

УДК 621.793.7

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРОШКОВ ИЗ ОТХОДОВ ОБРАБОТКИ ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ

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

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

*Исследован состав, структура и свойства порошков, полученных отделением чугунных частиц из шлифовального шлама обработки хромоникелевых и высокохромистых чугунов.*

*Показано, что порошки фракции 50... 100 мкм из шламов хромоникелевых чугунов следует рассматривать как механическую смесь частиц различной структуры и химического состава. В порошках содержатся частицы различных структурных типов.*

Несмотря на одинаковые условия и режим шлифования, порошки из шламов отбеленного слоя хромоникелевых (ЛПХМ-73) и высокохромистых (ЛГ1Х17М-71) прокатных валков имеют существенно отличающийся дисперсный состав (рис. 1). Порошки высокохромистого чугуна отличаются более узким фракционным составом (см. рис. 1, кривая 1), с преобладанием доли частиц фракции 50...63 мкм. В порошках из хромоникелевого чугуна преобладают фракции частиц 63...100 и 100...200 мкм.

Различная дисперсность порошков из отходов хромоникелевого и высокохромистого чугунов при идентичных режимах шлифования бочек двухслойных прокатных валков может быть объяснена влиянием комплекса факторов. Однако основную роль играют структурные факторы, обуславливающие в свою очередь различный уровень физико-механических свойств литых сплавов и, соответственно, различный характер образования стружки при шлифовании. Твердость шлифуемых валковых чугунов изменяется в пределах 60...64 HRC, микротвердость дисперсной мартенсито-карбидной структуры - 9600... 11200 МПа. Микротвердость цементита в прокатных валках из хромоникелевого чугуна - 9400... 11000 МПа, микротвердость вторичных и эвтектических карбидов в отбеленном слое высокохромистых прокатных валков составляет 14000... 17000 МПа. Это уже сопоставимо с микротвердостью абразивных зерен из электрокорунда (~ 24000 МПа).

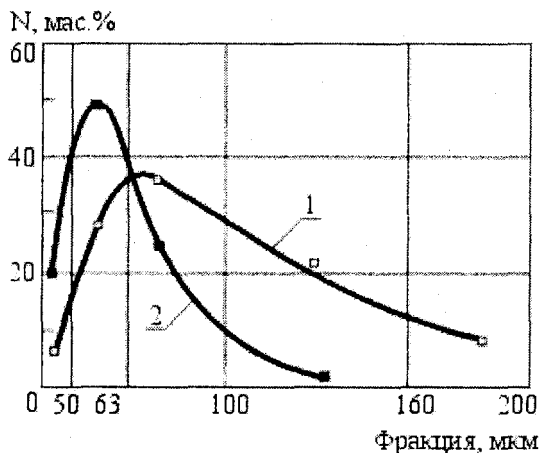


Рис. 1. Гранулометрический состав порошков из шламов отбеленного слоя прокатных валков:  
1 - ЛПХМ-73; 2 - ЛПХ17М-71

Морфология эвтектической составляющей высокохромистых чугунов существенным образом отличается от типичной сотовидной морфологии ледебурита. Базой ледебуритной колонии в эвтектических и доэвтектических Fe-C-сплавах является цементитная пластина, проросшая одним или несколькими кристаллами аустенита (рис. 2, а). В высокохромистом чугуне поперечные сечения участков эвтектических колоний имеют вид розеток или фашин с несвязанными карбидными кристаллами размером 4...20 мкм (рис. 2, б). Центральную часть колоний образуют карбиды с гексагональной огранкой (10...20 мкм) или неправильной формой (4... 10 мкм). На начальных этапах эвтектической кристаллизации стержневой кристалл карбида и его ответвления обрастают аустенитом. Аустенит, имеющий большую чем кристалл эвтектического карбида линейную скорость роста, образует кольцевую матричную оболочку вокруг карбидной розетки.

Указанные структурно-морфологические особенности эвтектических карбидов в высокохромистых чугунах обеспечивают значительное повышение их прочности, пластичности и износостойкости, по сравнению с хромоникелевыми чугунами. Так, например, сопротивление разрыву рабочего слоя высоко-

хромистых прокатных валков при содержании хрома 16...18 %, углерода 3,0...3,1 %, молибдена 0,5...0,7 % и никеля 1,5...1,9 % составляет 700...750 МПа [1]. Эта величина сопоставима с пределом прочности термообработанных сталей 55Х, 60ХН и 90ХФ, у которых  $\sigma_B \approx 680...800$  МПа. Предел прочности на растяжение отбеленного слоя прокатных валков ЛПХНМ-72,73 (2,8...3,2 % С; 0,8...1,1 % Cr; 0,6...0,8 % Мо) составляет 230...250 МПа [1], валков из легированного высокопрочного чугуна (3,0...3,4 % С; 0,3...0,6 % Cr; 0,15...0,4 % V; 0,02...0,04 % Nb; 0,2...0,3 % Ti; 1,0...1,2 % Ni; 0,01...0,02 % Mg; 0,01...0,02 % S; 0,15...0,2 % P) – 300...320 МПа [2]. Ударная вязкость белых чугунов, содержащих 3,0...3,3 % С; 0,8...1,2 % Cr; 2,5...4,0 % Ni и 0,6...0,8 % Мо, составляет 0,03...0,04 МДж/м<sup>2</sup>, высокохромистых чугунов – 0,11...0,12 МДж/м<sup>2</sup>.

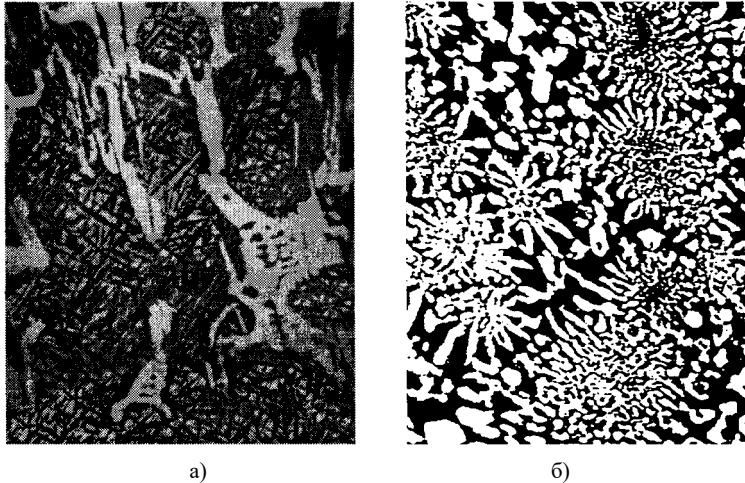


Рис. 2. Микроструктура отбеленного слоя прокатных валков ЛПХНМ-73 (а) и ЛПХ17НМ-71 (б); увеличение x300

Указанные факторы и являются ответственными за стружкообразование при взаимодействии абразивных зерен с поверхностью чугунного вала. При более ярко выраженной гетерогенной структуре хромоникелевых чугунов более интенсивно развивается выкрашивание, в процессе резания выкрашиваются относительно крупные карбидные зерна.

Металлические частицы в порошках хромоникелевого и высокохромистого чугунов фракции 50...63 мкм имеют форму пластин и микростружек толщиной 10... 18 мкм с рваными краями и зазубринами с различным отношением длины к ширине. Длина пластинок составляет 50...60 мкм, ширина - 30...55 мкм. Их объем эквивалентен объему сферических частиц диаметром 30...50 мкм, а коэффициент несферичности ( $\Phi$ ), определенный как отношение площади поверхности сферических частиц ( $S_{sf}$ ) к площади поверхности несферических частиц ( $S_p$ ) равных объемов, составляет 0,45...0,55 (рис. 3). Чугунные порошки фракции 63... 100 мкм образованы оскольчатыми частицами неправильной формы размером 55x60x50... 75x85x80 мкм, объем которых эквивалентен объему сферических частиц диаметром 70... 110 мкм, а коэффициент несферичности изменяется в пределах 0,8...0,9 (см. рис. 3).

В порошках обеих фракций содержится незначительное количество (3...5 %) частиц игольчатой морфологии толщиной 5... 10 мкм и протяженностью 40... 120 мкм.

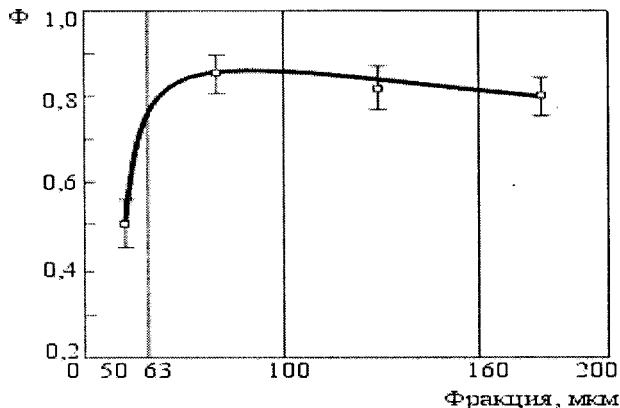


Рис. 3. Коэффициент несферичности частиц в порошках из шламов отбеленного слоя прокатных валков ЛПХНМ-73 и ЛПХ17НМ-71

На различную дисперсность порошков хромоникелевого и высокохромистого чугунов указывают результаты их микроскопического анализа в исходном состоянии и после сфероидизации в плазменном потоке. Сфероидизацию чугуновых порошков осуществляли их распылением в воду на следующих режимах: напряжение дуги  $U = 65$  В; ток дуги  $I = 320$  А; расход плазмообразующего газа ( $Ar + 40$  об. %  $N_2$ ) 30 л/мин; дистанция распыления  $L = 160... 180$  мм. Исходными материалами для исследований служили порошки фракции 50... 100 мкм, количество которых в общем объеме порошков, полученных из шламов, составляет 70...75 мас. %.

После сфероидизации в плазменном потоке порошков хромоникелевого и высокохромистого чугунов исходной фракции 50...63 мкм образуются частицы диаметром 30...45 мкм, а после сфероидизации порошков фракции 63... 100 мкм - частицы диаметром 70... 100 мкм. В распыленных порошках хромоникелевого чугуна исходной фракции 50...100 мкм диаметр 40...45 % частиц составляет 30...50 мкм. Остальные 55...60 % частиц имеют диаметр 60...100 мкм. Количество частиц диаметром 60...80 мкм в общем объеме сфероидизированных порошков составляет 18...20 %, частиц диаметром 80... 100 мкм - 37...40 % (рис. 4, кривая 1). Сфероидизированные порошки высокохромистого чугуна исходной фракции 50... 100 мкм содержат 2...4 % частиц диаметром 10...30 мкм, 62...65 % частиц диаметром 30...50 мкм и 30...35 % частиц диаметром 60... 100 мкм (см. рис. 4, кривая 2).

Порошки фракции 50... 100 мкм, полученные из шламов отбеленного слоя прокатных валков ЛПХНМ-73 и ЛПХ17НМ-71, имеют насыпную плотность 1,7...2,2 г/см<sup>3</sup>, что в 4...5 раз меньше плотности компактного материала.

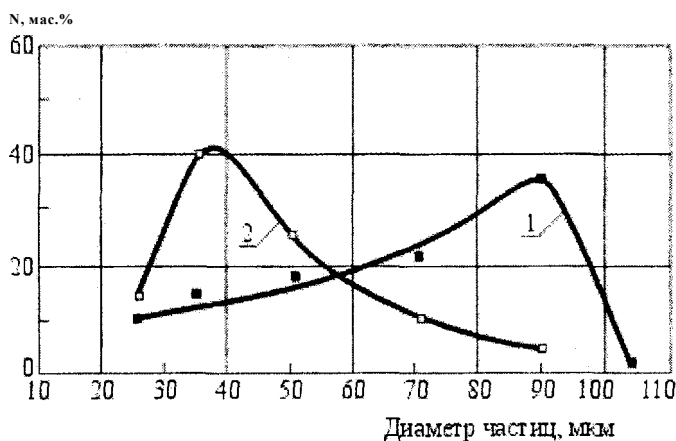


Рис. 4. Гранулометрический состав сфероидизированных порошков исходной фракции 50...100 мкм из шламов отбеленного слоя прокатных валков исполнений: 1 - ЛПХНМ-73; 2 - ЛПХ17НМ-71

После магнитной очистки шламов от абразивных включений полученные металлические порошки должны быть размагничены. В неразмагниченном состоянии текучесть чугуновых порошков фракции 50... 100 мкм значительно ниже, чем после размагничивания, вследствие образования сплошных конгломератов из прочно сцепленных частиц. При этом наблюдается нестабильная скорость истечения порошков из воронки с кратковременными паузами вплоть до полной остановки течения.

В порошках фракции 50... 100 мкм из шламов отбеленного слоя прокатных валков ЛПХНМ-73 можно выделить два основных типа частиц, принципиально отличающихся по структуре. Частицы первого типа образованы колониями эвтектического цементита (ледебурита), содержащего 60 об. %  $(Fe, Me)_3C$  и 40 об. % мартенсита. Их структура аналогична структуре эвтектических железоуглеродистых сплавов, содержащих 4,0...4,3 мас. % С.

Частицы второго типа, количество которых в общем объеме порошков составляет 45...50 %, содержат только вторичный цементит. Их химический состав существенным образом отличается от химического состава отбеленного слоя прокатных валков. В доэвтектических сплавах с 3,0...3,1 % С эвтектическая точка при содержании хрома 1,1...1,3 мас. % и кремния 0,5...0,6 мас. % составляет 1,85...1,9 ма. % С. Остальные 1,2...1,3 мас. % углерода находятся в составе карбидной эвтектики. Следовательно, концентрация углерода в частицах со структурой мартенсит + вторичный цементит не превышает 1,9 мас. %. Необходимо отметить, что эта цифра получена без учета возможного выкрашивания вторичных карбидов при шлифовании валков.

Важным фактором, определяющим структурные особенности частиц в порошках хромоникелевого чугуна (3,2 % С; 1,2 % Cr; 0,6 % Мо), является их дисперсность. Концентрация углерода в порошках фракций 50 и 50...63 мкм, полученных из шламов отбеленного слоя прокатных валков ЛПХНМ-73, составляет 1,9...2,0 мас. %, в порошках фракции 63... 100 мкм - 4,1...4,2 мас. %, в порошках дисперсностью 100...200 мкм - 3,0...3,2 мас. % (рис. 5).

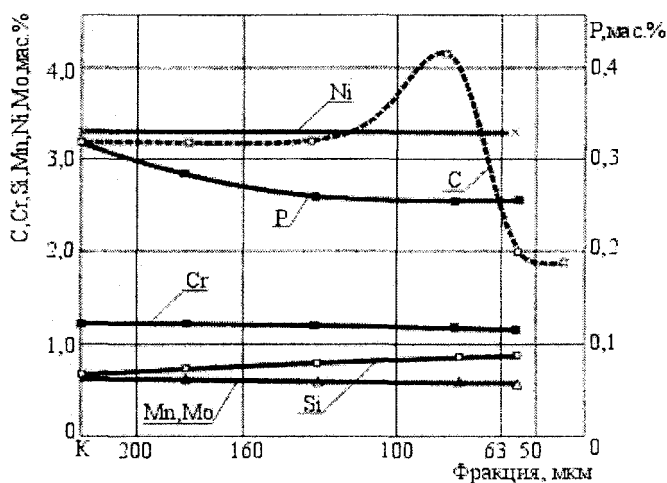


Рис. 5. Химический состав порошков из шламов отбеленного слоя прокатных валков ЛПХНМ-73; К - компактный материал

Порошки фракции 50...63 мкм содержат 93...95 % частиц со структурой мартенсит + вторичный цементит, аналогичной структуре высокоуглеродистых эвтектоидных сталей. Включения вторичного цементита имеют форму пластин протяженностью 4...8 мкм с отношением длины к ширине 2:1...4:1. Количество частиц, содержащих ледебурит, не превышает 5...7 % (рис. 6). В порошках фракции 63... 100 мкм практически все частицы (более 90 %) имеют структуру эвтектического цементита. Крупные цементитные пластины с тонкими мартенситными прослойками полностью занимают объем отдельных частиц. Порошки фракции 100...200 мкм содержат частицы со структурой исходных доэвтектических чугунов - ледебурит + мартенсит + вторичный цементит.

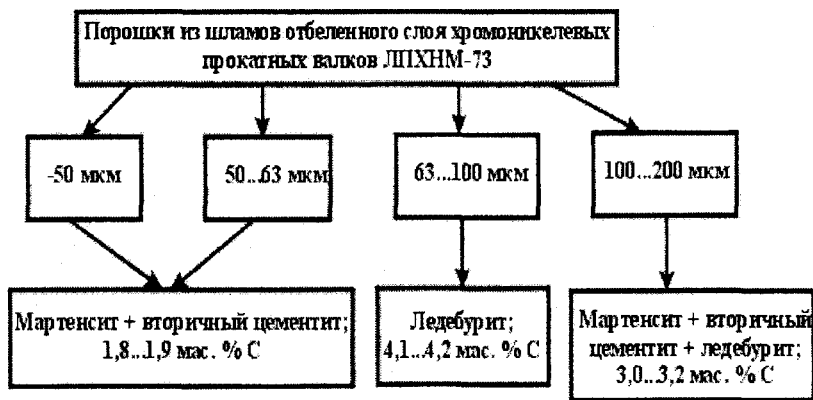


Рис. 6. Классификация частиц по структуре и дисперсному составу в порошках из шламов отбеленного слоя прокатных валков ЛПХНМ-73

Таким образом, микроструктура и химический состав частиц в порошках из шламов хромоникелевых чугунов отличаются от микроструктуры и химического состава чугунов в литом состоянии. Наличие в порошках хромоникелевого чугуна разнородных по структуре частиц и зависимость структуры частиц от дисперсности порошков обусловлены структурной гетерогенной неоднородностью исходных литых чугунов и разным уровнем физико-механических свойств их отдельных структурных составляющих - мартенсита, вторичных и эвтектических карбидов. Как следствие, при шлифовании прокатных валков наблюдается избирательный характер разрушения отбеленного слоя и неравномерное перераспределение карбидных фаз между отдельными частицами.

Химический состав порошков высокохромистого чугуна практически не зависит от их дисперсности (рис. 7). Высушенные шламы высокохромистого чугуна после кратковременного размола в шаровой мельнице содержат 19...22 мас. % кремния из связки шлифовального круга и литейной корки. После циклонной очистки и магнитной сепарации шламов содержание Si в чугуновых порошках фракции 50... 100 мкм снижается до 0,9...3,2 мас. %. При увеличении числа циклов магнитной сепарации с 4...6 до 8...10 концентрация кремния в порошках уменьшается с 2...3,5 % до 0,8...1,0 % и незначительно (на 0,1...0,2 %) превышает его содержание в литом чугуне (см. рис. 7).

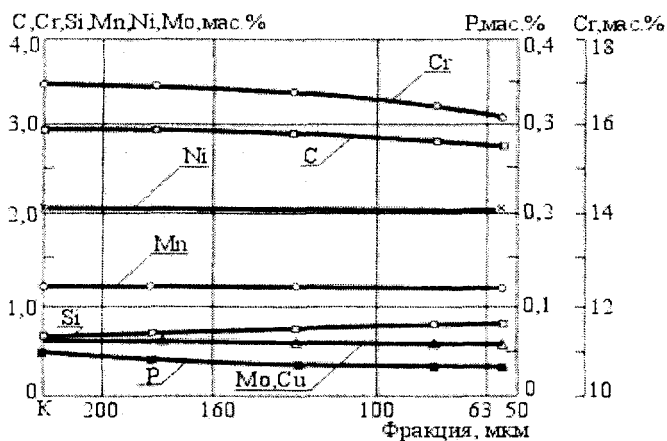


Рис. 7. Химический состав порошков из шламов отбеленного слоя прокатных валков ЛПХ17НМ-71; К - компактный материал

Выводы. Порошки фракции 50...100 мкм из шламов хромоникелевых чугунов, содержащих 1,1...1,3 мас. % Cr; 3,0...4,5 мас. % Ni; 2,8...3,0 мас. % C, следует рассматривать как механическую смесь частиц различной структуры и химического состава. В порошках содержатся частицы следующих структурных типов:

- 1) со структурой эвтектического цементита, аналогичной структуре литых эвтектических чугунов;
- 2) со структурой мартенсит + вторичный цементит, аналогичной структуре высокоуглеродистых заэвтектоидных сталей;
- 3) со структурой исходных литых чугунов: мартенсит + вторичный цементит + ледебурит, аналогичной структуре высокоуглеродистых заэвтектоидных сталей. Количество частиц с указанными структурными признаками определяется дисперсностью шламов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Будагянц Н.А., Карский 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.