

Испытательные стенды и условия проведения испытаний соответствовали ГОСТ 18464-96 и требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.086-83.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что использование метода МАО для штоков гидроцилиндров до и после хромирования обеспечивает высокое качество обработки для хромированных с  $Ra$  0,32–0,63 мкм до  $Ra$  0,2 мкм и до хромирования с  $Ra$  0,8 до  $Ra$  0,2 мкм.

1. Гаврилов, К.Л. Основы гидропривода дорожно-строительных и сельскохозяйственных машин: учеб. пособие / К.Л. Гаврилов. – СПб. : Деан, 2011. – 232с.

2. Санкович, Е.С. Гидравлика, гидравлические машины, гидроприводы: учеб.-метод. пособие / Е.С. Санкович, А.Б. Сухоцкий. – Минск: БГТУ, 2005. – 137 с.

3. Акулович, Л.М. Основы профилирования режущего инструмента при магнитно-абразивной обработке / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2014. – 280 с.

4. Коновалов, Е.Г. Чистовая обработка деталей в магнитном поле ферромагнитными порошками / Е.Г. Коновалов, Щулев Г.С. – Минск: Наука и техника, 1967. – 128 с.

УДК 621.762

## **СОЗДАНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УДАЛЯЕМЫХ АГЕНТОВ**

*Студент – Пыленок А.В., 17 рпт, 1 курс, ФТС*

*Научный*

*руководитель – Кусин Р.А., к.т.н., доцент*

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

Наиболее распространенными и эффективными способами повышения свойств пористых фильтрующих материалов (ФМ) на основе металлических порошков являются способы, направленные на создание градиентных структур, у которых размеры пор изменяются в направлении фильтрации [1-3]. Характерным представителем таких материалов являются двухслойные материалы, один слой у которых

образован мелкодисперсными частицами и обеспечивает необходимую тонкость очистки, второй – крупнодисперсными частицами и обеспечивает достаточную прочность и повышенную проницаемость ФМ. Однако, при формировании двухслойных материалов имеет место возникновение на границе слоев промежуточного слоя, так называемой «зоны перекрытия», в котором более мелкие частицы заполняют поровое пространство, образованное крупнодисперсными частицами [4, 5]. Одним из эффективных путей повышения свойств двухслойных ФМ является уменьшение толщины мелкодисперсного слоя [6, 7].

Представляют интерес результаты, полученные при исследовании нового процесса создания двухслойных ФМ, основанного на ионно-плазменном напылении в вакууме порошковой подложки с введенными в поверхностные поры порошковыми частицами удаляемого впоследствии агента. Данный способ позволяет получить на поверхности пористой подложки тонкое непрерывное покрытие, имеющее открытую пористость, частицы напыленного слоя имеют хороший контакт с частицами подложки и между собой, а полученные материалы имеют высокий комплекс свойств.

При изготовлении образцов методом ионно-плазменного напыления с использованием удаляемого агента из порошка оловянно-фосфористой бронзы с размерами частиц (-630 +400) мкм методом спекания со свободной насыпкой в атмосфере эндогаза при температуре 860 °С в течение 1 ч была изготовлена пористая подложка. С одной стороны подложки ее поверхностные поры заполняли удаляемым агентом – порошком NaCl с гранулометрическим составом (-40 +20) мкм. Для обеспечения более качественного сцепления частиц удаляемого агента между собой и с материалом основы в качестве связующего использовали 5 % раствор карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в воде. Соотношение КМЦ в смеси NaCl-КМЦ составляло 4 % (об.). Затем со стороны удаляемого агента методом ионно-плазменного напыления в вакууме на установке для нанесения вакуумных плазменных покрытий ННВ-6.6-И1 наносили медное покрытие толщиной 35 мкм, после чего NaCl удаляли растворением в воде и определяли средний размер пор и коэффициент проницаемости полученного образца.

Эксперименты показали, что предложенный метод позволяет получить на поверхности пористой подложки тонкое непрерывное покрытие (рисунок 1). Создание тонкого слоя на поверхности пористой подложки обеспечивается в первую очередь использованием удаляемого агента: фотографии поверхности образца в месте трещинообразования при изломе (рисунок 2) и излома в местах, где в процессе напыления находился удаляемый агент (рисунки 3) свидетельствуют, что после удаления удаляемого агента напыленный на его поверхность слой остается самостоятельной единицей в структуре двухслойного пористого материала (ПМ), достаточно прочно связанной с пористой подложкой.

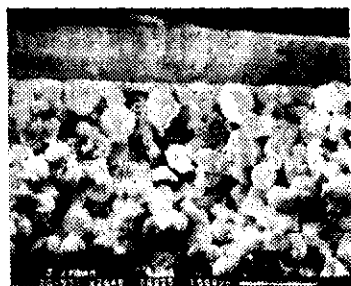


Рисунок 1 – Структура двухслойного ПМ

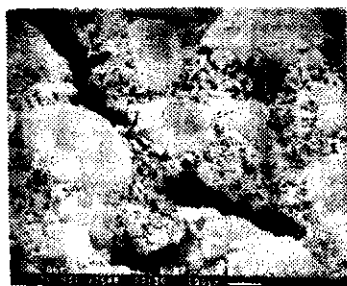


Рисунок 2 – Трещинообразование в месте излома экспериментального образца



*а*



*б*

Рисунок 3 – Фрактограмма хрупкого излома экспериментального образца в области удаляемого агента при различных увеличениях: *а* –  $\times 250$ ; *б* –  $\times 300$

Свойства изготовленных экспериментальных образцов двухслойных ПМ и образцов-аналогов приведены в таблице.

Таблица – Свойства двухслойных экспериментальных образцов и образцов-аналогов

Характеристики ПФМ	Технология получения ПФМ					
	Ионно-плазменное напыление в вакууме с использованием удаляемого агента		Формование порошков различных фракций		Ионно-плазменное напыление в вакууме без использования удаляемых агентов	
	Размер частиц удаляемого агента, мкм		Размер частиц мелкодисперсного слоя, мкм		Размер частиц порошка подложки, мкм	
	(-40+20)		(-200+160)	(-160+125)	(-630+400)	(-400+315)
	Размер частиц порошка подложки, мкм		Размер частиц порошка подложки, мкм			
	(-630+400)	(-400+315)	(-630+400)	(-400+315)		
Пористость, П, %	42	41	40	38	43	41
$d_{n \max}$ , мкм	63	49	60	42	220	140
$d_{n \text{ ср}}$ , мкм	38	27	38	27	170	120
$k, \text{ м}^2, \times 10^{-13}$	364	350	197	172	1400	900

Анализ представленных в таблице данных позволяет констатировать, что ионно-плазменное напыление в вакууме с использованием удаляемых агентов обеспечивает получение двухслойных ПМ с повышенным комплексом свойств: коэффициент проницаемости при одинаковом среднем размере пор у таких материалов более чем в 1,5 раза выше по сравнению с двухслойными ПМ, полученными методом формования порошков разных фракций.

1. Витязь, П.А. Пористые порошковые материалы: история создания, современное состояние и перспективные разработки / П.А. Витязь [и др.]. // 50 лет порошковой металлургии Беларуси. История, достижения, перспективы: ред. кол.: А.Ф. Ильющенко [и др.]. – Минск: ГНПО ПМ, 2010. – с. 251–320.

2. Ильющенко, А.Ф. Современные материалы в сельскохозяйственном машиностроении / А.Ф. Ильющенко [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2009. – 256 с.

3. Капцевич, В.М. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2007. – 232 с.

4. Кусин, А.Р. Повышение эффективности двухслойных порошковых проницаемых материалов / А.Р. Кусин, И.И. Черняк // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы респ. науч.-техн. конф. – Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», 2005. – С. 100.

5. Капцевич, В.М. Влияние зоны перекрытия на проницаемость двухслойных фильтрующих материалов / В.М. Капцевич [и др.] // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: Материалы докладов 9-й международной научно-технической конференции, Минск, Беларусь 29–30 сентября 2010 г. – Минск: ГНУ ИПМ, 2010. – С. 61–62.

6. Капцевич, В.М. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.] – БГАТУ, 2008. – 232 с.

7. Кусин, Р.А. Теория и практика создания эффективных порошковых фильтрующих материалов путем необратимого деформирования пористых тел и дисперсных систем/ Р.А. Кусин // Пористые проницаемые материалы: технологии и изделия на их основе: Материалы докладов Международного симпозиума 21–22 октября 2008 г., Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ НАН Беларуси, Минск, 2008 г. – Минск: ГНУ ИПМ, 2008. – С. 158–169.

УДК 621.793

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ УСТРОЙСТВ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

*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*

Известно, что устойчивость и стабильность процесса нанесения защитных покрытий обеспечивается согласованностью частоты и фазы следования импульсов напряжений электромагнитной системы (ЭМС) устройств магнитно-электрического упрочнения (МЭУ), состоящей из источника внешнего электромагнитного поля в рабочем зазоре (РЗ) и источника технологического тока (ИТТ) [1].

Так, в качестве источника внешнего электромагнитного поля в рабочей зоне устройств МЭУ применяют неуправляемые электромагниты (ЭМ) на выпрямленном или переменном (пульсирующем) токе.