

- увеличение производительности труда;
- снижение себестоимости продукции.
- 2 - для предприятий водного хозяйства:
  - расширение номенклатуры выпускаемых электронасосных агрегатов;
  - перейти на производство нового поколения электродвигателей – герметичного исполнения;
  - разработать и поставить в производство бытовые скважинные насосы БЦП.
- 3 - для экспорта:
  - увеличение экспорта.

### **Литература**

1. Козорез А.С., Ивашко В.С., Козорез Т.А. Повышение надежности погружных скважинных электронасосных агрегатов применением новых материалов и износостойких покрытий. Монография. М.: «Народная книга», 2008. – 308 с.
2. Козорез А.А., Каштальян И.А. Применение метода анализа иерархий для оценки технологического оборудования с ЧПУ. // Автоматизация технологических процессов. Материалы международной научно-технической конференции (Минск, 15-16 марта 2011 года). Мн.: «Бизнесофсет», 2011. С. 54...55.
3. Экономическое обоснование области применения металлорежущих станков с программным управлением/ В.Л. Кубланов, И.А. Маковецкая, А.П. Назаренко и др. М.: Машиностроение. 1987. 152 с.

**УДК 631.31**

## **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НАПЛАВОЧНЫХ ПОРОШКОВ НА САМОФЛЮСУЕМОСТЬ ПОКРЫТИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН**

**Антонишин Ю.Т., к.т.н., доцент**

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

*Статья содержит результаты экспериментальных исследований влияния состава присадочных порошков при формировании износостойких покрытий рабочих органов почвообрабатывающих машин.*

### **Введение**

Рабочие органы почвообрабатывающих машин эксплуатируются при интенсивном абразивном износе. Их ресурс в 2-4 раза меньше средней наработки одного полевого сезона. Для восстановления и упрочнения широко используются намораживание, индукционная наплавка и пр. Для

наплавки или напыления покрытий применяют сплавы повышенной износостойкости [1]. Перспективно применение износостойкого чугуна, легированного карбидообразующими элементами.

Флюс определяет качество металла наплавки и условия протекания процесса. При наплавке под флюсом взаимодействие жидких металла и флюса происходит весьма энергично, несмотря на кратковременность соприкосновения двух фаз. Это объясняется высокими температурами, развивающимися в плавильном пространстве, большими поверхностями контакта металла и флюса, высоким соотношением масс реагирующих флюса и металла. Флюс обеспечивает защиту от окисления и обезуглероживания наплавляемой поверхности, создавая наплавленный слой химического состава, определяющий механические свойства.

### **Основная часть**

Металлургические процессы, происходящие при наплавке малоуглеродистых и низколегированных сталей, приводят к восстановлению кремния и марганца, а иногда и фосфора, находящихся во флюсе, и переходу их в наплавленный металл. При этом окисляется углерод, содержащийся в наплавочном материале и стали, и происходит его удаление в атмосферу. В результате восстановления кремния и марганца флюс обогащается железом. При этом возможно окисление кремния и марганца, а при наплавке хромоникелевой стали также хрома, находящихся в ванне, и переход их во флюс.

Высокая стоимость и дефицитность самофлюсующихся сплавов на основе никеля потребовали разработки дешевых порошков самофлюсующихся сплавов на основе железа, обеспечивающих повышение эффективности процессов нанесения защитных покрытий в сочетании с высокими эксплуатационными свойствами. Однако высокий уровень самофлюсуемости таких порошков не получен.

Анализ работ по получению самофлюсующихся сплавов на основе железа показывает, что задача решается либо легированием сплавов никелем (до 30-40 мас. %) и хромом [1] при получении порошков распылением, либо разработкой трудоемких процессов получения порошков с композиционной структурой, позволяющих не вводить никель в состав сплавов (например диффузионное насыщение бором и кремнием железного порошка. Такая обработка формирует на поверхности боридный слой, при окислении которого обеспечивается взаимодействие бора с кислородом воздуха. В образующейся шлаковой фазе превалирует служащий флюсом легкоплавкий оксид бора.

Условием хорошей самофлюсуемости полученного порошка является преобладание в боридной оболочке  $Fe_2B$ , поскольку борид железа плавится инконгруэнтно с образованием эвтектики (температура плавления 1410 К) с твердым

раствором на основе железа. Если порошки содержат большое количество моноборида FeB, который плавится конгруэнтно при температуре 1920 К, то получаемые из них оплавленные покрытия отличаются повышенной пористостью и наличием шлаковых включений. Для предотвращения образования моноборида FeB предлагаются технологические приемы, снижающие производительность метода [2]. Следовательно, для получения самофлюсующихся порошков на железной основе более эффективен метод распыления расплавов.

В порошках легирующие элементы равномерно расположены по сечению частицы, поэтому искусственно не создаются условия преобладающего окисления флюсующих элементов, а более высокое сродство железа к кислороду, чем никеля, повышает вероятность образования его оксидов при окислении порошка. Поэтому следует знать влияние состава сплавов на самофлюсуемость.

Самофлюсование сплавов на основе никеля и кобальта определяется окислением бора и кремния, а также свойствами образующегося шлака, выполняющего функцию флюса [3]. Последний состоит в основном из оксидов бора и кремния, которые в составе шлака имеют более низкую по сравнению со сплавом температуру плавления. Кроме того, в жидком состоянии он интенсивно растворяет в себе оксиды металлов.

Следовательно, высокая самофлюсуемость сплавов на основе железа обеспечивается выполнением двух условий: образованием при окислении флюсующей фазы с пониженной по сравнению со сплавом температурой плавления, и в результате растворения, например оксидов железа, сохраняющая легкоплавкость. Поэтому самофлюсуемость оценивают составом образующейся оксидной фазы и ее температурой плавления.

Исследовали наплавку порошков сплавов на основе железа ПГ-Ж1 и ПГ-КПИ 3 и износостойкого чугуна ИЧХ28Н2 фракции 50-63 мкм.

Таблица 1 – Состав исследуемых порошков, мас. %

Марка	Ni	Cr	B	Si	C	Fe
ПГ-Ж1	-	5-10	3-4,5	0,7	< 0,2	основа
ПГ-КПИ 3	22	4,5	3,3	3,2	0,8	основа
ПГ - ИХЧ	1,5-3	28-30	-	0,7-1,4	2,7-3	основа

В результате оплавления в печи на воздухе при скорости нагрева 20-35 К/с и изотермической выдержке в течение 10-15 с при температуре 1400 К порошка ПГ-Ж1 на поверхности покрытия образуются не сплавляющиеся с материалом покрытия капли. При температуре 1500 К на поверхности покрытия формируется слой окалина черного цвета толщиной 0,5-1,5 мм. При оплавлении двух других порошков формируется однородное покрытие с гладкой поверхностью, свободной от окалины. Повышение

температуры увеличивает количество шлаковой стеклообразной фазы. Для никелевого порошка стеклофаза практически бесцветна, а для порошка ПГ-КПИ 3 она черного цвета.

Установлено, что кристаллы черного цвета представляют собой оксиды железа  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ . ИК-спектральный анализ стеклофазы свидетельствует о наличии в составе оксидов бора для покрытий из порошка ПГ-Ж1 (абсорбции  $1430\text{ см}^{-1}$ ), а также оксидов кремния (абсорбция  $1090, 1170\text{ см}^{-1}$ ) для остальных порошков.

Анализ причин отличия в оплавлении порошков и образовании различных покрытий связывается с отсутствием никеля и малым количеством кремния в порошке ПГ-Ж1. Рассмотрим влияние этих элементов на закономерности процесса самофлюсования.

Оксид бора в отличие от оксида кремния, плохо взаимодействует с оксидами железа. Поэтому оксидная фаза из кислородных соединений бора и железа обогащена кристаллами  $Fe_2O_3$ . Поскольку температура плавления  $Fe_2O_3$ , ( $1840\text{ К}$ ), превосходит температуру оплавления порошка, в нем образуются твердые включения оксидной фазы, препятствующие оплавлению частиц [4]

Кремний при окислении (например, ПГ-КПИ 3) уменьшает долю  $Fe_2O_3$  в шлаке за счет образования  $SiO_2$ , и уменьшает количество нерастворенного  $Fe_2O_3$ . При этом растет доля стеклообразной фазы с температурой плавления меньшей по сравнению с  $Fe_2O_3$ . Следовательно, самофлюсуемость порошка ПГ-КПИ 3 лучше, чем ПГ-Ж1.

Рассматривая влияние кремния на самофлюсуемость сплавов на основе железа, следует отметить, что согласно диаграмме состояния системы  $B_2O_3 - SiO_2$ , при содержании  $SiO_2$  выше 70 % ее температура ликвидус превышает  $1273\text{ К}$  и при большем количестве  $SiO_2$  может превысить температуру плавления сплава. Это может привести к невозможности получения качественного покрытия после оплавления из-за образования в структуре шлаковых включений. Похожие явления имеют место при обогащении оксидной фазы тугоплавкими оксидами металлов (например, железа или хрома). Поскольку бор при окислении самофлюсующихся сплавов образует легкоплавкий оксид, то существует минимальное его количество, при котором образуется более легкоплавкий по сравнению со сплавом флюс.

Важнейшее свойство флюса - способность защищать материал от окисления. Представляется, что изменение соотношения оксидов  $B_2O_3$  и  $SiO_2$  в составе флюса приведет к изменению данного свойства.

Исследование кинетики окисления стали с добавкой порошка оксида бора, показало, что он не только не защищает сталь от окисления, но и интенсифицирует ее взаимодействие с кислородом воздуха. В первую очередь это связано с особенностями строения данного оксида [8] и его низкой

температурой плавления (730 К. Поэтому при температуре наплавки или оплавления покрытия (1273-1700 К) борный ангидрид представляет собой жидкость с низкой вязкостью (менее 10-70 Пз, и его расплав не является барьером для кислорода. Добавка тугоплавкого оксида (оксид кремния  $\text{SiO}_2$ ) повышает как температуру плавления системы, так и ее вязкость. Хотя последнее свойство не является универсальным для оценки защитных свойств флюса, следует ожидать их улучшение по сравнению с чистым расплавом борного ангидрида.

Положительным моментом влияния кремния на самофлюсуемость сплавов является то, что с увеличением содержания  $\text{SiO}_2$  в системе  $\text{B}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$  расширяется ее температурный интервал солидус – ликвидус . Так, при содержании  $\text{SiO}_2$  в количестве 20 % (моль) интервал плавления равен около 150 К, а при : % - более 400 К.

Для повышения флюсующего действия шлаковой фазы, образующейся при окислении бора и кремнийсодержащих сплавов на основе железа, в состав вводят кремний в количестве, обеспечивающем повышенное содержание его оксида в шлаке. При этом температура плавления шлака не должна превышать таковую у сплава.

При 1193 К фиксируется второй экзотермический пик.. Его появление связано с образованием жидкой фазы и увеличением скорости окисления.

У порошка ПГ-КПИ 3 фиксируются два экзотермических эффекта значительной интенсивности и один эндоэффект (плавление порошка). Увеличение массы порошка начинается при температуре около 923 К, а температура появления первого экзоэффекта - 1023 К.

Для порошка, содержащего 7,5 % хрома (при том же содержании остальных легирующих элементов), температура появления первого экзоэффекта повышается и равна 1135 К. Смещение его в сторону более высоких температур вызвано увеличением количества оксида хрома в оксидной пленке, а следовательно, повышения ее защитных свойств.

Качественный наплавленный слой из белого чугуна можно получить добавлением флюса или введением в сплав флюсующих элементов.

Материал для изготовления наплавочных порошков - отходы чугуна ИЧХ28Н2, образующиеся при электроэрозионной обработке отливок.

Матричной фазой в чугуне является аустенит или продукты его превращения, а разветвленной – карбиды типа  $\text{M}_7\text{C}_3$  и  $\text{M}_{23}\text{C}_6$ . Образование этих карбидов обусловлено высоким содержанием хрома в чугуне. Хром растворяется в карбидах и в матрице белого чугуна, а также образует специальные высокохромистые карбиды.

Таким образом, введение хрома в состав самофлюсующихся сплавов на основе железа в количестве 10-17 % и легирование никелем обеспечивают повышение защитных свойств оксидной пленки до одного уровня с нике-

левыми самофлюсующимися сплавами. Тем самым создаются условия для предотвращения образования при окислительном нагреве порошка оксидов железа в температурном интервале от комнатной температуры до начала образования оксидов бора и кремния (1000-1100 К). Тем самым обеспечивается выполнение требований, предъявляемых к шлаку для обеспечения хорошей флюсуемости.

Повышение жаростойкости сплавов на основе железа за счет легирования хромом в количестве, превышающем 10-15 %, не всегда возможно из-за подъема температуры плавления сплавов, а также их охрупчивания в результате образования в структуре большого количества заэвтектических карборидных кристаллов  $(Fe,Cr)_x(B,C)_y$ .

Следовательно, при получении распыленных самофлюсующихся порошков на основе железа с высоким уровнем флюсуемости не избежать введения в их состав никеля. Оценим его количество.

Жаростойкость сплавов системы железо – никель увеличивается [17] при возрастании содержания в них никеля. При этом степень окисленности сплавов резко снижается при содержании никеля до 25-30 мас. %, а при более высоком его количестве изменяется незначительно. Поскольку самофлюсующиеся порошки на основе железа содержат еще и хром, то при прочих равных условиях указанная концентрация никеля обеспечит им самофлюсуемость и технологичность, сравнимую с никелевыми порошками.

Увеличение содержания хрома позволяет снизить количество никеля до концентраций, применяемых в нержавеющей сталях (до 8-15 мас. %).

Таким образом, введение хрома в состав самофлюсующихся сплавов на основе железа в количестве 10-17 % и легирование никелем обеспечивают повышение защитных свойств оксидной пленки до уровня никелевых самофлюсующихся сплавов.

### Литература

1. Бетень Г.Ф. Восстановление и упрочнение почворезущих элементов диффузионным намерзанием износостойкими сплавами. – Мн.: БГАТУ, 2003.- 188 с.
2. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Любецкий С.Н. и др.// Защит. Покрытия на металлах.- 1991. – Вып. 25. – С 25-28.
3. Банных О.А., Дриц М.Е. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник. – М.: Металлургия, 1986. – 440 с.
4. Попель С.И., Сотников А.И., Бороненков В.Н. Теория металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1986. – 462 с.

### **Abstract**

*The article contains the results of experimental studies of the influence of the composition of the filler powders for the formation of wear-resistant coatings of working bodies of the soil-cultivating machines.*