

ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 669.187.28:669.162.275

Н. В. Кирьякова, Е. А. Ясинская, В. Н. Костяков, В. Н. Баранова

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЧУГУНОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ШЛАКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Установлено, что использование шлаковых материалов дает возможность получать хромистые чугуны без снижения качества, исключая применение феррохрома.

Встановлено, що використання шлакових матеріалів, дає можливість отримувати хромисті чавуни без зниження якості, виключаючи застосування ферохрому.

It is established, that using slag materials, it is possible to receive chromic alloys without reduction of quality, excepting operation of melt chromic ferroalloy.

Ключевые слова: легирование, чугун, шлак, неметаллические включения, сплавы, электродуговая печь.

В последние годы повышается спрос на материалы с улучшенными эксплуатационными характеристиками, полученными за счет упрочняющего легирования. Такое легирование позволяет упрочнять структурные составляющие и количественно влиять на их соотношение. Учитывая, что легирование обеспечивает максимальный эффект при достижении стабильного состояния, его целесообразно осуществлять на более ранних стадиях через шихтовую заготовку, что позволяет с максимальной эффективностью использовать возможности управления литой структурой и свойствами сплавов. Однако производство экономно легированных материалов, обладающих износостойкими свойствами, сдерживается высокой стоимостью легирующих ферросплавов. Вместе с тем, существует достаточное количество недорогих отходов сталеплавильного производства, содержащих упрочняющие элементы, в том числе и хром. Разработка технологии получения износостойких чугунов, включающей легирование с использованием хромосодержащих отходов, представляет, на наш взгляд, значительный практический интерес. Причем легирование должно осуществляться через шлаковую фазу, за счет восстановления переходного металла из жидкого состояния в гомогенной оксидной системе.

В выполненных экспериментах легирование чугуна проводили в электродуговой печи методом жидкофазной восстановительной плавки с использованием отвальных хромосодержащих электросталеплавильных шлаков завода “Днепроспецсталь” (табл. 1), которые вводили в базовый чугун (табл. 2).

Провели серию плавов с изменением содержания отвального шлака в шихте от 22 до 43 %. Химический состав полученных опытных сплавов (1-3) приведен в табл. 3.

При легировании базового чугуна отвальным шлаком получены хромистые сплавы с содержанием хрома 9-13 %, причем извлечение хрома в металл из оксидосодержащего

Таблица 1. Химический состав отвального шлака, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃
17,23	5,62	11,32	11,45	9,6	1,43	27,9

Анализ данных химического состава опытных сплавов 1-3, приведенных в табл. 3, свидетельствует о том, что со-

Таблица 2. Химический состав базового чугуна, %

C	Si	Mn	Cr	Cu	Al	S	P
3,40	1,45	3,0	2,92	0,077	0,16	0,028	0,062

держание серы и фосфора в сплавах невысокое и находится на уровне аналогичных хромистых чугунов, легированных феррохромом. Следует отметить, что получены опытные сплавы с суммарным со-

держанием серы и фосфора (не более 0,05 %) без применения специальных средств внепечной рафинирующей обработки. Увеличение содержания шлака в шихте практически не вызвало повышения содержания кислорода в сплавах, однако наблюдалось незначительное увеличение содержания азота, но оно находится в допустимых пределах.

Таблица 3. Содержание химических элементов и газов в опытных сплавах

Номер сплава	Содержание легирующего компонента в шихте, %	Содержание элементов, массовая доля, %							Содержание газов в сплаве, %	
		C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	[O]	[N]
1	22	3,37	0,76	2,98	8,75	0,01	0,034	0,019	0,024	0,004
2	35	3,84	0,73	3,24	12,31	0,01	0,034	0,019	0,027	0,005
3	43	4,63	0,37	3,40	13,28	0,45	0,030	0,014	0,028	0,008

Металл опытных плавок исследовали на загрязненность неметаллическими включениями с оценкой по ГОСТу 1778-70, для количественной оценки использовали компьютерную программу “Image pro”. Исследования показали, что в опытных сплавах неметаллические включения присутствуют в виде сульфидов, оксидов, оксисульфидов и силикатов сложного состава. Качественный и количественный составы, их распределение и суммарная загрязненность соответствуют аналогичным сплавам, полученным обычным способом. Металлографическое исследование и анализ данных показали, что повышение содержания в шихте количества хромистого шлака не вызывает значительной загрязненности сплавов неметаллическими включениями, так объемная доля включений в общем объеме находится в пределах 0,3-0,5 %. Следует также отметить, что основные включения (80-90 %) имеют размер до 1 мкм. Что касается расположения неметаллических включений в металлической матрице, то можно сделать заключение, что распределение их довольно равномерное. Основное количество включений разрозненных и округлой формы, а строчечных и грубых скоплений не наблюдалось. В проведенных ранее исследованиях в сплавах, выплавленных с хромистой лигатурой, иногда встречались участки с междендритным расположением неметаллических включений. Благоприятный характер расположения неметаллических включений в сплавах, выплавленных с отвальным шлаком, обусловлен, очевидно, особенностями жидкофазной восстановительной плавки. В результате восстановительных процессов, протекающих в жидкой ванне, образуются мелкие неметаллические включения, равномерно распределенные в металлической матрице.

Качественный анализ состава неметаллических включений опытных сплавов показал, что сульфиды и силикаты преимущественно содержат марганец в пределах 50-65 %, этот факт обусловлен высоким содержанием марганца в сплавах (2,9-3,4 %) и малым отношением S:Mn, равным 0,009:0,013. В состав неметаллических включений входят также хром в сульфидах 2-6 %, а в силикатах - иногда более 15 % (табл. 4).

Исследование микроструктуры опытных сплавов показало, что получены классические белые чугуны с расположенными в структуре карбидами, которые определяют свойства и качество сплавов и обеспечивают износостойкость. Опытные сплавы, полученные с использованием отвального шлака, имеют до- и заэвтектический составы (рисунок, 1-3). В сплавах 1, 2 углерод находится в форме цементита, который является матричной фазой в ледебуритной колонии, имеющей в основном пластинчатое строение, обусловленное

Таблица 4. Состав неметаллических включений*

Вид включений	Содержание элементов, %			
	Mn	S	Si	Cr
Силикаты	48,78	-	33,47	17,03
Сульфиды	64,23	33,91	0,97	4,41

*Приведены усредненные данные

последовательным нарастанием ведущей фазы цементита в процессе формирования структуры. Сплав 3 имеет в структуре пластинчатый первичный цементит, размещенный в эвтектической матрице ледебурита. В структуре всех опытных сплавов наблюдались выделения карбидов хрома, этому способствовало повышенное содержание углерода и хрома. В работе была установлена линейная зависимость суммарного количества карбидов К (%) от состава [1]

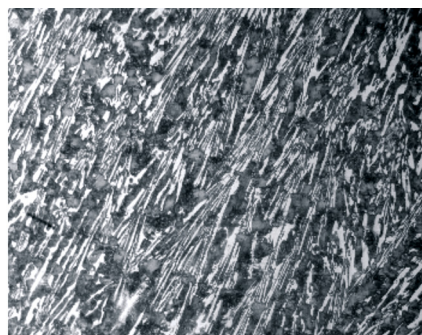
$$K = 12,33(C) + 0,55(Cr) - 15,2. \quad (1)$$

Расчетные данные сведены в табл. 5, которые еще раз подтвердили прямо пропорциональную зависимость карбидной составляющей от суммарного содержания углерода и хрома, при этом одновременно изменяется и содержание углерода в эвтектике. В сплаве 1 самое низкое суммарное количество карбидов, это связано с тем, что в нем самое низкое содержание карбидообразующих элементов, повышение которых приводит к наивысшим показателям суммарного количества карбидов. В сплаве 3 также самое большое содержание углерода в эвтектике, вызванное еще и самым высоким содержанием марганца и никеля.

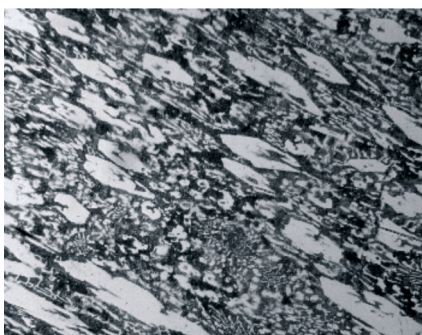
Также определялось изменение содержания углерода в эвтектике вследствие влияния других химических элементов [2]

$$C_c = 4,3 - 0,3(Si + P) - 0,4S + 0,3Mn + 0,07Ni + 0,05Cr. \quad (2)$$

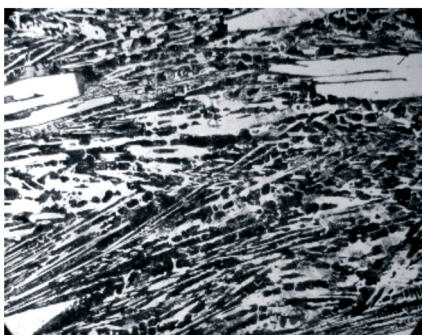
В проведенных исследованиях наблюдали влияние содержания углерода и хрома на структурное строение карбидной фазы. При содержании хрома до 8 % присутствуют карбиды цементитного типа $(Fe, Cr)_3C$ с низкой микротвердостью, следовательно, износостойкость таких сплавов минимальная. При повышении содержания хрома количество карбидов цементитного типа уменьшалось, образовывались разветвленные диспергированные



1



2



3

Микроструктура опытных сплавов (1-3), x400

Таблица 5. Влияние состава сплава на количество карбидной фазы

Номер сплава	Содержание элементов, массовая доля, %							Содержание углерода в эвтектике, %	Суммарное количество карбидов, ΣK (%)
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P		
1	3,37	0,76	2,98	8,75	0,01	0,034	0,019	4,58	31,16
2	3,84	0,73	3,24	12,31	0,01	0,034	0,019	4,25	38,92
3	4,63	0,37	3,40	13,28	0,45	0,030	0,014	4,97	49,19

Получение и обработка расплавов

карбиды $(Fe, Cr)_7C_3$ с большей микротвердостью, обеспечивающие лучшую износостойкость. Микротвердости интегральная и структурных составляющих опытных сплавов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Микротвердость опытных сплавов

Номер сплава	Интегральная	Микротвердость фаз, H_{30}		
		матрица	эвтектика	карбиды
1	643-916	389-467	547-551	958-1103
2	691-916	219-426	515-686	1219-1284
3	691-916	290-389	285-297	1051-1159

Анализ данных показывает, что микротвердость опытных сплавов (1-3) отличается незначительно. Опытные сплавы имеют более твердую матричную основу и менее твердые ледебуритные колонии, причем участки ледебурита с точечными вкраплениями имеют наибольшую микротвердость. Вытянутые пластины карбида хрома $(Fe, Cr)_7C_3$ имеют более низкую микротвердость по сравнению с карбидами того же состава, но имеющими шестигранную форму. Также наблюдался некоторый разброс значений микротвердости карбидной фазы, вызванный анизотропией свойств, в продольных и поперечных сечениях. Проведенные исследования подтвердили, что количество карбидной фазы зависит, прежде всего, от содержания углерода в металле, а структура карбидов определяется содержанием хрома.

Исследованные сплавы могут применяться в качестве износостойких материалов, причем в условиях абразивного изнашивания преимущество имеет сплав 1, а в нейтральных и абразивно-коррозионных средах более устойчивы сплавы 2, 3, содержащие больше 12 % Cr.

В заключение следует отметить, что использование отходов металлургического производства открывает возможности дополнительного обеспечения литейного производства упрочняющими легирующими присадками. Причем важным преимуществом технологии легирования чугунов за счет шлаковой фазы является то, что вследствие небольших концентраций вводимой присадки процессы плавки существенно не усложняются, а значительная разница в стоимости отходов и чистых ферросплавов позволяет окупить все затраты.

Список литературы

1. *Цыпин И. И.* Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. - М.: Металлургия, 1983. - 176 с.
2. *Гиршович Н. Г.* Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. - М.: Машиностроение, 1966. - 562 с.

Поступила 16.10. 2008

УДК 669.2/8-034.7

В. А. Шаломеев, Э. И. Цивирко, В. В. Лукинов*, В. П. Пирожкова, Н. Н. Бурова

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

*ОАО «Мотор-Сич», Запорожье

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВА Мл-5 ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА

Исследовано влияние высокотемпературной обработки (ВТО) магниевого расплава на макро- и микроструктуру сплава Мл-5. Выбран оптимальный режим ВТО, обеспечивающий повышение физико-механических свойств сплава.

Досліджено вплив високотемпературної обробки (ВТО) магнієвого розплаву на макро- і мікроструктуру сплаву Мл-5. Обрано оптимальний режим ВТО, що забезпечує підвищення фізико-механічних властивостей сплаву.