

ВЫБОР ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНОГО ПЛАМЕНИ

Скобло Т.С., д.т.н., профессор, Науменко А.А., к.т.н., Харьяков А.В.
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства)

В статье рассмотрены существующие порошковые композиции, их достоинства и недостатки. Предложена новая композиция на основе никеля, которая содержит: С 0,8-1,2; Si 1,5-3,0; Cr 7,0-12,0; Fe 0,5-1,2; V 0,1-0,3. Данная порошковая композиция обеспечивает наибольшую прочность сцепления покрытия с основой, коэффициент линейного расширения полученного покрытия максимально приближён к коэффициенту линейного расширения материала деталей.

Для выбора материала, который бы обеспечивал наиболее высокое качество наносимого покрытия и прочность его сцепления с восстанавливаемой деталью исследовали композиции с различным содержанием компонентов.

Выполненные эксперименты показали, что наиболее высокие показатели твёрдости, прочности сцепления покрытия с основой, а также износостойкости соответствуют порошковой композиции ПП-10Н-01(табл. 1) [1,2]. Важным фактором является и то, что материал восстанавливаемых деталей и порошковая композиция имеют близкие значения коэффициентов линейного расширения, что сводит к минимуму возникающие напряжения. Недостатком порошка ПП-10Н-01 является то, что его применение приводит к повышенной твёрдости 65-72 HRC, которая достигается концентрацией карбидообразующих компонентов бора и хрома (суммарно 16,8-23,4), наличие 3,0-4 % Fe увеличивает склонность к окислению.

Для обеспечения уровня твёрдости 55-62 HRC (требования к сопрягаемым деталям), за счёт формирования легированного хромом цементита, рекомендовали в сплаве на никелевой основе повысить концентрацию углерода до 0,8-1,2 %, исключить добавку бора и снизить концентрацию хрома до 7-12 %. Важным является и уменьшение доли железа до 0,5-1,2 %, что снизит склонность покрытия к окислению. Концентрацию кремния также снизили до 1,5-3,0 %, чтобы избежать склонность к графитизации переходной зоны в деталях из чугуна. Такая концентрация хрома и кремния в сплаве обеспечивают способность к самофлюсованию при оплавлении. Дополнительно ввели добавку ванадия в количестве 0,1-0,3 %.

Таким образом, рекомендуемая порошковая композиция должна иметь следующий химический состав %: С 0,8-1,2; Si 1,5-3,0; Ni основа; Cr 7,0-12,0; Fe 0,5-1,2; V 0,1-0,3. При этом обеспечиваются необходимые эксплуатационные свойства. Коэффициент износостойкости покрытия составляет 1,31, что несколько превышает известные композиции (0,93 – 1,28). Температура плавления

ния такой композиции составляет 1040 °С

Микроструктура покрытия состоит из зёрен никеля, которые имеют микротвёрдость Н-50-185-269, и матрицы. Последняя представляет собой твёрдый раствор кремния (3,0-7,2 %) в никеле с мелкими карбидами Me_3C и спецкарбидами и нитридами ванадия, а также оксидами SiO_2 . Такая структура матрицы обеспечивает её высокую микротвёрдость Н-50-519-705 и износостойкость (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Свойства нанесенных покрытий

Материал	Температура плавления, °С	Коэффициент линейного расширения* покрытия при $T=100^\circ\text{C}$	Твёрдость покрытия, HRC	Гочность сцепления, МПа	Износостойкость
ПГ-10Н-01	1030	$12,76 \times 10^{-6}$	65-72	100-250	1,28
ПГ-12Н-01	1100	$13,15 \times 10^{-6}$	35-40	150-290	1,26
ПР-ФБХ6-2	1480	$11,67 \times 10^{-6}$	52	120-170	1,0
ПР-Х17Г8М5	1390	$12,06 \times 10^{-6}$	48	180-200	0,93

Примечание: коэффициент линейного расширения восстанавливаемых деталей равен для Ст.45- $12,2 \times 10^{-6}$, для высокопрочного чугуна- $12,6 \times 10^{-6}$. Химический состав порошковых композиций приведены в табл. 1

При нанесении покрытия на детали из чугуна с перлитной матрицей желательно иметь материал с более низкой температурой плавления из-за повышенной склонности материала к карбидообразованию и охрупчиванию в зонах, прилегающих к восстанавливаемой поверхности. В отдельных случаях при повышении температуры обработки зафиксировано появление пор и склонность к графитизации, в том числе и на границе сплавления.

Таблица 2

Распределение микротвёрдости по сечению покрытия на стальной детали

Место измерения твёрдости в покрытии	Изменение микротвёрдости Н-50	
	Матрица	Зёрна никеля
Поверхность	<u>519 - 705</u>	<u>185 - 237</u>
	612	211
Середина	<u>569 - 617</u>	<u>214 - 269</u>
	593	211
Переходная зона	<u>542 - 569</u>	<u>237 - 260</u>
	556	249

На рис.1 приведена характерная структура покрытия, нанесенного на детали из стали и чугуна. Металлографические исследования подтвердили целесообразность использования рекомендуемого материала для нанесения компенсирующих износ покрытий. Выполнены сопоставительные исследования структуры покрытий, нанесенных различными порошковыми композициями на

основе железа и никеля. Из рис. 2, 3 видно, что при восстановлении чугунных деталей и использовании материалов с повышенной долей карбидообразующих элементов и температурой плавления порошковых композиций $\geq 1100\text{ }^\circ\text{C}$ переходная зона может представлять собой цепочку карбидов размером до 70 мкм с отдельными пластинчатыми выделениями графита.

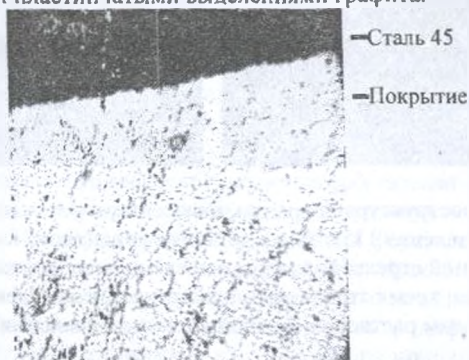


Рис. 1 Микроструктура покрытия рекомендованного состава. Травлено 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте, $\times 200$

В ряде случаев на границе покрытие-основной металл выделяются тонкие цепочки карбидов (до 10 мкм) и поры размером от 10 до 50 мкм. Это также связано с повышенной концентрацией углерода в чугуне.



Рис. 2 Микроструктура покрытия, нанесенного порошком ПГ-ФБХ6-2 (температура плавления $1480\text{ }^\circ\text{C}$) на деталь из перлитного высокопрочного чугуна $\times 300$: одной стрелкой указаны выделения цепочек карбидов; двумя стрелками – пластинчатые выделения графита; тремя стрелками – окислы; травление 4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте

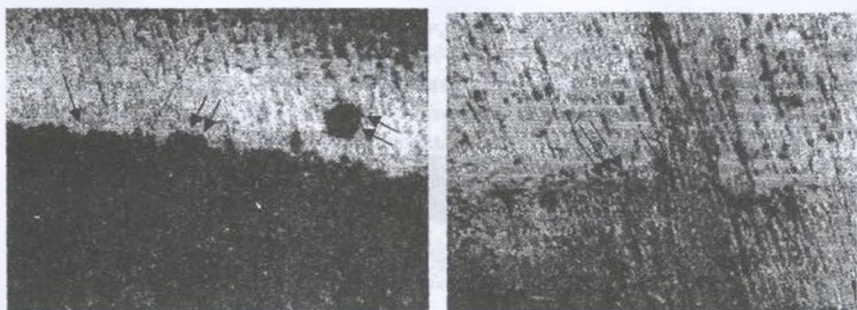


Рис. 3 Микроструктура покрытия, нанесенного порошком ПГ-10Н-04 (температура плавления 1150 °С) на деталь из перлитного высокопрочного чугуна $\times 300$: одной стрелкой указаны выделения цепочек карбидов; двумя стрелками – поры; тремя стрелками – пластинчатые выделения графита; травление 4 % - ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте

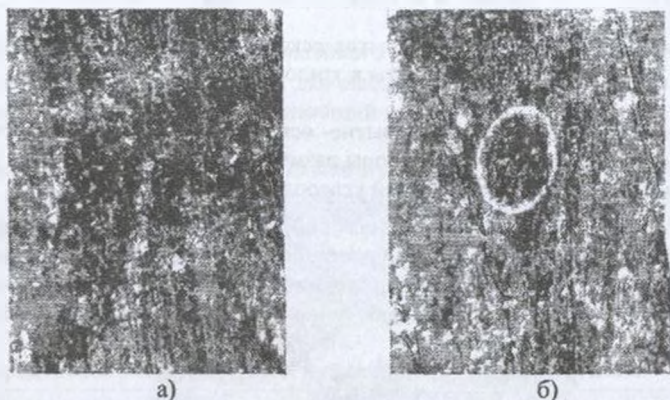


Рис. 4 Микроструктура чугуна вблизи поверхности после нанесения покрытий порошком ПРХ17Г8М5 с температурой плавления 1390 °С: а,б- практически полное растворение графита; выделение карбидных фаз в виде отдельных включений, а $\times 100$; б $\times 300$; травление 4% - ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте

В зависимости от температуры плавления покрытий и прогрева поверхностного слоя основного металла в последнем могут растворяться отдельные включения графита с последующим выделением цементита (условия быстрого охлаждения) в виде тонких границ зёрен, отдельных мелких включений или скоплений [3,4]. Одновременно наблюдали зоны, где полностью растворились включения графита (рис. 4).

Нанесение покрытия порошком с относительно низкой температурой

плавления не приводит к растворению графита и карбидообразованию в приповерхностных слоях восстанавливаемой детали.

При нанесении восстановительных покрытий на стальную (Сталь 45) деталь на границе сплавления выявляется слой, состоящий из отдельных зёрен никеля. По сечению покрытия величина зёрен и распределение фаз не изменяются за исключением переходной зоны. На границе с основным металлом формируется плотная цепочка зёрен никеля шириной 7-12 мкм. Она не травится и имеет твёрдость Н-50-185-237. можно предположить, что различия в твёрдости (табл. 2) связаны с изменяющейся толщиной таких зёрен и влиянием подложки.

Исследования микроструктуры при использовании рекомендуемой порошковой композиции показали, что введение ванадия способствовало формированию карбонитридов ванадия, которые представлены в виде равномерно распределённых точечных выделений и более крупных - оgranённой формы, а также скопленных цепочек. Их размер изменяется от 1-2 до 12-14 мкм. Цвет, в зависимости от размера включений, также изменяется от зеленовато-серого до желто-розового.

Электронномикроскопические исследования и микродифракция экстрагированных в реплику частиц показали, что эти окислы принадлежат Fe_2O_3 и SiO_2 (рис. 5). после разработки процесса осушения газовой смеси доля окислов и пористость существенно уменьшились. Выявлены лишь единичные случаи таких скоплений. Общая доля неметаллических включений, независимо от вида используемого пламени, не превышает 5-7% в поле зрения шлифа, которые располагаются по границам расплавленных частиц. Включения окислов имеют тёмно-серый, чёрный или красновато-бурый цвет. Их размер, в среднем, изменяется от 1,0-4,0 до 8,0-12,0 мкм.

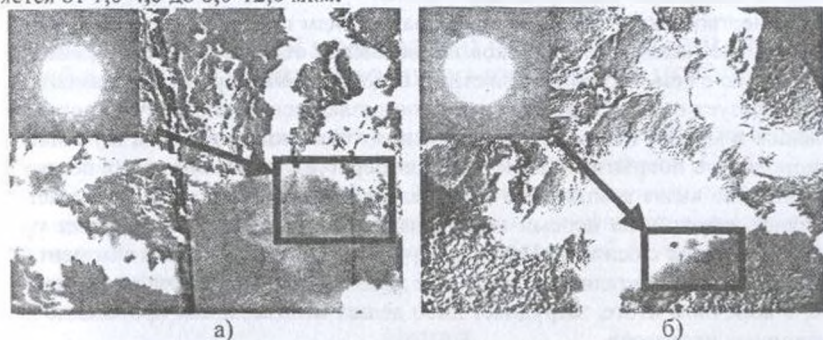


Рис. 5 Электронномикроскопическая картина выявленных фаз; а – окислы Si, б – Me_3C .

Основная карбидная фаза, выявленная в покрытии, согласно данным микрорентгеноспектрального анализа и электронномикроскопических исследований представлена включениями Me_3C . В ней содержится от 5,2 до 12,8% Cr, 0,8% Ni, остальное Fe.

В результате проведенных исследований установлено, что толщина покрытия при его нанесении водородно-кислородным пламенем с осушением, как на стальные, так и чугунные детали, более однородная, толщина

на стальные, так и чугунные детали, более однородная, толщина переходной зоны и зоны термического влияния также меньше, чем при использовании ацетилено-кислородного пламени. Уменьшается, в среднем на 30%, количество и размер пор. Одновременно возрастает доля деформированных зёрен (~ в 3 раза) и увеличивается (~ в 2,0 раза) число их оплавленных границ по отношению к неоплавленным. Такие изменения обеспечивают повышение твёрдости, износостойкости и прочности сцепления покрытия с подложкой при их нанесении водородно-кислородным пламенем на разработанном оборудовании[5].

Рекомендуемый материал покрытия обеспечивает минимальную долю карбидов и окислов в переходном слое, а также минимальную склонность к графитизации, более равномерный структурный переход.

Детали сельскохозяйственной техники, в частности восстановленные нами вал ротора турбокомпрессора СМД-ТКР-11Н-2 и корпус ИМС6 сеялки СПС6528V, работают в условиях постоянного трения. Наиболее оптимальным в данном случае является покрытие, полученное нанесением рекомендуемого состава порошка на изношенную поверхность (характеризуется оптимальным уровнем твёрдости). Это покрытие также обладает и высокими показателями износостойкости и прочности сцепления с основой, его коэффициент линейного расширения максимально приближён к коэффициенту линейного расширения материала деталей. Поскольку покрытие обладает несколько повышенной твёрдостью, то это несколько затрудняет его механическую обработку [6]. Невысокая температура плавления позволяет наносить этот материал пламенем, температура которого значительно ниже ацетилено-кислородного, в частности, водородно-кислородным.

Качество покрытий, полученных нанесением порошков на основе железа, значительно ниже, чем порошков на никелевой основе. По всей вероятности это связано с тем, что попадая в струю водородно-кислородного пламени, железо образует окислы, которые частично разлагаясь, способствуют порообразованию и влияют на прочность сцепления с основным металлом и уменьшают однородность покрытия. Кроме того, температура плавления таких порошков значительно выше композиций на никелевой основе, что также оказывает негативное влияние на первый нанесенный слой, который обеспечивает прочность сцепления с основой. Наиболее крупные частицы порошка в момент удара о поверхность детали находятся не в жидком, а в пластичном состоянии [7], что, в конечном итоге, затрудняет либо делает невозможным протекание диффузионных процессов.

Исходя из качественных показателей нанесенных покрытий, наиболее приемлемыми для использования в процессе восстановления деталей являются установки с водородно-кислородным пламенем при применении рекомендуемого состава порошка на никелевой основе. Перед нанесением покрытия эффективным является дробеструйная обработка, обеспечивающая механическое сцепление с восстанавливаемой деталью.

1. Науменко А.А. Испытание на изнашивание образцов деталей сельскохозяйственных тракторов, восстановленных напылением порошковых материалов с использованием водородно-кислородного пламени при эксплуатации сельскохозяйственных тракторов. Тракторная энергетика в растениеводстве., сб. научных трудов. Выпуск 6, Харьков 2003 г.
2. Науменко А.А. Испытания на прочность сцепления материала покрытия, нанесенного с использованием водородно-кислородного пламени. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Випуск 42, Харків 2006р.
3. Гольдшмидт Х. Д. Сплавы внедрения В 2 т. - М.: Мир, 1971. - Т. 1.
4. Подгасецкий В.В. Неметаллические включения в сварных швах. - М.: МАШГИЗ, 1962. - 85 с.
5. Установка для наращивания изношенного слоя деталей водородно-кислородной сваркой. Оборудование и инструмент для профессионалов. Международный информационно-технический журнал, №2, 2004г. Сидашенко А.И., Скобло Т.С., Науменко А.А.
6. Какуевичкий В. Режимы обработки восстановленных поверхностей // Автомобильный транспорт - 1986. - №5. - С. 37 - 40.
7. Гасин Д. А., Урюков Б. А. Динамика взаимодействия жидкой частицы с основой // Изв. АН СССР. Сер. техн. наук. - 1986. - №16 - вып. 2. - С. 95 - 100.

Аногація

ВИБІР ПОРОШКОВОЇ КОМПОЗИЦІЇ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОДНЕВО-КИСНЕВОГО ПОЛУМ'Я

В статті розглянуто існуючі порошкові композиції, їх недоліки та переваги. Запропонована нова композиція на основі нікелю, яка містить: С 0,8-1,2; Si 1,5-3,0; Cr 7,0-12,0; Fe 0,5-1,2; V 0,1-0,3. Така порошкова композиція забезпечує найбільшу міцність зчеплення покриття з основою, коефіцієнт лінійного розширення отриманого покриття максимально наближений до коефіцієнту лінійного розширення матеріалу деталей.

Abstract

POWDER COMPOSITION SELECTION FOR PARTS RESTORATION WITH THE USE OF HYDROGEN OXYGEN FLAME

Well known powder compositions are analyzed in this article. New composition on nickel base is proposed which contains: C 0,8-1,2; Si 1,5-3,0; Cr 7,0-12,0; Fe 0,5-1,2; V 0,1-0,3. This composition provide the highest level of adhesion.