

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ АЛМАЗНОГО КРУГА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Институт сверхтвёрдых материалов НАН Украины*

*Киев, Украина*

При упрочнении и восстановлении деталей машин электромагнитной наплавкой (ЭМН) последняя рассматривается как одна из промежуточных операций формирования изделий с заданной формой, размерами и комплексом свойств. Обусловлено это тем, что поверхности после наплавки не обладают требуемыми параметрами, например, точностью размеров, шероховатостью поверхности и т.п., в связи с чем их подвергают механической обработке, особенности которой следующие:

- при обработке заготовки с покрытием возникает более сложная, чем при обработке компактного однородного материала, напряженно-деформационное состояние, связанное со структурой покрытия, а также возникновением термических напряжений вследствие разных коэффициентов термического расширения покрытия и основного материала;
- различные теплофизические свойства материалов покрытия и основы создают более сложную картину распространения тепловых потоков;
- природа физико-химических явлений в зоне контакта инструмента и обрабатываемого покрытия, связанная с особенностями сложного строения материала покрытия и его структуры (наличие оксидных включений, слабостью межчастичных связей), отличается от таковой при обработке компактных однородных материалов;
- строение слоя покрытия обуславливает трудность получения поверхностей высокого качества. Изнашивание инструмента в процессе обработки вызывает местные разрушения поверхности покрытия: вырывы частиц, появление царапин и прижогов.

При выборе метода и режима обработки покрытий, полученных ЭМН, важно оценить возможное влияние структуры на свойства материала покрытия и поверхностных слоев основы. Кроме того, необходимо учитывать, что ЭМН обеспечивает получение толщины наплавленного слоя в пределах  $0,2 < h < 0,6$  мм.

Известно, что способность материала поддаваться резанию принято называть обрабатываемостью. Единой универсальной характеристики обрабатываемости нет.

Металл или сплав, обладающий хорошей обрабатываемостью с точки зрения уровня целесообразных скоростей, не всегда может обеспечить требуемую шероховатость поверхности, так как при этом возникают слишком большие силы резания и наоборот. Необходимо учитывать, что оценка обрабатываемости имеет всегда относительный характер. Например, допускаемая скорость зависит не только от свойств обрабатываемого материала, но и от качества режущего инструмента. Шероховатость обрабатываемой поверхности тесно связана с геометрическими параметрами инструмента и с условиями резания, в частности со скоростью резания, при уменьшении которых можно получить различные результаты.

Поскольку при ЭМН в покрытии наблюдаются неоднородные структура и химический состав, а также возможны колебания твердости и внутренние напряжения, то представляет интерес оценка обрабатываемости износостойкого покрытия, нанесенного ЭМН ферропорошка на оптимальном режиме [1].

В работе оценку обрабатываемости покрытия в зависимости от конструкции круга, способа охлаждения и режима алмазного шлифования производили по температуре в зоне резания, так как контактная температура, измеряемая экспериментально, является наиболее достоверным критерием оценки работы шлифовального круга по температурному параметру [2]. Температуру в зоне шлифования определяли с помощью искусственной термопары.

Обработку проводили при плоском шлифовании периферией круга образцов (50x50x20) с покрытиями из ферропорошка Fe-2 %V кругами: алмазным АСВ 125/100М58/100 и алмазным АСВ 125/100МП1/100 на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зёрнами на станке модели ЗБ64. Образцы шлифовали при обычном способе подачи СОЖ поливом и через поры круга в зону резания. В качестве СОЖ применяли 3%-ный водный раствор кальцинированной соды.

Использовали шлифовальный круг на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зёрнами, у которого в качестве пористой металлической связки (МП1) брали бронзовый порошок с частицами сферической формы марки БрОФ 10-1 (медь – 85 %, олово – 12...15 %), обладающий высокой теплопроводностью, низким коэффициентом трения, хорошими физико-механическими свойствами и износостойкостью. Пористость составляла 30 %, средний диаметр пор 0,04 мм, зернистость алмазных зёрен марки АСВ 125/100, концентрация алмазов 100 %, размер фракции порошка связки 63...100 мкм. Алмазные зёрна металлизировались никелем толщиной 5 мкм.

Особое значение для алмазного инструмента с ориентированными зёрнами приобретают геометрические параметры зёрен, такие как форма зерна, радиус округления вершины  $r$ , угол заострения вершины  $\beta$  и их взаимосвязь.

Установлено [3], что для марки алмазного порошка АСВ и зернистости 125/100

среднее значение угла заострения вершины – 60...80 °. Наибольший сьем металла производят зерна, расположенные к плоскости резания с передним углом  $\gamma$  от –5 до –20 °. Величину заднего угла  $\alpha$  для алмазных зерен следует принимать 8...10 °. Угол ориентации алмазных зерен  $\theta$  определяется из соотношения

$$\theta = 90^\circ - \beta/2 - \alpha$$

при этом

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \beta$$

Тогда, рассматривая совместно зависимости, получим

$$\theta = (90^\circ - \gamma - \alpha)/2.$$

Инструмент с ориентированными зернами алмаза по сравнению с алмазным инструментом с неориентированными зернами позволяет увеличить число активных зерен, участвующих в процессе формообразования поверхности, от 10...17 % теоретического количества режущих зерен, расположенных на 1 см<sup>2</sup> поверхности инструмента, до 45...60 %, что обеспечивает увеличение режущей способности инструмента.

Известно [4], что распределение контактной температуры при шлифовании подчиняется логарифмическому нормальному закону распределения. Поэтому зависимость ее от режима шлифования для различных конструкций кругов и способов охлаждения можно представить зависимостью

$$T = e^{\alpha} V^{\beta} S^{\gamma} t^{\delta}, \quad (1)$$

где  $T$  – контактная температура, °C;  $V$  – скорость резания, м/с;  $S$  – подача, м/мин;  $t$  – глубина резания, мм.

Уравнение (1) является математической моделью, для которой значение независимых определяли при помощи метода математического планирования экспериментов, применив ПФЭ типа 2<sup>3</sup>.

Функциями отклика служили следующие параметры:  $V_1 = T_1$  – контактная температура при шлифовании алмазным кругом с охлаждением свободным поливом;  $V_2 = T_2$  – при шлифовании алмазным кругом на пористой связке с ориентированными зернами и охлаждением свободным поливом;  $V_3 = T_3$  – при шлифовании алмазным кругом с ориентированными зернами и охлаждением через поры круга.

Условия экспериментов, матрица планирования и полученные результаты представлены в табл. 1 и 2.

Условия экспериментов

Уровень факторов	Фактор					
	$V, \text{ м/с}$		$S, \text{ м/мин}$		$t, \text{ мм}$	
	$X_1$	$\ln V$	$X_2$	$\ln S$	$X_3$	$\ln t$
Верхний (+1)	40	3,689	3,0	1,099	0,02	-3,912
Нижний (-1)	20	2,966	1,5	0,405	0,01	-4,605

Обработку полученных данных производили с помощью пакета прикладных программ MATHCAD PLUS 6.0 и MATHEMATICA 2.2, работающих в среде Windows. Она позволили получить следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= e^{7,25} \cdot V^{0,388} \cdot S^{0,236} \cdot t^{0,486}; \\
 T_2 &= e^{6,88} \cdot V^{0,552} \cdot S^{0,293} \cdot t^{0,648}; \\
 T_3 &= e^{6,79} \cdot V^{0,352} \cdot S^{0,151} \cdot t^{0,519}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Таблица 2

Матрица планирования и результаты экспериментов

Номер опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Контактная температура, °С		
					$Y_1/\ln Y_1$	$Y_2/\ln Y_2$	$Y_3/\ln Y_3$
1	+	-	-	-	520/6,25	290/5,67	220/5,39
2	+	-	+	-	615/6,42	330/5,80	240/5,48
3	+	-	-	+	740/6,61	460/6,13	410/6,02
4	+	-	+	+	910/6,81	590/6,38	444/6,09
5	+	+	-	-	735/6,60	450/6,11	360/5,89
6	+	+	+	-	800/6,68	528/6,27	400/5,99
7	+	+	-	+	940/6,85	620/6,43	390/5,97
8	+	+	+	+	1142/7,04	815/6,70	453/6,12

Используя (2), рассчитали контактную температуру при обработке покрытия, полученного ЭМН ферропорошка Fe-2 %V, для различных типов кругов, способов охлаждения и режимов шлифования. Анализ результатов исследований (рис. 1) показывает, что конструкция шлифовального круга и способ охлаждения значительно влияют на контактную температуру. Так, при шлифовании алмазным кругом на пористой связке при одном и том же режиме и охлаждении поливом температура в зоне резания по сравнению с обычным алмазным кругом меньше на 110 °С. При подаче СОЖ через поры круга эта разница для исследуемых кругов равна 190 °С.

Необходимо отметить, что влияние способа охлаждения на контактную температуру возрастает при более интенсивном режиме шлифования не только для алмазного круга, но и для алмазного на пористой связке. Из полученных данных видно, что при шлифовании алмазным кругом на пористой связке и подачей СОЖ через по-

ры абсолютная контактная температура находится в пределах 300...500 °С, что ниже температуры графитизации алмаза. При подаче СОЖ поливом и скорости круга до 30 м/с контактная температура не превышает 500 °С.

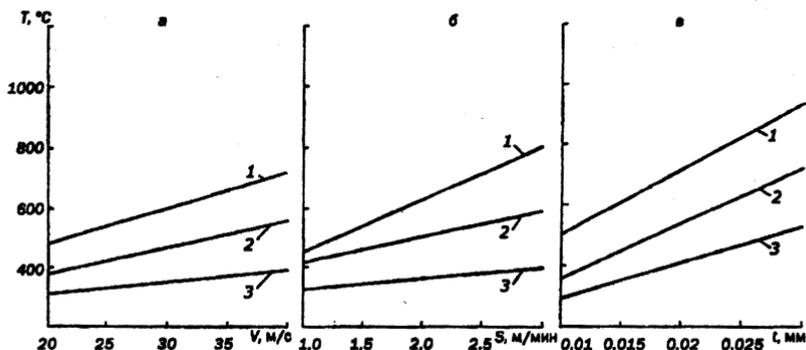


Рис. 1. Зависимость контактной температуры периферии круга от скорости резания  $V$  (а), поперечной подачи  $S$  (б), глубины шлифования  $t$  (в) и способа охлаждения: 1 – алмазный, охлаждение поливом; 2 – алмазный на пористой связке, охлаждение поливом; 3 – алмазный на пористой связке, охлаждение через поры круга

Полученные результаты исследований позволяют определить режимы шлифования износостойких покрытий, при которых температура в зоне резания не превышает 500 °С. Так, при шлифовании алмазным кругом на пористой связке с ориентированными зернами и охлаждением через поры круга наиболее приемлем следующий режим:

$$V = 30 \text{ м/с}; S = 2 \text{ м/мин}; t = 0,015 \text{ мм};$$

при охлаждении поливом

$$V = 25 \text{ м/с}; S = 1,5 \text{ м/мин}; t = 0,01 \text{ мм}.$$

Для обычного алмазного круга с охлаждением поливом

$$V = 20 \text{ м/с}; S = 1 \text{ м/мин}; t = 0,01 \text{ мм}.$$

Таким образом, проведенные исследования показывают эффективность применения алмазного круга на пористой связке с ориентированными зернами и подачей СОЖ через поры круга для снижения температуры в зоне шлифования. При этом он по сравнению с обычным алмазным кругом обеспечивает снижение контактной температуры в зоне резания в 1,7 раза, которая не превышает порог теплостойкости алмаза, что позволяет применять алмазное шлифование при обработке износостойких покрытий, полученных ЭМН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн.: УП “Технопринт”, 2000. – 268 с.
2. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
3. Кремень З.И., Буторин Г.И., Коломазин В.М. и др. Технология обработки абразивным и алмазным инструментом. – Л.: Машиностроение, 1989. – 207 с.
4. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Мн.: Высшая школа, 1990. – 512 с.

УДК 621.793

И.С.Фролов

### К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

В последнее время в производстве все чаще используются технологии, базирующиеся на методах комплексного энергетического воздействия на поверхностный слой с целью получения требуемого набора трибологических свойств: износостойкости, антифрикционности, задиристости, коррозионной стойкости, устойчивости к окислению и т.д. Одними из таких технологий являются вакуумные ионно-плазменные технологии (ВИПТ) [1]. При их реализации в образовании покрытий и модифицированных слоев участвуют нейтральные и возбужденные частицы (атомы, молекулы и кластеры) с высокой энергией (превышающей в десятки и сотни раз энергию тепловых атомов и молекул) и ионы, энергию которых можно варьировать в широких пределах изменением ускоряющего напряжения. Из ВИПТ в машиностроении наибольшее распространение получили методы катодного распыления (магнетронные системы), ионного осаждения и электродугового испарения (КИБ, РЭП и т.д.) [2,3]. Перспективность использования этих методов обусловлена их уникальными особенностями: универсальностью, т.е. применимостью для практически любых материалов, отсутствием инструментального контакта с обрабатываемым материалом, широким диапазоном удельных мощностей воздействия на деталь, высокой управляемостью, малой инерционностью технологического процесса, быстрой перестройки, возможностью