

## ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКОВ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В УСТРОЙСТВАХ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ

*Студенты – Щурский Д.С., 29 тс, 4 курс, ФТС;  
Матяс Д.С., 30 тс, 4 курс, ФТС*

*Научный  
руководитель – Миранович А.В., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

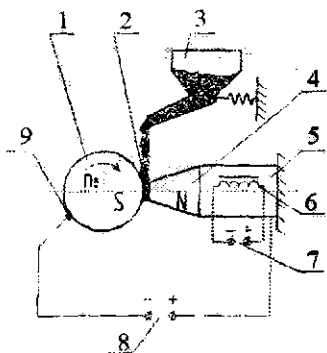
В процессе магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) поверхностей деталей машин энергии технологического тока оказывает сопутствующее воздействие энергия внешнего магнитного поля, обеспечивающая связку частиц композиционного ферромагнитного порошка (ФМП) и поддержание их в подвижно-связанном и скоординированном состоянии в рабочей зоне. В устройствах МЭУ различный характер внешнего магнитного поля в рабочем зазоре (РЗ) создается с помощью магнитной системы (МС), которая состоит из следующих элементов: источника внешнего магнитного поля – электромагнитной катушки (ЭМК), магнитопровода, полюсного наконечника, механизма регулирования размеров рабочего зазора, источника питания ЭМК [1, 2].

Магнитная система наиболее распространенных однополюсных установок МЭУ на наружные поверхности деталей типа тела вращения (рисунок) представляет собой электромагнит, в состав которого входят следующие элементы: электромагнитная катушка; источник питания ЭМК; магнитопровод, состоящий из ферромагнитного сердечника прямоугольного или круглого сечения и сменного полюсного наконечника; электроконтактные устройства [2, 3]. При этом полюсный наконечник жестко соединяется с сердечником электромагнита (ЭМ) или крепится на пластинчатой пружине и располагается с зазором относительно сердечника. Питание ЭМК осуществляется выпрямленным пульсирующим и выпрямленным постоянным электрическим током. Импульсный характер напряжений

позволяет получить магнитной системой в рабочем зазоре величиной 0,5-2,0 мм периодически изменяющуюся во времени величину магнитной индукции со средним значением в пределах 0,1-1,4 Тл.

Так, опыт применения различных по конструктивным особенностям магнитных систем с ЭМ в устройствах МЭУ показывает, что они ограничивают доступ к исполнительным механизмам в рабочей зоне и увеличивают ее габариты, требуют отдельного источника питания для ЭМК и их герметизации.

При этом различие режимов работы импульсных источников электрического и магнитного полей в устройствах для магнитно-электрического упрочнения не в полной мере позволяет синхронизировать во времени подачу в рабочую зону импульсов магнитной энергии и разрядного тока [1]. Вследствие этого нарушается устойчивость и стабильность процесса упрочнения, что отражается на качестве покрытий [3].



1 – заготовка детали; 2 – ферромагнитный порошок; 3 – бункер-дозатор;  
 4 – полюсный наконечник; 5 – сердечник электромагнита;  
 6 – электромагнитная катушка; 7 – источник питания электромагнитной катушки;  
 8 – источник технологического тока; 9 – скользящий контакт  
 Рисунок – Принципиальная схема МЭУ на детали типа тела вращения

Решить проблему стабилизации процесса нанесения покрытий возможно за счет обеспечения в рабочей зоне устройств МЭУ постоянной во времени величины магнитной индукции, а также устойчивой обратной связи разрядного тока и напряжения с изменяемыми технологическими параметрами. Для этого предлагается применять электромагнитные системы с постоянными

магнитами (ПМ) и инверторным источником регулируемого импульсного сварочного тока и напряжения [2, 3].

*Цель исследований* – обеспечить стабильность качества покрытий, полученных магнитно-электрическим упрочнением, путем стабилизации магнитной составляющей при энергетическом воздействии на обрабатываемую поверхность.

*Оборудование и методика исследований.* Исследование проводилось на образцах с покрытиями из композиционных порошков Н70Х17С4Р4, Fe-5%V и ФБХ 6-2, полученными МЭУ с использованием установок с магнитными системами на электрических магнитах и постоянных.

Для нанесения покрытий в переменном магнитном поле использовалась установка модели ЭУ-5 с ЭМ. Для МЭУ в постоянном магнитном поле использовалась установка УНП-1 с ПМ. В качестве источника технологического тока использовался сварочный инвертор Invertec V270-T, микропроцессорная система управления которого позволяла устанавливать технологический ток в диапазоне 70 – 270 А. Режим упрочнения варьировался в следующих пределах: плотность разрядного тока составляла  $i = 1,8 - 2,4 \text{ А/мм}^2$ ; расход композиционного порошка  $q_n = 2,30 - 3,20 \text{ г/с}\cdot\text{мм}^2$ ; окружная скорость заготовки  $V = 0,08 - 0,1 \text{ м/с}$ ; магнитная индукция в рабочем зазоре  $B = 0,5 - 0,9 \text{ Тл}$ ; скорость подачи  $S = 0,20 - 0,35 \text{ мм/об}$ ; расход рабочей жидкости (СОЖ – Эмульсол Э-2Б)  $q_{ж} = 0,5 - 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{мм}^2)$ . Для определения оптимальных режимов МЭУ использовался комплексный показатель [1], в качестве которого была принята обобщенная функция желательности Харрингтона [4].

Изучение открытой пористости образцов проводилось на автоматическом анализаторе изображения «Mini MagiScan» фирмы «Joyce Loebel». Трещинообразование оценивалось с помощью микроскопа. В качестве количественного критерия принималась удельная длина трещин на поверхности площадью  $1,0 \text{ мм}^2$ .

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ результатов исследований показал (таблица 1), что открытая пористость покрытий, полученных магнитно-электрическим упрочнением на установках с МС на ЭМ и ПМ, находится в пределах 4,0–12,0 % и 2,0 – 9,0 % соответственно.

Таблица – 1 Открытая пористость покрытий из композиционных порошков

Материал покрытия	Открытая пористость, %					
	min	max	средняя	min	max	средняя
	МЭУ с применением МС на ЭМ			МЭУ с применением МС на ПМ		
H70X17C4P4	4,0	8,0	6,0	3,0	6,0	4,5
Fe-5%V	6,0	11,0	8,5	5,0	9,0	7,0
ФБХ-6-2	4,0	7,5	5,5	2,0	5,0	3,5

Сравнение результатов исследований (таблица 2) показало, что покрытия, полученные МЭУ на установках с МС на ЭМ и ПМ, имеют различную удельную длину трещин. В покрытиях, полученных с использованием ПМ, удельная длина трещин уменьшается в 1,75–2,2 раза.

Таблица – 2 Трещинообразование покрытий из композиционных порошков

Исследуемый параметр покрытия	МЭУ с применением МС на ЭМ			МЭУ с применением МС на ПМ		
	Покрытия из композиционных порошков					
	H70X17C4P4	Fe-5%V	ФБХ-6-2	H70X17C4P4	Fe-5%V	ФБХ-6-2
Удельная длина трещин, мкм/мм <sup>2</sup>	35,0	70,0	90,0	20,0	35,0	40,0

В результате проведенных исследований установлено, что меньший предел значений открытой пористости и трещинообразования покрытий, полученных магнитно-электрическим упрочнением с применением ПМ, обеспечивается за счет уменьшения градиента плотности подводимого теплового потока и скорости охлаждения покрытий. Это достигается при следующем режиме МЭУ:  $q_{ж} = 2,30 \cdot 10^{-3} \text{ дж}^3/(\text{с} \cdot \text{мм}^2)$ ;  $i = 1,65 \text{ А/мм}^2$ ;  $S = 0,25 \text{ мм/об}$ ;  $B = 0,20 \text{ Тл}$ ;  $V = 0,055 \text{ м/с}$ ;  $q_{п} = 2,85 \text{ г/с} \cdot \text{мм}^2$ .

На основании полученных результатов исследований структуры и свойств покрытий можно сделать следующие выводы:

1. Использование постоянных магнитов в устройствах магнитно-электрического упрочнения стабилизирует технологические параметры процесса и повышает качество покрытий.

2. Показано, что открытая пористость покрытий, полученных МЭУ с использованием установок с МС на ЭМ и ПМ, находится в пределах 4,0 – 12,0 % и 2,0 – 9,0 % соответственно.

3. Выявлено, что у покрытий, полученных МЭУ на установке с МС на ПМ по сравнению с МС на ЭМ, удельная длина трещин уменьшается в 1,75 – 2,2 раза, что объясняется увеличением длительности сохранения жидкой фазы в процессе кристаллизации капель расплава порошков в условиях ее скоростного охлаждения.

1. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.

2. Кожуро, Л. М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232 с.

3. Использование постоянных магнитов в устройствах электромагнитной наплавки / Ж.А. Мрочек [и др.] // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 75 – 84.

4. Ящерицын, П.И. Планирование эксперимента в машиностроении / П.И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Минск: Высшая школа, 1985. – 236 с.

УДК 621.941.1

## **РЕЗАНИЕ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

*Студент – Вырвич И.П., 17 лет, 1 курс, ФТС  
Научный*

*руководитель – Ворошуха О.Н., ассистент*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Физическая сущность метода обработки металлов резанием с опережающим пластическим деформированием (ОПД) заключается в целенаправленном изменении физико-механических свойств материала срезаемого слоя путём его предварительного деформационного упрочнения, осуществляемого в процессе резания дополнительным механическим источником энергии. Метод по своему содержанию является комбинированным и может быть реализован на многих операциях механической обработки, например при точении, фрезеровании и нарезании резьб. При точении и фрезеровании