

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ ЗАЦЕПЛЕНИЙ МЕТОДАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

Поветкин В.В.¹, Керимжанова М.Ф.¹, Ибрагимова З.А.²,
Даиров А.А.¹, Исаева И.Н.¹ (¹ Казахский национальный технический
университет им. К.И.Сатпаева, г.Алматы, Республика Казахстан;
² Южно-Казахстанский государственный университет им. М.О.Ауэзова,
Республика Казахстан)
Тел./8 (727) 292-69-19; E-mail: vv1940_povetkin@mail.ru

Abstract: Results of researches of ways of increase of wear resistance of surfaces of gear gearings of drives of spherical mills are presented in article. The device for power activation of a blanket of gear gearings with use of the thermotool for short-term heating of a surface of teeth before their bead-blasting processing is presented.

Key words: wear resistance, gear gearing, technology of hardening, bead-blasting processing, thermotool.

Важной задачей повышения твердости и износостойкости поверхности тяжело нагруженных зубчатых передач является создание такой технологии упрочнения зубчатых зацеплений, которая позволила бы увеличить срок службы привода шаровой мельницы.

Анализируя существующие способы и технологии упрочнения деталей машин следует выделить дробеструйный способ, который является бесконтактным, ввиду отсутствия контакта инструмента и детали, позволяющий произвести модификацию поверхностного слоя металла, т.е. произвести наклеп, который значительно повышает твердость поверхности металла и, тем самым, создает предпосылки значительного увеличения износостойкости поверхности.

Под дробеструйное воздействие необходима подготовка поверхности обработки металла путем создания энергетических тепловых полей в металле, способствующих активизации процесса дробеструйного воздействия. Мгновенные температурные поля, вводимые в металл, позволяют создать благоприятные условия для механического воздействия дробью и развития на поверхностном слое остаточных напряжений сжатия.

Для реализации указанных условий разработан способ упрочнения зубчатых колес на базе совмещения тепловых потоков мгновенно вводимых в поверхность металла, и механическое (ударное) воздействие дробью или воздействие профилированным деформирующим инструментом (ролик или шарик).

Изобретение относится к области технологии машиностроения, а именно к зубчатым передачам. Предназначено для обеспечения высокой износостойкости зубчатого зацепления, позволяет повысить долговечность зубчатых передач; например тяжело нагруженных колес привода шаровых мельниц.

Известен способ для поверхностного упрочнения изделий типа зубьев зубчатых колес, в котором раскрыт инструмент для упрочнения, содержащий нагрузитель с усилителем для приложения давления по впадине зуба. Недостатком указанного изобретения является то, что упрочнение происходит только по дну впадины.

Известна также зубчатая передача, в которой на рабочие поверхности зубьев нанесен износостойкий материал: на ведомое колесо равномерным слоем, а на ведущее - в виде выступающих частей износостойкого материала [1]. При вращении зубчатых колес выступающие части износостойкого материала ведущего колеса, контактируя с износостойким покрытием ведомого колеса, воспринимают часть нагрузки на себя. Недостатком устройств, в которых повышение износостойкости достигается объемным

упрочнением (термическая обработка), является недостаточная твердость поверхностей зубьев зубчатого зацепления дезинтегратора, работающего в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Поверхностное упрочнение (химико-термическое и др.) малоэффективно, поскольку тонкий слой упрочненного материала поверхности зуба быстро истирается абразивными частицами измельчаемого дезинтегратором материала.

Известен способ упрочнения металлических деталей, включающий создание предварительных растягивающих напряжений в направлении действия рабочих нагрузок и повышения усталостной прочности, предварительные растягивающие напряжения создают путем последовательного нагрева участков поверхности детали до температуры 0,3-0,9 температуры плавления металла импульсами продолжительностью 1,2-6,0 мс. Недостатком изобретения является – достаточно сложное оборудование для осуществления и контроля процесса, что снижает эффективность [2].

Наиболее близким к решению заявленных изобретений является способ упрочнения зубчатых колес привода шаровых мельниц [3].

Сущность указанного изобретения заключается в том, что зубчатые колеса венца шестерни (ведущего колеса) подвергают предварительной приработке в течение 10-12 ч. при полной нагрузке рабочего режима мельницы. Затем производят дробеструйный наклеп зубьев колеса по эвольвенте и по ширине колеса. Это позволит механическим упрочнением повысить изгибную прочность зубьев.

В данном случае при наклепе повышается плотность дислокации; процесса пересечения дислокаций, а также их упругое взаимодействие требуют дополнительных затрат энергии, а следовательно, и повышения деформирующих напряжений. Дробление блоков субструктуры в процессе наклепа также способствует торможению дислокаций, т.к. границы зерен служат эффективным препятствием движению дислокаций.

Недостатком указанного изобретения является недостаточная твердость поверхностного слоя и высокие сжимающие напряжения в нем.

Результатом изобретения является увеличение ресурса работы тяжело нагруженных зубчатых зацеплений шаровых мельниц. Для достижения технического результата зубчатые колеса венца шестерни после приработки и перед дробеструйной обработкой дополнительно нагревают поверхностный слой зубьев колеса до температуры ниже структурных фазовых превращений посредством высокотемпературного и высокоскоростного факела ракетных горелок, путем создания пятна контакта факела горелки по всей высоте зуба, включая дно зуба, что обеспечивает предельную плотность внутренней энергии поверхностного слоя. В результате повышается качество поверхности обработанного материала, его стойкость к поверхностному истиранию. Для достижения технического результата предлагается способ упрочнения зубчатых колес привода шаровых мельниц, включающий предварительную приработку зубчатого венца ведомого колеса зубчатым ведущим колесом закаленными зубьями в течение 10-12 часов при рабочем режиме мельницы, затем осуществляют краткосрочный нагрев поверхности профиля зубьев высокоскоростным и высокотемпературным факелом ракетных горелок в течение 5,0-10,0 мс, путем перемещения факела горелки вдоль ширины зуба колеса, после чего поверхность зуба колеса подвергают дробеструйной обработкой.

Поскольку протекание в поверхностном слое под воздействием инструмента механических, тепловых и структурно-фазовых явления приводит к его упрочнению и, как следствие, формированию качественно нового поверхностного слоя с более высокими физико-механическими характеристиками, влияющими на повышение таких эксплуатационных свойств деталей, как усталостная прочность, контактная выносливость, износостойкость.

При этом кинетическая сущность процесса поверхностного пластического деформирования заключается в объемной повреждаемости поверхностного слоя, при которой в деформируемом элементе зарождаются и накапливаются различного рода дефекты и повреждения. Также следует учитывать, что как только повреждаемость материала в локальном микрообъеме достигает предельной (критической) величины, начинается процесс его разрушения в виде микро-и макронарушений.

Следовательно, наибольший эффект упрочнения поверхностного пластического упрочнения достигается за промежутки времени или циклов нагружения, при котором в элементах поверхностного слоя накапливается критическая (предельная) повреждаемость. Согласно термодинамической теории процесс идет в двух противоположных, взаимосвязанных и одновременно протекающих в деформируемых объемах поверхностного слоя явлений: роста плотности скрытой энергии различного рода дефектов и повреждений, накапливающихся в материале вследствие работы внешних сил, и снижения ее вследствие различного рода релаксационных процессов, протекающих внутри деформируемого элемента поверхностного слоя. При этом рост плотности скрытой энергии связан с повреждаемостью материала и, как следствие, упрочнением поверхностного слоя, а ее снижение – с динамическим возвратом (разупрочнением) вследствие теплового эффекта пластической деформации.

Значительная часть тепловой энергии, связанной с тепловым эффектом пластической деформации, не задерживается в деформируемом элементе поверхностного слоя, а рассеивается по телу детали, в деформирующее тело и в окружающую среду за счет теплообмена. И лишь незначительная часть этой энергии задерживается в деформируемом элементе, повышая его внутреннюю энергию на величину Δ_{ET} .

Таким образом, накапливаемая в деформируемом элементе поверхностного слоя внутренняя энергия Δ_E определяется суммой двух составляющих потенциальной (скрытой) Δ_{Ec} и кинетической (тепловой) Δ_{ET} : $\Delta_E = \Delta_{Ec} + \Delta_{ET}$.

Эта энергия связана с повреждаемостью материала (Δ_{Ec}) и его термическим разупрочнением Δ_{ET} , является ответственной за прочностные свойства поверхностного слоя, формируемого в процессе поверхностного пластического деформирования.

Поэтому максимально упрочненным поверхностный слой считается, когда плотность E внутренней энергии в деформируемых элементах, находящихся на поверхности детали, достигнет предельной величины E^* . Это состояние поверхностного слоя характеризуется наиболее высокими прочностными свойствами, так как твердость, остаточные напряжения и обеспечивают максимальное повышение эксплуатационных характеристик детали. Предельная плотность E^* внутренней энергии, соответственно нарушение межатомных связей наступает в результате поглощения предельной для данной кристаллической решетки величины энергии.

При механическом нагружении до разрушения поверхностного слоя процессу нарушения межатомных связей предшествует искажение кристаллической решетки до критической величины. При механическом нагружении предельное искажение кристаллической решетки обусловлено скоплением в деформируемых локальных объемах поверхностного слоя критической плотности дислокации, при которой дальнейшее поглощение энергии кристаллической решеткой приводит к нарушению межатомных связей.

Учитывая, что удельная энергия, затрачиваемая на предельное искажение кристаллической решетки, не зависит от вида подводимой энергии (тепловая или механическая) и соответствует величине теплосодержания (энтальпии) металла. А

также то, что в процессе нагрева энергия поглощается кристаллической решеткой практически равномерно по всему объему металла, а при пластической деформации вследствие анизотропного и несовершенства кристаллической решетки происходит неоднородное поглощение энергии. Следовательно, для обеспечения максимального упрочнения в процессе дробеструйного нагружения в локальных объемах, находящихся на границе контакта поверхности с дробью, искажения кристаллической решетки должны достигать предельно возможной величины.

Структурные превращения в поверхностном слое, а также пластическая деформация этого слоя, возникающая при наклепе, приводят к увеличению его объема и, вследствие сопротивления со стороны недеформированных внутренних слоев, к упругому сжатию, вызывающему в поверхностных слоях остаточные сжимающие напряжения, а внутри детали – остаточные растягивающие напряжения. Сжимающие напряжения, складываясь с рабочими растягивающими, уменьшают вредное действие последних.

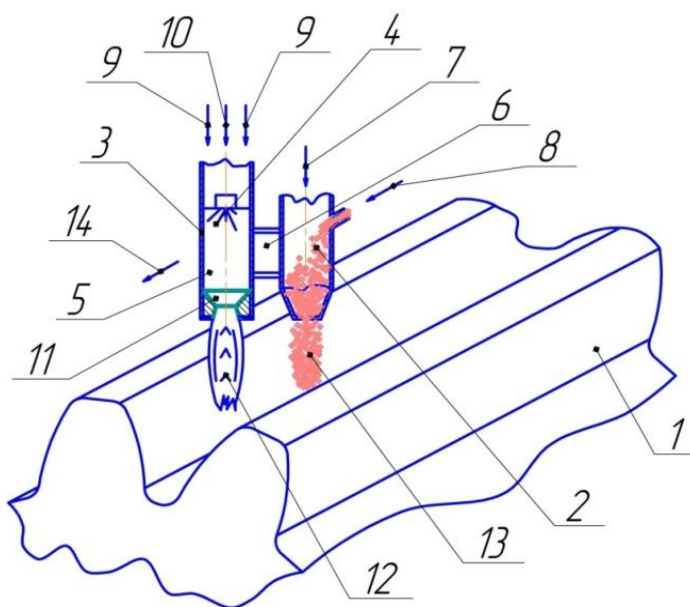
Соответственно при пластическом поверхностном деформировании целесообразно насыщение слоя энергией за счет его предварительного нагрева. Это не только ускорит процесс поверхностного пластического деформирования и снизит энергозатраты, но позволит регулировать величину плотности внутренней энергии, накапливаемой локальным микрообъемом поверхностного слоя, а также задавать глубину его расположения от наружной поверхности детали. Что имеет важное практическое значение, особенно при проектировании операций упрочнения на стадии конструкторско-технологической подготовки производства. На рисунке 1 показано устройство по способу упрочнения зубчатых колес шаровых мельниц.

При предлагаемом способе подогрев металла осуществляется факелом ракетной горелки. Зона нагрева расположена перед зоной пластического деформирования. Температура нагрева 320-550 °С.

Устройство по способу упрочнения зубчатых колес шаровых мельниц работает следующим образом: на корпусе шаровой мельницы монтируется венец приводной шестерни и под рабочей нагрузкой производится приработка зубчатой передачи. Ведущая шестерня выполнена из высоколегированной стали, а ведомая – из стали 35Л, которая действует как обрабатывающий инструмент, вследствие того, что поверхность ее зубьев имеет твердость HRC 48 единиц. Следовательно, подвергает ведомую шестерню быстрому износу, т.е. снимает тонкий слой и, тем самым, осуществляется приработка, т.е. все поверхности изнашиваются и в этом случае прирабатываются ведомое колесо и ведущая шестерня.

После того, как зубчатая пара приработается в течение 10-12 ч. (без шаровой загрузки и мелющей массы), производится кратковременный нагрев поверхности зуба колеса высокоскоростным и высокотемпературным факелом ракетной горелки в течение 5,0-10,0 мс, для этого факелом горелки 12, который подается горелкой 3 на поверхность зубьев 1 из камеры сгорания 5 через сопло 11. Внутри камеры сгорания 5 через распылитель 4 подается окислитель 9 и горючее 10 для образования факела 12, затем из дробеструйной насадкой 2 подается через канал 8 дробь а через канал 7 сжатый воздух, который выбрасывается из устройство 2 с дробью потоком 13 на поверхность зубьев 1.

В данном случае имеем термодинамическое и дробеструйное устройство скреплено кронштейном 6, расположенное на некотором расстоянии L друг от друга. Это расстояние выбирается из расчета времени нагрева горелкой поверхности зуба в течение указанного выше времени, после чего осуществляется дробеструйная обработка на глубину наклепанного слоя эвольвентной поверхности зубьев составляющей 2-3 мм.



1 – зубчатый сектор; 2 – устройство для дробеструйного наклепа; 3 – ракетная горелка; 4 – устройство для распыления горючего; 5 – камера сгорания ракетной горелки; 6 – устройство крепления горелки и дробеструйного устройства; 7 – каналы подачи воздуха; 8 – подачи дробы; 9 – подачи окислителя в горелку; 10 – подачи горючего; 11 – сопло горелки; 12 – факел горелки; 13 – факел потока дробы; 14 – направление перемещения всего устройства

Рис. 1. Устройство по способу упрочнения зубчатых колес шаровых мельниц

При этом одновременно обрабатывается вся эвольвентная кривая и впадины зуба всего профиля и по длине зацепления. После обработки первой впадины, колесо мельницы проворачивается на один зуб. Процедура упрочнения повторяется. После обработки поверхности очищаются. Это позволяет создать упрочнение по всей эвольвенте зуба.

Данная обработка положительно влияет на усталостную прочность зуба, тем самым повышается ресурс работы на 30-50 %. При характерных видах износа данную обработку можно повторять. Предложенное упрочнение поверхностного слоя пластическим деформированием способствует повышению контактной выносливости и износостойкости деталей.

Предложенное изобретение обеспечивает расширение области применения упрочняющей обработки и увеличение производительности.

В качестве рабочего органа для термоимпульсной обработки зубьев выбираем малогабаритную ракетную горелку применяемую для термического разрушения горных пород и в качестве рабочего органа для напыления абразивных порошков на поверхности трения металлов.

На рисунке 2 представлен рабочий орган термоструйной горелки. Термоинструмент состоит из камеры сгорания 1, в которую через завихритель 2 подается воздух и через форсунку 3 подается горючее внутрь камеры сгорания, где оно воспламеняется. От электрической искры свечи 4 образованы внутри камеры сгорания 1 выбрасывается через сопло Лавалья 5 на поверхность нагрева выбрасывается в виде высокоскоростного факеля 6. В качестве горючего можно использовать горючие газы или горючие углеводородные (бензин, керосин, солярка) жидкости.

Техническая характеристика термоинструмента:

- расход воздуха – 20 м³/мин;
- расход горючего – 20 л/час,
- диаметр камеры сгорания – 40 мм;
- критический диаметр сопла – 16 мм;
- вес – 4 кг;
- тепловая мощность – 500-600 кВт;
- температура факеля – 1800 °С;
- скорость газового потока – 1500 ? 1800 м/с.



Рис. 2. Термоинструмент в работе

В результате исследований разработана технология упрочнения поверхности зубьев комбинированным способом, описанным выше [4].

Установлено, что упрочняющий эффект зубчатого колеса обеспечивается предварительной приработкой в течение 10-12 часов, кратковременным нагревом поверхности зубьев до 350-550⁰С в течение 5-10 мс, и дальнейшей дробеструйной обработкой.

Список литературы: 1. А.С. № 2086837, Бернацкий И.П., Василенко Н.В., Курешов В.А., Тарасов Г.Ф., Титов В.А. Зубчатая передача. Опубликовано 19.10.1993. Бюллетень № 16. 2. А.С. № 1238410, Сорокина Т.Н. Волков В.И. Способ упрочнения металлических деталей. Опубликовано 01.20.2006. Бюллетень № 10. 3. А.С. № 23770, Поветкин В. В., Сушкова О. А. Способ упрочнения зубчатых колес. Опубликовано 14.09.2012. Бюллетень № 9. 4. Заключение о выдаче инновационного патента на изобретение № 33654 от 26.12.2014 НИИС МЮ РК (по заявке № 2014/0190.1, поданной 19.02.2014). Способ упрочнения зубчатых колес привода шаровых мельниц // Поветкин В.В., Сушкова О.А., Ибрагимова З.А.