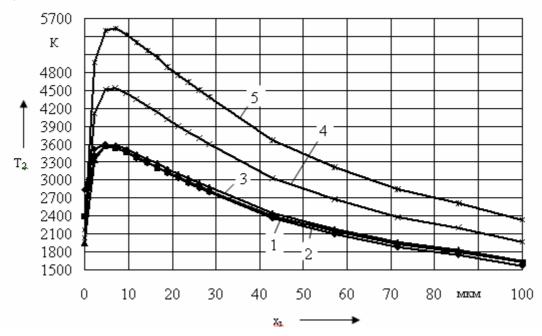


Рис. 8. Распределение температуры  $T_2$  на площадке контакта A3 (линия EV на рис. 1, а) с заготовкой в зависимости от расстояния  $x_3$  от вершины зерна: продолжительность контакта  $\tau = 17 \cdot 10^{-6}$  с; 1, 2, 3, 4, 5 −  $\mu_0$  = 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5;  $\xi$  = 0,25; зерно № 30

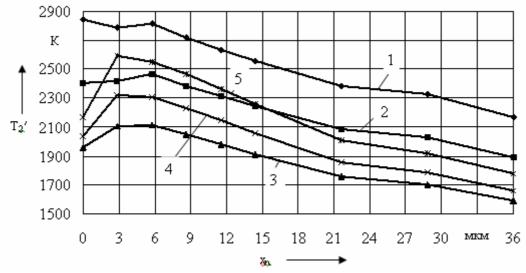


Рис. 9. Распределение температуры  $T_2'$  на площадке контакта A3 со стружкой (линия EN на рис. 1, а) в зависимости от расстояния  $x_n$  от вершины зерна: продолжительность контакта  $\tau = 17 \cdot 10^{-6}$  c; 1, 2, 3, 4, 5 −  $\mu_0$  = 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 соответственно;  $\xi$  = 0,25; зерно № 30

На большей части площадки контакта A3 с заготовкой локальные температуры  $T_2$  достигают температуры плавления материала зерна (температура плавления электрокорунда  $2120-2170~{\rm K}$ ), температуры плавления материала заготовки  $T_{\rm пл}~(\sim 1770~{\rm K})$  и порогового значения температуры [4]. При таких температурах создаются условия для налипания частиц металла заготовки на A3 круга.

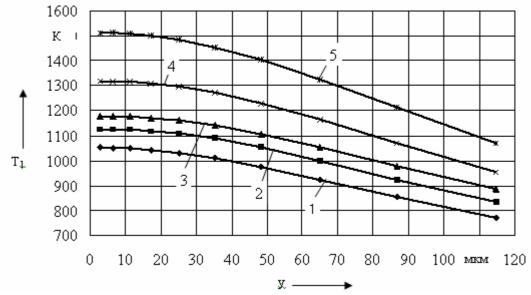


Рис. 10. Изменение температуры  $T_1$  заготовки от коэффициента трения  $\mu_0$  и расстояния у от ее поверхности в сечении, расположенном в середине дуги контакта круга с заготовкой: 1, 2, 3, 4, 5 −  $\mu_0$  = 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 соответственно;  $\xi$  = 0,25; зерно № 21

Поскольку на части площадки контакта A3 с заготовкой температура  $T_2$  превышает температуру плавления материала зерна, то создаются условия для его износа за счет оплавления. Однако уже на глубине 2 мкм от поверхности A3 температура  $T_2$  не достигает температуры плавления, т. е. до высокой температуры разогреваются весьма тонкие поверхностные слои зерна.

Таким образом, численное моделирование теплового состояния контактирующих при шлифовании объектов позволило установить, что усиление охлаждающего действия внешней среды приводит к снижению средней температуры в поверхностных слоях заготовки и увеличению локальных температур. Увеличение коэффициента трения зерна о заготовку приводит к увеличению температур.

Результаты численного моделирования послужат основой для разработки рекомендаций по снижению температуры заготовки и локальных температур абразивных зерен.

Список литературы: 1. Резников, А. Н. Тепловые процессы в технологических системах / А. Н. Резников, Л. А. Резников – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с. 2. Корчак, С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с. 3. Унянин, А. Н. К вопросу о теплообмене контактирующих при шлифовании объектов с окружающей средой / А. Н. Унянин // Физические и компъютерные технологии в народном хозяйстве: сб. трудов междун. научнотехн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002. – С. 79 – 82. 4. Худобин, Л. В. Исследование кинетики процесса налипания частиц материала заготовки на абразивные зерна /

Л. В. Худобин, А. Н. Унянин // Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения: материалы междун. научно-техн. конф. – Орел: Орловский госуд. технич. унив., 2002. – С. 53 – 56.

## ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ПОДШИПНИКОВЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ РАФИНИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛА

Оржицкая Л.К., Спектор Я.И. (УкрНИИспецсталь, г. Запорожье)

Growing requirements of the bearing industry for quality of steel with regard to oxygen content and non-metallic inclusions have resulted in introduction of out-of-furnace treatment and necessitated improvement of metal quality assessment methods. Problems of substation of norms and methods to truly determine the level of steel-smelting technology and problems of new defects occurrence in bearing steels have been considered.

В середине XX века интенсивно разрабатываются и внедряются рафинирующие электросталеплавильные технологии внепечной шлаковой и вакуумшлаковой обработки подшипниковых сталей, электрошлакового и вакуумно-дугового переплава для стали типа ШХ15. В 70-80-е годы на ДМЗ в Украине, ОЭМК, ЧМЗ и др. заводах России началось производство этих сталей с внепечным вакуумированием. Одновременно разрабатывались и корректировались Государственные стандарты СССР и стран СЭВ, Европы, США, Японии на металлопродукцию из подшипниковых сталей и методики оценки ее качества.

За последнее десятилетие существенно повысились требования к качеству всех специальных сталей (в первую очередь подшипниковых) по чистоте металла по газам, вредным примесям, неметаллическим включениям, параметрам микроструктуры, в частности по величине карбидов, структурной и карбидной неоднородности. Ужесточение требований к качеству будет продолжаться в ближайшее время.

Внедрение в конце XX века современных прогрессивных технологий электросталеплавильного производства, в частности внепечной обработки металла на установках ковш-печь, вакууматорах, на заводах СНГ, в том числе в ОАО «Днепроспецсталь», ММЗ «Истил-Украина», не только сопровождалось повышением качества подшипниковых сталей по содержанию газов (особенно кислорода), примесей и неметаллических включений, но и вызвало появление новых видов дефектов, которые отсутствовали в металле открытой электродуговой выплавки и соответственно ненормированы в действующих стандартах на поставку. В частности, в макроструктуре стали типа ШХ15 (особенно непрерывнолитой [1]) может наблюдаться подусадочная ликвация, оценка которой не предусмотрена в ГОСТ 801-78. Увеличился балл зерна перлита, стало труднее производить оценку допустимой величины карбидов по SEP1520. Указанное выше, а также расширение рынков сбыта подшипниковых сталей зарубежным странам с повышенными требованиями по качеству вызывает необходимость совершенствования методик оценки и уточнение норм качества, особенно по содержанию кислорода и неметаллических включений (НВ), гармонизации методических стандартов Украины со стандартами ISO, ASTM, DIN и требованиями зарубежных фирм-потребителей по методикам контроля качества.

Наибольшие трудности и проблемы в стандартизации и метрологии подшипниковых сталей связаны с методическими стандартами для металлографической оценки

НВ и установления по этим оценкам нормативного критерия качества плавки по загрязненности включениями [2]. Стандарты многих стран существенно отличаются по способам идентификации типа включений, методикам классификации их загрязненности по баллам соответствующих шкал фотоэталонов. Соответственно, применяются разные подходы к построению шкал фотоэталонов. Существуют и разные способы определения критерия общей загрязненности плавки по результатам оценки каждого образца (обычно 6 образцов от плавки): максимальным или средним баллом, количеством образцов с отклонениями от этих величин и др. Дополнительным затруднением является различие в схемах отбора проб от проката и поковок разных слитков плавки, в размерах площади микрошлифа для оценки НВ, неопределенность в некоторых стандартах, например, ASTM Е 45–95 и ISO 4967-98, по поводу приготовления микрошлифов: отсутствует указание, при какой твердости образцов необходимо проводить их изготовление, чтобы не вызвать выкрашивание части включений или изменение их формы.

В результате вышеуказанного в ряде случаев отличия в методиках оценки НВ по нормативной документации стран СНГ, ЕС, США не позволяют без специальных исследований сравнить нормы и фактический уровень качества подшипниковой стали разных производителей. Это важно для определения конкурентоспособности отечественного экспорта, для анализа и прогноза развития рафинирующих технологий внепечной обработки. Перспективным направлением решения проблемы контроля качества специальных сталей по неметаллическим включениям является интенсивное развитие работ по совершенствованию шкал, уточнению методик контроля, научнотехническому обоснованию критериев и норм загрязненности, оснащению металлургических и машиностроительных предприятий современным металлографическим оборудованием. В связи с тем, что современные методы выплавки специальных сталей обеспечивают получение даже «чистой» стали (количество HB на 1 см<sup>2</sup> не более 500, максимальный диаметр включений меньше 10 мкм) становится необходимым введение контроля неметаллических включений не максимальным баллом по каждому образцу, а средним по всем полям микрошлифа – методы Д в ASTM E 45 и В в ISO 4967. Естественно это потребует внедрение металлографического контроля методом автоматического анализа изображения и разработки соответствующего компьютерного программного обеспечения.

Изменение методов обработки жидкой стали в ковше и вакуумирование, непрерывное литье заготовок привело к трансформации неметаллических фаз, так как формируются включения иного химического и фазового состава [3], что часто не учитывается в действующих методических стандартах на контроль НВ. Ранее уже было доказано методами локального рентгеноспектрального анализа, что включения, идентифицированные по ГОСТ 1778 как силикаты недеформируемые, являются глобулями. В настоящее время для подшипниковых сталей остро стоит вопрос контроля оксисульфидов, количество которых резко возросло при некоторых современных технологиях выплавки, в частности, в вакуумированном металле. Для этого типа включений нет самостоятельных шкал ни в одном действующем методическом стандарте на контроль НВ и соответственно отсутствуют нормы в документации на поставку. В случае некачественно приготовленных шлифов и недостаточной разрешающей способности микроскопов их ошибочно относят, если учитывается только морфология, к силикатам, которые не допустимы в подшипниковых сталях. На первое время можно внести в ТУ на поставку указание: вытянутые включения, в которых сульфидной составляющей более 50%, относят к сульфидам и проводят оценку их по шкалам и нормам сульфидов; если в оксисульфидах оксидные частицы составляют большинство, контроль ведут как для оксидов. Так как согласно нашим исследованиям [4] о вкладе НВ в зарождение и развитие микротрещин при циклических испытаниях и соответственно в долговечность подшипниковой стали, оксиды намного «вреднее» оксисульфидов (при сопоставимых размерах частиц), а последние более опасны, чем сульфиды, то необходимо в дальнейшем разработать для оксисульфидов самостоятельные шкалы и особенно допустимые нормы загрязненности металла этими включениями.

Таким образов, в связи с развитием прогрессивных технологий выплавки разных сталей проблема неметаллических включений не решена до сих пор, требуется определение химического и фазового состава основных типов НВ, а не только их морфологии. Уточнение существующих и создание новых методов их идентификации (взамен или в дополнение к ГОСТ 1778, ASTM Е 7, ASTM Е 45, ISO 4967 и др.) позволит адекватно определять тип и количество включений в стали и установить допустимый уровень загрязненности сталей включениями разного типа, определить режимы и параметры выплавки, разливки и дальнейших переделов металла, обеспечивающих требуемую чистоту по НВ.

Актуальной является и проблема влияния технологии выплавки на природу и происхождение НВ. В первую очередь это относится к механизму образования наиболее «опасных» недеформируемых глобулей диаметром более 13мкм по ASTM E 45 (в ISO 4967 такие частицы вынесены отдельно в тип DS). Они имеют высокие коэффициенты трещинообразования, а начиная с диаметра 23 мкм, практически около всех глобулей будут зарождаться и развиваться микротрещины в процессе испытания подшипников, что естественно снижает их долговечность. В последнее время в зарубежные технические требования на поставку вносятся строгие ограничения по диаметру глобулей даже в случае контроля по ASTM. В настоящее время еще не разработана физикохимическая модель их появления в металле (исключая экзогенный характер наиболее крупных, более 40 мкм, связанных с огнеупорами), поэтому для получения сталей требуемого качества необходимо уделить особое внимание связи между появлением «сверхнормативных» включений и параметрами выплавки, в частности с технологией введения в жидкую сталь Са и А1 при внепечной обработке, технологией всплывания шлака при перемешивании и продувке аргоном и др.

Важным фактором при характеристике качества сталей является определение и нормы массовой доли кислорода, которые характеризуют общее содержание кислородных включений (оксидов, глобулей, оксисульфидов), а также влияют на склонность к хрупкому разрушению из-за возможного выделения зернограничных пленок субокислов и оксисульфидов. С развитием внепечных технологий рафинирующей обработки содержание кислорода снизилось с 40 ppm до 20 и ниже и этот параметр был введен в ГОСТ 801 и стандарты разных стран и постоянно ужесточался, особенно в технических требованиях на поставку зарубежных фирм ( до 10 ppm у фирм FAG, Тимкен, SKF и др.).

При снижении содержания кислорода возникает ряд проблем в его определении, прежде всего из-за большой неоднородности и дискретности распределения включений в металле, особенно их скоплений. Это усугубляется развитием ликваций, в том числе «газовых», при кристаллизации слитков промышленного производства, причем при новых технологиях выплавки степень развития ликвационных зон, несмотря на снижение общего уровня газов и примесей, может быть в ряде случаев даже выше, чем в слитках традиционной технологии. Отсюда для небольшого размера образцов (диаметром до 5 мм), которые используются для определения кислорода в газоанализаторах, существенным является случайное совпадение или несовпадение места их вырезки из участ-

ков со скоплениями НВ, с зональной ликвацией разного типа по высоте и сечению слитка. Возможно существенное изменение результатов анализа кислорода от образца к образцу и соответственно от плавки к плавке одной и той же технологии. Например, для 720 плавок стали ШХ15, выплавленных с внепечной обработкой, изменение массовой доли кислорода было в пределах 4-18 ppm при среднем значении 9,5 ppm [5]. Следует отметить, что по ГОСТ 17745-90 на методы анализа газов в стали для интервалов 5-10 и 10-20 ppm погрешность результатов анализа массовой доли кислорода составляет соответственно 8 и 9 ppm, а допускаемые расхождения двух результатов соответственно 10 и 12 ppm. Такие отклонения при низких содержаниях кислорода не могут быть приемлемы. На Днепроспецстали при разработке фракционного метода определения кислорода на газоанализаторе ТС-436 фирмы "LECO" были снижены величины допускаемых погрешностей. При доверительной вероятности 0,95 для интервалов измерений 5-10 и 10-20 ppm расхождение между результатами двух параллельных измерений не должно превышать соответственно 3 и 4 ppm, а выполненных в разных условиях 3 и 5 ppm.

В заключение отметил, что рассмотрены только некоторые, наиболее остро стоящие проблемы качества сталей и связанные с ними вопросы пересмотра действующих стандартов, гармонизации их с зарубежными, обоснование допустимых норм по микроструктуре, содержанию неметаллических включений для обеспечения новых более жестких требований, обусловленных внедрением прогрессивных технологий внепечной обработки металла.

Список литературы: 1. Горюшин В.В. и др. Исследование непрерывнолитой подшипниковой стали и изготовленных из нее колец подшипников//МиТОМ. - 1995. – № 3. – С. 11-16. 2. Зельбет Б.М. Современные направления стандартизации технических требований и методов контроля подшипниковой стали// МиТОМ. – 1995. – № 4. – С. 34-39. 3. Шахпазов Е.Х. и др. Новые металлургические процессы и проблема неметаллических включений в стали//Сталь. – 2005. – № 11. – С. 137-142. 4. Оржицкая Л.К. и др. Неметаллические включения и долговечность подшипников из стали ШХ15 различных способов производства //Электрометаллургия. – 2005. – № 11. – С. 5-10. 5. Влияние способов выплавки на содержание кислорода и неметаллических включений в подшипниковой стали и ее усталостную стойкость//Электрометаллургия. – 2002. – № 2. – С. 44-45.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ПРЯМЫМ ОЖИЖЕНИЕМ ДЛИННОПЛАМЕННЫХ УГЛЕЙ СЕВЕРНОГО ДОНБАС-СА

Осипов А. М.\*, Чернышова М. И.\*, Шендрик Т. Г.\*, Бойко З. В.\*, Грищук С. В.\*, Гвоздь Я. Ф.\*\*(\* Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко Национальной Академии наук Украины, Донецк, Украина, \*\* Старобельская ГРЭ,. Старобельск, Украина)

The features of low rank coals from North Donbas as the raw materials for liquefaction were shown. The yields of main products of hydrogenation of these coals were obtained. The national conditions for organization of liquid fuel production from coal were characterized.

Жидкие продукты из углей могут быть получены в трех группах процессов: прямым ожижением (гидрогенизация угля), непрямым ожижением (газификация с последующим синтезом) и пиролизом. Крупномасштабными являются только первые два направления, так как основной продукт пиролиза — твердое топливо. Термодинамический и стехиометрический расчеты показывают, что процессы прямого ожижения углей (ПОУ) имеют термический и материальный к. п. д. выше на 5–15 %, чем процессы непрямого ожижения (НОУ). Главная проблема в газификации — выделении большого количества балластных газов (В основном, СО<sub>2</sub>). Вследствие этого процессы ПОУ несколько лучше и с точки зрения охраны окружающей среды.

Однако теоретические расчеты нельзя считать решающими для оценки перспективной сравнительной конкурентной способности ПОУ и НОУ. На стороне НОУ остаются такие преимущества, как низкая чувствительность к качеству исходного угля, широкие возможности управления ассортиментом получаемых продуктов и возможность параллельного производства электроэнергии. Капитальные вложения в различных процессах для одинаковых мощностей по углю примерно равны.

Нами проведены лабораторные исследования состава и свойств длиннопламенных углей Богдановского и Петровского месторождений и Старобельской поисковой площади с целью оценки перспектив получения из них моторных топлив методом ПОУ. Керновые пробы добывались из пластов  $k_2^H$ ,  $l_7$  и  $m_{3,\,7}$ , которые залегают на глубине от 770 до 550 м. Угли Богдановского месторождения — малосернистые и пригодны для сжигания, Петровского — сернистые и среднесернистые, а Старобельской площади — высокосернистые (массовая доля общей серы — до 8—9 % мас.). Усредненные характеристики углей Старобельской площади представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика углей	Массовая доля по пластам, %		
Transfer and the	k <sub>2</sub> <sup>H</sup>	17	$m_3$
Влажность W <sup>a</sup>	5,9	8,7	7,8
Зольность А <sup>с</sup>	8,9	9,9	14,7
Выход летучих V <sup>daf</sup>	42,0	38,8	39,5
Сернистость S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	3,6	5,1	6,4
Органическая масса угля (ОМУ)	85,7	82,3	78,7

Из этих данных следует, что органическая масса угля (ОМУ) снижается с уменьшением глубины залегания пластов. Концентрация общей серы увеличивается. По содержанию пиритной серы угли Северного Донбасса относятся к восстановленному типу, что благоприятно для их ожижения.

Для оценки выходов различных продуктов при ПОУ за основу взята так называемая "старая немецкая технология" (СНТ), единственная из многих, осуществленная в промышленных масштабах в 30–40-х годах XX ст. Дальнейшие исследования в разных странах, особенно интенсивные в 70–80-е годы, были сосредоточены на смягчении условий проведения процесса и расширении ассортимента конечных продуктов. Степени конверсии угля и общий выход продуктов практически сохранились прежними.

По СНТ переработке подвергали бурый и каменный угли. В среднем для этих углей степени конверсии (СК) (в масла — нефтеподобные жидкости, высококипящие продукты и газы) составляли 80,0 и 86,0 %; а выходы масел — 53,0 и 61,3 % от ОМУ. Угли месторождений Северного Донбасса по характеристикам являются переходными

от бурых к длиннопламенным, причем ближе к бурым углям Германии. Поэтому были приняты усредненные результаты, которые можно получить при ожижении углей по СНТ, а также на основании наших исследований, равные для СК 81,0 %, а для выхода масел – 56.0 % от ОМУ.

На основе этого при промышленной переработке углей по СНТ жидкие продукты на начальной стадии должны состоять из первичного бензина (т. кип. ниже  $215\,^{0}\mathrm{C}$ ) в количестве около  $14\,\%$ , среднего  $(215-325\,^{0}\mathrm{C})-26\,\%$  и тяжелого масел – (>  $325\,^{0}\mathrm{C})-16\,\%$  от ОМУ. Первичный бензин из-за низкого октанового числа вместе со средним маслом надо направлять на дальнейшую переработку (гидроочистку, гидрокрекинг, гидроизомеризацию) в более качественные моторные топлива (с общим выходом  $90\,\%$  от смеси первичного бензина и среднего масла).

Главное отличие СНТ от современных разработок – в составе моторных топлив. В настоящее время из угля стремятся производить автобензин с октановым числом более 80 и дизельное топливо (ДТ). Учитывая состав ОМУ северодонбасских углей и их свойства, реально ожидать соотношение бензин : ДT = 1 : 1,5, которое и использовано в оценочных расчетах. Аналогично рассчитывали и возможные выходы углеводородных газов.

Согласно нашим оценкам при ожижении северодонбасских углей по СНТ следует ожидать общего выхода фенолов примерно 9 % от ОМУ, из них наиболее ценных одноатомных фенолов 5 % (фенола около 1 %). Как и средненемецкий бурый уголь, длиннопламенные угли Северного Донбасса в основном сернистые и высокосернистые. По СНТ сероводород, образующийся при гидрогенизационной переработке угля и продуктов ожижения, отделяют и перерабатывают в свободную серу или серную кислоту по хорошо отработанным технологиям. В сероводород в конечном итоге может перейти не менее 80 % исходной общей серы. Следовательно, из 1 т общей серы угля может быть получено до 800 кг свободной серы или 2,4 т серной кислоты.

Оценочные выходы синтетического жидкого топлива (СЖТ) и других продуктов из 1 т ОМУ Северного Донбасса при ожижении его по немецкой технологии: бензин – 144 кг; ДТ – 216 кг; котельное топливо (КТ) –160 кг; С $_4$  – 50 кг; С $_2$ Н $_6$  – 42 кг; С $_3$ Н $_8$ +С $_4$ Н $_1$ 0 –85 кг; фенолы – 0,09 т. Выходы продуктов из 1 т ископаемого угля по месторождениям и пластам приведены в табл. 2 (рассчитаны также выходы по шахтным полям и участкам). Поскольку для бытовых и других целей газы пропан и бутан не разделяются и поставляются в смеси, то приведен их суммарный выход.

Выходы продуктов из 1 т ископаемых углей зависят от их влажности и зольности. Для Богдановского и Петровского месторождений расчеты ОМУ проведены на основании характеристик 15 проб углей пластов  $k_2^{\rm H}$  и  $l_7$ , для Старобельской площади взяты усредненные характеристики 74 проб. Общее количество учтенных проб составляет 89 (пласт  $k_2^{\rm H} - 35$  проб,  $l_7 - 22$  и  $m_3$  и  $m_7 - 32$ ).

Таблица 2

	Выходы	продуктов по м	иесторождениям и	пластам из 1	т ископае-
	мого угля, кг				
Продук-	Богдано	овское и Пет-	C	таробельская	
ТЫ	ровское		поисковая площадь		
	$k_2^{H}$	$l_7$	$k_2^{H}$	17	$m_{3,}$
					$m_7$
Бензин	117	113	116	115	113
ДТ	176	169,5	173,7	173	169

КT	130,4	125,6	128,7	128	125
$\mathrm{CH_4}$	40,7	39,2	40,2	40,1	39,
					2
$C_2H_6$	34	33	33,8	33,7	32,
					9
$C_3H_8+C_4$	69	66,7	68,3	68,1	66,
$H_{10}$					6
Фенолы	73,3	70,6	72,4	72,1	70,
					5
Cepa	0,0296	26,4	33,8	37,3	43,
					8

Расчеты выходов продуктов выполнены на базе представленных Старобельской ГРЭ данных о промышленных запасах угля по Богдановскому и Петровскому месторождениям и Старобельской поисковой площади общим объемом около 2 млрд. т. Таким образом, из указанного количества угля можно получить более 220 млн. т бензина, свыше 330 млн. т дизельного и почти 250 млн. т котельного топлива, более 270 млн. т углеводородных газов (метана, этана, пропана и бутана), 140 млн. т фенолов и более 65 млн. т серы (или 200 млн. т серной кислоты).

СНТ использовалась в Германии для получения до 4 млн. т в год СЖТ в течение нескольких лет. По этой технологии ожижение бурого угля проводилось при  $480\,^{0}$ С и давлении 23 МПа, а каменного — при той же температуре и давлении до 70 МПа. В дальнейшем технологии усовершенствовали в направлении смягчения условий процесса (давления и температуры) и увеличения выхода моторных топлив. По подобной технологии в ЮАР (в годы нефтяного эмбарго этого государства) получали в год до 1 млн. т различных жидких продуктов. Производство было рентабельно благодаря дешевым углю и рабочей силе.

Научно-технологические исследования по переработке угля в СЖТ продолжаются. Особенно интенсивно в последние годы они ведутся в Китае и Японии. Китай имеет ограниченные запасы нефти, но по добыче угля (более 1,4 млрд. т в год) вышел на первое место в мире. Для превращения угля в СЖТ используются методы газификации (строятся заводы по технологии фирм США), и прямого ожижения (в применении к местным углям проверяются технологии, отработанные в США, Германии, Японии и России).

В отношении углей Северного Донбасса экономические предпосылки в определенной степени хуже, чем, например, в Китае, США, России, Австралии, ЮАР, вследствие относительно малой мощности пластов и их глубокого залегания. Повышенная сернистость углей в технологическом процессе благоприятствует переработке, так как пирит является хорошим катализатором. Сера или серная кислота являются реализуемыми продуктами. Однако в перспективе все более важную положительную роль будут иметь такие факторы в пользу организации производства СЖТ из угля, как уменьшение запасов нефти и ее удорожание, стремление достигнуть независимости в получении собственных моторных топлив, занятость рабочей силы и экономия валюты.

#### Авксентьева О.А, 20 Александрова Т.Л., 226

Б

Бабаян А.С., 139 Баласанян Б.С., 139 Балгабеков Т.К., 16 Бельчик Л.Д., 226 Беляевский М.Ю., 167 Бешлиу В., 262 Боблях С.Р., 10 Богатырева Г.П., 123 Богомолов Д.Ю., 189 Бойко З.В., 297 Бойченко Т.В., 246 Боримский А.И., 123 Боровин Ю.М., 175

В

Властопуло (Лукашенко) В.И., 210, 214 Волков А.В., 97 Волошук А.Н., 222

Γ

Гвоздь Я.Ф., 297 Герасимов Л.А., 167 Герасин А.Н., 243 Глушко Е.В., 226 Головенко С.И., 280 Григорян Г.Р., 139, 144 Гриценко А.А., 20 Гришин Г.А., 77 Грищук С. В., 297

Д

Данияров Н.А., 16 Данюнас А., 178 Джигурда В.А., 246 Драган М.С., 34 Дюпин И.В., 105

E

Епуряну А., 262, 266 Ефименко М.А., 44 Ж Жадкевич М.Л., 275, 280 Жук В.Л., 42 3 Зайцева М.Н., 136 Зубков В.А., 44 Зубкова В.Т., 246 И Ильницкая Г.Д., 123 К Клюев А.И., 226 Клюкас Р., 178 Коваль П.М., 185 Колисниченко О.В., 275 Колодійчук А.К., 34 Колодійчук С.А., 34 Кузнецов Н.А., 251 Кучеренко В.А., 38 Л Левин Б.А., 246 Лексиков В.П., 81 Лещенко О.В., 123 Лєнік К.С., 149 M Мазунин В.М., 275

Мазуру С. Г., 3 Макаров В.Ф., 6 Максимов С.В., 167 Маланчук З.Р., 10 Малыбаев С.К., 16 Мальчева Р.В., 20 Маляренко А.Д., 24 Марина В.И., 28 Марина В.Ю., 28 Марчук М.М., 34 Маслова Л.А., 38 Мельник А.А., 42 Мельников В.З., 44 Мельникова Е.П., 48 Меньков Г.Б., 52 Микулик Н.А., 57 Миньковская М.В., 130 Михайлов А.Н., 61 Михайлов В.А., 77 Михайлова Е.А., 77 Мітасова Е.Ф., 127

Η

Нагорный П.А., 123 Надуваев В.В., 81 Настасенко В.А., 85, 92 Наугольнов В.А., 97 Невмержицкая Г.В., 101 Невструев Г.Ф., 123 Некрушев В.А., 193 Непомилуев В.В., 105 Непочатов А.В., 42 Нестеров А.Н., 109, 114 Нестерова Н.А., 114 Никитина Т.Б., 119 Новиков Н.В., 123

 $\mathbf{0}$ 

Ольшевский А.А., 101 Онацька Н.Г., 127 Оржицкая Л.К., 291 Осипов А.М., 297 Остапенко М.А., 109, 114

П

Павлыш В.Н., 127, 130, 136 Парикян Ф.А., 139, 144 Пашечко М.І., 149 Пащенко Л.В., 38 Петривский Я.Б., 156 Петрова И.М., 163 Пильч Л. М., 167 Покровский А.И., 168 Полуян А.И., 172 Порошин В.В., 175, 189 Праник Б.В., 222 Прентковский О., 178 Прокопович Н.Н., 172 Прохоренко В.Я., 185 Прохоренко С.В., 185

P

Радыгин В.Ю., 189 Рачковський В.П., 10 Резчиков Е.А., 193 Рейзина Г.Н., 57 Руденко С.П., 237 Руснак В., 266

 $\mathbf{C}$ 

Сахно К.Н., 195 Семенов А.Н., 199 Семенович О.В., 202 Сидоров И.Б., 167 Симонова В.В., 38 Сиротинкин Д.С., 167 Смиловенко О.О., 205

Снеговский Ф.П.

, 210, 214

Собчук Л.Н., 218 Спасенихин П.Е., 167 Спектор Я.И., 291 Стець С.Є., 10 Стойчев П., 262, 266 Стрельников В.П., 222 Строк Д.Е., 226 Строк Е.Я., 226 Сусин А.А., 230, 237

 $\mathbf{T}$ 

Тазабеков И.И., 16 Таратынов О.В., 243, 269 Терновой Ю.Ф., 246 Тетерин Е.П., 251 Тимощук В.М., 254 Ткач С.В., 123 Токарев Д.И., 6 Топала А.П., 258 Топала П., 262, 266 Трунин В.Б., 269 Туяхов А.И., 42 Тюрин Ю.Н., 275, 280  $\mathbf{y}$ Унянин А.Н., 283 Φ Фролов Е.Н., 81  $\mathbf{X}$ Хончев А.М., 243 Хотейкина Ю.С., 205 Хохлаткина В.В., 136 Христафорян С.Ш., 139, 144 Ч Чернышова М.И., 297 Чигодаев Н.Е., 6 Ш Шейпак А.А., 189 Шендрик Т.Г., 297 Щ Щербак Е.Г., 193, 269

Ярошевич Т.С., 254

Я

# СОДЕРЖАНИЕ

Мазуру С.Г.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА ЗУБО-
ШЛИФОВАНИЯ3
Макаров В.Ф., Чигодаев Н.Е., Токарев Д.И.
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СКОРОСТНОГО ПРОТЯГИВА
ния деталей из труднообрабатываемых материа
ЛОВ6
VIOD
Маланчук З.Р., Боблях С.Р., Рачковський В.П., Стець С.Є.
ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЯ СВЕРДЛОВИННОЇ ГІДРОТЕХНОЛОГІЇ
ВИДОБУТКУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ТЕХНОГЕННИХ РОЗСИ-
ПІВ10
Малыбаев С.К., Тазабеков И.И., Данияров Н.А., Балгабеков Т.К.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
НА КАРЬЕ-
PAX16
Мальчева Р.В., Авксентьева О.А., Гриценко А.А.
ОРГАНИЗАЦИЯ АППАРАТНОГО МОДУЛЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМИ.
ТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ20
Маляренко А.Д.
ПРЕЦИЗИОННОСТЬ ДОВОДКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПОВЕРХНО-
СТЕЙ24
Марина В.Ю., Марина В.И.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА НАГРУЖЕНИЯ И СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА
НА ПОЛЕ МИКРОНАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В РАМКАХ
СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ23
Марчук М.М., Колодійчук А.К., Драган М.С., Колодійчук С.А.
МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА І МОМЕНТА ТЕРТЯ ВІД
КОНТАКТНОГО ТИСКУ В ШАРНІРАХ ГУСЕНИЦЬ
М ДА П Д. С В В К В А
<b>Маслова Л.А., Пащенко Л.В., Симонова В.В., Кучеренко В.А.</b> ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА АДСОРБЕНТОВ ИЗ ОРЕХОВОЙ СКОРЛУПЫ38
получение и своиства адсорвентов из ореховой скорлуны
Мельник А.А., Непочатов А.В., Жук В.Л., Туяхов А.И.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИКАТОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУННЫХ МЕ-
ЛЮЩИХ ТЕЛ, ОТЛИВАЕМЫХ В ОТКРЫТЫХ КОКИЛЯХ42
Мельников В.З., Зубков В.А., Ефименко М.А.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ44

Мельникова E.II.
МЕХАНИЗМ УПРОЧНЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ДЕТАЛЕЙ ПРИ ДОВОДКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КРЕМНЕСОДЕРЖАЩИХ АБРАЗИВНЫХ ПАСТ48
Меньков Г.Б.
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ ОРТОТРОПНОЙ
ОБОЛОЧКИ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИЙ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА МЕТОДОМ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НОРМИРОВАНИЯ52
Микулик Н.А., Рейзина Г.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭКСПЕРИМЕНТА
ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИС-
TEM57
Михайлов А.Н.
ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО-
ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ
10КинаОЧТЭОНИШАМ ИИ ЮКОНХАТ ХІЙННАВОЧИТНАИЧО
Managara E A Managara D A Camanan E A
Михайлова Е.А., Михайлов В.А., Гришин Г.А.
ОБЩАЯ КЛАСИФИКАЦИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ
ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ77
Надуваев В.В., Фролов Е.Н., Лексиков В.П.
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
АЛМАЗОВ – СВ В МАШИНОСТРОЕНИИ81
Настасенко В.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ КОНСТАНТ ДЛЯ ПРОИЗВОДНЫХ
ЭЛКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ85
STRITTE ILECTION II WAI HATTIBIA EQUITING IISMETERIAIS
Настасенко В.А.
ПРОЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ ЗУБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ92
TH OEKT MODELTHISALINI 33 BOOT ESELTIBLA CTATIKOD92
Наугольнов В.А., Волков А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ «КРАН – ПОДКРАНОВОЕ СООРУЖЕНИЕ»97
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ «КРАН – ПОДКРАНОВОЕ СООРУЖЕНИЕ»97
Harrison was a F.D. Ori was avery A.A.
Невмержицкая Г.В., Ольшевский А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ БУКСО-
ВОГО ПОДШИПНИКА ГРУЗОВОГО ВАГОНА101
Непомилуев В.В., Дюпин И.В.
СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМО-
ЩЬЮ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ105
Нестепов А. Н. Останенко М. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК КОКСОВЫТАЛКИВАТЕЛЯ ПРИ ВЫ ДАЧЕ КОКСОВОГО ПИРОГА
<b>Нестеров А.Н., Нестерова Н.А., Остапенко М.А.</b> УПРАВЛЕНИЕ ДИВЕРСИФИКАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
<b>Никитина Т.Б.</b> ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ РОБАСТНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ11
Новиков Н.В., Богатырева Г.П., Боримский А.И., Нагорный П.А., Невструев Г.Ф., Ильницкая Г.Д., Ткач С.В., Лещенко О.В. СВОЙСТВА ПОРОШКОВ АЛМАЗА, СИНТЕЗИРОВАННОГО В СИСТЕМЕ Fe-Si-C
<b>Онацька Н.Г., Мітасова Е.Ф., Павлиш В.М.</b> ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИКЛАДАННЯ УКРАЇНСЬКОЮ МО- ВОЮ В БАГАТОНАЦІОНАЛЬНОМУ РЕГІОНІ <b>127</b>
<b>Павлыш В.Н., Миньковская М.В.</b> КОММУНИКАЦИОННЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МА- ШИНОСТРИТЕЛЬНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ
<b>Павлыш В.Н., Зайцева М.Н Хохлаткина В.В.</b> ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА В ИСПОЛЬЗОВАНИИ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ13
Парикян Ф.А., Христафорян С.Ш., Баласанян Б.С., Бабаян А.С., Григорян Г.Р. ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ПОВЕРХ-НОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ139
Парикян Ф.А., Христафорян С.Ш., Григорян Г.Р. ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ПОВЕРХ- НОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ
<b>Пашечко М.І., Лєнік К.С.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВОЇ СЕГРЕГАЦІЇ АТОМІВ НА ТРИБОЛО ГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕВТЕКТИЧНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Fe-Mn-C-B-Si ЛЕГОВАНИХ Cr
<b>Петривский Я.Б.</b> СОЗДАНИЕ КОПМЛЕКСА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖЛЕНИЯ15

Петрова И.М.
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ
ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ
ЧИСЕЛ ЦИКЛОВ С УЧЕТОМ ИЗНОСА163
Пильч Л.М., Сидоров И.Б., Максимов С.В., Герасимов Л.А., Спасенихин П.Е., Сиро-
тинкин Д.С. Беляевский М.Ю.
МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН УСТАНОВОК ПЕРВИЧНОЙ
ПЕРЕГОНКИ ООО ПО «КИРИШИНЕФТЕОРГСИНТЕЗ»
HEFEI OHKII OOO HO «KIIFIIIIIIHHEΨΙ EOFI CHIΠΙ E3»10/
П А. И
Покровский А.И.
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУ-
ГУНА168
Полуян А.И., Прокопович Н.Н.
ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЯЗОК ПУТЕМ
МОДИФИЦИРОВАНИЯ ИХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ АЛМАЗАМИ172
Порошин В.В., Боровин Ю.М.
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ФИНИШНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ
НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНО-
СТИ175
Прентковский О., Клюкас Р., Данюнас А.
ОТБОР БУДУЩИХ СТУДЕНТОВ НА СПЕЦИАЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ИНЖЕ-
НЕРИИ ТРАНСПОРТА И ОЦЕНКА ИХ ПОДГОТОВКИ ВО ВРЕМЯ ЕДИНОГО
ПРИЕМА В ВУЗЫ ЛИТВЫ178
Прохоренко В.Я., Коваль П.М, Прохоренко С.В.
АКУСТИЧНИЙ, МЕХАНІЧНИЙ ТА ТЕПЛОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ
МЕТАЛЕВИХ
MOCTIB185
Радыгин В.Ю., Порошин В.В., Богомолов Д.Ю., Шейпак А.А.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ОСЕСИММЕТ-
РИЧНЫХ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЯХ С УЧЕТОМ
ВОЛНИСТОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ
DOJIIII CTOCTIT II III DI ONOBATOCTII
Резчиков Е.А., Некрушев В.А., Щербак Е.Г.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ МНОГОПРОФИЛЬ-
НОГО ОБЪЕКТА193
Сахно К.Н.
РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ И МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РЕ-
КОМЕНДАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ195
Семенов А.Н.
СБОРОЧНЫЕ СВЯЗИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН199

Семенович О.В. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРЕНДИПОВЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ДЕТАЛЯХ И УЗЛАХ, ИМЕЮЩИХ СЛОЖНУЮ СТРУКТУРУ
Смиловенко О.О., Хотейкина Ю.С. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ АЛМАЗНО- ГО ИНСТРУМЕНТА205
Снеговский Ф.П., Властопуло (Лукашенко) В.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИН ПЛАСТМАССЫ МЕТАЛЛОЛПЛАСТМАС- СОВОЙ ВТУЛКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЙ В НАГРУЖЕННОЙ ЗОНЕ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ210
Снеговский Ф.П., Властопуло (Лукашенко) В.И. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТОЛЩИН СМАЗОЧНОГОСЛОЯ И ДАВЛЕНИЯ В СЛОЕ В НАГРУЖЕННОЙ ЗОНЕ МЕТАЛЛОЛПЛАСТМАССОВЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ214
<b>Собчук Л.Н.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКІВ ЗАГОТОВОК У НАГРОМАДЖУВАЧАХ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИС- TEM218
<b>Стрельников В.П., Праник Б.В., Волощук А.Н.</b> ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ГАММА-ПРОЦЕНТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
Строк Е.Я., Бельчик Л.Д., Строк Д.Е., Александрова Т.Л., Клюев А.И., Глушко Е.В. БЕСКОНТАКТНОЕ КОПИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИКИ
Сусин А.А. ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ХИМИКО- ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕГЛАМЕНТИРОВАННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЛЯ ТРАНСМИССИЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН
Сусин А.А., Руденко С.П.

К ПРОБЛЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИЙ КОНКУ- РЕНТОСПОСОБНОЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ237
<b>Таратынов О.В., Герасин А.Н., Хончев А.М.</b> ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И УСЛОВИЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ243
<b>Терновой Ю.Ф., Зубкова В.Т., Левин Б.А., Джигурда В.А., Бойченко Т.В.</b> НОВЫЕ ПРОГРЕССИВНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ, ПРОИЗВОДИМЫЕ В УКРАИНЕ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРАН СНГ И ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮ- 3A
Тетерин Е.П., Кузнецов Н.А.
ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЖИДКОСТЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНО- СТРОЕНИИ, НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ251
Тимощук В.М., Ярошевич Т.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ САМОСИНХРОНІЗАЦІЇ ДЕБАЛАНСНИХ ВІБРОЗБУД
НИКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАКЕТУ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ MAPLE254
Топала А.П.
О РОЛИ ПРИЭЛЕКТРОДНЫХ ПАДЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРО- ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ258
Топала П., Стойчев П., Епуряну А., Бешлиу В.
УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА УЧАСТКАХ ДЛЯ ЭЛЕК- ТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ
Топала П., Стойчев П., Епуряну А., Руснак В.
О ВОЗМОЖНОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА
УСТАНОВКАХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ В РЕЖИМЕ НЕДОНАП- РЯЖЕНИЯ266
Трунин В. Б., Щербак Е.Г., Таратынов О.В.
СТЕРЕОТИП СТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
В МОДЕЛИ ЗНАНИЯ ПРЕДМЕТОВ НАУКИ И ТЕХНИКИ269
Тюрин Ю.Н., Жадкевич М.Л., Колисниченко О.В., Мазунин В.М. ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗО-ВАНИЕМ ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ275
Тюрин Ю.Н., Жадкевич М.Л. Головенко С.И.
ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗЛЕЛИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ280

<b>Унянин А. Н.</b> ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ И ТРЕНИЯ НА ЛОКАЛЬНУЮ ТЕМ- ПЕРАТУРУ ШЛИФОВАНИЯ
<b>Оржицкая Л.К., Спектор Я.И.</b> ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ПОДШИПНИКОВЫХ СТАЛЕЙ ПРИ
ВНЕПЕЧНОЙ РАФИНИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛА291
Осипов А. М., Чернышова М. И., Шендрик Т. Г., Бойко З. В., Грищук С. В.,
Гвоздь Я. Ф. ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ПРЯМЫМ
ОЖИЖЕНИЕМ ДЛИННОПЛАМЕННЫХ УГЛЕЙ СЕВЕРНОГО ДОНБАС- СА297