

УДК 631.31

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА САМОФЛЮСУЕМОСТЬ НАПЛАВОЧНЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОЧВОРЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ю.Т. Антонишин,

*и.о. зав. каф. основ научных исследований и проектирования БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

*Статья содержит результаты экспериментальных исследований влияния состава на самофлюсуемость присадочных порошков для формирования износостойких покрытий рабочих органов почвообрабатывающих машин.*

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

### 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 рабочих органов широко используются наплавка, индукционная наплавка и другие процессы. 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 и хрома, находящихся в ванне, и переход их во флюс.

Высокая стоимость и дефицитность самофлюсуемых сплавов на основе никеля потребовали разработки дешевых порошков самофлюсуемых сплавов

на основе железа, обеспечивающих повышение эффективности процессов нанесения защитных покрытий в сочетании с высокими эксплуатационными свойствами. Номенклатура самофлюсуемых порошков на железной основе крайне ограничена, к тому же в республике они не выпускаются, а высокий уровень самофлюсуемости таких порошков не получен.

Объект исследования – влияние состава сплавов на самофлюсуемость порошка на основе железа при наплавке малоуглеродистых и низколегированных сталей.

Цель данной работы – определение условий, обеспечивающих высокий уровень самофлюсуемости порошков для наплавки или напыления деталей, работающих в условиях абразивного износа.

Анализ работ по получению самофлюсуемых сплавов на основе железа показывает, что задача решается либо легированием сплавов никелем (до 30-40 мас. %) и охромом [2] 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 [3]). 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 incongruently с образованием эвтектики (температура плавления 1410 К [4]) с твердым раствором на основе железа. Если порошки содержат большое количество моноборида  $FeB$ , который плавится congruently при температуре 1920 К [4], то получаемые из них оплавленные покрытия отличаются повышенной пористостью и наличием шлаковых включений. Для предотвращения образования моноборида  $FeB$  предлагаются технологические

приемы, снижающие производительность метода [3]. Следовательно, для получения самофлюсующихся порошков на железной основе более эффективен метод распыления расплавов или использование отходов, образующихся при электроэрозионной обработке отливок.

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 [5]. 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 и износостойкого чугуна ИЧХ28Н2 и порошка на основе никеля ПГ-АН9 фракции 50-63 мкм. Состав исследуемых порошков представлен в табл. 1.

**Таблица 1. Состав исследуемых порошков, мас. %**

Марка	Ni	Cr	B	Si	C	Fe
ПГ-АН9	основа	8,5	2,9	2,1	0,8	
ПГ-Ж1	-	5-10	3-4,5	0,7	< 0,2	основа
ПГ-КПИ	22	4,5	3,3	3,2	0,8	основа
ПГ-ИЧХ	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 окарины черного цвета, толщиной 0,5-1,5 мм. При оплавлении других порошков формируется однородное покрытие с гладкой поверхностью, свободной от окарины. Повышение температуры увеличивает количество шлаковой стеклообразной фазы. Для никелевого порошка стеклофазы практически бесцветна, а для порошка ПГ-КПИ и ПГ-ИЧХ – 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 (абсорбция  $1430\text{ см}^{-1}$ ), 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 К) превосходит температуру оплавления порошка, в нем образуются твердые включения оксидной фазы, препятствующие оплавлению частиц [6].

Кремний при окислении (например, ПГ-КПИ и ПГ-ИЧХ) 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 порошков ПГ-КПИ и ПГ-ИЧХ 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 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. Похожее явления имеют место при обогащении оксид-

ной 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 [6] 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  $SiO_2$ ) повышает как температуру плавления систе-

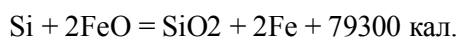
мы, так и ее вязкость. Хотя последнее свойство не является универсальным для оценки защитных свойств флюса, следует ожидать их улучшение по сравнению с чистым расплавом борного ангидрида.

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 составляет около 150 К, а при 60 % – 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.

Массообмен кремнием между металлом капель и шлаком происходит почти исключительно между жидкими фазами и при нарушении контакта между ними практически не наблюдается.

Кремний – активный раскислитель. В процессе наплавки кремний, входящий в состав порошка и не успевший выгореть в газовой и шлаковой фазах, переходит непосредственно в жидкую фазу ванны и растворяется в ней. При выходе из зон высоких температур он окисляется закисью железа



Неизрасходованная часть кремния после реакции растворения в наплавляемом металле, легирует последний. Охлажденные металл и шлак создают благоприятные условия для выгорания кремния, при этом температура ванны повышается, активизируя реакцию углерода с закисью железа



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

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

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

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

Перспективный материал для изготовления наплавочных порошков – чугун ИЧХ28Н2. Чугун предназначен для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа. Обрабатываемость резанием его затруднена, из-за чего детали из него получают методом электроэрозионной обработки. Образующиеся порошкообразные отходы в настоящее время не утилизируются и подвергаются захоронению, нанося ущерб окружающей среде. Структура его состоит из специального карбида хрома  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  и металлической основы из легированного аустенита или продуктов его распада в зависимости от скорости охлаждения отливки и термической обработки.

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 чугуна, а также образует специальные высокохромистые карбиды. Хорошая износостойкость в условиях абразивного воздействия обеспечивается высокой твердостью карбидов (13000-18000 МПа) и прочностью матрицы. Можно отметить, что наиболее высокое сопротивление многократным ударным нагрузкам зафиксировано при содержании кремния 1,45%. С учетом повышения жидкотекучести содержание кремния в износостойких чугунах следует поддерживать в пределах 0,8-1,4 %.

Хром, при сравнительно небольших содержаниях в чугуне (до 5-8 %), входит в карбид цементитного типа  $(\text{Fe, Cr})_3\text{C}$  с микротвердостью HV 9500-10500 МПа. Лишь при высоком содержании хрома образуются специальные карбиды  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  и  $(\text{Cr, Fe})_{23}\text{C}_6$  с микротвердостью 13000-18000 МПа. Минимальное содержание хрома, необходимое для образования карбидов типа  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  составляет примерно 10 %.

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 никелевыми 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). Таким образом, 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 карбоборидных кристаллов  $(\text{Fe, Cr})_x(\text{B, C})_y$ .

Следовательно, при получении распыленных самофлюсующихся порошков на основе железа с высо-

ким уровнем флюсуемости не избежать введения в их состав никеля. Оценим его количество.

Жаростойкость сплавов системы железо – никель увеличивается 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.

Существующие самофлюсующиеся твердые сплавы на никелевой основе имеют: неоднородность и многообразие эвтектических структур для частиц различных размеров; значительный угар бора, который вводят в расплав при их производстве в виде карбида бора или ферробора; высокие цены на никель – основной компонент этих сплавов, который определяет и высокую их стоимость, а также высокий коэффициент трения скольжения, делают их чувствительными к ударным нагрузкам и вибрациям и труднообрабатываемыми при механической обработке.

### Выводы

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.

Оксид бора в отличие от оксида кремния, плохо взаимодействует с оксидами железа, поэтому оксидная фаза из кислородных соединений бора и железа обогащена кристаллами  $Fe_2O_3$ , а поскольку температура плавления  $Fe_2O_3$ , (1840 К) превосходит температуру плавления порошка, в нем образуются твердые включения оксидной фазы, препятствующие оплавлению частиц

Для повышения флюсующего действия шлаковой фазы, образующейся при окислении бора и кремнийсодержащих сплавов на основе железа, в состав

следует ввести кремний в количестве, обеспечивающем повышенное содержание его оксида в шлаке.

Увеличение содержания хрома позволяет снизить количество никеля.

Введение хрома в состав самофлюсующихся сплавов на основе железа и легирование их никелем обеспечивают повышение защитных свойств оксидной пленки до уровня никелевых самофлюсующихся сплавов.

Применение порошка из износостойкого чугуна дает возможность обходиться при нанесении покрытий без дополнительных затрат на флюсы и защитные среды.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетенья, Г.Ф. Восстановление и упрочнение почворезущих элементов диффузионным намораживанием износостойкими сплавами / Г.Ф. Бетенья. – Мн.: БГАТУ, 2003. – 188 с.
2. Хасуй, А. Наплавка и напыление / А. Хасуй, О. Моригаки. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
3. Ворошнин, Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Любецкий С.Н. и др.// Защит. Покрытия на металлах. – М., 1991. – Вып. 25. – С 25-28.
4. Банных, О.А. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: справочник / О.А. Банных, М.Е. Дриц. – М.: Металлургия, 1986. – 440 с.
5. Гершензон, С.М., Бороненков В.Н. // Изв. вузов. Цвет. металлургия. – 1978. – № 3. – С. 89 – 92.
6. Попель, С.И. Теория металлургических процессов / С.И. Попель, А.И. Сотников, В.Н. Бороненков. – М.: Металлургия, 1986. – 462 с.
7. Роусон, Г. Неорганические стеклообразующие системы / Г. Роусон. – М.: Мир, 1970. – 312 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.02.2015

### Ботводробитель

*Предназначен* для предуборочного удаления ботвы картофеля, ее измельчения и разбрасывания по полю.

Данная конструкция позволяет повысить полноту уборки картофельной ботвы обеспечением копирования поверхности картофельной грядки.

Изношенные или разрушенные режущие элементы могут быть быстро изготовлены и заменены даже в полевых условиях.

По сравнению с аналогами материалоемкость устройства ниже на 22-27 %, энергоемкость – на 13,3 %.



### Основные технические данные

Габаритные размеры, мм	1740x1100x1050
Ширина захвата, м	1,4
Масса, кг	228
Рабочая скорость, км/ч	6-10
Частота вращения рабочего органа, мин <sup>-1</sup>	2200