

Таким образом, ППД покрытий формирует в системе покрытие-основа напряжения сжатия. Величина остаточных напряжений сжатия зависит от химического состава порошка. Шлифование и магнитно-абразивная обработка покрытий увеличивают градиент напряжений. Верхние слои покрытий толщиной до 50–100 мкм представляют собой зону с большими градиентами напряжений, средние – толщиной 100–200 мкм – зону с малыми градиентами напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витязь П.А., Ивашко В.С., Ильющенко А.Ф. и др. Теория и практика нанесения защитных покрытий. – Мн.: Беларуская навука, 1998. – 583 с. 2. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойствами плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с. 3. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн.: УП “Технопринт”, 2000. – 268 с.

УДК 621.923.7

С.Л. КОЖУРО, В.Л. ШАДУЯ

ОПТИМИЗАЦИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ПОКРЫТИЙ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Исследование включало установление влияния основных технологических факторов магнитно-абразивной обработки (МАО) на величину и знак остаточных напряжений I-го рода (макронапряжений) и остаточных напряжений II-го рода (микронапряжений), а также многопараметрическую оптимизацию МАО по макро- и микронапряжениям при обработке покрытий, полученных электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД). Определение остаточных напряжений в образцах проводили методом рентгеноструктурного анализа. Использовали дифрактометр ДРОН-3М с ионизационным методом регистрации рентгеновских интерференционных максимумов. Съёмка велась в кобальтовом немонохроматизированном излучении.

Установление влияния технологических факторов МАО на остаточные макро- и микронапряжения, а также определение технологических факторов, обеспечивающих наилучшие физико-механические свойства поверхностного слоя покрытия, проводились при помощи метода математического планирования экспериментов. Применялся центральный композиционный ротатабельный равномерный план (ЦКРУП) второго порядка.

Эксперименты проводились на установке, предназначенной как для ЭМН с ППД, так и для MAO. В качестве образцов использовали кольца из стали 45 с наружным диаметром 40 мм, внутренним – 16 мм и высотой 12 мм, которые подвергали нормализации, а затем на них наносили покрытие из ферропорошка Fe-6,5 % Ст ЭМН с ППД и шлифовали алмазным кругом для получения шероховатости Ra = 1,25 мкм. Режимы наплавки и шлифования были выбраны согласно рекомендациям, представленным в работах [1, 2]. Среднее арифметическое значение знака и величины макронапряжений и микронапряжений десяти образцов соответственно составляло – 0,85 ГПа и 0,13 ГПа.

Независимыми переменными взяты следующие факторы: $X_1 = B$ – величина магнитной индукции в рабочем зазоре, Тл; $X_2 = t$ – время обработки, с; $X_3 = D$ – размер гранул порошка, мкм. Выбор этих факторов обусловлен тем, что, как показали исследования [3], они оказывают наибольшее влияние на физико-механические параметры качества поверхностного слоя, сформированного MAO. Функциями отклика служили параметры $Y_1 = \sigma_1$ – знак и величина напряжений I-го рода, ГПа; $Y_2 = \sigma_2$ – величина напряжений II-го рода. Постоянными опытов были приняты скорость резания $V_p = 1,5$ м/с, скорость осцилляции $V_{осц} = 0,2$ м/с, степень заполнения порошком рабочей зоны $K_3 = 1$; магнитно-абразивный порошок Ж15КТ; СОЖ – 5% водный раствор концентрата Syntilo R4.

Условия экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условия экспериментов

Факторы		B, Тл	t, с	Δ, мкм
		X_1	X_2	X_3
Уровень	Основной (0)	1,0	30	160
	Верхний (+1)	1,3	42	200
	Нижний (-1)	0,7	18	120
	Звездная точка (+α)	1,5	50	280
	Звездная точка (-α)	0,5	10	90
Интервал варьирования	Основной	0,3	12	40
	По α	0,5	20	70

Обработку данных, полученных по матрице ЦКРУП второго порядка, производили с помощью пакета прикладных программ MATHCAD PLUS 6.0 и MATHEMATICA 2.2, работающих в среде Windows.

Статистические модели, определяющие зависимость остаточных напряжений I-го и II-го порядка $Y_1 = \sigma_1$ и $Y_2 = \sigma_2$ от технологических факторов B, t, Δ в нормированном виде соответственно X_1, X_2, X_3 имеют следующий вид:

$$Y_1 = s_1 = -1,052 + 0,152X_1 + 0,049X_2 + 0,184X_3 + 0,026X_1X_2 + 0,154X_1X_3 + 0,16X_2X_3 - 0,162X_1^2 - 0,151X_2^2 - 0,054X_3^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = \sigma_2 = 0,182 + 0,024X_1 + 0,014X_2 + 0,052X_3 - 0,003 * X_1 X_2 - 0,003 * X_1 X_3 - 0,001 X_2 X_3 - 0,011 X_1^2 - 0,006 * X_2^2 + 0,022 X_3^2. \quad (2)$$

Значимость коэффициентов регрессии (1) и (2) проверяли по критерию Стьюдента: не все коэффициенты значимы с 95 %-ной доверительной вероятностью (* – незначимые коэффициенты). Адекватность уравнений регрессии (1) и (2) проверяли по критерию Фишера. Установлено, что модели адекватны при 10 %-ном уровне значимости.

Анализ статистической модели (1) показывает, что наибольшее влияние на уровень остаточных напряжений I-го рода оказывают магнитная индукция и размер гранул порошка. Обусловлено это тем, что при МАО наблюдается два вида деформирования металла: микрорезание со снятием тончайших стружек и выплаживание. Вследствие того, что при $V > 1$ Тл создается более жесткая и менее проницаемая для СОЖ масса порошка и резко повышается давление его на обрабатываемую поверхность, происходит переход от преобладающего микрорезания к выплаживанию. Это приводит к увеличению сил трения и соответственно количества тепла, выделяющегося в зоне обработки, что стимулирует развитие в поверхности растягивающих напряжений. Этим можно объяснить то, что зависимость $\sigma_1 = f(V)$ носит экстремальный характер.

С увеличением гранул порошка до определенного предела сжимающие напряжения должны возрастать, поскольку увеличиваются радиусы закругления вершин гранул порошка, что приводит к уменьшению глубины их внедрения в поверхность покрытия. В этом случае процесс микрорезания сменяется процессом частичного выплаживания поверхности, что и должно обуславливать повышение остаточных напряжений сжатия до определенного предела. Аналогичная закономерность происходит при увеличении времени обработки. В данном случае, очевидно, увеличение продолжительности обработки стимулирует за счет сил трения повышение температуры обрабатываемой поверхности. Поэтому зависимости $\sigma_1 = f(\Delta)$ и $\sigma_1 = f(t)$ также носят экстремальный характер.

Общезвестно, что остаточные напряжения II-го рода значительно влияют на прочность металлов и сплавов. Состояние высокой прочности сталей и сплавов характеризуется наличием больших искажений решетки. Разупрочнение сопровождается уменьшением искажений решетки. Остаточные напряжения II-го рода вызываются действием разных факторов [4].

Из анализа уравнения (2) следует, что наибольшее влияние на остаточные напряжения II-го рода как и на остаточные напряжения I-го рода оказывают магнитная индукция в рабочем зазоре и размеры гранул порошка, меньшее влияние оказывает время обработки.

Можно предположить, что зависимость остаточных напряжений II-го рода от технологических факторов V , t , Δ носит экстремальный характер, так как эта закономерность может быть объяснена действием рассмотренных выше явлений.

По степени влияния технологических факторов на параметры оптимизации их можно в порядке убывания значимости расположить в следующий ряд: $\Delta \rightarrow B \rightarrow t$.

Полученные уравнения регрессии (1) и (2) позволили методом многопараметрической оптимизации, используя обобщенную функцию желательности Харрингтона, определить следующий оптимальный режим МАО: $B = 1,2$ Тл, $t = 34$ с, $D = 200$ мкм, который обеспечивает в покрытии, полученном ЭМН с ППД ферропорошка Fe-6,5%Cr, остаточные напряжения сжатия I-го рода, равные 1,52 ГПа, и остаточные напряжения II-го рода, равные 0,29 ГПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. – Мн.: ФТИ НАНБ, 1997. – 416 с. 2. Кожуро Л.М., Чистосердов П.С., Ремизовский Э.И. и др. Шлифование металлов. – Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с. 3. Кожуро Л.М., Чемисов Б.П. Обработка деталей машин в магнитном поле. – Мн.: Навука і тэхніка, 1995. – 232 с. 4. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.

УДК 621.620.193

Ж. А. Мрочек, В. И. Арбузов, В. Л. Хартон

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Белорусская государственная политехническая академия

НПО "Фенокс"

Минск, Беларусь

Одной из многих проблем автомобилестроения является задача определения оптимальных методов защиты деталей и узлов автомобилей, работающих в агрессивной среде. Наибольшую ответственность за правильное решение этой задачи налагает выбор методов коррозионной защиты для деталей и узлов, обеспечивающих безопасность транспортного средства и человека, в т.ч. узлов тормозной системы. Решение этой задачи должно соответствовать требованиям обеспечения предусмотренной стандартами коррозионной стойкости узла, экономической целесообразности использования выбранного метода защиты деталей, увеличения их долговечности в условиях агрессивной среды, трения и износа. Решению этой задачи должны сопутствовать высокая производительность операций по осаждению защитных покрытий и невысокая стоимость расходных материалов.