

УДК 621.923+629.7  
DOI: 10.12737/18169

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛЁНКООБРАЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГАХ

Обоснована и экспериментально подтверждена эффективность введения в состав абразивной массы плёнкообразующего вещества, обеспечивающего увеличение съема металла с обрабатываемой поверхности, снижение температуры в зоне обработки и коэффициента трения, параметров шероховатости, числа и площади прижогов на обра-

ботанной поверхности.

**Ключевые слова:** шлифовальный круг, пленкообразующие материалы, абразивная масса, коэффициент трения, прижоги, поверхностный слой, деталь, шероховатость.

V.I. Butenko, L.V. Gusakova

### EFFECTIVENESS IN APPLICATION OF FILM-FORMING MATERIALS IN ABRASIVE DISKS

A basic problem in current mechanical engineering consists in manufacturing long-lived, reliable and competitive products. One of factors meeting these requirements is manufacturing parts with high servicing characteristics. In spite of that today there is a large number of various methods for product finishing the routine method in our country and abroad is an abrasion, and, in particular - grinding.

As a result of theoretical and experimental researches carried out there is solved a significant scientific problem having a considerable production and economical importance for an engineering technique – there are developed and investigated methods for effectiveness increase in grinding part surfaces made of

Ещё в 1950-х годах французские инженеры Робертс и Фьюри [1] обнаружили аномальное повышение стойкости резцов при обработке титановых сплавов и коррозионно-стойкой стали с введением микродоз йода в состав смазочного средства. Фьюри было также установлено, что действие йода эффективно и при трении. Так, было зафиксировано, что введение микродоз присадок йода (0,01-0,001 %) в состав смазочного средства в несколько раз уменьшает коэффициент трения. Дальнейшие работы подтвердили, что наибольшая эффективность от использования йода зафиксирована при обработке лезвийным и абразивным инструментом титана и его сплавов. Авторы [1] объясняют высокую эффективность йодосодержащих технологических средств адсорбци-

high-alloy and heat-resistant materials through changes in design and structure of abrasive tools.

For the first time theoretically and experimentally there was proved a possibility of use chromium diiodide in the composition of mass for abrasive tool manufacturing with the aid of which films are formed ensuring lowering the temperature by 20-30 % in the area of grinding.

**Key words:** abrasive disk, film-forming materials, abrasive mass, constant of friction, burns, surface layer, part, roughness.

онной и химической активностью йода по отношению к металлам, его способностью образовывать комплексные соединения, благоприятно влияющие на снижение температуры в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом.

Высокие температуры и контактные давления в зоне шлифования создают сложные условия протекания процесса шлифования, приводящие к возникновению прижогов на обработанной поверхности детали. Вследствие этого представляет интерес изменение условий контактирования абразивных зёрен с обрабатываемым материалом путём создания в зоне контакта плёнок, обладающих низким коэффициентом трения. Наиболее перспективным, на наш взгляд, является введение в зону контакта соединений йода, которые разла-

гаются при высоких температурах, а выделяющийся при этом йод активно реагирует с металлом, образуя плёнки йодидов металлов, устойчивые к высоким температурам и обладающие низким коэффициентом трения.

Известно, что коэффициент трения  $\mu$  определяется суммой адгезионной ( $\mu_a$ ) и деформационной ( $\mu_d$ ) составляющих:

$$\mu = \mu_a + \mu_d.$$

Деформационная составляющая имеет существенное значение при трении шероховатых поверхностей деталей из металлических материалов, что обусловлено потерями при повторном передеформировании тонких поверхностных слоёв. Однако коэффициент трения в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом зависит не только от шероховатости контактирующих поверхностей, выделяющейся теплоты, но и от теплофизических свойств абразивного и обрабатываемого материалов, а также плёнки, создаваемой между ними. Кроме этого, в зоне шлифования наблюдается различный характер трения между:

- абразивным зерном и обрабатываемым материалом (особенно при затуплении абразивного зерна);
- сходящей стружкой и свободными поверхностями абразивного зерна;
- связкой и обрабатываемым материалом;
- образующейся стружкой и связкой;
- обрабатываемым металлом и металлом, заполняющим пространство между соседними абразивными зёрнами в случае засаливания шлифовального круга.

Неоднозначность характера трения между абразивным зерном, обрабатываемым материалом, стружкой и связкой, изменение условий его протекания во времени и его нестабильность не дают возможности оценивать контактные процессы в зоне шлифования с единых позиций и описывать их одним коэффициентом трения. В связи с этим для обоснования возможности и целесообразности применения плёнокообразующих материалов в шлифовальных кругах была использована формула определения коэффициента трения при

контакте шероховатых поверхностей, предложенная Г.Эрнстом и П. Мергентом [2]:

$$\mu = \frac{\sigma_{CP}}{HB} + tg \alpha,$$

где  $\sigma_{CP}$  – сопротивление материала срезу для фактической площади контакта;  $HB$  – твёрдость контактирующего материала;  $\alpha$  – средний угол, составляемый силой трения с фактической площадью контакта (угол трения).

Поскольку сопротивление  $\sigma_{CP}$ , по данным Г.Эрнста и П. Мерченга, является величиной, характеризующей плавление металла в условиях контакта при высоких температурах, то, исходя из известных термодинамических зависимостей, можно записать:

$$\sigma_{CP} = 0,427 \frac{L_p \Theta_{II}}{\Theta},$$

где  $L_p$  – скрытая теплота плавления на единичной площадке контакта (её величина приводится в справочной литературе и для железоуглеродистых сплавов равна 22,3 ккал/см<sup>2</sup>);  $\Theta_{II}$  – температура плавления контактирующего материала;  $\Theta$  – фактическая температура в зоне контактного взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемым материалом, принимаемая в дальнейшем температурой шлифования.

Тогда некоторый обобщённый коэффициент трения  $\mu_{\Sigma}$ , обусловленный наличием в зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемым металлом плёнки с низким коэффициентом трения, может быть определён по формуле

$$\mu_{\Sigma} = \frac{0,427 L_p \Theta_{II}}{HB \Theta} + tg \alpha. \quad (1)$$

Предполагается, что плёнокообразующий материал будет неравномерно распределён по контактирующим поверхностям в зоне шлифования: на отдельных участках он будет отсутствовать вследствие высокоскоростного режима обработки. Тогда угол  $\alpha$  можно представить в виде разности углов:  $\alpha = \alpha_{\Sigma} - \alpha_{III}$ , где  $\alpha_{\Sigma}$  – средний угол, составляемый силой трения с участками контакта как в присутствии раздели-

тельной плёнки, так и без неё;  $\alpha_{\text{пл}}$  – средний угол, составляемый силой трения с участком контакта с равномерным распределением разделительной плёнки постоянной толщины. Учитывая это, формулу (1) можно записать в следующем виде:

$$\mu_{\Sigma} = \frac{0,427L_p\Theta_{\text{п}}}{HB\Theta} + \text{tg}(\alpha_{\Sigma} - \alpha_{\text{пл}}).$$

Тогда температура в зоне взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемым материалом определится из выражения

$$\Theta = \frac{0,427L_p\Theta_{\text{п}}}{HB(\mu_{\Sigma} - \text{tg}(\alpha_{\Sigma} - \alpha_{\text{пл}}))}. \quad (2)$$

Выполнив преобразования и приняв  $\text{tg}\alpha_{\Sigma} = \mu_{\Sigma}$ ,  $\text{tg}\alpha_{\text{пл}} = \mu_{\text{пл}}$ , из зависимости (2) получим следующую формулу определения температуры в зоне шлифования при подаче в неё плёнкообразующего материала:

$$\Theta = \frac{0,427L_p\Theta_{\text{п}}(1 + \mu_{\Sigma}\mu_{\text{пл}})}{HB\mu_{\text{пл}}(1 - \mu_{\Sigma}^2)}. \quad (3)$$

Анализ полученной формулы (3) показывает, что температура в зоне шлифования  $\Theta$  в случае применения плёнкообразующих материалов находится в сложной зависимости от коэффициента трения  $\mu_{\text{пл}}$ , так как обобщённый коэффициент трения  $\mu_{\Sigma}$  также зависит от коэффициента  $\mu_{\text{пл}}$ . Исходя из того, что от значения температуры в зоне шлифования зависят число и размеры прижогов на обработанной поверхности детали, был проанализирован характер зависимости  $\Theta$  от величины  $\mu_{\text{пл}}$ . Для обрабатываемых шлифованием железоуглеродистых сплавов постоянными были приняты следующие величины:  $L_p = 22,3 \frac{\text{ккал}}{\text{см}^2}$ ;  $\Theta_{\text{п}} = 1540^{\circ}\text{C}$ ;  $HB = 220$ ;  $\mu_{\Sigma} = 0,6$  [3].

На рисунке приведён график зависимости температуры в зоне шлифования  $\Theta$  от коэффициента трения плёнкообразующего материала  $\mu_{\text{пл}}$ , построенный по расчётным значениям  $\Theta$ , вычисленным по формуле (3).

Анализ полученного графика даёт основание утверждать о целесообразности добавления в состав абразивных инструментов специальных плёнкообразующих материалов, позволяющих существенно снизить температуру в зоне контакта абразивных зёрен с обрабатываемым материалом и уменьшить тем самым число и площадь прижогов на поверхности детали.

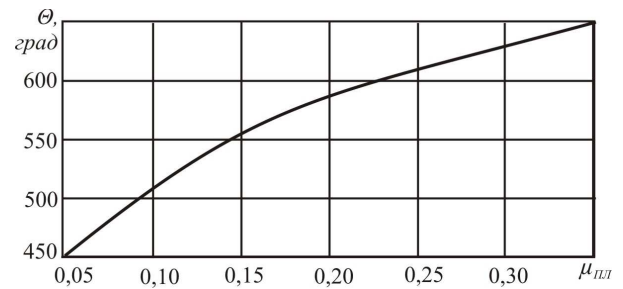


Рис. Расчётный график зависимости температуры в зоне шлифования  $\Theta$  от коэффициента трения плёнкообразующего материала  $\mu_{\text{пл}}$  для железоуглеродистых сплавов

В качестве плёнкообразующей добавки при изготовлении шлифовальных кругов рекомендуется использовать диоксид хрома в количестве 0,6 – 0,8 % от общей массы круга [4]. Исследования показали, что добавление в абразивную смесь диоксида хрома позволяет на 20 – 30% снизить температуру в зоне шлифования и, как следствие, в 1,5 – 2 раза уменьшить число и суммарную площадь прижогов на обработанной поверхности детали.

#### Выводы:

1. Получена формула для определения средней температуры в зоне шлифования в зависимости от теплофизических свойств обрабатываемого материала и приведённого коэффициента трения, учитывающего коэффициент трения плёнкообразующего материала, подаваемого в зону контакта абразивных зёрен с поверхностью детали.

2. Доказана целесообразность применения в качестве плёнкообразующего материала в составе абразивной массы для изготовления шлифовального круга диоксида хрома. Приведён рекомендуемый состав такой абразивной массы.

**Список литературы**

1. Фьюри, М. Дж. Действие йода при получении низкой величины трения / М.Дж. Фьюри // *Wear*. – 1965. – Т.9. – №5. – С. 18-23.
2. Резников, А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
3. Масса для изготовления абразивного инструмента: пат. 2392109 РФ: В24D 3/28 / Бутенко В.И., Дуров Д.С., Фоменко Е.С., Гусакова Л.В. - Заявл. 24.12.08; опубл. 20.06.10, Бюл. № 17.
1. Fury, M.J., Iodine effect at obtaining low friction value / M.J. Fury // *Wear*. – 1965. – Vol. 9. – No 5. – pp. 18-23.
2. Reznikov, A.N., Thermal physics of processes in material machining / A.N. Reznikov. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – pp. 279.
3. Mass for abrasive tool manufacturing: pat. 2392109 RF: B24D 3/28 / Butenko V.I., Durov D.S., Fomenko E.S., Gusakova L.V. Appl. 24.12.08; published. 20.06.10, Bulletin № 17.
4. Бутенко, В.И. Влияние йода в составе шлифовального круга на контактную температуру при обработке деталей / В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова // *Современные проблемы механики и её преподавания в вузах: доклады IV Всерос. совещания-семинара зав. каф. и ведущих преподавателей теор. механики вузов Р Ф (г. Новочеркасск, 21-24 сент. 2010 г.)*. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. – С.32-35.
4. Butenko, V.I., Iodine effect in abrasive disk structure upon contact temperature at part machining / V.I. Butenko, L.V. Gusakova // *Current problems in mechanics and its teaching in colleges: Proceedings of the IV-th All-Russian Conference-Seminar of Heads of Departments and Senior Lecturers on Engineering Mechanics in Colleges of the RF (Novocherkassk, September 21-24, 2010)*. - Novocherkassk: SRSTU, 2010. – pp. 32-35.

*Статья поступила в редколлегию 2.12.2015.*

*Рецензент: д.т.н., профессор Южного  
федерального университета  
Финаев В.И.*

**Сведения об авторах:**

**Бутенко Виктор Иванович**, д.т.н., профессор кафедры «Механика» Южного федерального университета, г. Таганрог, e-mail: [GusakovaLV@mail.ru](mailto:GusakovaLV@mail.ru).

**Butenko Viktor Ivanovich**, D.Eng., Prof. of the Dep. "Mechanics" Southern Federal University, Taganrog, e-mail: [GusakovaLV@mail.ru](mailto:GusakovaLV@mail.ru).

**Гусакова Лиана Валерьевна**, к.т.н., доцент кафедры «Основы проектирования машин» Ростовского государственного университета путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, e-mail: [GusakovaLV@mail.ru](mailto:GusakovaLV@mail.ru).

**Gusakova Liana Valerievna**, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Fundamentals in Machine Design" State University of Rostov-upon-Don, Rostov-upon-Don, e-mail: [GusakovaLV@mail.ru](mailto:GusakovaLV@mail.ru).