

## ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение: Энцикл. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Т. IV-16/ И.П. Ксеневич, В.И. Варнаков, Н.Н. Колчин и др.; Под. ред. И.П. Ксеневича. – М.: Машиностроение, 2002.
2. Бетеня Г.Ф. Восстановление и упрочнение почворежущих элементов диффузионным намороживанием износостойкими сплавами. – Мин.: БГАТУ, 2003.
3. Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов: Обзор. информ. – М.: ЦНИИТЭИТракторосельхозмаш, 1992. – Сер. 2. Сельскохозяйственные машины и орудия. Вып. 3.
4. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М.: Машиностроение, 1995.
5. Панов И.М., Черепахин А.Н. Технический уровень почвообрабатывающих и посевых машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. – №8.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Н.В Спиридовон, д-р техн. наук, профессор; А.М. Авсиевич,  
канд. техн. наук; И.О. Сокоров; Л.И. Пилецкая; А.С. Володько  
УО «БНТУ»

(г. Минск, Республика Беларусь)

### Research wearstrength characteristics composite plasma and hardening coverings on the basis of iron

Durability of coupling and wear resistance plasma and hardening coverings from 4 compositions was investigated on the basis of iron at friction in abrasive weight under various conditions. Influence of major factors is established (mechanical, chemical, temperature) on wear resistance.

В данной работе исследовались композиции, составленные из порошков на основе железа, выпуск которых налаживается в Республике Беларусь. Использовались следующие составы:

- композиция №1 – порошок ПР-Х4Г2Р4С2Ф;
- композиция №2 – порошок ПР-Х18Н9;
- композиция №3 -- смесь 1 объем ПР-Х4Г2Р4С2Ф + 1 объем ПР-Х18Н9;
- композиция №4 – смесь 1 объем ИР-Х4Г2Р4С2Ф + 1 объем ПР-10Р6М5.

Следует отметить, что порошок ПР-Х4Г2Р4С2Ф, содержащий бор и кремний, является самофлюсующимся.

В качестве методов нанесения покрытий использовались газопламенное и плазменное напыления с последующим оплавлением газовой горелкой.

Результаты испытания прочности сцепления покрытия с основным металлом приведены в таблице 1.

Таблица 1. Прочность сцепления композиционных покрытий

Материал покрытия	Метод нанесения	$\sigma$ , МПа
композиция 1	ПН+ГПО	185
	ГПН+ГПО	138
композиция 2	ПН+ГПО	162
	ГПН+ГПО	114
композиция 3	ПН+ГПО	130
	ГПН+ГПО	121
композиция 4	ПН+ГПО	178
	ГПН+ГПО	129

ПН – плазменное напыление, ГПН – газопламенное напыление, ГПО – газопламенное оплавление.

Следует отметить, что газопламенное напыление композиций давало нестабильные результаты, случалось отслоение покрытий, а разброс измеренных значений адгезии достигал 70%, заметно превышая аналогичный при плазменном напылении.

В целом, полученные результаты подтверждают теоретические прогнозы. Сцепление покрытий, напыленных плазменным методом, заметно выше, чем газопламенным, так как этот метод характеризуется большим энерговкладом, большей тепловой и кинетической энергией потока частиц, что существенно влияет на адгезию.

Анализ зависимости прочности сцепления покрытий от их химического состава показывает, что наибольшей адгезией обладает композиция 1 – чистый самофлюсующийся порошок, содержащий бор и кремний, а наименьшей – композиция 2, не являющаяся са-

мофлюсующейся. Это объясняется тем, что В и Si в процессе химических реакций связывают и удаляют с поверхности металла окисные пленки, повышая энергию активации поверхности.

Таким образом, максимальная прочность сцепления достигается при нанесении покрытий из порошков, обладающих самофлюсующимися свойствами, применении технологии с наибольшим энергетическим вкладом.

Испытания на абразивную износостойкость проводились методом трения по абразивному бруски. Варьируемые параметры – скорость скольжения и давление. Отдельные эксперименты для каждой композиции проводились под слоем воды. Величина износа измерялась весовым (г) и линейным (мкм) методами. Для ускорения испытаний увеличены скорости скольжения. Для получения значимых результатов число циклов испытаний установлено  $1 \cdot 10^6$  оборотов. Результаты испытаний сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты испытаний абразивной износостойкости композиций

Условие опыта	Композиция № 1		Композиция № 2		Композиция № 3		Композиция № 4	
	Г	МКМ	Г	МКМ	Г	МКМ	Г	МКМ
$V_{ck}=2 \text{ м/с}$ $P=0,1 \text{ МПа}$	2,1	120	3,2	190	2,8	170	2,0	110
$V_{ck}=2,6 \text{ м/с}$ $P=0,1 \text{ МПа}$	2,1	130	3,3	200	2,9	180	2,0	110
$V_{ck}=3,2 \text{ м/с}$ $P=0,1 \text{ МПа}$	2,2	140	3,4	200	2,9	180	2,0	110
$V_{ck}=2,6 \text{ м/с}$ $P=0,2 \text{ МПа}$	2,5	160	3,6	220	3,3	210	2,3	140
$V_{ck}=2,6 \text{ м/с}$ $P=0,3 \text{ МПа}$	2,9	180	3,8	250	3,5	230	2,7	170
$V_{ck}=2,6 \text{ м/с}$ $P=0,2 \text{ МПа}$ под водой	2,0	120	2,7	180	2,5	150	1,9	110

Из приведенных данных видно, что выбранные композиционные материалы ведут себя при изнашивании в среде мягкого абразива в целом также, как и стали. Зависимости износа I от скорости скольжения V и давления P аналогичны образцам из стали 45. С повышением скорости износ практически не увеличивается, а с ростом давления интенсивность изнашивания возрастает, подчиня-

ясь линейной зависимости (рис. 1 и 2). Зависимость износа от числа циклов испытаний  $n$  также имеет линейный характер (рис. 3).

Такие результаты, по-видимому, можно объяснить тем, что с повышением давления усиливается роль механического и теплового факторов износа, а рост скорости скольжения если и увеличивает тепловыделение, то довольно незначительно. Линейность зависимости износа от числа циклов нагружения объясняется отсутствием сколь-либо заметного влияния явления наклепа на изменение твердости покрытия, которая достигает 60 HRC для композиций 1, 3, 4, содержащих бор и кремний, и 57 HRC для композиции 2, хотя сам наклеп имеет место, и картина износа практически не отличается от аналогичной для стали. Также для данных покрытий характерно наличие следов вторичных структур, которые крайне трудно идентифицировать ввиду сложного химического состава композиций.

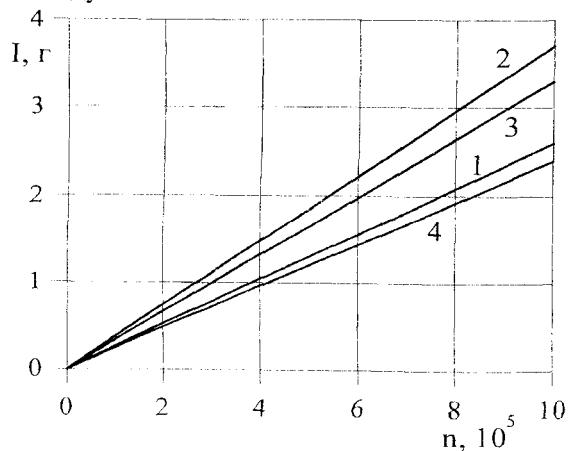


Рис. 1. Зависимость износа композиций от числа циклов нагружения:  
1, 2, 3, 4 – номера композиций

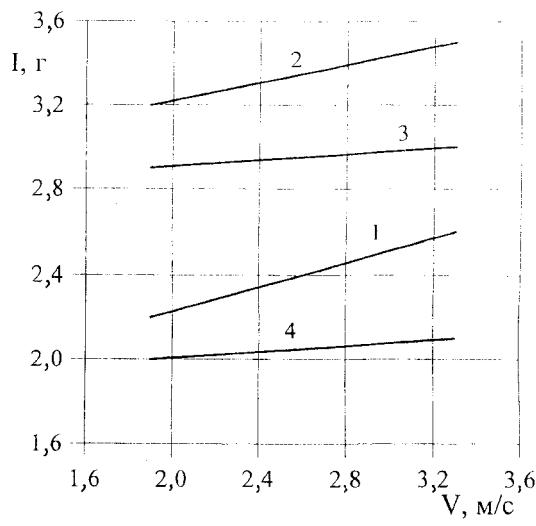


Рис. 2. Зависимость износа композиций от скорости скольжения:  
1, 2, 3, 4 – номера композиций

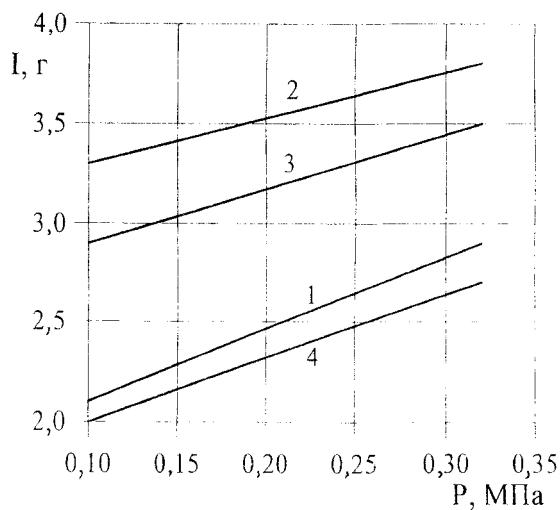


Рис. 3. Зависимость износа композиций от давления:  
1, 2, 3, 4 – номера композиций

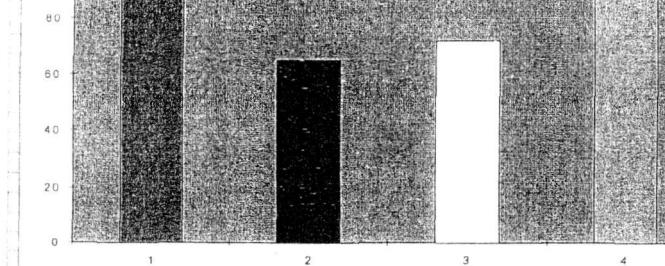


Рис. 4. Диаграмма абразивной износостойкости композиций:  
 1 – порошок ПР-Х4Г2Р4С2Ф; 2 – порошок ПР-Х18Н9; 3 – смесь  
 1 объем ПР-Х4Г2Р4С2Ф + 1 объем ПР-Х18Н9; 4 – 1 объем  
 ПР-Х4Г2Р4С2Ф + 1 объем

Таким образом, факторами абразивного износа покрытий, как и в случае со сталью, являются механический, тепловой и механохимический, причем роль последнего представляется наиболее значимой, т.е. изнашивание происходит, в основном, за счет образования на поверхности вторичных структур и их истирания. Тепловой фактор влияет за счет высокого разогрева поверхностных микробъемов, возможного их размягчения и интенсификации химических процессов. Роль механического фактора состоит в приводящем к усталостному износу передеформировании наиболее мягких элементов структуры и возможном выкрашивании наиболее твердых частиц из менее твердой матрицы покрытия под воздействием частиц абразива.

Сопротивляемость покрытия износу зависит от химического состава покрытия, который определяет твердость и теплостойкость, а также свойства образующихся в процессе трения вторичных структур. Наибольшей износостойкостью обладает композиционная смесь порошков ПР-Х4Г2Р4С2Ф (Cr, Mn, В, Si, C, V, Fe-основа) и ПР-10Р6М5 (Fe-основа, W, Mo, С). Структура покрытия состоит из мелкодисперсных боридов и карбидов, равномерно распределенных в насыщенной легированными элементами матрице, что определяет его повышенную твердость и теплостойкость. Диа-

грамма абразивной износостойкости исследованных композиций приведена на рисунке 4.

Однозначной зависимости абразивной износостойкости от способа нанесения покрытия не выявлено. В таблице 2 приведены средние арифметические значения по испытаниям образцов одинакового состава, некоторые из которых напылены плазменным, а некоторые – газопламенным методами. Разница данных по износостойкости для данных двух методов не превышала 5%.

В процессе нанесения покрытий отмечено, что порошки по-разному ведут себя при различных методах нанесения, и качество поверхности после оплавления также различается в зависимости от того, плазменным или газопламенным методом был напылен порошок.

При газопламенном напылении отмечались отскоки частиц, образование большого слоя окалины после оплавления, у 12 % образцов при данной технологии наблюдалось отслоение покрытия, тогда как для плазменного напыления эта цифра составляет 3 %. При плазменном методе указанные недостатки отсутствовали. Для обоих технологий отмечен такой неблагоприятный фактор, как пористость. После сошлифования окалины и верхнего слоя покрытия на поверхности образцов наблюдается значительное количество крупных пор размером до 1 мм. Однако при плазменном напылении их количество и размер меньше, они имеют более равномерное распределение.

Заметного различия в поведении композиций в зависимости от химсостава при нанесении не наблюдалось. Все порошки имеют одну основу и грануляцию, что определяет их сходные термодинамические свойства, они обладают одинаковыми достоинствами и недостатками с точки зрения технологии. Грануляция порошков в пределах 100-160 мкм, т.е. разброс частиц весьма значителен. Очевидно, наиболее крупные из них в менее энергетической газопламенной струе не могут в достаточной мере пластифицироваться, что и определяет явление отскока. Наличие большого количества окалины, окисляемость покрытий во время оплавления определяется большим содержанием кислорода в струе при газопламенном методе, что ведет и к повышенному его содержанию в напыленном слое. Все перечисленные недостатки газопламенного напыления по сравнению с плазменным определяют и больший процент отслоенных покрытий.

Процентное содержание кислорода, влияющее на химические процессы при оплавлении, является и главным фактором, определяющим пористость.

Таким образом, только плазменный метод для исследованных композиций является эффективным при нанесении покрытий. Для повышения качества напыления и обеспечения возможности применения газопламенного метода необходимо повысить самофлюсирующиеся свойства порошков, уменьшить и сделать более однородной их грануляцию.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

**П.И. Ящерицын; А.П. Ракомсин; Л.Е. Сергеев;**

**М.И. Сидоренко; А. М. Миронов**

*ФТИ НАН Беларусь, РУП «МАЗ», УО «БГАТУ»*

(г. Минск, Республика Беларусь)

### Parameters optimization of a working area at magnetic abrasive handling lengthy details

Ground installed dependence between geometrical parameters of a working area EMS distribution and a direction of vectors of a magnetic induction that ensures correct constructing the shape of polar tips and efficiency of process of cutting of a material is detected.

**Введение.** Электромагнитная система (ЭМС) в процессе магнитно-абразивной обработки (МАО) [1 – 3] играет роль рабочего органа, функция которого состоит в создании требуемого давления инструмента на обрабатываемую поверхность детали. Поэтому основным критерием эффективности протекания данного процесса является возможность достижения максимального значения магнитной индукции В при минимальных габаритах ЭМС, что приводит к росту производительности и качества обработки. Необходимым элементом ЭМС служат полюсные наконечники, представляющие собой продолжение этой системы. Основная задача заключается в получении наибольших значений магнитной индукции без