

Влияние метода модифицирования и содержания кремния на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна

Получены экспериментальные данные об особенностях влияния метода модифицирования (в ковше или в литейной форме) и содержания кремния на структурообразование и механические свойства отливок из высокопрочного чугуна. Показано, что высокая графитизирующая способность внутриформенного модифицирования позволяет получать из высокопрочного чугуна без отбела тонкостенные отливки с преимущественно ферритной металлической основой.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, модифицирование, кремний, толщина отливки, структура, механические свойства

В современном машиностроении растёт потребность в отливках из высокопрочного чугуна повышенного качества, поэтому необходимо применение прогрессивных технологий модифицирования. Таким направлением в развитии технологий получения отливок из высокопрочного чугуна является модифицирование в проточных реакторах, расположенных в литниковой системе.

По сравнению с ковшовым, более оптимальным по технико-экономическим показателям для производства тонкостенных отливок является внутриформенное модифицирование [1-3]. Этот процесс обеспечивает наибольшее усвоение магния – 70-80 %. Взаимодействие модификатора с расплавом не сопровождается дымом и реакционным пламенем, продукты реакции адсорбируются формовочным песком. При внутриформенном модифицировании отсутствует характерная для ковшового модифицирования проблема угасания модифицирующего эффекта и, как правило, не требуется дополнительного графитизирующего модифицирования для предотвращения отбела тонкостенных отливок.

Кремний повышает активность углерода как в расплаве, так и в твёрдом растворе, в результате чего интенсифицируются процессы графитизации. Влияние кремния на механические свойства высокопрочного чугуна проявляется двояко: он уменьшает количество перлита и упрочняет твёрдый раствор – феррит. Уменьшая количество перлита, кремний способствует снижению прочности и твёрдости при одновременном увеличении показателей пластичности и вязкости. При чрезмерном содержании кремния (более 3,2-3,5 %) феррит охрупчивается, в результате чего снижается ударная вязкость высокопрочного чугуна, особенно при отрицательных температурах [1]. В технологиях высокопрочного чугуна оптимизация содержания кремния является важной составляющей комплекса факторов, обеспечивающих предотвращение отбела отливок, регулирование соотношения перлит/феррит в металлической основе и механических свойств.

Целью исследования являлось изучение влияния технологических факторов, формирующих структуру отливок из высокопрочного чугуна.

Плавки проводили в индукционной электропечи. В качестве шихты применяли передельный литейный чушковый чугун марки ПЛ2 химического состава, в %мас: 3,87-4,12 С; 0,75-0,96 Si; 0,14-0,35 Mn; до 0,1 Cr; до 0,1 Cu; до 0,1Ni; 0,017-0,025 S; 0,026-0,08 P; остальное – Fe. Для получения планируемого содержания кремния в конце плавки в расплав чугуна вводили расчётное количество ферросилиция ФС75.

Сфероидизирующее модифицирование расплава в ковше проводили магний-кальциевой лигатурой ЖКМК-4Р при температуре 1480-1510 °С. Расход лигатуры составлял 2,5±0,1 % от массы модифицируемого расплава. Внутриформенное модифицирование проводили лигатурой ФСМг-7 в количестве 1,2±0,1 % от массы расплава. Температура заливки формы 1400-1430 °С.

Химический состав магниевых лигатур приведён в табл. 1

Фракция модификаторов при ковшовом модифицировании составляла 5...10 мм, при внутриформенном 2...7 мм.

Для исследования влияния технологических факторов на формирование структуры высокопрочного чугуна, получаемого модифицированием в ковше, в сырых песчано-глинистых формах отливали комплект пластин толщиной 5; 10; 15; 20 мм, шириной 40 мм и высотой 200 мм, масса которых в зависимости от толщины составляла соответственно 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 кг. В отличие от ковшового модифицирования при внутриформенном, за счёт сближения во времени процессов модифицирования и кристаллизации, происходит более эффективное предотвращение

Таблица 1

Химический состав исследованных магниевых лигатур

Марка лигатуры	Массовая доля элементов, %мас.					
	Mg	Ca	PЗМ	Al	Si	Fe
ЖКМК-4Р	7,7	6,7	1,2	-	52,1	остальное
ФСМг-7	7,8	0,62	0,7	1,2	49,1	

образования отбела в структуре тонкостенных отливок. Поэтому вместо пластин, у которых минимальная толщина стенки 5 мм, использовали специально разработанную ступенчатую пробу с тонкими ступенями толщиной 1,5; 2,5; 5; 10; 15 мм [4].

Для определения влияния технологических факторов на формирование структуры и механические свойства высокопрочного чугуна отливали стандартные клиновидные пробы с толщиной в основании 25 мм. Металлографический анализ выполняли на оптическом микроскопе МИМ-9 на шлифах, изготовленных из пластин и ступеней различной толщины.

По результатам исследования влияния содержания кремния на микроструктуру модифицированного в ковше высокопрочного чугуна построены графические зависимости, описывающие влияние содержания кремния в пределах от 2,5 до 3,5 % на структуру пластин (рис. 1). С увеличением содержания кремния в чугуне наблюдается более высокая степень графитизации, увеличивается количество включений шаровидного графита, образующихся при кристаллизации. Во всех пластинах толщиной от 5 до 20 мм при содержании кремния 2,5-3,5 % цементит отсутствовал и количество включений шаровидного графита в зависимости от толщины пластин изменялась с 70 до 170 шт/мм². Уменьшение количества включений шаровидного

графита в толстых сечениях при содержании кремния более 2,5 % связано с тем, что графитизация протекает, главным образом, по механизму роста размера включений шаровидного графита.

В условиях проведенного исследования при содержании кремния 2,5-3,0 % в зависимости от толщины пластин обеспечивается получение перлито-ферритной или феррито-перлитной металлической основы. При содержании в высокопрочном чугуне 3,5 % Si в структуре пластин в основном обеспечивается получение феррито-перлитной металлической основы, и только при толщине 200 мм была получена ферритная структура.

Влияние содержания кремния в пределах от 1,5 до 3,0 % на параметры структуры ступеней технологической пробы модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна в зависимости от их толщины представлены на рис. 2. Как и при модифицировании в ковше, увеличение содержания кремния в чугуне способствует более высокой степени графитизации.

При содержании кремния 1,5-2,0 % в структуре ступени толщиной 2 мм образуется 20-40 % цементита. Более толстые ступени технологической пробы

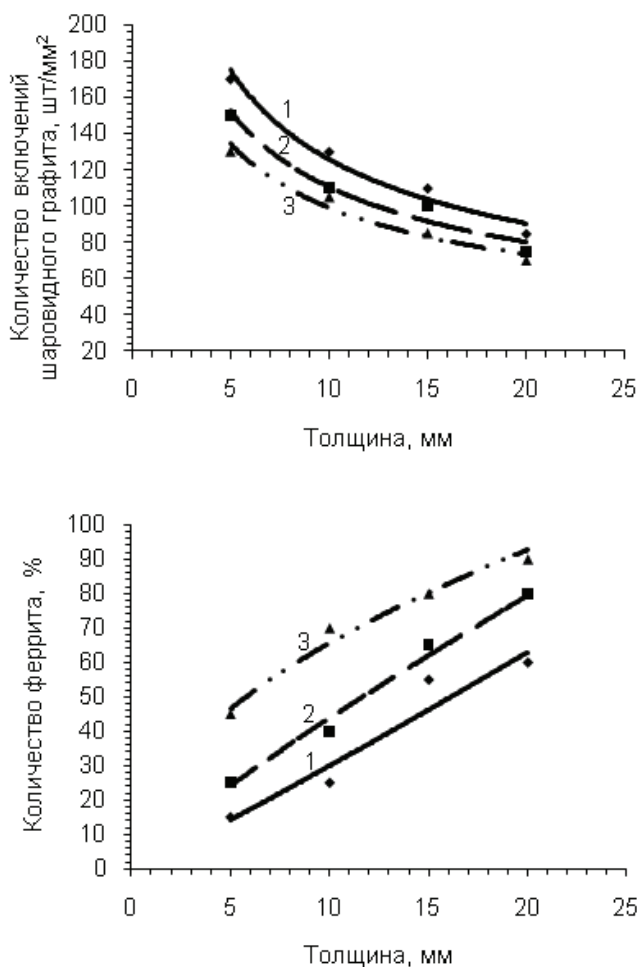


Рис. 1. Влияние толщины пластины на микроструктуру модифицированного в ковше высокопрочного чугуна в зависимости от содержания кремния, %: 1 – 2,5; 2 – 3,0; 3 – 3,5

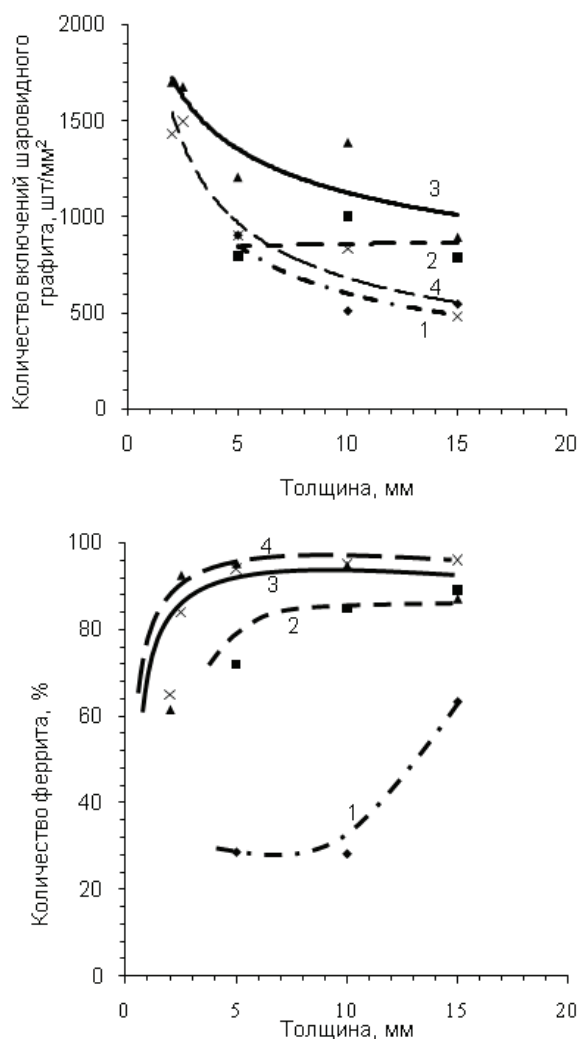


Рис. 2. Влияние толщины ступени технологической пробы на микроструктуру модифицированного в форме высокопрочного чугуна в зависимости от содержания кремния, %: 1 – 1,5; 2 – 2,0; 3 – 2,5; 4 – 3,0

при содержании кремния 1,5-2,0 % кристаллизуются без отбела и имеют перлитно-ферритную металлическую основу. При содержании 2,5-3,0 % кремния кристаллизация всех ступеней проходит без образования цементита с формированием преимущественно ферритной металлической основы.

В сечениях 2,0-2,5 мм при содержании кремния 2,5-3,0 %, количество включений составляет 1430-1700 шт/мм². В более толстых сечениях количество включений снижается до 800-1200 шт/мм², а при содержании кремния 1,5 и 3,0 % – до 500-900 шт/мм². Как при модифицировании в ковше, так и при внутриформенном модифицировании повышение содержания кремния более 2,5 % приводит к уменьшению количества включений шаровидного графита в толстых сечениях за счёт графитизации, протекающей по механизму роста размера включений, а не увеличения их количества, как это наблюдается при содержании 1,5-2,5 % кремния.

Полученные результаты свидетельствуют, что создание условий, при которых кристаллизация проходит без образования цементитной фазы, обеспечивает эффективное повышение степени ферритизации металлической основы. В условиях проведённого исследования при содержании в высокопрочном чугуна более 2,5 % Si в структуре ступеней ступенчатой пробы толщиной от 3 до 15 мм обеспечивается получение преимущественно ферритной металлической основы (более 90 % феррита).

Представленные на рис. 1, 2 экспериментальные данные свидетельствуют, что в отличие от внутриформенного, при ковшовом модифицировании в идентичных условиях эксперимента при одинаковом содержании в высокопрочном чугуне кремния (2,5-3,0 %) и толщине пластин или ступеней (5, 10, 15 мм), количество включений шаровидного графита уменьшается в 5-10 раз и формируется перлитно-ферритная металлическая основа.

В целом, по сравнению с ковшовым, внутриформенное модифицирование, проводимое в предкристаллизационном периоде, интенсифицирует инокуляцию и повышает плотность распределения в структуре включений шаровидного графита, что сокращает пути диффузии углерода из аустенита к графитовым включениям и обеспечивает увеличение количества феррита в металлической основе в 1,5-6,0 раз.

Влияние содержания кремния на количество феррита в металлической основе и механические свойства высокопрочного чугуна при ковшовом и внутриформенном модифицировании изучали на образцах, изготовленных из стандартных клиновидных проб толщиной 25 мм (рис. 3).

В высокопрочном чугуне, модифицированном в ковше лигатурой ЖКМК-4Р, при содержании кремния 2 % в структуре клиновидных отливок наряду с шаровидным графитом образовывался также эвтектический цементит в количестве до 10 %. Образование цементита предотвращалось при повышении содержания

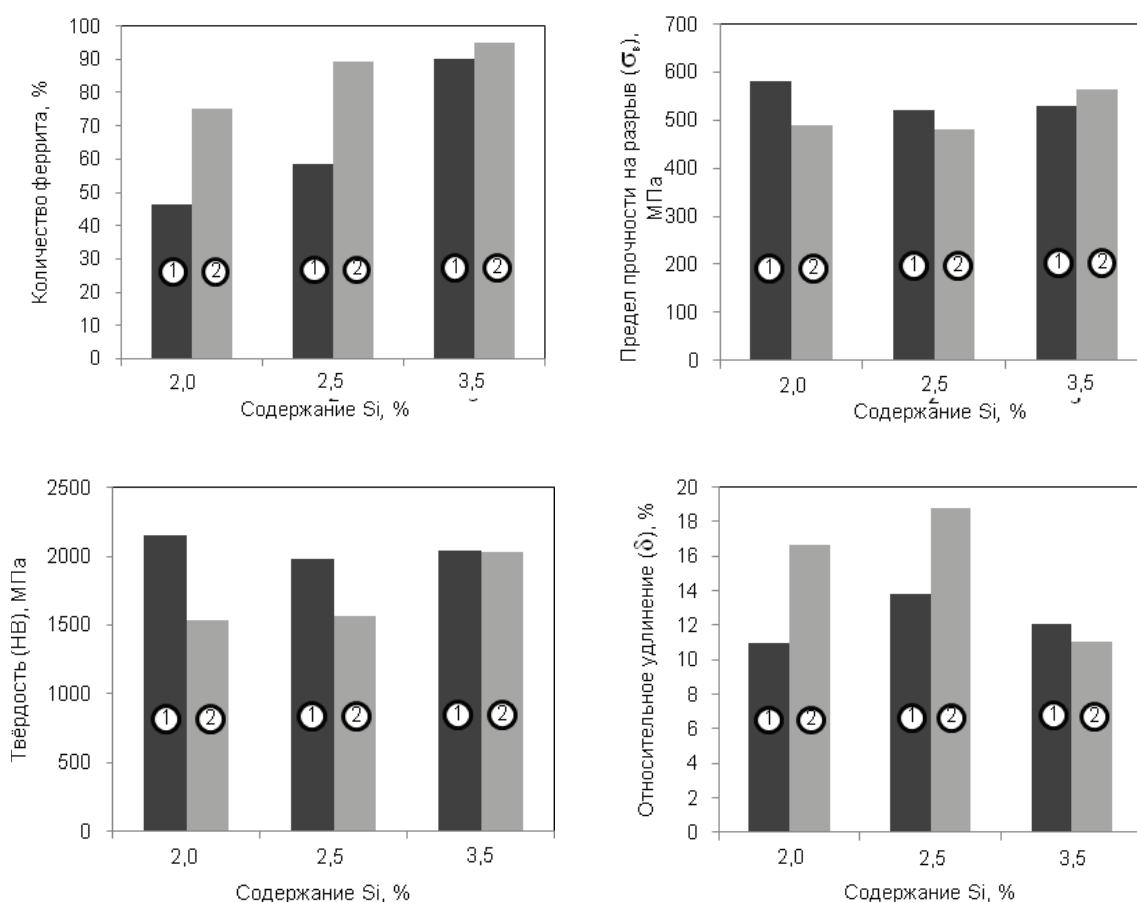


Рис. 3. Влияние содержания кремния на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна при ковшовом (1) и внутриформенном (2) модифицировании

кремния до 2,3 % и проведении ковшового графитизирующего модифицирования ферросилицием ФС75. При содержании кремния 2,5 % и более графитизирующее модифицирование не проводилось, так как кристаллизация стандартных клиновидных проб из модифицированного в ковше высокопрочного чугуна проходила без образования цементита.

Полученный внутриформенным модифицированием высокопрочный чугун с содержанием 2,0-2,5 % кремния отличался от полученного ковшовым модифицированием меньшей на 40-90 МПа величиной временного сопротивления разрыва (σ_B), более низкой на 400-650 МПа твёрдостью (НВ), повышенным в 1,5 раза относительным удлинением (δ). С увеличением содержания кремния до 3,5 %, влияние условий модифицирования на σ_B , НВ и δ высокопрочного чугуна проявляется незначительно.

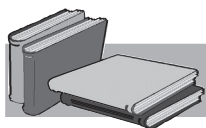
Таким образом, экспериментально полученные количественные закономерности формирования фазово-структурного состава позволяют сделать однозначный вывод о технологической и экономической целесообразности применения внутриформенного модифицирования при производстве из высокопрочного чугуна тонкостенных отливок. Высокая графитизирующая способность модифицирования, приближённого во времени к кристаллизации, открывает

перспективу улучшения качества и повышения свойств отливок из высокопрочного чугуна также за счёт открывающейся возможности увеличения скорости охлаждения с целью диспергирования структуры.

Выводы

Обоснована технико-экономическая целесообразность получения отливок из высокопрочного чугуна ферритного класса на основе применения внутриформенного модифицирования и оптимизации содержания кремния, что позволяет ликвидировать характерную для традиционных технологий ковшового модифицирования операцию энергоёмкого графитизирующего отжига.

На основании результатов комплекса проведённых исследований и многолетнего опыта промышленного производства для получения в песчаных формах без отбела отливок с минимальной толщиной стенок до 5 мм из модифицированного в ковше высокопрочного чугуна рекомендуется повысить содержание кремния до 2,9...3,3 %. Для сглаживания негативного влияния возможных эпизодических отклонений содержания кремния в сторону более низких значений необходимо проводить графитизирующее модифицирование.



ЛИТЕРАТУРА

1. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н. Г. Гиршович. – М.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
2. Бубликов В. Б. Особенности взаимодействия модификатора с жидким чугуном в реакционной камере // Литейн. пр.–во. – 1992. – № 9. – С. 23-24.
3. Косячков В. О. Метод модифікування як фактор структуроутворення високоміцного чавуну з кулястим графітом // Металознавство та обробка металів. – 2008. – № 1. – С. 13-19.
4. Особенности влияния кремния на структуру и механические свойства отливок из высокопрочного чугуна, модифицированного в литейной форме / В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Д. Н. Берчук, Б. Г. Зелёный, Л. А. Зелёная // Процессы литья. – 2011. – № 6. – С. 28-38.

Анотація

Ясинський О. О., Бубликов В. Б., Берчук Д. М., Зелена Л. О., Ясинська О. О.
Вплив методу модифікування і вмісту кремнію на структуру та механічні властивості високоміцного чавуну

Отримано експериментальні дані про особливості впливу методу модифікування (в ковші або в ливарній формі) та вмісту кремнію на структуроутворення і механічні властивості виливків з високоміцного чавуну. Показано, що висока графітίζуюча здатність внутрішньоформового модифікування дозволяє отримувати з високоміцного чавуну без відбілу тонкостінні виливки з переважно феритною металевою основою.

Ключові слова

високоміцний чавун, внутрішньоформове модифікування, кремній, товщина виливка, структура, механічні властивості

Summary

Yasynskyi O., Bublikov V., Berchuk D., Zelena L., Yasinska O.

Influence of modifying method and silicon content on ductile cast iron structure and mechanical properties

Experimental data about the features of influence of modifying method (in the ladle or in-mould) and silicon content on the structure and mechanical properties of ductile cast iron castings are obtained. It is shown that high graphitizing ability of the in-mould modifying allows to obtain thin-walled ductile cast iron castings without chill with a predominantly ferritic metal base.

Keywords

ductile cast iron, in-mould modifying, silicon, casting thickness, structure, mechanical properties

Поступила 04.06.2015

**Предлагаем разместить в нашем журнале рекламу
Вашей продукции или рекламный материал
о Вашем предприятии**

Расценки на размещение рекламы
(цены приведены в гривнах с учётом налога на рекламу)

2, 3 страницы обложки		страница внутри журнала	
цветная	1400	цветная	1050
чёрно-белая	700	чёрно-белая	500
1/2 страницы формата А4		1/2 страницы формата А4	
цветная	900	цветная	800
чёрно-белая	500	чёрно-белая	450
1/4 страницы формата А4		1/4 страницы формата А4	
цветная	550	цветная	300
чёрно-белая	300	чёрно-белая	200

При повторном размещении рекламы – скидка 15 %