

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

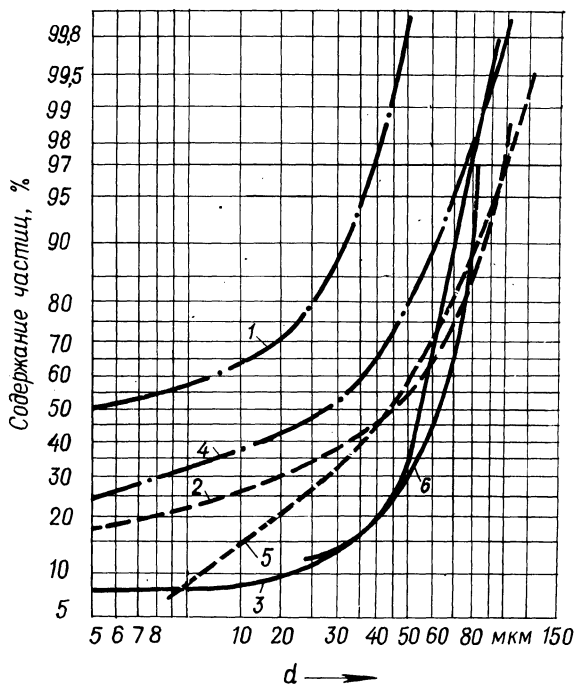


Рис. 1. Распределение размеров  $d$  частиц порошка до (1–3) и после (4–6) плакирования.  
Исходная фракция:  
1,4 – до 40 мкм; 2,5 – до 100 мкм; 3,6 – 40...70 мкм

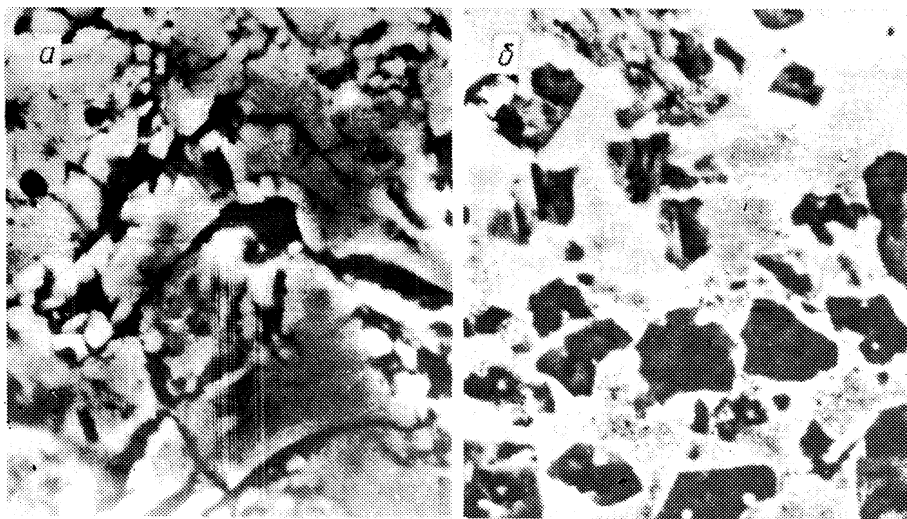


Рис. 2. Структура плазменных покрытий из TiC (a) и TiC Ni Mo P (б) ( $\times 3000$ ). Исходная фракция – до 100 мкм

свойств они не могут применяться для изготовления компактных изделий из-за высокой хрупкости и низкой прочности при динамических нагрузках, а также из-за технологических трудностей при изготовлении.

Одно из ведущих мест среди тугоплавких материалов при плазменном напылении занимают карбиды и особенно карбиды вольфрама и хрома. Однако в последнее время из экономических соображений предпринимаются попытки частично или полностью заменить карбид вольфрама другими материалами. В порошковой металлургии, например, широко применяются порошки TiC–Ni–Mo–P для изготовления различных изделий. Карбид титана в сравнении с карбидом вольфрама имеет более высокую твердость, меньшую плотность.

Первые исследования в области нанесения плазменных покрытий из чистых карбидов были проведены уже в начале 70-х годов [1]. Результаты их показали, что покрытия имеют высокую пористость, низкую прочность сцепления с подложкой, а частицы порошка при напылении подвергаются сильному окислению. Потери углерода, например TaC и HfC, составляют до 83 %.

Одним из способов сохранения свойств карбидов в процессе плазменного напыления покрытий является их плакирование, т.е. нанесение на высокодисперсные частицы металлической оболочки. Плакирование частиц может осуществляться их электрохимическим или химическим осаждением в водных растворах. Для плакирования порошка карбида титана с учетом его низкой электропроводности был выбран химический метод, базирующийся на применении аммиачно-ацетатного раствора, содержащего молибдат аммония [2]. Этот метод позволил получить на частицах TiC равномерную никель-молибден-фосфорную оболочку с заданным соотношением карбидной составляющей и металлической матрицы [3]. Плакирование карбида титана значительно улучшило сыпучесть порошка, что обеспечило возможность его транспортирования в плазменную струю при напылении.

Сыпучесть порошка до и после плакирования определялась по продолжительности его просыпания через воронку в виде усеченного конуса с отверстием диаметром 4 мм. Как показали результаты исследований, сыпучесть порошка с размером частиц до 40 и до 100 мкм до плакирования практически была равной нулю. Несмотря на это, транспортирование порошка фракции до 100 мкм в плазменную струю представлялось возможным. После плакирования транспортирование порошка обеих фракций не вызывало затруднений, а сыпучесть порошка фракции до 40 мкм составила 1 г/с. Улучшение его сыпучести объясняется перераспределением размеров частиц порошка внутри фракции в процессе плакирования, а также некоторым расширением границ фракций (рис. 1). До плакирования частицы размером до 5 мкм фракции до 100 мкм составляли около 20 %, а фракции до 40 мкм – 50 %. Транспортирование порошка газовым потоком в зону плазменной струи определяется также и формой частиц порошкообразных материалов. Однако металлическая оболочка практически не изменяет форму частиц и качество их поверхности, т.е. у частиц сохраняется неправильная форма и шероховатая поверхность [3].

Определенное влияние процесс плакирования оказывает и на химический состав порошка (табл. 1). Содержание кислорода и азота увеличивается в 2 раза, что негативно сказывается на некоторых свойствах нанесенных покрытий из карбида титана.

Табл. 1. Содержание элементов в порошке

Состояние порошка	Содержание порошка, %		Содержание элементов, %		
	TiC	Ni-Mo-P	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	C
До плакирования	100	—	0,63	0,09	19,14
После	65	35	1,33	0,11	11,78
плакирования	50	50	1,26	0,11	10,16

Табл. 2. Некоторые параметры покрытий

Состав порошка	Содержание элементов в покрытии, %			Пористость, %	Прочность сцепления, МПа	Микротвердость HV <sub>50</sub> , МПа
	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	C			
100 % TiC	8,04	0,74	14,80	—	—	24 000
50 % TiC + 50 % Ni-Mo-P	1,76	0,42	8,88	15,21	38	Матрицы 15 000 Зерен TiC 30 000

С целью определения влияния металлической оболочки частиц на сохранение химического состава карбида титана в процессе напыления, а также на некоторые свойства покрытий полученный порошок напылялся аргоно-водородной плазмой. Структура полученных покрытий из чистого карбида титана и плакированного порошка показана на рис. 2. Отличительной особенностью покрытий из плакированного карбида титана (рис. 2, б) является их низкая пористость, а также наличие мягкой металлической матрицы с равномерно расположенными в ней твердыми частицами карбида. Металлическая матрица позволяет напылять из карбида титана покрытия значительной толщины, повышать прочность сцепления покрытия с подложкой и в процессе трения удерживать частицы карбида, которые могут воспринимать большие нагрузки и не выкрашиваются. Некоторые из параметров покрытий из карбида титана и композиционного порошка TiC-Ni-Mo-P с соотношением массы карбида к массе металлической составляющей 1 : 1 приведены в табл. 2.

Плакирование частиц TiC позволяет значительно сократить потери углерода при напылении, уменьшить в покрытии содержание кислорода и азота. Покрытие при напылении не отслаивается от подложки, и обеспечивается достаточно высокая прочность его сцепления с подложкой.

Металлическая матрица обладает также достаточно высокой микротвердостью, не свойственной покрытиям из никеля. Это можно объяснить образованием различных фаз и соединений в процессе плазменного напыления.

Сравнительные исследования износостойкости полученных покрытий проводились в условиях трения без смазочного материала с использованием спо-

соба штифт-шайба ( $v = 9,8$  м/с,  $p = 0,14$  МПа). В качестве контртела использовалась закаленная шайба из стали 45. Покрытия из карбида титана имеют несколько лучшую износостойкость, чем образцы из стали 45. Покрытия из карбида титана с никель-молибден-фосфорной матрицей характеризуются почти в 2 раза меньшей интенсивностью изнашивания в сравнении со стальными образцами и покрытиями из чистого карбида титана.

Таким образом, плакирование частиц карбида титана позволяет значительно улучшить процесс подачи порошка в плазменную струю, снизить скорость окисления частиц TiC и потери углерода при напылении, а также улучшить физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mash D.R., Weare N.E., Walker D.L. Process variables in plasma - jet Spraying // Journal of metals. - 1961. - No 7. - С. 473-478.
2. Голего Н.Н., Горбачевская Л.А., Ковальчук Ю.М. Осаждение никель-молибден-фосфорных покрытий на порошкообразные материалы // Порошковая металлургия. - Киев, 1975. - Вып. 11. - С. 5-9.
3. Blume F., Eckart G., Jarmak Ju. Plasmaspritzen verschleißbeständiger TiC - Schichten // Schweißtechnik. - Berlin, 1986. - No 6. - С. 251-253.

УДК 621.793:669.018.4

Е.Н. СТАШЕВСКАЯ

### АНАЛИЗ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ИХ ИСПЫТАНИЙ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ УСТАЛОСТЬ

Самофлюсующиеся твердые сплавы на никелевой основе хорошо зарекомендовали себя в качестве защитных покрытий деталей, работающих в условиях повторно-переменного воздействия давлений и температур. Например, срок службы упрочненного стеклоформирующего пуансона возрос в 3-4 раза по сравнению с серийным из чугуна. Одной из причин выхода из строя упрочненных деталей является растрескивание покрытия и основы.

Исследование термической усталости проводили на биметаллических круглых "свободных" образцах: покрытие - из сплава ПГ-Ср4 или ПГ-Ср2, основа - чугун СЧ20. Образцы нагревались в муфельной печи до 873 К, охлаждались до комнатной температуры в воде.

Анализ разрушения в результате длительной термической усталости показал [1], что количество трещин возрастает с увеличением продолжительности испытаний, т.е. с возрастанием количества циклов нагружения. Образцы с покрытием выдерживали меньшее количество циклов, чем образцы без покрытия. В образцах из твердого сплава и чугуна в исходном состоянии трещин немного. Они имеют вид линейных отрезков с редкими отростками. Такого вида трещины характерны для хрупких материалов. При повторном термическом воздействии наибольшие напряжения возникают в других местах. Если вначале скорость развития трещин была относительно велика, то по мере их распространения вглубь постепенно падала. Лишь в редких случаях трещина