

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.74.002.64:669.13

Ю.А. Зиновьев<sup>1</sup>, А.А. Колпаков<sup>2</sup>, С.В. Кузнецов<sup>1</sup>, В.Д. Швецов<sup>1</sup>, Г.И. Белявский<sup>1</sup>

### ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ОБРАЗОВАНИЕ ГРАФИТА В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ И УСАДОЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ В ОТЛИВКАХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ОАО «ГАЗ»<sup>2</sup>

Рассмотрены особенности воздействия нового комплексного модификатора с Се, Са на свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Сбалансированное количество Се нейтрализует демодифицирующие элементы для получения стабильных интерметаллических соединений оксидов Се, сульфидов и оксисульфидов. Эти соединения Се действуют на улучшение образования зародышей графита при кристаллизации. Са используется как первичный активный элемент в модифицировании, и он оказался решающим для эвтектического образования зародышей графита. Сера, соединяясь с Се, Са и другими металлами, облегчает образование зародышей графита. Этот комплексный модификатор сдвигает выделение графита в более позднее время кристаллизации, что уменьшает объем усадки данного сплава и, следовательно, количество усадочных дефектов в отливке. Для полного исключения усадочных дефектов в высокопрочном чугуне Се был заменен на La.

*Ключевые слова:* высокопрочный чугун, комплексный модификатор, церий, кальций, лантан, усадочные дефекты.

Модифицирование играет решающую роль в производстве высококачественного литейного чугуна. Основной функцией модифицирования является увеличение центров графитизации, что способствует росту графитовой эвтектики и одновременно уменьшает переохладение и снижает до минимума вероятность образования твердых эвтектических карбидов в структуре. Для этого необходимо предотвратить переохладение до температур ниже метастабильной эвтектики, когда происходит образование карбидных структур.

Роль модификатора заключается в создании центров графитизации в жидком чугуне, способствующих формированию шаровидного графита при незначительном переохладении. Это, в свою очередь, обеспечивает большее число зародышей графита в высокопрочном чугуне (ВЧ).

Добавки магния и церия в литейный чугун с целью получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) оказывают сильное воздействие на образование карбидов. Модифицированием чугуна необходимо нейтрализовать это воздействие даже в случае высокого содержания углерода и кремния. Помимо этого, модифицированием обеспечивается повышенное количество графитовых центров в высокопрочном чугуне.

Модифицирование ВЧ представляет собой процесс десульфурации и деоксидации. Тем не менее, необязательно удалять сульфиды и оксиды из жидкого чугуна в покровный шлак. Необходимо обеспечить мелкодисперсное распределение частиц в чугуне. Такие микрочастицы действуют в качестве потенциальных центров гетерогенного образования

графита в процессе кристаллизации. Следовательно, эффективный процесс модифицирования получается при низких величинах S и O.

При бурно протекающих процессах (например, конверторном или обработкой порошковой проволокой) замедляется реакция деоксидации. Частицы MgO проявляют большую склонность к окускованию и образуют крупные шлаковые кластеры, которые легко всплывают, и деоксидация эффективно протекает в покровном шлаке. Основным недостатком этого процесса является то, что из-за агломерации и флотации сульфидов и оксидов значительная часть потенциальных частиц, формирующих центры графитизации, вымывается из чугуна.

Обработка чугуна сплавами ферросилиция с магнием протекает менее бурно без существенного вымывания центров графитизации. Кроме того, силикаты магния образуют меньшие по размеру частицы по сравнению с оксидами магния.

Таким образом, после обработки расплава большая часть оксидов остается в виде мелкодиспергированных частиц. Обычная плотность таких частиц составляет 100 тыс/мм<sup>3</sup>. Средний диаметр частиц колеблется от 0,5 до 1 мкм. Благодаря малому размеру, частицы всплывают медленно и, следовательно, остаются в расплаве в течение длительного времени.

Графитизирующие элементы повышают и снижают эвтектические температуры графита и карбида. Стабилизаторы карбида уменьшают эвтектическую температуру графита и повышают эвтектическую температуру карбида.

Сегрегация, сопровождающая кристаллизацию, особенно в толстых сечениях, может способствовать образованию карбида между ячейек. Элементы-стабилизаторы карбида сегрегируют к границе ячейек, в то время как графитизирующие элементы сегрегируют от ячейек. Как результат, возникает существенная разница в двух эвтектических температурах в зонах между ячейками. Образование графита происходит по различным причинам. Повышение уровня графитизаторов в чугуне является эффективным способом снижения отбела. Однако это необязательно лучший способ устранения карбида, формирующегося между ячейками, поскольку графитизаторы сегрегируют в направлении от границ ячейек. Более эффективным решением представляется снижение уровня стабилизаторов карбида, особенно тех, которые обладают ярко выраженной сегрегацией. Кроме того, рекомендуется уменьшить степень сегрегации за счет повышения скорости кристаллизации и сократить диффузионные расстояния уменьшением расстояний между диффузионными частицами. Это можно обеспечить высокоэффективным модифицированием чугуна.

Традиционно, модификаторами были сплавы FeSi, содержащие металлические добавки, как кальций (Ca), барий (Ba), стронций (Sr), марганец (Mn) и цирконий (Zr). Цель этих активных элементов заключается в реакции с S и O в чугуне и образовании потенциальных разнородных центров кристаллизации для графита. Число возможных центров кристаллизации, которые могут образоваться после обработки, показывают эффективность модификаторов [1], [2], [3].

Для увеличения эффективности было представлено новое использование модифицирующих материалов Ce, Ca. Модификаторы, содержащие Ce, Ca, которые применялись при производстве чугуна с шаровидным графитом, показали более однородную микроструктуру, малую тенденцию к образованию усадочных дефектов, трещин и улучшенную его обрабатываемость.

Модификатор в комбинации с Ca - Ce состоит из разных уровней Ca и Ce, которые регулируют скорость охлаждения и нейтрализуют демодифицирующие рассеянные элементы, которые предотвращают образование шаровидного графита в чугуне. Модификатор содержит малые и контролируемые количества S и O, необходимые для реакции с Ca и Ce в период введения в расплавленный чугун.

Первичным объектом модификатора с Ca, Ce является взаимодействие контролируемых концентраций неметаллических элементов, таких как S и O с металлическими. Сбалансированное и контролируемое образование включений увеличивает плотность центров кри-

сталлизации графита при реакции между высоко активными металлическими элементами Са, Се и неметаллическими S и О модификатора. S облегчает образование зародышей графита, О играет значительную роль в процессе модифицирования.

Комбинированное использование и обработка обоих элементов через последующую модификацию предназначено для получения выгоды от Са, Се, S и О при одновременном образовании зародышей графита. Са используется как первичный активный элемент в модифицировании, и он оказался решающим для эвтектического образования зародышей графита. Сбалансированное количество Се нейтрализует демодифицирующие элементы для получения стабильных интерметаллических соединений, а также имеет сильное сродство к S и О, действующее на формирование высокостойких оксидов Се, сульфидов и оксисульфидов. Эти соединения Се действуют на улучшение образования зародышей при кристаллизации [4].

Дополнительные центры кристаллизации затем будут действовать параллельно с традиционными, образованными в период реакций между сферидизатором, модификатором и основным материалом.

Состав модификатора предназначен для облегчения условий образования зародышей графита в чугунах с шаровидным графитом, уменьшения переохлаждения и уменьшения образования усадочных раковин.

Модификатор с Са, Се образует дополнительные центры кристаллизации в чугунах с шаровидным графитом в дополнение к тем, которые образовались при обработке магнием. Это может быть полезно для получения большой пластичности и ударной вязкости ферритного чугуна.

Модификатор особенно эффективен в чугунах с шаровидным графитом с низким содержанием S и в чугунах, обработанных Mg в конвертерах или инъекционным методом.

Литой чугун модифицируется:

- для улучшения обрабатываемости, без образования карбидов;
- активизации образования графита и феррита;
- уменьшения тенденции легирования и ликвирования примесных элементов;
- уменьшения образования усадочных раковин в период кристаллизации и повышения пластичности;
- создания более однородных структур и свойств в различных зонах разностенных отливок.

Установили, что модификатор с Са, Се улучшил основные свойства чугуна, так как увеличилось число мелких включений шаровидного графита в пластичных чугунных отливках.

Доказано, что модификатор с Са, Се был удачен для образования новых центров кристаллизации в чугунах с шаровидным графитом с большим временем выдержки в том случае, когда основной чугун или чугун, обработанный Mg, обрабатывался перед добавлением модификатора. Известно, что длительные периоды выдержки уменьшают возможности полного образования зародышей графита в чугунах [5].

Действие мощного источника образования зародышей и большее число шаровидных включений являются предпосылками увеличения количества феррита при производстве ферритных марок чугуна с шаровидным графитом.

Модификатор с Са, Се действует на размер графита и распределение шаровидных включений, который препятствует образованию усадки и большего феррита, действуя как эффективное графитизирующее образование в сегрегированных зонах, обогащенных перлитостабилизирующими элементами. Это косвенно улучшает обрабатываемость чугуна с шаровидным графитом.

*Пример 1.* Литейное производство использовало метод электрической индукционной плавки и процесс получения чугуна с шаровидным графитом в промежуточном ковше. Ис-

следовали проблемы карбидов и повышенной усадки в разностенных отливках с тонкими стенками. Использовалась обычная струйная модифицирующая добавка, содержащая Zn, Mn, Ca. Когда модификатор с Ca, Ce был сравнен со струйной добавкой, результаты показали, что новый модификатор ограничивал карбиды в тонких стенках. Микропористость была достаточно мала, что позволило избежать шероховатых внутренних поверхностей после сверления выпуклых секций в разностенных отливках. Исследование 2-3 мм стенок отливок из чугуна с шаровидным графитом показало, что модификатор с Zn, Mn, Ca дает 305 шаровидных включений на кв. мм, а модификатор с Ca, Ce – 620 включений на кв. мм.

После перехода производства на новый модификатор значительно уменьшился брак отливок и улучшилось их качество. В настоящее время количество модификатора с Ca, Ce также уменьшили на 25%.

*Пример 2.* Другое литейное производство, которое использовало индукционную плавку и слоистую обработку (sandwich treatment), испытывало модификаторы для своего автоматического разлива и струйного модифицирования.

Число шаровидных включений сравнивалось в плоских стенках толщиной в 5, 10, 20 и 40 мм. Новый модификатор имел больше шаровидных включений на кв. мм, чем модификатор со Sr. Использование модификатора с Ca, Ce в 40 мм стенке показало число плотности включений 330 на кв.мм, а в 5 мм – 308 включений на кв.мм. Это предполагает второй тип образования зародышей, более позднее в процессе охлаждения, дающий максимум преимуществ в толстых стенках отливок.

В ребристых отливках модификатор с Ca, Ce дает равномерное распределение крупных шаровидных включений и множество малых шаровидных включений, которые образуются позднее, в период кристаллизации, что уменьшает усадку чугуна.

Введение Ce в комбинацию S и O в модификатор с Ca, Ce также создает второй тип образования зародышей, активированных во время кристаллизации.

После перехода на модификатор с Ca, Ce литейное производство уменьшило проблемы, связанные с усадкой, и поддерживало минимальный уровень добавки модификатора.

*Пример 3.* Это литейное производство производило крупные отливки из чугуна с шаровидным графитом методом индукционной плавки и промежуточной обработкой. Проблемы крупных отливок включали флотацию графита, сегрегацию, усадочные дефекты и относительно малую степень шаровидности включений. Модификаторы с Ca, Ce и Ba исследовались как добавки для ковша.

Результаты показали, что модификатор с Ca, Ce производит 368 включений/кв.мм, а с Ba – 178 включений/кв.мм.

Новый модификатор показал большее число малых размеров шаровидных включений с характеристиками равномерного распределения и уменьшение усадки чугуна.

Модификатор с Ca, Ce на 15% улучшил шаровидность графита. Новый модификатор также уменьшает межзеренный перлит с 24% до 12%. Связанная сетка перлита при 24% (и выше) разрывается на малые фрагменты перлита в доминирующей ферритной матрице.

В результате литейное производство производит отливки с лучшими свойствами на растяжение и удар с однородным распределением шаровидных включений. Оказалось, что новый модификатор увеличивает срок службы заготовок на 45% при улучшении механической обработки.

*Пример 4.* Литейное производство, использующее индукционную плавку и слоистую обработку Mg, производило отливки с усадочными дефектами: с большими раковинами в толстых стенках.

Модификатор с Ca, Ce был испытан на специальном опытном образце. Прибыль была уменьшена наполовину, а отливка оценена на пористость и наличие раковин. Была выявлена

очень малая пористость внутри отливки. Литейное производство перешло на новый модификатор для разрешения проблемы с усадочными дефектами.

Для полного исключения усадочной пористости в сложных разностенных отливках типа «ступицы» был применен новый модификатор с элементами La-Ca [6]. Лантан способствовал еще более позднему образованию зародышей графита, что усиливало графитизацию, уменьшило усадку чугуна и, соответственно, исключило усадочные дефекты в отливках.

Для повышения хладостойкости чугуна необходимо было повысить ударную вязкость и пластичность.

Известны различные способы повышения ударной вязкости, начиная от обработки жидкого расплава разными химическими элементами (*Ti*, *Ba*, *Mo*, *Zr* [7-10]) и заканчивая термической обработкой (например, отжиг – нагрев до 760 °С, выдержка 6 ч, охлаждение с печью [11]).

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 680-800 °С) [12]. Достижимая при этом ударная вязкость для высокопрочного чугуна составляет КСУ 150-170 кДж/м<sup>2</sup>, что, по данным работы [7], не является достаточной.

Авторам работы [13] удалось вообще обойтись без термообработки и обеспечить ударную вязкость чугуна порядке 310-350 кДж/м<sup>2</sup> при температурах выше -40°С. Однако при снижении температуры наблюдалось резкое падение (более чем в два раза) ударной вязкости до 150 и 130 кДж/м<sup>2</sup> при температуре -40 и -60 °С соответственно.

В условиях металлургического производства ОАО «ГАЗ» основным технологическим процессом, 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 °С.

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 [14-16] 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 и прежде всего 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 % *P3M*, 0,8-1,2 % *Ca*, 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 следующем 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 ГОСТом 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 [17], 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 [18].

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 %. 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 %.

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.

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 %, при более высоком содержании бора количество феррита снижалось более чем на 20 %.

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; при повышении содержания бора (> 0,01 %) количество крупных глобул графита увеличивается, однако распределение их носит неравномерный характер.

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 мо-

дификатора 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 +2- °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. **Жуков, А.А.** Встречное модифицирование чугуна с шаровидным графитом / А.А. Жуков [и др.] // Вестник машиностроения. № 5. 1987.
2. **Трухов, А.П.** Особенности усадочных процессов в отливках из высокопрочного чугуна в сырых песчано-глинистых форма / А.П. Трухов, Е.А. Шибеев // Литейное производство. № 7. 1994.
3. **Макаревич, А.П.** Влияние способа ввода модификатора на структуру высокопрочного чугуна / А.П. Макаревич [и др.] // Литейное производство. 2004. № 9.
4. **Косилов, А.А.** Эффективный способ улучшения качества металла / А.А. Косилов [и др.] // Литейное производство. 2002. № 5.
5. **Торбьерн, Скаланд.** Исследование продолжительности действия модификаторов в чугуне с графитом разной формы // Литейное производство. 1999. № 6.
6. Пат. на изобретение № 2358032. «Чугун» высокопрочный для отливок без усадочных дефектов / Зиновьев Ю.А. [и др.]. 2009.
7. **Шебастинов, М.П.** Высокопрочный чугун в автомобилестроении / М.П. Шебастинов, Ю.Е. Абраменко, Н.И. Бех. – М.: Машиностроение, 1988. – 216 с.
8. 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.
9. Пат. 2267542 РФ: С22 С37. 10Чугун, 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.
10. 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.
11. **Александров, Н.Н.** Повышение хладостойкости высокопрочного чугуна / Н.Н. Александров [и др.] // Литейное производство. 1981. № 1. С. 4–5.
12. **Шерман, А.Д.** Чугун: справочник / А.Д. Шерман, А.А. Жуков. – М.: Металлургия, 1991. – 576 с.
13. **Яковлев, М.И.** Хладостойкий чугун с шаровидным графитом / М.И. Яковлев, Е.С.Петров, А.Д. Андреев // Литейное производство. 2001. № 3. С 6–7.
14. **Аникеев, В.В.** О модифицировании стальных отливок // Литейное производство. 2010. № 4. С. 6–10.
15. **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.
16. **Лякишев, Н.П.** Борсодержащие стали и сплавы / Н.П. Лякишев, Ю.Л. Плинер, С.И. Лаппо. – М.: Металлургия, 1986. – 192 с.
17. **Гуляев, А.П.** Металловедение / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

18. 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.

*Дата поступления  
в редакцию 16.04. 2015*

**Yr.A. Zinoviev<sup>1</sup>, A.A. Kolpakov<sup>2</sup>, S.V. Kuznetsov<sup>1</sup>, V.D. Shvetsov<sup>1</sup>, G.I. Belyavsky<sup>1</sup>**

**CREATING THE BASE TECHNOLOGY OF PRODUCING SAME-HEAT LOW-SULFUR  
AND HIGH-SULFUR IRONS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
GAZ Corp<sup>2</sup>

This paper addresses the peculiarities of the impact of a new complex inoculant with cerium (Ce) and calcium (Ca) on the properties of high-duty ductile iron. The proportioned amount of Ce neutralizes the de-inoculation elements to obtain stable intermetallic compounds of Ce oxides, sulphides, and oxysulphides. These Ce compounds ameliorate the graphite nucleation during crystallization. Ca is used as the primary active element in inoculation, and it (Ca) proved to be decisive for eutectic graphite nucleation. Sulphur (S), combining with Ce, Ca, and other metals facilitates graphite nucleation. This complex inoculant shifts graphite separation to a later while of crystallization, which diminishes the given alloy's shrinkage volume and, consequently, the amount of shrinkage defects in the casting. For complete preclusion of shrinkage defects in high-duty iron, Ce was substituted for lanthanum (La).

*Key words:* high-duty iron, complex inoculant, cerium, calcium, lanthanum, shrinkage defects.