

тынной зоны. // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан, Алматы, 2014, №4 (22) С. 34–36.

3. Насиев Б.Н., Жанаталипов Н.Ж. Бекалиев А.К., Сариев Е.М. Оценка деградации растительного покрова кормовых угодий полупустынной зоны. // Исследования, результаты. Алматы, 2012, №4, С. 61–64.

4. Евсеев В.А. Пастбища Юга-востока, Оренбург. – 1980 г.

5. Тоомре Р.И. Долголетние культурные пастбища. – М. изд-во «Колос», 1966. – 400 с.

6. Шелюто Б.В. Пастбищное хозяйство. Минск, 2012. – 184 с.

УДК 621.923

**Акулович Л.М., доктор технических наук, профессор,
Сергеев Л.Е., кандидат технических наук, доцент,
Дечко М.М., кандидат технических наук, доцент,
Сенчуров Е.В., Ковалевский Е.А.**

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Известно, что разрушение деталей начинается с контактирующих поверхностей. Поэтому повышение эксплуатационных свойств деталей машин во многом определяется совершенством технологических процессов их обработки [1]. Важную роль в формировании физико-механических свойств и геометрических параметров поверхностного слоя играют методы финишной обработки, от способа реализации которых зависит также ряд технико-экономических показателей (работоспособность, долговечность, себестоимость). В свою очередь степень воздействия того или другого способа обработки на свойства поверхностного слоя зависит от технологических режимов, поскольку их различное сочетание может привести к разнообразным результатам как по точности, так и по качеству поверхностного слоя. При финишной обработке, как и при других видах механической обработки, выявление взаимного влияния технологических режимов приходится проводить опытным путем и устанавливать его количественное значение через поиск эмпирических формул. Установление и анализ эмпирических зависимостей является одним из наиболее широко используемых методов исследования способов финишной обработки резанием, в том числе и магнитно-абразивной обработки (МАО) [2]. Исследования по методу многофакторного планирования экспериментов [3] производится путем изучения функции отклика при изменении ряда варьируемых факторов и фиксации остальных, статистической проверкой адекватности аппроксимирующих функций, их последующего анализа, построением графиков, таблиц и т. п. Математические методы планирования экспериментов представляют собой надежное средство рациональной организации научно-исследовательских и опытно-технологических работ [3], так как сокращают сроки экспериментальных исследований и повышают эффективность поиска функциональных зависимостей.

Целью данного исследования является определение способа поиска оптимального сочетания технологических режимов МАО поверхностей деталей для достижения высоких показателей качества и точности.

Для нахождения функции отклика используют метод регрессионного анализа [3, 4], который позволяет найти коэффициенты регрессионного уравнения, отражающего искомую зависимость нормально распределенной случайной величины с постоянной дисперсией от независимых переменных факторов. Однако исследования МАО, например, цилиндрических

радиусных поверхностей беговых дорожек шариковых подшипников 1000812 ГОСТ 8338-75 геометрические параметры которых имеют более сложную зависимость от технологических режимов МАО, выявило неадекватность регрессионных моделей второго порядка в выбранном диапазоне варьирования факторов. Поэтому для представленных исследований в качестве регрессионных моделей взяты полиномы третьего порядка. В данной работе решена задача моделирования и оптимизации технологических режимов МАО радиусных цилиндрических поверхностей (канавок под уплотнительные кольца, беговых дорожек шариковых подшипников и т. п.) с помощью регрессионного анализа.

В качестве параметра оптимизации выбрана шероховатость обработанной поверхности $Y_1 = Ra$, мкм.

Исследовано влияние факторов технологии МАО, шероховатости поверхности перед МАО и времени обработки:

$X_1 = V_p$, м/с – скорость резания (скорость вращения заготовки);

$X_2 = V_o$, м/с – скорость осцилляции (скорость возвратно-поступательного движения полюсных наконечников относительно обрабатываемой поверхности);

$X_3 = B$, Т – величина магнитной индукции;

$X_4 = A$, мм – амплитуда осцилляции полюсных наконечников;

$X_5 = Ra_0$, мкм – шероховатость поверхности детали до МАО;

$X_6 = t$, с – время обработки.

Для проведения эксперимента был выбран композиционный ротатабельный равномерный план. Для оценки воспроизводимости опытов в каждой точке плана выполнено трёхкратное дублирование опытов.

Анализ функций распределения экспериментальных значений полученной шероховатости и производительности показал существенное отклонение от нормального закона вследствие сильной левосторонней асимметрии. Для приближения полученных распределений к нормальному закону выполнено логарифмическое преобразование экспериментальных значений исследуемых режимов, то есть искомые коэффициенты b_i находят для уравнения, представленного в экспоненциальной форме. В результате статистического анализа значимости коэффициентов регрессии и адекватности полученного уравнения установлена зависимость параметра шероховатости Ra от факторов магнитно-абразивной обработки вида:

$$Ra = \exp \left(\begin{array}{l} -2,4217 + 0,0941X_1 + 0,1337X_2 - 0,1814X_3 + 0,2772X_4 + 0,2788X_5 + 0,0497X_6 - \\ -0,0678X_1X_6 + 0,1431X_2X_3 - 0,2166X_2X_4 - 0,0731X_4X_5 - 0,0617X_4X_6 + \\ +0,0688X_1X_2X_3 + 0,0643X_1X_2X_4 - 0,1218X_2X_3X_4 - 0,0484X_2X_3X_5 + \\ +0,1507X_1^2 + 0,0884X_2^2 + 0,1390X_3^2 + 0,0426X_4^2 + 0,0695X_5^2 + 0,0862X_6^2 - \\ -0,0425X_1^3 - 0,0213X_2^3 - 0,0130X_3^3 - 0,03086X_4^3 - 0,0265X_5^3 - 0,0214X_6^3 \end{array} \right).$$

Полученное уравнение представляет собой полином 3-ей степени от 6-ти варьируемых факторов в полулогарифмических нормированных координатах. Помимо главных факторов и их степеней статистически значимыми оказались некоторые парные и тройные взаимодействия, что говорит о сложном взаимовлиянии технологических режимов МАО на получаемую при обработке шероховатость поверхности. Поэтому аналитическая интерпретация полученной зависимости затруднительна и был выполнен поиск минимума функции численным методом. Оптимальные значения трёх факторов находятся на границе исследованных интервалов. Дальнейшее снижение шероховатости согласно полученному уравнению регрессии можно получить, если уменьшить скорость и амплитуду осцилляции, а магнитную индукцию увеличить.

Достижение минимальной шероховатости при варьировании скорости резания и времени обработки определяется областью минимума, расположенной в центре координатной

плоскости. Уменьшение времени обработки, как при увеличении, так и при уменьшении скорости резания, не позволяет осуществить снятие требуемого слоя материала, в особенности для сложнопрофильной поверхности типа беговой дорожки шарикоподшипника и канавок под уплотнительные кольца. Увеличение времени обработки при уменьшении скорости резания не приводит к снижению шероховатости из-за падения мощности резания. В случае роста скорости резания достижение минимальной шероховатости не происходит по причине либо недостаточной мощности резания, либо проявления эффекта проскальзывания, рисунок.

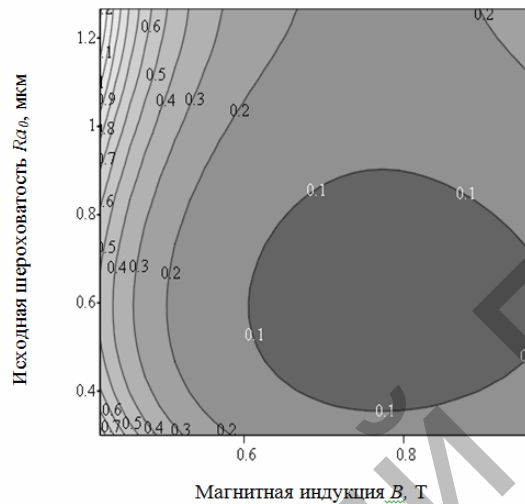


Рисунок. Зависимость шероховатости обработанной поверхности Ra от магнитной индукции и начальной шероховатости

Наличие низкой исходной шероховатости, как при увеличении, так и при уменьшении магнитной индукции, приводит к увеличению шероховатости после обработки, так как режущий контур ферроабразивных частиц имеет больший размер, чем шаговый и высотный параметры исходной шероховатости. Важный аспект такого явления заключается в сложном профиле обрабатываемой поверхности, вследствие чего давление ферроабразивной «щетки» и его распределение носит стохастический характер. Повышение исходной шероховатости гарантирует создание присущего процессу MAO микрорельефа, наиболее приближенного к приработанному при малых значениях параметра шероховатости Ra .

По результатам оптимизации можно сделать следующий вывод: для снижения шероховатости обработанной поверхности Ra при учете скоростей резания и осцилляции, времени обработки и исходной шероховатости необходимо обеспечить следующие значения технологических режимов: $V_0 = 0,6-1,0$ м/с, $V_p = 2-4$ м/с, $t = 40-70$ с, $Ra_0 = 0,4-0,8$ мкм.

Список использованной литературы

1. Ящерицын, П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Минск : Вышэйшая школа, 1990. – 512 с.
2. Коновалов, Е.Г. Чистовая обработка деталей в магнитном поле ферромагнитными порошками / Е.Г. Коновалов, Г.С. Шулев. – Минск : Наука и техника, 1967. – 125 с.
3. Монтгомери, Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д.К. Монтгомери. – Л. : Судостроение, 1980. – 380 с.
4. Гайдышев, И.П. Моделирование стохастических и детерминированных систем: Руководство пользователя программы AtteStat / И.П. Гайдышев. – Курган, 2013. – 484 с.