

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.74.047

КУИС Дмитрий Валерьевич

**РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ
НАСЛЕДСТВЕННОСТЬЮ СЕРЫХ ЧУГУНОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ**

05.16.04 – Литейное производство

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск, 2007

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет»

- Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Свидуневич Н.А., заведующий кафедрой «Материаловедение и технология металлов» УО «Белорусского государственного технологического университета»
- Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор Комаров О.С., кафедра «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» Белорусского национального технического университета
- кандидат технических наук, старший научный сотрудник Дудецкая Л.Р., заведующая лабораторией «Физика металлов и материаловедение» ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»
- Оппонирующая организация – Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Институт БелНИИлит», г. Минск

Защита состоится «29» июня 2007 г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций в Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013 г. Минск, пр. Независимости 65, корп. 12, ауд. 310, тел. 292-54-06.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «29» мая 2007 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор _____ И.А. Трусова

© Куис Д.В.
© БНТУ, 2007

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Высокий уровень развития современного машиностроения требует повышения физико-механических свойств материалов. Чугун, обладая большой универсальностью свойств, по-прежнему является одним из основных литейных конструкционных материалов и, согласно прогнозам, эту роль он сохранит в будущем. В настоящее время неоднократно уменьшилось число работ по чугунам с пластинчатым графитом, ресурс свойств которого однако далеко не исчерпан. Это связано с тем, что принятая оценка уровня литейного производства производится по соотношению производственного литья из чугуна с пластинчатым графитом и чугуна с шаровидным графитом в сравнении с ведущими мировыми производителями. Это не совсем оправдано, так как оценка делается без учета номенклатуры производимой продукции и реальной потребности в литье. Если учесть, что Республика Беларусь много лет является одним из лидеров среди производителей чугуна с шаровидным графитом, то применение модифицирования, легирования, термообработки, относительная простота технологии делают чугун с пластинчатым графитом во многих случаях конкурентоспособным по отношению к чугунам с шаровидным графитом.

Решение вопросов повышения прочностных и эксплуатационных свойств отливок, снижения их металлоемкости на современном этапе возможно с учетом новых достижений в области исследований по строению многокомпонентных расплавов чугуна, использования явлений наследственности и внедрения различных методов воздействия на расплавы.

На уровне современных знаний можно уверенно говорить о наличии в шихте материальных носителей, вызывающих определенные изменения свойств отливок, которые во многом зависят от природы исходных шихтовых материалов, условий плавки и кристаллизации. При этом в одних случаях наследственность можно полезно использовать, в других случаях нежелательные явления наследственности можно нейтрализовать. Таким образом, знание о характере наследственности исходных материалов позволяет учитывать ее при разработке технологических процессов и в практической работе.

Вместе с тем ряд вопросов наследственности и ее практического использования применительно к чугунам во многом остается еще не решенным.

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Настоящая работа выполнена в рамках отдельного проекта Министерства образования Республики Беларусь (тема ГБ 21-038 «Исследование процесса структурообразования и оптимизация получения литейных сплавов при использовании в шихте отходов промышленных производств» (2000-2003 гг.)), утвержденного заместителем Министра

образования 29.12.2000 г., и государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Материал» (задание 5.13 (Литье 34) «Разработать физико-химические основы получения серых чугунов с использованием вторичных ресурсов» (2003-2005 гг.)), утвержденной постановлением Президиума НАН Беларуси №104 от 26.11.2003 г.

Цели и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка рациональных технологических режимов и способов получения качественных отливок из серого чугуна посредством управления структурной наследственностью при выплавке чугуна.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить влияние модификаторов и малых добавок легирующих элементов на первичную структуру чугунов (дендритную структуру и размеры эвтектических зерен), характер распределения, величину графитных включений и металлическую основу чугунов в одинаковых условиях эксперимента с использованием исходного чугуна одного химического состава, а при необходимости различных составов;

- определить механизм упрочнения серого чугуна при использовании комплексного сплава, содержащего малые добавки легирующих элементов, при ваграночной плавке и разработать новые технологические процессы получения качественных отливок ответственного назначения с регламентированными требованиями по микроструктуре и свойствам при использовании в качестве шихтового материала комплексного сплава;

- разработать и оценить наиболее эффективные критерии оценки модифицирования и явления наследственности чугунов, оценить влияние температурно-временных факторов на эффективность современных модификаторов и выбрать наиболее эффективные с целью разработки модификаторов длительного действия и разработать составы новых модификаторов, обеспечивающих свойства чугуна не только после длительной выдержки расплава перед заливкой, но и сохраняющих структурную наследственность после переплава и тем самым в значительной степени обеспечивающих сохранение свойств чугуна полученные в результате модифицирования до переплава;

- разработать технологические рекомендации по исправлению отрицательной наследственности при использовании несоответствующих шихтовых материалов для литейных производств Республики Беларусь;

- провести промышленные испытания предложенных технологических способов управления структурной наследственностью серых чугунов и новых составов модификаторов.

Объект и предмет исследования. В качестве объекта исследований используются серые чугуны, полученные с использованием различных шихтовых материалов.

Предметом исследований являются технологии управления наследственностью сплавов с целью получения качественных отливок из серого чугуна, в том числе и с использованием новых составов модификаторов длительного действия.

Методология и методы проведения исследований. При разработке технологических способов управления наследственностью и исправления отрицательных последствий наследственности серых чугунов необходимо было выбрать комплекс методов, позволяющих достоверно оценить ее влияние на качество получаемых чугунов.

Склонность чугуна к отбелу определялась по излому клиновой пробы.

При изучении процесса кристаллизации отливок использовали термический анализ с записью кривых охлаждения на потенциометрах ЭПП09М3 с временем пробега кареткой шкалы равным 1 сек.

Исследования микроструктуры производились с помощью микроскопов Neophot и Polyvar. Оценка металлической основы и характер выделения графита проводились по ГОСТ 3443-87. Определение числа эвтектических зёрен проводилось с помощью прибора для микро- и макросъёмки ФМН-2. В сканирующем электронном микроскопе CamScan, (фирмы Cambridge Instruments, Англия) исследовалась микроструктура, изломы и проводился микрохимический анализ структурных составляющих. Рентгеноструктурный анализ выполнялся на дифрактометре общего назначения ДРОН-3,0.

Контроль химического состава, литейных и механических свойств сплавов в производственных условиях выполняли с использованием сертифицированного оборудования и методик.

Научная новизна:

1. Показана возможность управления наследственностью серого ваграночного чугуна при использовании добавок в шихту комплексного сплава, содержащего малые добавки легирующих элементов, для получения высококачественного чугуна без усложнения техпроцесса и применения электроплавки.

2. Установлено, что изменение структуры серого чугуна в нужном направлении с использованием модифицирования графитизирующими модификаторами ФС30РЗМ30, ФС65Ба4, ФС 75, СК20 и алюминием является одним из мощных средств управления наследственными свойствами чугуна. Впервые показана высокая эффективность алюминия как модификатора и целесообразность его использования в составах модификаторов длительного действия. Определена возможность эффективного воздействия алюминием на исправление отрицательной структурной наследственности серого чугуна с дальнейшим сохранением достаточно высокого эффекта и сохранением структурной наследственности чугуна после переплава.

3. Разработан состав модификатора, содержащий ферросиликобарий, алюминий и графит (патент РБ №7538 по заявке №a20030367 от 22.04.2003 г.). Установлена возможность использования разработанного модификатора не только для обеспечения сохранения высокого эффекта модифицирования при длительной выдержке расплава (до 60 минут и более), но и сохранения структурной наследственности и свойств при повторном переплаве чугуна.

4. Предложен механизм упрочнения серого чугуна, полученного с использованием комплексного сплава при ваграночной плавке. Установлено, что повышение прочности серого чугуна осуществляется за счет благоприятного суммарного влияния малых добавок легирующих элементов, вносимых в состав чугуна комплексным сплавом, на измельчение графитных включений, на упрочнение металлической основы путем ее перлитизации, увеличения дисперсности перлита и легирования феррита. Полученные свойства передаются чугуну по наследству через возврат.

Научная значимость работы состоит в установлении и обобщении особенностей и закономерностей влияния процессов модифицирования и микролегирования на явление структурной наследственности чугунов.

Практическая и экономическая значимость полученных результатов:

1. Разработанный модификатор длительного действия апробирован на ОАО «Литком» г. Сморгонь и внедрен на РУП «Сморгонский литейно-механический завод». Использование разработанного модификатора, вследствие сохранения структурной наследственности модифицированного чугуна после переплава, позволило снизить количество его добавки при обработке расплава серого чугуна в зависимости от массы возврата при последующих переплавах. Экономический эффект составил 1,5 у.е/тонну литья.

2. Разработаны и внедрены на ОАО «Минский завод отопительного оборудования» рекомендации и технические предложения по решению проблем наследственности серого чугуна, что позволило исправлять отрицательную наследственность чугунов при использовании несоответствующих шихтовых материалов.

3. Проведена оптимизация процесса выплавки серого чугуна с использованием комплексного сплава и определены рациональные количества добавок комплексного сплава, позволяющие получать качественное литье с регламентированными требованиями к микроструктуре и свойствам. Использование дешевого и недефицитного комплексного сплава в качестве заменителя ферросилиция ФС45 в составе шихты при выплавке отопительных радиаторов позволило получить экономический эффект, который составил 2700 руб./ тонну литья в ценах 2006 г.

4. Разработана и внедрена на ОАО «Минский завод отопительного оборудования» система расчета шихты (патент РБ на полезную модель

№1796 по заявке № u20040303 от 24.06.2004 г.), обеспечивающая быстроту и точность расчета и корректировки шихты не только по основным элементам (C, Si, Mn), но и по другим заданным элементам (S, P, Cr, Ti, Ni, V, Cu и др.).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- состав модификатора, обеспечивающего не только сохранение высокого эффекта модифицирования при длительной выдержке расплава, но и сохранение структурной наследственности и свойств при повторном переплаве;

- технологические способы исправления отрицательной структурной наследственности серого чугуна при использовании несоответствующих шихтовых материалов;

- способ управления наследственностью серого чугуна, выплавляемого в вагранках, состоящий в использовании добавок в шихту комплексного сплава, содержащего малые добавки легирующих элементов, для получения высококачественного чугуна с регламентированными требованиями к микроструктуре и свойствам без усложнения техпроцесса и применения электроплавки;

- механизм упрочнения серого чугуна, полученного с использованием комплексного сплава при ваграночной плавке.

Личный вклад соискателя. Соискатель принимал непосредственное участие в проведении эксперимента и обсуждении экспериментальных данных. Автору принадлежит инициатива и непосредственное участие в производственной апробации и внедрении результатов в производство. Вклад соавторов совместных публикаций состоял в научном руководстве, постановке цели и задач исследований, обсуждении результатов исследований.

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на: международных научно-технических конференциях: «Литейное производство и металлургия 2003. Беларусь» (г. Минск, 2003 г.), «Литейное производство и металлургия 2004. Беларусь» (г. Минск, 2004 г.), «Литейное производство и металлургия 2005. Беларусь» (г. Могилев, 2005 г.), «Литейное производство и металлургия 2006. Беларусь» (г. Барановичи, 2006 г.), международном научно-техническом семинаре, посвященном 35-летию кафедры «Металлургия литейных сплавов» БНТУ (г. Минск, 2004 г.), 67-ой научно-технической конференции БГТУ (г. Минск, 2003 г.), 68-ой научно-технической конференции БГТУ (г. Минск, 2004 г.), 69-ой научно-технической конференции БГТУ (г. Минск, 2005 г.), 70-ой научно-технической конференции БГТУ (г. Минск, 2006 г.).

Опубликованность результатов. По результатам диссертационной работы опубликовано 12 научных работ, в том числе 6 статей в научно-технических журналах, 4 статьи в сборниках научных трудов, 1 патент Республики Беларусь и 1 патент на полезную модель Республики Беларусь.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации – 169 стр. Работа содержит 56 рисунков, 31 таблицу, 6 приложений, объемом 6 стр. Список литературных источников включает 166 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулирована цель диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ источников информации посвященный проблеме наследственности в сплавах. Рассмотрены основные закономерности структурной наследственности в системе «шихта-расплав-отливка». В обзоре определены основные направления по управлению наследственностью чугунов: подготовка шихтовых материалов, использование результатов исследований превращений в жидких сплавах, влияния примесей на формирование структуры чугуна, применение модифицирования расплава. Показано, что современное состояние теории и практики управления наследственностью в чугунах позволяет решать задачу получения высококачественных чугунных отливок на базе комплексного использования методов внутри- и внепечной обработки расплавов чугуна. Однако ряд вопросов наследственности и ее практического использования применительно к чугунам во многом остается еще не решенным.

В результате проведенного анализа технической и патентной литературы сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе изложена общая методика исследований.

Во второй главе исследовано влияние модификаторов, малых добавок легирующих элементов и микропримесей, вносимых шихтой, на улучшение структурной наследственности в чугунах.

Исследование влияния модификаторов (ФС65Ба4, СК20, ФС30РЗМ30 и Al) и малых добавок легирующих элементов (Mn, Cr, Mo, W, V, Cu, Ni, Co, Sn, Sb, Ti, Nb и В) на первичную структуру чугунов, характер распределения и величину графитных включений, металлическую основу чугунов и механические свойства проводили в одинаковых условиях эксперимента с использованием чугуна индукционной плавки, выплавленного с использованием одинаковых шихтовых материалов (чушковый чугун Л5-Л6, сталь, ферросилиций) с получением стабильного базового химического состава, %: С 3,3-3,4, Si 1,8-2,0, Mn 0,6-0,7, P 0,09-0,1, S 0,03-0,04. Повышенная концентрация углерода и кремния в отдельных плавках достигалась за счёт добавки в шихту графита или ферросилиция.

Влияние модифицирования на процесс кристаллизации чугуна проявляется прежде всего в изменении переохлаждения сплава, которое было отмечено кривыми охлаждения.

На рис. 1 представлены графические зависимости числа эвтектических зёрен от скорости охлаждения и углеродного эквивалента при модифицировании чугуна 0,1% ФС30РЗМ30. Таким образом, показано, что степень влияния модифицирования на число эвтектических зерен в значительной мере определяется скоростью охлаждения отливок, оказывающей действие, аналогичное модифицированию. Обеспечение же надлежащего переохлаждения в процессе эвтектической кристаллизации является одним из важнейших факторов получения оптимального эффекта модифицирования.

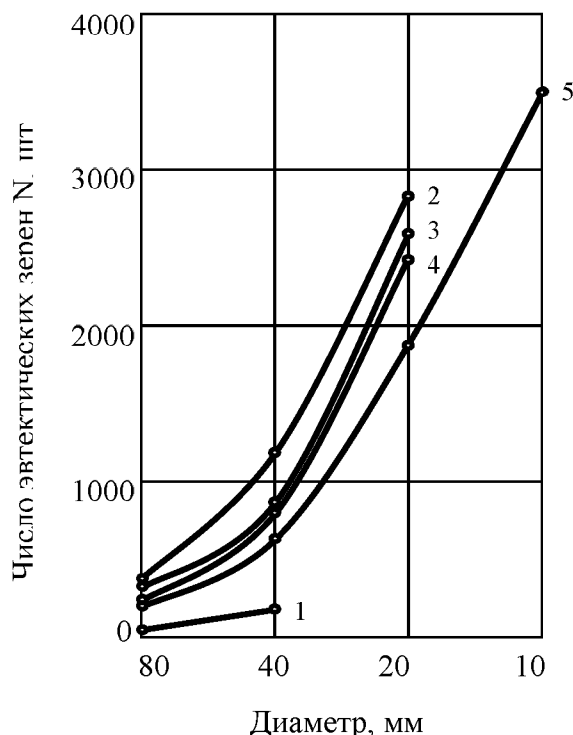


Рис. 1 – Влияние скорости охлаждения и углеродного эквивалента на число эвтектических зерен чугуна: 1 – чугун немодифицированный; 2 – чугун модифицированный 0,1% ФС30РЗМ30 ($C_3=3,57$); 3 – чугун модифицированный 0,1% ФС30РЗМ30 ($C_3=3,63$); 4 – чугун модифицированный 0,1% ФС30РЗМ30 ($C_3=3,77$); 5 – чугун модифицированный 0,1% ФС30РЗМ30 ($C_3=3,88$).

Графитизирующие присадки модификаторов и небольшие добавки легирующих элементов в чугун вносят существенные изменения в общую картину структурообразования чугуна.

Определено, что при модифицировании наблюдается увеличение доли раздробленных равноосных кристаллов, разориентированность, разветвленность первичных дендритов и аустенита эвтектики. Исследование влияния на структуру дендритов в чугуне легирующих элементов (Si, Cu, Ni, Co) показало, что их влияние аналогично модификаторам, но менее значительно. Обратная картина наблюдалась при добавках Mn, Mo, W, Cr, V, B. В чугуне без добавок этих элементов дендриты первичного аустенита

менее развиты. Sb полностью исключает дендритный характер строения чугуна.

Полученные экспериментальные данные термического анализа в условиях воздействия модифицирующих добавок, изменения скорости охлаждения на число эвтектических зерен подтверждается металлографическим анализом (рис. 2). Образующиеся в чугуне при введении в него небольших добавок титана, циркония, ниобия и бора включения химических соединений являются дополнительными центрами кристаллизации графита, о чем свидетельствует некоторый рост числа эвтектических зерен. Добавки же других легирующих элементов не оказывают существенного влияния на число эвтектических зерен чугуна.

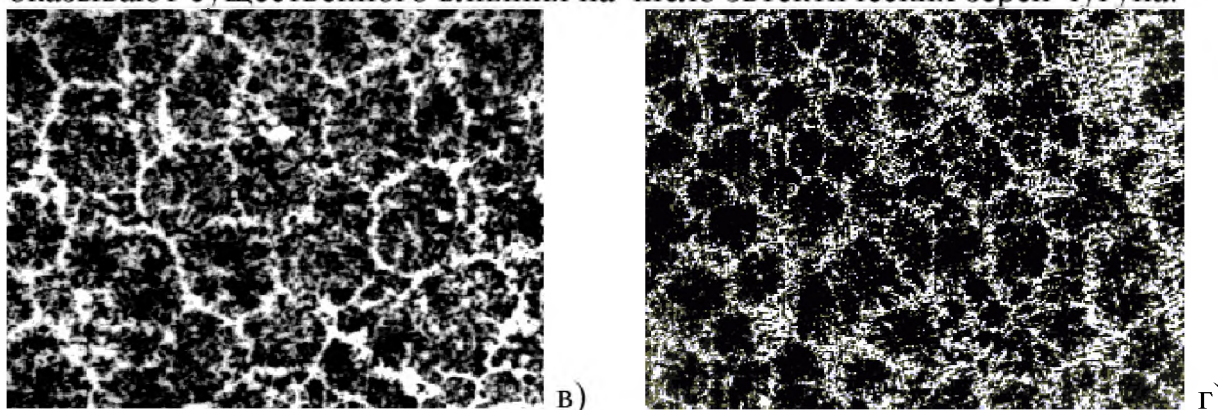


Рис. 2 – Макроструктура немодифицированного (а, б) и модифицированного 0,1% ФС30Р3М30 (в, г) чугуна при скорости охлаждения, соответственно, 90°С/мин (ø40 мм) и 180°С/мин (ø20 мм)

Во второй главе также изучено влияния вышеуказанных модификаторов и малых добавок легирующих элементов на характер распределения и величину графитных включений, металлическую основу чугунов и механические свойства. Исходя из результатов проведенных исследований можно установить оптимальные отдельные добавки модификаторов и легирующих элементов, когда они оказывают благоприятное воздействие на основные прочностные характеристики чугуна. Следует отметить, что влияние легирующих элементов на механические свойства чугуна являются более разнообразными, чем влияние модификаторов, поскольку они не только оказывают воздействие на процесс первичной кристаллизации чугуна, изменяя характер распределения, размер и количество включений графита, но и упрочняют металлическую основу, легируя феррит и делая более дисперсной металлическую матрицу чугуна. Полученные данные представляют особый интерес с точки зрения разработки комплексных добавок с целью получения чугунов высоких марок.

Третья глава посвящена исследованию влияния комплексного сплава (КС) на наследственность выплавляемого чугуна. КС содержит приблизительно 10% Si, 3% Ti и ряд других легирующих элементов. Данный сплав является попутным продуктом, полученным при плавке

электрокорунда и полупродукта для синтетического шлака. КС дешевый и недефицитный, и поэтому представляется весьма перспективным материалом. Уже при использовании КС в количестве 5% от массы металлозавалки отмечали повышение прочностных характеристик сплава до уровня СЧ15-СЧ20. Увеличение доли КС до 10-15% обеспечило повышение прочностных свойств серого чугуна до СЧ25-СЧ30.

Для раскрытия механизма повышения прочности серого чугуна, полученного с использованием КС, были исследованы образцы КС, ФС-45, серых чугунов СЧ10 и СЧ25 при использовании следующих видов анализов и исследований: в световом микроскопе (рис. 3 а. б); в сканирующем электронном микроскопе (рис. 3 в-е); методом рентгеноструктурного анализа

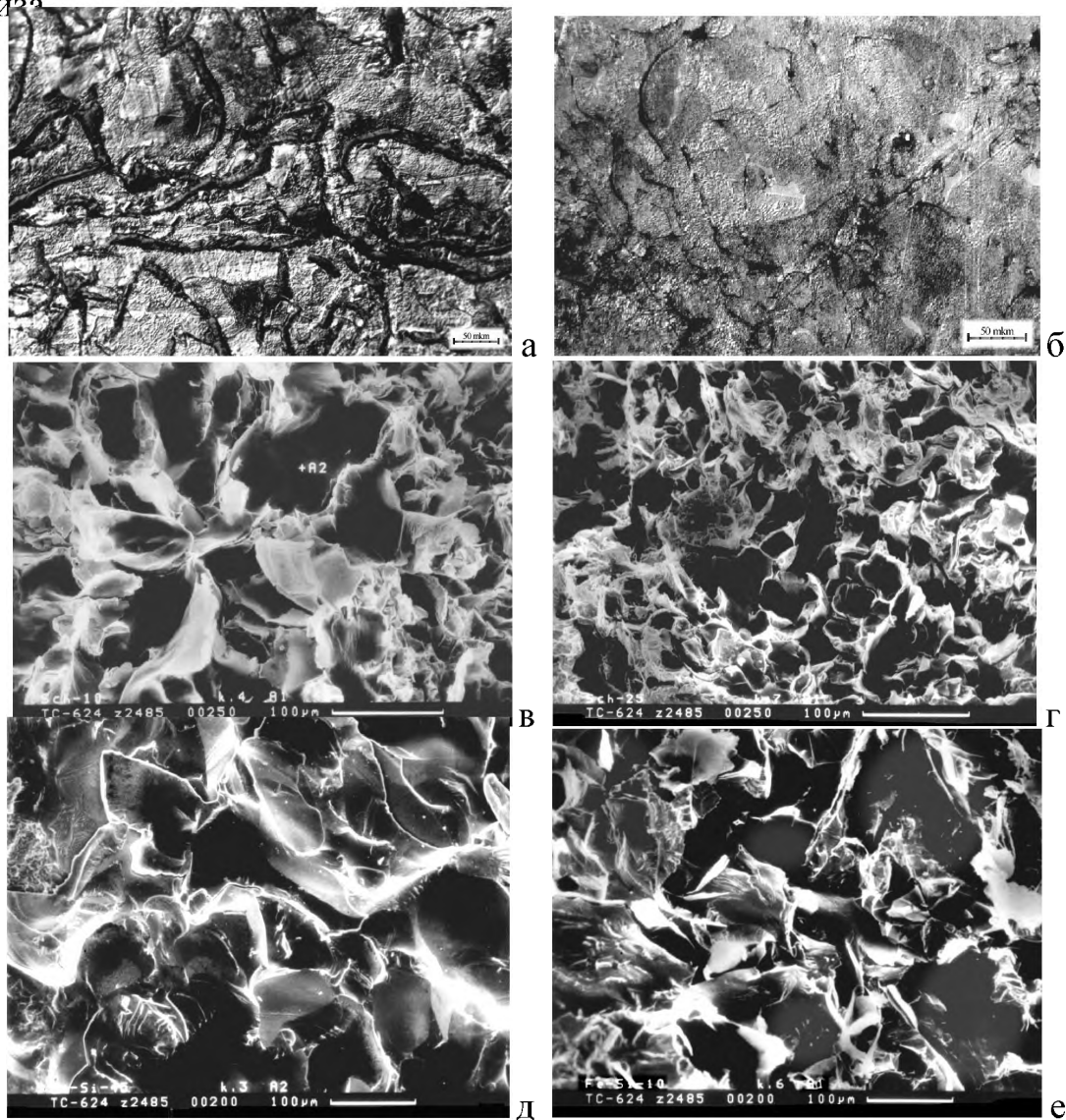


Рис. 3 – Микроструктура чугунов (x500) СЧ10 (а), СЧ-25 (б) и фрактограммы изломов (x250) СЧ10 (в), СЧ25(г), ФС45 (д) и КС (е)

Такое структурное состояние полностью объясняет различие в прочности чугунов.

Результаты исследования изломов (рис. 3в-е) в свою очередь свидетельствуют о передаче структурной наследственности от ФС45 и КС в отливки.

При введении КС в чугуны повышается доля легирующих элементов, что подтверждено микрохимическим и рентгеноспектральным анализом. При этом эти элементы измельчают графитные включения, растворяются в аустените, легируя и переохлаждая его, что вызывает измельчение продуктов распада аустенита (перлита), и в феррите упрочняя его.

Таким образом, рациональное использование КС, являющегося носителем большого количества ценных легирующих элементов, способствует получению высококачественного чугуна без какого-либо усложнения технологического процесса.

Четвертая глава посвящена разработке модификатора длительного действия, обеспечивающего сохранение структурной наследственности после переплава модифицированного чугуна.

Критерии, характеризующие эффекты структурной наследственности на макро- и микроуровне во многом сходны с критериями оценки эффекта модифицирования. Поэтому для оценки этих эффектов использовали следующие показатели: увеличение числа эвтектических зерен, уменьшение отбела и уменьшение степени переохлаждения при кристаллизации эвтектики.

В задачу настоящего исследования входило определение продолжительности действия известных модификаторов в зависимости от температуры их ввода в жидкий чугун, выбор наиболее эффективных модификаторов или их сочетаний с целью разработки модификатора длительного действия, обеспечивающего сохранение эффекта модифицирования после переплавов.

Использовались наиболее эффективные модификаторы ФС75, ФС65Ba22 и Al. ФС30P3M30 и СК20 исключены в дальнейшем из экспериментов из-за их дороговизны, дефицитности и низкой технологичности.

Были проведены исследования изменения числа эвтектических зерен и величины отбела при выдержке чугуна модифицированного по 0,2% ФС75 и ФС60Ba22 и алюминия при постоянных температурах 1360°C и 1430°C. Установлено, что после 20-25 минут выдержки качественные характеристики чугуна, модифицированного ФС75 и Фс60Ba22 приближаются к показателям исходного немодифицированного чугуна. При этом Фс60Ba22 является более эффективным модификатором чем ФС75. Добавки же алюминия обеспечивают достаточно высокий уровень измельчения эвтектических зерен и уменьшения глубины отбела значительно дольше как при 1360°C, так и при 1430°C.

Полученные результаты исследований по установлению факта более продолжительного, чем другие модификаторы, действия алюминия,

позволяют установить причину более продолжительного действия ферросиликобария по сравнению с ферросилицием. Это можно объяснить наличием в составе ферросиликобария ФС60Ба22 значительного количества алюминия (3-6%) который обеспечивает несколько большую продолжительность и эффективность его действия, по сравнению с добавками ферросилиция ФС75, имеющему в своем составе примеси алюминия в меньших количествах (1,5-2%).

Полученные результаты исследований дали предпосылку использовать алюминий, ферросиликобарий и другие добавки для создания смесового модификатора длительного действия.

На рис. 5 показаны результаты сравнительных исследований влияния продолжительности выдержки чугуна при температуре 1400°C на число эвтектических зерен и величину отбела чугуна модифицированного 0,2% ФС75, 0,2% ФС60Ба22, 0,1%Al+0,2%ФС75, 0,06%Al+0,3%ФС75 и 0,1%Al+0,2%ФС60Ба22.



Рис. 5 – Влияние продолжительности выдержки расплава при температуре 1400°C на число эвтектических зерен (1) и глубину отбела (2) чугуна, модифицированного 0,2% ФС75, 0,2% ФС60Ба22 (а), 0,1%Al (б), 0,1%Al+0,2%ФС75 (в), 0,06%Al+0,3%ФС75 (г) и 0,1%Al+0,2%ФС60Ба22 (д)

В связи с вышеизложенными результатами исследований, для разработки смесового модификатора длительного действия были приняты добавки ферросиликобария и алюминия. Учитывая то, что в процессе длительной выдержки, а также переплава модифицированного чугуна может иметь место угар углерода, в состав ингредиентов был введен графит в виде графитированного коксика.

В результате сравнительных исследований известного модификатора и разрабатываемого (рис. 6) определили состав модификатора длительного действия, масс. %: ферросиликобарий – 45-55; алюминий – 30-25; графит – 25-20.

Разработанный модификатор за счёт увеличения в его составе добавок алюминия, образует в жидком чугуна устойчивые зародыши и поддерживает достигнутое зародышевое состояние как при высоких температурах (1450-1550°C), так и при выдержке чугуна в печи в процессе его медленного опорожнения (рис. 6). При этом такие основные критерии оценки эффекта модифицирования чугуна как величина отбела и число эвтектических зёрен сохраняется практически на одинаковом уровне достаточно длительное время (до 60 минут и более).

При вторичном переплаве чугуна, модифицированного предлагаемым модификатором длительного действия, сохраняются структурная наследственность и свойства чугуна – высокое число эвтектических зёрен, низкое значение величины отбела.



Рис. 6 – Влияние времени выдержки чугуна в печи и в печи после переплава на: число эвтектических зёрен в чугуне обработанном: 1 – разрабатываемым модификатором; 3 – известным модификатором; 1' – разрабатываемым модификатором после переплава чугуна; 3' – известным модификатором после переплава чугуна;

глубину отбела: 2 – разрабатываемым модификатором; 4 – известным модификатором; 2' – разрабатываемым модификатором после переплава чугуна; 4' – известным модификатором после переплава чугуна

Разработанный модификатор длительного действия апробирован на ОАО «Литком» г. Сморгонь и внедрен на РУП «Сморгонский литейно-механический завод». Экономический эффект составил 1,5 у.е/тонну литья. На разработанный модификатор получен патент РБ.

В пятой главе представлено практическое применение результатов работы.

Разработаны технологические рекомендации по управлению структурной наследственностью чугунов на ОАО «Минский завод отопительного оборудования» и других заводах.

При выплавке чугуна для отливок радиаторов бывают случаи поставок несоответствующих материалов, например передельного чугуна класса П с очень низким, до 0,5%, содержанием кремния. Излом чушек такого чугуна белый. При этом выплавляемый чугун наследственно сохраняет часть углерода в связанном состоянии, о чем свидетельствует перлитная структура отливок (рис. 7 а), их повышенная твердость, прочность, неудовлетворительная обрабатываемость отливок. Исправление положения возможно путем замены передельного чугуна класса П на литейные марок Л5, Л6. Излом чушек в таких чугунах серый, что свидетельствует о том, графит в таких чугунах находится в свободном состоянии и при переплаве ему есть возможность дальнейшего роста. Постепенно доля феррита в структуре чугуна увеличивается и достигает величины до 90% (рис. 7 б), длина графитных включений – до 120-150 мкм, снижается твердость до 160 НВ, прочность чугуна снижается до уровня СЧ10, улучшается обрабатываемость отливок.

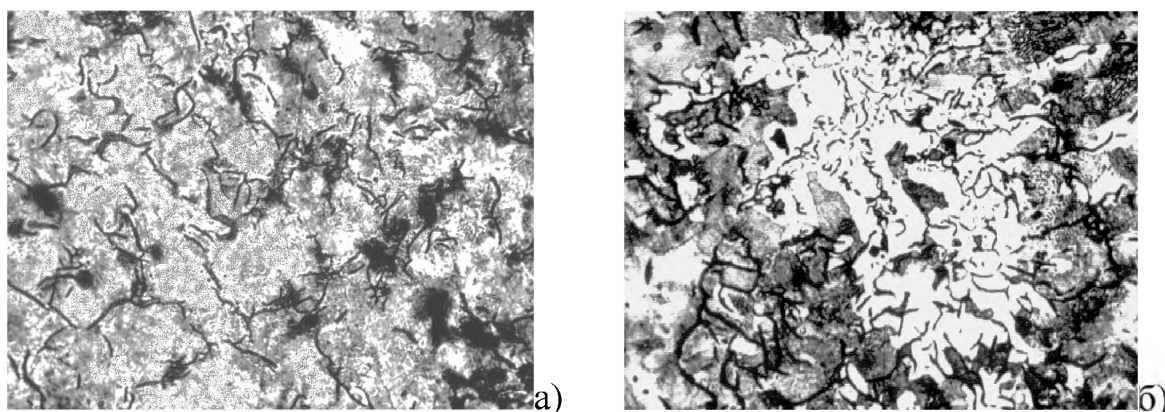


Рис. 7 – Микроструктура чугуна, полученного с использованием передельного чугуна класса П (а) и литейного чугуна марок Л5, Л6 (б)

Были проведены эксперименты по обработке чугуна быстроохлажденным модификатором «ЧИПС». Преимуществом такого модификатора перед традиционными с зернистостью 1-3 мм, является его быстрое усвоение в чугуне и полное устранение отбела. Таким образом, модификатор «ЧИПС» может быть успешно использован для исправления несоответствующей наследственности структуры чугуна (рис. 8).

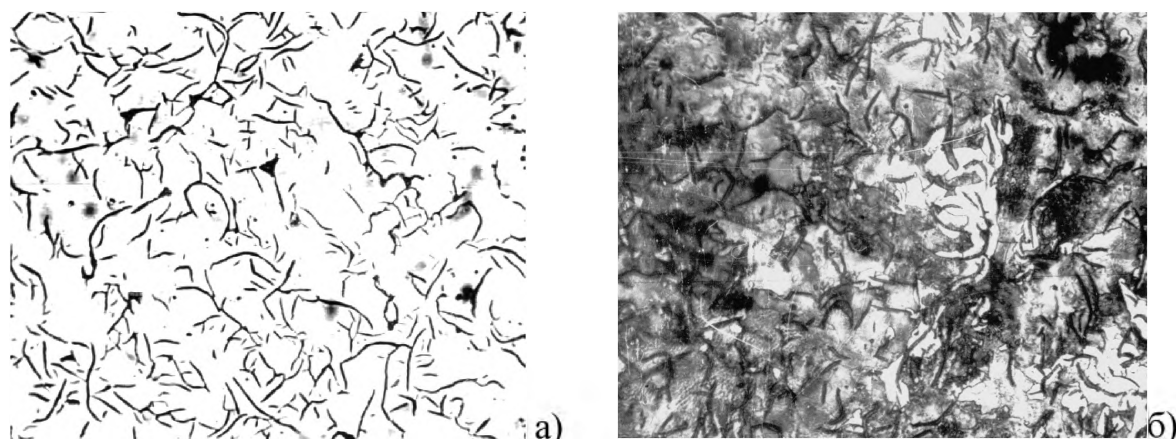


Рис. 8 – Микроструктура чугуна, полученного с использованием модификатора «ЧИПС»: а – до травления; б – после травления

В литейном цехе радиаторов комплексный сплав используется не только с целью повышения механических свойств, но и как заменитель ферросилиция. При этом в состав чугуна вводится дополнительно железо, что дает возможность частично уменьшить добавку чушковых чугунов в составе шихты и тем самым улучшить экономические показатели цеха (экономический эффект составил 2700 руб./ тонну литья в ценах 2006 г.). Расчеты показали, что использование комплексного сплава до 5% в составе шихты целесообразно, чугун остается по механическим свойствам и структуре на уровне чугуна марки СЧ10-СЧ15. При увеличении добавок комплексного сплава свыше 5% в результате накопления в чугуне микроэлементов механические свойства чугуна повышаются и могут достигать значения марок СЧ20-СЧ30 без дополнительных технологических и технических мероприятий и энергетических затрат. Литейные и технологические свойства такого чугуна удовлетворительны, однако требуют более высокого перегрева чугуна (до 1400-1430°С на желобе вагранки). Свойства чугуна по наследству сохраняются после последующих переплавов, то есть при дальнейшем использовании возврата. В этих случаях добавка комплексного сплава может быть уменьшена по мере необходимости, при условии сохранения необходимых технологических, механических свойств и структуры чугуна.

Таким образом, комплексный сплав может быть использован как эффективная микролегирующая добавка, обеспечивающая получение высококачественного чугуна для отливок различного назначения, например, для гильз цилиндров, полученных в облицованный кокиль, где из-за малой скорости охлаждения отливки до настоящего времени существуют проблемы обеспечения их необходимой твердости.

Номограммы расчета шихты серого и белого чугуна разработаны совместно с ОАО МЗОО. Для расчёта шихты использовали принятую на заводе методику. Предложенная номограмма позволяет проследивать

возможность применения всех марок литейных и передельных чугунов с получением определенного химического состава.

Была поставлена и реализована задача использования методики расчёта шихты для создания универсальной компьютерной программы расчёта шихты для выплавки любых марок чугуна. Созданная программа обеспечивает получение в вагранках и электропечах чугуна, химический состав которого соответствует заданному с учетом введенных угара и пригара, снижение нерационального расхода составляющих шихты, повышение экономичности процесса плавки. Разработанные номограммы и программа корректировки шихты внедрены на ОАО МЗОО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что основными критериями оценки эффекта модифицирования, как и оценки эффекта улучшения структурной наследственностью является уменьшение степени переохлаждения чугуна, увеличение числа эвтектических зерен и снижение отбела чугуна. Оценка величины эвтектических зерен является наиболее надежным критерием, соответствующим зародышевой теории модифицирования, расширяющим возможности изучения эффекта модифицирования и структурной наследственности чугунов. Изучено влияние модификаторов и малых добавок легирующих элементов на особенности кристаллизации чугуна различной степени эвтектичности, основные показатели эффекта модифицирования, микроструктуру и механические свойства с целью изучения их влияния на наследственность чугуна и разработки способов управления ею [6, 8].

2. Установлено влияние добавок в шихту комплексного сплава, содержащего малые количества легирующих элементов, на структурную наследственность и упрочнение серого чугуна, выплавляемого в вагранках. Определен механизм упрочнения серого чугуна, полученного с использованием комплексного сплава при ваграночной плавке. Установлено, что повышение прочности серого чугуна осуществляется за счет благоприятного суммарного влияния малых добавок легирующих элементов, вносимых в состав чугуна комплексным сплавом, на измельчение графитных включений, на упрочнение металлической основы путем ее перлитизации, увеличения дисперсности перлита и легирования феррита [1, 3].

3. Определены рациональные количества добавок комплексного сплава в состав шихты при выплавке чугуна в вагранках, позволяющие повысить механические свойства до марок СЧ20-СЧ30 и получить необходимые литейные свойства без какого-либо усложнения технологического процесса (электроплавки, модифицирования и т.д.) с сохранением положительных наследственных свойств после переплавов. Использование дешевого и недефицитного комплексного сплава в качестве

заменителя ферросилиция ФС45 в составе шихты при выплавке отопительных радиаторов позволило получить экономический эффект, который составил 2700 руб./ тонну литья в ценах 2006 г. [7].

4. Проведены сравнительные исследования эффективности воздействия выбранных графитизирующих модификаторов на микроструктуру, степень измельчения эвтектических зерен и склонность к отбелу при различных температурах обработки расплава и последующей выдержке. Установлена, что алюминий имеет наименьшая чувствительность к воздействию этих показателей. Разработан и внедрен на РУП «Сморгонский литейно-механический завод» новый состав модификатора, содержащий ферросиликобарий (45-55%), алюминий (30-25%), графит (25-20%). Установлена возможность использования разработанного модификатора не только для обеспечения сохранения высокого эффекта модифицирования при длительной выдержке расплава (до 60 минут и более), но и сохранения структурной наследственности и свойств при повторном переплаве чугуна, модифицированного данным модификатором, за счет увеличения в его составе добавок алюминия, что позволило получить экономический эффект в размере 1,5 у.е./тонну литья [9-11].

5. Разработаны и внедрены на ОАО «Минский завод отопительного оборудования» рекомендации и технические предложения по решению проблем наследственности серого чугуна, что позволило исправлять отрицательную наследственность чугунов при использовании несоответствующих шихтовых материалов [5, 7].

6. Разработаны и внедрены на ОАО «Минский завод отопительного оборудования» номограммы и система расчета шихты, обеспечивающие быстроту и точность расчета и корректировки шихты не только по основным элементам (C, Si, Mn), но и по другим заданным элементам (S, P, Cr, Ti, Ni, V, Cu и др.) [2, 4, 12].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Худокормов Д.А., Писаренко Л.З., Куис Д.В. Использование комплексного сплава для микролегированного серого чугуна// Литье и металлургия, 2003. – №3. – С. 57-60.

2. Писаренко Л.З., Лукашевич Ф.С., Куис Д.В. Номограммы для расчета и корректировки шихты при выплавке чугуна в вагранках// Литье и металлургия, 2003. – №3. – С. 60-66.

3. Свидунович Н.А., Куис Д.В., Окатова Г.П., Писаренко Л.З., Худокормов Д.А. Влияние комплексного сплава на структуру и свойства микролегированного серого чугуна// Литье и металлургия, 2004. – №2. – С. 162-167.

4. Писаренко Л.З., Шевченко А.Э., Лукашевич Ф.С., Куис Д.В. Новая программа расчета шихты// Литье и металлургия, 2004, №1. С.84-88.

5. Худокормов Д.А., Писаренко Л.З., Бестужев Н.И., Куис Д.В., Хацкевич В.А. Ковшовая обработка ваграночного чугуна // Материалы Междунар. науч.-техн. сем., посвященного 35-летию кафедры «Металлургия литейных сплавов» БНТУ, Минск, 1-2 апреля 2004 г. – Минск: БНТУ, 2004. – С. 38-41.

6. Куис Д.В. Некоторые особенности влияния модификаторов и малых добавок легирующих элементов на процесс эвтектического превращения в сером чугуне // Труды Бел. гос. технологич. ун-та. Сер. 2, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2004. – Вып. XII. – С. 246-249.

7. Писаренко Л.З., Хацкевич В.А., Куис Д.В. Решение проблем наследственности выплавляемого чугуна на ОАО «Минский завод отопительного оборудования» // Литье и металлургия, 2005. – №2. – С. 57-60. С. 85-87.

8. Куис Д.В. Особенности влияния серы на процесс модифицирования чугунов // Труды Бел. гос. технологич. ун-та. Сер. 2, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2005. – Вып. XIII. – С. 231-233.

9. Писаренко Л.З., Свидуневич Н.А., Куис Д.В. Модификатор длительного действия // Литье и металлургия, 2006. – №2. – С. 165-169.

10. Писаренко Л.З., Свидуневич Н.А., Куис Д.В. Разработка состава модификатора длительного действия // Труды БГТУ, 2006. – С. 283-286.

11. Модификатор чугуна: пат. 7538 Респ. Беларусь, МПК7 С 22 С 35/00 / Л.З. Писаренко, Н.А. Свидуневич, Д.В. Куис; заявитель Бел. гос. технологич. ун-т. – № а 20030367; заявл. 22.04.2003; опубл. 30.12.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – №4. – С. 4.

12. Система расчета шихты: пат. 1796 Респ. Беларусь, G 06 F 19/00 / А.Э. Шевченко, Л.З. Писаренко, Ф.С. Лукашевич, Д.В. Куис; заявитель ОАО «Минский завод отопительного оборудования». - № и 20040303; заявл. 24.06.04; опубл. 30.03.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 1. – 6 с.

РЭЗІЮМЕ

КУИС Дзмітрый Валер'евіч

РАСПРАЦОЎКА СПЕЦЫЯЛЬНЫХ СПАСАБАЎ КІРАВАННЯ СПАДЧЫННАСЦЮ ШЭРЫХ ЧЫГУНОЎ ДЛЯ ПАВЫШЭННЯ ЯКАСЦІ ЛІЦЦЯ

Ключавыя словы: спадчыннасць, чыгун, мадыфікаванне, легіраванне, хуткасць ахалоджвання, комплексны сплаў, адліўка, глыбіня адбелу, колькасць эўтэктыхных зерняў.

Мэтай работы яўляецца распрацоўка рацыянальных тэхналагічных рэжымаў і спосабаў атрымання якасных адлівак з шэрага чыгуну праз кіраванне структурнай спадчыннасцю пры выплаўцы чыгуну.

Аб'ект даследвання – шэрыя чыгуны, якія атрыманы з ужываннем разнастайных шыхтавых матэрыялаў.

Прадмет даследвання – тэхналогія кіравання спадчыннасцю сплаваў з мэтай атрымання якасных адлівак з шэрага чыгуну, у тым ліку і з ужываннем новых складаў мадыфікатараў падоўжанага дзеяння.

Метады даследвання – хімічны аналіз, тэрмічны аналіз, макра- і мікраструктурны аналіз з ужываннем светлавой і сканіруючай электроннай мікраскапіі, рэнгенаструктурны аналіз, метады вызначэння адбелу, паказчыкі ліцейных і механічных якасцяў чыгуну.

Прапанаваны механізм павышэння трываласці шэрага чыгуну, які атрыманы з ужываннем комплекснага сплаву.

Паказана высокая эфектыўнасць алюмінію як мадыфікатара і вызначана магчымасць эфектыўнага ўздзеяння алюмініем на выпраўленне адмоўнай структурнай спадчыннасці шэрага чыгуну з далейшым захаваннем структурнай спадчыннасці чыгуну пасля пераплаўкі.

Распрацаваны склад мадыфікатару, які забяспечвае захаванне высокага эфекту мадыфікавання пры падоўжанай вытрымцы расплаву і захаванне структурнай спадчыннасці і якасцяў пры другасным пераплаве чыгуну.

Распрацаваны і ўкаранены спосабы кіравання спадчыннасцю шэрых чыгуноў пры дапамозе мадыфікавання і мікралегіравання. Эканамічны эфект ад ужывання мадыфікатара падоўжанага дзеяння складае 1,5 у.а./тону ліцця, ад ужывання комплекснага сплаву – 2700 руб./тону ліцця ў цэнах 2006 г.

РЕЗЮМЕ

Куис Дмитрий Валерьевич

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬЮ СЕРЫХ ЧУГУНОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ

Ключевые слова: наследственность, чугун, модифицирование, легирование, скорость охлаждения, комплексный сплав, отливка, глубина отбела, число эвтектических зерен.

Целью работы является разработка рациональных технологических режимов и способов получения качественных отливок из серого чугуна посредством управления структурной наследственностью при выплавке чугуна

Объект исследования – серые чугуны, полученные с использованием различных шихтовых материалов.

Предмет исследования - технологии управления наследственностью сплавов с целью получения качественных отливок из серого чугуна, в том числе и с использованием новых составов модификаторов длительного действия.

Методы исследования – химический анализ, термический анализ, макро- и микроструктурный анализ с использованием световой и сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурный анализ, методы определения отбела, показателей литейных и механических свойств чугуна.

Предложен механизм упрочнения серого чугуна, полученного с использованием комплексного сплава при ваграночной плавке.

Показана высокая эффективность алюминия как модификатора и определена возможность эффективного воздействия алюминием на исправление отрицательной структурной наследственности серого чугуна с дальнейшим сохранением структурной наследственности чугуна после переплава.

Разработан состав модификатора, обеспечивающего сохранение высокого эффекта модифицирования при длительной выдержке расплава и сохранение структурной наследственности и свойств при повторном переплаве чугуна.

Разработаны и внедрены способы управления наследственностью серых чугунов по средством модифицирования и микролегирования. Экономический эффект от использования модификатора длительного действия составляет 1,5 у.е./тону литья, от использования комплексного сплава – 2700 руб./ тону литья в ценах 2006 г.

SUMMARY

KUIS Dmitry Valeryevich

WORKING OUT OF SPECIAL METHODS OF GREY CAST IRON HEREDITY CONTROL FOR THE CASTING QUALITY UPGRADE

Key-words: heredity, grey cast iron, modification, alloying, cooling rate, complex alloy, casting, chill depth, number of eutectic shot.

Objective of the work is working out of efficient technological modes and ways of getting high-quality castings of grey cast iron via structure heredity control during grey cast iron smelting.

Object of the research: grey cast irons obtained with the use of various charge materials.

Subject of the research: alloy heredity control technologies, aimed at obtaining high-quality grey cast iron castings, including usage of new modifiers of continuous effect composition.

Means of the research: chemical analysis, thermal analysis, macro- and microstructure analysis with the use of light and scanning electron microscopy, X-ray structure analysis, methods of chill estimation, factors of grey cast iron casting and mechanical properties.

A hardening mechanism of grey cast iron obtained with the help of complex alloy was proposed.

A high efficiency of aluminum as a modifier was shown and the opportunity of effective aluminum influence on negative structure heredity correction with further structure heredity retention of grey cast iron after remelt was defined.

The composition of modifier, providing the retention of high modification effect during continuous soaking of melt and retention of structure heredity and properties during grey cast iron remelt was worked out.

Methods of grey cast iron heredity control via modification and microalloying were worked out and embedded.

An economic result of application of continuous effect modifier is 1,5 conventional unit per ton of casting; of complex alloy usage - 2700 rubles per ton of casting at prices of the year 2006.

Научное издание

КУИС Дмитрий Валерьевич

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ
НАСЛЕДСТВЕННОСТЬЮ СЕРЫХ ЧУГУНОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ

05.16.04 – Литейное производство

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 05,2007.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,2. Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 60. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0056957 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Независимости, 65