

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ФИНИШНОЙ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКОЙ**

*Сергеев Л.Е.*

Белорусский государственный аграрный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время формообразование поверхностей сложного профиля осуществляют на станках с ЧПУ, однако для финишной абразивной обработки требуется создание дорогостоящих специальных инструментов, у которых профиль режущей кромки должен геометрически или программно отражать топографию обрабатываемой поверхности. При обработке таким инструментом поверхностей с переменной кривизной изменяются значения фактических углов резания, поскольку вектор обрабатываемой поверхности и скорости резания на различных участках контура деталей имеют разное направление. В результате на отдельных участках обрабатываемых поверхностей возникают геометрические погрешности формы и разброс величин параметров шероховатости, что приводит к снижению показателей качества и требует дополнительных доводочных операций. Альтернативным вариантом финишной обработки сложнопрофильных поверхностей вращения могут быть технологии с использованием концентрированных потоков энергии, одной из которых является магнитно-абразивная обработка (МАО) [1]. Ранее проведенные исследования позволили создать технологии МАО и оборудование для ее реализации, в основном, деталей простой геометрической формы. Что касается сложнопрофильных поверхностей, то достигнутый уровень исследований позволил разработать технологии МАО, базирующиеся на использовании больших кольцевых зазоров. Однако такой подход является энергоемким и неэффективным из-за низкой производительности, использования крупногабаритных электромагнитных систем (ЭМС), большого расхода дорогостоящего ферроабразивного порошка (ФАП).

Исследования МАО сложнопрофильных поверхностей ограничиваются обработкой инструмента лезвийного (Барон Ю.М., Майборода В.С., Иконников А.М.) и медицинского (Кожуро Л.М., Сакулевич Ф.Ю.), лопаток газотурбинных двигателей (Майборода В.С., Хомич Н.С.). Остаются нерешенными вопросы интенсификации процесса МАО сложнопрофильных поверхностей, стойкости РТС, расчета конформности зоны обработки, оптимальности конструкции технологического оборудования, влияния технологических режимов на точность и производительность обработки и физико-механические и эксплуатационные свойства изделий. Одним из основных факторов, существенно влияющим на ход процесса МАО и в значительной мере определяющим производительность и качество является состав и свойства рабочей технологической среды (РТС), включающей электромагнитное поле (ЭМП), ФАП и смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС).

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены аналитические зависимости величины давления ферроабразивной «щетки» от степени конформности геометрического профилирования полюсных наконечников для обеспечения высокоэффективной обработки методом МАО. Таким образом, определяется сила, с которой ферроабразивная «щетка» воздействует на каждый локальный участок обрабатываемой поверхности. Предложена методология научно обоснованного выбора рационального метода расчета топографии магнитного поля матричными формами представления системы уравнения Максвелла. Использование этих положений позволяет установить связь между магнитной индукцией  $B$  и напряженностью магнитного поля  $H$  через тензоры магнитной проницаемости и аналитическим путем определить градиент величины  $B$  или  $H$  для поля внутри разрыва магнитопровода с целью расчета параметров электромагнитной системы.

В этом случае поле на  $i$ -той границе внутри ограниченной ими области можно описать следующим образом

$$H_1^i = H_n^i(x_1) \sin(\alpha) + H_\tau^i(x_1) \cos(\alpha) = \rho_i(x_1) \frac{f_i'(x_1)}{\sqrt{1+f_i'(x_1)^2}} + q_i(x_1) \frac{1}{\sqrt{1+f_i'(x_1)^2}},$$

$$H_2^i = H_n^i(x_1) \cos(\alpha) + H_\tau^i(x_1) \sin(\alpha) = \rho_i(x_1) \frac{1}{\sqrt{1+f_i'(x_1)^2}} + q_i(x_1) \frac{f_i'(x_1)}{\sqrt{1+f_i'(x_1)^2}}.$$

Перспективным методом изготовления ФАП является способ литья, поскольку соответствующим подбором легирующих элементов, режимов распыления и затвердевания регулируется структура, морфология и размерность частиц. Проблемный характер получения композиций Fe-TiC и Fe-VC данным методом по причине их быстрой окисляемости и высокой вязкости решен контролем защитной атмосферой в промышленных условиях. Разработан способ получения ФАП на основе карбидов бора и железа, что обеспечивает при требуемых значениях концентрации C и Fe высокую прочность, требуемую морфологию и магнитные свойства. Проведенные испытания на латуни Л63, бронзе БрАЖ9, дуралюминии Д16, титановом сплаве ВТ1 показали увеличение производительности и качества обработанной поверхности в 1,5–1,7 раза по сравнению с Ж15КТ. Высокая износостойкость и необходимые магнитные характеристики достигнуты созданием ФАПР С-300 на основе появления трех видов эвтектики: двойных Y+VC и Y+M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> и тройной Y+VC+M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили разработать на базе имеющихся составов эффективные и менее дорогостоящие СОТС с использованием отечественных продуктов, основой которых служат сульфиды и их комплексы. Наличие разности электрических потенциалов между зернами порошка и обрабатываемой поверхностью объясняет более резкое, чем в других видах абразивной обработки увеличение производительности в присутствии химически активных СОТС поскольку активизируется протекание химических реакций на обрабатываемой поверхности с образованием легко удаляемых химических пленок.

Самоорганизация процессов микрорезания и трения в электромагнитном поле обеспечивает увеличение производительности и упрочнения поверхностного слоя. В результате проведенных исследований установлены обратные связи в технологической системе: положительная при формировании поверхности или отрицательная при упрочнении поверхностного слоя. С увеличением времени обработки остаточные напряжения сжатия возрастают и измельчаются блоки когерентного рассеяния, целесообразной является длительность обработки  $60 \text{ с} < t < 70 \text{ с}$ . Для формирования геометрических и физико-механических параметров качества благоприятной является магнитная индукция  $0,9 \text{ Тл} < B < 1,1 \text{ Тл}$ . Экспериментально установлено, что наиболее эффективен рабочий зазор  $0,6 \text{ мм} < \delta < 1,0 \text{ мм}$ .

В результате использования данного процесса обработки достигается повышение показателей микротвердости по сравнению с исходной в среднем на 20% при глубине ее распределения на 15–30 мкм. Установлено, что топография обработанной поверхности определяется качественными характеристиками обрабатываемого материала и минимальная высота микронеровностей обеспечивается при следующих режимах МАО: магнитная индукция – 0,9–1 Т; скорость резания – 1–1,5 м/с; скорость осцилляции – 0,2–0,25 м/с; амплитуда осцилляции – 0,5–1 мм. Определены величины размерного съема материала при МАО сложнопрофильных поверхностей вращения, которые составляют 20–30 мкм, что приводит к обеспечению требуемых физико-механических характеристик. Использование металлографического анализа поверхности деталей показало образование высококачественной структуры, что определяется равномерным распределением и требуемой дисперсностью аустенита в поверхностном слое. Блоки когерентного рассеяния обладают более высокими значениями, что с ростом напряжений I и II рода положительно влияет на характер и текстуру обрабатываемой поверхности. Содержание остаточного аустенита в данном слое, составляющим 50–100 мкм снижается в среднем в 1,4 раза по сравнению со шлифованием.

В результате испытаний на износостойкость штоков гидроцилиндров методами МАО и шлифования установлено, что применение МАО обеспечивает уменьшение момента трения в среднем на 0,7 Нм, температуры на 8°C и коэффициента трения на 15–20%. В ходе исследований установлено влияние защитных слоев, полученных токарной обработкой, шлифованием и магнитно-абразивной обработкой, на коррозионные свойства закаточных роликов. Образец после МАО, выдержавший 336 часов, имеет покрытие продуктами коррозии только на 12% в отличие от остальных образцов – после токарной обработки, после термообработки и после шлифования, процент покрытия продуктами коррозии которых составил 32, 22, 18.

Предложены наборы компонентов РТС (ФАП, СОТС, ЭМП) как традиционно применяемых, так и вновь разработанных при учете их химической инертности, пенообразующей способности. Например, для скругления острых кромок зубчатых колес из конструкционных и легированных сталей необходимо использовать РТС, включающиеся ФАП на основе боридов железа, СОТС на

основе эмпикиола и ЭМП 0,6–0,9 Т. Перспективы развития МАО находятся в области интенсификации процесса управлением режимами обработки и магнитной индукции ЭМП, а также использованием новых режущих материалов и СОТС в виде.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Сакулевич, Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф. Ю. Сакулевич. – Мн. : Наука и техника, 1981. –326 с.

УДК 621.926

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ ВИБРОВАЛКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ**

*Сотник Л.Л., Дремук В.А.*

Барановичский государственный университет  
Барановичи, Республика Беларусь

Вибрационные машины находят применение в различных сферах производства. Внедрение вибротехники в промышленности осуществляется достаточно высокими темпами, так как существующие средства механизации оказались неконкурентоспособными с новой вибрационной техникой [1].

Одним из самых важных элементов определяющих надежность вибрационной машины с эксцентриситетом является подшипниковый узел. Наиболее часто встречающиеся отказы в работе таких машин связаны с поломкой подшипников. Основным типом повреждений подшипников является износ рабочих поверхностей. Работоспособность подшипника будет зависеть от интенсивности и характера изнашивания рабочих поверхностей подшипников и изменения вибрационного состояния, т. к. изнашивание сопровождается появлением дополнительных переменных нагрузок на элементы конструкции агрегата. Как известно, надёжность напрямую зависит от вибрационного состояния [2].

Вибрационные машины относятся к агрегатам с наиболее неблагоприятными условиями и режимами работы подшипников. Специфика режима работы подшипника определяется следующими факторами [3]:

- значительные инерционные нагрузки, вызывающие колебательное движение подшипников вместе с машиной;
- высокие удельные радиальные нагрузки, создаваемые дебалансами, достигающие значения более 10% динамической грузоподъемности подшипника;
- высокие частоты вращения, составляющие 1000...6000 об/мин;
- запыленность и загрязненность окружающей среды. Отсутствие возможности подвода централизованной смазочной и охлаждающей жидкости, а также ремонта подшипникового узла на месте эксплуатации.

Таким образом, проблема надежности подшипниковых опор вибрационных механизмов измельчительных устройств, существует с момента их создания, и будет существовать, пока они используются. Причины этого лежат в сложности