

УДК 621.793.7

СЫРЬЕВАЯ БАЗА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ

Ю.А. ХАРЛАМОВ, Н.А. БУДАГЬЯНЦ, А.В. ШЕВЧЕНКО

(Восточно-украинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина)

Систематизированы данные по составу, структуре и свойствам чугунов, используемых в производстве прокатных валков, и дисперсному составу отходов, образующихся при механической обработке.

Перспективными материалами для получения недорогих и недефицитных порошков являются стружка и шламы легированных сталей и чугунов. Газотермические покрытия на основе серых чугунов не нашли широкого применения ввиду ограниченных объемов стружки, пригодной для производства порошков стабильного состава и структуры. Кроме того, при измельчении серых и высокопрочных чугунов не обеспечивается полное удаление графита, оказывающего отрицательное влияние на технологические свойства порошков и прочность газотермических покрытий. Поэтому актуальной является проблема поиска и выбора сырьевой базы металлоотходов для стабильного производства чугунных порошков с улучшенными технологическими свойствами.

В качестве исходных материалов для получения порошков дисперсностью 30... 160 мкм с минимальным количеством графита могут быть использованы стружка и шламы, образующиеся при токарной обработке и шлифовании чугунных прокатных валков с отбеленным рабочим слоем, содержащим легированные карбиды железа, хрома, молибдена, ванадия, титана [1, 2]. При этом следует ожидать проявления технологической наследственности, т.е. в определенной степени наследования получаемыми порошками химического состава и структуры исходных чугунов. В связи с этим научный и практический интерес представляет анализ структуры валковых чугунов с позиций их последующего использования в качестве материала покрытий.

Отбеленный слой глубиной 15...35 мм формируется на бочках валков в условиях ускоренной кристаллизации доэвтектического расплава в металлической части комбинированной литейной формы. Для производства прокатных валков используют более 25 наименований высокоуглеродистых сплавов с концентрацией элементов в следующих пределах (рис. 1): С – 2,6...3,8 %; Si – 0,2...2,0 %; Mn – 0,2...1,2 %; Cr – 0,1...20,0 %; Ni ≤ 0,15...4,2 %; V – 0...0,8 %; Cu – 0...1,0 %; Ti – 0...0,05 %; Mo – 0...1,0 %; Se – 0...0,085 %; N ≤ 0,03...0,04 %; S ≤ 0,05...0,1 %; P ≤ 0,04...0,4 %. Валковые чугуны отличаются структурой, фазовым составом и твердостью (рис. 2) и содержат от 2-х до 4-х следующих фаз: троостит; бейнит; игольчатый мартенсит; аустенит; графит, в том числе шаровидный [2].

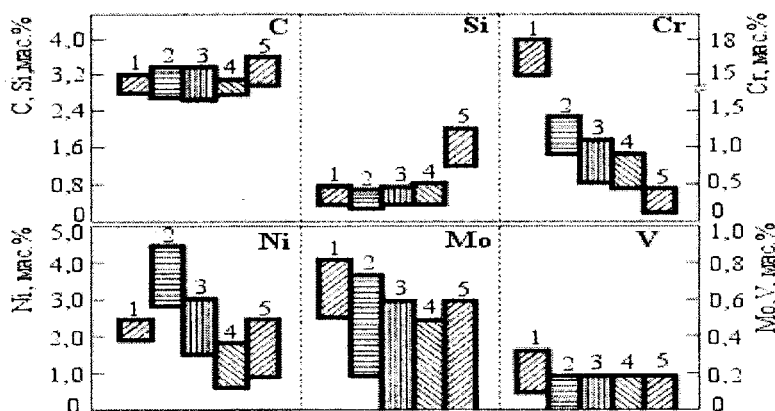


Рис. 1. Химический состав отбеленного слоя прокатных валков:

- 1 – валки исполнения ЛПХ17НМ-71; ЛПХ17НМФ-70; 2 – валки ЛПХН-71; ЛПХНМ-72, 73, 76; ЛПХНМД-71;
 3 – валки ЛПХН-63; ЛПХНМ-65; ЛПМ-59; СПХН(Ф)-60,65; СПХНМ-59,66; СШХНМД-63,65;
 4 – валки СПХН(Ф)-41,43,45,49; СПХНМ-42,47; 5 – валки СШХН-41,45,47; СШХНФ-47; СШХНМ-42,46

Важнейшей структурной составляющей валковых чугунов является карбидная фаза. Количество, морфология, состав и структура карбидов, оказывая существенное влияние на эксплуатационные свойства валков и их механическую прочность, будут также в значительной мере определять технологичность переработки отходов механической обработки чугунов в порошки и свойства последних.

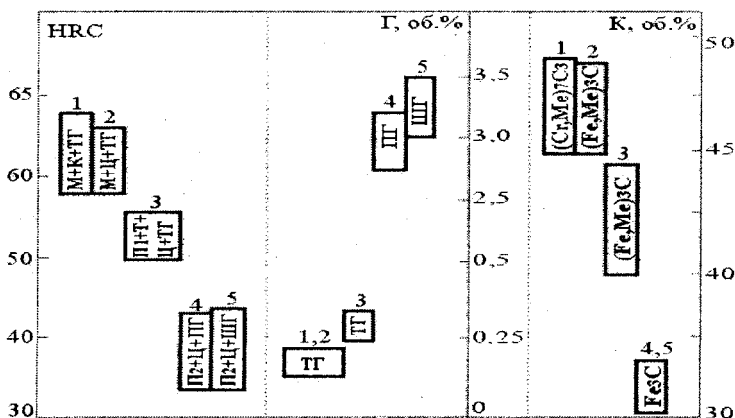


Рис. 2. Параметры структуры и твердость валковых чугунов:

- 1 - высокохромистые мартенситные чугуны; 2 - хромоникелевые чугуны мартенситного класса;
- 3 - чугуны с перлитной и троост-перлитной структурой металлической основы и точечным графитом;
- 4 - чугуны с шаровидным графитом; 5 - чугуны с пластинчатым графитом; ТГ - точечный графит;
- ПГ - пластинчатый графит; ШГ - шаровидный графит; М - мартенсит; П₁ П₂ - соответственно зернистый и пластинчатый перлит; Т - троостит; К - карбиды; Ц - легированный цементит

Твердость низколегированных белых чугунов в концентрационном интервале углерода 2,8...3,4 % линейно связана с его массовой долей в составе карбидов и увеличивается при уменьшении количества графита в соответствии с эмпирическим уравнением; $HSh = 16,67 (\%C_{C-V}) + 13$ [2].

По типу получаемых карбидов и соответствующей системе легирования чугуны можно разделить на следующие группы;

- 1) сплавы, содержащие менее 4 мас. % Cr; 2,8...3,4 мас. % C; 0,8...4,0 мас. % Ni; до 2 мас. % Si;
- 2) сплавы с 4...12 мас. % Cr; 2,7...3,2 мас. % C; 1,4...3,5 мас. % Ni; 0,6...0,8 мас. % Si;
- 3) сплавы, содержащие 15...18 мас. % Cr; 2,9...3,4 мас. % C; 1,0...2,5 мас. % Ni; 0,5...0,6 мас. % Si.

Для производства прокатных валков используют в основном чугуны 1 и 3 групп [1]. Высокоуглеродистые сплавы с концентрацией хрома 4... 12 мас. % находят ограниченное применение. В хромоникелевых чугунах с 0,6...4,0 мас. % Cr и 2,7...3,4 мас. % C карбидная фаза образована эвтектическим и вторичным цементитом микротвердостью 8,4... 11 ГПа с обобщенной формулой $(Fe, Me)_x C_y$, где x - суммарное содержание элементов, замещающих железо в кристаллической решетке карбида - Mn, Ni, Cr, Mo, V; $x = 2,7...3$ [2]. Цементитная эвтектика (ледебурит) представляет собой обособленные крупные карбидные пластины, пронизанные столбиками мартенсита. Она содержит 60 об. % $(Fe, Me)_x C$ и 40 об. % α -Fe.

Наименьшее количество эвтектических и вторичных карбидов $(Fe, Me)_x C$ (30...32 об. %) содержится в отбеленном слое хромоникелевых прокатных валков твердостью 34...43 HRC (валки исполнений СПХН-41, 43, 45; СШХН-41, 45, 47; СШХНМ-46). При увеличении твердости отбеленного слоя до 50...55 HRC (валки ЛПХН-63; СПХН-60, 65; СПХНМ-59; СШХНМД-63, 65) количество карбидов возрастает до 40...44 об. %. В наиболее твердых чугунах (отбеленный слой твердостью 58...64 HRC на бочках валков ЛПХН-71, ЛПХНМ-73, 76) с содержанием графита менее 0,25 % объемная доля легированного цементита составляет 45...48 % (рис. 3).

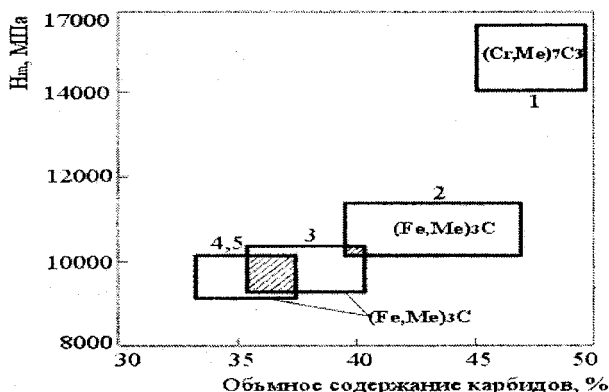


Рис. 3. Микротвердость, типы и объемное содержание карбидов в отбеленном слое прокатных валков; обозначения 1 - 5 соответствуют группам валковых чугунов по твердости

Вторичные карбиды в рабочем слое валков исполнений СПХН, СШХН, ЛШ и ЛШН твердостью 34...43 НРС с перлитной структурой матричного металла распределены достаточно неравномерно и образуют единичные фрагменты (блоки) или скопления включений размером 4...60 мкм, разделенные металлической основой с пластинчатым и шаровидным графитом. Основной причиной графитизации отбеленного слоя прокатных валков СПХН-41...49 является повышенное содержание никеля в чугунах (1... 1,2 мас. %) и низкая скорость кристаллизации, связанная с применением теплоизоляционного покрытия кокиля. В валках СШХН-41...47 сказывается графитизирующее влияние Si (1,2...2 %) при концентрации углерода в чугунах 3,2...3,5 %.

Наибольшее количество карбидов $(Fe, Me)_3C$ (40...45 об. %) образуется в отбеленном слое центробежно-литых прокатных валков ЛПХН-70,71 и ЛПХНМ-73, 76 твердостью 60...64 НРС. Компактные включения вторичного цементита размером 4... 10 мкм равномерно распределены в объеме мартенситной матрицы с участками нераспавшегося аустенита. Подавление кристаллизации шаровидного и пластинчатого графита достигается увеличением скорости охлаждения отливки и ограничением содержания Si в чугунах до 0,8 %. Графитизирующее влияние никеля в количестве 2,5...4,0 % при содержании хрома 0,6... 1,2 % проявляется значительно слабее, чем в валках СПХН-45, 49, содержащих 0,7...0,9 % Cr.

В чугунах, содержащих 12...18 мас. % Cr и 2,9...3,2 мас. % C, при скорости охлаждения 2...25 °C/мин формируются следующие карбидные фазы: $(Cr, Me)_7C_3$ (35...40 об. %); $(Fe, Me)_x C$ и Fe_2O_3 (5... 12 об. %) (табл. 1) [2]. С ростом концентрации хрома с 12 до 18 мас. % количество карбидов цементитного типа уменьшается с 10... 12 до 4...5 об. %.

Цементит образует тонкие пластины толщиной 10... 15 мкм или утолщенные компактные включения по границам или внутри зерен. Вторичные карбиды хрома имеют форму многогранников и сферических включений размером 3...6 мкм. Эвтектические карбиды состоят из стержневых кристаллов $(Cr, Me)_7C_3$ толщиной 15...30 мкм, разделенных металлическими прослойками. Объемная доля металлической фазы в карбидной эвтектике составляет 38 %, карбидов - 62 %.

Таблица 1

Состав карбидов в прокатных валках высокохромистых чугунов, содержащих 15... 17 % Cr; 2,6...3,0%С; 0,7...1,2 % Mn; 1,8...2,5 % Ni

Тип карбида	Содержание элементов, мас. %				Микротвердость карбидов, МПа
	Cr	Fe	Mn	C	
$(Cr, Me)_7C_3$	~55	~35	1,2...1,4	-	14000...17000
$(Fe, Me)_x C_v$	~30	~60	-	6,67	9500... 11000

В процессе термической обработки при 540...590 °C карбиды цементитного типа переходят в сложные легированные карбиды, располагающиеся вокруг эвтектических карбидов. Поэтому карбидная фаза высокохромистых чугунов (2,5...3,2 % C и 14... 19 % Cr), обработанных при температуре более 550 °C, представлена преимущественно легированными карбидами Me_7C_3 .

Комплексные карбиды $(Cr, Me)_7C_3$ содержат 60...65 % Cr; 34...39 % Fe и 1,24...1,34 % Mn. Их микротвердость составляет 14...17 ГПа. Карбидами связано 12,5...14,0 % хрома при его общем содержании в сплаве 17...18,8 %. Остальные 3,0...6,3 % Cr находятся в твердом растворе металлической матрицы и цементите [2].

Количество и морфология графитных включений в отбеленном слое прокатных валков зависят от химического состава и скорости охлаждения. В чугунах с неявно выраженным отбелом твердостью 34...43 НРС графит имеет форму разориентированных и несвязанных между собой пластин протяженностью 8...25 мкм (валки СПХН-41, 43, 45, 49; СПХНМ-42, 47) или сферических включений диаметром 5... 50 мкм (валки СШХН-41, 45, 47; СШХНМ-42, 46; СШХНФ-47) [1, 2]. В отбеленном слое сортопрокатных хромоникелевых валков СШХН-41, 45, 47 средний диаметр графитных глобул составляет 30... 40 мкм, а расстояние между ними - 140...180 мкм. В валках СШХНМ(Ф)-42, 46; СШХНФ-47 из высокопрочного чугуна, легированного ванадием и молибденом, размеры включений шаровидного графита в отбеленном слое, в зависимости от способа модифицирования и условий кристаллизации, изменяются в пределах 20...30 мкм (рис. 4).

В отбеленном слое двухслойных центробежно-литых прокатных валков исполнений ЛПХН-71; ЛПХНМ-72, 73, 76; ЛПХ17НМ-71; ЛГ1Х17НМФ-70 твердостью 58...64 НРС содержится точечный графит дисперсностью 1...5 мкм. Графитные включения диаметром 8... 10 мкм встречаются крайне редко, а расстояние между ними составляет 250...300 мкм.

Таким образом, в отбеленном слое бочек прокатных валков с шаровидной и пластинчатой формой графитных включений содержание графита составляет 3...3,5 об. %, а количество цементита - порядка 30 %. Чугуны твердостью 60...64 НРС, подвергаемые обдирочному шлифованию, имеют чистый отбел и содержат 45...48 об. % карбидной фазы. На операциях чернового точения и обдирочного

шлифования бочек прокатных валков на Лутугинском научно-производственном валковом комбинате ежегодно образуется 2000...2500 т металлоотходов различной дисперсности, из них - 400...450 т шламов. Стружку, по аналогии с литниковым и прибыльным ломом, переплавляют, шламы не перерабатывают и выбрасывают в отвалы.

Стружка образуется при сухом черновом точении бочек прокатных валков твердостью 36...54 HRC с перлитной и троосто-перлитной структурой металлической матрицы и имеет форму пластин размером 36x15x2...38x16x2 мм с многочисленными сколами и трещинами.

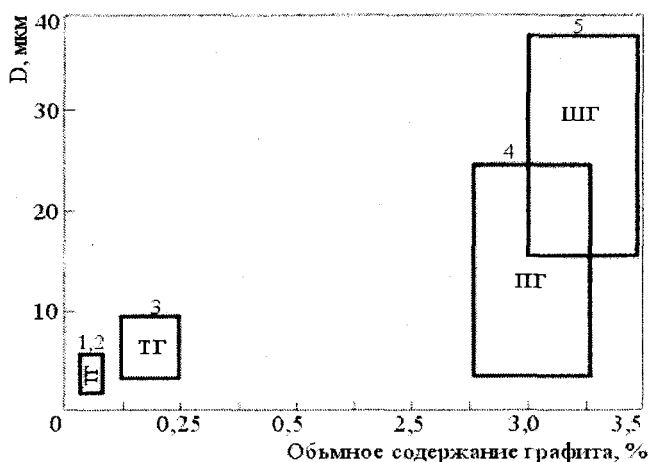


Рис. 4. Характеристика графитной фазы в отбеленном слое прокатных валков (1-5 соответствуют группам валковых чугунов по твердости)

Обдирочное шлифование осуществляют кругами средней твердости 25AС2K7 на керамической связке в присутствии смазочно-охлаждающей жидкости (1 %-ный раствор кальцинированной соды в воде). Шламы представляют собой влажную пастообразную смесь чугунной микростружки, абразивных зерен и компонентов связки шлифовальных кругов с размером частиц 0,005...2,5 мм. Основу шламов составляют хромоникелевые и высокохромистые чугуны твердостью 59...64 HRC с мартенситной и троосто-мартенситной матрицей, упрочненной легированными карбидами железа и хрома. На тонну снимаемого металла расходуется в среднем 350...450 кг абразивного материала.

Переработка стружки на порошки требует значительных затрат на ее измельчение. Поэтому в качестве исходных материалов для получения порошков использовали шламы, образующиеся при обдирочном шлифовании отбеленного слоя чугунных хромоникелевых и высокохромистых прокатных валков (табл. 2, 3).

Таблица 2

Химический состав отбеленного слоя чугунных прокатных валков

Марка валка	Содержание элементов, мас. %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni/Cu	Mo, V, Ti	S	P
ЛПХНМ-73	3,2	0,6	0,5	1,2	3,4	0,6 Mo	0,1	0,3
ЛПХ17НМ-71	2,9	0,6	1,2	17	2,1/0,6	0,6 Mo; 0,17 V; 0,05 Ti	0,07	0,03

Таблица 3

Структура отбеленного слоя прокатных валков

Исполнение валка	Металлическая основа	Твердость, HRC	Карбидная фаза		Графит, об. %
			Состав и количество	H _ц , ГПа	
ЛПХ17НМ-71	Мартенсит	61...63	(Cr, Me) ₇ C ₃ , (Fe, Me) ₃ C, 45...48 об.	14...17	< 0,2 % (глобули размером 1...5 мкм)
ЛПХНМ-73	Мартенсит	60...62	(Fe, Me) ₃ C, 44...48 об. %	10...11	

Технологический процесс переработки шлифовальных шламов в порошки включал следующие операции:

- 1) сушку шламов в сушильном шкафу при температуре 413...423 К в течение 2-х часов;
- 2) кратковременное (10...15 мин) измельчение высушенной массы в шаровой мельнице;
- 3) циклонную очистку шламов от пылевидных фракций;
- 4) рассев шламов на комплекте вибросит и их магнитную сепарацию;
- 5) размагничивание порошков.

Получаемые по такой технологии порошки оказались приемлемыми для непосредственного напыления покрытий плазменным методом.

Выводы

1. Производство чугуновых прокатных валков сопровождается образованием ценных отходов обработки в виде стружки и шламов легированных чугунов, представляющих собой доступную базу для получения экономно-легированных порошков, гранул и других материалов на их основе для нанесения защитных покрытий.

2. Извлечение из шлифовальных шламов чугуновой стружки для производства порошков позволит повысить безотходность и экологичность производства чугуновых валков при минимальных затратах на получение порошковых и гранулированных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будагьянц Н.А., Карсский В.Е. Литые прокатные валки. - М.: Металлургия, 1983. - 175 с.
2. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов / Т.С. Скобло, Н.М. Воронцов, С.И. Рудюк и др. - М.: Металлургия, 1994. - 336 с.