

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТЕРМОРЕАГИРУЮЩИХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Упрочнение крупногабаритных и металлоемких деталей методом газотермической металлизации с последующим оплавлением их покрытий сопряжено с определенными трудностями, связанными с необходимостью объемного нагрева деталей до температуры 1050...1100 °С [1]. Так, например, применительно к целому ряду деталей нефтяного оборудования объемный нагрев затруднителен или вообще недопустим ввиду возникновения необратимых структурных изменений основы деталей, окисления поверхности, деформации или возникновения в них термоупругих остаточных напряжений.

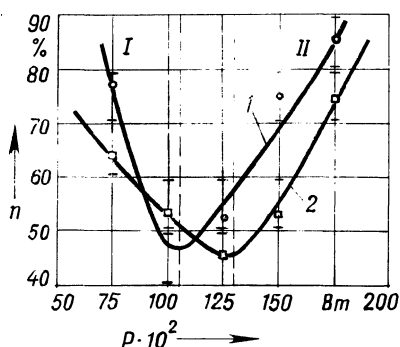
Большой практический интерес в связи с этим представляют износостойкие покрытия на основе терморезающихся материалов, не требующих последующего оплавления. Процесс их напыления сопровождается дополнительным выделением теплоты. В зависимости от марки порошка тепловая энергия может составлять от 30 до 150 Дж/г. Экзотермическая реакция протекает в результате взаимодействия компонентов сплава, в частности Ni с Al. В среднем продолжительность процесса соизмерима со временем полета частиц до подложки, что обеспечивает формирование достаточно плотного и однородного покрытия.

Покрытия из указанных материалов наносят газопламенным напылением. В проведенных исследованиях была сделана попытка их напыления с помощью плазменного нагрева, что в ряде случаев обеспечивает более высокое качество покрытия.

Установлено, что на процесс формирования покрытия и ряд его свойств большое влияние оказывают теплофизические условия напыления, и прежде всего мощность, подводимая к плазмотрону, а также дистанция напыления и гранулометрический состав порошка.

Исследовано формирование покрытий из сплавов ПТ-19Н01 и ПТ-ЮНХ15СР2 при использовании в качестве плазмообразующего газа азота и вводе порошка на срез сопла плазмотрона. Напыление осуществлялось порошками с грануляцией 80...100 мкм с дистанции 100...120 мм на шлифованные стальные пластины при линейном перемещении плазмотрона со скоростью 5...6 м/мин. Затем с помощью оптического микроскопа МБС-9 подсчитывалось количество полностью и частично оплавленных частиц на единичной площади напыленной поверхности. Изменение количества расплавленных частиц по отношению к полному их числу в зависимости от подводимой мощности представлено на рис. 1. Как видно из рисунка, максимальное число расплавленных частиц (область I, кривые 1 и 2) соответствует относительно малым значениям мощности плазмотрона. В этом случае вклад энергии в общий тепловой баланс нагрева частиц, по-видимому, в основном обусловлен экзотермическим процессом взаимодействия Ni с Al и частично нагревом частиц в плазме дугового разряда. С ростом мощности количество расплавленных час-

Рис. 1. Изменение количества расплавленных частиц в зависимости от мощности подводимой к плазматрону



тиц уменьшается, а затем вновь возрастает. Это скорее всего объясняется значительным перегревом частиц и интенсивным испарением алюминия с их поверхности. Появление затем максимума (область II, кривые 1 и 2) можно объяснить плавлением частиц в потоке высокотемпературной плазмы, а вклад энергии за счет экзотермического процесса можно считать незначительным. Анализ покрытий, полученных при значительных мощностях плазматрона, показал, что при таких условиях происходит формирование недостаточно прочного и качественного покрытия, что связано, по-видимому, с возникновением пленок из модифицированных оксидов Al_2O_3 на поверхности напыляемых частиц, а также в объеме покрытия.

Анализ формирования структуры покрытий, проведенный с помощью оптического микроскопа "Neophot-21" и электронного растрового микроскопа 09И0Э-200-004 (рис. 2), подтверждает эти предположения.

В случае напыления покрытий при оптимальных значениях мощности плазматрона (область I) формируется гомогенное покрытие, состоящее в основном из расплавленных частиц (рис. 2, а), сцепленных между собой за счет процесса микросваривания, что наглядно видно при значительном (до $5 \cdot 10^2$ раз) увеличении (рис. 2, б). Некоторая разница в характере кривых 1 и 2 (см. рис. 1) скорее всего объясняется различным содержанием в указанных сплавах плакирующего Al, а также упрочняющих добавок Cr, В и раскислителя Si. Относительная пористость покрытия достаточно низкая и не превышает 2...3 %.

Прочность сцепления между частицами, измеренная путем разрушения плоских образцов при их растяжении на разрывной машине Р-5, для сплава ПТ-ЮНХ15СР2 составляет 180...200 МПа. Микротвердость покрытий, измеренная на шлифах с помощью микротвердомера ПМТ-3, для сплава ПТ-19Н01 составляет 4600...5700 МПа и для сплава ПТ-ЮНХ15СР2 – 5000...6000 МПа.

Износостойкость покрытий исследована в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации деталей нефтяного оборудования, работающих при гидроабразивном изнашивании, а также при трении с недостатком смазочного материала. Задачей ускоренных лабораторных триботехнических испытаний являлась проверка стойкости покрытий, используемых при упрочнении деталей нефтяных насосов. Исследования осуществлялись в водно-абразивной среде на установке, разработанной в ОНИЛ плазменной металлизации БПИ (рис. 3).

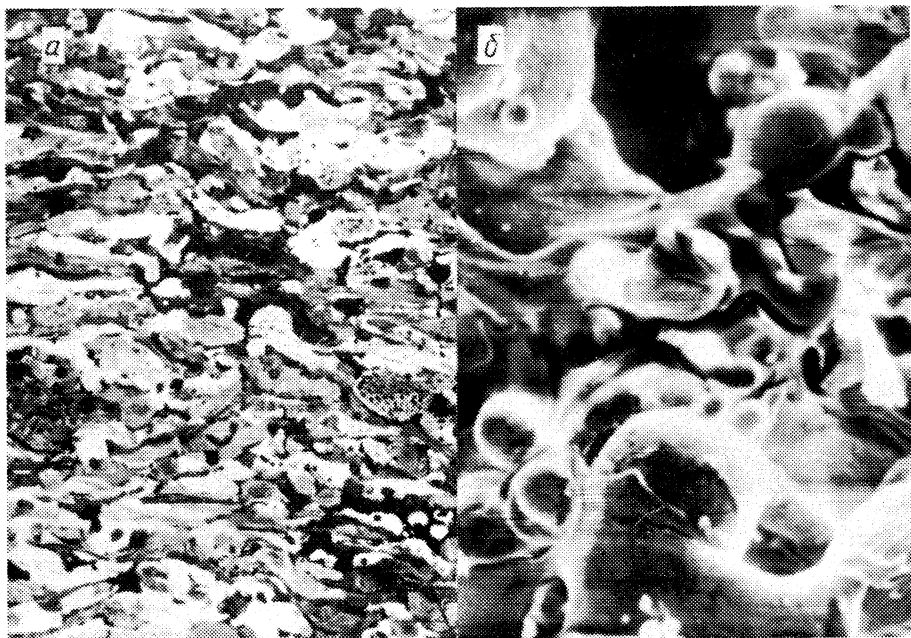


Рис. 2. Микроструктура сплава ПТ-ЮНХ15СР2, полученная при оптимальных режимах напыления и исследованная:
а – с помощью оптического микроскопа ($\times 250$); *б* – растрового электронного микроскопа ($\times 1000$)

В данной установке исследуемые образцы размещались непосредственно в абразивной среде [2], а их изнашивание происходило при перемещении абразива под избыточным давлением за счет создаваемых центробежных сил.

Как видно из рис. 3, в процессе вращения винтового шнека жидкость вместе с абразивом интенсивно прокачивается через зазор между его винтовой поверхностью и исследуемыми образцами снизу вверх и выбрасывается через окна в стакане. При этом частицы абразива центробежными силами прижимаются к внутренней поверхности образцов.

В качестве абразива использован кварцевый песок с частицами крупностью 100...150 мкм, взятый в объемном соотношении с водой 1:2. Испытывались образцы с покрытиями из сплава ПТ-ЮНХ15СР2, напыленными газопламенным и плазменным методами на подложку из сплава ПТ-Ю5Н. Толщина подложки – 0,1 мм, а основного покрытия – 0,5...0,7 мм. В качестве эталонных использовались образцы, изготовленные из стали 45. Перед испытаниями все образцы подвергались точению резцами из белбора при одинаковых условиях обработки с целью получения идентичных параметров шероховатости исследуемой поверхности. Длительность испытаний составляла 50 ч при суммарном числе циклов до 10^7 . Относительный износ образцов определяли по результатам взвешивания на аналитических весах до и после испытаний (табл. 1).

Рис. 3. Схема установки для испытания образцов при гидроабразивном изнашивании:

1 – электродвигатель; 2 – подшипники качения; 3 – сальниковое уплотнение; 4 – резервуар; 5 – окно для выхода гидроабразивной среды; 6 – исследуемые образцы; 7 – покрытие; 8 – винтовой шнек; 9 – стакан; 10 – гидроабразивная среда; 11 – контрольные образцы; 12 – абразив

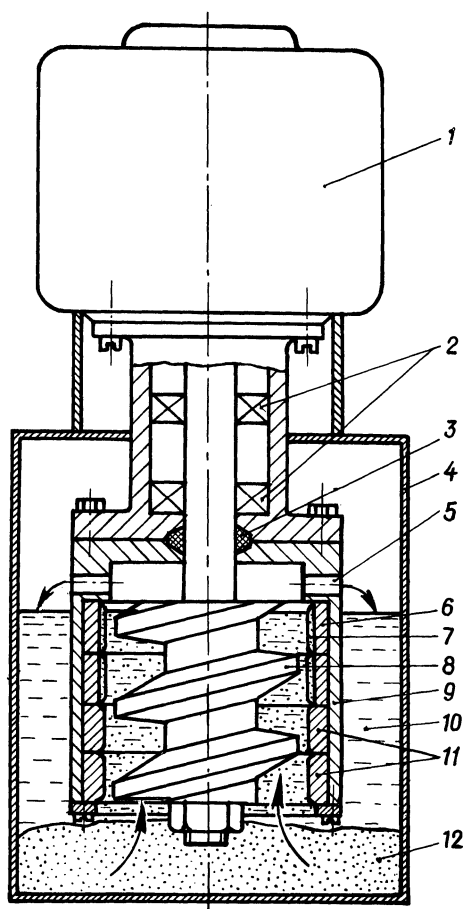


Табл. 1. Результаты испытаний покрытий на износостойкость

Материал образца	Метод напыления	Масса образца, г		Потеря массы образцов, г
		до испытаний	после испытаний	
ПТ-ЮНХ15СР2	Газо-пламенное	245,219	245,04	0,179
	Плазменное	261,287	261,21	0,077
Сталь 45 (эталон)		271,756	271,26	0,496

Установлено, что в случае гидроабразивного изнашивания стойкость покрытий из сплава ПТ-ЮНХ15СР2 в 2,5–3 раза выше стойкости эталонных образцов. Анализ шероховатости поверхности, выполненный с помощью профилографа-профилометра мод. 220 завода "Калибр" после испытаний, показал, что на образцах с покрытием происходит заметное сглаживание микронеровностей, тогда как на эталонных формируется достаточно шероховатая поверхность, соответствующая параметру $Ra = 15 \dots 20$ мкм.

Образцы, полученные плазменным напылением, обладают более высокой износостойкостью при гидроабразивном изнашивании, чем напыленные газоплазменным методом.

Испытания покрытий, полученных из сплавов ПТ-ЮНХ15СР2 и ПТ-19Н01 методом плазменного напыления, при недостатке смазочного материала осуществлялись на машине трения марки 2070-СМТ-1 по стандартной методике. В качестве смазочного материала использовалось масло "индустриальное 20". Износостойкость покрытий оценивалась относительно образцов из объемно закаленной стали 45.

Установлено, что относительная износостойкость покрытий на основе сплава ПТ-19Н01 в 1,5–2 раза превосходит эталонные образцы, а сплава ПТ-ЮНХ15СР2 – в 2–2,5 раза. Характер разрушения изнашиваемой поверхности в основном обусловлен вырыванием или выкрашиванием отдельных частиц из покрытия. Это может служить признаком недостаточной прочности сцепления частиц при значительной нагрузке (более 2000 Н) и относительно большом числе циклов нагружения (до 10^9). В целом стойкость покрытий как на гидроабразивное изнашивание, так и на истирание при недостатке смазочного материала можно считать хорошей.

Полученные экспериментальные данные послужили основанием для использования покрытий из указанных сплавов для упрочнения опытной партии рабочих колес магистральных нефтяных насосов и деталей автотракторной техники, в частности коленчатых валов автомобилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. К о б я к о в О.С., Г и н з б у р г Е.Г. Исследования оплавления износостойких покрытий, полученных газотермическим напылением // *Машиностроение*. – Мн., 1987. – Вып. 12. – С. 46–49.
2. З о л о т а р ь А.И., А р о н о в Э.Л., Л е о н и д о в Л.Д. О систематизации установок для исследования гидроабразивного износа материалов // *Тр. ВНИИгидромаша*. – М., 1972. – Вып. 43. – С. 20–26.

УДК 621.785

Ю.Ю. ЯРМАК

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАКИРОВАНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НА СВОЙСТВА ПОРОШКА И ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

При плазменном нанесении защитных покрытий широкое применение находят тугоплавкие материалы, которые по своим физическим свойствам подразделяются на металлические (карбиды, нитриды, бориды, силициды) и неметаллические (оксиды, керамика). При целом ряде положительных