

**ШЛИФОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОКРЫТИЯМИ,
СФОРМИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ
С ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

Докт. техн. наук, проф. МРОЧЕК Ж. А., инж. БУРДЫКИН К. С.

Белорусский национальный технический университет

Использование шлифования на финишных операциях формирования поверхностей обусловлено тем, что процесс имеет ряд преимуществ перед другими видами механической обработки. Однако и процесс шлифования имеет недостатки, к которым следует отнести частичное использование режущих свойств абразивных зерен, что обусловлено хаотическим расположением их в объеме шлифовального круга. По этой причине снижается интенсивность съема металла, часто возникают так называемые штриховые поверхности и «пятнистая твердость», образуются структурные концентраторы напряжений и даже микротрещины.

Поскольку основным фактором, влияющим на работоспособность алмазных шлифовальных кругов, является температура в зоне резания, представляют интерес результаты исследований обрабатываемости поверхностей с покрытиями с использованием алмазного круга, когда имеется возможность снизить температуру за счет подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) через поры круга и обеспечить наилучшие условия обработки за счет ориентации зерен относительно плоскости резания [1].

Для примера рассмотрим использование шлифовального круга на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зернами. В качестве пористой связки использовали бронзовый порошок с частицами сферической формы Бр.ОФ 10-1 (медь – 85 %, олово – 15 %), обладающий высокой теплопроводностью, низким коэффициентом трения, достаточно высокими физико-механическими свойствами и износостойкостью. Пористость со-

ставляла 30 %, средний диаметр пор – 0,04 мм, зернистость алмазных зерен АСВ – 125/100, концентрация алмазов – 100 %, размер зерен порошка связки – 63–100 мкм. Алмазные зерна металлизировались никелем толщиной 5 мкм.

Известно [2], что особое значение для алмазного инструмента с ориентированными зернами приобретают геометрические параметры зерен, такие как форма зерна, радиус округления вершин r , угол заострения вершины P единичного зерна алмаза и взаимосвязь этих параметров.

Установлено [2], что для алмазных порошков АСВ, АСК (зернистость – 25/12) средние величины радиусов скругления вершин зерен составляют 6–9 мкм, угол заострения при вершине – 60–80°. Наибольший съем металла производят зерна, расположенные к плоскости резания с передним углом γ от -5 до -20° . Величину заднего угла α для алмазных зерен следует принимать 8–10°. Угол ориентации алмазных зерен θ определяется из соотношения $\theta = 90^\circ - \beta/2 - \alpha$. При этом $\gamma = 90^\circ - \alpha - \beta$. Тогда, рассматривая и преобразуя 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 см² поверхности инструмента, до 45–60 %, что обеспечивает увеличение режущей способности инструмента.

Оценку обрабатываемости поверхностей с покрытием, полученным электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД) порошка Fe-2 %V, проводили в зависимости от конструкции круга, способа охлаждения и режима шлифования, условно считая, что показателем обрабатываемости является температура в зоне резания.

Температуру в зоне шлифования контролировали с помощью искусственной термопары.

Шлифование плоских образцов (20×20×15 мм) с покрытиями проводили кругами: абразивным 15A40PC27K6, алмазным АСВ 125/100 М 58/100 и алмазным АСВ 125/100 МП 1/100 на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зёрнами. Образцы шлифовали без охлаждения, при обычном способе подачи СОЖ поливом и через поры круга в зону резания. В качестве СОЖ использовали 3%-й водный раствор кальцинированной соды.

Известно [3], что распределение температуры в зоне контакта круг – основа при шлифовании подчиняется логарифмическому нормальному закону распределения. Поэтому зависимость ее от режима шлифования для различных способов охлаждения можно представить зависимостью

$$T = e^a v^x S^y t^z, \quad (1)$$

где T – контактная температура, °С; v – скорость резания, м/с; S – подача, м/мин; t – глубина резания, мм; $e = 2,718$ – основание натурального логарифма; a, x, y, z – коэффициенты регрессии.

Уравнение (1) является характеристикой процесса, для которой величины неизвестных

определяли при помощи метода математического планирования экспериментов, применив ПФЭ типа 2^3 .

Функциями отклика служили следующие параметры: $Y_1 = T_1$ – контактная температура при шлифовании абразивным кругом без охлаждения; $Y_2 = T_2$ – то же при шлифовании абразивным кругом с охлаждением свободным поливом; $Y_3 = T_3$ и $Y_4 = T_4$ – то же при шлифовании алмазным кругом без охлаждения и с охлаждением свободным поливом соответственно; $Y_5 = T_5$ – то же при шлифовании алмазным кругом на пористой связке с ориентированными зёрнами без охлаждения; $Y_6 = T_6$ – то же с охлаждением свободным поливом; $Y_7 = T_7$ – то же с охлаждением через поры круга.

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

Обработку результатов проводили по стандартной методике [4]. Были получены следующие зависимости:

$$T_1 = e^{7,47} v^{0,377} S^{0,32} t^{0,495}; \quad T_2 = e^{7,25} v^{0,388} S^{0,236} t^{0,486};$$

$$T_3 = e^{7,24} v^{0,318} S^{0,463} t^{0,473}; \quad T_4 = e^{6,98} v^{0,575} S^{0,29} t^{0,63};$$

$$T_5 = e^{7,26} v^{0,176} S^{0,467} t^{0,419}; \quad T_6 = e^{6,88} v^{0,552} S^{0,293} t^{0,648};$$

$$T_7 = e^{6,79} v^{0,352} S^{0,151} t^{0,519}.$$

Таблица 1

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

Таблица 2

Матрица планирования и результаты экспериментов (обработка покрытий, полученных ЭМН с ППД)

Номер опыта	Уровень факторов				Контактная температура, °С						
	X_0	X_1	X_2	X_3	$y_1/\ln y_1$	$y_2/\ln y_2$	$y_3/\ln y_3$	$y_4/\ln y_4$	$y_5/\ln y_5$	$y_6/\ln y_6$	$y_7/\ln y_7$
1	+	-	-	-	636/6,46	520/6,22	504/6,22	340/5,83	421/6,04	290/5,67	220/5,39
2	+	-	+	-	810/6,70	615/6,42	740/6,61	445/6,10	608/6,41	330/5,80	240/5,48
3	+	-	-	+	862/6,76	740/6,61	635/6,95	615/6,42	554/6,32	460/6,13	410/6,02
4	+	-	+	+	1104/7,01	910/6,81	932/6,84	740/6,61	830/6,72	590/6,38	443/6,09
5	+	+	-	-	860/6,76	735/6,60	590/6,38	620/6,43	490/6,19	450/6,11	360/5,89
6	+	+	+	-	940/6,85	800/6,68	810/6,70	680/6,52	670/6,51	528/6,27	400/5,99
7	+	+	-	+	1126/7,03	940/6,85	952/6,85	788/6,67	688/6,53	620/6,43	390/5,87
8	+	+	+	+	1532/7,33	1142/7,04	1174/7,07	1020/6,93	850/6,75	815/6,70	453/6,12

Используя (2), рассчитали контактную температуру при обработке покрытия, полученного ЭМН с ППД, для способов охлаждения и режимов шлифования (рис. 1). Анализ результатов исследований (рис. 1) показывает, что выбор шлифовального круга и способа охлаждения оказывает существенное влияние на контактную температуру. Так, при шлифовании алмазным кругом на пористой связке при одном и том же режиме без охлаждения температура в зоне резания по сравнению со шлифованием абразивным и обычным алмазным кругами меньше соответственно на 260 и 100 °С, а при охлаждении поливом – на 270 и 110 °С. При подаче СОЖ через поры круга эта разница для исследуемых кругов, работающих при одном и том же режиме с охлаждением поливом, соответственно равна 330 и 190 °С.

Влияние способа охлаждения на контактную температуру возрастает при более интенсивном режиме шлифования не только для абразивного и алмазного кругов, но и для алмазного на пористой связке. Анализ результатов исследований (рис. 1) показывает, что при шлифовании алмазным кругом на пористой связке и с подачей СОЖ через поры контактная температура не превышает 510 °С, что ниже

Полученные результаты исследований позволяют определить режимы шлифования поверхностей с покрытиями, 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

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

- для абразивного круга с охлаждением поливом

$$v = 20 \text{ м/с}; S = 1 \text{ м/мин}; t = 0,005 \text{ мм}.$$

ВЫВОД

Экспериментальное измерение контактной температуры круга и поверхности образца

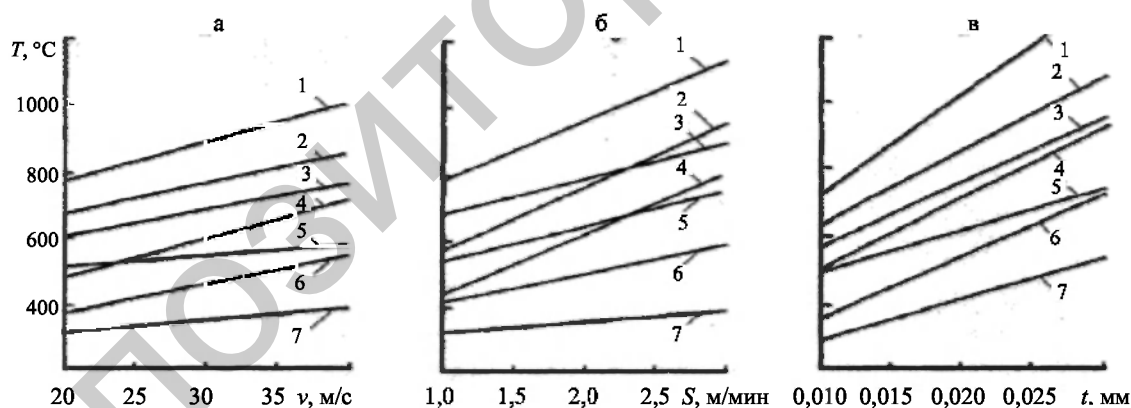


Рис. 1. Зависимость контактной температуры от: а – окружной скорости v ; б – поперечной подачи S ; в – глубины шлифования t и способа охлаждения; 1 – абразивный круг без охлаждения; 2 – то же с охлаждением поливом; 3 – алмазный круг без охлаждения; 4 – то же с охлаждением поливом; 5 – алмазный круг на пористой связке без охлаждения; 6 – то же с охлаждением поливом; 7 – то же с охлаждением через поры

температуры графитизации алмаза. При подаче СОЖ поливом и скорости круга до 30 м/с температура достигает 740 °С (рис. 1а) и практически не превышает температуру шлифования без охлаждения. Во всех остальных случаях контактная температура шлифования достигает локально 1000–1250 °С.

с электромагнитной наплавкой показало, что самой низкой (325 °С) была температура при шлифовании алмазным кругом на пористой связке с ориентированными зернами и охлаждением поверхности шлифования через поры круга. При этом по сравнению с абразивным кругом, алмазным и алмазным на пористой

связке с ориентированными зернами и подачей СОЖ поливом обеспечивается снижение температуры соответственно в 2,2; 1,7 и 1,4 раза, которая не превышает порог теплостойкости алмаза и позволяет использовать алмазное шлифование при обработке покрытий, сформированных ЭМН с ППД и имеющих повышенные физико-механические свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шлифование** металлов / Л. М. Кожуро [и др.]; под ред. Л. М. Кожуро. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.
2. **Алмазно-абразивная** обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П. И. Ящерицын [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1988. – 272 с.
3. **Маслов, Е. Н.** Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с.
4. **Ящерицын, П. И.** Планирование эксперимента в машиностроении / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Минск: Вышэйш. шк., 1985. – 236 с.

Поступила 18.10.2010