

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 621.74.01:669.13

Брялин М.Ф., Колокольцев В.М., Гольцов А.С.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ИЗ ЖАРОИЗНОСОСТОЙКИХ ХРОМОМАНГАНЦЕВЫХ ЧУГУНОВ

Одной из главных задач машиностроения является повышение надежности и долговечности машин, работающих в сложных условиях эксплуатации.

Для многих из них долговечность и надежность тесно связана с износостойкостью деталей при повышенных температурах. Особенно велико значение эксплуатационной стойкости для деталей агрегационного оборудования, работающего в условиях наиболее интенсивного абразивного и ударо-абразивного износа при повышенных температурах.

Повышающиеся требования к эксплуатационным и служебным характеристикам литейных сплавов заставляют постоянно совершенствовать их состав и технологию производства [1]. От этого зависит увеличение срока службы современного оборудования машин и механизм. При этом важны не только высокие значения служебных характеристик металла, но и их стабильность. Для увеличения эксплуатационной стойкости сплавов необходимо искать методы повышения механических, специальных и литейных свойств. Основным из таковых является выбор оптимального состава сплава (исключающего термическую обработку, либо делающего режим последней простым), уменьшение загрязненности сплава вредными примесями, получение необходимой структуры сплава.

Ресурс работы колосников марки 75X24ГЛ не стабилен даже в одних и тех же условиях. Комплексное воздействие на структуру известной стали не дало желаемого повышения стойкости колосников грохотов и спекательных тележек аглофабрик, вследствие этого возникла необходимость повышения износостойкости и жаростойкости за счет разработки нового состава сплава.

Перспективными материалами для литых деталей, работающих в сложных условиях изнашивания при повышенных температурах, являются комплексно-легированные белые чугуны.

Анализ результатов работ, проведенных ранее на кафедре ЭМ и ЛП по исследованию жароизносостойких белых чугунов, показал, что наиболее подходящий состав жароизносостойкого хромоманганцевого чугуна имеет следующий химический состав, масс. %: 2,1–2,2 С; 4,5 Mn; 18,0 Cr; 1,2 Ni; 0,5 Ti, до 0,6%. Si. Одновременно были изучены ретроспективы патентного фонда и публикации за последние 20 лет по этому вопросу. Исходя из вышесказанного, дальнейшее повышение жаростойкости (оцениваемое по двум показателям: коэффициенту окислостойкости Δm , г/м²ч, ростоустойчивости L, %) данной марки чугуна добивались за счет дополнительного его легирования ниобием и алюминием. В исследуемых чугунах на первом этапе содержание Al и Nb варьировали: 1,0; 2,0; 3,0% и 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 2,0; 3,0% соответственно. Был спланирован и проведен полный факторный эксперимент типа 2³ (ПФЭ) при следующем изменении факторов, масс. %: X₁ (титан 0,2; 0,4); X₂ (алюминий 1,0; 2,0); X₃ (ниобий 0,35; 0,7) отраженных в табл. 1. Количество кремния в опытных сплавах находилось на постоянном уровне: Si от 0,8 до 1,0%.

Структуру и свойства сплавов исследовали как в литом состоянии, так и после испытаний на жаростойкость. Структура чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ состоит из феррита и аустенитохромистокарбидной эвтектики (рис. 1).

В структуре чугунов присутствуют карбиды с микротвердостью от 8 до 12,5 ГПа. Гранулометрический анализ включений карбидов проводили на

Таблица 1

Матрица планирования ПФЭ 2³

Номер опыта	Химический состав				Факторы					
	C	Cr	Mn	Ni	Ti	Al	Nb			
1	2,2	18,0	4,2	1,0	+	0,2	-	1,0	-	0,35
2					-	0,4	-	1,0	-	0,35
3					+	0,2	+	2,0	-	0,35
4					-	0,4	+	2,0	-	0,35
5					+	0,2	-	1,0	+	0,7
6					-	0,4	-	1,0	+	0,7
7					+	0,2	+	2,0	+	0,7
8					-	0,4	+	2,0	+	0,7
9					0	0,3	0	1,5	0	0,52

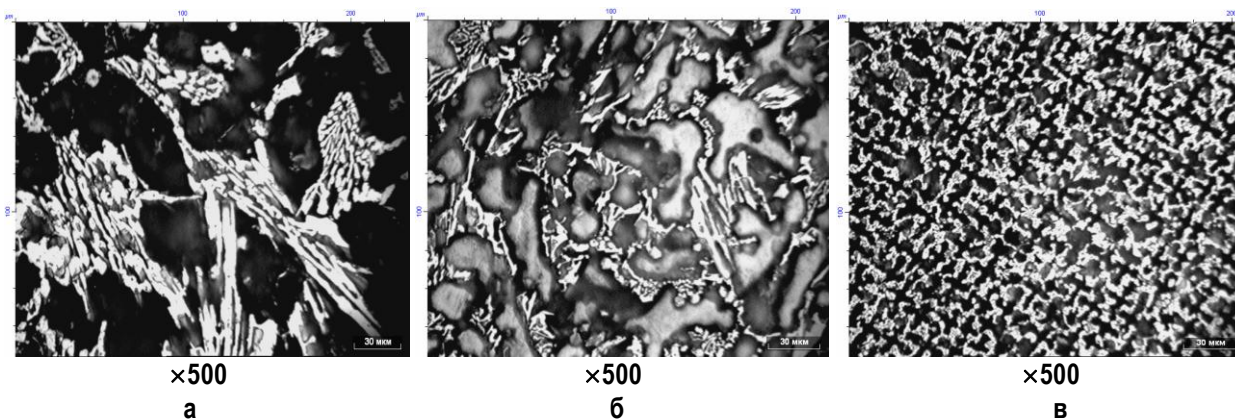


Рис. 1. Микроструктура чугуна ИС220Х18Г4Ю2БНТ, залитого в ПГФ сухую (а), ПГФ сырую (б) и кокиль (в)

полированных шлифах без травления с помощью анализатора изображений Thixomet Standard. Свойства экспериментальных сплавов представлены в табл. 2. Как видно из таблицы, прослеживается четкая тенденция изменения показателей твердости (HRC) и износостойкости ($K_{и}$, ед.) в зависимости от скорости охлаждения. С увеличением скорости охлаждения происходит измельчение карбидов и эвтектики [2]. Все это приводит к увеличению твердости и износостойкости. Максимальной износостойкостью обладают чугуны, залитые в кокиль, вследствие измельчения карбидов и более равномерного распределения в матрице (рис. 2).

Меньшей износостойкостью обладают чугуны, залитые в сухие песчано-глинистые формы, в них карбиды успевают вырасти до крупных размеров (рис. 3), которые при изнашивании растрескиваются и выкрашиваются.

Можно предположить, что падение окалинстойкости (рис. 4) образцов, залитых в сырую форму, относительно образцов, залитых в сухую форму, связано с тем, что растет доля эвтектики, а следовательно, происходит обеднение твердого раствора хромом [3]. Кроме того, увеличивается межзеренная поверхность, которая обогащается легкоплавкими составляющими и более загрязнена. Все это и

Таблица 2

Свойства экспериментальных сплавов*

Номер состава	Свойства										
	ПГФ сухая				ПГФ сырая				Кокиль		
	HRC, ед.	$K_{и}$, ед.	Δm , г/м ² ч	L, %	HRC, ед.	$K_{и}$, ед.	Δm , г/м ² ч	L, %	HRC, ед.	$K_{и}$, ед.	Δm , г/м ² ч
1	42/46,0	3,5/2,1	0,06	0,16	41,4/42,5	3,6/2,0	0,16	0,1	47,5/48,5	3,75/2,6	0,04
2	43,0/42,0	2,3/1,7	0,078	0,71	40,3/42,0	2,5/2,0	0,06	0,4	46,0/43,0	2,6/2,3	0,038
3	45,0/48,0	2,6/2,1	0,038	0,12	41,8/45,0	2,8/1,7	0,05	0,12	45,7/49	2,8/2,4	0,033
4	44,6/47,0	2,2/1,2	0,043	0,04	42,0/44,0	2,5/1,8	0,09	0,03	45,2/47,0	2,8/2,4	0,035
5	43,0/44,5	2,9/1,8	0,07	0,25	42,2/43,0	3,0/1,6	0,1	0,1	46,0/44,0	3,2/2,5	0,042
6	43,5/48,0	2,8/1,7	0,085	0,24	43,0/44,7	3,6/1,9	0,18	0,3	45,5/45,5	3,4/2,0	0,035
7	44,5/47,0	2,4/1,6	0,043	—	43,8/47,0	2,5/1,5	0,09	0,04	46,0/48,0	3,0/2,3	0,028
8	45,0/47,0	2,5/1,7	0,037	0,07	44,0/46,0	2,8/2,0	0,2	0	47,0/49,5	3,1/2,5	0,018
9	45,0/47,0	2,4/1,7	0,039	0,09	43,0/45,5	2,8/2,2	0,11	0,09	46,0/47,5	3,0/2,3	0,025

* В числителе – свойства до испытаний на окалинстойкость, в знаменателе – после испытаний на окалинстойкость.

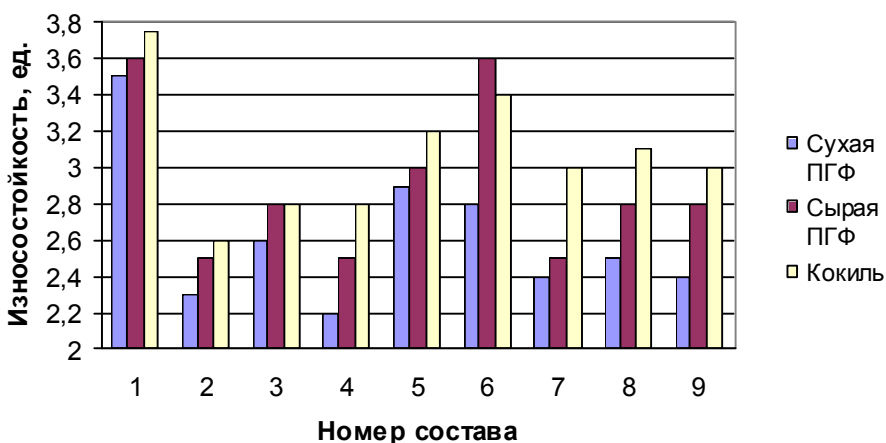


Рис. 2. Влияние химического состава на износостойкость

приводит к падению окалинстойкости.

Анализ макроструктуры образцов после испытания на окалинстойкость показал, что чем выше показатель окалинстойкости, тем плотнее окалина и прочнее она связана с основным металлом и, наоборот, чем ниже показатель окали-

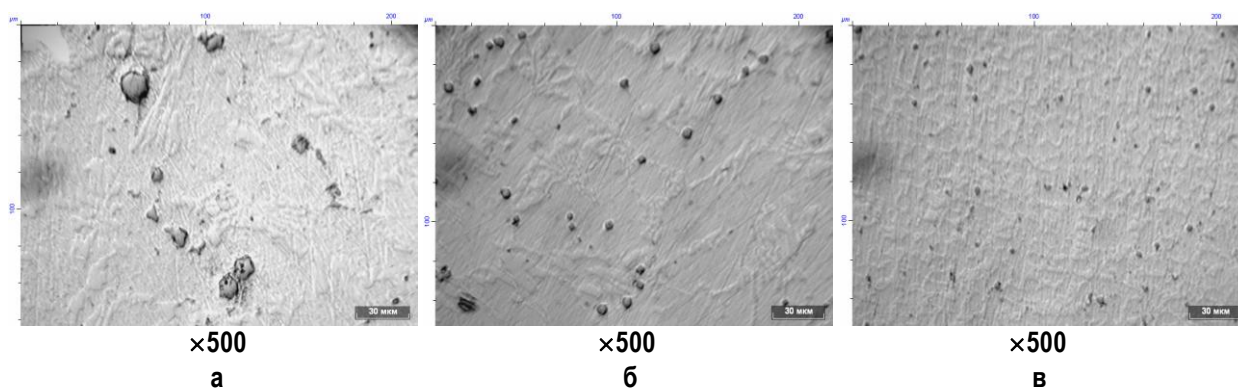


Рис. 3. Микроструктура карбидов чугуна ИС220Х18Г4Ю2БНТ, залитого в ПГФ сухую (а), ПГФ сырую (б) и кокиль (в)

ностойкости, тем рыхлее окалина (рис. 5). Рас- трескиваясь и оголяя основной металл, она спо- собствует дальнейшему его разрушению под действием высокой температуры и агрессивной газовой среды.

Очевидно, что чем протяженнее обезугле- роженный слой, тем ниже показатель окалино- стойкости. Это связано с тем, что в первые часы вы- сокотемпературной выдержки образцов проис- ходит преимущественное окисление углерода.

Металлическая матрица в этот период окис- ляется недостаточно из-за восстановительной атмосферы вблизи карбидов и в полостях с час- тично выгоревшими карбидами. Окислению подвержена преимущественно граница раздела металлической матрицы и карбидов. Уменьше- ние скорости обезуглероживания с изменением химического состава связано главным образом с увеличением содержания связанного углерода. При затухании обезуглероживания металличе- ская матрица окисляется менее интенсивно.

Как показывают проведенные исследования, происходит существенное уменьшение износо- стойкости образцов после проведения испытаний на жаростойкость (рис. 6), при этом наблюдается увеличение твердости. Падение износостойкости связано с ростом микротвердости эвтектики для сухой ПГФ (с 7 до 10 ГПа), сырой ПГФ (с 3,9 до 6,9 ГПа), кокиля (с 3,5 до 3,8 ГПа).

На втором этапе содержание Al и Nb варьиро- вали: 1,0; 2,0; 3,0 и 1,0; 2,0; 3,0% соответственно. Структура чугуна ИС220Х18Г4Ю2БНТ состоит из аустенита и аустенитохромистокарбидной эв- тектики розеточного строения. В структуре чугу- нов наряду с карбидами типа M_7C_3 и M_3C , присут- ствуют специальные двойные карбиды TiC-NbC.

Совместное введение Al и Nb обеспечивает исследуемым чугунам высокие показатели изно- состойкости и жаростойкости. Это связано с уве- личением объемной доли карбидов ниобия ($V_{Nb, \%}$), а также микротвердости структурных составляющих. Происходит резкое уменьшение

среднего размера карбидов хрома, и они приобретают компактные формы, что обеспечивает хорошее связывание карбидов с металличе- ской основой.

Анализ данных табл. 3 демонстрирует увеличение окалино- стойкости более чем на 70% при ну- левой ростоустойчи- вости чугуна марки ИС220Х18Г4Ю2БНТ по сравнению с чугу- ном, ранее разрабо- танным на кафедре.

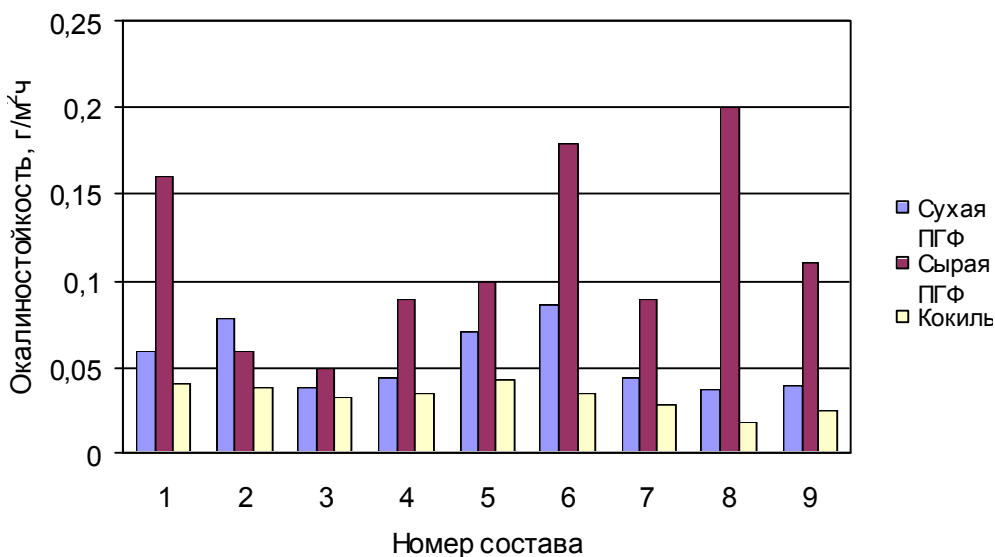


Рис. 4. Влияние состава на окалиностойкость чугуна

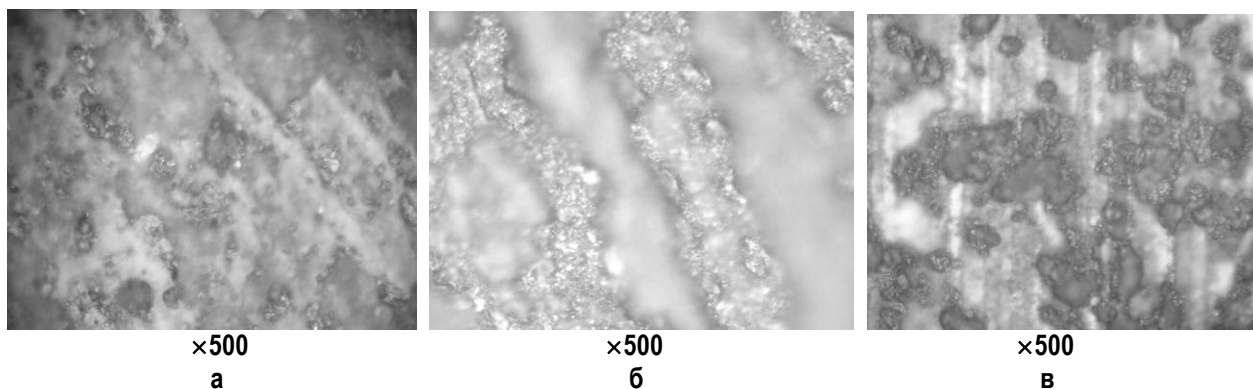


Рис. 5. Макроструктура окалины образца из чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ № 2, залитого в ПГФ сухую (а), ПГФ сырую (б) и кокиль (в)

Меньшая износостойкость стали, по сравнению с чугунами, объясняется тем, что меньшее содержание углерода не обеспечивает образования достаточного количества карбидов и при износе на матрицу переносится большая часть воздействия абразивных частиц, которая к тому же имеет меньшие прочностные характеристики, чем матрица чугунов. Рост стали вызывает нарушение сплошности окалины и, как следствие, дальнейшее окисление стали.

Уменьшение коэффициента окалиностойкости чугуна марки ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ объясняется тем, что при нагреве на поверхности сплавов образуется оксидная пленка, имеющая более высокую плотность и более прочное сцепление с металлической основой, чем пленка, образующаяся при эксплуатации чугунов марки ИЧХ28Н2.

При разработке нового состав чугуна была учтена и рассмотрена экономическая сторона. Данные, приведенные в табл. 3, отражают основной фактор в ценообразовании любого вида продукции, его себестоимость. За 2006 г. расход колосников по агломерационному производству ГОП ОАО «ММК» составил 47208 шт. (данные экономической службы аглоцеха). Годовой экономический

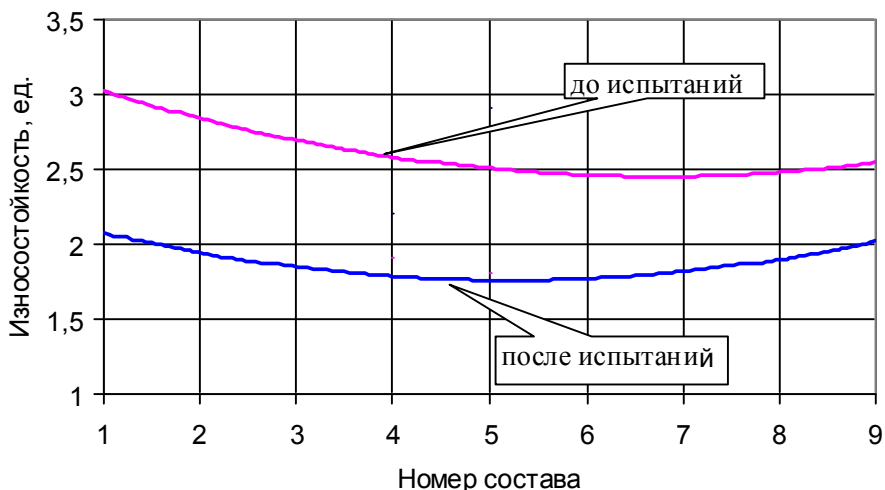


Рис.6. Влияние состава на износостойкость чугуна залитого в сухую ПГФ до и после проведения испытаний на жаростойкость

Таблица 3

Сплавы для колосников их свойства и себестоимость

Сплав	НРС, ед.	Ки, ед.	Δm, г/м ² ч	L, %	Цеховая себестоимость, руб./т
75Х24ТЛ	21	1,98	0,035	0,53	37957,8
ИЧХ28Н2	50	5,5	0,059	0,34	78548,5
ИЧ220Х18Г4НТ	46	4,4	0,055	0,19	45371,3
ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ	45	3,6	0,04	0,09	57085,2
ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ	46	4,4	0,014	0	67123,4

эффект на стоимости колосников составит при внедрении нового состава сплава – 2,2 млн руб.

Библиографический список

1. Гольдштейн Я.Е., Гольдштейн В.А. Металлургические аспекты повышения долговечности деталей машин. Челябинск: Металл, 1995. 512 с.
2. Жуков А.А., Сильман Г.И., Фрольцов М.С. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. М.: Машиностроение, 1984. 104 с.
3. Бобро Ю.Г. Жаростойкие и ростоустойчивые чугуны. М.: Машгиз, 1960. 170 с.