

УДК 621.791.93: 621.81

## **ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕЦИЗИОННОГО МЕХАНО-ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

*С.А. Чижик, Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси,  
Л.М. Акулович, Белорусский государственный аграрный технический университет,  
Институт прикладной физики НАН Беларуси,*

*В.И. Лавриненко, Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,  
В.С. Майборода, Национальный технический университет Украины «КПИ им. И.Сикорского»  
С. Иваишу, Н. Казак, Институт прикладной физики АН Молдовы*

Разнообразие условий работы узлов трения обусловило появление множества способов упрочнения и восстановления размеров изнашиваемых поверхностей. Выбор технологии упрочнения и размерной обработки восстановленных поверхностей определяется условиями эксплуатации изделия. Одним из наиболее экономичных решений данной проблемы является использование поверхностного модифицирования деталей трибосопряжений с последующей финишной обработкой, а также разработка новых комбинированных способов, использующих совмещение различных технологических воздействий. Электромагнитные потоки наиболее просты в управлении и в этой связи особенно перспективны при создании установок для комбинированной упрочняюще-размерной технологии.

Предпочтительными являются технологии, пригодные как для упрочнения новых, так и для восстановления изношенных изделий. При этом учитываются возможность создания на детали такого покрытия, которое удовлетворяло бы эксплуатационным требованиям к рабочей поверхности и сохраняло бы физико-механические свойства основы. Одним из таких способов является магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ), позволяющее осуществлять поверхностное упрочнение и восстановление металлических поверхностей.

МЭУ имеет ряд существенных достоинств: не требуется специальной подготовки поверхности

перед упрочнением; отсутствует температурная деформация детали; управление технологическими режимами производится достаточно просто.

Вместе с тем для процесса МЭУ свойственна неравномерность распределения по упрочняемой поверхности отдельных вкраплений материала композиционного ферромагнитного порошка (ФМП), вызванная спонтанным формированием токопроводящих цепочек из зерен ФМП и, как следствие, местом возникновения электрических разрядов. Это приводит как к снижению сплошности наносимого покрытия, так и к неэффективному использованию упрочняющего порошка.

Проведенные исследования процесса МЭУ были направлены на интенсификацию нанесения покрытий управлением электрическими разрядами, изменяющими усилия прижима зерен ФМП к упрочняемой поверхности. Однако комплексное влияние параметров магнитного поля, электрической проводимости рабочего зазора между упрочняемой поверхностью и полюсным наконечником магнита, на обеспечение сплошности наносимого покрытия, а затем на его износостойкость не установлена. Кроме того, на износостойкость упрочненной поверхности существенное влияние оказывают геометрические параметры качества, формируемые при ее последующей обработке.

Одним из эффективных методов повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей является комбинирование МЭУ и магнитно-абра-

зивной обработки (МАО). Эти способы магнито-электрофизической обработки могут быть реализованы на одном оборудовании (рис. 1), в едином технологическом процессе.

К преимуществам МЭУ относятся высокая прочность сцепления покрытия с основой, отсутствие термической деформации и специальной подготовки поверхностей. Достоинствами МАО являются возможности управления плотностью и жесткостью режущего инструмента из зерен ферромагнитного порошка (ФМП), которые обеспечивают параметр Ra шероховатости обрабатываемых поверхностей в диапазоне 0,01 – 1 мкм, снижение волнистости в 8 – 10 раз и гранности до 2 раз.

Целью проведенного исследования являлось повышение износостойкости и контактной жесткости рабочих поверхностей деталей комбинированной магнито-электрофизической обработкой, сочетающей процессы магнито-электрического упрочнения и магнито-абразивной обработки шлифованной после упрочнения поверхности.

В результате исследований рассмотрены комбинированные методы и технологии нанесения покрытий на металлические поверхности электроискровыми разрядами и упрочняющей абразивной обработки в магнитном поле. Показаны возможности повышения износостойкости ме-

таллических поверхностей совместными методами легирования поверхностного слоя детали магнито-электрическим упрочнением и уменьшения его шероховатости магнито-абразивной обработкой.

Получены математические модели в виде многофакторных регрессионных уравнений второго порядка, адекватно описывающие: зависимости производительности процесса упрочнения и сплошности формируемых покрытий из ферромагнитного порошка Fe-2%V на поверхностях образцов из стали 30ХГС от технологических факторов магнито-электрического упрочнения, а также зависимости производительности процесса и изменения шероховатости шлифованных поверхностей этих образцов от технологических факторов магнито-абразивной обработки. Определены рациональные технологические режимы процессов магнито-электрического упрочнения и магнито-абразивной обработки по различным критериям оптимальности, характеризующим производительность и качество обработки.

Выявлено, что наибольшее влияние на производительность процесса магнито-электрического упрочнения и сплошность формируемого покрытия оказывает величина магнитной индукции в рабочем зазоре. Анализ полученных зависимо-

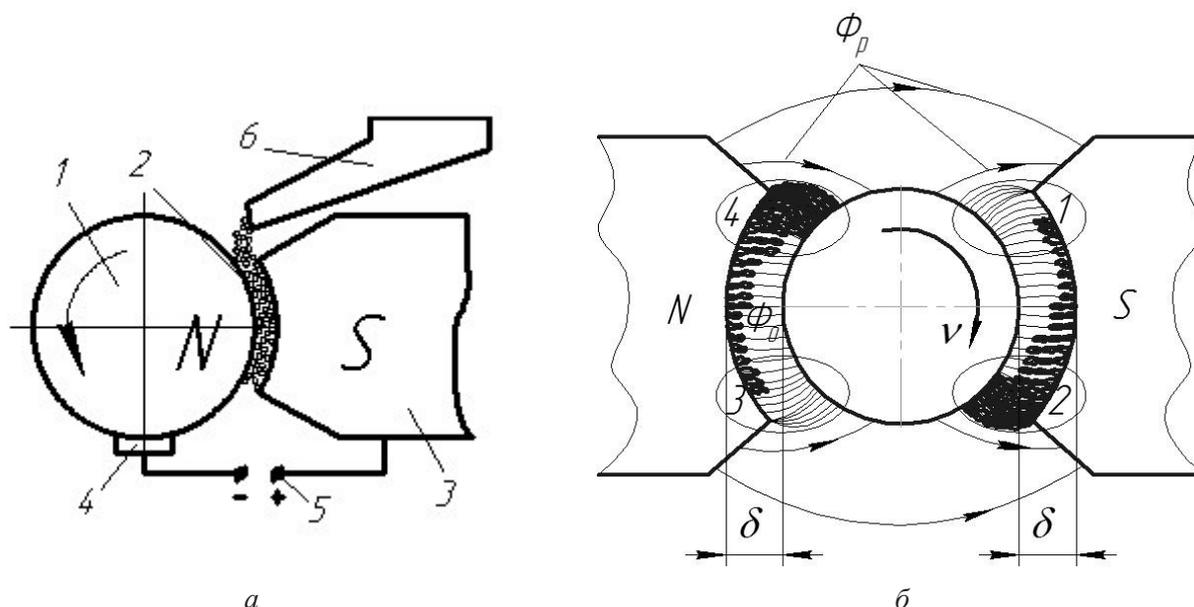


Рис. 1. Схемы магнито-электрофизической обработки наружных цилиндрических поверхностей в магнитном поле: МЭУ (а), МАО (б):

1 – заготовка, 2 – токопроводящие «цепочки» из ФМП, 3 – полусферический наконечник магнита, 4 – скользящий контакт, 5 – источник технологического тока, 6 – бункер-дозатор ФМП,  $\Phi_0$  – основной магнитный поток,  $\Phi_p$  – поток рассеивания,  $\delta$  – рабочие зазоры, 1–4 – зоны формирования режущего инструмента

стей с экстремумами показывает, что с увеличением магнитной индукции наиболее интенсивно возрастает сплошность покрытия и повышается производительность процесса упрочнения. Такой характер изменения исследуемых параметров объясняется одновременным формированием множества токопроводящих цепочек-микроэлектродов с различной электрической проводимостью, ряд которых имеют направление, непараллельное силовым линиям магнитного поля в рабочем зазоре. Поэтому в результате одновременного разнонаправленного действия сил магнитного поля на цепочки-микроэлектроды, а также взаимодействия токов в цепочках и увеличения магнитной индукции в рабочем зазоре, происходит их разрыв до момента начала расплавления зерен ферромагнитного порошка.

Установлено, что наибольшее влияние на производительность магнитно-абразивной обработки оказывает скорость главного движения, а вторым по значимости фактором является время обработки. Интенсивность съема металла магнитно-абразивной обработкой со шлифованной поверхности детали линейно уменьшается в те-

чение времени обработки, однако временной фактор взаимодействует со скоростью главного движения и интервалами включения дополнительной магнитной системы. Поэтому уменьшение это можно «затормозить», если при больших скоростях обработки применять малые интервалы подключения дополнительной магнитной системы.

Определено, что износостойкость покрытий из ферромагнитного порошка ФБХ-6-2, сформированных магнитно-электрическим упрочнением с последующим шлифованием и магнитно-абразивной обработкой в 1,7 – 1,9 раза выше износостойкости эталона из термообработанной Стали 45, а износостойкость покрытий из порошка ФМП Fe-2%V по сравнению с эталоном больше в 1,3 – 1,5 раза. В этой связи для пар трения скольжения рекомендована упрочняющая технология с нанесением покрытия из ферромагнитного порошка ФБХ-6-2 магнитно-электрическим упрочнением и последующее шлифование с магнитно-абразивной обработкой, а для неподвижных соединений, целесообразна та же технология с нанесением покрытия порошком ФМП Fe-2%V.