

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОЙ СВЯЗИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ В ПАРАХ «ИНДЕНТОР – ОБРАБАТЫВАЕМАЯ ПОВЕРХНОСТЬ» В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ ППД

Фёдоров В. П., Ковалева Е. В., Нагоркин М. Н. (БГТУ, г. Брянск, Россия)
тел.: +7(960)555-61-25; E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru

Abstract: in article influence on components of friction coefficient of materials an indenter of a diamond burnisher and the processed detail surface is considered when processing by superficial plastic deformation at existence and lack of greasing.

Key words: friction coefficient, processed surface, indenter, superficial plastic deformation, grease, adhesive bond, diamond burnishing.

Для процесса алмазного выглаживания (АВ) инденторами из поликристаллических сверхтвёрдых материалов (ПСТМ) исследования прочности адгезионной связи и молекулярной составляющей коэффициента трения представляют значительный интерес. Известно [3, 4], что молекулярная составляющая коэффициента трения $f_{\text{мол}}$ и прочность на срез адгезионной связи определяются сочетанием материалов контактирующих поверхностей. При обработке ППД это относится к паре «обрабатываемый материал – индентор». Величина $f_{\text{мол}}$ определяется выражением (1):

$$f_{\text{мол}} = \frac{\tau_{\text{п}}}{P_r} = \frac{\tau_0}{P_r} + \beta. \quad (1)$$

Здесь $\tau_{\text{п}}$ – сдвиговая прочность молекулярной связи; P_r – фактическое давление на контакт; τ_0 – удельная сдвиговая прочность молекулярных связей при экстраполяции нормального давления на контакте к нулю; β – пьезокоэффициент, характеризующий увеличение молекулярной составляющей коэффициента трения под воздействием нормального давления.

При обработке ППД методами алмазного выглаживания молекулярная составляющая коэффициента трения в контакте «поверхность – индентор» будет во многом определять качество обрабатываемой поверхности: будет ли это пластическое оттеснение, микрорезание, наволакивание или разрушение микроучастков обрабатываемой поверхности.

Исследования проводились по методике и с использованием лабораторной установки конструкции ИМАШ [1], схема которой представлена на рис. 1. В качестве инденторов использовались шарики из стали ШХ-15 и стандартные вставки из синтетического поликристаллического алмаза (АСПК) с радиусом рабочей части $r = 3$ мм.

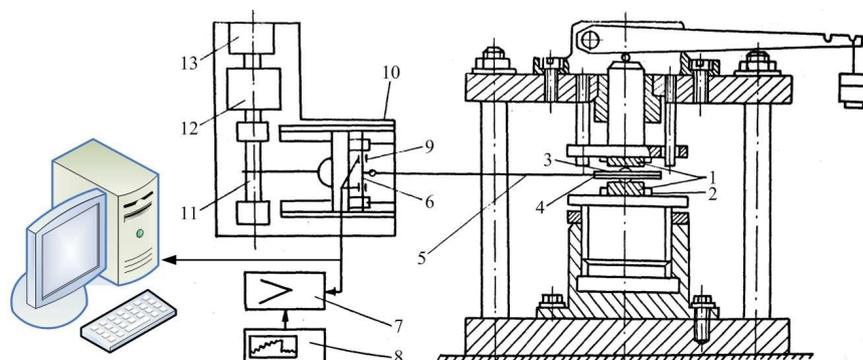


Рис. 1. Схема установки для измерения адгезионной составляющей коэффициента трения

Между плоскими образцами 1 сжимается сферический индентор 3, состоящий из двух частей, каждая из которых представляет собой алмазный выглаживатель радиусом $r = 3$ мм (материал индентора – АСПК), который закрепляется в специальной дисковой обойме 4. В круговом пазу обоймы 4 размещается тросик 5, связывающий обойму с тензобалкой 9, на которой приклеены тензодатчики. С помощью тензобалки регистрируется тангенциальная сила, которую необходимо приложить к обойме, чтобы повернуть зажатый между образцами индентор. Сигналы тензодатчиков усиливаются тензометрическим усилителем 7 модели ТА-5 и регистрируются осциллографом 8 или с помощью программы «Осциллограф» на ПК [2, 5].

В процессе измерения усилия проворота тензобалка 9 перемещается вдоль направляющих 10 с помощью тросика, который наматывается на вал 11 редуктора 12, связанного с синхронным двигателем 13.

Такая методика позволяет оценить молекулярную составляющую коэффициента трения.

По экспериментальным данным прочность на срез адгезионных связей и молекулярная составляющая коэффициента трения рассчитываются по схеме на рис. 2 с использованием зависимостей (2), (3):

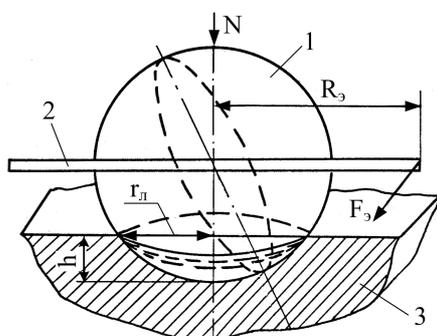


Рис. 2. Расчётная схема определения молекулярной составляющей коэффициента трения

$$\tau_n = \frac{3 F_3 R_3}{4 \pi r_n^3}, \quad (2)$$

$$f_{\text{мол}} = \frac{3 F_3 R_3}{4 r_n N}. \quad (3)$$

Здесь F_3 – экспериментально определённое окружное усилие на оправке, действующее в момент трогания индентора (определялось с помощью осциллографа) [2]; R_3 – радиус приложения к индентору усилия F_3 , то есть радиус оправки 4, на котором укреплен тросик 5 (рис. 1); r_n – радиус отпечатка индентора на образце; N – нагрузка на индентор.

Правильность геометрической формы инденторов обеспечивается выбором качественных стандартных шариков, которые имеют шероховатость в пределах $Ra = 0,02...0,006$ мкм, в этом случае деформационная составляющая практически исключается.

Профиль лунок регистрировался путём профилографирования [5]. Отпечатки индентора на образцах в виде сферических лунок имели правильную геометрическую форму.

В результате исследований установлено, что в парах «Чугун СЧ20 – АСПК», «Сталь 45 – АСПК», «Чугун СЧ20, Сталь 45 – ШХ15» на поверхности индентора после эксперимента следы и микрочастицы материала образца отсутствовали. При исследовании пары «медь – АСПК» на инденторе обнаружена плёнка с характерной цветовой гаммой свойственной для меди, наличие которой можно объяснить высокой прочностью адгезионной связи этих материалов на фоне низкой прочности меди.

Результаты эксперимента по исследованию адгезионных свойств контакта поверхностей «Чугун СЧ20 – индентор» показывают (рис. 3), что применение в качестве выглаживателя синтетического алмаза (АСПК) намного эффективнее, чем индентора из стали ШХ15 как при наличии смазки, так и без неё, так как последняя в этом случае не оказывает значимого влияния на исследуемые величины τ_0 , β .

В контакте «СЧ20 – ШХ15» в рассматриваемых условиях величина τ_0 в 2,8...4,1 раза выше, чем в контакте «СЧ20 – АСПК», а величина β выше, примерно, в 2 раза.

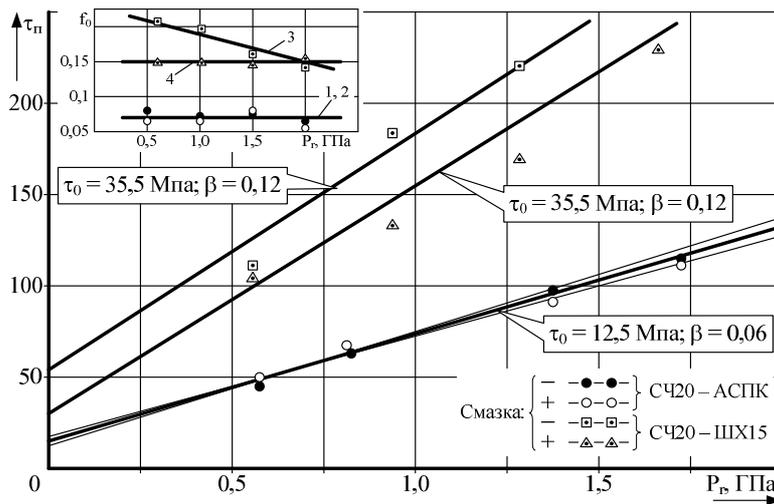


Рис. 3. Прочность адгезионной связи τ_n и молекулярная составляющая коэффициента трения f_0 при контакте поверхностей из чугуна СЧ20 с инденторами АСПК (1, 2) и ШХ15 (3, 4) в присутствии (1, 3) и отсутствии (2, 4) смазки

Следует отметить, что в последнем случае наличие смазки увеличивает эффект «схватываемости» материалов (прямая 3 выше прямой 4 на рис. 3). Таким образом, при обработке плоских поверхностей деталей из чугуна следует выбирать индентор из АСПК при прочих равных условиях.

Результаты, представленные на рис. 4 свидетельствуют о высоких возможностях алмазного выглаживания плоских поверхностей из стали 45, которое можно проводить как при наличии смазки, так и без неё.

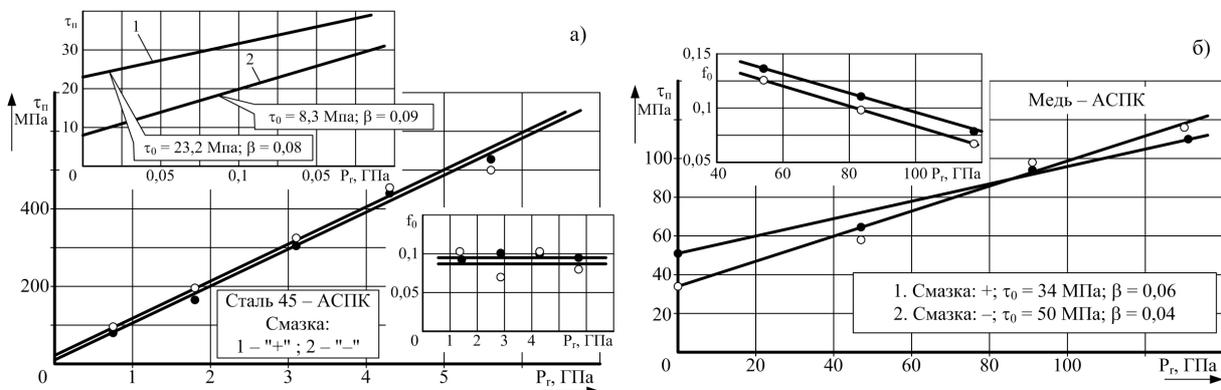


Рис. 4. Прочность адгезионной связи τ_n и молекулярная составляющая коэффициента трения f_0 при контактировании поверхностей из материалов в присутствии (1) и отсутствии (2) смазки: а – «сталь 45 – АСПК»; б – «медь – АСПК»

Высокая прочность адгезионной связи наблюдается в паре «АСПК – медь» (рис. 4). В этом случае также наблюдается эффект повышения τ_0 при наличии смазки, как это имело место в контакте «СЧ20 – ШХ15». Следует отметить, что величина f_0 в этом случае имеет тенденцию к снижению с ростом фактического давления P_r в зоне контакта.

Введение смазки в контакт для пары «СЧ20 – АСПК» (рис. 3) существенного влияния на величины τ_0 и β не оказывает. Это значит, что алмазное выглаживание поверхностей заготовок из чугуна можно проводить и без смазки.

При максимальной нагрузке формировался отпечаток индентора на образце, который оставался неизменным на последующих ступенях разгрузки. Это позволило производить измерения при фактических давлениях на контакте. Величины τ_0 и β , вхо-

дающие в формулу (1), рассчитывались по результатам экспериментальных данных (рис. 3, 4) методом наименьших квадратов.

Результаты расчёта, пригодные для практического использования, приведены в таблице 1.

Результаты исследований прочности адгезионной связи и молекулярной составляющей коэффициента трения позволяют дать количественную оценку влияния материалов обрабатываемой поверхности и индентора, а также наличия смазки и величины нагрузки на индентор на удельную сдвиговую прочность молекулярных связей τ_0 при экстраполяции нормального давления на контакте к нулю и на пьезокоэффициент β , характеризующий увеличение молекулярной составляющей коэффициента трения под воздействием нормального давления N .

Таблица 1. Результаты исследования молекулярной составляющей коэффициента трения f_0 , удельной прочности адгезионной связи τ_0 и пьезокоэффициента β в контакте «поверхность – индентор» при обработке ППД

№	Материал индентора	Обрабатываемый материал	Смазка*	Величина f_0 при нагрузке на индентор N , кН				τ_0	β
				4,45	3,45	2,45	1,45		
1	АСПК	Сталь 45	+	0,088	0,1	0,072	0,097	23,2	0,08
			-	0,092	0,097	0,097	0,093	8,3	0,09
2	АСПК	Чугун СЧ20	+	0,065	0,065	0,08	0,045	15,3	0,06
			-	0,078	0,07	0,078	0,056	9,8	0,06
3	ШХ15	Чугун СЧ20	+	0,15	0,16	0,2	0,22	51,5	0,13
			-	0,15	0,15	0,14	0,15	35,5	0,12
4	АСПК	Медь	+	-	0,083	0,11	0,13	34,1	0,06
			-	-	0,07	0,1	0,13	50,5	0,04

* (-, +) – отсутствие и наличие смазки соответственно

Список литературы: 1. Михин, Н. М. Внешнее трение твёрдых тел. – М.: Наука, 1977. – 224 с. 2. Нагоркин М. Н. Параметрическая надёжность технологических систем лезвийной и упрочняющей обработки инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов по геометрическим параметрам качества и триботехническим характеристикам поверхностей деталей / Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. Том VII. Коллективная монография. / М. Н. Нагоркин, В. П. Федоров, В. В. Нагоркина, Е. В. Ковалева [и др.]; Под ред. А. В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2016. – с. 506 – 688. 3. Польский, Е. А. Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации / Е. А. Польский, Д. М. Филькин // Научно-технические проблемы машиностроения – 2014. – № 11 – С. 36 - 44. 4. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Суслов, В. П. Федоров, О. А. Горленко и др.; под общ. ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение. 2006. – 447 с. 5. Фёдоров, В. П. Технологическое обеспечение закономерного изменения параметров качества поверхности детали в процессе обработки: монография / В. П. Фёдоров, М. Н. Нагоркин, Е. В. Ковалёва. – Брянск: БГТУ, 2012. – 192 с.