



## ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗОПЛАМЕННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНОГО ПЛАМЕНИ

**В. Н. КОРЖ**, д-р техн. наук, **Ю. С. ПОПИЛЬ**, инж. (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Рассмотрено влияние состава горючей смеси и характера течения ее на энергетическое состояние напыляемой частицы. Определены условия получения газопламенных покрытий из материалов с различной температурой плавления при использовании водородно-кислородного пламени, которое получают при сжигании смеси, вырабатываемой электролизно-водяными генераторами.

*Ключевые слова:* водородно-кислородное пламя, электролизно-водяной генератор, ламинарное течение, турбулентное течение, скорость частиц, прочность сцепления, пористость покрытия

Одним из условий получения качественного газопламенного покрытия является обеспечение необходимого уровня энергии частиц напыляемого материала на поверхности изделия. Энергетическое состояние частиц определяется суммой энергий — тепловой, характеризующейся температурой нагрева, и кинетической [1–3].

При газопламенном напылении порошковым материалом частица напыляемого материала нагревается до температуры пластического состояния или температуры плавления за счет конвективного теплообмена между продуктами горения факельного пламени и частицей. Это происходит в интервале эффективных температур, где температура продуктов горения на 300 °С выше температуры плавления [4]. Участок факела, на котором температура частицы не ниже температуры плавления материала и не охлаждается ниже этой температуры, определяет рабочую зону факела пламени для газопламенного нанесения покрытий.

Исследования, проведенные на кафедре восстановления деталей машин сварочного факультета НТУУ «Киевский политехнический институт» [5], показали, что длина зоны эффективных температур и рабочей зоны зависит от характера горения факела пламени и состава горючей смеси. Для водородно-кислородного пламени, получаемом при сжигании смеси, вырабатываемой электролизно-водяным генератором, длина зоны эффективных температур при напылении материалов с температурой плавления до 1000 °С и больше при ламинарном характере течения продуктов горения. Причем она увеличивается, если в смесь паров добавляют углеводородные соединения.

При напылении материалов с температурой плавления свыше 1000 °С длина зоны эффективных температур больше при турбулентном течении струи продуктов горения.

Распределение скорости потока продуктов горения по длине факела пламени находили экспериментально-расчетным методом. При расчете использовали экспериментальные данные распре-

деления по длине факела температуры [5, 6] и напорного давления газовой струи продуктов горения, которые получали с помощью водоохлаждаемого зонда (трубки Пито–Прандтля) [7]. Максимальную скорость напыляемых частиц определяли экспериментально с помощью прибора ИССО-1 [8]. Экспериментальные данные от расчетных отличались на ±5 %.

Исследовали влияние состава горючей смеси и характера течения продуктов горения на скорость напыляемых частиц грануляцией соответственно 20...40, 20...63 и 63...100 мкм порошков меди, железа (ПЖ-1) и никелевого сплава (ПГ-АН-33). Указанные материалы выбраны на основании анализа широко используемых при газотермическом нанесении покрытий порошковых материалов с различным диапазоном температур плавления, характерном для газопламенного способа напыления.

Анализ распределения скорости частиц движения  $W_c$  по длине газового факела показал, что в нем имеют место три зоны: разгона, где частица приобретает скорость от минимальной до максимальной; стабильного движения, где скорость изменяется в пределах 5...10 %; торможения, где скорость частицы уменьшается.

Исследование скорости движения частиц порошка меди показало, что при ламинарном характере течения продуктов горения водородно-кислородной смеси (ВКС) и ВКС + 16 % паров этилового спирта максимальную скорость движения частицы приобретают на расстоянии  $L = 300$  мм от среза мундштука горелки, а при сжигании смеси ВКС + 5,5 % паров бензина — на расстоянии 250 мм. Максимальная скорость движения частиц при напылении порошка грануляцией 20...40 мкм и ламинарном течении продуктов горения ВКС составляет 95 м/с на расстоянии 250 мм.

Добавка в горючую смесь паров углеводородных соединений повышает скорость движения частиц до 117 м/с (рис. 1, а). При ламинарном характере течения продуктов горения ВКС и ВКС + 16 % паров спирта зона разгона частиц является самой протяженной, а зона стабильного движения частицы практически отсутствует и образуется только при сжигании смеси ВКС+5,5 % паров бензина.

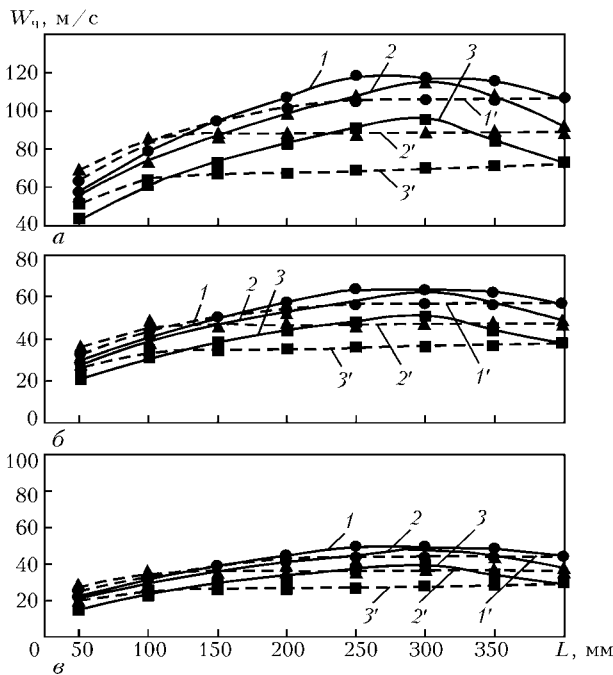


Рис. 1. Зависимость скорости  $W_p$  движения частиц порошка грануляцией 20... 40 (а), 20... 63 (б) и 63... 100 мкм (в) от длины газового факела соответственно при ламинарном (1-3) и турбулентном (1'-3') течении потока: 1, 1' – ВКС + 5,5 % паров бензина; 2, 2' – ВКС + 16 % паров спирта; 3, 3' – ВКС

При переходе характера течения газовой струи в турбулентный зона разгона сокращается до 100... 150 мм, т. е. она практически в 2 раза меньше, чем при ламинарном. Соответственно максимальная скорость разгона частиц на 10 % ниже (табл. 1). Зона стабильного движения частицы распространяется практически на всю рабочую длину факела, что остается после зоны разгона (рис. 1).

При увеличении грануляции сохраняется общая закономерность распределения скорости движения частиц по длине факела, но максимальная скорость движения существенно уменьшается (рис. 1, б, в).

Исследования скорости движения частиц порошка железа показали, что характер ее распределения по длине факела по сравнению с порошком меди не изменяется, но скорость частиц порошка железа больше. Максимальная скорость движения частиц порошка железа грануляцией 20... 40 мкм достигается при ламинарном характере течения продуктов горения смеси ВКС + 5,5 % паров бензина и ВКС + 16 % паров спирта на расстоянии от среза мундштука горелки около 250... 300 мм (рис. 2) и составляет 125 м/с.

Анализ скорости движения частиц при использовании порошка никелевого сплава (ПГ-АН-33) (рис. 2, табл. 3) показал, что они в газовом потоке продуктов горения сохраняют общую закономерность движения, как и в других исследуемых материалах. Максимальная скорость движения частиц меньше по сравнению с порошком железа и больше, чем у порошка меди. Так, у порошка грануляцией 20... 40 мкм при сгорании смеси ВКС + 5,5 % паров бензина и ламинарном характере течения струи продуктов горения максимальная скорость движения частиц достигает приблизительно 120 м/с.

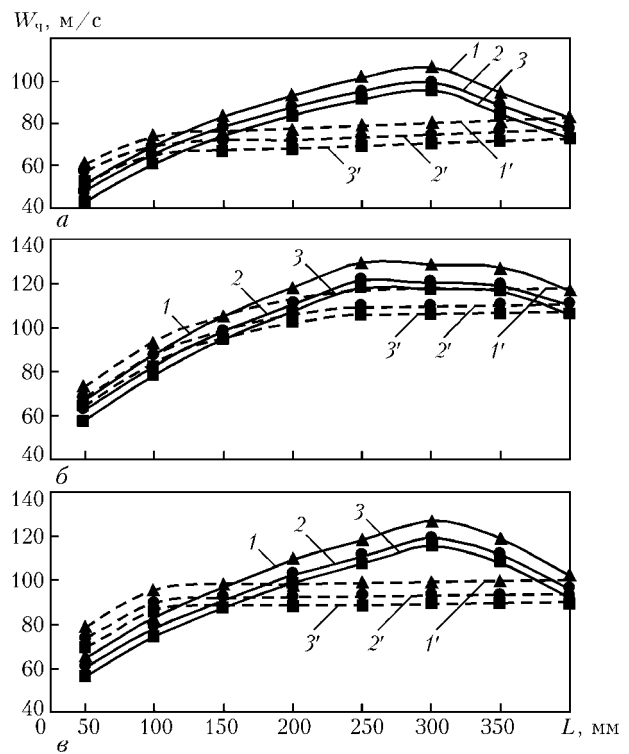


Рис. 2. Влияние состава горючих смесей ВКС (а), ВКС + 5,5 % паров бензина (б) и ВКС + 16 % паров спирта (в) на скорость движения частиц порошков грануляцией 20...40 мкм при ламинарном (1-3) и турбулентном (1'-3') характере течения потока: 1, 1' – порошок меди; 2, 2' – железа ПЖ-1; 3, 3' – никелевого сплава ПГ-АН-33

При добавлении в горючую смесь паров бензина имеет место ярко выраженная зона стабильного движения частицы, а их максимальная скорость движения больше, чем при использовании других газовых смесей.

Исходя из энергетического состояния напыляемых частиц вероятность получения качественного покрытия из различных металлов можно оценить, проанализировав длину рабочей зоны факела пламени  $L_{з.р.}$ , зону разгона  $L_{з.р.ч}$  и стабильного движения частиц  $L_{з.с.д.ч}$ , а также максимальную скорость движения напыляемых частиц на границе рабочей зоны. Имеется три варианта соотношения между рабочей зоной факела пламени и скоростными зонами, по которым можно оценить возможность получения качественного покрытия:

$$\begin{aligned} L_{з.р} &= L_{з.р.ч} + L_{з.с.д.ч}; \\ L_{з.р} &< L_{з.р.ч} + L_{з.с.д.ч}; \\ L_{з.р} &> L_{з.р.ч} + L_{з.с.д.ч}. \end{aligned}$$

Анализ длины рабочей зоны факела, зон разгона и стабильного движения частицы с учетом максимальной скорости напыляемых частиц на границе рабочей зоны (табл. 2) показал, что получение качественного покрытия наиболее вероятно при напылении порошка меди грануляцией 20... 40 мкм и ламинарном характере течения продуктов горения ВКС + 5,5 % паров бензина и ВКС + 16 % паров спирта (табл. 2, варианты № 3 и 5) с оптимальной дистанцией напыления около 300 мм. В этом случае энергетическое состояние напыляемой частицы является максимальным: скорость движения на гра-



**Таблица 1. Максимальные скорости движения частиц порошка различных металлов (м/с) в зависимости от их грануляции и характера течения струи продуктов горения**

Состав продуктов горения	Грануляция порошка, мкм					
	20...40		20...63		63...100	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
Порошок меди						
ВКС	$\frac{95}{70}$	$\frac{90}{65}$	$\frac{50}{35}$	$\frac{45}{30}$	$\frac{40}{30}$	$\frac{35}{25}$
ВКС + пары бензина	$\frac{117}{105}$	$\frac{110}{100}$	$\frac{65}{55}$	$\frac{65}{50}$	$\frac{50}{45}$	$\frac{45}{35}$
ВКС + пары спирта	$\frac{115}{90}$	$\frac{110}{85}$	$\frac{60}{50}$	$\frac{55}{45}$	$\frac{45}{35}$	$\frac{40}{30}$
Порошок железа ПЖ-1						
ВКС	$\frac{105}{80}$	$\frac{100}{75}$	$\frac{60}{40}$	$\frac{55}{35}$	$\frac{50}{30}$	$\frac{45}{25}$
ВКС + пары бензина	$\frac{127}{117}$	$\frac{120}{110}$	$\frac{70}{65}$	$\frac{65}{60}$	$\frac{60}{50}$	$\frac{55}{45}$
ВКС + пары спирта	$\frac{125}{100}$	$\frac{120}{95}$	$\frac{70}{60}$	$\frac{65}{55}$	$\frac{55}{45}$	$\frac{50}{40}$
Порошок никелевого сплава ПГ-АН-33						
ВКС	$\frac{102}{75}$	$\frac{95}{70}$	$\frac{55}{40}$	$\frac{50}{35}$	$\frac{40}{30}$	$\frac{35}{25}$
ВКС + пары бензина	$\frac{120}{110}$	$\frac{115}{105}$	$\frac{65}{60}$	$\frac{60}{55}$	50	45
ВКС + пары спирта	$\frac{120}{95}$	$\frac{115}{90}$	$\frac{65}{50}$	$\frac{60}{45}$	$\frac{50}{38}$	$\frac{45}{30}$

Примечания. 1. В числителе приведены значения при ламинарном характере течения газового потока; в знаменателе — при турбулентном. 2. Измерение экспериментальным методом проводили при длине факела 400 мм при ламинарном характере течения струи продуктов горения и 150... 200 мм при турбулентном.

нице рабочей зоны больше 100 м/с; длина рабочей зоны 300 мм; зоны разгона частицы и стабильного движения соизмеримы с длиной рабочей зоны.

В случае турбулентного характера течения продуктов горения длина рабочей зоны пламени при напылении меди сокращается до 160 мм. И хотя зона разгона частиц порошка с ней соизмерима, максимальная скорость движения частицы на границе рабочей зоны больше 50 м/с только у частиц грануляцией 20... 40 мкм при сжигании ВКС ( $W_{\text{ч}} = 65$  м/с) и ВКС + 16 % паров спирта ( $W_{\text{ч}} = 90$  м/с). Отсюда вероятность получения покрытия в этом случае значительно меньше, чем при ламинарном течении продуктов горения, поскольку при дистанции напыления более 160 мм происходит захлаживание частицы.

Если используют порошок железа, то образование покрытия можно ожидать только при грануляции порошка 20... 40 мкм и турбулентном характере горения ВКС + 5,5 % паров бензина или ВКС + 16 % паров спирта. В этом случае максимальная скорость движения частиц порошка на границе рабочих зон не превышает 95 м/с при длине зоны рабочих температур 100... 110 мм. Дистанция напыления должна находиться в этих пределах, поскольку при большей дистанции напыления происходит захлаживание частиц. При малой дистанции напыления вероятность получения качественного покрытия значительно меньше, чем при напылении порошка меди.

При напылении порошка никелевого сплава ПГ-АН-33 длина рабочей зоны пламени больше по

сравнению с рабочей зоной при напылении порошка железа. Поэтому вероятность получения качественного покрытия в данном случае больше, чем при напылении порошка железа. Причем использование ламинарного характера течения продуктов горения рассмотренных горючих смесей, предпочтительнее, поскольку максимальная скорость напыляемых частиц на границе рабочей зоны больше, чем при турбулентном течении, и за пределами рабочей зоны частицы продолжают двигаться с ускорением, в связи с чем дистанция напыления составляет не менее 160... 190 мм.

Предположения о возможности использования для газопламенного напыления пламени, полученного при сжигании ВКС, вырабатываемой электролизно-водяным генератором, экспериментально проверены в процессе исследования качества покрытий, напыленных при оптимальных условиях горения пламени, выбранных на основании анализа вариантов из табл. 2.

Результаты изучения качества напыленных покрытий приведены в табл. 3. За критерий оценки качества покрытия взяты прочность сцепления покрытия с основой и пористость. Прочность покрытия с основой определяли клеевым методом (с использованием клея ЭПУ-ТЕХКО — 65 % и отвердителя 35 % с силой прижатия 50 кПа при нагреве до 70 °С). При этом отвердевание происходило в течение 5... 6 ч, толщина покрытия составляла 300 мкм ± 10 %. Напыление осуществляли на стандартные образцы, изготовленные из стали 45 диаметром 25 мм, после абразивно-струйной обра-



Таблица 2. Максимальные скорости движения частиц (м/с) на границе рабочей зоны факела и длина скоростных зон их движения

№ варианта	Состав продуктов горения	Характер течения струи	Грануляция порошка, мкм			Длина рабочей зоны $L_{з.р}$ , мм	Длина скоростных зон движения частицы в газовом потоке, мм			Оптимальная дистанция напыления, мм
			20...40	20...63	63...100		$L_{з.р.ч}$	$L_{з.с.д}$	$L_{з.т.ч}^*$	
Порошок меди										
1	ВКС	Ламинарный	85	45	30	200	300	20	100	~ 200
2		Турбулентный	65	35	25	160	150	250	100	160
3	ВКС + пары бензина	Ламинарный	117	65	50	300	250	100	50	300
4		Турбулентный	100	55	45	180	200	200	50	180...200
5	ВКС + пары спирта	Ламинарный	115	62	50	300	300	20	100	~ 300
6		Турбулентный	90	45	35	160	150	250	100	150...160
Порошок железа ПЖ-1										
7	ВКС	Ламинарный	60	35	30	75	290	20	90	—
8		Турбулентный	70	38	30	95	100	275	90	—
9	ВКС + пары бензина	Ламинарный	90	60	50	105	250	100	50	≥ 105
10		Турбулентный	95	50	40	100	100	130	50	≥ 100
11	ВКС + пары спирта	Ламинарный	85	50	40	110	300	20	75	≥ 110
12		Турбулентный	95	55	45	110	100	275	75	≥ 100
Порошок никелевого сплава ПГ-АН-33										
13	ВКС	Ламинарный	80	45	35	160	290	20	80	≥ 160
14		Турбулентный	70	40	35	125	100	275	80	≥ 100
15	ВКС + пары бензина	Ламинарный	105	60	50	175	250	100	50	≥ 175
16		Турбулентный	100	55	45	150	110	150	90	≥ 150
17	ВКС + пары спирта	Ламинарный	100	55	45	190	300	10	90	≥ 190
18		Турбулентный	90	50	40	140	110	290	90	≥ 110

\*  $L_{з.т.ч}$  — длина зоны торможения движения частицы.

ботки. Испытание образцов проводили на машине TIRAtest 2151 со скоростью нагружения 2,5 мм/мин. Общую пористость покрытия измеряли методом гидростатического взвешивания [9]. Исследуемые образцы перед напылением нагревали до температуры 150 °С [10].

Максимальная прочность сцепления покрытия с основой составляла 28...30 МПа, она получена при напылении порошка меди грануляцией 20...40 мкм при ламинарном характере горения ВКС + 5,5 % паров бензина и ВКС + 16 % паров спирта при дистанции напыления 300 мм (табл. 2 и 3, варианты № 3 и 5). Общая пористость при этом составляла 3...4 %. С увеличением грануляции порошка меди на той же дистанции напыления прочность снижается соответственно до 20 и 22 МПа, а пористость увеличивается до 7...8 %.

Полученные результаты находятся на уровне прочности сцепления покрытия с основой и пористости при напылении цветных материалов с использованием ацетилено-кислородного пламени. По данным фирмы «Sulzer Metco», прочность сцепления покрытия с основой при напылении цветных порошковых материалов составляет 7...34 МПа, а пористость — 10...15 % [11].

Металлографический анализ структуры медного покрытия, напыленного порошком грануляцией 20...40 мкм (рис. 3, а) показал, что микроструктура частиц после напыления достаточно монолитная и оксидные включения практически отсутствуют. При напылении порошка грануляцией

63...100 мкм (рис. 3, б) наблюдается наличие оксидных включений, видны границы отдельных частиц, что объясняется их недостаточной энергией.

Исследование качества покрытия при напылении порошка железа ПЖ-1 грануляцией 20...40 мкм показало, что прочность сцепления покрытия с основой больше при турбулентном характере течения продуктов горения в случае использования смесей ВКС + 5,5 % паров бензина и ВКС + 16 % паров спирта.

При дистанции напыления 100 мм прочность покрытия с основой при сжигании смеси ВКС + 5,5 % паров бензина и турбулентном горении достигает 22 МПа, пористость покрытия — 5 %. При сжигании смеси ВКС + 16 % паров спирта и турбулентном характере течения продуктов горения с дистанцией напыления 110 мм прочность и пористость соответственно составляют 24 МПа и 4 %. Такие прочность сцепления покрытия с основой и пористость находятся на уровне анодных показателей качества при напылении металлических порошков на основе железа ацетилено-кислородным пламенем. По данным фирмы «Sulzer Metco» [11], прочность сцепления при напылении порошков черных металлов газопламенным напылением составляет 14...21 МПа, а пористость — 10...15 %.

Металлографический анализ покрытия показал, что при напылении порошка грануляцией 20...40 мкм имеет место достаточно плотная микроструктура покрытия, отличающаяся незначительным содер-



**Таблица 3. Качество покрытий, напыленных с учетом оптимальных вариантов условий горения, в зависимости от состава и характера течения продуктов горения**

№ варианта	Состав продуктов горения	Характер течения струи	Дистанция напыления, мм	Прочность сцепления покрытия с основой (МПа) при расходной грануляции порошка, мкм			Пористость покрытия (%) при расходной грануляции порошка, мкм		
				20...40	20...63	63...100	20...40	20...63	63...100
Порошок меди									
1	ВКС	Ламинарный	200*	22*	—	—	8	—	—
2		Турбулентный	160*	18*	—	—	12	—	—
3	ВКС + пары бензина	Ламинарный	300**	30**	26**	22**	3**	5**	7**
4		Турбулентный	180*	20*	16*	—	10*	12*	—
5	ВКС + пары спирта	Ламинарный	300**	28**	24**	20**	4**	6**	8**
6		Турбулентный	160*	20*	—	—	8*	—	—
Порошок железа ПЖ-1									
9	ВКС + пары бензина	Ламинарный	105*	22*	20*	14*	9*	12*	16*
10		Турбулентный	100**	24**	18**	—	7**	10**	—
11	ВКС + пары спирта	Ламинарный	110*	20*	16*	—	8*	14*	—
12		Турбулентный	110**	25**	18**	—	6**	10**	—
Порошок никелевого сплава ПГ-АН-33									
13	ВКС	Ламинарный	160*	8*	—	—	8*	—	—
14		Турбулентный	125*	6*	—	—	20*	—	—
15	ВКС + пары бензина	Ламинарный	175**	14**	12**	10**	8**	10**	12**
16		Турбулентный	150**	12**	—	—	10**	—	—
17	ВКС + пары спирта	Ламинарный	190**	15**	—	—	7**	—	—
18		Турбулентный	140*	10*	—	—	12*	—	—

Примечания. 1. Прочность сцепления и пористость покрытия порошка ПГ-АН-33 измеряли без оплавления после напыления.  
2. Одна звездочка — напыление возможно, но качество невысокое; две — напыление возможно.

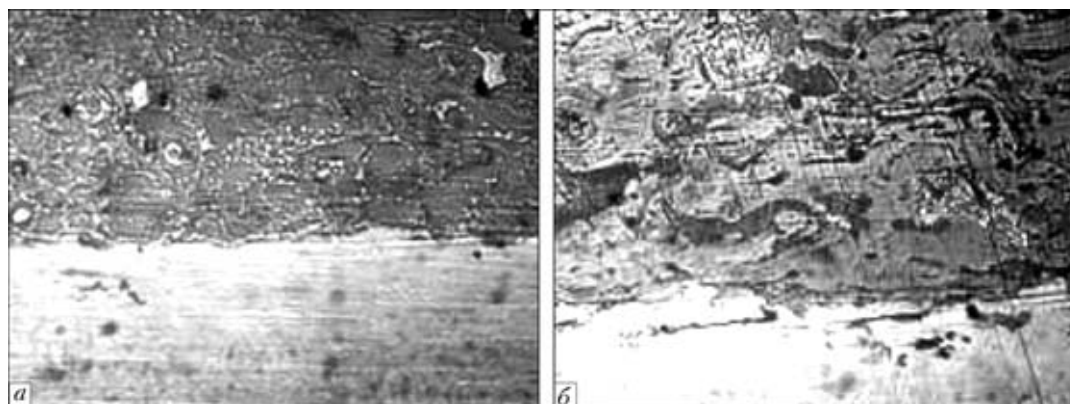


Рис. 3. Микроструктура (X300) покрытия, полученная напылением порошка меди грануляцией 20...40 (а) и 63...100 мкм (б) при ламинарном характере течения продуктов горения ВКС + 5,5 % паров бензина (дистанция напыления — 300 мм)

жанием оксидных включений с достаточной деформацией частиц, что свидетельствует о хорошем энергетическом состоянии частиц для образования покрытия (рис. 4). В микроструктуре покрытия, представленной на рис. 5, наблюдается присутствие оксидных включений на границе покрытие-основа и между слоями покрытия, наличие недеформированных и нерасплавленных частиц, а также имеет место ярко выраженная слоистость покрытия. Напыление порошка такой же грануляции даже при использовании пламени смеси ВКС + 5,5 % паров бензина не дает положительных результатов, что подтверждается наличием низкой прочности сцепления и высокой его пористостью.

Порошок на никелевой основе ПГ-АН-33 предназначен для напыления износостойких и корро-

зионностойких покрытий с последующим оплавлением. При газопламенном напылении ацетилено-кислородным пламенем прочность сцепления покрытия с основой составляет без оплавления 10... 20, а при оплавлении — 400... 450 МПа [12].

Напыление покрытия водородно-кислородным пламенем без оплавления с использованием порошка ПГ-АН-33 показало, что максимальная прочность сцепления находится на уровне покрытий, напыленных ацетилено-кислородным пламенем, и достигает 10... 15 МПа как при турбулентном, так и ламинарном характере течения продуктов горения газовых смесей.

При напылении порошка ПГ-АН-33 грануляцией 20... 40 мкм при ламинарном характере течения продуктов горения смеси ВКС с добавками

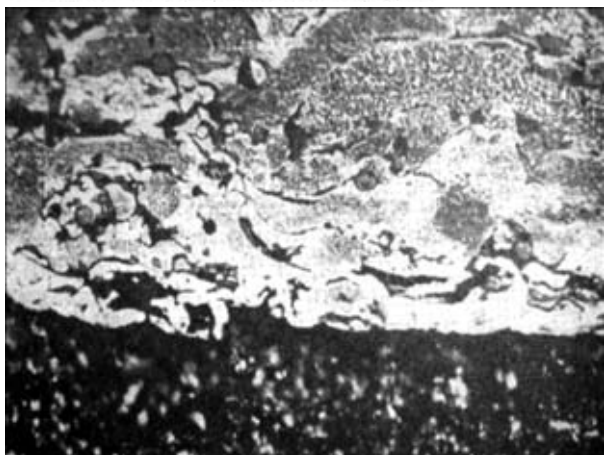


Рис. 4. Микроструктура (X300) покрытия, полученного напылением порошка железа ПЖ-1 грануляцией 20... 40 мкм при турбулентном характере течения продуктов горения смеси ВКС + 16 % паров спирта (дистанция напыления — 110 мм)

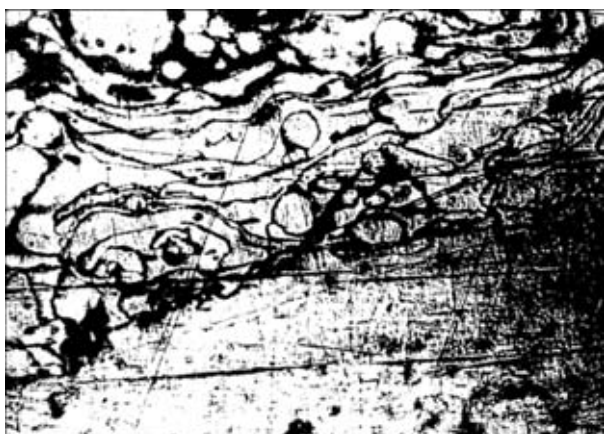


Рис. 5. Микроструктура (X300) покрытия, полученного напылением порошка ПЖ-1 грануляцией 63... 100 мкм при турбулентном характере течения продуктов горения ВКС + 5,5 % паров бензина (дистанция напыления — 100 мм)

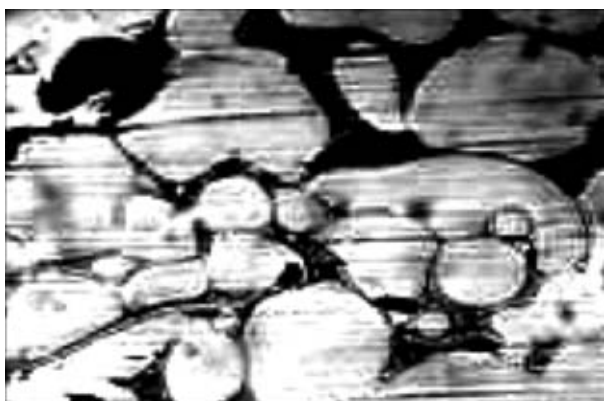


Рис. 6. Микроструктура (X300) покрытия, полученного напылением никелевым порошком ПГ-АН-33 грануляцией 63... 100 мкм при ламинарном характере течения продуктов горения смеси ВКС (дистанция напыления — 170 мм)

углеводородных соединений прочность сцепления покрытия с основой составляла 14... 15 МПа, что находится на уровне прочности покрытий, напыленных без оплавления при использовании ацетилено-кислородного пламени. Увеличение грануляции порошка снижает прочность сцепления

покрытия с основой. На рис. 6 хорошо видны не-расплавленные частицы порошка, что свидетельствует о недостаточном энергетическом состоянии частиц. Для получения качественного покрытия необходимо его оплавление.

## Выводы

1. При газопламенном способе напыления с использованием водородно-кислородного пламени максимальная скорость, которую частица приобретает в газовом потоке при ламинарном характере течения продуктов горения, больше на 10 % по сравнению с турбулентным потоком. В случае добавления в горючую смесь паров бензина при ламинарном характере течения продуктов горения имеет место выраженная зона стабильного движения частиц. При этом максимальная скорость частиц больше, чем при использовании рассмотренных газовых смесей.

2. Водородно-кислородное пламя, полученное при сжигании смеси, производимой электролизно-водяными генераторами, можно применять для напыления материалов с температурой плавления ниже 1000 °С в случае ламинарного характера горения пламени при сжигании ВКС + 5,5 % паров бензина или ВКС + 16 % паров этилового спирта и дистанции напыления около 300 мм. Прочность сцепления покрытия с основой с увеличением грануляции порошка снижается. При газопламенном напылении медных порошков грануляцией 20... 40 мкм она составляет 28... 30 МПа, а в случае 63... 100 мкм снижается до 20... 22 МПа, пористость увеличивается соответственно с 3... 4 до 7... 8 %.

3. При напылении порошковых материалов грануляцией 20... 40 мкм с температурой плавления около 1500 °С возможно получение покрытия с прочностью сцепления не меньшей, чем при использовании ацетилено-кислородного пламени при турбулентном характере течения продуктов горения ВКС + 5,5 % паров бензина или ВКС + 16 % этилового спирта и дистанции напыления около 100... 110 мм.

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В. Н. Анциферов, Г. Б. Бобров, Л. К. Дружинин и др. — М.: Металлургия, 1987. — 792 с.
2. Харламов Ю. А. О роли скорости и температуры частиц при газотермическом напылении // Физ. и химия обработки материалов. — 1983. — № 3. — С. 12-17.
3. Дорожкин Н. Н., Абрамович Т. М., Сахнович В. Т. Теоретическая оценка времени нагрева частиц порошка при газотермическом нанесении покрытий // Докл. АН БССР. — 1989. — 33, № 1. — С. 44-47.
4. Применение газов-заменителей ацетилена при газопламенной обработке металлов / Под ред. И. А. Антонова. — М.: Машиностроение, 1964. — 150 с.
5. Корж В. Н., Попиль Ю. С. Влияние углеводородных добавок на структуру водородно-кислородного пламени и распределение температуры по длине факела // Автомат. сварка. — 2004. — № 11. — С. 36-40.
6. Кудрявцев Е. В. Измерение температуры потока газа большой скорости при помощи термопар // Газодинамика и физ. горения. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 170 с.
7. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. — М.: Наука, 1976. — 888 с.
8. Донской А. В., Клубицкий В. С. Электронплазменные процессы и установки в машиностроении. — Л.: Машиностроение, 1979. — 178 с.



9. *Кречмар Э.* Напыление металлов, керамики и пластмасс. — М.: Машиностроение, 1966. — 428 с.
10. *Исследование* остаточных напряжений в покрытии, основе и на границе их раздела / С. С. Макаревич, Л. М. Кожуро, Ж. А. Мрочек и др. // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения. — Минск: Технопринт, 2001. — С. 326–332.
11. *Thermal coating processes* / Sulzer Metco. — Wastoury, 1996. — 20 p.
12. *Теория и практика* газопламенного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко, Е. Д. Манойло и др. — Минск: Навука і тэхніка, 1993. — 295 с.

Influence of the combustible mixture composition and nature of its flow on the energy state of a spraying particle is considered. Conditions are established of producing flame-sprayed coatings of materials with different melting temperatures, using hydrogen-oxygen flame, formed when burning a mixture generated by water electrolysis generators.

Поступила в редакцию 14.12.2004,  
в окончательном варианте 28.02.2005

Более 13 лет на рынке сварочного оборудования Украины



**предприятие**  
**«Триада-Сварка»**  
**г. Запорожье**

- Электрогазосварочное оборудование
- Горелки к полуавтоматам
- Электрододержатели
- Пусконаладочные работы
- Ремонт сварочного оборудования, в том числе сложного
- Технологическое обеспечение сварочных процессов
- Автоматизированные сварочные линии и комплексы




тел. (0612) 33 1058, 34 3623,  
13 2269, (061) 220 0079 e-mail: weld@triada.zp.ua