

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**TALK ABSTRACTS
OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE**

**НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ
МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА
IV (2022)**

**SCIENCE AND TECHNOLOGIES
OF CAST IRON MODIFYING
IV (2022)**



ПРОЕКТНО-
ИНЖИНИРИНГОВАЯ
КОМПАНИЯ



**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ**

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА

**Тезисы докладов
Международной научно-технической конференции**

Набережные Челны, 25–26 октября 2022 г.



КАЗАНЬ

2022

УДК 669.13.017-048.35(062)

ББК 34.222.32я431

НЗ4

НЗ4 **Наука и технологии модифицирования чугуна:** тезисы докладов Международной научно-технической конференции (Набережные Челны, 25–26 октября 2022 г.) / под ред. А.Г. Панова. – Казань: Издательство Казанского университета, 2022. – 36 с.

ISBN 978-5-00130-625-2

В сборник включены тезисы докладов, подготовленных к Международной научно-технической конференции, проводимой 25–26 октября 2022 г. в рамках международного форума «Дни чугуна в Челнах». Организаторы: ФГАОУ ВО НЧИ(ф) К(П)ФУ, ООО «Исследовательский центр Модификатор» и ПАО «КАМАЗ». Конференция проводится в четвертый раз и объединяет ведущих отечественных и зарубежных специалистов в области материаловедения, металловедения, металлургии, литейного производства и лабораторного исследования чугуна. Актуальность определена острой необходимостью поиска и внедрения в машиностроение эффективных материалов и технологий, основанных на современных результатах фундаментальных исследований. Цель конференции – актуализировать направления развития и скоординировать усилия специалистов для решения проблемы отставания отечественной науки, техники и практики в рассматриваемой области и обеспечения технологического суверенитета России. Тезисы докладов подготовлены для предварительного ознакомления участников конференции с целью повышения эффективности обсуждения докладов и принятия решений.

УДК 669.13.017-048.35(062)

ББК 34.222.32я431

ISBN 978-5-00130-625-2

© Издательство Казанского университета, 2022

СОСТАВ ОРГКОМИТЕТА

Председатель оргкомитета

Ганиев М.М. – д.т.н., дир. НЧИ КФУ, г. Наб. Челны

Сопредседатели оргкомитета

Симонова Л.А. – д.т.н., первый зам. дир. НЧИ КФУ, г. Наб. Челны;

Гумеров И.Ф. – к.т.н., зам. ген. дир. по развитию – дир. НТЦ ПАО КАМАЗ, г. Наб. Челны;

Панов А.Г. – д.т.н., гнс ИЦМ, проф. НЧИ КФУ, г. Наб. Челны.

Члены оргкомитета

Панкратов Д.Л. – д.т.н., дир. ВИШ НЧИ КФУ;

Маврин Г.В. – к.х.н., зав.каф. НЧИ КФУ, г. Наб. Челны;

Фазуллин Д.Д. – к.т.н., нач. ОНИД НЧИ КФУ, г. Наб. Челны;

Кожевникова О.Н. – НЧИ КФУ, г. Наб. Челны;

Иванова В.А. – д.т.н., дир. ИИиМ ЯрГТУ, г. Ярославль;

Коровин В.А. – д.т.н., проф. ННГТУ им. Р.Е.Алексеева, г. Нижний Новгород;

Закиров Э.С. – ио гл. металлурга ПАО КАМАЗ, г. Наб. Челны;

Шаехова И.Ф. – ст. преп. НЧИ КФУ, г. Наб. Челны, секретарь оргкомитета.

СОСТАВ НАУЧНОГО КОМИТЕТА

Давыдов С.В. – д.т.н., проф. БГТУ, г. Брянск;

Поддубный А.Н. – д.т.н., советник ген. дир. ИЦЯК, г. Москва;

Леушин И.О. – д.т.н., зав. каф. ННГТУ им. Р.Е. Алексеева;

Макаренко К.В. – д.т.н., проф. БГТУ, г. Брянск;

Nofal Adel – д.т.н., CMRDI, Каир, Египет;

Панов А.Г. – д.т.н., проф. НЧИ КФУ, гнс ИЦМ, г. Наб. Челны;

Покровский А.И. – к.т.н., зав. лаб. ФТИ НАН Беларуси;

Астащенко В.И. – д.т.н., проф. НЧИ КФУ, г. Наб. Челны;

Чайкин В.А. – д.т.н., предс. правления СО РАЛ, г. Смоленск.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА РОССИИ

Иван Андреевич Дибров

*Российская ассоциация литейщиков, 123557 Москва, Пресненский вал, 14, Россия,
e-mail: ia.dibrov80@yandex.ru*

Литейное производство является наиболее древним ремеслом, которое стало началом развития промышленности в целом. В процессе развития литейное производство стало наиболее востребованным, наукоемким, трудоемким и престижным заготовительным производством.

В 2021 году в России использовано в различных отраслях промышленности около 5,0 млн т отливок из черных и цветных сплавов, в том числе 4,3 млн. тонн произведено на отечественных заводах и около 0,7 млн т закуплено за рубежом. В 2022 г., по экспертной оценке, ожидается увеличение отечественного производства отливок до 4,6 млн т за счёт увеличения производства отливок из стали и цветных сплавов, в основном алюминиевых, магниевых и титановых. Чугунное литье составит около 2,1 млн т, в том числе 24% – отливки из высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом.

Развитие литейного производства направлено в основном на увеличение объёма производства высококачественных отливок, обеспечиваемого заказами всех отраслей промышленности. Эти требования в полном объёме зависят от развития науки, производства отечественного современного оборудования, разработки и применения новых экономически целесообразных и экологически чистых технологических процессов, сопутствующих материалов, подготовки и применения высококвалифицированных кадров. В настоящее время большую роль в развитии литейного производства играет импортозамещение. Сегодня отечественное производство литейного оборудования составляет 22%, сопутствующих материалов – 86%, отливок – 80,6%.

В 2018 г. Министерство промышленности и торговли РФ разработало концепцию развития литейного производства до 2020 г. и перспективы до 2030 г. В соответствии с концепцией, производство отливок из черных и цветных сплавов в России к 2020 г должно было увеличиться до 5,2 млн т, а к 2030 г. до 8 млн. т. Для достижения намеченных перспектив развития литейного производства России на 16-м съезде литейщиков отмечены следующие основные недостатки:

- В настоящее время отсутствует государственная статистика производства отливок из черных и цветных сплавов, литейного оборудования и сопутствующих материалов, что не позволяет объективно оценивать текущее состояние и планировать перспективы развития литейной отрасли.

- В России отсутствует Государственный научный центр для координации научной деятельностью по литейному производству.

- В структуре Министерства промышленности и торговли РФ отсутствует подразделение для координации деятельности литейного производства и литейного машиностроения.

- В настоящее время литейные предприятия не устраивает двухуровневая подготовка специалистов. Необходимо возобновить подготовку специалистов в вузах России по техническим специальностям по одноуровневой системе с присвоением выпускникам квалификации инженера. Включить профиль подготовки специалистов по литейному производству в перечень приоритетных, остродефицитных специальностей.

- Информационная научная и производственная деятельность не поддерживается. Министерством науки и высшего образования поощряются только научные статьи, которые публикуются в журналах, входящих в зарубежные базы цитирования (Scopus и Web of Science).

- Отсутствует финансовая заинтересованность подготовки и защиты диссертаций, защита кандидатских и докторских диссертаций сокращается.

- Отсутствует связь науки с производством, нет тесной связи вузов с литейными предприятиями по вопросам подготовки и принятия на работу специалистов.

Отмеченные недостатки сдерживают требуемые темпы развития литейного производства и литейного машиностроения.

Необходимо создать условия, при которых развитие литейного производства и литейного машиностроения интересовало бы Правительство РФ, промышленные предприятия, производителей литья, потребителей литейной продукции и общественные организации.

Ключевые слова: литейное производство, перспектива развития.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА, НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА

Алексей Геннадьевич Панов

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия
Ярославский государственный технический университет, 150023, г. Ярославль, Московский пр., 88, Россия
e-mail: panov.ag@mail.ru*

В настоящее время в мире происходят радикальные экономические, политические и технологические изменения. В сфере экономики и политики по оценке экспертов уже начались ключевые изменения в направлениях ухода от идиологов «рынок», «глобализация» и «доллар» и формирования относительно замкнутых «валютных зон» с расширением внутреннего и сокращением внешнего производственного, научного и технологического регулируемого взаимодействия. Россия при этом рассматривается как одна из стран валютной зоны, в которую помимо большинства стран бывшего Совета Экономической Взаимопомощи с очень большой вероятностью могут войти Иран, Турция, Египет, при определённом раскладе Японии и некоторые другие.

Глобальные изменения происходят на фоне достаточно серьёзного отставания отечественных производства, технологий и научных знаний чугуновых изделий от передовых китайских, американских, европейских и японских, развития отечественного сельского хозяйства, строительства дорог и жилья в рамках импортозамещения и технологического суверенитета, а также дефиците компетентных научных и производственных кадров.

В рассматриваемых условиях ожидаются следующие основные направления развития производства, науки и технологий модифицирования чугуна благодаря развитию спроса, международной грантовой поддержке, промышленной ипотеке, а также энтузиазму учёных (в настоящее время последний фактор является фактически единственным):

- рост объёмов отечественного производства чугуновых изделий в балансе с производствами стран своей валютной зоны;
- рост доли чугуна с вермикулярным графитом за счёт долей чугуна как серого, так и высокопрочного благодаря тотальной ревизии морально устаревших машиностроительных материалов;
- развитие международных исследований и разработок процессов формирования потребительских и технологических свойств чугунов в направлениях безопасности, автоматизации, объективности качества изделий со снижением значимости их себестоимости;
- пересмотр и разработка новых стандартов на требования к чугунам, методики контроля качества, модификаторы чугуна и т.п.

Ключевые слова: чугун, отливка, направления развития

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Fe -КАРБИД $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{C}$

Сергей Васильевич Давыдов

Брянский государственный технический университет, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7, Россия
e-mail: fulleren_grafen@mail.ru

Изучение диаграммы $\text{Fe} - \text{C}$ как в теоретическом, так и в экспериментальном аспекте не теряет своей актуальности. Знание фазовых превращений и управление ими в соответствии с диаграммой состояния сплавов системы $\text{Fe} - \text{C}$ является теоретической, технологической и физико-химической основой металлургии, металловедения и термической обработки сталей и чугунов.

В работе выполнен анализ фазовых превращений при концентрации углерода свыше 6,67% (карбидная область диаграммы). Рассмотрены следующие проблемы: отсутствие полной физико-химической идентификации ключевых карбидных фаз, таких как цементит ($\Theta\text{-Fe}_3\text{C}$), карбид Хегга ($\chi\text{-Fe}_5\text{C}_2$), карбид Экстрема – Адкокка ($\varkappa\text{-Fe}_7\text{C}_3$) и ε -карбид (Fe_2C); отсутствие областей фазовых превращений с их участием в структуре существующих вариантов диаграмм состояния сплавов $\text{Fe} - \text{C}$; гипотетические предположения о фазовом строении карбидной области диаграммы (правее линии цементита); неясность о физической природе и области гомогенности цементита. Установлено, что карбиды являются нестехиометрическими соединениями, т.е. фазами переменного состава, содержащими стехиометрический состав или твердыми растворами внедрения второго рода на основе дальтонилов и бертоллидов. Поскольку твердый раствор цементита не может быть базовым компонентом диаграммы состояния сплавов, компонентом диаграммы является химическое соединение бертоллид $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{C}$ и диаграмму $\text{Fe} - \text{C}$ можно с полным основанием переименовать в диаграмму состояния сплавов « $\text{Fe} - \text{карбид } \varepsilon\text{-Fe}_2\text{C}$ ».

Предложены два типа диаграмм системы $\text{Fe} - \text{C}$ в концентрационном интервале 0 ... 9,7% C: на основе эвтектического и перитектического типа превращений. Показано, что карбидные фазы представляют собой единый изоморфный квазикарбидный твердый раствор, а структурно, в соответствии с предложенными вариантами диаграммы, карбидная фаза кристаллизуется в виде смеси карбидных фаз как квазиэвтектика. Впервые установлено неизвестное ранее перитектоидное фазовое превращение на основе ε -карбида (Fe_2C).

Ключевые слова: диаграмма сплавов железо-углерод, карбиды железа, изоморфный квазикарбидный твердый раствор, диаграмма эвтектического и перитектического типа превращений, дальтониловы, бертоллиды.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В СПЛАВАХ Fe – 4% C И Fe – 4 % C – 1,5 % Si ПРИ РАВНОВЕСНОЙ И НЕРАВНОВЕСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Евгений Васильевич Сидоров

600016 Российская Федерация, г. Владимир, ул. Безыменского, д. 3 А, кв. 76

e-mail: sidorov.ev@mail.ru

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований была построена полная равновесная диаграмма системы железо – углерод, в которой принимается наличие невариантного трёхфазного равновесия феррит – графит – цементит при температуре 727 °С, двухфазного равновесия феррит – графит в интервале температур 738 – 727 °С и двух двухфазных областей феррит – цементит (до 6,67 % С) и цементит – графит (более 6,67 % С) при температуре ниже 727 °С. Одновременно уточнили диаграмму состояния системы железо – углерод – кремний.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования структурообразования в образцах из двух составов сплавов Fe – 4% C и Fe – 4 % C – 1,5 % Si. Для исследования использовали метод охлаждения расплавленных образцов с различными скоростями охлаждения с последующей закалкой в воде от заданных температур. Из образцов изготавливали металлографические шлифы и исследовали микроструктуры.

Проведённые исследования позволили объяснить образование фазовых составляющих в микроструктуре сплава при равновесной и неравновесной кристаллизации. Показано, что в промышленных условиях при получении литой заготовки можно управлять процессом образования требуемой микроструктуры и, соответственно, получать требуемые эксплуатационные свойства.

Ключевые слова: система железо – углерод, кристаллизация, структурообразование.

ЭЛЕКТРОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И ЭФФЕКТ ПРИМЕСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СПЛАВАХ FE-C ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Валерий Евгеньевич Сидоров¹, Леонид Дмитриевич Сон²

¹ Уральский государственный педагогический университет, 620219, пр. Космонавтов 26, Екатеринбург, Россия

² Институт металлургии УрО РАН, 620016, ул. Амундсена 101, Екатеринбург, Россия.

e-mail: sidorov@uspu.ru

В широком интервале температур, включая жидкое состояние, экспериментально изучены электросопротивление ρ и магнитная восприимчивость χ сплавов железа с углеродом и кислородом в интервале концентраций $0,003\% < [C] < 2,0 \text{ мас.}\%$ и $0,001\% < [O] < 0,08 \text{ мас.}\%$. Установлено сильное неаддитивное влияние углерода и кислорода на магнитные и электрические свойства железа при высоких температурах – концентрационные зависимости свойств сплавов Fe-C имеют осциллирующий вид с минимумами при 0,1; 0,35 и 0,8 % [C] и максимумами в районе 0,25 и 0,55 % [C]. По мере повышения содержания кислорода экстремумы сдвигаются в область меньших концентраций углерода. Характер изотерм магнитной восприимчивости и электросопротивления остается одинаковым в твердом и жидком состояниях, что свидетельствует о тождественности механизмов влияния углерода и кислорода на структуру и свойства твердой и жидкой фаз железа.

На политермах магнитной восприимчивости обнаружены участки аномального поведения (скачки) χ в районе 1120°C и 1620°C . Показано, что с увеличением содержания углерода и кислорода величина скачков уменьшается, а температура аномалий возрастает. Аномальное поведение χ при 1120°C связывается с возникновением в матрице железа микрообластей с магнитным порядком по типу слабого антиферромагнетика, а аномалия при 1620°C соответствует состоянию, когда расплав перестает «помнить» о своей твердой фазе.

Рассчитаны характеристики электронной структуры микрогруппировок, возникающих вокруг атомов углерода и кислорода в железе. Показано, что величина магнитного момента атомов железа не изменяется при введении этих примесей, а изменяются лишь параметр обменного взаимодействия θ и плотность состояний на уровне Ферми – $N(E_F)$. В частности, кислород повышает значения этих характеристик, а углерод понижает.

Работа поддержана РНФ (проекты 22-23-00177 и 21-13-00202)

Ключевые слова: сплавы железо-углерод-кислород, магнитная восприимчивость, электросопротивление, электронная структура

ЛОКАЛЬНЫЙ ПОРЯДОК В РАСПЛАВАХ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД

Леонид Дмитриевич Сон¹, Валерий Евгеньевич Сидоров²

¹ Институт металлургии УрО РАН, 620016, ул. Амундсена 101, Екатеринбург, Россия.

² Уральский государственный педагогический университет, 620219, пр. Космонавтов 26, Екатеринбург, Россия
e-mail: ldson@yandex.ru

Исследования локального порядка в расплавах железо-углерод имеют давнюю историю (см., например, А.А. Вертман, А.М. Самарин. Свойства расплавов на основе железа. Москва, Наука, 1969). В настоящее время установлено, что основным структурным мотивом в них является конкуренция между ОЦК- и ГЦК-подобным локальным упорядочением. Магнитная восприимчивость является свойством, которое, во-первых, чувствительно к типу локального порядка, а во-вторых, его легко измерить. Изучение магнитной восприимчивости позволяет установить температурно-концентрационную область перехода между различными локальными порядками в расплаве. Статистическое моделирование позволяет связать ее положение с соответствующим переходом в твердом состоянии. При этом оказывается, что критическая точка расслоения расплава на две жидкости с различным локальным порядком находится чуть ниже равновесной линии ликвидус вблизи концентрации углерода 1 wt.%. По-видимому, с этим фактом связаны технологически важные особенности поведения расплавов железо-углерод, в частности, стабильная кристаллизация в дельта-фазу до упомянутой концентрации – несмотря на то, что от 0.5 wt.% равновесной фазой является аустенит. Другая особенность, обусловленная близостью к критической точке – чувствительность локальной структуры расплава к различного рода примесям (например, к кислороду, избавиться от присутствия которого практически невозможно). Мы полагаем, что изучение локального порядка в расплавах на основе системы железо – углерод имеет не раскрытый потенциал в развитии технологий черной металлургии, в частности – при производстве чугунов.

Работа поддержана РНФ (проекты 22-23-00177 и 21-13-00202)

Ключевые слова: локальный порядок, расплав железо-углерод, статистическая модель, магнитная восприимчивость

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НИЗКОСЕРИСТЫХ СЕРЫХ ЧУГУНОВ

Константин Васильевич Макаренко, Вадим Олегович Сазонов

*Брянский государственный технический университет, 241035, бульвар 50 лет Октября 7, Брянск, Россия.
e-mail: makkon1@yandex.ru*

Принято считать, что низкосернистые серые чугуны в меньшей степени склонны к инокулирующему эффекту после модифицирования, так как в них концентрация сульфидных включений, выступающих в качестве потенциальных подложек для образования графитовой фазы, сравнительно мала. Однако для ряда предприятий, которые выпускают одновременно изделия из серых и высокопрочных чугунов, в настоящее время экономически выгодно в качестве исходных шихтовых материалов использовать передельные чугуны, которые были подвергнуты десульфурации, а не традиционные литейные. Шихта на передельных десульфурованных чугунах и стальной обрезе (например, Ст3) обеспечивает при переплавном процессе в индукционной печи концентрацию серы $\sim 0,02$ %. Относительно низкая концентрация серы благоприятно сказывается на сфероидизирующей обработке расплава для получения высокопрочных чугунов с шаровидным графитом, обеспечивая требуемую остаточную концентрацию магния ($Mg_{ост}$, %) при меньшем расходе модификатора. Однако использование идентичной шихтовки для выплавки серого чугуна, при использовании классических модификаторов на основе ферросилиция, не приводит к ожидаемому диспергированию графитовой фазы.

Были проведены исследования различных комплексных модификаторов на базе ферросилиция с добавками таких элементов как Ba, Ca, Ce, Al, Sr, Zr, La на зародышеобразование графитовой фазы в серых чугунах с содержанием серы не более 0,02 %. Кроме того, опробованы различные способы и схемы совместного и поэтапного ввода модификаторов в расплав чугуна. Проведены расчеты потенциальных подложек для зародышеобразования графитовых включений с позиции принципа структурно-размерного соответствия П.Д. Данкова.

Наилучшие результаты по диспергированию графитовой фазы в серых низкосеристых чугунах получаются при ковшевом модифицировании комплексным инокулятором, содержащим элементы, склонные к образованию оксидов, отвечающих принципу П.Д. Данкова. Дополнительно инокулирующий эффект повышается при принудительном переохлаждении, которое также обеспечивается элементами, входящими в состав комплексного модификатора.

Ключевые слова: чугун, сера, графит, модифицирование, зародышеобразование.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ ПРИ ЛИТЬЕ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Артур Игоревич Покровский

*Физико-технический институт НАН Беларуси, 220141, ул. Академика Купревича 10, Минск, Беларусь
e-mail: art@phti.by*

Проанализированы существующие в мире научные школы исследователей процессов структурообразования высокопрочного чугуна и представлены лидеры каждого из направлений. Выполнен анализ теорий зарождения сферических графитных включений при литье и их внутреннего строения.

Разработана математическая модель формирования литой структуры при затвердевании высокопрочного чугуна, описывающая процесс образования и роста графитных включений шаровидной (сферической) формы в системе Fe-C. Математическая постановка задачи включала уравнения нестационарной теплопроводности с учетом выделения теплоты кристаллизации при фазовом переходе и сферической диффузии с подвижной межфазной границей в системе «расплав Fe-C – шаровидный графит». Предложена модель элементарной эвтектической ячейки для шаровидного включения графита, расчетный радиус которой определяется с учетом эвтектической концентрации углерода и предельной растворимости углерода в железе при эвтектической температуре. Получено численное решение разработанной модели методом конечных разностей с заданным шагом пространственной сетки на основе алгоритма обратного хода вычислений по временным слоям до момента, при котором выполнялось условие достижения эвтектической концентрации для элементарной эвтектической сферической ячейки заданного радиуса. Установлены расчетные зависимости концентрации углерода и скорости диффузионного роста от времени кристаллизации в середине включений шаровидного графита различного радиуса.

Экспериментально уточнены и дополнены абсорбционная теория и теория зарождения графита на микровключениях оксидов, сульфидов, оксисульфидов, нитридов, карбонитридов. Подтверждено секторальное строение включения графита и его радиальный рост за счет наслаивания пластин друг на друга.

Микрорентгеноспектральным анализом установлены аномалии в распределении концентраций по сечению графитного включения следующих химических элементов: углерод, магний, кремний, сера, кислород. Доказана возможность нахождения внутри включения графита участков кремнистого феррита.

Представлены результаты 2D и 3D-моделирования процессов пластической деформации высокопрочного чугуна. с помощью программы ANSYS Выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния графитных включений и структурных составляющих металлической матрицы при простом сжатии и при выдавливании (как в мезофрагменте, так и при формообразовании конкретных деталей типа втулок). Выполнены расчеты напряжений на межфазных границах (графит – аустенитная металлическая матрица), позволившие спрогнозировать зоны возникновения трещин, направления их распространения, характер разрушения, выдвинуть гипотезу о пластической деформации хрупких графитных включений, а также обосновать оптимальные силовые режимы деформации.

Представлены результаты исследований поведения чугуна при горячей пластической деформации, в частности эволюции структуры, изменения физических характеристик. Выдвинута гипотеза о том, что графитные включения в структуре чугуна в процессе горячей обработки давлением претерпевают пластическую деформацию без какого-либо разрушения. Гипотеза экспериментально подтверждена методами электролитического вытравливания металлической матрицы с «обнажением» поверхности включений, выявлением их морфологии последующей растровой электронной микроскопией.

Представлены результаты комплексных исследований механических и эксплуатационных характеристик чугунов после деформации, их анизотропии, позволившие выявить максимальные показатели свойств и наиболее оптимальные режимы обработки.

Предложена концепция создания группы половинчатых чугунов с повышенной пластичностью в горячем состоянии. Предложена защищенная патентами группа химических составов деформируемых половинчатых чугунов, отличающихся микродобавками бора, циркония.

Предложена концепция создания экономно-легированных аусферритных чугунов с пониженным содержанием основной «триады» дорогих легирующих элементов: молибдена, никеля и меди. Ряд химических составов аусферритных чугунов с пониженным содержанием Мо и Ni защищены патентами.

Доказаны высокая конкурентоспособность отливок из высокопрочных чугунов по сравнению с изделиями, изготовленными из проката легированных сталей. Приведены примеры успешной замены чугуном ответственных изделий по критериям: качество – свойства – цена (детали железнодорожной подвески, крупных шестерен главной передачи грузовых автомобилей, почвообрабатывающего инструмента и др.). Показано, что в ряде отраслей машиностроения (железнодорожный транспорт, тяжелое автомобилестроение) замена стали на чугун приняла массовый характер.

Предложена концепция формирования градиентных структур в чугунном изделии. Она заключается в управлении формами и размерами включений по сечению чугунного изделия, за счет воздействия специально создаваемого градиента пластической деформации при выдавливании, а также дополнительной термической обработке. Для деталей типа втулок разработаны и защищены патентами технологии получения заготовок уплотнительных и поршневых колец, втулок трансмиссии автомобилей.

Разработаны и опробованы научно обоснованные экспериментальные технологии прокатки, штамповки, выдавливания различных изделий из чугуна, конструкции деформирующей штамповой и прокатной оснастки, которые защищены патентами. Показана наибольшая эффективность процесса горячего выдавливания с противодавлением для получения качественных изделий из чугуна.

Выполнены работы по гармонизации международного стандарта ISO 17804:2005 Founding - Ausferritic spheroidal graphite cast irons - Classification (Отливки. Аусферритный чугун с шаровидным графитом. Классификация) и разработана первая редакция его белорусского аналога - СТБ ISO 17804.

Изготовлены опытные партии машиностроительных деталей из деформированного чугуна: втулки педалей оси сцепления и тормоза пассажирского автобуса, которые успешно прошли эксплуатационные испытания (более 300 тыс. км).

Работа выполнена в ФТИ НАН Беларуси (г. Минск) в рамках ГПНИ «Металлургия» (2021-2025 гг.), задание № 2.01, № г.р. 20210411.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, литье, горячая пластическая деформация, микроструктура, включения графита, морфология включений.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ И МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ ЧУГУНА ДЛЯ ИЗЛОЖНИЦ

Александр Александрович Гарченко¹, Валерий Александрович Коровин², Игорь Олегович Леушин², Константин Александрович Маслов², Вячеслав Фёдорович Шевяков¹

¹ ПАО РУСПОЛИМЕТ, 607010, ул. Восстания, 1, Кулебаки, Россия

² Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 603155, ул. Минина, 24, Нижний Новгород, Россия
e-mail: kosta_maslov@mail.ru

Изложницы в металлургии необходимы для получения слитков. К изложницам предъявляются высокие требования как к литейной металлической форме. Она должна выдерживать высокую температуру, давление, усадочные превращения со стороны слитка и большое количество наливов. В данной работе представлен способ получения изложниц из серого чугуна с дополнительной обработкой в ковше.

В условиях ООО «Булат» были получены отливки – изложниц 1,5 т по двум вариантам внепечной ковшевой обработки расплава чугуна:

– Первый вариант. Чугун выплавлялся в вагранке производительностью 3 т в час. Емкость ковша 4 т. Температура металла в ковше 1300°C. Обработка расплава в этом варианте осуществлялась карбонатными материалами. В ковш при его разогреве ввели 0,2% L-cast5.3 и при наполнении ковша 0,2% БАРС25.

– Второй вариант. Обработка расплава в этом варианте осуществлялась карбонатными материалами и лигатурами Ni-Mo (40% Ni и 60% Mo) и FeV (80% V). В ковш при прогреве ввели 0,1% L-cast5.3, а при наполнении ковша 0,1% БАРС25 и 0,1% NiMo; 0,05% FeV.

– Третий вариант изложница по СТП из чугуна для СЧ15.

В процессе эксплуатации отмечено, что на серийно применяемом варианте, изложнице из чугуна СЧ15 сетка разгара появилась уже после 13-го налива, а на экспериментальных изложницах незначительная сетка разгара появилась после 15 наливов (1 вариант) и 17 наливов (2 вариант).

К 20-му наливу состояние внутренней поверхности изложницы из СЧ15 не позволяло продолжать ее эксплуатацию, когда экспериментальные изложницы находились в хорошем состоянии (с незначительной сеткой разгара).

После 32 наливов экспериментальные изложницы выведены из работы.

Ключевые слова: плавка, серый чугун, изложница.

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ АУСТЕНИТНОЙ И ГРАФИТНОЙ ФАЗЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ SI + C МОДИФИКАТОРА ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ СЕРОГО ЧУГУНА

Андрей Владимирович Чайкин¹, Вячеслав Иванович Семёнов²

¹Смоленское региональное отделение Российской ассоциации литейщиков, Смоленская обл, г Сафоново,
ул Советская, д 47, офис 3, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, Москва, Россия
e-mail: a.chaykin@metallurg-ral.ru

Замечено, что эффективность модификаторов зависит от электронного строения и типа связи входящих в их состав атомов. Эффективны те модификаторы, которые способны быть донорами коллективизированных электронов для жидкого металла. Но объяснить это без учета химического взаимодействия элементов расплава и физического состояния фаз невозможно. В работе предложен механизм графитизирующего модифицирования, происходящего при растворении модифицирующих добавок, основанный на электронном взаимодействии их компонентов с расплавом.

На связь железа и углерода, несомненно, влияет температура, при повышении которой ковалентная связь между этими элементами может переходить в металлическую. Благодаря этому, а также малым размерам, ионы углерода могут размещаться в междоузлиях решетки γ -Fe, отдавая ему валентные электроны. При понижении температуры способность железа принимать электроны уменьшается, концентрация углерода в γ -Fe снижается и углерод стремится выделиться в виде графита, образуя ковалентные связи. Для этого необходима достаточно большая скорость диффузии атомов углерода. Однако, находясь в междоузлиях ГЦК решетки γ -Fe углерод экранирован атомами железа. Кроме того, отдав электроны, углерод понизил свои энергетические возможности. Поэтому при больших скоростях охлаждения углерод не успевает диффундировать и ему более выгодно остаться с атомами железа и образовать цементит.

Возможность повлиять на характер роста графитной фазы появляется при модифицировании расплава кремнием и углеродом. Атомы кремния активно замещают атомы железа в ГЦК структурах раствора γ -Fe и частично вытесняют из них атомы углерода благодаря более сильным металлическим связям, при этом кремний стремится перевести состояние структуры из ГЦК в ОЦК, в которой атомы углерода не экранированы и способны легко диффундировать. Таким образом, можно создавать локальные зоны, обогащенные модификатором кремния, в которых активно вытесняется углерод, стремящийся вернуть парциальную энергию, объединяя ковалентные связи, что приводит к выделению графитной фазы. На этом этапе необходимо внесение в расплав частиц углерода, близких по форме к графиту чугуна, чтобы обеспечить выделение углерода в нужном направлении. Таким образом, для высокой эффективности модификатора необходимо наличие в нём дисперсных частиц углерода и кремния с повышенной химической активностью, которые при вводе будут равномерно распределяться по всему объему, начнут растворяться и этим создадут локальные неравновесия, помогающие чугуну идти по пути аномального выделения графитной фазы.

Ключевые слова: чугун, модификатор, графит

КАРБОНАТЫ БАРИЯ И СТРОНЦИЯ – ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ В ТЕХНОЛОГИИ ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ ЛИТЫХ СПЛАВОВ

Андрей Александрович Кузнецов¹

¹ ЗАО «МТП», 664003, г. Иркутск, ул. Урицкого, 4, Россия
e-mail: bsktlt@yandex.ru

Как известно, генная инженерия в биологии служит для получения желаемых качеств изменяемого или генетически модифицированного растения или живого организма. Перед немногочисленными специалистами литейщиками, занимающимися технологиями генной инженерии (ТГИ), стоят те же цели и задачи, только объектом работ служит металлический расплав. Толчком для занятия подобными работами послужило неуклонное снижение качества шихтовых материалов вследствие накопления и проявления негативных явлений структурной наследственности (ЯСН), а также значительного удорожания первичных шихтовых сплавов.

Проведенные многолетние изыскательские работы на литейных предприятиях с использованием карбонатных материалов серии L-CAST[®] производства ЗАО «МТП» (г. Иркутск, Россия) позволили с уверенностью утверждать, что материал, способный если не обнулить, то хотя бы значительно снизить проявления негативной структурной наследственности, найден. В докладе представлено несколько последних результатов.

При изготовлении отливок «Головка блока цилиндров» из специального доэвтектического чугуна использование материала L-CAST[®]20 позволило снизить его склонность к усадке и, тем самым, негерметичность деталей, за счёт повышения графитизации (уменьшения склонности к отбелу), равномерности распределения и подавления междендритного графита при одинаковом расходе графитизирующего модификатора ФС75Ст с подачей модификатора в разливочный 1,5т ковш.

При изготовлении отливок «Гильза блока цилиндров», заливаемых центробежным способом, использование материала L-CAST[®]20 позволило за счёт улучшения графитизации специального доэвтектического чугуна получать детали с заданной структурой, механическими свойствами и улучшением обрабатываемости при сокращении расхода модификатора Si-Extra почти вдвое с подачей модификатора в разливочный 15 кг ковш.

На Тольяттинском литейном предприятии ООО «СКЕТЕКС», в отсутствие модификатора ФС75 при выполнении срочного заказа, использование смеси L-CAST[®]10+ФС45 позволило получить отливки, качественно не уступающие отливкам, залитым с использованием ФС75.

На ОАО «АВТОВАЗ» в течение ряда лет были проведены многочисленные испытания при производстве отливок из серого чугуна различных марок, в том числе «Клин фрикционный» из СЧ35 для РЖД. В результате совместного использования L-CAST[®]10+ФС75, получены значительные улучшения по однородности микроструктуры и стабильности механических свойств, как в отдельной отливке, так и во всей серии отливок одной плавки.

Ключевые слова: чугун, модифицирование, расплав, гомогенизация.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КОВКОСТЬ ЛИТОГО БУЛАТА

Артём Михайлович Шишкин¹, Алексей Геннадьевич Панов¹, Надежда Георгиевна Дегтярёва¹
¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия,
e-mail: mail@mail.com

Актуальность изучения влияния технологических факторов на ковкость литого булата обусловлено тем, что булатная сталь, являясь материалом с очень высокими механическими свойствами, в настоящее время недостаточно изучена и её изучение может представлять огромный интерес для научного сообщества. Исследования проведены по инициативе мастера Юрия Перелётова, занимающегося исторической реконструкцией технологий получения булата известного русского металлурга П.П. Аносова.

В данной работе была проанализирована предметная область и выявлены ошибки в трактовке технологии изготовления булата во многих литературных источниках. Методами световой оптической микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа были исследованы образцы ковкого и нековкого материалов, изготовленных Юрием Перелётовым, с целью выявления технологического фактора, определяющего ковкость литого булата.

Ключевым технологическим фактором, повлиявшим на ковкость литого булата, оказалась изотермическая выдержка расплава. Производя изотермическую выдержку расплава, можно увеличить в нём количество свободной энергии. Увеличение свободной энергии расплава приводит к увеличению степени переохлаждения при кристаллизации. Увеличение степени переохлаждения приводит к изменению микроструктуры – увеличению дисперсности карбидной фазы. А увеличение дисперсности карбидной фазы до определённого уровня обеспечивает ковкость литого булата.

В результате проведенной работы выявлен ключевой технологический фактор, влияющий на ковкость литого булата, изготавливаемого по технологии П.П. Аносова, что может дать ему новую жизнь, так как подобным набором механических свойств не может похвастаться ни один известный сплав. Булатная сталь может послужить источником множества научных открытий в области материаловедения, а также стать конкурентом для существующих в производстве сплавов.

Ключевые слова: булатная сталь, технология, ковкость, микроструктура.

THE GOLDEN JUBILEE OF CAST IRON RESEARCH AT CMRDI. FUNDAMENTAL RESEARCH WORK ON THE STRUCTURE FORMATION OF CAST IRON ALLOYS

Adel Nofal

Central Metallurgical Research and Development Institute, 11421, Helwan, Cairo, Egypt

e-mail: adelnofal@hotmail.com

Advances in process control, both in the foundry and in the heat treatment shops, made it possible to take the physical metallurgy principles from the realm of theoretical interest to the area of practical reality. As a result, the applications of cast iron as a new, dynamic and most useful class of materials are expected to further grow remarkably.

This report throws light on some developments, that the Foundry Technology Department of CMRDI has contributed to the world advancement of cast iron properties over the past few decades.

The report will present fundamental research work on the structure formation of cast iron alloys.

This review illustrates that over 50 years, the Foundry Group at CMRDI has been striving to keep some sort of balance between applied research oriented towards developing new technologies for the foundry industry and the fundamental research needed for better understanding of the scientific basis behind those technologies. Examples will be shown, illustrating the formation mechanism of compacted graphite in irons used for high thermal shock resistance. Nucleation mechanism of the pearlite phase required in high strength cast irons has been thoroughly investigated.

Growth Mechanism of CGI cast iron was found to vary with the compactizing elements. In case when Mg+Ti additions are used, growth proceeds through coarsening of graphite flakes in c-direction and the modifying elements concentrate on the basal plane and enhance the formation of spiral branches. CGI was as well, produced in cast iron containing 0.1% S and treated with Ca-Ce additions due to degeneration of graphite spheroids.

Nucleation of Pearlite in Cast Iron.

The pearlite promoting influence of tin and copper was related to the segregation of both elements during solidification at the graphite/austenite interface, thus forming a diffusion barrier and impeding the diffusion of carbon atoms from austenite to graphite. Higher carbon in austenite hinder ferrite formation and increase eutectoid undercooling, leading to the formation of pearlite. Pearlite formation starts by nucleation of carbide lamella on the surface instabilities on the graphite flakes and is favored by the accumulation of C-atoms at the diffusion barrier layer.

Keywords: compacted graphite iron, structure formation

THE GOLDEN JUBILEE OF CAST IRON RESEARCH AT CMRDI. UNCONVENTIONAL MELTING TECHNIQUES, DESIGNED FOR EGYPTIAN FOUNDRIES

Adel Nofal

Central Metallurgical Research and Development Institute, 11421, Helwan, Cairo, Egypt

e-mail: adelnofal@hotmail.com

The report will present unconventional melting techniques, designed for Egyptian foundries.

Cast iron, one of the oldest alloys known to the human race, is still finding new applications in spite of the fierce competition of lighter alloys as well as the recently developed new materials. Cast iron technology and metallurgy have made great progress in the last few decades.

Unconventional melting techniques were investigated to respond to particular needs of the Egyptian Foundry industry in a specific period. The cokeless cupola was used to face the problems arising from the lack of the proper foundry coke on the Egyptian market. DRI used in conjunction with the blast furnace pig iron, proved to be a good replacement for the imported rather expensive Sorel metal as a charge material for the production of ductile iron in Egyptian foundries.

Inconventional Melting Techniques and Materials of Special Interest to the Egyptian Foundry Market, some examples are:

1. **The cokeless cupola** at ENC Foundry in Cairo has been operating using liquid fuel instead of foundry coke, which was a scarce commodity in the Egyptian industry. Critical operating parameters were found to be the fuel-air ratio, type and speed of injection of rebarbarization material, and height of refractory bed above the grate. Results obtained were incorporated to give the most efficient operation: both technically and economically.

2. **Use of Sponge iron CDRI in ductile iron production.** This project aimed at identifying a suitable replacement for the rather expensive special high purity imported pig iron in the production of ductile iron. Metallic charge containing the proper amount of the Egyptian pig iron (with high Mn&P contents) together with the locally available sponge iron and steel scrap proved to be satisfactory for the required production. The rather high contents of Mn and P in the pig iron were picked up by the oxides contained in the sponge iron (self-slagging) although the melt had to be carburized, but the charge remained economical compared with that using the special imported pig iron.

Keywords: cast iron, unconventional melting techniques, cokeless cupola

THE GOLDEN JUBILEE OF CAST IRON RESEARCH AT CMRDI. DEVELOPMENT OF NOVEL CASTING ALLOYS.

Adel Nofal

Central Metallurgical Research and Development Institute, 11421, Helwan, Cairo, Egypt

e-mail: adelnofal@hotmail.com

Development of novel cast iron alloys has over the years attracted the interest of the Foundry Group at CMRDI, some examples are:

1- Production of Ductile Iron using the Vortex Technology.

CMRDI introduced ductile iron technology to the Egyptian foundry industry in 1983 using Vortex Technology. The principle of this process as well as its advantages are explained. The introduction of this technology to the Egyptian foundry industry was the spark that ignited a series of new casting production projects, such as ductile iron pipes and pipe fittings, components for textile machinery, and rolls for steel rolling mills as well as many other engineering components.

2- High Al- Cast Iron containing 9.0% Al and different Si-contents has been the subject of intensive investigation at CMRDI during the last decade of the past century. Special inoculating techniques have been used and the effect on the solidification path and solid-state transformation are discussed. The excellent oxidation resistance of this “stainless cast iron” is illustrated and typical applications of the material at CMRDI experimental foundry are shown.

3- Type-D undercooled graphite for glass molds production.

This grade of cast iron is produced by minor additions of Ti to cast iron melts under conditions of high cooling rate during solidification. CMRDI’s experimental foundry is the only of the iron molds used in glass industry.

4- Dynamic solidification for structural control of high alloyed white iron for optimum abrasion resistance toughness combination. Solidification of those alloys under elastic vibrations, both in the mechanical or ultrasonic frequencies was found to lead to significant structural refinement of grinding media used in cement and mineral processing industries.

5- Silicon Molybdenum Ductile Iron (SiMo) with typical chemical composition 4-5 % Si and 0.5-2.0% Mo. The good oxidation resistance and high-temperature strength nominate these alloys for high-temperature applications such as exhaust manifolds and turbocharger housings. In the work, the phase diagrams obtained by “Thermo – Calc 2017a” calculations were compared to those obtained by DSC. These investigations were confirmed by elaborate SEM and three types of carbides have been detected as primary carbides of M₆C type, fine precipitate of Fe₂MoC / M₆C – type and fine dispersed precipitate of M₇C₃ in ferritic matrix.

6- Optimum cast iron grade for stub-anode connection in the aluminum electrolytic cells.

An enormous amount of energy is usually consumed in the alumina reduction process in the electrolytic cells. In this project, much effort was directed to reduce the resistance of the current path in the electrolytic cell which led to considerable energy saving and productivity increase as the cells were operating at higher current. This was achieved by selecting the optimum composition and structure of cast iron collars cast in the gap between the carbon anodes and the steel stub hole play the role of mechanical, thermal, and electrical connection. The project resulted in saving of several millions of dollars in energy savings at the “Egypt alum” smelter in the south of the country.

7- Over the past two decades, CMRDI Foundry Group largely contributed to the worldwide explosion of research and development that followed the announcement of the first industrial application of the new benchmark material; **the austempered ductile iron ADI** in the eighties of the past century. The excellent combination of this material has opened new horizons for cast iron to replace steel castings and forgings, such as high-performance gears and agricultural and other earthmoving components. These castings currently represent a good part of the production of the experimental foundry of CMRDI. The recent research at CMRDI for developing nano-structured ADI using thermo-mechanical treatment will lead to new cast iron alloys with exceptional properties. The volume of R&D projects achieved at CMRDI over the past 25 years is too large to be included in this lecture, therefore those projects will be covered in a separate lecture on these cast iron days.

Keywords: vortex technology, high-Al cast iron, undercooled graphite, dynamic solidification, silicon molybdenum ductile iron, stub-anode connection, austempered ductile iron

ПРИМЕНЕНИЕ ИТТРИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ

*Артём Владимирович Каляскин¹, Борис Алексеевич Кулаков¹, Артём Андреевич Токарев¹,
Игорь Валерьевич Бакин²*

¹Южно-Уральский Государственный Университет 454080, пр. Ленина, 76, Челябинск, Россия

²Центр исследований и разработок «НПП», 454901, г. Челябинск, поселок Водрем 40, д. 25, Россия)
e-mail: 151@nppgroup.ru

Применение современных конструкционных литейных материалов во многом определяет решение задач повышения технического уровня, эксплуатационной надежности и снижения материалоемкости продукции машиностроения, где на долю отливок приходится от 40 до 75% веса машин и механизмов.

Все больший интерес со стороны технологов и конструкторов вызывает чугун с вермикулярным графитом как материал, обладающий хорошими технологическими свойствами при достаточно высоком уровне эксплуатационных и механических характеристик, сравнимых с чугуном с шаровидным графитом (ЧШГ).

Чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ) эффективно используется для производства деталей, эксплуатация которых предполагает высокие нагрузки циклического характера («блок-картер», «корпус трансмиссии», «головка блока цилиндров» и т.д.). Перспективно применение ЧВГ в качестве материала технологической оснастки (кокили, изложницы и т.д.).

Однако объем производства отливок из ЧВГ находится на невысоком уровне. Это связано с низкой стабильностью технологии его получения, что объясняется недостаточной изученностью процессов внепечной обработки и структурообразования ЧВГ. Ограниченные сведения о комплексном воздействии сфероидизирующих и десфероидизирующих элементов на формирование графитной фазы при кристаллизации чугуна определяют жесткие технологические требования к действующим процессам производства ЧВГ.

Исследование влияния иттрия на процесс структурообразования в сплаве показало, что его модифицирующее действие во многом аналогично церию. В сравнении с церием иттрий является более слабым сфероидизатором графита, поэтому он расширяет область образования графитных включений вермикулярной формы.

Ключевые слова: чугун с вермикулярным графитом, иттрий, технологические требования.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ, ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОИЗВОДСТВА ОТВЕТСТВЕННЫХ ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ

Рашид Мубаракзанович Галимов
ООО «ФЕНИКС», 152303, ул. Строителей, д.9, г. Тутаев, Ярославская обл., Россия
e-mail: galimov.phoenix@yandex.ru

Известно, что перлитный чугун с вермикулярным графитом (ПЧВГ) обладает рядом уникальных свойств, которые оптимально подходят для основных деталей форсированных дизельных двигателей, работающих при высоких механических и тепловых нагрузках. Однако также известно, что этот материал пока не нашёл широкого применения в отечественном машиностроении из-за сложности получения необходимой структуры ПЧВГ. В традиционных условиях массового производства оказалось трудно обеспечить высокую долю вермикулярного графита, что вызывает проблемы нестабильной механической обрабатываемости отливок, повышенного литейного брака по усадке, утяжинам и негерметичности, а также дорого обеспечить перлитную структуру матрицы чугуна, необходимую для получения высоких прочностных свойств при низкой доле шаровидного графита.

Как следствие, при оценке возможности замены традиционно применяемых для деталей двигателей перлитных чугунов с пластинчатым графитом на ПЧВГ без существенных изменений конструкции (снижения веса) последний, как правило, проигрывает в соотношении цена/качество.

В ООО «Феникс» на протяжении более 10 лет совместно с партнёрами усовершенствован ряд конструкций и в собственном литейно-механическом производстве разработаны и успешно применяются технологии получения ПЧВГ высоких марок с прочностью выше 450 МПа для головок и блоков цилиндров форсированных дизелей автомобилестроения, особенно газовых, а также судостроения, энергетики и малой авиации. В соответствии со сформировавшимся в 2020 году в России курсом на технологический суверенитет разработанные в ООО «Феникс» технологии получения вермикулярного графита базируются на отечественных модификаторах.

Номенклатура изготавливаемых в ООО «ФЕНИКС» отливок из ПЧВГ также включает выпускные коллекторы, корпуса электродвигателей, поршни и гильзы блока цилиндров. В настоящее время идёт освоение запорной арматуры атомной промышленности для работы в среде жидкого свинца при температуре порядка 550 °С.

Ключевые слова: перлитный чугун с вермикулярным графитом, технология, производство

СТАНДАРТИЗАЦИЯ МОДИФИКАТОРОВ РАСПЛАВОВ

Валерия Анатольевна Иванова¹, Алексей Геннадьевич Панов^{1,2}

¹Ярославский государственный технический университет, 150023, Россия, г. Ярославль, проспект Московский 88, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия
e-mail: ivanovava@ystu.ru

Модификаторы расплавов – это вещества, добавляемые в расплав в небольших количествах с целью получения необходимой структуры сплава и, как следствие, необходимых свойств. Модифицирование расплавов нашло широкое применение в производстве, так как это зачастую единственно возможный способ получения необходимых эксплуатационных свойств для производимого изделия. Модифицирование расплавов обеспечивает качество и безопасность металлопродукции, попадающей под действие целого ряда технических регламентов: ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава»; ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования»; ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств»; ТР ТС 031/2012 «О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним» и др.

«Модификаторы расплавов» как объект стандартизации имеет ряд особенностей: многообразие составов, уникальные технические требования, сочетание свойств сырья и готовой продукции, конкуренция на отечественном рынке с международной продукцией, отсутствие в общероссийском классификаторе продукции по видам экономической деятельности (ОК 034-2014), отсутствие стандартизации на национальном и международном уровне.

К объектам стандартизации модификаторов можно отнести термины и определения, классификацию, маркировку, технические требования, требования безопасности, методы испытаний, транспортировку и хранение, условия применения, требования к условиям поставки, требования к сопроводительной документации.

Для реализации стандартизации модификаторов расплавов необходима организация работ в рамках национальной системы стандартизации Российской Федерации. В частности, необходимо создание проектного технического комитета по стандартизации (ПТК), в рамках деятельности которого будут разработаны национальные стандарты Российской Федерации (ГОСТ Р), содержащие требования к модификаторам расплавов на основе консенсуса между потребителями и производителями.

Разработка национальных стандартов Российской Федерации позволит не только обеспечить качество отечественных модификаторов, технологический суверенитет, но и повысить их конкурентоспособность на отечественном рынке и, как следствие, будет способствовать повышению качества и конкурентоспособности отечественной металлопродукции, а утвержденные стандарты могут быть использованы в сфере государственного и международного регулирования, в законотворчестве и в судебных практиках.

В рамках работы завершена подготовка документации для создания ПТК «Модификаторы расплавов» и подготовлены проекты первых стандартов на термины, определения, классификацию и основные технические требования к модификаторам чугуновых расплавов.

Ключевые слова: модификаторы расплавов, качество, стандартизация, стандарт

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ФОРМ ГРАФИТОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЧУГУНАХ

Татьяна Александровна Сивкова¹, Валерия Анатольевна Иванова.², Алексей Геннадьевич Панов^{2,3},
Надежда Георгиевна Дегтярева³

¹ ООО «СИАМС», 620078, Россия, г. Екатеринбург, ул. Коминтерна 16, оф. 604, Россия

² Ярославский государственный технический университет, 150023, Россия, г. Ярославль, проспект Московский 88, Россия

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия
e-mail: sivkova@siams.com

Необходимость создания единой системы идентификации форм графита в чугунах обусловлена несовершенством существующих методов контроля микроструктуры, неопределенностью в терминологии, используемой разными источниками, а также многообразием форм частиц графита в разных марках чугуна и возможностью получения смешанных форм графита в одной отливке.

В настоящей работе проведен анализ нормативно-методической документации, используемой при оценке микроструктуры графитовых включений в чугунах с применением светового микроскопа, рассмотрены возникающие при этом проблемы, показана недостаточность полуколичественного описания структуры с помощью эталонных изображений стандартов и необходимость дополнения его методом количественного описания с помощью программы анализа изображений.

Предложен метод идентификации форм частиц графита в чугуне, базирующийся на качественном и количественном описании их характерных особенностей, который решает следующие вопросы:

- использует сквозную нумерацию форм без привязки к марке чугуна, что позволяет разработать единый подход к контролю микроструктуры графита в чугунах с помощью систем анализа изображений;
- исключает неопределенность в терминологии, используемой разными стандартами при наименовании и идентификации визуально похожих частиц, встречающихся в разных марках чугунов.

В результате первого этапа комплексного исследования предложена шкала распределения частиц графита по семи типовым формам. Шкала является дополнением к полуколичественной оценке микроструктуры по эталонным изображениям, приведенным в стандартах, содержит качественное описание сечений частиц графита на двумерном изображении и является основой для последующего определения математических критериев разделения множества частиц.

Ключевые слова: чугун, графитовые включения, форма частиц, идентификация, метод оценки.

НОВЫЕ МЕТОДИКИ БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНА

Артур Игоревич Покровский

*Физико-технический институт НАН Беларуси, 220141, ул. Академика Купревича 10, Минск, Беларусь
e-mail: art@phti.by*

Анализ известных методик исследования микроструктуры чугунов показал, что наиболее часто употребляемый подход предполагает травление 4% - ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте и изучение приготовленного шлифа под световым оптическим микроскопом. Гораздо реже используются тепловое травление, различные поляризационные фильтры и др. Используемое в последнее время воздействие на чугун пластической деформации приводит к получению еще более многообразных структур и форм графита. Например, после деформации высокопрочного чугуна в структуре практически не остается включений графита шаровидной формы, все они приобретают форму веретен с различной степенью вытянутости. В такой ситуации описание формы графита по шкалам ГОСТ3443-87 носит формальный характер и его явно недостаточно. Исключительное многообразие и выразительность образующихся структур требуют разработки более современных методик.

Цель работы – разработка новых методик исследования структуры чугуна.

Предложены способы приготовления образцов и способы контроля металлографической структуры, основанные на различных скоростях образования оксидной пленки на косом шлифе, которая соответственно окрашивается разными цветами при разной температуре. При этом обеспечивается получение фиолетовых, синих, желтых и красных оттенков окраски различных фаз.

Предложены устройства, составы электролитов и способы электролитического травления чугунных образцов. Они основаны на медленном растворении, вытравливании металлической матрицы цилиндрического чугунного образца, который служит анодом. Графит при этом не растворяется, а постепенно «обнажает» свою поверхность, причем абсолютно не повреждаясь. Дальнейшее исследование морфологии поверхности проводится с использованием растровой электронной микроскопии.

Работа выполнена в ФТИ НАН Беларуси (г. Минск) в рамках ГПНИ «Электромагнитные, пучково-плазменные и литейно-деформационные технологии» (2021-2025 гг.), задание № 3.3.3.

Ключевые слова: чугун, микроструктурный анализ, электролитическое вытравливание, включения графита, морфология включений.

ПРЯМОЕ ВЛИЯНИЕ ФУТЕРОВКИ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ НА КАЧЕСТВО ЧУГУНА

Владимир Ламмерт, Даниель Кёлле
EKW GmbH, 67304, Bahnhofstraße 16, Eisenberg, Germany
e-mail: wladimir.lammert@ekw-refractories.com

В докладе представлена теория и практика оптимального подбора огнеупоров для футеровки печей чугунолитейного производства на основании более столетнего опыта компании (год основания: 1903) применения различных видов футеровок в вагранках, индукционных тигельных печах, а также в печах выдержки и разливочных печах.

При производстве чугуна с вермикулярным графитом, а также других видов чугуна, используются различные модификаторы, содержащие те или иные элементы периодической таблицы Менделеева, к которым должна быть соответствующе подготовлена футеровка печей, в которых происходит плавка т.е. образование задуманного сплава чугуна.

В основном, полагаясь на химическое соответствие футеровки индукционной тигельной печи к чугуну по показателю кислотности (рН-значение), используют кислый вариант футеровки. Хотя футеровка печи подобрана, она разрушается во время плавки из-за преобразования чугуна в расплав, происходящих в нём химических реакций, формирования новых минералов, которых изначально не было ни в футеровке печи, ни в шихтовых материалах, например, Фаялита, Мангансиликата и т.д. По этой причине для оптимизации производственного процесса важны знания об энтальпии происхождения некоторых оксидов.

В печи с индуктором происходит постоянное перемешивание жидкого металла под воздействием индукционных полей, которые в свою очередь в потоках металла создают турбулентности и тем самым облагораживают условия для образования отложений из различных оксидов, а также образование самих оксидов, таких как Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , FeO и т.д., при понижении температуры расплава.

Сродство элементов к кислороду играет также важную роль в процессе плавки для создания благоприятных условий для нежеланных оксидов в сплаве. В дальнейшем процессе происходит отложение данных оксидов на футеровке, с их проникновением в футеровку особенно в тех местах, где турбулентность жидкого металла из-за индукции благоприятствует таким отложениям.

Ключевые слова: кислая футеровка, индукционные поля, турбулентность расплава, энтальпия образования оксидов (минералов).

ADI – THE MATERIAL REVOLUTION AND ITS NOVEL METALLURGICAL ADVANCES AND APPLICATION AT CMRDI

Adel Nofal

Central Metallurgical Research and Development Institute, 11421, Helwan, Cairo, Egypt

e-mail: adelnofal@hotmail.com

In the last three decades, the revolutionary material the austempered ductile iron (ADI) with its unique combination of mechanical properties, has been offering the design engineer alternatives to conventional material/process combinations. The excellent properties of this material have opened new horizons for cast iron to replace steel castings and forgings in many engineering applications with considerable cost as well as weight benefits. Moreover, the sustained efforts worldwide of the automotive industry to use lightweight materials have eroded the market for heavier iron castings. Currently, ADI with its super strength can successfully compete with lightweight alloys, a point which has yet to be fully understood by many design engineers.

This review is an attempt to compile the results of the worldwide explosion of research and development that followed the announcement of the first production of this material, meanwhile, reference is made to the work carried out at Central Metallurgical R&D Institute (CMRDI) over the past two decades to provide an in-depth investigation of any specific technique, but to present state of metallurgy, processing, and applications of ADI.

The review starts with discussing the effect of foundry parameters (chemical composition of ductile iron, casting thickness) and heat treatment variables (especially the austenitizing and austempering temperatures and times on the kinetics of austempering reaction and properties of the resulted ADI). The current status of the austempering facilities will be also briefly discussed.

Better understanding of the strengthening mechanisms of ADI has led to the development of a new technique that contributes to enhance the strength and toughness of the alloy, some examples will be discussed in detail such as:

- Ausformed ADI, where mechanical processing component was added to the conventional heat treatment as a driving force to accelerate the rate of stage I austempering.
- Squeeze cast ADI, where superior quality ADI castings were produced through squeeze casting of molten iron in a permanent mold, followed by in-situ heat treatment of the hot knocked-out castings in the austenite range followed by normal austempering in a salt bath.
- Two-step austempering to achieve finer ausferrite at higher undercooling during austempering treatment followed by austempering at a higher temperature where higher austenitic carbon is promoted.

The excellent abrasion resistance of ADI could still be remarkably increased through the development of:

- Carbide ADI-ductile iron containing carbides subsequently austempered to form ausferritic matrix with an engineered amount of carbides.
- Bainitic/martensitic (B/M) ADI containing less expensive alloying elements such as Si and Mn in the range of 2.5 - 3.0%.
- Selective surface treatment, where parts of the casting subjected to excessive wear may be locally hardened, either by induction heating and quenching or by surface laser processing.

The review analyses the key features of important processing techniques of ADI such as:

- Cold rolling, whereas thin as 3 mm sheets have been successfully produced at CMRDI with enhanced strength and hardness properties.
- Welding, whether used as repair welding for the parent ductile iron castings before austempering or to weld already austempered parts to each other or to other materials such as steel and ductile iron (construction welding).
- Some of the machining difficulties, that appeared with the first use of ADI as engineering material still persist today, which are mainly related to the work hardening and deformation induced martensitic formation from retained austenite. Recent work at CMRDI clearly indicates that cutting force during machining of ADI is closely related to martensitic transformation, which in turn, is a function of cutting depth and speed of cutting.

– A novel development of ADI is the intercritically austempered ductile iron; an exciting engineering material with a favorable combination of good strength and ductility, excellent fatigue strength, and good machinability resulting from a microstructure containing colonies of proeutectoid ferrite together with isolated islands of austenite.

– Recent work carried out at CMRDI together with Technical University of Warsaw, where the high strain rate deformation and its impact on mechanical properties were investigated using Taylor Test.

– Recently, together with Fraunhofer Institute in Germany the dynamic properties of ADI have attracted the interest of researchers at CMRDI, where ADI samples were subjected to specific non-static types of tests, phenomena taking part in such interaction are rather complex. The unique combination of ADI properties nominates ADI for applications under high dynamic crash loads such as automotive steering knuckles. Moreover, the ballistic performance of ADI was compared to that of MIL-A-1250 steels using V-50 ballistic test. Under such conditions, the phase of particular interest in this material is the retained austenite, with its hardenability resulting from the strain-induced martensitic transformation.

Different applications of ADI cover automotive e.g. gears, crankshafts, connecting rods, camshafts transmission as well as suspension components and steering knuckles as well as earthmoving, defense and agricultural consumables such as plough blades. Case studies will be shown with emphasis on the experience of CMRDI in production of gears for different types and agricultural parts in its experimental foundry. ADI and steel properties related to gear performance will be compared such as structural integrity, abrasion resistance, bending fatigue, teeth conformation, noise and vibration reduction, manufacturing cost, weight reduction and gear power loss, the comparison seems to be in favor of ADI. The CMRDI experience with the use of ADI in agricultural applications will be discussed. Production of thin wall ADI components may offer potentials for new applications. Thin wall ADI castings are capable to build complex thin wall parts of high strength.

This report discusses two novel approaches to produce ADI with ultrafine structure and unique combination of mechanical as well as physical properties. In the first approach, a dual matrix structure (DMS) ADI is produced in thermo-mechanically processed ductile iron. The dilatometric as well as metallographic investigations showed that the ausferritic transformation was remarkably enhanced after applying thermo-mechanical treatment. Moreover, the introduction of ferrite accelerates the nucleation of ausferritic ferrite at the austenite/ferrite interface and hence, leads to the development of ultrafine ausferritic structure. In the second approach, ultrafine ADI structure was achieved by applying ultrasonic treatment (UST) during solidification of the molten iron. Extensive metallographic investigations show that the ultrasonically treated ductile iron samples provide extremely fine graphite and high nodule count. The dilatometry studies for the developed ADI alloys showed that the time required for the completion of the ausferrite formation in UST alloys was four times shorter than that required for statically solidified SG irons.

Keywords: austempered ductile iron, ADI, strengthening mechanism, ausforming, dual-phase, machinable ADI, CADi, abrasion resistance, squeeze casting, laser treatment

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЗАНСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА В ОБЛАСТИ БЕЙНИТНЫХ ЧУГУНОВ

Алексей Геннадьевич Панов^{1,2}, Дмитрий Андреевич Гуртовой³, Ирина Фаридовна Шаехова¹, Эрнст Сергеевич Закиров³, Чулпан Альбертовна Гимазетдинова, Татьяна Владимировна Соченко¹, Марсель Васильевич Закиев¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия

²Ярославский государственный технический университет, 150023, Россия, г. Ярославль, проспект Московский 88, Россия

*³КАМАЗ, 423827 г. Набережные Челны, пр-т. Автозаводский, 2, Россия
e-mail: panov.ag@mail.ru*

Бейнитные чугуны в отечественной промышленности, в отличие от мировой, до сих пор не находят не только широкого, но и практически никакого применения за редким исключением нескольких деталей железнодорожной отрасли и случайно попавших в Россию деталей импортного оборудования и инструмента, несмотря на их уже достаточно хорошо известные феноменальные потребительские конструкционные и износостойкие свойства.

По этой причине на кафедре материалов, технологий и качества, начиная с 2015 года были возобновлены разработки и исследования в области аустенитно-бейнитных изотермически закалённых (ИЗ) высокопрочных чугунов (ВЧ) сначала с шаровидным (АБЧШГ), а, начиная с 2017 года, – с вермикулярным (АБЧВГ) графитом. Традиционно исследования ведутся в направлении поиска закономерностей влияния химического состава и исходной структуры на кинетику структурообразования при нагреве, закалке и изотермической выдержке (ИВ) ВЧ, а также на свойства АБЧВГ.

Отличием от известных ранее полученных отечественных данных в советский и постсоветский период времени является применение более совершенных методов и методик исследования структуры и структурообразования как традиционных световой микроскопии и микротвердомерии, так и электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, математического моделирования, а также анализа изменения теплофизических свойств при нагреве, охлаждении и изотермической выдержке.

К настоящему времени можно выделить следующие наиболее интересные, на наш взгляд, выводы и результаты, отличающиеся от ранее полученных отечественных:

– Скорость структурообразования металлической основы ЧВГ значительно выше, чем ЧШГ, для разработки технологии изотермической закалки ЧВГ нельзя использовать известные данные по режимам ИЗ и по прокаливаемости ЧШГ одинакового химического состава.

– В отличие от литого состояния, традиционное легирование ВЧ никелем, медью и молибденом при ИЗ как правило, не увеличивает его механические свойства, а свойства АБЧШГ оно даже несколько снижает. Легирование увеличивает только его прокаливаемость чугунов.

– С помощью ИЗ у ЧВГ удаётся повысить прочность по крайней мере в 2 раза (примерно так же, как у ЧШГ), а предел текучести ещё больше (по крайней мере в 2,5 раза, что значительно выше, чем у ЧШГ), достигая значений более 800 МПа.

– Изготовлены и проходят исследования и стендовые испытания ряд деталей автомобильной и авиационной промышленности из АБЧШГ и АБЧВГ.

Ключевые слова: высокопрочный чугун с шаровидным и вермикулярным графитом, изотермическая закалка, структура, свойства, испытания, моделирование

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННЫХ АУСФЕРРИТНЫХ (БЕЙНИТНЫХ) ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ

Артур Игоревич Покровский

*Физико-технический институт НАН Беларуси, 220141, ул. Академика Купревича 10, Минск, Беларусь
e-mail: art@phti.by*

Рассмотрена материальная структура производства отливок в мире, общие объемы выпуска которых превысили 112 млн. тонн. Показана ведущая доля чугунов и, в частности, рост выпуска высококачественных и высокопрочных чугунов с шаровидным графитом. Описана устойчивая тенденция замены для ответственных машиностроительных изделий легированного стального проката на Austempered Ductile Iron (ADI) – высокопрочный чугун с шаровидным графитом, изотермически закаленный на аусферритную (бейнитную) структуру. Рассмотрена динамика цен на основные легирующие элементы ADI (молибден, никель и медь, суммарное количество которых в сплаве достигает 5%) и показано, что ее рост устойчиво положительный.

Цель работы – разработка концепции экономного легирования ADI (суммарное содержание молибдена, никеля и меди не более 2 %), при котором сохранялась бы удовлетворительная прокаливаемость и одновременно существенно снижалась себестоимость. Указанная цель реализовывалась путём снижения до минимума содержания наиболее дорогого элемента молибдена, дополнительного использования микролегирования и воздействия на отливку горячей пластической деформацией.

Пониженное содержание основной «триады» легирующих элементов компенсировали микродобавками стронция (бария), ванадия, бора, ниобия, добавками мишметалла. Предложено несколько групп экономно-легированных чугунов:

1) низконикелевый и низко-молибденовый с повышенным содержанием меди (до 1,8 %) и добавками ванадия; 2) безмолибденовый с микродобавками бора; 3) безмолибденовый с микродобавками ниобия и бора; 4) полностью безмолибденовый с минимальным легированием никеля и меди.

Показано, что обработка давлением, наряду с приданием изделию необходимой формы, оказывает влияние на кинетику структурно-фазовых превращений и действует аналогично легированию Mo и Ni, сдвигая C-образную кривую вправо. Следовательно, аусферритную структуру можно получить при меньшей скорости охлаждения.

Механические свойства при таком легировании и использовании пластической деформации составляют предел прочности 1100 – 1500 МПа, относительное удлинение – 2 – 4% (нижний бейнит), предел прочности 800 – 1100 МПа, относительное удлинение – 4 – 7% (верхний бейнит).

Работа выполнена в ФТИ НАН Беларуси (г.Минск) в рамках ГПНИ «Металлургия» (2021–2025 гг.), задание № 2.01, № г.р. 20210411.

Ключевые слова: чугун, микроструктура, аусферрит, бейнит, изотермическая закалка, молибден, никель, медь, микролегирование.

ФОРМИРОВАНИЕ АУСФЕРРИТНОЙ МАТРИЦЫ В ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНАХ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Александр Тихонович Волочко¹, Михаил Сергеевич Ковалько¹, Сергей Павлович Королев²

¹ *Физико-технический институт НАН Беларуси, 220141, ул. Академика Купревича 10, Минск, Беларусь*

² *ОДО «Эвтектика», 220121, ул. Притыцкого, 62, к.4, Минск, Беларусь.*

e-mail: kovalko.m@mail.ru

С учетом особенностей структурообразования высокопрочных чугунов с различным содержанием легирующих и микролегирующих компонентов разработаны экономно легированные составы, дополнительно содержащие (мас.): 0,4-0,7% Cu; 0,2-0,3% Mo; 0,15-0,25% Cr; 0,10-0,15% Al; 0,01-0,02% В. Структурным и дюрOMETрическим методами для данных составов построены кривые начала изотермического распада аустенита в области 750-200 °С. Показано, что использование комплексного легирования на основе Cu-Mo-Cr-Al и дополнительного микролегирования В позволяет повышать минимальную устойчивость переохлажденного аустенита в области перлитного превращения до 120-160 с., а в области промежуточного превращения – до 80-110 с. При этом установлено, что одновременное повышение концентрации меди и бора сдвигает кривые на диаграмме изотермического распада в диапазоне перлитного превращения вправо, тогда как в области промежуточных превращений – влево.

Полученные данные позволили установить минимально необходимую среднюю скорость охлаждения при изотермической закалке для формирования аусферритной металлической матрицы в разработанных составах чугунов – 40-60 °С/с. Показана математическая модель процесса закалочного охлаждения, позволяющая определять расход и давление сжатого воздуха для получения аусферритной матрицы в чугунных отливках различных сечений. Проведенное компьютерное моделирование процесса показало возможность формирования аусферритной структуры при толщине максимального сечения чугунной отливки в 20 мм.

Исследования структуры экономно легированных чугунов после изотермической закалки показали различие в морфологии структуры аусферрита при его получении в различных охлаждающих средах – соли и сжатом воздухе. В случае воздушного закалочного охлаждения формируются вытянутые иглы феррита, а при закалке в расплаве солей (50% NaNO₃ + 50% KNO₃) наблюдается более разноориентированная их форма. Также показано, что металлическая матрица чугунов, закаленных в среде сжатого воздуха, содержит до 30% остаточного аустенита, тогда как при традиционной закалке в расплаве солей его содержание не превышает 15-18%. Исследования механических свойств рассматриваемых чугунов показали, что после воздушного закалочного охлаждения и дальнейшей изотермической выдержки при 300-350°C предел прочности при растяжении σ_B составляет 850-1050 МПа, относительное удлинение при растяжении δ – 4-10%, а твердость варьируется от 340 до 370 ед. по Бринеллю (HB) и от 40 до 52 ед. по Роквеллу (HRC).

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (№ T22M-056)

Ключевые слова: чугун, аусферрит, легирование, сжатый воздух, металлическая матрица

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ

Дмитрий Андреевич Гуртовой¹, Алексей Геннадьевич Панов^{2,3}, Ирина Фаридовна Шаехова²

¹КАМАЗ, 423827 г. Набережные Челны, пр-т. Автозаводский, 2, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия

³Ярославский государственный технический университет, 150023, Россия, г. Ярославль, проспект Московский 88, Россия

e-mail: panov.ag@mail.ru

Чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ, ВГ) обладает рядом уникальных свойств, промежуточных между чугуном с пластинчатым графитом (ПГ) и шаровидным графитом (ЧШГ, ШГ). Разветвлённая «каркасная» структура ВГ, аналогично ПГ, обеспечивает в ЧВГ высокие демпфирующие свойства, жёсткость, обрабатываемость резанием, малую линейную и объёмную усадку, высокую теплопроводность и другие высокие эксплуатационные и технологические свойства, а его закруглённые края, аналогично ШГ, – высокие механические свойства, которые, как было предположено, как и у ЧШГ дополнительно можно повысить с помощью изотермической закалки.

Изучение ЧВГ в целом по известным причинам значительно отстаёт от ЧШГ, а изотермически закалённых ЧВГ в России – началось буквально только в последние годы и только в Казанском федеральном университете.

На сегодняшний день проведены исследования влияния различных температур закалки и времени изотермической выдержки на структуру и основные механические свойства ЧВГ с высокой долей ВГ (не менее 80 %) трёх составов – базового для литейного производства ПАО КАМАЗ (нелегированный ферритный с долей перлита до 30%), перлитного (в качестве перлитизаторов использовали медь (0,84 %) и олово (0,074%)), а также перлитного, дополнительно легированного традиционным для изотермически закалённого высокопрочного ЧШГ, применяемого за рубежом в качестве конструкционного материала машиностроения, никелем (1,1%) и молибденом (0,23%).

Первые же исследования подтвердили принципиальную возможность и перспективность дальнейшего после легирования повышения механических свойств ЧВГ не менее, чем в два раза для эксплуатации в области температур до 200 °С.

С целью разработки научного фундамента технологии изотермической закалки ЧВГ инициирован и проведён ряд исследований процессов его структурообразования в твёрдом состоянии методами изучения поведения структурночувствительных свойств (плотности, теплоёмкости и других) при нагреве и охлаждении в рабочих диапазонах температур изотермической закалки. Первые результаты использованы для построения первых математических моделей изотермической закалки цилиндрических образцов ЧВГ переменного сечения диаметром от 20 до 30 мм.

Ключевые слова: высокопрочный чугун с вермикулярным графитом, изотермическая закалка, свойства, перспектива, моделирование

О ВЛИЯНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА НА ТЕХНОЛОГИЮ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ

Ирина Фаридовна Шаехова¹, Алексей Геннадьевич Панов^{1,2}, Чулпан Альбертовна Гимазетдинова¹

¹ Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, кафедра материалов, технологий и качества, пр.Мира
13, Россия,

e-mail: irrra1603@yandex.ru

Чугуны являются основными конструкционными литейными материалами в большинстве современных производств и считаются достаточно изученными. В том числе известно много работ по формообразованию и технологиям получения высокопрочных чугунов с шаровидной (ЧШГ) и вермикулярной (ЧВГ) формой графита.

Вместе с тем, в последние десятилетия в мировой автомобильной, горнодобывающей, железнодорожной промышленности и в сельском хозяйстве наблюдается стремительный рост использования бейнитного чугуна, необходимую структуру которого получают с помощью изотермической закалки. Однако отечественных экспериментальных исследований, необходимых для понимания процессов структурообразования высокопрочного чугуна при изотермической закалке и обеспечения надёжной технологии получения чугуна различных марок для деталей различного сечения недостаточно. Особенно это касается ЧВГ, так как существует ошибочное представление, что структурообразование ЧШГ и ЧВГ одного химического состава идентично и не требует проведения дополнительных исследований для ЧВГ.

Однако, как показали результаты исследований настоящей работы, поведение теплопроводности и коэффициента термического расширения по времени и по температуре, характеризующее процессы структурообразования, для ЧШГ и ЧВГ идентичных составов принципиально отличается. В ЧВГ идентичные процессы протекают быстрее и при более низких температурах, чем в ЧШГ, что принципиально влияет на режимы изотермической закалки и прокаливаемость чугуна.

В работе теплопроводность при нагреве до температур 950 °С определяли методом лазерной вспышки МВИ 1: № 251.13.17.009-2009 МВИ 02-2009 «Методика измерения температуропроводности, теплопроводности, удельной теплоемкости материалов на основе металлов и неметаллов», коэффициент термического расширения при нагреве до 950 °С и охлаждении – методом дилатометрии.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, изотермическая закалка, теплопроводность, дилатометрия, микроструктура.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ СТРУКТУР ИЗОТЕРМИЧЕСКИ ЗАКАЛЕННОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ И ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

*Чулпан Альбертовна Гимазетдинова¹, Ирина Фаридовна Шаехова¹, Алексей Геннадьевич Панов¹,
Татьяна Владимировна Соченко¹*

*¹Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, кафедра материалов, технологий и качества,
пр. Мира 13, Россия,*

e-mail: gimazetdinova.chulpan@mail.ru

Современная промышленность нуждается в создании новых материалов и разработке технологий получения из них изделий с высокими эксплуатационными характеристиками. Стоит отметить, что наиболее распространенными конструкционными материалами являются сплавы на основе железа, в частности чугуны.

Высокопрочные и серые чугуны находят широкое применение в машиностроении уже долгие годы благодаря сочетанию уникальных физических, механических и эксплуатационных характеристик. Относительно недавно распространение в производстве получил чугун с вермикулярным графитом, который имеет промежуточные свойства между ВЧШГ и СЧ. Термическая обработка позволяет получить микроструктуру, которая позволит значительно улучшить механические и эксплуатационные свойства готового изделия.

На сегодняшний день стало возможным получение стабильных структур чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ) по форме и распределению графитных включений, что делает перспективным направление исследования структуры и свойств изотермически закаленных чугунов с вермикулярным графитом.

Несмотря на достаточную изученность структурообразования и технологий получения высокопрочных чугунов, образованию игольчатых структур, полученных изотермической закалкой уделено небольшое количество научных работ и экспериментальных исследований. Так же особую сложность при анализе представляет качественное разделение игольчатых структур (бейнита и мартенсита), связанное с их схожестью между собой.

В данной работе проведены исследования в области идентификации структур ЧВГ и ЧШГ, изотермически закалённых на нижний бейнит. Результаты работы показали, что для более точного и качественного разделения бейнита и мартенсита необходимо объединить метод микроструктурного анализа и метод измерения микротвердости. Суть метода заключается в сопоставлении результатов измерения микротвердости с участками микроструктур, на которых они были получены.

Термическую обработку проводили в муфельной печи SNOL_8,2/1000. Для измерения микротвердости применялся микротвердомер «Durimet». Цифровые изображения отпечатков получали с помощью светового микроскопа NEOPHOT-32 и программного обеспечения SI-AMS 800.

Ключевые слова: чугун с вермикулярным графитом, микротвердость, микроструктура.

DUCTILE IRON ROLLS FOR STEEL ROLLING MILLS, METALLURGY, TECHNOLOGY AND APPLICATIONS – THE EGYPTIAN EXPERIENCE OVER 30 YEARS

Adel Nofal

Central Metallurgical Research and Development Institute, 11421, Helwan, Cairo, Egypt

e-mail: adelnofal@hotmail.com

Rolls are the most important means of hot- and cold forming bulk products in the ferrous and non-ferrous industries. The annual consumption of the Egyptian steel rolling mills is approaching 10,000 tons of rolls, an equal amount may be estimated for the other countries in the region. The rate at which rolls deteriorate in service has a significant impact on the quality and cost of a rolled product. The production technology of ductile iron rolls is rather sophisticated as contradictory properties have to be achieved in different parts of the same roll, which dictates rather strict metallurgical control on roll casting process. Roll production is, therefore, restricted to few foundries all over the world.

This paper reports the history of ductile iron rolls production in five Egyptian foundries since 1987 based on a technology developed at CMRDI. First, factors affecting roll performance and roll life are explained, together with the metallurgical demands on roll materials, required to combat with severe operating condition, to which rolls are subjected e.g. abrasion, thermal effects as well as mechanical stresses. The roll performance is correlated to the microstructure of ductile iron roll material. Examples of chemical composition of roll materials used to cast different categories of rolls; e.g. definite chill, indefinite chill and grain rolls are suggested. Casting techniques currently used to cast bi-metal rolls, such as double-poured and centrifugally cast rolls are explained. A case is elaborated which explains how the unique challenge of casting a double – poured 4-tons roll from one induction melting furnace in a small foundry was faced.

The competitiveness of locally produced rolls was maximized through either: Lowering the production cost through the use of locally available low- cost raw material such as DRI or shortening the machining times of rolls by optimizing the machining practice and tools. Performance improvement through development of novel casting processes such as double-pouring or development of new casting alloy such as modified Ni-hard with spheroidal graphite. Different projects aiming at realizing these objectives at CMRDI are outlined. Finally, the prospects and future of ductile iron rolls production in Egypt and the Arab world are discussed. Such a strategic product as rolls, without which no steel industry would be able to exist, should not rely completely on import.

This report explains how the spare capacities in the Egyptian foundries and machining shops can cover the total needs of the Egyptian steel rolling mills from high quality rolls.

This presentation is not intended to be of benefit for only foundrymen planning to start ductile iron rolls production. The last part of the presentation contains illustrated comprehensive failure analysis defects that may be encountered during the rolling operations such as different types of spalls, fire cracks, mechanical damage and neck breakage, surface and subsurface defects, surface condition in rolling, ... etc. These information could be of great importance for the rolling engineers in their attempt to identify and diagnose those defects. Moreover, a novel logical approach is explained where failures related to roll-production practices (casting, heat treatment and machining) could be distinguished from those related to roll usage in the rolling mills. Such approach may be of great value when disputes arise between roll manufactures and roll users.

Keywords: ductile iron rolls, metallurgy, technology, applications

ГРАФИТИЗИРУЮЩЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЧУГУНА УГЛЕРОД-КАРБИДКРЕМНИЕВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Анатолий Дмитриевич Подольчук

ООО «НПФ АМИОС», 107558, г. Москва, ул. Б. Черкизовская, д. 24А, стр. 1, эт. 2, оф. 215

e-mail: amus@inbox.ru

Графитизирующее модифицирование чугуна осуществляется как в конце плавки, так и при выпуске чугуна из печи в ковш. В качестве модификатора используют комплексную смесь из углерод-карбидкремниевых материалов в количестве 0,15-0,5% от массы расплава чугуна.

Введение в расплав модификатора в количестве 0,15-0,5% от массы расплава формирует в расплаве мелкозернистую структуру чугуна без свободного цементита, значительно снижает отбел серых чугунов, снижает склонность к образованию цементита высокопрочных чугунов, повышает графитизирующую способность чугуна и «живучесть» модифицирующего эффекта, повышает механические свойства отливок и при этом снижает расход модификатора и себестоимость внепечной обработки чугуна.

Графитизирующее модифицирование обеспечивается принципиально различным влиянием технологии модифицирования комплексными смесями из углерод-карбидкремниевых материалов на образование зародышей графита и центров графитизации в расплаве в сравнении с известными технологиями модифицирования модификаторами на основе ферросплавов.

Модификаторы на основе ферросилиция расплавляются в расплаве железа. При этом углерод в процессе модифицирования возникает только из расплава.

Карбид кремния (SiC), входящий в состав комплексной смеси, в расплаве железа не плавится, а медленно растворяется. В течение длительного промежутка времени образуется элементарный графит, который консервируется образующимися вокруг растворяющихся частиц SiC зонами, насыщенными кремнием (Si) и углеродом (C). Из-за этого возникает локальное скопление заэвтектических концентраций углерода в расплаве, максимально способствующих образованию зародышей графита. При этом в карбид кремния (SiC) входит углерод (C), который, высвобождаясь при растворении SiC, совместно с входящим в состав комплексных смесей углеродом графита, значительно увеличивает количество элементарного графита и повышает «консервирующий» эффект, повышая «живучесть» модифицирующего эффекта.

Ключевые слова: чугун, модифицирование, карбид кремния металлургический, углерод-карбидкремниевые смеси, зародыши графита, живучесть модифицирующего эффекта.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СВОЙСТВ ЧУГУНА С ПОМОЩЬЮ АСТРАЛЕНОВ

Алексей Геннадьевич Панов^{1,2}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия

²Ярославский государственный технический университет, 150023, Россия, г. Ярославль, проспект Московский 88, Россия

e-mail: panov.ag@mail.ru

Чугун – самый сложный литейный сплав, его структура, свойства и технология их получения в литых изделиях постоянно развиваются. Уже более ста лет для придания заданных структуры и свойств в том или ином виде применяют модифицирование расплавов различными веществами, прежде всего, для управления морфологией графита в чугуне.

В последние десятилетия, в период наиболее быстрого развития наноматериалов и нанотехнологий, эта тема коснулась и чугунов. Кроме прочего, известны попытки воздействия на структуру и свойства чугуна наноразмерными углеродными сферо(мяче)образными частицами фуллеренами, однако которые не дали заметных практических результатов. Вместе с тем, относительно недавно была открыта и разработана очередная наноразмерная торообразная форма существования углерода – астралены, которые, как оказалось, обладают некоторыми преимуществами по отношению к фуллеренам, в частности, они являются химически и энергетически более стойкими. Была выдвинута гипотеза о том, что такие свойства астраленов при их модифицирующем введении в чугуновый расплав позволят как минимум дольше сохраняться и при затвердевании отливок оказывать влияние на кристаллизацию чугуна.

Для проверки гипотезы провели первый эксперимент с учётом имеющихся экспериментальных возможностей. Астралены для экспериментов предоставлены разработчиком этого материала Пономарёвым А.Н. Астралены в виде смеси с карбонатитным гомогенизирующим модификатором (15% астраленов + 85% L-CAST[®]10) вводили в чугуновый расплав индукционной плавки в промежуточный ковш ёмкостью 160 кг при заполнении ковша в количестве 0,075% в пересчёте на астралены. Обработанный таким образом чугун разливали центробежным способом для изготовления отливок «Гильза блока цилиндра». При заливке гильз стандартная технология предусматривала графитизирующее модифицирование материалом Si-Extra[®] (~ 0,7%) в разливочном ковшике порции расплава 13 кг. В эксперименте опробовали следующие варианты графитизирующего модифицирования – 0, ½, 1 и 1½ порции модификатора.

Основные результаты эксперимента:

– Графитизация со стандартным графитизирующим модифицированием состоялась даже на пробе для спектрального анализа химического состава, заливаемой в медный кокиль, причём весьма однородно, от одной поверхности пробы до другой.

– Графитизация состоялась на всех гильзах, даже без графитизирующего модификатора, при этом при последовательном увеличении доли графитизирующего модификатора изменение формы и распределения графита менялось незначительно, подрастала доля графита, а механические свойства практически не менялись.

– В структуре всех гильз обнаружен графит, который, строго говоря, не подходит под однозначное описание эталонов ГОСТ 3443 как по форме, так и по распределению. В структуре, несмотря на достаточно высокое содержание серы в расплаве (~ 0,07%), обнаружен компактный графит, с отрастающими от него пластинами.

Ключевые слова: чугун, модифицирование, астралены, свойства

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУГУНА ЧН15Д7 – КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА Н-1002Б

Фарид Исхакович Муратаев, Ираида Владимировна Васильева
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева, 420111, Россия, г. Казань, К. Маркса 10,
e-mail: fmurataev@bk.ru

Цель работы – Определение причин повреждения колес центробежных погружных насосов Н-1002Б, обеспечивающих: напор 80м, расход 475м³/час в режиме эксплуатации 1482 об/мин. Чугун аналога EN-GJL-250 альтернатива в РФ – легированный ЧН15Д7.

В составе выявлено несоответствие – превышение содержания серы относительно требований ГОСТ 7769-82 на 16%. Это может способствовать образованию горячих трещин и недостаточной стойкости металла к растрескиванию при эксплуатации.

Металлографическим анализом образцов №№ 1-4 металла поврежденных колес насосов установлен характер развития трещин отливки в эксплуатации. Их берега раскрыты, они практически не ветвятся, кончики острые, развиваются через участки расположения неметаллических включений, все разрушения хрупкие. Упомянутые признаки типичны растрескиванию металла при высоких напряжениях. Во всех случаях отмечается дендритное строение чугуна, что указывает на отсутствие термической обработки и с большой вероятностью на высокий уровень технологических напряжений.

Многочисленными иллюстрациями структура образцов чугуна №№ 1-4 и металла отливки в исходном состоянии (№5) представлена: аустенитом, пластинчатым графитом, ледебуритом, тройной мелкозернистой фосфидной эвтектикой (ФЭЗ), тройной игольчатой фосфидной эвтектикой (ФЭ4) и цементитом (при большом увеличении). Эталоны шкалы браковочной структуры отливок чугуна ГОСТ 3443-87 состояние исследованного может быть представлена выражением: ФЭЗ - ФЭ4 – ФЭд250 – ФЭп6000 – Ц4 – Цп2000. Дефекты строения металла, возникают из-за высокой скорости его охлаждения при литье. Качество таких отливок существенно ухудшается в связи с охрупчиванием металла при наличии значительных, по величине и отрицательному влиянию на работоспособность, остаточных напряжений. Обнаруженный факт высокой концентрации упомянутых вредных вторичных фаз (цементита и тройной фосфидной эвтектики ФЭЗ, ФЭ4 и др.) вдоль берегов трещин отбеленного чугуна ЧН15Д7 в образцах №№ 1-4 и в большей степени в исходной отливке (образец № 5) указывают, что упомянутые браковочные составляющие структуры служат очагами образования трещин и развития разрушения чугуна. Основной причиной инцидента является не деградация металла в эксплуатации, а дефекты структуры и высокие технологические напряжения.

Ключевые слова: легированный чугун, браковочные признаки структуры, разрушение.

СОДЕРЖАНИЕ

Дибров И.А. Перспективы развития литейного производства России	5
Панов А.Г. Основные направления развития производства, науки и технологий модифицирования чугуна	6
Давыдов С.В. Диаграмма состояния сплавов системы Fe-карбид ϵ -Fe ₂ C	7
Сидоров В.Е. Управление процессом формирования фазовых составляющих в сплавах Fe – 4% C и Fe – 4 % C – 1,5 % Si при равновесной и неравновесной кристаллизации	8
Сидоров В.Е., Сон Л.Д. Электронно-чувствительные свойства и эффект примесного взаимодействия в сплавах Fe-C при высоких температурах	9
Сон Л.Д., Сидоров В.Е. Локальный порядок в расплавах железо-углерод	10
Макаренко К.В., Сазонов В.О. Повышение эффективности модифицирования низкосеристых серых чугунов	11
Покровский А.И. Развитие представлений о структурообразовании высокопрочных чугунов при литье и пластической деформации	12
Гарченко А.А., Коровин В.А., Леушин И.О., Маслов К.А., Шевяков В.Ф. Модифицирование и микролегирование чугуна для изложниц	14
Чайкин А.В., Семенов В.И. Модель формирования аустенитной и графитной фазы под воздействием Si + C модификатора при затвердевании серого чугуна	15
Кузнецов А.А. Карбонаты бария и стронция – эффективный инструмент в технологии генной инженерии литых сплавов	16
Шишкин А.М., Панов А.Г., Дегтярева Н.Г. Влияние технологических факторов на ковкость литого булата	17
Adel Nofal The Golden Jubilee of cast iron research at CMRDI. Fundamental research work on the structure formation of cast iron alloys	18
Adel Nofal The Golden Jubilee of cast iron research at CMRDI. Unconventional melting techniques, designed for Egyptian foundries	19
Adel Nofal The Golden Jubilee of cast iron research at CMRDI. Development of novel casting alloy	20
Каляскин А.В., Кулаков Б.А., Токарев А.А., Бакин И.В. Применение иттрия при получении отливок из чугуна с вермикулярным графитом	21
Галимов Р.М. Опыт разработки конструкций, технологий и производства ответственных отливок из чугуна с вермикулярным графитом	22
Иванова В.А., Панов А.Г. Стандартизация модификаторов расплавов	23
Сивкова Т.А., Иванова В.А., Панов А.Г., Дегтярева Н.Г. Метод идентификации форм графитовых включений в чугунах	24
Покровский А.И. Новые методики более эффективного выявления микроструктуры чугуна	25

Ламмерт В., Кёлле Д. Прямое влияние футеровки индукционных печей на качество чугуна	26
Adel Nofal ADI – the material revolution and its novel metallurgical advances and application at CMRDI.....	27
Панов А.Г., Гуртовой Д.А., Шаехова И.Ф., Закиров Э.С., Гимазетдинова Ч.А., Соченко Т.В., Закиев М.В. Исследования Казанского Федерального Университета в области бейнитных чугунов	29
Покровский А.И. Концепция создания экономно-легированных аусферритных (бейнитных) высокопрочных чугунов	30
Волочко А.Т., Ковалько М.С., Королев С.П. Формирование аусферритной матрицы в экономно легированных чугунах при изотермической закалке с использованием сжатого воздуха.....	31
Гуртовой Д.А., Панов А.Г., Шаехова И.Ф. Состояние и перспективы изотермической закалки чугуна с вермикулярным графитом	32
Шаехова И.Ф., Панов А.Г., Гимазетдинова Ч.А. О влиянии теплофизических свойств высокопрочного чугуна на технологию изотермической закалки	33
Гимазетдинова Ч.А., Шаехова И.Ф., Панов А.Г., Соченко Т.В. Разработка методики контроля структур изотермически закаленного высокопрочного чугуна с вермикулярным и шаровидным графитом	34
Adel Nofal Ductile iron rolls for steel rolling mills, metallurgy, technology and applications – the Egyptian experience over 30 years.....	35
Подольчук А.Д. Графитизирующее модифицирование чугуна углерод-карбидкремниевыми материалами.....	36
Панов А.Г. О возможности повышения свойств чугуна с помощью астраленов.....	37
Муратаев Ф.И., Васильева И.В. Металлографическое исследование чугуна ЧН15Д7 – колеса центробежного насоса Н-1002Б.....	38

ООО «Полимет» является производителем и дистрибьютером материалов и оборудования для литейного производства и металлургии с 1991 года.

Инженерно-технические решения в области литья и металлургии от аудита до запуска.

Собственное производство технологических смазок, противопригарных покрытий, связующих систем, разделительных составов по марками Ставрол, Ставролан, Ставроформ, Ставрокат.

Основные направления компании:

- Материалы для литейного производства и металлургии
- Инжиниринговые консультации по технологиям, материалам, оборудованию
- Проектирование производственных участков литейных производств, в том числе с подбором необходимого оборудования
- Собственное производство технологических смазок, противопригарных покрытий, связующих систем, разделительных составов под марками Ставрол, Ставролан, Ставроформ, Ставрокат
- Собственное производство лабораторного оборудования, а также вибростолов для ЛГМ
- Материалы для механообрабатывающих производств
- Антипригарные покрытия для сварки



помогаем литейщикам и металлургам

www.stavrol.ru
polimet@stavrol.ru
(8482) 42-94-57



ПРОЕКТНО-
ИНЖИНИРИНГОВАЯ
КОМПАНИЯ

**ООО "Проектно-инжиниринговая
компания"**

**420061 г. Казань ул. Николая Ершова
д.29, помещение 1120,1106**

ИНН/КПП 7729711005/166001001

ОГРН 1127746401750

Тел: +7 (843)204-75-05

Эл. почта: info@pecrus.com

ООО «Проектно-инжиниринговая компания» – это производственная площадка с современными технологиями и оборудованием в области литейного производства.

Продукция компании - сложные единичные изделия (отливки из черных и цветных сплавов), изделия малых и средних серий, изделий для опытно-экспериментальных работ при проведении НИОКР, ОКР.

ООО «Проектно-инжиниринговая компания» обеспечивает полный цикл производства – от разработки продукции до ее изготовления.

Проектно-конструкторские работы выполняются с применением современного программного обеспечения: SIEMENS, PLM NX 10; НПО МКМ.

Персонал предприятия – квалифицированные специалисты, имеющие опыт работы в области решения различных инженерных задач, проектирования деталей и отливок, литейной технологии и литейной оснастки.

Плавка ведется в индукционных печах ИСТ0,16, ИСТ0,4.

Основные марки сплавов:

– из алюминия: АК5М, АК7ч, АК7пч, АК8М3ч, АК9ч, АК12, АМ4,5Кд, АМг6, ВАЛ14 и другие по ГОСТ 1583-93;

– чугуны СЧ, ВЧ, ЧВГ, ЧХ, ЧН15Д7 и другие по ГОСТ 7293-85, легированные чугуны по спецификации заказчика;

– стали 20Л – 45Л, 30ГСЛ, 35ХМЛ, 20ХМЛ, 20Х13Л, 12Х18Н10Т и других по ГОСТ 977-88.

Формы изготавливаются по технологии ХТС. Освоены формы, изготавливаемые на 3D принтере SMAX методом селективного отверждения песчаной смеси.

Лаборатория осуществляет все необходимые виды контроля (твердость, механические свойства, микроструктура, ЛЮМ).

Основные характеристики отливок:

– минимальная масса отливки - 0,1 кг.;

– максимальная масса отливки - 100 кг. (алюминий), 400 кг. (сталь), 600 кг. (чугун);

– минимальная толщина стенки отливки - 3 мм.

– Геометрическая точность размеров отливок соответствует ЛТ5 - ЛТ7 СТО 1.41154-86 или 8-12 класс точности по ГОСТ 53464-2009 (26645-85).

Сертификаты и лицензии:

– Сертификат ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и ГОСТ РВ 0015-002-2012;

– Лицензия Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (на осуществление разработки, производства, испытания и ремонта авиационной техники)

– Лицензия Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (на осуществление разработки, производства, испытания, установки, монтажа, технического обслуживания, ремонта утилизации и реализации вооружения и военной техники)



АО "Центр цифровых технологий"
420034, РТ, г.Казань, а/я 210
ИНН/КПП 1661042795 /166101001
ОГРН 1141690092367
Тел: +7 (843)204-75-05

Эл. почта: info@kcdt.ru

Центр Цифровых Технологий – это современная производственная площадка с новейшим технологическим оборудованием и программным обеспечением в области инжиниринга/реверсивного инжиниринга и промышленного литья. В основу производства положен законченный технологический цикл изготовления литейной продукции – отливки из широкой номенклатуры сплавов. Основная задача – изготовление функциональных прототипов изделий, т.е. опытных или единичных образцов продукции с соответствующими техническими и эксплуатационными характеристиками.

Для предприятий-заказчиков – это возможность сократить затраты на производство образцов и их испытания; снижение технологических и экономических рисков; сопровождение проекта с разработки и анализа до воплощения его в жизнь.

Оборудование:

– ATOS III Triple Scan обеспечивает высокое качество и хорошую плотность данных и оснащена двумя 8 мегапиксельными камерами. Система быстро перенастраивается для оцифровки как крупногабаритных, так и мелкогабаритных объектов, точность оцифровки которых может достигать 2 микрон (0,002 мм);

– GE vtomex с 450 – рентгеновский томограф, использующий трубку с рабочим напряжением до 450 кВ для получения 3D моделей просвечиваемых изделий. Образец, помещенный в кабину томографа, вращается на 360 градусов и непрерывно просвечивается рентген-излучением, воспринимаемым детектором. Изображения, полученные на детекторе, реконструируются в 3D модель встроенным программным обеспечением. Томограф оснащен двумя детекторами: плоским (для сканирования алюминия, магния, пластика, небольших стальных деталей и др) и линейным (для сканирования массивных стальных деталей и сборочных единиц).

– Промышленный 3D принтер ExOne S-MAX предназначен для высокоскоростной печати песчаных литейных форм. В качестве материала используется кварцевый песок и фурановая смола. Основные характеристики: максимальные габариты печати – 1800x1000x700 мм, толщина слоя - 0,28 мм, время печати полного бункера - 22 часа, твердость получаемой формы - 9,5 ед, усилие на разрыв формы - 1,26 Мпа.

– Литейное производство:

– Печи плавильные ИСТ0,4; печи термические с выкатным подом; дробеметная установка; лаборатория формовочных материалов, металлографическая лаборатория; обрубной участок и др.

МОДИФИКАТОРЫ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ КАРБОНАТОВ ЦЗМ

ЗАО «МТП» более 20 лет производит модификаторы **БСК-2**, **L-CAST®** и раскислительную смесь **БАРС** на основе собственного минерального сырья с целью повышения качества и снижения себестоимости литья.



Улучшение микроструктуры

Экономичный и технологически простой способ измельчения и гомогенизации расплавов и структуры литой заготовки.



Повышение жидкотекучести сплава

Перспективный способ повышения жидкотекучести, который позволяет рафинировать расплав и влиять на его поверхностное натяжение



Рафинирование и дегазация

Разработаны технологии применения модификаторов в комплексе позволяющих качественно раскислять и рафинировать металл. Влияние на качество и форму НВ неметаллических включений. Удаление растворенных в расплаве газов. Снижение дефектов по газовой пористости.



Износостойкость

Способ повышения стойкости деталей дробильного оборудования на 10-20% при минимальных затратах, за счет рафинирования, раскисления и гомогенизации расплавов, измельчение зерна, снижение содержания карбидов и очистке межзернового пространства.



Хладостойкость

Применение модификаторов позволяет повысить хладостойкость деталей 10-15% при минимальных затратах.

Контакты: 664007, Россия, Иркутская обл., г. Иркутск, а/я 106,
Тел./факс: 8 (3952) 53-50-40 Тел.: 8 (3952) 54-61-20
E-mail: mtpzao@gmail.com, bsk2@yandex.ru
Web: www.mtpg.ru

npp@npp.ru
+7 (351) 210 37 37
www.npp.ru



МОДИФИЦИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ ЧУГУНА И СТАЛИ

СЛОЖНОЕ ПРОСТО

С 1996 года НПП Технология — одно из ведущих российских предприятий по производству модификаторов, порошковой проволоки и разработке технологии модифицирования расплавов чугуна и стали.

- | Графитизирующие модификаторы
- | Сфероидизирующие модификаторы
- | Модификаторы для чугуна с вермикулярным графитом
- | Модификаторы для износостойких чугунов
- | Модификаторы для стали
- | Лигатуры
- | Литые вставки
- | Комплексный раскислитель шлака
- | Рафинирующие материалы
- | Порошковая проволока





**ООО «Ульяновский Завод
точного литья»
432072, Россия, Ульяновская область,
г. Ульяновск, пр-т. Антонова, д. 1, кор. 31
ИНН/КПП 7328088785/732801001
ОГРН 1167325058350
Тел: +7 8422 54 45 12
Эл. почта: info@ulztl.ru**

ООО «Ульяновский завод точного литья» является литейным предприятием, относящимся к субъектам МСП, производящим фасонные литые заготовки из чугуна и стали различных марок.

Объём выпуска продукции за 2021 год составил – 1 240 тонн.

Максимальная производственная мощность предприятия – до 2 500 тонн литых заготовок в год.

Основные технологии формовки:

- Литьё в песчаные формы (ХТС)
- Литье по газифицированным моделям (ЛГМ)
- Центробежное литье на горизонтальных и вертикальных машинах.

Основные марки материалов литых заготовок:

- Основная специализация производства – высокопрочные чугуны с шаровидным графитом.
- Также чугун СЧ20; СЧ15 и стали 35Л; 20Л.

Основные виды производимой продукции:

- Производство комплектующих тормозных систем коммерческого транспорта.
- Производство защитной арматуры питающей сети погружных насосов для нефтедобычи.
- Производство корпусов колесных редукторов, коробок отбора мощности, раздаток.
- Производство комплектующих подвижного состава рельсового транспорта и т.п.

Великая поэзия нашего века – это **наука** с удивительным расцветом своих открытий, своим завоеванием материи, окрыляющая человека, чтоб удесятерить его деятельность. (Э.Золя)

Наука есть ясное познание истины, просвещение разума, непорочное увеселение жизни, похвала юности, старости подпора, строительница градов, полков, крепость успеха в несчастии, в счастии украшение, везде верный и безотлучный спутник. (М.В. Ломоносов)

Науки и искусства – слава народа, они увеличивают его счастье. (К.А. Гельвеций)

Наука имеет чрезвычайно осязательную, так сказать, хлебную важность.
(К.Э. Циолковский)

Нужно изучать, чтобы **знать**, знать, чтобы понимать, понимать, чтобы судить.
(Е.П. Блаватская)

Границ **научному познанию** и предсказанию предвидеть невозможно. (Д.И. Менделеев)

Культура, или почитание Света, зиждется на краеугольных камнях красоты и **знания**.
(Н.К. Рерих)

Истинное устремление к красоте приведет нас к пониманию высшей красоты законов, управляющих Вселенной, выраженных в Совершенном **Разуме** и Совершенном **Сердце**.
(Е.И. Рерих)

Каждый, кто серьезно занимается **наукой**, убеждается в том, что в законах природы присутствует некий дух, и этот дух выше человека. По этой причине занятия **наукой** приводят человека к религии. (А. Эйнштейн)



Знак триединности оказался раскинутым по всему миру. Теперь объясняют его разное – одни говорят, что это прошлое, настоящее и будущее, объединенные кольцом вечности. Для других ближе пояснение, что это религия, **знание** и искусство в кольце культуры. (Знамя Мира, 1995)

Научное издание

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА

**Тезисы докладов
Международной научно-технической конференции**

Набережные Челны, 25–26 октября 2022 г.

Редактор
Г.Ф. Таипова

Компьютерная верстка
А.А. Фахуртдинова

Подписано в печать 05.09.2022.
Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Формат 60×84 1/8. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 2,47. Тираж 300 экз. Заказ 1730-489

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре
Набережночелнинского института
Казанского (Приволжского) федерального университета

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru