

УДК 621.922.02

П. И. ЯЩЕРИЦЫН, М. Т. ЗАБАВСКИЙ, Л. М. КОЖУРО, М. Л. ХЕЙФЕЦ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ АЛМАЗНЫХ И АБРАЗИВНЫХ ЗЕРЕН ИНСТРУМЕНТОВ. II. МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ

Одним из наиболее эффективных путей повышения производительности абразивной обработки вязких износостойких покрытий является использование незакрепленных зерен, самоориентирующихся в магнитном поле при формировании поверхностного слоя. При повышении интенсивности магнитной индукции плотность зерен в единице объема растет и они прижимаются к вращающейся обрабатываемой поверхности, увеличивая съем металла.

Магнитно-абразивное полирование – технологический процесс, совмещающий механохимический съем металла и его окислов с поверхности обрабатываемой детали микрорезанием, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования зёрнами абразивного порошка в электромагнитном поле [1, 2].

Начальные условия процесса определяет подача в зону обработки ферропорошка и жидкости, являющейся в данном случае носителем поверхностно-активных веществ, обеспечивающей возникновение электролиза, в ходе которого растворяется поверхностный слой детали. Ориентация зерен ферропорошка в электромагнитном поле изменяет граничные условия дополнительными движениями свободного абразива и увеличивает его режущую способность.

В процессе магнитно-абразивного полирования сравнительно большие микровыступы зерна абразива контактируют с обрабатываемой поверхностью преимущественно по вершинам гребешков, являющихся концентраторами силовых линий магнитного поля. В результате обработка производится постоянно обновляющимися острыми кромками при самоориентации зерен свободного абразива [3]. Связкой абразивного инструмента, удерживающей зерна ферропорошка в подвижном связанном состоянии, служит электромагнитное поле, обеспечивающее широкие возможности для управления физико-химическими процессами комбинированной обработки [4].

Эффективность и качество магнитно-абразивной обработки. При магнитно-абразивном полировании обрабатывались наружные цилиндрические поверхности деталей с покрытиями, полученными плазменной наплавкой хромоникелевого порошка ПГ-СР4 и электромагнитной наплавкой порошка быстрорежущей стали Р6М5К5.

Перед полированием детали шлифовались алмазным кругом АСР125/100С210051 до Ra 1,25–1,6 мкм. При полировании использовался магнитно-абразивный порошок Ж15КТ зернистостью 100–160 мкм, в качестве смазочно-охлаждающей жидкости применялся 50%-ный раствор эмульсола Э2 в воде.

Постоянными факторами в опытах при магнитно-абразивном полировании были приняты расход порошка $G_{\text{п}} = 0,30 \text{ г}/(\text{с} \cdot \text{мм}^2)$; расход смазочно-охлаждающей жидкости $G_{\text{з}} = 2,5 \text{ л}/\text{мин}$; скорость осцилляции образца $v_0 = 0,2 \text{ м}/\text{с}$.

Т а б л и ц а 1. Условия опытов по матрице ЦКРУП второго порядка для $K = 5$

Уровень фактора X_i	Значение фактора				
	$v, \text{ м/с}$	$\tau, \text{ с}$	$A, \text{ мм}$	$B, \text{ Тл}$	$\delta, \text{ мм}$
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
$-\alpha$	1,5	30	0,5	0,7	0,4
-1	2,0	45	1,0	0,8	0,8
0	2,5	60	1,5	0,9	1,2
$+1$	3,0	75	2,0	1,0	1,6
$+\alpha_0$	3,5	90	2,5	1,1	2,0

Математические модели магнитно-абразивного полирования при обработке наплавков порошком ПГ-СР4 (60–62 HRC₃) получили центральным композиционным рототабельным равномер-планированием (ЦКРУП) экспериментов для $K = 5$ [5]. Параметрами оптимизации были приняты эффективность и качество обработки: $Y_1 - Q$ и $Y_2 - Ra$. Независимыми переменными являлись скорость главного движения, время обработки, амплитуда осцилляции, магнитная индукция и величина рабочего зазора соответственно: $X_1 - v$; $X_2 - \tau$; $X_3 - A$; $X_4 - B$; $X_5 - \delta$. Условия опытов представлены в табл. 1.

Модели, определяющие характер зависимостей производительности процесса Q (г/дм²) и шероховатости поверхности Ra (мкм) от технологических факторов магнитно-абразивного полирования получены при статистической обработке результатов опытов:

$$Q = Y_1 = 0,742 + 0,052 \cdot X_1 + 0,131 \cdot X_2 - 0,001 \cdot X_3 + 0,125 \cdot X_4 - 0,101 \cdot X_5 - 0,002 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,008 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,014 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,038 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,017 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,005 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,013 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,001 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,030 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,046 \cdot X_4 \cdot X_5 - 0,027 \cdot X_1^2 - 0,059 \cdot X_2^2 - 0,012 \cdot X_3^2 - 0,002 \cdot X_4^2 + 0,008 \cdot X_5^2,$$

$$Ra = Y_2 = 0,082 - 0,011 \cdot X_1 - 0,031 \cdot X_2 + 0,006 \cdot X_3 - 0,006 \cdot X_4 + 0,020 \cdot X_5 - 0,001 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,003 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,006 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,004 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,007 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,017 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,005 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,002 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,002 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,009 \cdot X_4 \cdot X_5 + 0,005 \cdot X_1^2 + 0,019 \cdot X_2^2 + 0,003 \cdot X_3^2 + 0,001 \cdot X_4^2 + 0,009 \cdot X_5^2.$$

Выявлено, что коэффициенты регрессий, кроме отмеченных (*), значимы с 90%-ной доверительной вероятностью. Установлено, что статистическая модель Q адекватна при 5%-ном а Ra при 10%-ном уровне значимости. Анализ полученных моделей позволил выявить степень влияния технологических факторов на параметры оптимизации (табл. 2). Из анализа данных таблицы видно, что по степени влияния на параметры эффективности и качество обработки покрытий порошком ПГ-СР4 в порядке убывания значимости исследуемые факторы можно расположить в ряды

$$Q: \tau = B \rightarrow \delta \rightarrow v \rightarrow A;$$

$$Ra: \tau \rightarrow \delta \rightarrow v \rightarrow B = A.$$

Ряды показывают, что влияние технологических факторов на производительность Q аналогично их влиянию на шероховатость Ra . Различие состоит в том, что магнитная индукция B , являющаяся определяющим фактором для производительности Q , резко снижает свое влияние на качество обработки. Это связано с тем, что величиной магнитной индукции B определяется количество контактирующих с обрабатываемой поверхностью зерен

Т а б л и ц а 2. Влияние технологических факторов на параметры эффективности и качество магнитно-абразивного полирования наплавов порошком ПГ-СР4

Фактор X_i		Степень влияния фактора на параметр, %	
		Q	Ra
		Y_1	Y_2
v	X_1	12,64	15,21
τ	X_2	31,96	41,32
A	X_3	0,25	7,94
B	X_4	30,52	8,61
δ	X_5	24,63	26,92

абразива. Если с ростом B увеличивается жесткость ферропорошка, возрастают силы резания и съем металла, то дополнительные вращения абразивных зерен под действием нарастающих моментов резания и трения не приводят к существенному изменению шероховатости Ra .

Оптимизацию режима магнитно-абразивного полирования проводили по обобщенной функции желательности [5]. Полученные результаты позволяют рекомендовать режим магнитно-абразивного полирования: $v = 3$ м/с, $\tau = 75$ с, $A = 1,5$ мм, $B = 1,1$ Тл, $\delta = 0,8$ мм, при котором параметры эффективности и качество обработки наплавов порошком ПГ-СР4 $Q = 1,1$ г/дм², $Ra = 0,07$ мкм.

Напряженное состояние и качество полированных поверхностей.

Формирование физико-механических и геометрических параметров поверхностного слоя при магнитно-абразивном полировании обусловлено совместными действиями абразивного резания, пластического выглаживания микронеровностей, химических реакций активных веществ в технологической зоне и электромагнитных явлений [1].

Физико-механические параметры поверхностных слоев наплавов порошком Р6М5К5, обработанных предварительно алмазным шлифованием и окончательно магнитно-абразивным полированием, представлены в табл. 3.

Анализ поверхностного слоя, сформированного магнитно-абразивным полированием, показывает, что микротвердость плавно повышается с приближением к поверхности, а глубина упрочненного слоя составляет 4–6 мкм.

Технологические остаточные напряжения I рода, обычно не оказывающие существенного влияния на твердость и прочность материала, значительно повышают предел усталости и износостойкость, если их знак противоположен знаку напряжений, вызываемых внешней нагрузкой [6]. В поверхностном слое после магнитно-абразивного полирования на глубине до 4–6 мкм в результате пластической деформации возникают остаточные напряжения сжатия.

Тонкие кристаллические структуры поверхностного слоя характеризуются остаточными напряжениями II рода и дисперсностью блоков когерентного рассеяния. В процессе полирования абразивом в магнитном поле блоки мозаики дробятся и микронапряжения возрастают, что свидетельствует об упрочнении поверхностного слоя.

Уменьшение содержания остаточного аустенита также обусловлено деформациями, возникающими в поверхностном слое. Кроме того, при магнитно-абразивном полировании удаляется искаженный шлифованием поверхностный слой, характеризующийся большим количеством остаточного аустенита, чем основной металл.

Изменения физико-механических параметров упрочнения поверхностного слоя (табл. 3) в отличие от геометрической характеристики (шероховатости Ra) резко увеличиваются с ростом магнитной индукции B . Это происходит потому, что величиной B определяется количество абразивных зерен, формирующих поверхность. Однако превышение рациональных значений $B = 1,1–1,3$ Тл приводит к увеличению жесткости и снижению проницаемости

Таблица 3. Физико-механические параметры поверхностных слоев наплавов порошком Р6М5К5 после шлифования алмазным кругом Π_0 и магнитно-абразивного полирования Π_m

Параметр	Π_0 / Π_m
Микротвердость H_w , ГПа	8/10
Напряжения I рода σ_1 , ГПа	-0,2/-1,1
Напряжения II рода σ_2 , ГПа	0,10/0,25
Дисперсность блоков когерентного рассеяния D , нм	85/30
Содержание остаточного аустенита A , %	14/6

для смазывающей жидкости плотной массы магнитно-абразивного порошка [1]. В результате резко повышается давление порошка на обрабатываемую поверхность и происходит переход от преобладающего микрорезания к выглаживанию. Это приводит к увеличению трения и соответственно тепловыделения в зоне обработки, что стимулирует развитие в поверхностном слое растягивающих напряжений, препятствует дроблению блоков мозаики, не дает возможности сформироваться деформационным структурам, разупрочняет поверхность.

Исследования показали, что магнитно-абразивное полирование по сравнению с тонким алмазным шлифованием улучшает как геометрические, так и физико-механические параметры поверхностного слоя. Кроме того, установлено, что при полировании свободным абразивом изменения технологических остаточных напряжений аналогичны изменениям распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя.

Дополнительные комбинированные воздействия позволяют управлять состояниями технологической системы, их устойчивостью и в результате самоорганизации поверхностных явлений формируют рациональные для эксплуатации параметры поверхности [7, 8].

Таким образом, управляя характеристиками электромагнитного поля, можно изменять преимущественную фазу работы абразивных зерен с микрорезания и царапания на пластическое, упругое деформирование и выглаживание.

Summary

Parameters of strained condition, quality of surface layer and efficiency of magnetic-abrasive treatment of parts with wear resistance facing have been examined.

Литература

1. Ящерицын П. И., Забавский М. Т., Кожуро Л. М., Акулов и ч. Л. М. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. Мн., 1988.
2. Кожуро Л. М., Чемисов Б. П. Обработка деталей машин в магнитном поле. Мн., 1995.
3. Ящерицын П. И., Борисенко А. В., Хейфец М. Л. // Весці АН Беларусі. Сер. фіз. -тэхн. навук. 1992. № 1. С. 48-53.
4. Ящерицын П. И., Кожуро Л. М., Хейфец М. Л., Сенчило И. А. // Докл. АН Беларусі. 1995. Т. 39, № 1. С. 117-120.
5. Ящерицын П. И., Махаринский Е. И. Планирование эксперимента в машиностроении. Мн., 1985.
6. Технологические остаточные напряжения/Под ред. А. В. Подзея. М., 1973.
7. Хейфец М. Л. // Докл. АН Беларусі. 1995. Т. 39, № 2. С. 109-113.
8. Хейфец М. Л., Ящерицын П. И. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1995. № 4. С. 61-72.

Физико-технический институт
АН Беларусі,

Белорусский республиканский НПК
"Порошковая металлургия",

Белорусский аграрный технический университет,
Полоцкий государственный университет

Поступила в редакцию
29.08.96