

тивы тепличного овощеводства. – Краснодар, 2018. – Режим доступа : <http://agbz.ru/articles/mirovyie-i-rossiyskie-perspektivy-i-teplichnogo-ovoshevodstva> (дата доступа : 25.02.2019).

2. Почем грунт лиха // Издательский дом «Беларусь сегодня» [Электронный ресурс]. – Минск, 2015. – Режим доступа : <https://www.sb.by/articles/pochem-grunt-likha.html> (дата доступа : 31.02.2019).

3. Герасимович, Л. С. Исследование влияния светодиодного освещения на рост томатов в теплицах / Л. С. Герасимович, В. В. Михайлов // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 23–24 ноября 2017 г. – Минск : БГАТУ, 2017. – С. 181 – 184.

УДК 621.923

Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев, А. В. Миранович
(УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь, e-mail: 13nuke@mail.ru)

РЕЦИКЛИНГ ФЕРРОАБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ Fe–V В ТЕХНОЛОГИЯХ ОБРАБОТКИ И УПРОЧНЕНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

L. M. Akulovich, L. E. Sergeev, A.V. Miranovich
(Belarusian State Agrarian Technical University,
Minsk, Republic of Belarus)

RECYCLING FERRO-ABRASIVE POWDERS OF Fe–V IN TECHNOLOGIES OF MACHINING AND HARDENING METAL SURFACES IN MAGNETIC FIELD

Аннотация. Предложены новый вид ферромагнитного порошка с включением оксидов ванадия и технология его получения, установлены режимы его использования в технологии магнитно-абразивной обработки и после рециклинга в технологии магнитно-электрического упрочнения.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, магнитно-электрическое упрочнение, ферромагнитный порошок, магнитное поле.

Abstract. A new type of vanadium based ferro-abrasive powder obtained by casting and spraying is proposed, and magnetic abrasive treatment modes are determined to achieve high productivity.

Keywords: magnetic abrasive treatment, magnetic and electric hardening, ferro-abrasive powder, magnetic field.

Финишная абразивная обработка поверхностей нередко является единственным возможным методом обеспечения требуемого качества поверхности. Одним из новых методов финишной обработки деталей машин является магнитно-абразивная обработка (МАО) [1]. Контур режущего инструмента (ферроабразивная щетка) в зазоре между обрабатываемой поверхностью и полюсным наконечником электромагнита формируется из ферромагнитного порошка (ФМП) силами магнитного поля. Установлено [1], что на качество обработанной поверхности существенное влияние оказывает форма частиц ФМП, материал и состояние режущих кромок порошка. Наиболее приемлемой является классификация по структуре частиц порошка (рис. 1) [1]. Порошки 5-го типа исключают контакт материала ферромагнитной матрицы с обрабатываемыми изделиями. Геометрическую форму 5-го типа частицам ФМП можно придать с помощью технологии литья и присутствием в составе ФМП вязких компонентов, например, ванадия, который является пластичным металлом.

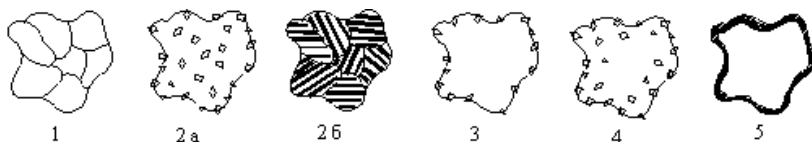


Рис. 1. Типы ферроабразивных порошковых материалов:

1 – однородные материалы; 2а – брикетирование; 2б – псевдосплавление;
3 – керметная технология; 4 – прокатка смеси железного порошка и абразива;
5 – литье

При введении ванадия повышаются прочность, вязкость и износоустойчивость стали. Поскольку композиционные ФМП имеют сложную структуру (ферромагнитная матрица и твердый абразивонесущий поверхностный слой), то от его химического состава зависят эксплуатационные свойства порошка. На основании проведенного анализа разработаны составы ФМП с содержанием ванадия 4, 6, 8% (табл. 1), которые изготовлены по технологии (рис. 2).

1. Составы ферромагнитного порошка

Компоненты ФМП	Массовая доля компонентов, %		
	Углерод	0,75	0,75
Ванадий	4	6	8
Железо	остальное		

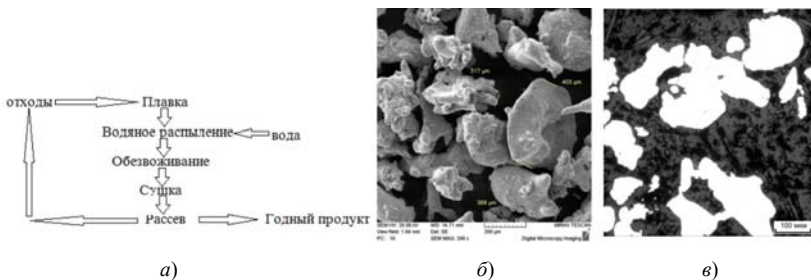


Рис. 2. Схема технологии изготовления (а), форма (б) и микроструктура (в) частиц ФМП, содержащих оксид ванадия

Форма и микроструктура ФМП, содержащего ванадий, показаны на рис. 2.

Экспериментальные исследования зависимости производительности MAO G , мг/мин от режимов обработки и содержания ванадия в абразивном порошке проводились по трехфакторному ротatableльному плану.

Варьируемые факторы, их уровни и интервалы указаны в табл. 2.

2. Варьируемые факторы и их уровни

Нормированные факторы	Скорость резания v_p , м/с	Скорость осцилляции $v_{осц}$, м/с	Магнитная индукция B , Тл	Содержание ванадия V , %
	X_1	X_2	X_3	X_4
Основной уровень (0)	1,5	0,17	1	6
Верхний уровень (+1)	2	0,22	1,1	8
Нижний уровень (-1)	1	0,12	0,9	4
Звездная точка (+ α) +1,682	2,34	0,25	1,17	—
Звездная точка (- α) -1,682	0,66	0,09	0,83	—

В результате проведенных исследований получено уравнение регрессии:

$$G = 11,52 - 0,90X_1 + 1,32X_2 - 2,53X_4 + 0,69X_1X_2 - 0,44X_2X_3 - 0,40X_1^2 - 0,43X_3^2 + 0,53X_4^2 + 0,48X_1X_2X_3 - 0,31X_1X_3X_4 + 0,67X_3^2X_4 + 0,39X_1^3 - 0,72X_2^3 + 0,18X_3^3. \quad (1)$$

Анализ уравнения (1) показывает, что наибольшая производительность ($G = 17,1 \pm 0,7$ мг/мин) достигается на следующих режимах МАО: $v_p = 0,99$ м/с, $v_{\text{оци}} = 0,09$ м/с, $B = 1$ Тл, при содержании ванадия в магнитном поле $V = 4\%$.

Экспериментально установлено, что в процессе МАО происходит износ ФМП и засаливание продуктами микрорезания абразивной щетки, сформированной из множества частиц ФМП. В результате этого исчерпывается режущая способность порошка и, соответственно, снижается производительность (интенсивность) абразивной обработки.

Вместе с тем, химический состав и физико-механические свойства отработанного ФМП позволяют его повторно использовать в процессе магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) металлических поверхностей. При этом рециклинг ферромагнитного порошка предполагает выполнение следующих операций: сбор в емкость, просушивание при $t = 200$ °С, просеивание порошка через сита (размером частиц 160...320 мкм).

Двухкомпонентный легированный порошок на основе железа Fe-2%V, применяемый для МЭУ, характеризуется высокими магнитными свойствами и имеет сравнительно невысокую температуру плавления, что во многом определяет производительность и стабильность процесса упрочнения. В качестве параметров оптимизации магнитно-электрического упрочнения взяты следующие параметры: производительность процесса Q и относительная износостойкость покрытия ε . Независимыми переменными приняты следующие факторы: плотность разрядного тока i , А/мм²; величина рабочего зазора δ , мм; скорость подачи S , мм/об; окружная скорость заготовки детали V , м/с; расход композиционного порошка q , г/с·мм². Оптимальный технологический режим МЭУ определяли для ферромагнитного порошка Fe-2%V [2]. Обработка результатов экспериментов позволила получить математико-статистические модели, определяющие зависимости производительности процесса МЭУ Q от технологических факторов

$$\begin{aligned}
 Y_1 = G = & 223,936 + 1,214X_1 - 0,412X_2 - 1,610X_3 - 2,015X_4 + 0,712X_5 - \\
 & - 5,102X_1X_2 + 0,108X_1X_3 + 4,541X_1X_4 + 5,516X_1X_5 + 1,824X_2X_3 + \\
 & + 5,521X_2X_4 - 4,511X_2X_5 - 6,012X_3X_4 + 0,114X_3X_5 - 5,106X_4X_5 - \\
 & - 0,986X_1^2 - 0,514X_2^2 - 0,313X_3^2 - 0,603X_4^2 - 0,997X_5^2
 \end{aligned} \quad (2)$$

и относительной износостойкости покрытия ε от технологических факторов МЭУ (табл. 3) для исследуемого порошка

$$\begin{aligned}
 Y_2 = \varepsilon = & 2,137 + 0,165X_1 + 0,028X_2 - 0,187X_3 - 0,091X_4 - 0,035X_5 + \\
 & + 0,151X_1X_2 - 0,655X_1X_3 + 0,158X_1X_4 - 0,177X_1X_5 - 0,315X_2X_3 + \\
 & + 0,068X_2X_4 - 0,144X_2X_5 - 0,181X_3X_4 - 0,075X_3X_5 - 0,212X_4X_5 - \\
 & - 0,102X_1^2 - 0,019X_2^2 - 0,059X_3^2 - 0,026X_4^2 - 0,028X_5^2. \quad (3)
 \end{aligned}$$

3. Влияние технологических факторов на параметры МЭУ

Технологические факторы	Степень влияния факторов на параметры оптимизации, %	
	$Y_1 = Q$	$Y_2 = \varepsilon$
Плотность разрядного тока, i	19,07	32,6
Величина рабочего зазора, δ	6,48	5,53
Скорость продольной подачи, S	25,30	36,96
Окружная скорость, V	31,67	17,98
Расход ФМП, q	17,48	6,93

Установлено, что влияние скоростей V и S на производительность процесса и относительную износостойкость самое большое из всех рассматриваемых технологических факторов. Так изменение подачи в пределах от 0,08 до 0,27 мм/об и окружной скорости от 0,02 до 0,06 м/с оказывает значительное влияние на исследуемые показатели. Анализируя зависимости 2 и 3, можно сделать вывод, что оптимальными являются продольная подача и окружная скорость, при которых удовлетворяются следующие условия: $0,04 < V < 0,06$ м/с; $0,15 < S < 0,27$ мм/об. Оптимальные значения плотности разрядного тока i для исследуемых ферромагнитных порошков находятся в пределах и $1,7 < i < 2,2$ А/мм².

Наиболее благоприятные значения расхода порошка (рис. 3), которые обеспечивают производительность МЭУ и относительную износостойкость покрытий, равны: $qQ_{\text{Fe-2\%V}} = 2,81 \cdot 10^{-3}$ г/(с·мм²) и $q\varepsilon_{\text{Fe-2\%V}} = 2,92 \cdot 10^{-3}$ г/(с·мм²). С помощью многопараметрической оптимизации и принятых ограничений для МЭУ композиционного порошка, можно рекомендовать следующий режим: $i = 1,73$ А/мм²; $\delta = 1,90$ мм; $S = 0,195$ мм/об; $V = 0,055$ м/с; $q = 2,90 \cdot 10^{-3}$ г/(с·мм²).

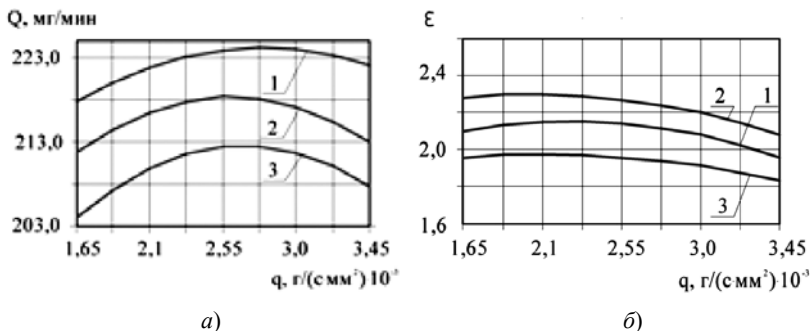


Рис. 3. Зависимость производительности Q (а) и относительной износостойкости покрытий ϵ (б) от расхода ФМП q при МЭУ

Выводы

1. Предложена технология получения ферромагнитного порошка с включением оксидов ванадия.

2. Установлено, что химический состав и физико-механические свойства отработанного ФМП после МАО позволяют его повторно использовать в процессе магнитно-электрического упрочнения металлических поверхностей.

3. Определены оптимальные технологические режимы процессов МАО ($v_p = 0,99$ м/с, $v_{ocл} = 0,09$ м/с, $B = 1$ Тл), при содержании ванадия в магнитном поле $V = 4\%$ и МЭУ ($i = 1,73$ А/мм²; $\delta = 1,90$ мм; $S = 0,195$ мм/об; $V = 0,055$ м/с; $q = 2,90 \cdot 10^{-3}$ г/(с·мм²).

Список использованных источников

1. Гнесин, Г. Г. Принципы создания магнитно-абразивных материалов / Г. Г. Гнесин, М. Д. Крымский, Л. Н. Тульчинский // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – Киев : ИПМ АН УССР, 1980. – С. 17 – 25.

2. Акулович, Л. М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники : монография / Л. М. Акулович, А. В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.