

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ ХРОМИСТЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ ПУТЕМ ИХ МОДИФИЦИРОВАНИЯ

Ри Хосен, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Литейное производство и технология металлов»

Дзюба Г.С., к.т.н, доцент кафедры «Литейное производство и технология металлов»

*Ри Э.Х., д.т.н., профессор кафедры «Литейное производство и технология металлов»,
исполнительный директор департамента по инновации (erikri999@mail.ru)*

Ермаков М.А., инженер управления научно-исследовательских работ

Мамонтова Е.С., аспирант кафедры «Литейное производство и технология металлов»

Тихоокеанский государственный университет
(680035, Россия, Хабаровск, Тихоокеанская, 136)

Аннотация. Очистка расплава высокохромистого чугуна от плен, неметаллических включений, газов является насущной задачей получения качественных деталей дробеметных аппаратов. В данной работе показана технология получения отливок лопастей дробеметных аппаратов. Исследовалось влияние различных раскислителей (Ti, Al, СИМИШ-1, ЖКМК-6, ФЦМ-6) на качество и свойства отливок из высокохромистого чугуна. Произведены анализы загрязненности по неметаллическим включениям, исследованы термограммы и полимеры плотности чугуна с различными раскислителями при разных концентрациях. Проведенное исследование показало, что для ускорения процесса формирования тригонального карбида и повышения эксплуатационных свойств хромистых чугунов необходимо модифицирование их комплексными модификаторами, не содержащими кремния.

Ключевые слова: хромистый чугун, модификатор, раскислитель, неметаллические включения, износостойкость, бескремнистый, управление структурой.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-6-412-416

При выплавке хромистого чугуна с 15 – 18 % Cr^I в кислой индукционной печи феррохром вводят вместе с шихтой перед расплавлением, в результате происходит окисление хрома. Как показали исследования, значительное снижение угара хрома достигается при вводе феррохрома в науглероженный расплав при 1500 – 1550 °С [1].

При открытой индукционной плавке высокохромистых чугунов образующиеся шлаки являются «каменными» (холодными), так как нагреваются только за счет тепла расплава. Это препятствует протеканию химических реакций и не предохраняет поверхность ванны жидкого металла от взаимодействия с воздухом. Поэтому плавку необходимо проводить при закрытом тигле или наводить шлак, который защищает жидкий металл от окисления, снижает угар легирующих элементов, уменьшает тепловые потери [2].

Обычно при кислом процессе применяют шлаковую смесь, состоящую из боя шамота и стекла, свежееобожженной молотой извести и плавикового шпата. Для улучшения качества хромистого чугуна его обрабатывают в печи различными шлакообразующими смесями, содержащими CaF₂, SiO₂, C_{кокс}, CaC₂, (табл. 1). Наиболее эффективными являются смеси Г и Д, составы

которых можно рекомендовать для покрытия зеркала металла в тигле печи при выплавке хромистых чугунов. Компоненты смеси должны быть раздроблены до фракции 2 – 3 мм, за исключением SiO₂ и Ca(CO₃)₂, которые имеют более мелкие фракции вплоть до пылевидной. Наводка шлака в печи должна производиться сразу после ввода ферросплавов. Состав шлака, %: 40 SiO₂; 25 FeO; 20 Cr₂O₃; 10 CaO; 5 MnO.

Очистка расплава высокохромистого чугуна от плен, неметаллических включений, газов является насущной задачей получения качественных деталей дробеметных аппаратов. По заводской технологии (завод «Амурлитмаш») в качестве раскислителей применялись ферротитан и алюминий. В связи с этим исследовалось влияние различных раскислителей (Ti, Al, СИМИШ-1, ЖКМК-6, ФЦМ-6) на качество и свойства отливок.

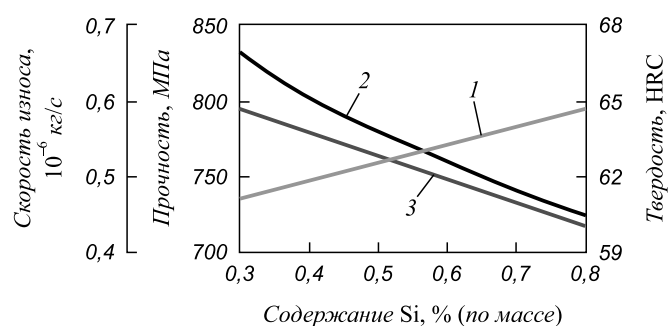
Раскисление кремнием не может быть рекомендовано в связи с уменьшением активности кремния от температуры как раскислителя и переходом в металл дополнительно еще 0,15 % Si. При этом твердость, прочность, износостойкость чугуна снижаются (см. рисунок). Раскисление расплава ферротитаном приводит к загрязнению чугуна карбонитридами и карбосульфонидами титана, что подтверждается данными рентгеноспектрального микроанализа. Кроме того, при раскислении алюминием или ферротитаном, содержащим

* Здесь и далее % (по массе)

**Влияние составов шлакообразующей смеси на содержание серы, фосфора
и количество неметаллических включений, %**

*Table 1. Influence of slag-forming mixture of compositions on the content of sulfur, phosphorus
and the amount of nonmetallic inclusions, %*

Индекс смеси	CaF ₂	CaCO ₂	SiO ₂	C _{кокс}	CaC ₂	S	P	Количество неметаллических включений
А	10	5	50	—	35	0,06	0,04	0,09
Б	5	20	35	15	25	0,06	0,035	0,07
В	10	—	50	20	20	0,07	0,06	0,08
Г	10	10	40	20	20	0,06	0,04	0,065
Д	5	5	50	30	10	0,06	0,05	0,065
Е	—	—	—	—	—	0,08	0,08	0,12



Зависимость эксплуатационных свойств высокохромистых чугунов от содержания кремния:

1 – скорость износа; 2 – прочность; 3 – твердость

The influence of silicon on the performance characteristics of high chromium cast iron:

1 – wear rate; 2 – strength; 3 – hardness

до 10 % Al и 7 % Si, в структуре отливок образуются не успевшие всплыть дисперсные соединения $n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2$ (алюмосиликаты), выкрашивающиеся при ударно-абразивном износе [3, 4].

Положительное влияние на структуру и свойства хромистого чугуна оказывают бескремнистые лигатуры ФЦМ-6 и ИПЛ АН УССР. Наиболее эффективным является раскисление хромистого чугуна лигатурой ФЦМ-6, содержащей, %: 40 – 50 Се; 5 – 7 Mg; 18 – 25 La; 10 – 12 Nd; 5 – 7 Pr; не более 10 Fe. При модифицировании высокохромистых чугунов требуется соблюдение следующей технологии плавки. Сначала в печь загружается электродный бой, затем крупные куски стального лома, слитки передельного чугуна. Чугун располагают ближе к поверхности тигля. По мере расплавления шихту осаживают и добавляют лом возврата и ферросплавы. Феррохром в количестве 50 % вводят сразу в расплав, остальную часть по мере расплавления. Феррованадий, ферромolibден, никель вводят в расплав только после расплавления феррохрома, не позднее, чем за 30 мин до окончания

плавки. Ввод в расплав кремнийсодержащих ферросплавов для раскисления не допускается. После ввода феррохрома в расплав печь должна закрываться откидывающейся на консоли крышкой. Следует отметить, что после модифицирования металла, которое должно производиться при температуре 1420 – 1450 °С, на поверхности ковша образуется шлак, который обязательно следует удалить перед заливкой, так как продукты раскисления, содержащиеся в нем, могут загрязнять металл [5, 6].

Металл разливают ковшами чайникового типа (100 кг) при высоте носка ≤ 100 – 120 мм от литниковой чаши (во избежание разбрызгивания). Температура разлива и модифицирования 1400 – 1450 °С обеспечивает рассредоточение усадки и уменьшение столбчатости в строении металла в отливках. В связи с необходимостью перегрева металла до 1550 °С для усвоения легирующей присадки требуемая температура разлива достигается термоскоростной обработкой.

Одновременно со стопочными формами лопастей «009» и плит защиты «01» заливали изгибные образцы для механических испытаний, результаты которых приведены в табл. 2. Оптимальное количество добавки ФЦМ-6 составило 0,2 – 0,3 % массы жидкого металла. Ввод большого количества лигатуры вызывает загрязнение, так как РЗМ и Mg, входящие в состав лигатуры, образуют сложные соединения с кислородом и серой, располагающиеся в виде сплошного фронта по границам эвтектических хромистых карбидов.

Анализ загрязненности по неметаллическим включениям показал, что наиболее загрязненным оказался чугун с присадкой 0,5 % ФЦМ-6 (табл. 3).

Износостойкость лопастей из модифицированных чугунов изучалась на дробеметной камере 42216 производительностью по дробу 250 кг/мин. Стойкость лопастей из модифицированных чугунов (0,2 – 0,3 % ФЦМ) составила 60 – 75 ч, в то время как стойкость немодифицированных лопастей – 20 – 25 ч [7].

Таблица 2

Влияние модифицирования высокохромистых чугунов на механические свойства и износостойкость

Table 2. Effect of high chrome cast iron modification on the mechanical properties and wear resistance

Химический состав, %										Количество, % и вид введенной присадки	Механические свойства в литом состоянии			Скорость износа лопастей, г/ч (10 ⁶ кг/с)
C	Cr	Si	Mn	Ni	Mo	V	Ti	S	P		$\sigma_{ш}$, МПа	f , мм	HRC	
3,14	15,0	0,96	0,41	0,42	0,28	0,36	0,037	0,060	0,10	–	385	2,0	49	9,2 (2,548)
2,84	15,6	0,70	0,45	0,60	0,40	0,38	0,040	0,040	0,08	0,1 ФЦМ-6	540	2,0	48	6,5 (1,801)
2,87	15,2	0,72	0,47	0,60	0,35	0,40	0,038	0,032	0,08	0,15 ФЦМ-6	595	2,0	48	5,0 (1,385)
2,87	15,8	0,70	0,51	0,48	0,36	0,45	0,037	0,030	0,08	0,20 ФЦМ-6	775	2,0	47	3,4 (0,942)
2,94	14,5	0,80	0,51	0,50	0,38	0,45	0,030	0,028	0,08	0,30 ФЦМ-6	780	2,0	48	2,8 (0,776)
2,90	14,5	0,79	0,46	0,62	0,38	0,39	0,045	0,030	0,08	0,35 ФЦМ-6	720	2,0	47	4,5 (1,247)
2,94	15,2	0,80	0,47	0,60	0,40	0,40	0,040	0,020	0,09	0,4 ФЦМ	680	2,0	48	6,1 (1,690)
2,85	15,2	0,75	0,50	0,58	0,44	0,42	–	0,015	0,09	0,5 ФЦМ	630	2,0	50	8,0 (2,216)

Таблица 3

Количество неметаллических включений от величины добавки ФЦМ-6

Table 3. Number of non-metallic inclusions on the value of supplements of FTSM 6

Присадка ФЦМ-6, %	Количество неметаллических включений, %	Количественный состав включений, %		
		Cr ₂ O ₃	La ₂ O ₃	MgS, CeS
0	0,075	80	–	–
0,1	0,050	67	12	11
0,15	0,025	30	45	25
0,20	0,018	28	47	25
0,25	0,10	20	58	24
0,30	0,008	9	67	24
0,35	0,030	–	48	52
0,50	0,085	–	26	74

При введении в расплав избыточного для раскисления количества лигатуры значения прочности хромистых чугунов резко снижаются по причине ослабляющего влияния межкристаллитных прослоек неметаллическими включениями оксидов РЗМ и Mg. Скорость износа лопастей резко увеличивается (см. табл. 2).

Структура отливок лопастей «009» состоит из конгломерата карбидной фазы и матрицы. У модифицированных отливок больше эвтектических карбидов

и равномерно распределены структурные составляющие. Электронное зондирование на микроанализаторе JXA-5A с локальностью пучка 1,0 – 1,5 мкм позволило установить, что в отливках лопастей из чугуна, модифицированного 0,2 – 0,3 % ФЦМ-6, после закалки с 930 °С и отпуска при 200 °С хром распределяется между карбидами и матрицей более равномерно, чем у отливок из немодифицированного чугуна. Коэффициенты распределения $K_{Cr} = 3,0$ и 3,4 соответственно. Модифицированный чугун отличается более равномер-

Влияние раскислителей на газосодержание и жидкотекучесть хромистых чугунов

Table 4. Influence of deoxidants on gas content and fluidity of chromium cast iron

Раскислители, %	Газы, %			Жидкотекучесть при 1450 °С, мм
	O ₂	H ₂	N ₂	
—	0,009	0,0005	0,006	475
0,35 Al	0,007	0,0004	0,007	520
0,4 TiO ₂	0,0055	0,0003	0,006	580
0,17 Симиш 1 + 0,17 ЖКМК-6	0,0045	0,0003	0,006	650
0,20 ФЦМ-6	0,0025	0,0003	0,004	780

ным распределением углерода в матрице, в результате чего тормозится выделение карбидов цементитного типа (Fe, Cr)₃C, которые выкрашиваются при ударах дробы, так как имеют слоистое строение.

Входящие в состав лигатуры ФЦМ-6 РЗМ образуют неметаллические включения оксисульфидного типа, содержащие до 40 – 50 % Се и La, что соответствует соединениям (CeO)₂S и (LaO)₂S (10 – 12 % S). Топография этих включений в отраженных электронах свидетельствует о том, что оксисульфиды, адсорбируясь на пленках Cr₂O₃, удаляют их из жидкого металла. При этом уменьшается газосодержание хромистого чугуна (табл. 4). При оптимальной добавке ФЦМ-6 (0,2 – 0,3 %) содержание кислорода уменьшается с 0,0090 до 0,0025 % и серы от 0,06 до 0,028 – 0,030 %, а жидкотекучесть возрастает от 475 до 780 мм при температуре заливки 1450 °С.

Установлено, что у модифицированных чугунов больше эвтектических карбидов тригональной формы (Fe, Cr)₇C₃ и равномерно распределены структурные составляющие в литом и термообработанном состоянии по сравнению с исходным.

Анализируя политермы плотности и термограммы модифицированных хромистых чугунов, можно заключить, что при оптимальной добавке лигатуры (0,2 – 0,3 %) наблюдаются максимальное снижение температуры начала кристаллизации избыточного аустенита и эвтектики, максимальное сужение интервала кристаллизации аустенита, а также расширение интервала эвтектически-перитектической кристаллизации. Таким образом, максимальное уменьшение значений кристаллизационных параметров, температурного интервала кристаллизации избыточного аустенита и максимальное расширение

температурного интервала эвтектически-перитектического превращения свидетельствуют о росте количества карбидной фазы при 0,2 – 0,3 % лигатуры, что является причиной минимальной плотности при 20 °С и повышения износостойкости чугуна (см. табл. 2).

На основании вышеизложенного следует, что для ускорения процесса формирования тригонального карбида и повышения эксплуатационных свойств хромистых чугунов необходимо модифицирование их комплексными модификаторами, не содержащими кремния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тейх В.А., Ри Хосен, Литвиненко А.Н., Дзюба Г.С. Раскисление и рафинирование высокохромистого чугуна // Литейное производство. 1984. № 8. С. 10 – 13.
2. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
3. Колокольцев В.М., Миронов О.А., Петроченко Е.В. и др. Повышение свойств жароизносостойкого чугуна рафинированием и модифицированием // Литейное производство. 2007. № 3. С. 27 – 29.
4. Таран Ю.Н. О модифицировании эвтектик в чугунах // Структура и свойства чугуна и стали. Днепропетровск, 1967. С. 41 – 47.
5. Орехова А. И. Исследование и разработка способа управления первичной структурой хромистых чугунов с помощью модифицирования с целью повышения качества отливок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2010. – 22 с.
6. Рожкова Е.В., Козлов Л.Я., Румянцев В.В., Кириллов А.А. Оптимизация химического состава износостойких хромистых чугунов // Черные металлы (+ Цветные металлы). Специальный выпуск. 2005. С. 20 – 25.
7. Колокольцев В.М., Назаров О.А., Коротченко В.В. и др. Износостойкие чугуны для отливок деталей дробеметных камер. // Литейное производство. 1992. № 7. С. 11 – 12.

Поступила 11 марта 2015 г.

STRUCTURE AND PROPERTIES CONTROL OF CHROMIUM WHITE CAST IRON BY THEIR MODIFYING

Ri Khosen, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair
“Foundry and metal technology”

Dzyuba G.S., Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the
Chair “Foundry and metal technology”

Ri E.Kh., Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Foundry
and metal technology”, Executive Director of the Depart-
ment of Innovation (erikri999@mail.ru)

Ermakov M.A., Engineer of the Department of scientific
research

Mamontova E.S., Postgraduate of the Chair “Foundry and
metal technology”

Pacific State University (136, Tikhoonevskaya str., Khabarovsk,
680035 Russia)

Abstract. The cleaning of high chromium cast iron melt from scab, non-metallic inclusions and gases is an urgent task of obtaining the quality parts for shotcasting machines. In this work the authors showed the producing technology of blades castings for shotcasting machines. The influence of different deoxidants (Ti, Al, SIMISH-1, ZhKMK-6, FCM-6) on the quality and properties of high chromium cast iron castings was determined. The authors analyzed the contamination of non-metallic inclusions, investigated thermogram and polythermals density and iron with various deoxidants at different concentrations. The research has shown that to accelerate the formation of trigonal carbide and increase performance properties of chromium cast irons it is necessary to modify them with the complex modifiers that do not contain silicon.

Keywords: chromium cast irons, modifier, deoxidants, non-metallic inclusions, structure control, non-silicon, abrasion resistance.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-6-412-416

REFERENCES

1. Teikh V.A., Ri Khosen, Litvinenko A.N., Dzyuba G.S. Deoxidation and refining of high chromium cast iron. *Liteinoe proizvodstvo*. 1984, no. 8, p.10. (In Russ.).
2. Gol'dshtein Ya.E., Mizin V.G. *Modifitsirovanie i mikrolegirovanie chuguna i stali* [Modification and microalloying of iron and steel]. Moscow: Metallurgiya, 1986, 272 p. (In Russ.).
3. Kolokol'tsev V.M., Mironov O.A., Petrochenko E.V., Bryalin M.F., Voronkov B.V. Increasing the properties of heat and wear-resistant iron by refining and modification. *Liteinoe proizvodstvo*. 2007, no. 3, pp. 27–29. (In Russ.).
4. Taran Yu.N. *O modifitsirovani evtektik v chugunakh* [Eutectic modification in cast iron]. In: *Struktura i svoystva chuguna i stali* [Structure and properties of cast iron and steel]. Dnepropetrovsk, 1967, pp. 41–47. (In Russ.).
5. Orekhova A. I. *Issledovanie i razrabotka sposoba upravleniya pervichnoi strukturoi khromistykh chugunov s pomoshch'yu modifitsirovaniya s tsel'yu povysheniya kachestva otlivok.: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [The research and development of a method for controlling the primary structure of chromium cast iron by means of modification in order to improve the quality of the castings]. Moskva. 2010, 22 p. (In Russ.).
6. Rozhkova E.V., Kozlov L.Ya., Rumyantsev V.V., Kirillov A.A. Optimization of the chemical composition of wear-resistant chromium cast iron. *Chernye metally, Tsvetnye metally*, Spec. Issue, 2005, pp. 20–25. (In Russ.).
7. Kolokol'tsev V.M., Nazarov O.A., Korotchenko V.V. etc. Wear-resistant cast iron for castings of parts for shotblasting chambers. *Liteinoe proizvodstvo*, 1992, no. 7, pp. 11–12. (In Russ.).

Received March 11, 2015