

ПОРОШКИ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Ю. А. ХАРЛАМОВ, Н. А. БУДАГЬЯНЦ, доктора техн. наук, А. В. ШЕВЧЕНКО, С. А. ЮДИЦКИЙ, инженеры
(Восточнукр. нац. ун-т, г. Луганск)

Показана перспективность использования отходов обработки прокатных валков для получения в промышленных масштабах дешевых порошков для газотермического напыления. Изучены особенности влияния режимов плазменного напыления покрытий на прочность сцепления. Установлены высокие триботехнические характеристики плазменных покрытий, полученных из смесей чугуновых порошков и никелевых самофлюсующихся сплавов.

Ключевые слова: мелкодисперсные отходы, механические смеси порошков, плазменное напыление, покрытия, прочность сцепления, стружка, шлам, чугуновые порошки

Одним из факторов, сдерживающих широкое использование способов газотермического напыления покрытий (ГТП) в современных условиях, является высокая стоимость специальных материалов и прежде всего порошков. Перспективный путь повышения эффективности процессов ГТП и расширения областей их применения — использование в качестве порошков мелкодисперсных отходов различных производств [1]. В работе [2] предложены технологии получения порошков из стружки серого чугуна для воздушно-плазменного напыления. Высокие триботехнические и прочностные показатели газотермических покрытий (ГТП) из таких материалов достигаются в результате армирования микрорекристаллической ϵ -фазы с повышенной (10000 МПа) микротвердостью. Износостойкость и прочность сцепления $\sigma_{\text{сц}}$ покрытий не уступает аналогичным показателям (а в ряде случаев превышает их) широко используемых ГТП на основе эвтектических никелевых сплавов.

Перспективной сырьевой базой для получения порошков и порошковых композиций для ГТП являются шламы [3, 4]. В настоящей работе в качестве исходных материалов для получения чугуновых порошков и композиций на их основе были использованы продукты обдирочного шлифования двухслойных центробежно-литых чугуновых прокатных валков (ЛПХНМ-76, ЛПХНМ-73, ЛПХНМ-71, ЛПХ17НМ-71) и стружка валков (СПХН-49, СШХНМД-63, ЛПХН-63, ЛПХ17НМ-58).

Стружка и шлам получены после обработки чугуна разных структурных классов. Стружка образуется при токарной обработке без смазывающе охлаждающей жидкости (СОЖ) бочек прокатных валков твердостью HRC 36...54 с перлитной и троостоперлитной структурой металлической матрицы (табл. 1) [5, 6]. Основу шламов составляют продукты

шлифования отбеленного слоя высоколегированных чугунов твердостью HRC 55...64 с дисперсной мартенситной и троостомартенситной металлической основой (табл. 1) [5, 6].

Микроструктуру чугунов изучали с помощью микроскопа МИМ-8 на стружке типа СПХН-49, СШХНМД-63, ЛПХН-63, ЛПХ17НМ-58 и образцах, вырезанных из рабочих поверхностей прокатных валков ЛГХН-63, ЛПХНМ-73. Травление шлифов производили 4%-м раствором HNO_3 в этиловом спирте. Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3. Отдельные структурные составляющие идентифицировали с учетом имеющихся данных [5, 6]. Характеристики микроструктуры валков ЛПХНМ-76, ЛПХНМ-71 и ЛПХ17НМ-71 принимали по результатам работ [5, 6]. Морфологию частиц изучали на измерительном микроскопе МБС-9 ($\times 63$). Объектами для исследований служили пробы (по четыре каждой фракции) порошков массой около 1 г.

Стружка, образовавшаяся при точении валков резцами из сплава ВК2 без использования СОЖ, имела вид пластин размером от $36 \times 15 \times 2$ до $38 \times 16 \times 2$ мм с многочисленными сколами и трещинами. Существенных отличий в микроструктуре стружки и обрабатываемого чугуна не наблюдалось. Микротвердость отдельных структурных составляющих и дисперсность упрочняющих фаз в отбеленном слое валка ЛПХН-63 и стружки после его токарной обработки практически идентичны.

Таблица 1. Химический состав чугуновых прокатных валков

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Ti	S	P
ЛПХН-71	2,9	0,5	0,6	1,0	3,10	—	—	—	—	0,08	0,20
ЛПХНМ-73	3,0	0,6	0,7	1,1	3,72	0,30	—	—	—	0,05	0,21
ЛПХНМ-76	3,0	0,6	0,7	1,4	4,20	0,34	—	—	—	0,05	0,12
ЛПХ17НМ-71	2,8	0,6	1,1	16,2	2,10	0,40	0,20	0,8	0,50	0,03	0,07
СПХН-49	3,0	0,7	0,6	0,7	1,20	—	—	—	—	0,08	0,29
СШХНМД-63	3,1	1,3	0,6	0,8	3,00	0,30	—	0,4	—	—	—
ЛПХН-63	2,8	0,5	0,6	0,8	2,80	—	—	—	—	0,07	0,40
ЛПХ17НМ-58	2,9	0,5	1,0	15,4	1,70	0,52	0,22	—	0,45	0,04	0,07

Таблица 2. Структура рабочего слоя прокатных валков после термической обработки

Марка чугуна*	Металлическая основа	Карбиды и графит	Твердость чугуна, HRC
ЛПХН-71	Троостит, игольчатый мартенсит (HV 7500...8200 МПа)	Эвтектические (HV 10000...10900 МПа) и вторичные (HV 9000...9800 МПа) карбиды Fe ₃ C	55...60
ЛПХНМ-76	Игольчатый мартенсит (HV 8400...8900 МПа)	Эвтектические (HV 10500...11400 МПа) и вторичные (HV 9500...10000 МПа) карбиды Fe ₃ C	55...63
ЛПХНМ-73 (шлиф из бочки валка)	То же	То же	56...63
ЛПХ17НМ-71	Игольчатый мартенсит (HV 8600...9000 МПа)	Эвтектические (HV 16000...17200 МПа) и вторичные (HV 13700...14200 МПа) карбиды Cr ₇ C ₃ , Fe ₃ C (HV 10000 МПа)	60...64
ЛПХ17НМ-58 (шлиф стружки)	Сорбитообразный перлит	Цементит (HV 9100...9800 МПа), шаровидный графит	52...54
СШХНМД-63 (шлиф стружки)	Троостит	Цементит (HV 9100...9800 МПа), графит	47...51
СПХН-49 (шлиф стружки)	Пластинчатый перлит	Цементит (HV 9100...9800 МПа), графит	36...40
ЛПХН-63 (шлиф стружки)	Зернистый перлит, троостит	Эвтектические (HV 10100...10800 МПа) и вторичные (HV 9200...10000 МПа) карбиды цементитного типа	50...53

* Информация получена из [6, 7].

Исследование шлифов стружки СПХН-49, СШХНМД-63 и ЛПХ17НМ-58 и сопоставление результатов, полученных в [5, 6], существенных отличий в микроструктуре стружки и прокатных валков не выявили (табл. 2). Объемная доля карбидной фазы в хромоникелевых чугунах составляла 25...35 %, микротвердость легированных карбидов железа — 9000...11000 МПа, хрома — 14000...17000 МПа [5, 6] (табл. 2).

Размол стружки осуществляли в двухсекционной шаровой мельнице (ШМ), имеющей барабан диаметром 600 мм, на частоте 28, 33 и 42 об/мин (отношение частоты вращения n рабочей камеры к критической частоте $n_{кр}$ составляло соответственно 0,51, 0,60 и 0,76 [7], коэффициент объемной загрузки — приблизительно 0,3 и отношение массы шаров (30 кг) к массе стружки (6 кг) — 5:1). Стружку измельчали последовательно: предварительно в ШМ диаметром 250 мм и окончательно — в дезинтеграторе. Для сопоставления эффективности размола материалов разных структурных классов дополнительно исследовали технологические возможности переработки в порошок для ГТНП стружки серого чугуна СЧ-20 (пластины размером

8×4×0,2 мм), образующейся при операциях расточки корпусных деталей.

Анализ зависимости выхода порошков фракции 63...100 мкм от времени размола стружки (рис. 1 и 2) позволяет сделать предварительные выводы об эффективности измельчения в ШМ материалов различных структурных классов. Наиболее легко поддается дроблению стружка серого чугуна. Производительность процесса зависит от частоты вращения барабана мельницы и достигает максимального значения при $n = 42$ об/мин, $n/n_{кр} = 0,76$ (рис. 1). При измельчении материалов с повышенной твердостью металлической основы, содержащих значительное количество карбидной фазы, производительность дробления значительно снижается. Резкое уменьшение производительности размола стружки из чугунов с отбеленным рабочим слоем обусловлено повышением энергии их разрушения. Наибольшей энергией разрушения в условиях ударных нагрузок отличаются хромоникелевые чугуны ЛПХ17НМ-58 и ЛПХН-63. Наименьший выход порошка фракции 63...100 мкм наблюдается при измельчении стружки высокохромистого чугуна ЛПХ17НМ-58 (рис. 2). Это указывает на то, что энергетические параметры размола твер-

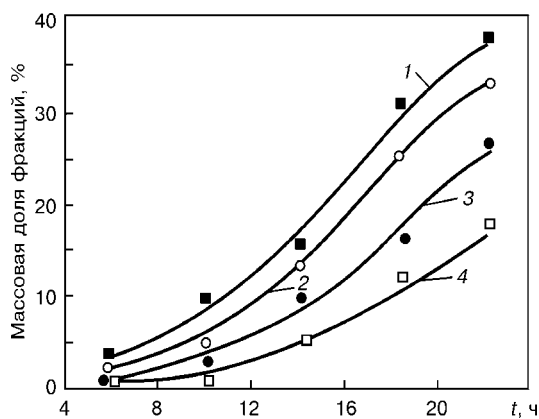


Рис. 1. Зависимость выхода Q порошка фракции 63...100 мкм от времени t размола в ШМ стружки серого чугуна СЧ-20: 1-3 — диаметр 600 мм соответственно при $n/n_{кр} = 0,76, 0,60$ и $0,51$; 4 — диаметр 250 мм при $n/n_{кр} = 0,76$

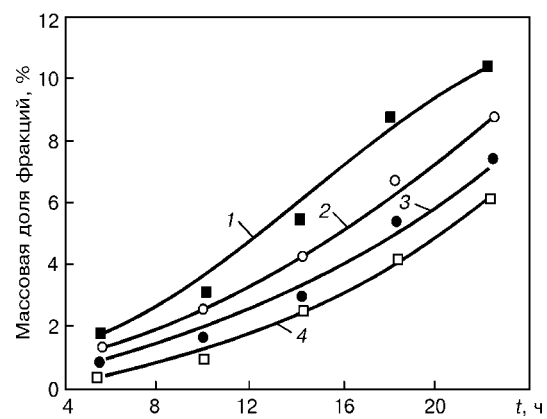


Рис. 2. Зависимость выхода порошка фракции 63...100 мкм от времени размола в ШМ стружки валков диаметром 600 мм при $n/n_{кр} = 0,76$: 1 — СПХН-49; 2 — СШХНМД-63; 3 — ЛПХН-63; 4 — ЛПХ17НМ-58

Таблица 3. Режимы размола стружки в дезинтеграторе

Марка чугуна	Окружная скорость роторов (м/с) при циклах измельчения*			Массовая доля порошков, %					Энергоемкость размола, кВт·ч/кг		
				Фракционный состав, мкм							
	1	2	3	-50	+50...-63	+63...-100	+100...-200	+200...-400	-50	+50...-63	+63...-100
СЧ-21	220	260	300	11	35	45	9	—	0,8	0,51	0,40
СПХН-49	170	200	280	6	20	35	30	9	1,4	0,72	0,54
СШХНМД-63	140	180	260	5	17	28	40	10	1,7	0,90	0,62
ЛПХН-63	130	150	240	5	15	20	45	15	2,1	1,60	1,00
ЛПХ17НМ-58	120	150	240	5	12	19	44	20	2,4	1,80	1,20

* При циклах измельчения 4 и 5 окружная скорость роторов составляет 300 м/с.

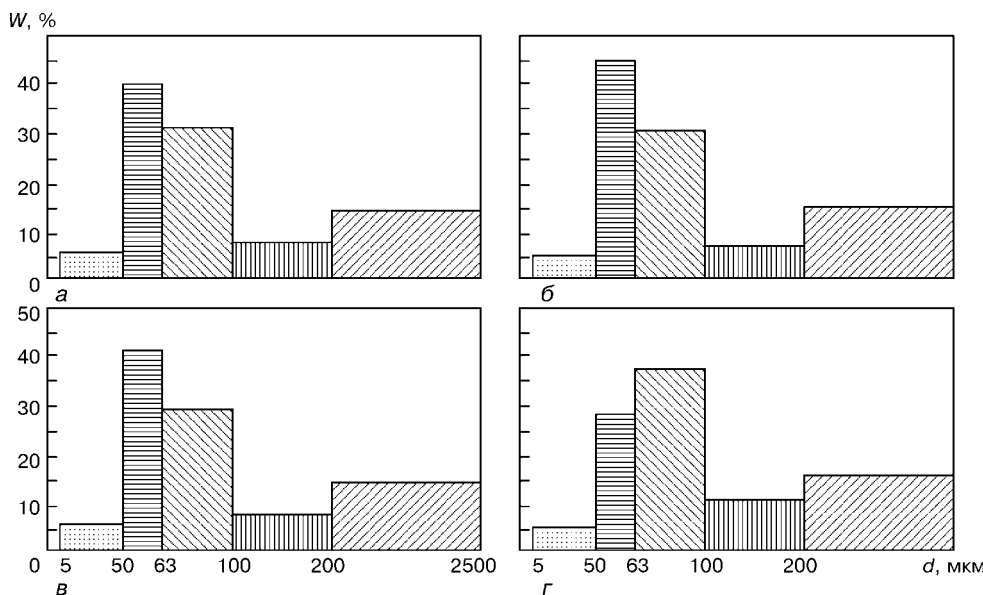


Рис. 3. Гранулометрический состав W шлама после циклонной очистки: a — ЛПХНМ-76; $б$ — ЛПХНМ-71; $в$ — ЛПХНМ-73; $г$ — ЛПХ17НМ-71; d — размер частиц шлама

дых материалов зависят не только от структуры металлической основы, но и от содержания, состава и морфологии карбидов. Малый выход порошков для ГТНП из более твердых чугунов и зависимость производительности размола от структуры стружки и ее размеров позволяют рекомендовать дробление в ШМ как предварительную операцию в технологическом процессе переработки стружки.

Перспективными диспергирующими устройствами являются вибромельницы и дезинтеграторы. В качестве исходного материала для измельчения в дезинтеграторе использовали стружку диаметром 250 мм, предварительно раздробленную в ШМ до фракции 1500 мкм. Режимы измельчения и гранулометрический состав продуктов размола приведены в табл. 3. Сравнительно большой выход (около 100 мкм) дисперсной фракции достигается только при многоцикловом диспергировании (4–5 циклов). Проведенные исследования выявили значительный рост энергозатрат при переходе от размола стружки серых чугунов к измельчению стружки

прокатных валков (табл. 3). Вследствие этого применение дезинтеграторных установок в масштабах серийного производства порошков с размером частиц менее 100 мкм экономически неэффективно. В связи с этим более перспективно получение порошков из отходов шлифования прокатных валков.

Шлифование валков производится кругами 25АС2К7 с использованием в качестве СОЖ 1%-го раствора кальцинированной соды. Образующиеся шлифовальные шламы представляют собой влажную пастообразную смесь, состоящую из мелкодисперсной чугунной стружки, абразивных зерен и материала связки шлифовального круга с раз-

Таблица 4. Массовая доля абразива в порошках, %

Марка чугуна	Фракционный состав, мкм						
	-50	+50...-63	+63...-100	+100...-200	+200...-400	+400...-800	+800...-2500
ЛПХН-71	23,8	$\frac{12,2}{2,7}$	$\frac{24,4}{2,1}$	40	50...55	-60	70...80
ЛПХНМ-76	26,4	$\frac{12,0}{2,8}$	$\frac{27,8}{2,2}$	48	54...60	-60	70...80
ЛПХНМ-73	26,0	$\frac{14,4}{3,0}$	$\frac{26,0}{2,3}$	48	54...60	-60	70...80
ЛПХ17НМ-71	25,2	$\frac{14,7}{3,1}$	$\frac{26,1}{2,6}$	50	52...57	-60	70...80

Примечание. Здесь и в табл. 6 в числителе приведены данные после циклонной очистки; в знаменателе — после магнитной сепарации шлама.

Таблица 5. Химический состав порошков стружки ЛПХНМ-73 после циклонной очистки и магнитной сепарации шлама

Фракционный состав, мкм	Массовая доля элементов*, %					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P
50...63	2,60	3,2	0,61	0,76	3,05	0,32
63...100	2,76	2,1	0,63	0,79	3,45	0,37

* В разных фракционных составах массовая доля молибдена составляет 24,0, а серы — 0,06 %.

мером частиц 0,005...2,500 мм. Высокая дисперсность шламов в значительной мере обусловлена режимами шлифования и в первую очередь малой (0,05 мм) глубиной резания.

Переработка шламов в порошки включала следующие операции: сушку шламов в сушильном шкафу при температуре 423 К в течение 3 ч; кратковременное (10 мин) измельчение высушенной массы в ШМ; циклонную очистку шлама от пылевидных фракций и его рассев с последующей магнитной сепарацией для отделения абразивных включений.

Массовая доля частиц размером 50...63 и 63...100 мкм в десяти исследованных партиях шламов после циклонной очистки (масса каждой партии 5 кг) составила приблизительно 60...70 мас. % (рис. 3). Массовая доля абразива в шламах дисперсностью 50...63 мкм находилась на уровне 10...12 %, в шламах с размером частиц 63...100 мкм — 22...26 % (табл. 4). Концентрацию абразивных зерен определяли из отношения массы отделенного корунда к массе исследуемой партии шлама. Количество остаточного абразива после магнитной сепарации оценивали с помощью микроскопического анализа порошков по стандартной методике. В шламах с размером частиц меньше 50 мкм ввиду неэффективности их магнитной очистки массовую долю абразива определяли микроскопическим анализом проб.

Результаты химического анализа порошков, полученных после циклонной очистки и магнитной сепарации шламов, приведены в табл. 5. Неочищенные шламы содержат значительное (19,2...22,0 %) количество кремния из связки шлифовального круга. В готовом продукте массовая доля кремния ниже — 2,1...3,2 % (табл. 5). Снижение массовой доли углерода, никеля, хрома и других легирующих элементов объясняется наличием частиц абразивного круга в порошках. Уменьшение массовой

доли углерода с 3,0 до 2,6...2,8 % и хрома с 1,10 до 0,76...0,81 % может быть также связано с выкрашиванием глобулей графита и карбидов при шлифовании валков [6, 7].

Результаты исследований технологических свойств порошков из шлифовальных шламов (табл. 6) показали, что они характеризуются удовлетворительной текучестью и могут транспортироваться стандартными дозирующими устройствами.

На процессы теплообмена между напыляемым материалом и плазменной струей большое влияние оказывает морфология частиц. Этот фактор в значительной степени определяет трудности, возникающие при транспортировке порошков. Частицы порошков размером до 63 и 100 мкм имеют преимущественно сферическую или овальные форму и рваные края и зазубрины. Кроме того, в этих порошках присутствуют также частицы игольчатой формы толщиной 5...15 мкм и длиной 70...120 мкм.

С целью определения возможности использования полученных порошков в технологиях ГТП в составе порошковых смесей и как самостоятельного материала были изготовлены и напылены плазменным способом покрытия из механических смесей порошков ЛПХНМ-73 и никелевого самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ фракции 63...100 мкм.

Поверхность образцов из нормализованной стали 45 перед напылением подвергали абразивно-струйной обработке корундом фракционного состава 0,4...0,8 мм. Для напыления образцов использовали серийную установку УПУ-ЗД с плазмотроном ПП-25 (ток дуги $I_d = 300$ А, напряжение дуги $U_d = 35...50$ В). В качестве плазмообразующего газа применяли смесь аргона и азота. Прочность сцепления покрытий определяли по методике отрыва конического штифта. Состав плазмообразующей смеси выбирали исходя из следующих соображений. Качество плазменно-напыленных покрытий (ПНП) определяется температурой и скоростью частиц в момент соударения с основой. Значительное повышение эффективности теплопередачи от плазмы к порошку достигается при использовании высокоэнтальпийных газовых струй с большой теплоемкостью и значительной протяженностью при относительно низких температурах. Однако в случае повышенного напряжения сжатой дуги в молекулярных газах требуется применение специальных источников питания с высокими рабочим напряжением и напряжением холостого хода. Лишь использование плазмообразующих одноатомных газов (например, аргона) позволяет питать сжатую дугу от обычных источников тока с напряжением холостого хода 90...120 В. Оптимальное сочетание интенсивного нагрева порошков со сравнительно экономичным оборудованием для ПНП достигается при формировании плазменных струй из смесей одно- (аргон) и многоатомных высокоэнтальпийных газов (азота и водорода).

Основное влияние на прочность сцепления ГТП оказывают напряженное состояние в системе покрытие-основа и структура переходной зоны, которые

Таблица 6. Технологические свойства порошков

Марка чугуна	Текучесть, с			Насыпная плотность, г/см ³		
	Фракционный состав, мкм					
	-50	+50...-63	+63...-100	-50	+50...-63	+63...-100
ЛПХН-71	11	$\frac{21}{26}$	$\frac{28}{31}$	1,80	$\frac{2,0}{2,3}$	$\frac{1,9}{2,10}$
		$\frac{19}{24}$	$\frac{26}{29}$		$\frac{2,0}{2,3}$	$\frac{1,8}{2,18}$
ЛПХНМ-76	12	$\frac{19}{24}$	$\frac{26}{29}$	1,70	$\frac{2,0}{2,3}$	$\frac{1,8}{2,18}$
		$\frac{19}{24}$	$\frac{26}{29}$		$\frac{2,0}{2,3}$	$\frac{1,8}{2,20}$
ЛПХНМ-73	10	$\frac{19}{24}$	$\frac{26}{29}$	1,70	$\frac{2,0}{2,3}$	$\frac{1,8}{2,20}$
		$\frac{22}{26}$	$\frac{25}{28}$		1,86	$\frac{2,1}{2,4}$

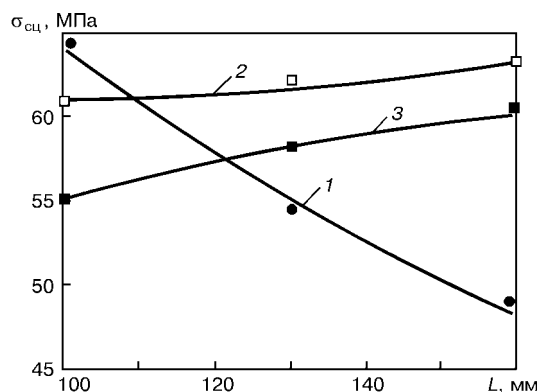


Рис. 4. Зависимость прочности сцепления покрытий из порошка ПГ-СРЗ фракции менее 100 мкм от напряжения на дуге и дистанции напыления: 1 — $U_d = 40$; 2 — 45; 3 — 50 В

можно регулировать термическими, химическими и технологическими способами: подготовкой поверхности; предварительным подогревом основы; дистанцией напыления; составом плазмообразующего газа и его расхода и подводимой мощностью. На рис. 4 и 5 приведены зависимости прочности сцепления ПНП от дистанции напыления L и напряжения на дуге U_d .

Прочность сцепления покрытий (35 МПа) одинаковой толщины (0,6...0,7 мм) из очищенного шлама в 1,7...1,8 раза меньше, чем покрытий, напыленных никелевым самофлюсующимся сплавом (60...65 МПа). Прочность сцепления покрытий из чугунных порошков фракции 50...63 мкм в 1,3...1,5 раза меньше, чем покрытий из порошков фракции 63...100 мкм. В то же время применение порошков фракции 50...63 мкм обеспечивает получение более плотного покрытия. По данным [8, 9], покрытия из самофлюсующихся порошков на основе железа имеют большую прочность сцепления $\sigma_{сц}$ по отношению к конструкционным сталям, чем покрытия из никелевых сплавов, что в значительной степени обусловлено лучшей совместимостью их коэффициентов термического расширения (КТР) с таковыми материала основы. При этом прочность сцепления (40 МПа) плазменных покрытий из порошков фракции 50...63 мкм несколько выше, чем у покрытий из порошков фракции 63...100 мкм ($\sigma_{сц} = 34...36$ МПа). Сравнение полученных результатов указывает на качественные и количественные различия в закономерностях формирования адгезионных связей в ПНП из самофлюсующихся порошков и материалов, не отличающихся эффектом самофлюсования. Поскольку КТР рассматриваемых чугунов более совместим с КТР основы, чем аналогичный показатель самофлюсующегося сплава на основе никеля, прочность сцепления зависит не только от вида напряженного состояния и остаточных напряжений, но и от особенностей формирования контактной зоны покрытие-основа.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 4 и 5, позволил сделать следующие предположения о влиянии режимов напыления на прочность сцепления плазменных покрытий с основой. С увеличением дистанции напыления от 100 до 160 мм в случае недостаточной тепловой мощности плазмен-

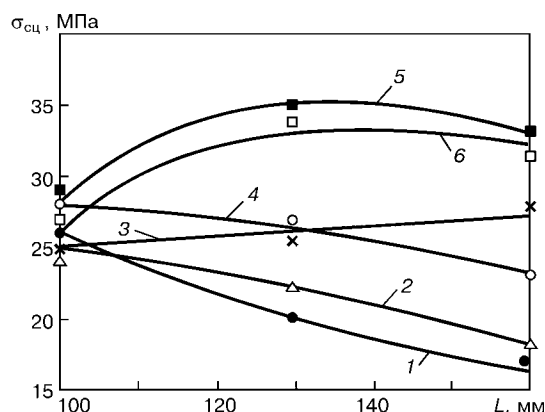


Рис. 5. Зависимость прочности сцепления покрытий из чугуна ЛПХМ-73 от напряжения на дуге и дистанции напыления: 1 — $U_d = 35$, 2 — 40, 3 — 40 (фракция 50...63 мкм); 4 — 40, 5 — 45, 6 — 50 В (фракция 63...100 мкм)

ной струи при $U_d = 40$ В происходит охлаждение частиц, понижение контактной температуры и, как следствие, уменьшение прочности сцепления покрытий из порошка никелевого сплава ПГ-СРЗ с 65 до 47 МПа (рис. 4). Повышение напряжения дуги до 45...50 В приводит к увеличению протяженности высокотемпературной зоны плазменной струи и интенсификации теплообмена между частицами и плазмой. Это позволяет наносить покрытия с высокой (57...65 МПа) прочностью сцепления в широком диапазоне дистанций напыления ($L = 100...160$ мм). Сравнительно низкая интенсивность роста прочности сцепления для сплава ПГ-СРЗ во всем диапазоне дистанций напыления $L = 100...160$ мм при $U_d = 45...50$ В связана со структурными особенностями эвтектического сплава, который переходит в жидкое состояние и кристаллизуется при температуре приблизительно 1000 К при всех режимах напыления.

При напылении чугунных порошков заметное влияние на прочность сцепления оказывают их фракционный состав, дистанция напыления и напряжение на дуге (кривые 3–6 на рис. 5). Снижение прочности сцепления покрытий из порошков фракции 50...63 мкм следует связывать с перегревом и окислением напыляемых частиц. Формирование на поверхности частиц нерастворенных оксидов, температура плавления которых превышает температуру плавления основного металла, ограничивает значения прочности сцепления. В самофлюсующихся сплавах на основе железа при плазменном нанесении покрытий порошками дисперсностью 50...63 мкм наблюдается существенное (в сравнении с порошками фракций 63...100 и 100...160 мкм) выгорание легирующих элементов — бора и углерода [8, 9]. В электродуговых, газопламенных и плазменных покрытиях из порошковых проволок и порошков системы Fe–B, Fe–B–Cr и 40X13 процессы окисления в 1,5...2,2 раза снижают прочностные характеристики ГТП [10, 11]. В электродуговых покрытиях из проволоки 40X13 при увеличении массовой доли кислорода с 1,5 до 4,5 % прочность сцепления уменьшается с 45...47 до 28...30 МПа. Согласно [2], массовая доля кислорода в плазменных покрытиях из порошков серого чугуна может достигать 7,0...7,2 %.

Частицы ПГ-СРЗ при одной и той же степени прогрева более длительное время остаются в жидком и пластическом состоянии, чем частицы чугуна. Поэтому пластическая деформация, процессы активации и физико-химического взаимодействия частиц с основой в первом случае протекают интенсивнее, чем во втором, обеспечивая более прочное сцепление частиц никелевого сплава с основой. При напылении покрытий из механических смесей чугуновых порошков и сплава ПГ-СРЗ с увеличением массовой доли последнего от 0 до 100 % прочность сцепления покрытий увеличивается линейно — от 36 до 63 МПа.

Плазменные покрытия из механических смесей чугунового и никелевого самофлюсующегося порошков отличаются более высокими триботехническими характеристиками, чем покрытия, напыленные отдельно сплавом ПГ-СРЗ и порошком чугуна. Плазменно-напыленные покрытия, полученные из смесей порошков на коленчатых валах легковых и грузовых автомобилей, прошли успешные испытания.

Выводы

1. Наиболее перспективным сырьем для получения порошков из отходов механической обработки прокатных валков являются шламы, переработка которых обеспечивает большой (50...55 %) выход материалов дисперсностью 50...100 мкм, пригодных для ГТНП.

2. Плазменно-напыленные покрытия из чугуновых порошков характеризуются более низкой по сравнению с самофлюсующимися сплавами прочностью сцепления и высокой пористостью. Поэтому их дальнейшее применение для нанесения изно-

стойких покрытий наиболее эффективно в составе порошковых смесей.

1. *Борисов Ю. С., Кудинов В. В.* Порошки для газотермического напыления из отходов металлообработки: Основы производства и перспективы применения // Порошк. металлургия. — 1989. — № 10. — С. 25–30.
2. *Борисов Ю. С., Коржик В. Н., Панько М. Т.* Разработка процесса получения порошков для газотермического напыления из стружки серого чугуна // Автомат. сварка. — 1995. — № 6. — С. 7–12.
3. *Использование порошков из отходов различных производств для напыления покрытий* // Т. Л. Борович, В. В. Кудинов, П. Ю. Пекшев и др. // Новые методы напыления защитных покрытий. Межв. науч. сб. — Калинин: Калинин. гос. ун-т, 1983. — 76 с.
4. *Роман О. В., Генкин В. А., Дмитрович А. А.* Пористый материал с повышенными эксплуатационными свойствами для фрикционных узлов, работающих в масле // Новые порошковые материалы: Сб. науч. тр. / ИПМ АН УССР. — Киев, 1986. — С. 83–87.
5. *Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов* / Т. С. Скобло, Н. М. Воронцов, С. И. Рудюк и др. — М.: Металлургия, 1994. — 336 с.
6. *Будагьянц Н. А., Карский В. Е.* Литые прокатные валки. — М.: Металлургия, 1983. — 175 с.
7. *Либенсон Г. А., Панов В. С.* Оборудование цехов порошковой металлургии. — М.: Металлургия, 1983. — 262 с.
8. *Нечипоренко А. А., Марцевой Е. П.* Напыление покрытий из порошков самофлюсующихся сплавов на основе железа плазменно-дуговым методом. 1. Оценка температуры и скорости полета частиц порошка в плазменном потоке // Порошк. металлургия. — 1995. — № 1/2. — С. 35–40.
9. *Нечипоренко А. А., Марцевой Е. П.* Напыление покрытий из порошков самофлюсующихся сплавов на основе железа плазменно-дуговым методом. 2. Структура и свойства покрытий // Там же. — 1995. — № 3/4. — С. 38–43.
10. *Козьяков И. А., Коржик В. Н., Борисов Ю. С.* Стойкость аморфизированных газопламенных покрытий, полученных с использованием порошковых проволок системы Fe–В, в условиях абразивного изнашивания // Автомат. сварка. — 1996. — № 11. — С. 21–23.
11. *Ивашко В. С., Белоцерковский К. В., Буйкус К. В.* Восстановление деталей узлов трения активированной дуговой металлизацией // Там же. — 1999. — № 4. — С. 47–49.

The prospects of use of wastes after the mill rolls machining to produce cheap powders for thermal spraying in industrial scales are shown. Peculiarities of effect of conditions of plasma coating on the adhesion strength are studied. High tribotechnical characteristics of plasma coating produced from mixtures of cast iron powders and nickel self-fluxing alloys are established.

Поступила в редакцию 16.07.2001