

УДК 621.74.002.64:669.13

Ю.А. Зиновьев¹, И.О. Леушин¹, А.М. Тимофеев², В.Д. Швецов¹, Г.И. Белявский¹**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРАНСПОРТА
В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И СИБИРИ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «ГАЗ»²

Рассмотрено воздействие комплексного модификатора и микродобавок бора на свойства отливок из высокопрочного чугуна, в частности, их влияние на значения ударной вязкости в области отрицательных рабочих температур. Установлено оптимальное количество вводимого бора, находящееся в пределах 0,005-0,007 %, которое позволило, используя гибкость и универсальность технической схемы внутриформенного модифицирования, решить проблему обеспечения необходимого уровня хладостойкости литых заготовок из высокопрочного чугуна.

Ключевые слова: хладостойкость, ударная вязкость, высокопрочный чугун, бор, микролегирование бором, внутриформенное модифицирование.

Явление хладноломкости, т.е. хрупкого разрушения, связанного с действием низких температур, впервые стало предметом широкого обсуждения в связи с бурным строительством железных дорог во второй половине XX в. После замены пудлингового способа производства бессемеровским и мартеновским было отмечено, что рельсы, изготовленные из литейного металла, внезапно разрушались при понижении температуры. Уже тогда были признаны актуальность проблемы хладноломкости металлов, необходимость изучения ее природы и выработки мероприятий по ее устранению.

В первой половине XX в. значительно возросло число крупных аварий железнодорожных мостов, морских судов, резервуаров для хранения нефти, магистральных газопроводов. Аварии обычно происходили в зимнее время года при совместном действии низкой температуры, ветра, штормовой погоды. Анализ разрушений показал, что в большинстве случаев они начинались в дефектных местах.

Особую актуальность проблема хладноломкости приобрела в связи с освоением Сибири и Крайнего Севера. Площадь территории страны, расположенная севернее изотермы января с температурой -20°C , составляет около 52 % всей территории РФ. Такие районы, как Сибирь, Заполярье, Якутия, Дальний Восток характеризуются большими запасами полезных ископаемых и являются перспективными в промышленном отношении. Эффективность работы оборудования и транспорта в зимнее время в этих районах резко снижается. Анализ работы автохозяйств зоны с суровым климатом показал, что срок службы автомобилей в этой зоне по сравнению с Европейской частью РФ сокращается в два раза, а аварии и поломки, связанные с климатическими условиями, выводят из строя до 25 % парка машин. Поток отказов (по сравнению с летним периодом) деталей тракторов и бульдозеров увеличивается в зимнее время в 2-6 раз, деталей экскаваторов – в 5-7 раз. Особенно опасным является период пуска машин в работу после остановки. При низких температурах происходит разрушение сварных рам железнодорожных вагонов и ответственных литых деталей корпусов автосцепки. На промыслах Сибири частота отказов буровых установок зимой возрастает по сравнению с летним периодом более чем в два раза. При температурах ниже -35°C во избежание крупных поломок приходится останавливать мощные экскаваторы, буровые установки, некоторые строительные машины, хотя регламентом работы северных горнодобывающих предприятий предусмотрена круглогодичная эксплуатация карьеров. Это приводит к резкому снижению производительности карьеров в зимнее время (до 15–20 %).

Как показывают результаты исследователей данной проблемы [1], приоритетной задачей в такой ситуации выступает обеспечение достаточного уровня ударной вязкости материала отливки. В настоящей статье представлено решение указанной проблемы применительно к литым заготовкам деталей запорной арматуры и изделий железнодорожного назначения из высокопрочного чугуна, изготавливаемым в массовом порядке на металлургическом производстве ОАО «ГАЗ» и предназначенным для эксплуатации в условиях Крайнего Севера при рабочих температурах до -80°C .

Известны различные способы повышения ударной вязкости, начиная от обработки жидкого расплава разными химическими элементами (Ti, Ba, Mo, Zr [2–4]) и заканчивая термической обработкой (например, отжиг – нагрев до 760°C , выдержка 6 ч, охлаждение с печью [5]).

Одним из наиболее распространенных является способ комплексного воздействия на сплав: сфероидизация графита осуществляется путем обработки жидкого чугуна магнийсодержащими присадками или комплексными модификаторами с последующей термической обработкой (ферритизирующий отжиг при $680\text{--}800^{\circ}\text{C}$) [6]. Достижимая при этом ударная вязкость для высокопрочного чугуна составляет КСУ $150\text{--}170\text{ кДж/м}^2$, что, по данным работы [1], не является достаточной.

Авторам работы [7] удалось обойтись без термообработки и обеспечить ударную вязкость чугуна порядка $310\text{--}350\text{ кДж/м}^2$ при температурах ниже -40°C . Однако при снижении температуры наблюдалось резкое падение (более чем в два раза) ударной вязкости до 150 и 130 кДж/м^2 при температуре -40 и -60°C соответственно.

В условиях металлургического производства ОАО «ГАЗ» основным технологическим процессам, позволяющим обеспечить требуемый уровень ударной вязкости, является внутриформенное модифицирование высокопрочного чугуна магнийсодержащим модификатором с последующей выдержкой отливок в форме в течение 60 мин. Недостатком данного процесса является нестабильность значений ударной вязкости при температурах ниже -40°C .

Авторы предлагают повысить и стабилизировать значения ударной вязкости высокопрочного чугуна в области отрицательных рабочих температур микродобавками бора, используя гибкость и универсальность технической схемы внутриформенного модифицирования.

Бор уже получил признание производственников как эффективный микролегирующий элемент. Так, в работах [8–10] была установлена возможность активного воздействия малых добавок бора на стойкость к коррозии нержавеющей сталей, технологическую пластичность труднодеформируемых сталей и сплавов, длительную прочность жаропрочных сталей, склонность к графитизации белого чугуна и на ряд других характеристик железоуглеродистых сплавов. Использование бора при выплавке качественной стали, серого и ковкого чугуна связано с рядом факторов: с модифицирующим влиянием бора на процессы кристаллизации сплавов, приводящих в ряде случаев к значительному измельчению зерен; с высокой химической активностью бора по отношению к кислороду и азоту; с резким повышением устойчивости аустенита к распаду при переохлаждении и т.д.

Авторы данной статьи провели исследование совместного влияния комплексного модификатора (КМ) и микродобавок бора на ударную вязкость высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) базовой марки ВЧ40 (ГОСТ 7293-85) на примере отливки «Анкер» массой около 5 кг. Количество вводимого бора варьировалось от 0,003 до 0,01 % при неизменном содержании КМ на уровне 0,8–1,2 %. Обработку чугуна проводили внутриформенно, форма изготавливалась из ХТС, модифицирование осуществлялось магнийсодержащим комплексным модификатором ФСМг5 (44–48 % Si, 5,5–6,5 % Mg, 0,8–1,2 % РЗМ, 0,8–1,2 % Са, ост. Fe), после модифицирования проводилась выдержка отливок в форме. Всего было изготовлено 24 опытные отливки.

Из полученных отливок были изготовлены образцы двух видов: с надрезом U-образной формы и без него (размером 10x10x50 мм). Для охлаждения образцов использовался термостат с возможностью замера температуры, в который была помещена смесь твердой углекислоты («сухого льда») с этиловым спиртом. Испытания проводили на маятниковом копре в диапазоне температур от +20 °С до –80 °С с шагом в 20 °С.

Изготовление, охлаждение и испытание образцов на ударную вязкость проводили в соответствии с ГОСТ 9454-78.

Установили, что содержание бора, соответствующее максимальным значениям ударной вязкости в области отрицательных рабочих температур, находится в интервале от 0,005 до 0,007 % включительно.

Бор совместно с комплексным магнийсодержащим модификатором оказывает влияние на процесс кристаллизации высокопрочного чугуна, которое проявляется в значительном измельчении зерен и повышении устойчивости аустенита к распаду при переохлаждении. Согласно работе [11], это объясняется тем, что микродобавки бора концентрируются в тонких пограничных слоях зерна аустенита и снижают скорость зарождения центров кристаллизации перлита.

Содержание бора на уровне 0,01 % и выше приводит к карбидостабилизирующему эффекту и резкому снижению пластических характеристик. Снижение содержания бора до 0,003 % и менее не оказывает никакого влияния на ударную вязкость опытных отливок в области отрицательных рабочих температур, так как, вероятно, весь бор идет на нейтрализацию кислорода в чугуне [12].

В ходе экспериментальных исследований определяли также технологические ограничения на содержание в хладостойком чугуне кремния, марганца и фосфора.

Для того, чтобы исключить отрицательное влияние на ударную вязкость и с целью снижения порога хладноломкости, содержание кремния в чугуне не должно превышать 2,9 % (это совпадает с данными работы [13]). Для обеспечения высокой пластичности (на уровне 20-24 %) необходимо ограничить содержание кремния в чугуне в пределах от 2,1 до 2,7 %.

Марганец оказывает на структуру чугуна влияние, противоположное влиянию кремния, уменьшая количество феррита и увеличивая количество перлита. В связи с этим, с целью снижения порога хладноломкости, его содержание не должно превышать 0,3 %.

Для получения высокой ударной вязкости верхний предел содержания фосфора должен быть ограничен 0,05 %, что соответствует рекомендациям работы [14].

Графит, который формально относится к группе неметаллических включений, имеющих прочность на разрыв, близкую к нулю, в чугуне выступает в роли основного регулятора уровня механических свойств металла. В связи с этим в работе изучали совместное влияние комплексного модификатора и микродобавок бора на форму, размер и характер распределения графита в высокопрочном чугуне с ВЧШГ.

На рис. 1 представлены микроструктуры опытных отливок, полученных при изменении содержания добавок бора от 0,003 до 0,01 % (содержание комплексного модификатора фиксировалось на уровне 0,8-1,2 %).

Характеристики микроструктуры ВЧШГ в зависимости от содержания бора, согласно ГОСТ 3443-87, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Микроструктура образцов

Содержание бора	Структура (согласно ГОСТу 3443-87)
≤ 0,003 %	ШГф4,5-ШГд15-45-ШГр1-ШГ10-Пт1-П6(Ф94)
0,005-0,007 %	ШГф4,5-ШГд15-45-ШГр1-ШГ10-Пт1-П0(Ф100)
≥ 0,01 %	ШГф4,5-ШГд15-45-ШГр1-ШГ10-Пт1-П20(Ф80)

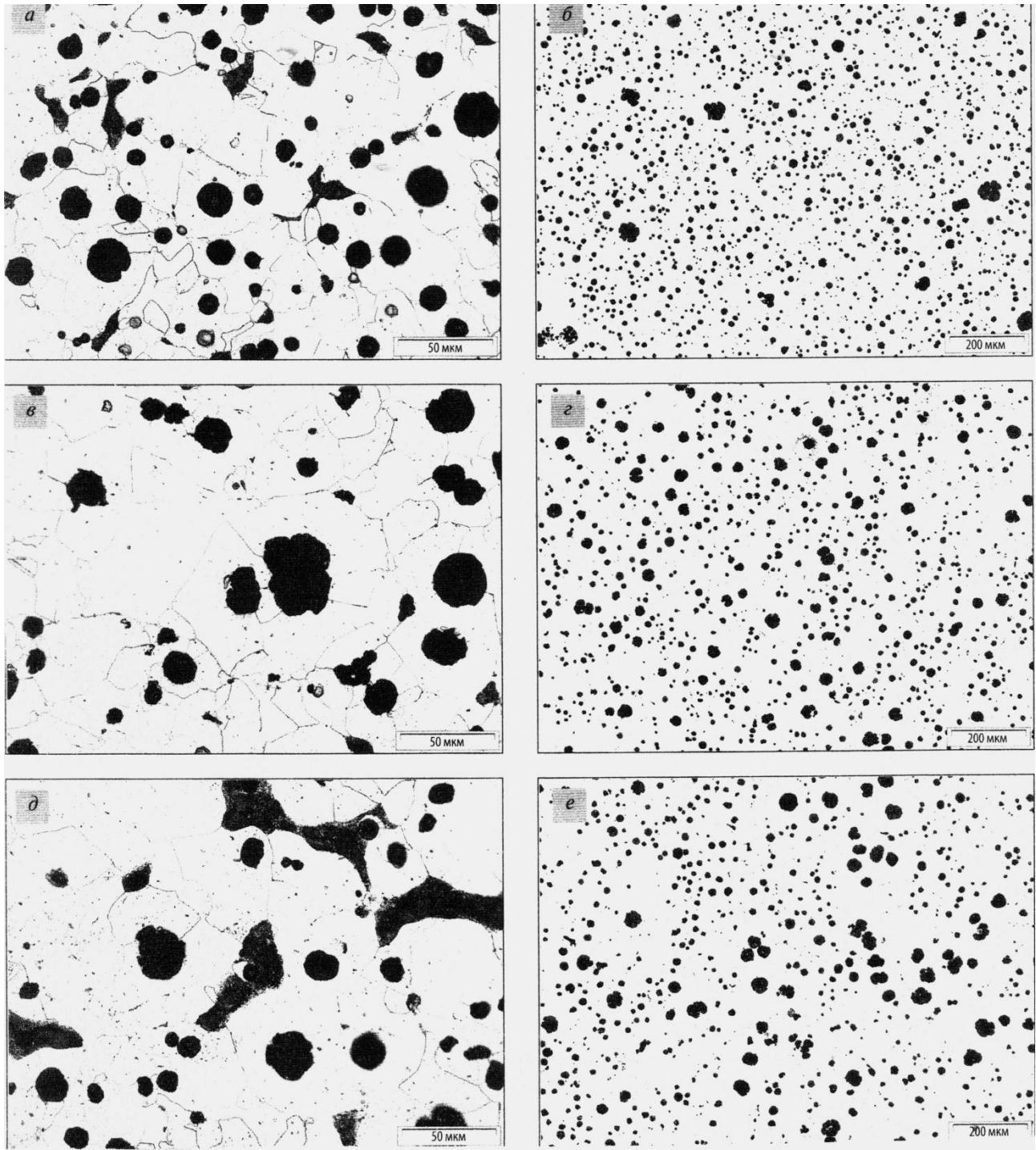


Рис. 1. Структура ВЧШГ при содержании бора $\leq 0,003$ %:
а – металлическая основа (x500); *б* – графит (x100); при содержании бора 0,005-0,0007 %:
в – металлическая основа (x500); *з* – графит (x100); при содержании бора $\geq 0,01$ %:
д – металлическая основа (x500), *е* – графит (x100)

Очевидно, что бор оказывает существенное влияние на металлическую основу ВЧШГ. При содержании бора в пределах от 0,005 до 0,007 % содержание феррита было максимальным и составило 100 % (рис. 1, *в*), при более высоком содержании бора количество феррита снижалось более, чем на 20 % (рис. 1, *д*).

Микродобавки бора влияют также на размер и распределение графитовых включений.

При содержании бора в пределах 0,005–0,007 % графит укрупняется, но его распределение остается равномерным (рис. 1, б и 1, з); при повышении содержания бора (> 0,01 %) количество крупных глобул графита увеличивается, однако распределение их носит неравномерный характер (рис. 1, е).

Таким образом, максимальные значения ударной вязкости ВЧШГ базовой марки ВЧ40 в области отрицательных рабочих температур, соответствующие наибольшей хладостойкости материала отливок, обеспечиваются комплексным введением 0,005-0,007 % бора и модификатора ФСМг5 в ходе внутриформенного модифицирования. При этом содержание феррита составило 100 %; графит укрупнился (но его распределение осталось равномерным); на образцах с U-образным надрезом ударная вязкость чугуна повысилась (по сравнению с вариантом без использования микродобавок бора): при +20 °С на 1-10 %; при –20 °С на 15-17%; при –40 °С на 17-20 %; при –60 °С на 27-30 % и при –80 °С на 11 %; на образцах без надреза ударная вязкость чугуна повысилась: при +20 °С на 4-6 %; при –20 °С на 6-10 %; при –40 °С на 6-14 % и при –60 °С на 20-26 %.

Результаты исследований использовались при разработке усовершенствованной технологии производства отливок ответственного назначения из высокопрочного чугуна для деталей, работающих в условиях низких температур. Это позволило решить проблемы обеспечения необходимого уровня хладостойкости литых заготовок из ВЧШГ в условиях металлургического производства ОАО «ГАЗ».

Библиографический список

1. **Шебастинов, М.П.** Высокопрочный чугун в автомобилестроении / М.П. Шебастинов, Ю.Е. Абраменко, Н.И. Бех. – М.: Машиностроение, 1988. – 216 с.
2. Пат. 773121 СССР: С22 С37/10. Высокопрочный чугун / Д.Н. Худокормов, В.М. Королев, С.М. Леках, И.Ю. Сапонько; заявитель и патентообладатель Белорусский ордена Трудового Красного Знамени политехнический ин-т. - № 2738219/22-02; заявл. 21.03.79; опубл. 23.10.80, Бюл. № 39.
3. Пат. 2267542 РФ: С22 С37 / 10. Чугун, способ его получения и способ термической обработки отливок из него:/ Г.И. Сильман, В.В. Камынин, С.А. Харитоненко; заявитель и патентообладатель Брянская государственная инженерно-технологическая академия. - № 200412239 / 02; заявл. 19.07.04; опубл. 10.01.06, Бюл. № 3.
4. Пат. 2313603 РФ; С 22 С 37 /10. Чугун / Ю.А. Щепочкина; заявитель и патентообладатель Ю.А. Щепочкина. - № 2006113333/02; заявл. 19.04.06; опубл. 28.12.07, Бюл. № 45.
5. Повышение хладостойкости высокопрочного чугуна / Н.Н. Александров [и др.] // Литейное производство. 1981. № 1. С. 4-5.
6. **Шерман, А.Д.** Чугун: справ. изд. / А.Д. Шерман, А.А. Жуков. – М.: Металлургия, 1991. – 576 с.
7. **Яковлев, М.И.** Хладостойкий чугун с шаровидным графитом / М.И. Яковлев, Е.С. Петров, А.Д. Андреев // Литейное производство. 2001. № 3. С. 6-7.
8. **Аникеев, В.В.** О модифицировании стальных отливок // Литейное производство. 2010. № 4. С. 6-10.
9. **Михайловский, В.М.** Проблема отбела в отливках из чугуна и методы его устранения / В.М. Михайловский, С.П. Королев, О.А. Константинович // Литейное производство. 2008. № 3. С. 4-6.
10. **Лякишев, Н.П.** Борсодержащие стали и сплавы / Н.П. Лякишев, Ю.Л. Плинер, С.И. Лаппо. – М.: Металлургия, 1986. – 192 с.
11. **Гуляев, А.П.** Металловедение / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
12. **Тимофеев, А.М.** Повышение физико-механических свойств высокопрочного чугуна посредством микролегирования бором / А.М. Тимофеев, И.О. Леушин, Ю.А. Зиновьев // Матер. X съезда литейщиков России. – Казань: Вертолет, 2011. С. 153-155.
13. **Гиршович, Н.Г.** Справочник по чугунному литью / Н.Г. Гиршович. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.

14. Пат. 2138578 РФ: С22 С37 / 10. Чугун / В.И. Крестьянов, Е.А. Вестфальский, С.С. Бакума, Э.В. Степанцов; заявитель и патентообладатель ООО «Ассоциация металлургов и инвесторов». - № 98122904/02; заявл. 18.12.98; опубл. 20.02.03. Бюл. № 5.

*Дата поступления
в редакцию 31.01.2013*

Yu.A. Zinoviev¹, I.O. Leushin¹, A.M. Tumofeev², V.B. Shvetsov¹, G.I. Beliavsky¹

**INCREASING THE EFFICIENCY OF TRANSPORTATION MEANS' OPERATION
IN THE FAR NORTH AND SIBERIA**

Nizhni Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
GAZ Corporation, Nizhny Novgorod²

This paper addresses the impact of a complex inoculants – as well as boron (B) microadditions – on the quality of high-strength iron castings, particularly, their influence on the impact strength values in the area of negative working temperatures. Determined is the optimum amount of the boron (B) introduced, as lying within the range of 0,005-0,007 %; this allowed, while using the flexibility and versatility of the problem of assuring the required level of high-strength iron castings' cold resistance.

Key words: cold resistance, impact strength, high-strength iron, boron (B) microalloying, in-mold inoculation.