



# ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ «ФЕРРОСПЛАВ–В<sub>4</sub>С, SiC»

А. П. МУРАШОВ, Е. А. АСТАХОВ, кандидаты техн. наук, И. А. ДЕМЬЯНОВ, А. Д. КАПУЛА, инженеры  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Определено, что износостойкость покрытий в условиях газообразного изнашивания зависит от вида синтезированных в процессе напыления упрочняющих фаз, а также пористости (когезионной прочности) покрытия.

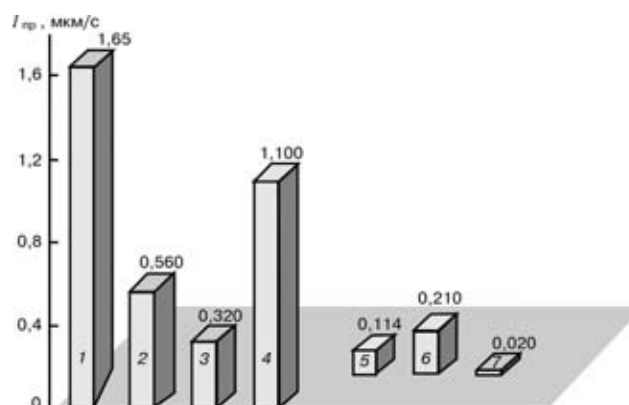
*Ключевые слова:* износостойкость, газообразное воздействие, газотермические покрытия, синтез, упрочняющие фазы, карбиды, бориды, приведенный износ

Для повышения работоспособности узлов машин, подверженных абразивному изнашиванию, применяются покрытия из материалов, содержащих карбиды вольфрама, титана или самофлюсующиеся никельхромборкремниевые сплавы [1, 2].

В настоящей работе проведены результаты испытания покрытий, выполненных из композиционных порошков «ферросплав–В<sub>4</sub>С, SiC» плазменно-дуговым и детонационным способами. Порошки получали путем конгломерирования с использованием в качестве связующего поливинилового спирта, а также частичного спекания образцов, спрессованных из механической смеси порошков с последующим дроблением, размолом и отбором фракций порошка менее –100 мкм. Плазменно-дуговое напыление проводили на следующем режиме: ток 450 А; напряжение 50 В; дистанция напыления 120 мм; плазмообразующая среда – аргон-азотная газовая смесь. При детонационном напылении был установлен следующий расход газов, м<sup>3</sup>/ч: 0,50... 0,55 пропан-бутана; 1,30 кислорода; 0,65 воздуха. Типы покрытий приведены в табл. 1. Пористость покрытий, определенная с помощью металлографических исследований, составляла 5... 11 %, при этом у покрытий, выполненных детонационным способом, наблюдались более низкие значения пористости.

Испытания износостойкости покрытий в условиях газоабразивного изнашивания проводили с использованием камеры струйно-абразивной обработки. Внутри нее находился пистолет, закрепленный таким образом, чтобы его ось была под углом 5° относительно горизонтальной плоскости, на которой прикреплены образцы размером 20×15×4 мм. Толщина покрытий составляла 0,35... 0,40 мм. Расстояние от центра образца до среза сопла пистолета равнялось 100 мм. В качестве абразивного материала использовали крошку электрокорунда нормального марки 14А зернистостью 0,5... 0,8 мм, имеющую микротвердость 13000... 14000 МПа.

Испытания на износ проводили в следующей последовательности. С помощью стабилизатора давления определяли давление сжатого воздуха – 0,2 МПа. Образцы в течение 10 с обдували воздушно-абразивной струей. После контрольного взвешивания их повторно подвергали обработке в течение 10 с. Все эти операции повторяли 4... 5 раз. В конце каждой операции оценивали потерю массы образца. По результатам взвешиваний определяли темп износа и массовый приведенный износ покрытия. Последний пересчитывали в линейный приведенный износ, используя значения плотности пок-



Интенсивность износа I<sub>из</sub> плазменного (1–4) и детонационного (5–7) покрытий из композиционных порошков различных систем при газообразном изнашивании: 1 – FeTi–В<sub>4</sub>С; 2 – FeTi–SiC; 3 – FeV–В<sub>4</sub>С; 4 – FeV–SiC; 5 – FeV–SiC (фракцией –50 мкм); 6 – FeV–SiC (фракцией –63 мкм); 7 – FeV–В<sub>4</sub>С

Таблица 1. Покрытия, используемые при испытаниях на газоабразивный износ

№ опыта	Способ напыления	Тип покрытия	Исходный порошок, мас. %	Способ получения	Фракция порошка, мкм
1	Плазменно-дуговой	FeTi–В <sub>4</sub> С	15,0 В <sub>4</sub> С, ост. FeTi	Конгломерат	-80+50
2	Плазменно-дуговой	FeTi–SiC	22,5 SiC, ост. FeTi	Конгломерат	-100
3	Плазменно-дуговой	FeV–В <sub>4</sub> С	20,0 В <sub>4</sub> С, ост. FeV	Конгломерат	-100
4	Плазменно-дуговой	FeV–SiC	22,5 SiC, ост. FeV	Конгломерат	-100
5	Детонационный	FeV–SiC	22,5 SiC, ост. FeV	Конгломерат	-50
6	Детонационный	FeV–SiC	22,5 SiC, ост. FeV	Спеченный	-63
7	Детонационный	FeV–В <sub>4</sub> С	20,0 В <sub>4</sub> С, ост. FeV	»	-50

Таблица 2. Фазовый состав и микротвердость покрытий

№ опыта	Тип покрытия	Фазовый состав	Микротвердость, МПа
1	FeTi–В <sub>4</sub> С	Fe <sub>3</sub> B, Fe <sub>3</sub> C, FeTi, Fe <sub>2</sub> C, Fe <sub>2</sub> Ti, TiB <sub>2</sub> , следы В <sub>4</sub> С, Fe <sub>2</sub> TiO <sub>5</sub> и Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	6660...7660
2	FeTi–SiC	Fe <sub>2</sub> Ti, FeSiC, Fe <sub>8</sub> Si <sub>2</sub> C, Ti <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> , TiO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub>	9000...11000
3	FeV–В <sub>4</sub> С	FeV, VB, VC, V <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , V <sub>8</sub> O <sub>5</sub> , V <sub>2</sub> C, σ-VFe, следы Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	16800...18920
4	FeV–SiC	V <sub>4</sub> C <sub>3</sub> , FeSiC (Fe <sub>8</sub> Si <sub>2</sub> C), FeV, VO <sub>1,27</sub> , α-SiC, FeVO <sub>4</sub>	16800...18920
5	FeV–SiC	FeV, VO <sub>1,27</sub> , SiC, V <sub>8</sub> C <sub>7</sub>	4830...5200
6	FeV–SiC	FeV, VO <sub>1,27</sub> , SiC, V <sub>8</sub> Si <sub>5</sub> , V <sub>8</sub> C <sub>7</sub>	4830...5200
7	FeV–В <sub>4</sub> С	V <sub>2</sub> B <sub>3</sub> , FeV, σ-VFe	4700...5200



Таблица 3. Износ напыленных покрытий при газоабразивном изнашивании

№ опыта	Плотность покрытия, т/м <sup>3</sup>	Время испытаний, с								Интенсивность износа	
		10	20	30	40	50	60	70	80	массовый, г/с	линейный, мкм/с
1	5,43	0,0300	0,0600	0,0800	0,1100	0,1300	0,1500	0,1900	0,2000	0,00270	1,650
2	5,32	0,0100	0,0200	0,0220	0,0320	0,0410	0,0600	0,0650	0,0780	0,00090	0,560
3	5,24	0,0050	0,0110	0,0150	0,0190	0,0260	0,0310	0,0370	0,0410	0,00050	0,320
4	5,18	0,0180	0,0350	0,0530	0,0680	0,0860	0,1000	0,1200	0,1380	0,00173	1,110
5	5,26	0,0020	0,0040	0,0060	0,0070	0,0080	0,0110	0,0120	0,0130	0,00018	0,114
6	5,25	0,0040	0,0070	0,0090	0,0130	0,0160	0,0180	0,0210	0,0250	0,00033	0,210
7	5,28	0,0003	0,0007	0,0009	0,0012	0,0014	0,0017	0,0022	0,0024	0,00003	0,020

рыхтий, которые предварительно определяли методом гидростатического взвешивания:

$$I_{л} = I_{мас} / \rho_{п.окр} S_{п.окр}$$

где  $I_{л}$ ,  $I_{мас}$  — соответственно линейный и массовый приведенный износ;  $\rho_{п.окр}$ ,  $S_{п.окр}$  — соответственно плотность и площадь покрытий.

Испытанию на стойкость к газоабразивному изнашиванию подвергали покрытия, данные о которых приведены в табл. 1. Для испытаний были подготовлены по четыре образца каждого типа. Фазовый состав и максимальная микротвердость покрытий представлены в табл. 2, а результаты испытаний на газоабразивный износ напыленных покрытий — в табл. 3 и на рисунке.

Наиболее износостойкими оказались покрытия, полученные из композиционного порошка системы FeV-B<sub>4</sub>C, содержащие в своем составе бориды ванадия.

Покрытия, в состав которых после напыления входят карбиды титана и карбосилициды железа, были менее износостойкими, а полученные из порошков более крупных фракций и отличающиеся высокой пористостью имели самую низкую стойкость при газоабразивном изнашивании.

Детонационные покрытия, полученные из порошка мелких (-50 мкм) фракций, обладали износостойкостью, значительно превосходящей износостойкость плазменных покрытий, напы-

ленных из порошков фракции -100 мкм. При этом детонационные покрытия содержали незначительное количество карбидных и боридных фаз, однако отличались более низкой пористостью.

При одинаковой микротвердости покрытия, в состав которых входили карбиды титана, карбосилициды железа, по износостойкости уступали покрытиям, содержащим бориды ванадия.

Таким образом, износостойкость газотермических покрытий в условиях газоабразивного изнашивания при малых углах атаки абразива определяется износостойкостью упрочняющей фазы и матрицы. Для получения покрытий с высокой износостойкостью в условиях газоабразивного изнашивания целесообразно применение композиционного порошка системы FeV-B<sub>4</sub>C, имеющего размеры частиц 50...80 мкм. Это позволит получать плотные покрытия с высокой когезионной прочностью.

1. *Получение* покрытий высокотемпературным распылением / Под ред. Л. К. Дружинина, В. В. Кудинова. — М.: Атомиздат, 1973. — 368 с.
2. *Газотермические* покрытия из порошковых материалов / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. А. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская. — Киев: Наук. думка, 1987. — 544 с.

Wear resistance of coatings under abrasive wear conditions was found to depend upon the type of hardening phases synthesised during spraying, as well as upon the porosity (cohesion strength) of the coatings.

Поступила в редакцию 21.02.2003

УДК 621.791.1/8+621.791.94]03

## СХЕМА ПИТАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУАВТОМАТА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА СВАРОЧНОГО ТОКА

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описана возможность построения систем управления и регулирования с питанием от напряжения источника сварочного тока. Предложено простое и эффективное техническое решение, позволяющее решить как задачу защиты от высоковольтных выбросов напряжения при ведении сварочного процесса, так и питания систем полуавтомата в период короткого замыкания дугового промежутка. Указанное техническое решение нашло применение в гамме полуавтоматов блочно-модульной конструкции типа ПШ 107В и эксплуатируется в промышленных условиях при сохранении независимости от типа используемого в дуговом процессе источника сварочного тока.

*Ключевые слова:* механизированная сварка, система управления, электропривод, источник сварочного тока, сварочное напряжение, питание, защита, схема

Системы управления циклом работы полуавтоматов и регулируемые электроприводы при дуговой механизированной сварке в защитных газах могут выполняться с питанием от источника

сварочного тока [1]. Это упрощает схемы питания и регулирования и дает существенный технологический эффект [2]. Применение такой схемы оправдано в случае использования простых параметрических регуляторов частоты вращения вала приводного электродвигателя механизма подачи электродной проволоки (как, например, в полуавтоматах А547Ум, А825М). Существенным недостатком таких систем является очень небольшой диапазон регулирования скорости подачи, ограничи-

© В. А. Лебедев, 2003