

На правах рукописи



Предеин Валерий Викторович

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК ИЗ
ТЕРМИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АЛЮМОТЕРМИИ

Специальность 05.16.04 – Литейное производство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Комсомольск-на-Амуре

2017

Работа выполнена в лабораториях Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМиМ ДВО РАН), г. Комсомольск-на-Амуре.

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент **Комаров Олег Николаевич** (г. Комсомольск-на-Амуре, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник)

Научный консультант:

доктор технических наук, доцент **Сапченко Игорь Георгиевич** (г. Комсомольск-на-Амуре, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук, заместитель директора по научной работе)

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Чернышов Евгений Александрович** (г. Нижний Новгород, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, профессор кафедры “Металлургические технологии и оборудование”)

кандидат технических наук, **Гостищев Виктор Владимирович** (г. Хабаровск, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории “Конструкционные и инструментальные материалы”)

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тихоокеанский государственный университет (г. Хабаровск)

Защита состоится “ 08 ” февраля 2017 г. в 09:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.092.07 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования Комсомольском-на-Амуре государственном университете, по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим высылать в адрес диссертационного совета университета.

Автореферат разослан “ ____ ” _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук



А.Л. Григорьева

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Основной целью заготовительного производства является обеспечение машиностроения дешевыми, качественными и конкурентоспособными литейными изделиями. В литейном производстве причинами высокой себестоимости являются: несовершенство методов питания на стадии затвердевания отливок в форме (низкий коэффициент использования металла и низкий выход годного металла); брак литья; безвозвратные потери металла на угар в процессе подготовки жидкого металла. Применение термитных шихт в литейном производстве, в основном, ограничивается модифицированием расплава и организацией питания отливок путем дополнительного обогрева прибыльной зоны.

Накопление техногенных отходов металлургических и машиностроительных предприятий обуславливает актуальность разработки и внедрения технологий переработки окалины, стружки цветных и черных металлов. Таким образом, приоритетной задачей в металлургии, литейном и кузнечно-штамповочном производствах является разработка технологии, применение которой позволит одновременно решить комплекс проблем: значительно сократить количество металлоотходов, снизить выход в атмосферу производственных помещений газов, образующихся при расплавлении металла, обеспечить высокоэффективную и экономически прибыльную переработку, а также полезное использование побочных продуктов производства.

Перспективным является применение технологий, позволяющих сократить долю металла, получаемого традиционным переплавом лома в общем объеме литого металлоизделия. Эффект может быть достигнут за счет использования в объеме литого изделия доли металла, восстановленного посредством термитного переплава из отходов металлургических и машиностроительных предприятий, что одновременно решает проблему их утилизации.

В настоящее время возможность получения из отходов металлургических и машиностроительных предприятий сортовых марок термитных сплавов с одновременным формированием готовых отливок с требуемыми свойствами изучена незначительно, поэтому процесс осуществляется в малых объемах. В основу разрабатываемого технологического процесса положена экзотермическая окислительно-восстановительная реакция, в ходе которой происходит восстановление железа из металлоотходов с получением сортовой термитной стали. Исходной шихтой для получения термитного металла и изделий из нее служит термитная композиция, представляющая собой смесь порошка алюминия, окалины, а также наполнителя. В качестве наполнителей могут быть использованы различные ферроматериалы для доведения сплава по химическому составу, соответствующему получаемой марке. Сокращение технологических операций, применяемых при получении отливок с использованием термитных смесей, а также определение факторов влияния на свойства получаемого металла является важной практической задачей решаемой в настоящей работе. Совершенствование технологий получения термитного металла и металлоизделий из него позволит обеспечить комплексное решение проблемы утилизации и переработки отходов предприятий, способствующее значительному снижению себестоимости литья.

Актуальность работы подтверждается тем, что исследования проводились в рамках планов НИР РАН, предусмотренных «Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008 – 2012 и 2013 - 2020 годы»; по грантам Президиума ДВО РАН (2009 – 2015 г.г.) № 10-III-B-03-043 «Исследование процесса формирования структур термитных сплавов», № 11-III-B-03-042 «Исследование процесса перехода химических элементов в системе металл-шлак при алюмотермитном

получении металла», № 12-III-B-03-027 «Исследование влияния углерода на восстановление элементов термитной шихты и физико-механические свойства термитных сталей», № 13-III-B-03-023 «Исследование фазовых переходов в экзотермических процессах получения стали алюмотермией», № 14-III-B-03-047 «Термохимическая активность окислителя и ее роль в процессах высокотемпературного синтеза расплава при формировании физико-механических свойств металлоизделий», № 14-III-B-03-048 «Термодинамические особенности формирования физико-механических свойств отливок из алюмотермитных сталей», 15-II-4-016 «Параметры фазовых переходов компонентов термитных смесей в экзотермических процессах получения расплава».

Степень разработанности темы исследований.

Технологии с использованием термитных смесей применяются в металлургии, сварочном и литейном производствах. В России и за рубежом разработано значительное количество термитных составов и способов их применения. Термитные композиции состояются в зависимости от назначения и различаются теплотворной способностью, скоростью горения, температурой, которые определяют свойства фаз, образующихся в результате экзотермической реакции. Термитные смеси используют для резки металла, сварки, наплавки, снятия термических напряжений в сварных швах, для получения металлов, модификаторов, защиты поверхности металла, инициирования процесса электрошлакового переплава, легирования и модифицирования расплава, спекания изделий. В литейном производстве термитные смеси используют при изготовлении форм и стержней, модифицировании расплавов, питании и получении отливок. Значительный вклад в научные представления о процессах прохождения экзотермических реакций, получения сплавов и отливок внесли отечественные и зарубежные ученые Новохацкий В.А., Жуков В.В., Кулаков Б.А., Жигуц Ю.Ю., Справник В.И., Выгоднер Л.Ф., Амосов А.П., Швецов В.И., Алов В.А. Cisek A., Barbeli M., Calistru C., Haseneyer J., Йосимацу С., Dlouhi M. и др.

Недостаточно изученным остается вопрос получения качественных отливок с требуемой конфигурацией без литейных дефектов целиком из железоуглеродистых сплавов, образованных из термитных смесей. В работах Сапченко И.Г., Комарова О.Н., Жилина С.Г. предлагается использовать графитовые тигли для алюмотермического переплава термитных смесей, состоящих из металлоотходов, с последующей заливкой полученного расплава в литейную графитовую форму. Однако в работах указанных авторов не изучено влияние графитовых тиглей и форм при изменяющихся факторах на содержание углерода в получаемых литых заготовках, а также их свойства. Использование графитовых тиглей для осуществления экзотермических реакций применяется преимущественно для восстановления оксидов цветных металлов и синтеза интерметаллидов. Но высокие температуры реакции и ее продуктов (более 2500°C) определяют выбор именно этих материалов огнеупорных тиглей и форм.

Недостаточно проработанными остаются способы контроля реальных температур расплавов в тигле перед разливкой. Сложность измерения температур приводит к необходимости проведения экспериментов без их контроля в тигле при соблюдении прочих равных параметров, что затрудняет возможность управления их химическим составом, структурой и свойствами. Свойства получаемых отливок не привязываются к температурам реакции и разливки, а фактически констатируются при исследовании образцов. Управление свойствами получаемых продуктов реакций осуществляется изменением параметров экзотермической реакции, которое сводится, в основном, к изменению соотношения компонентов в шихтовых составах.

Отмеченное выше формирует направление исследований, которое позволяет установить влияние графитовых тиглей и форм на насыщение экспериментальных спла-

вов углеродом в зависимости от состава термитных композиций при отдельном получении расплава в тигле, его выдержке и заливке в форму. Также необходимо выявить совокупное влияние температур системы «тигель - шихта» перед инициацией экзотермической реакции и формы перед заливкой на структуру и свойства металла готового продукта в виде отливок, полностью полученных из термитных смесей, которые состоят из металлоотходов предприятий. Нагрев тигля с шихтой перед активизацией экзотермической реакции в определенном диапазоне температур может позволить регулировать температуру расплава, его химический состав и количество образующихся фаз. Нагрев формы перед заливкой в определенном диапазоне температур, предположительно, позволит регулировать кристаллизационные процессы и скорость охлаждения отливки. Нагрев тигля с шихтой и формы может обеспечить возможность получения литых заготовок из определенных марок сталей с требуемой структурой и свойствами, в том числе без применения термообработки.

Цель диссертационной работы:

- исследование и разработка ресурсосберегающей технологии получения стальных отливок из термитных шихтовых материалов на основе оксидных соединений железа с использованием алюмотермитного метода, а также применение ее непосредственно в производственном процессе получения отливок из термитных материалов.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- анализ существующих методов получения литых металлоизделий с применением термитных материалов;
- расчет и оценка термодинамических параметров экзотермических реакций, протекающих в термитных смесях и влияющих на химический состав отливок, полученных из исследуемого металла;
- исследование поведения применяемых материалов при предварительном термическом воздействии и выявление, исходя из их свойств, допустимых температур нагрева шихты и форм перед осуществлением экзотермического процесса;
- установление влияния количества восстановителя на массовый выход термитного металла и его химический состав;
- выявление влияния температуры подогрева термитной шихты на химический состав и выход получаемой металлической фазы;
- установление влияния вводимых в термитные композиции железосодержащих наполнителей на выход металла и его химический состав;
- выявление закономерностей влияния температурных режимов нагрева шихты и формы на химический состав получаемого термитного металла;
- установление влияния используемой огнеупорной оснастки на насыщение металла углеродом;
- исследование структур образцов из термитного металла, получаемого в углеродные формы;
- определение параметров физико-механических свойств образцов из экспериментальных сплавов;
- установление влияния геометрических параметров углеродных форм на свойства получаемых образцов из термитного металла;
- исследование распределения химических элементов в получаемых литых заготовках из термитных расплавов;
- проведение испытаний технологии получения отливок из термитных сплавов при установленных температурных режимах процесса.

Все задачи решаются с учетом того, что: термическое воздействие на шихту и

форму производится непосредственно перед инициацией экзотермической реакции; отсутствует контроль температур заливаемого в форму металла, учитываются при этом только начальные температурные параметры форм и шихты, а также температуры поверхностей тигля и формы, а получаемые образцы из термитных сплавов не подвергаются дальнейшей термообработке.

Методы исследований. При проведении исследований использовались как известные методики, так и новые, а также специально изготовленное оборудование, оснастка и материалы. К числу известных методик относятся методы определения структурных, химических, физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств термитных смесей, форм, получаемого металла и отливок. К новым методикам относятся: способ получения фракций восстановителя, способ получения специальных форм, способ для получения литых образцов, способ определения влияния геометрических параметров форм на свойства термитного металла и получаемых отливок.

Экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики с помощью пакетов прикладных программ “Microsoft Excel”, “Statistica”.

Все использованные в работе физические величины, приведены к единицам Международной системы СИ или единицам, применяемым наравне с единицами СИ. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Научная новизна работы:

- установлена зависимость содержания углерода в получаемых экспериментальных сплавах от диапазона содержания восстановителей №1 и №2 в составе термитных смесей в количестве 15-30% при использовании огнеупорной углеродной оснастки;
- определена закономерность влияния количества железосодержащих наполнителей до 6,5% в составе термитных шихт с 22% восстановителя №1 на содержание углерода в экспериментальных сплавах;
- установлена связь температур предварительного нагрева термитных композиций с 25% восстановителя №1 в диапазоне температур 25-600°C на содержание углерода в экспериментальных сплавах;
- определены зависимости изменения содержания химических элементов, таких как C, Mn, Si, Ni, Cr, Cu, S, P, Al в экспериментальных сплавах, получаемых при изменении температур шихты и формы в диапазоне 25-400°C при использовании термитных композиций, предназначенных для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ 977-88 и применяемой углеродной оснастке;
- установлено влияние диапазона начальных температур углеродной формы и термитной шихты 25-400°C на формирование литых структур заготовок, полученных в результате окислительно-восстановительной реакции, протекающей в термитных смесях, предназначенных для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ 977-88;
- определены зависимости физико-механических свойств отливок, полученных экспериментальным методом, при изменении температур шихты и формы в диапазоне 25-400°C с применением термитных композиций, предназначенных для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ 977-88 и использовании углеродной оснастки;
- выявлено влияние геометрических параметров углеродных форм на структуру и свойства получаемого сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ, согласно ГОСТ 977-88;
- теоретически обоснован выбор диапазона начальных температур шихты и формы 25-400°C на основе проведенных термогравиметрического и дифференциально-

термического анализом исходных шихтовых материалов.

Изобретательская новизна по теме работы подтверждается патентом РФ на изобретение №2551336 «Способ получения стали», опубл. 20.05.2015, патентом РФ на изобретение № 2372164 «Литейная форма с термитной прибылью», опубл. 10.11.2009 и патентом РФ на изобретение №2425153 «Устройство для получения стали», опубл. 27.07.2011.

Положения, выносимые на защиту:

- закономерности влияния химического состава исходных шихтовых материалов и их соотношения в термитных композициях на химический состав получаемых экспериментальных сплавов, выход металлической фазы и соответствие ее по химическому составу существующим маркам сплавов согласно действующих ГОСТ;
- связь температурных параметров формы и термитной шихты с особенностями формирования химического состава и структурных составляющих получаемого металла, а также с его физико-механическими свойствами;
- технологический процесс получения термитных отливок из термитного сплава по химическому составу, соответствующему стали 20ДХЛ по ГОСТ 977-88, особенности процесса и параметры, влияющие на качество и свойства литья;
- результаты опытного опробования получения отливок разной металлоемкости из термитных смесей при рекомендуемых температурных параметрах осуществления технологического процесса.

Практическая значимость работы:

- разработаны технологические рекомендации по обеспечению начальных температурных параметров шихты и формы, применяемых непосредственно перед инициированием реакции и операцией заливки для управления свойствами термитного металла и получаемого литья;
- отработана технология получения качественных отливок типа «Крестовина» и «Конус» из экспериментальных сплавов методом алюмотермии;
- определены особенности использования сплавов, полученных методом алюмотермии в качестве шихтовых материалов для последующего индукционного переплава и получения отливок;
- установлена эффективность разработанной технологии при опытных испытаниях на предприятиях ООО «Амуртермит», ООО «Строительный Альянс», ЗАО «Огнеупор» и ОАО «Амурметалл». Результаты разработки внедрены и успешно используются в научно-исследовательских работах ИМиМ ДВО РАН для получения отливок различного назначения с прогнозируемыми структурами и эксплуатационными свойствами.

Степень достоверности.

Достоверность и обоснованность результатов научных исследований обеспечены применением комплекса известных современных методик, аттестованных измерительных приборов и установок, современных методов обработки экспериментальных данных, а также их большим объемом и соответствием результатам исследований других авторов. Выводы, сделанные в диссертации, не противоречат современным научным представлениям и опираются на передовые достижения и классические постулаты химии, физической химии, теплотехники, механики, термодинамики, металлургии, материаловедения.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: расширенных заседаниях ученого совета Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре, 2007-2017 гг.; международных научно-практических конференциях «Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование», г.

Санкт-Петербург, 2008-2009 г.г.; всероссийской конференции молодых ученых и специалистов “Будущее машиностроения России”, г. Москва, 2009, 2016 г.; XXVIII Российской школе по проблемам науки и технологий, г. Екатеринбург, 2009 г.; первой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов “Исследования и перспективные разработки в машиностроении”, г. Комсомольск-на-Амуре, 2010 г.; научно-технической конференции “Проблемы и перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР”, г. Екатеринбург, 2011 г.; Международной научно-технической конференции “Инновационные материалы и технологии: достижения, проблемы, решения”, г. Комсомольск-на-Амуре, 2013 г.; Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием “Инновации в материаловедении”, г. Москва, 2013 г.; VIII Российской научно-технической конференции “Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций”, г. Екатеринбург, 2014 г.; I и II Дальневосточной школе-семинаре “Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций”, г. Владивосток, 2014 г., г. Комсомольск-на-Амуре, 2017 г.; VI Международной конференции “Деформация и разрушение материалов и наноматериалов” г. Москва, 2015 г.; и др.

Личный вклад автора. Непосредственно при участии автора, совместно с руководителем, осуществлена постановка проблемы, определен круг задач экспериментальных и теоретических исследований, а также разработана общая концепция работы. Автор лично принимал участие в оформлении печатных работ и подготовке докладов на мероприятиях различного уровня, внося значительный вклад в апробацию работы. Представленные результаты исследований с последующим их обобщением, анализом, обработкой и интерпретацией выполнены автором самостоятельно, а также в соавторстве с сотрудниками ИМиМ ДВО РАН.

Автор выражает глубокую признательность сотрудникам ИМиМ ДВО РАН чл.-корр. РАН А.А. Буренину, к.т.н. С.Г. Жилину, к.т.н. А.А. Соснину, Е.Е. Абашкину, А.В. Попову, отдельным сотрудникам ЗАО “Огнеупор”, ОАО “Амурметалл”, ООО “Строительный Альянс” за помощь, консультации и поддержку, оказанную при выполнении исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы. Автор благодарит д.т.н. И.Г. Сапченко, обозначившего на начальном этапе работы направление проводимых исследований. Отдельную искреннюю благодарность автор выражает д.т.н., профессору А.И. Евстигнееву и д.т.н., профессору Ри Хосену за интерес и внимание, проявленное к данной диссертационной работе.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 23 печатные работы, в том числе 7 входящих в перечень изданий рекомендованных ВАК РФ, получено 3 патента.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов по работе, списка использованной литературы, приложений. Диссертация изложена на 269 страницах машинописного текста, содержит 97 рисунков, 30 таблиц, список использованной литературы из 199 наименований, 12 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена цель и задачи исследований, сформулирована научная новизна, основные положения, выносимые на защиту и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрено состояние вопроса о технологиях применения термитных материалов в различных отраслях народного хозяйства, используемых для улучшения технико-экономических показателей и эффективности производства путем

внедрения в традиционные технологические циклы отходов машиностроительных и металлургических предприятий, а также методы управления структурой и свойствами отливок при существующих технологиях литья.

Анализ показал, что при применении термитных смесей в литейном производстве основное внимание уделялось разработке методов и составов экзотермических композиций, направленных на снижение себестоимости и увеличения качества литья, как цветного, так и черного, посредством обогрева прибыльных частей форм, а также получением отливок целиком из термитных смесей. Существующие технологии, как правило, ограничены для применения в условиях производства, так как методы управления структурой и свойствами получаемого литья изучены недостаточно глубоко.

Методы управления структурой и свойствами отливок, получаемых по традиционным технологиям, различаются по принципам действия: тепловые, физико-химические, механические, термомеханические, химико-термические и воздействия различных физических полей. Различное сочетание этих методов позволяет регулировать структуру и свойства отливок, а сочетание с технологией термитной переработки отходов машиностроительных и металлургических предприятий позволяет получить требуемую структуру и свойства металла литья со значительно меньшими временными и материальными затратами.

Основное влияние на свойства стального литья оказывают химический состав и термодинамические параметры, как в процессе получения отливки, так и при использовании различных режимов термической обработки.

Приведен мировой опыт работы связанный с управлением структурой и свойствами металлов, в том числе и с экзотермическими процессами и составами.

Во второй главе приведены описания объектов исследований и методик проведения экспериментов, постановка экспериментов и объектов исследований, этапы достижения поставленной цели и задач. Исследования проводились на экспериментальной базе в лабораториях ИМиМ ДВО РАН, ОАО “Амурметалл”, ЗАО “Огнеупор”, ООО “Амуртермит”, ООО “Строительный Альянс”.

В качестве исходных материалов для получения термитных отливок использовались термитные смеси с содержанием порошков алюминия и окислы с добавлением наполнителей для регулирования его химического состава, таких как: порошок ферромарганца ФМн78(А) по ГОСТ 4755-91, фракция 0-0,4 мм; порошок феррохрома ФХ025А по ГОСТ 4757-91, фракция 0-1 мм; крупка стальная марки СтЗсп по ГОСТ 380-2005, фракция 1-3 мм; крупка медная марки М1 по ГОСТ 859-2001, фракция 1-3 мм; порошок графитированных электродов ЭГ15 по ТУ 14-139-177-2003, фракция 0-0,063 мм. В таблице 1 приведен химический состав исходных компонентов для составления железоалюминиевого термита.

Таблица 1.

Химический состав основных исходных компонентов термитных смесей

Материал	Основные химические элементы, %												
	O ₂	Zn	C	Si	Mn	Fe	S	P	Al	Ni	Mg	Cr	Cu
Восстановитель №1 (фр. 0,2-1,5мм)	-	-	-	0,855	0,019	0,462	-	-	98,62	0,004	-	0,016	0,018
Восстановитель №2 (фр. 0,2-1,5мм)	-	2,961	-	1,097	0,304	0,166	-	-	89,44	0,008	3,917	0,062	2,040
Железная окалина (фр. 0,2-1,5мм)	22,63	-	0,150	2,960	1,188	71,50	0,030	0,030	0,697	0,188	-	0,173	0,444

В исходных материалах проводился контроль химического и фракционного состава, их термогравиметрический и дифференциально-термический анализ. Термитные смеси компоновались с различным соотношением наполнителей, окалины и восстановителя; также применялись восстановители с разным химическим составом.

Определялся химический состав получаемых сплавов и его соответствие существующим маркам сталей с корректировкой состава композиций для получения металла, требуемого химического состава, например: для получения стали 20ДХЛ по ГОСТ 977-88.

В качестве огнеупорного материала для форм и тиглей во всех проводимых исследованиях использовался электродный графит.

Изготовление отливок экспериментальным способом осуществляется отдельным получением расплава продуктов экзотермической реакции в огнеупорном тигле, выдержкой в нем для разделения металла и шлака с последующей заливкой формы требуемой конфигурации. Инициация экзотермической реакции в тигле осуществляется поджигом порции смеси порошков алюминия и окалины фракции менее 0,1 мм на поверхности основной смеси. Реакция начинается на поверхности термитной смеси, последовательно распространяясь на весь объем, по общей формуле для всех оксидов железа: $2mAl + 3Fe_nO_m = mAl_2O_3 + 3nFe$ (1). Интенсификация процесса осуществляется нагревом тигля с шихтой в интервале температур 25-400 °С, пассивация осуществляется введением в шихту указанных выше добавок.

Важным технологическим параметром термитных технологий является массовый выход термитного металла, определение которого осуществлялось в зависимости от содержания восстановителя в смеси и температуры ее подогрева.

Исследованию подвергалось совокупное влияние температурных режимов шихты и формы (25-400 °С) на формирование структуры, физико-механических свойств металла отливок, полученных из термитных смесей.

Определение физико-механических, химических и структурных свойств металла отливок проводилось на отливках типа “Цилиндр”, полученных из всех экспериментальных сплавов при использовании термитных композиций с разным соотношением окалины, восстановителя и наполнителей, в том числе соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ 977-88.

Для перехода от экспериментальных образцов к практическому получению отливок определялось влияние геометрических параметров форм (отношение высоты полости формы к ее диаметру) на свойства получаемых отливок. Для этого изготовлено специальное оборудование и оснастка.

Осуществлялось получение литых заготовок типа “Конус” и “Крестовина”, определялись особенности получения стального литья и влияние технологических параметров на его качество. Отливки типа “Конус” получали как из металла, образующегося в результате экзотермической реакции, так и после его переплава в индукционных агрегатах. Проводилось сравнение структуры, химического состава и физико-механических свойств исследуемых отливок.

Третья глава посвящена теоретическому определению влияния температуры исходной термитной шихты на температуру продуктов реакции и химический состав получаемых литых заготовок. По данным литературного анализа эффективность получения термитной стали зависит от химического состава компонентов термитной шихты, точности их дозировки и качества предварительной подготовки, теплофизических условий процесса, качества огнеупорных материалов. Эти условия влияют на перераспределение элементов между образующимися фазами и соответствие свойств отливок заданным требованиям.

На основании термогравиметрического и дифференциально-термического анализов исходных шихтовых материалов установлен диапазон температур предварительного подогрева термитных смесей и оснастки 25-400 °С, при которых происходит большая часть превращений в компонентах термитных составов. При этом не меняется стехиометрическое соотношение комплекса оксидов железа и восстановителя, углеродная оснастка работает не на критических температурах, согласно графиков ДТА система “тигель – термитная смесь” обладает минимальной потенциальной энергией. В условиях производства неизменность стехиометрического соотношения имеет большое значение, так как контролировать его трудно.

Химический состав получаемого металла формируется введением в исходную шихту модификаторов, лигатур, карбонизаторов, снижающих температуру реакции, что может привести к неполному прохождению реакции и браку литья. Нижний допустимый предел температуры расплава 2100 °С обусловлен температурой плавления наиболее тугоплавкого компонента шлака Al_2O_3 около 2050 °С.

Определено положительное влияние предварительного подогрева термитных смесей на эффективность протекания реакций восстановления, регулирования соотношения компонентов в композициях и выхода годного металла.

Нагрев огнеупорной оснастки влияет на химический состав термитного металла и позволяет сократить долю восстановителя в составе шихты. При увеличении температуры с 25 до 600 °С элементы окисляются, расплавляются, восстанавливаются, угают и распределяются в металлической, шлаковой и газовой фазах. В большинстве случаев равновесное содержание элементов в фазах не достигается. Расчетами установлено, что подогрев термитных композиций в интервале $T_{ш} = 25-600$ °С ведет к увеличению температуры расплава металла (рис.1).

Температура расплава металла в этом интервале увеличивается неравномерно. Интенсивность ее роста плавно снижается до температуры подогрева $T_{ш} = 600$ °С. Определены эффективные температуры подогрева термитных композиций в интервале 25-600 °С, способствующих максимальному приросту температуры продуктов реакции (рис.2). Выявлено, что предварительный нагрев термитных смесей с тиглем до 300 °С позволяет компенсировать наличие в составе окалины низших окислов железа (Fe_3O_4), а также неокисленного железа, обеспечивающих понижение теплового эффекта реакции и низкую активность восстановителя, доводя тепловой эффект реакции до параметров, характерных для смеси химически чистых веществ.

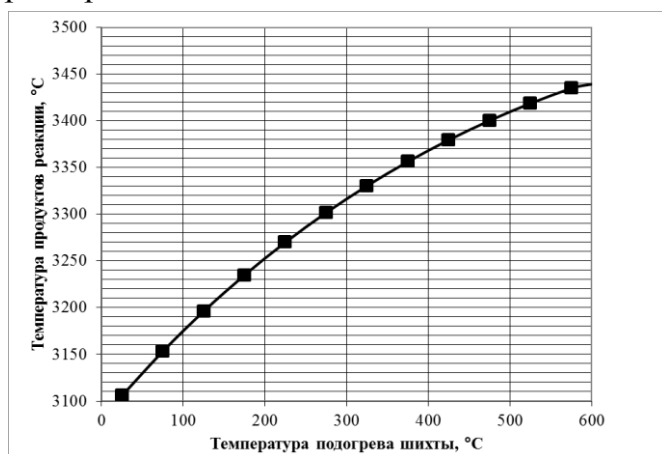


Рис. 1. Зависимость расчетной температуры продуктов реакции от начальной температуры шихты

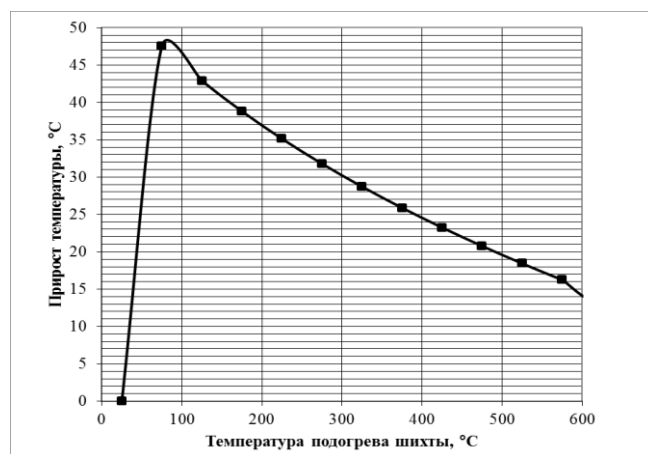


Рис. 2. Зависимость расчетного прироста температуры продуктов реакции от начальной температуры шихты

Теоретическими расчетами установлено влияние предварительного подогрева

(Т_ш) термитных композиций при получении расплава металла на тепловой эффект и температуру реакции. Определено поведение основных химических элементов (С, Fe, O, Mn, Si), входящих в состав термитных шихт, их распределение между шлаковой и металлической фазами в зависимости от их концентрации и температуры термохимического процесса; выявлены различия поведения химических элементов при традиционной плавке и экспериментальном методе.

Четвертая глава посвящена исследованию технологических особенностей получения отливок методом алюмотермии из железоуглеродистых сплавов при использовании углеродной оснастки, а также процессам получения жидкого термитного металла, исследованию его химических, физико-механических свойств и структуры в зависимости от температурных режимов и состава термитных композиций.

Определено влияние применяемых восстановителей на выход термитного металла, содержание в нем примесных элементов и остаточного алюминия. Выявлено, что увеличение восстановителя в термитных композициях без добавок в интервале от 15 до 30%, без предварительного нагрева смесей, приводит к увеличению выхода металлической фазы до 56,9% (рис. 3) при использовании восстановителя №1 и до 54% при использовании восстановителя №2. В сплавах, полученных алюмотермией, при избыточном содержании восстановителя в термитных композициях наблюдается повышенное содержание остаточного алюминия, который влияет на свойства получаемых заготовок. Выявлены пределы допустимого содержания восстановителей №1 и №2 в смесях. Так при содержании восстановителя в термитных композициях до 22% содержание остаточного алюминия в экспериментальных сплавах растет незначительно (до 0,078%) при использовании восстановителя №1 и (до 0,019%) при использовании восстановителя №2. Введение в смесь 23% восстановителя №1 и восстановителя №2 повышает содержание остаточного алюминия до 1,48% до 0,31%, соответственно. При содержании восстановителя в шихте 30% остаточный алюминий фактически составляет 7% (рис.4).

Установлены диапазоны содержания восстановителей №1 и №2 в смесях для получения заготовок без газовых дефектов. Установлено, что все образцы из экспериментальных сплавов не имеют ликвации примесных элементов по структуре. Равномерное распределение химических элементов в сплавах обеспечивается интенсивным взаимодействием компонентов термитных смесей в ходе экзотермической реакции, при котором осуществляется механическое перемешивание расплава и перенос компонентов из зон с высокой концентрацией в зоны с пониженным содержанием. Равномерность распределения элементов также определяется высокой температурой продуктов реакции после ее завершения во время выдержки металла перед заливкой в форму.

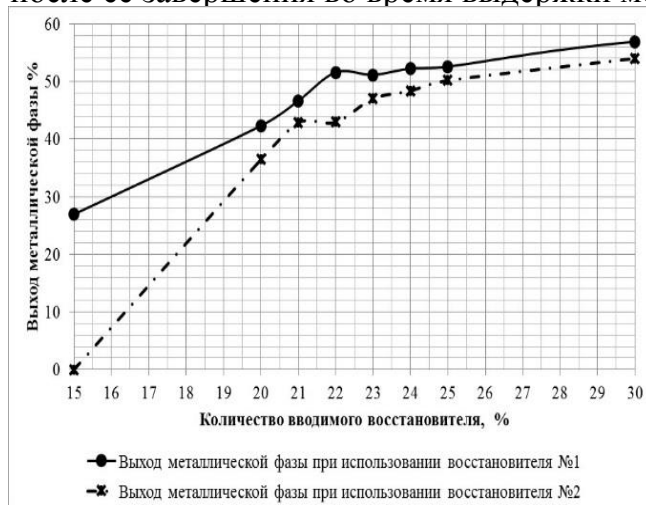


Рис. 3. Выход металлической фазы в зависимости от вида и содержания восстановителя в термитных смесях

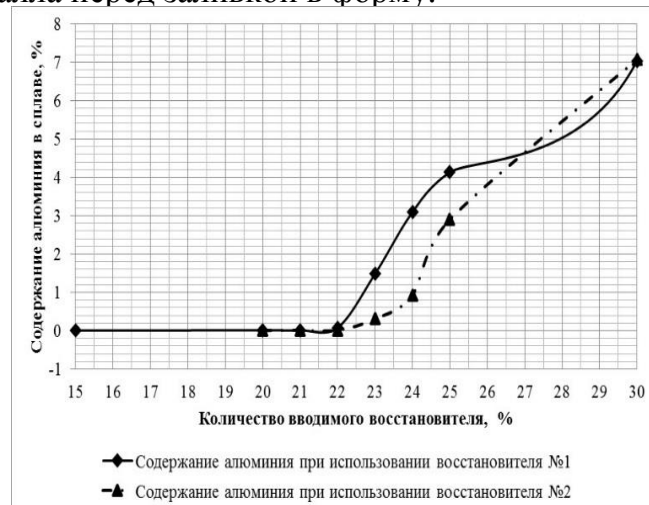


Рис. 4. Содержание алюминия в металле в зависимости от вида и содержания восстановителя в термитных смесях

Химический состав получаемой металлической фазы зависит от соотношения исходных компонентов термитных композиций и соответствует железоуглеродистым сплавам. При использовании восстановителей без введения в смесь других компонентов, корректирующих химический состав, образуется металлическая фаза, которая соответствует по химическому составу ряду сплавов согласно ГОСТ (например, сталям: А4 по ГОСТ 31334-2007, стали электротехнической марки 3311 по ГОСТ 21427.1-83). Возможно, ее применение в качестве основы для получения необходимых марок сплавов (например: стали 25Л по ГОСТ 977-88, У13 по ГОСТ 1435-74, 20ДХЛ по ГОСТ 977-88). Введение в термитную шихту ферросплавов и железосодержащих компонентов позволяет менять химический состав получаемых сплавов. Стальная крупка из сплава СтЗсп в составе шихты повышает выход термитного металла при использовании восстановителя №1 до 53,24%. Введение этого инертного наполнителя повышает выход до 4,3% его содержания в шихте. Его содержание в шихте до 6,5% снижает выход до значения 52,02%.

При использовании восстановителя №2 содержащего более 2% меди, экспериментальные сплавы содержат ее более 1%, что определяет применение данного расплава в качестве основы для получения литейных сплавов, по химическому составу соответствующих ГОСТам с высоким содержанием меди, например: 12ДН2ФЛ, 10Х14НДЛ, 20ДХЛ и т.д.

Прогноз содержания углерода в термитных сплавах наиболее сложен. При использовании углеродной оснастки его содержание может быть в десятки раз выше, чем в исходных материалах, так как получаемые продукты экзотермических реакций интенсивно вступают во взаимодействие с материалами форм и тиглей, насыщаясь углеродом. Однако при достаточно низких температурах продуктов реакций, обеспеченных введением в состав композиций инертных наполнителей, наблюдается пониженное содержание углерода. Так при использовании восстановителя №1 в количестве 22% без наполнителей содержание углерода в сплаве 1,99%, а при введении 6,5% наполнителей сверх массы термита наблюдается содержание углерода в расплаве 0,38%, что обеспечивает возможность получения сплава, соответствующего по химическому составу сталям А4 по ГОСТ 31334-2007 и SM по ГОСТ Р 50567-93, а при корректировке шихтового состава – сталям 35Л и 40Л по ГОСТ 977-88. Управляя температурными параметрами продуктов реакций, влияющими на скорости усвоения и окисления углерода, возможно получение требуемого содержания углерода в экспериментальных сплавах.

Определено, что предварительный нагрев термитных композиций в интервале 25-400°C перед экзотермической реакцией позволяет получать незначительное расхождение химических элементов в расплаве. В этом диапазоне экзотермические реакции управляемы, химический состав предсказуем. При таких температурах взаимодействие с огнеупорной оснасткой несущественно, срок эксплуатации оснастки повышается. При повышении температур подогрева шихтовых композиций до 600°C изменяются стехиометрические соотношения оксидов железа и алюминия в сторону избытка восстановителя. Максимальный выход металлической фазы 53,9% при температуре нагрева 200 °С, минимальный 41,3% - при 600°C.

Экспериментально определен шихтовый состав для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ (таблица 2), без предварительно нагрева шихты и формы. При его использовании с нагревом шихты и формы в интервале 25-400°C содержание углерода в сплавах существенно повышается, поэтому невозможно отнести данный металл к стали, определенной в ГОСТ (рис. 5). Содержание серы значительное практически по всем температурным режимам шихты и формы, превышает верхнюю границу допуска, указанную в ГОСТ (рис.6).

Таблица 2.

Состав шихты, применяемый для получения сплавов, соответствующих по химическому составу стали 20ДХЛ

Экспериментальный сплав	Состав шихты, %				
	Железная окалина	Восстановитель №2	Ферромарганец ФМн78(А) по ГОСТ 4755-91	Феррохром ФХ025А по ГОСТ 4757-91	Медь М1 по ГОСТ 859-2001
20ДХЛ	74,75	22,33	1,75	0,97	0,20

Исключениями являются режимы без подогрева шихты и формы и подогрев форм до 400°C. Остальные элементы соответствуют диапазонам их содержания в сталях по ГОСТ 977-88. Установлено, что только сплав, полученный при температурах шихты и формы 25/25°C, соответствует химическому составу стали 20ДХЛ. При других температурах шихты и формы требуется корректировка состава шихты.

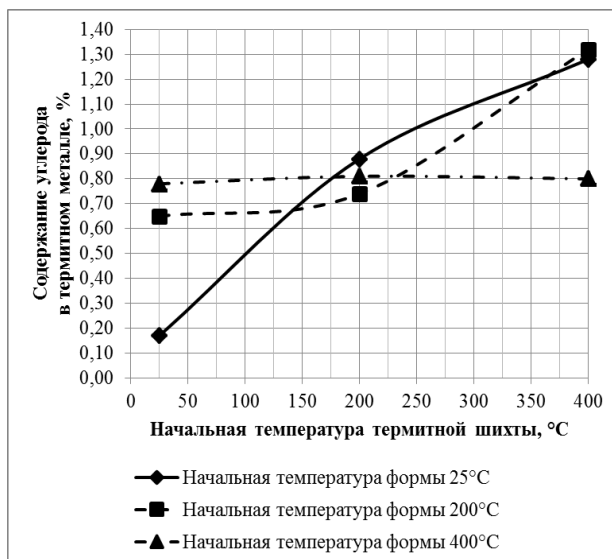


Рис. 5. Содержание углерода в экспериментальных сплавах в зависимости от температуры шихты и формы

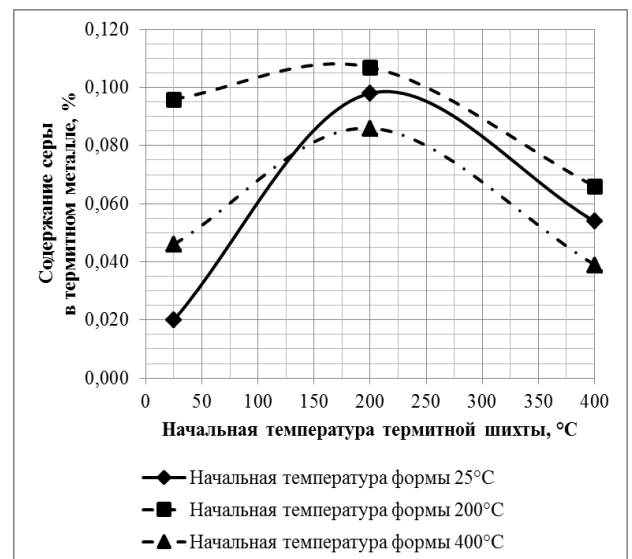


Рис. 6. Содержание серы в экспериментальных сплавах в зависимости от температуры шихты и формы

Исследование физико-механических свойств заготовок из сплавов с применением термитной композиции, предназначенной для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ, осуществлялось на образцах, полученных при следующих температурах шихты и формы, °C: 25/25; 25/200; 25/400; 200/25; 200/200; 200/400; 400/25; 400/200; 400/400. На рис. 7 представлена диаграмма растяжения образцов при температурных режимах шихты и формы, °C: 25/25; 25/200; 25/400. Характер разрушения аналогичен для большинства получаемых экспериментальных образцов. Все образцы имеют кристаллический излом с хрупким разрушением. Площадка текучести на диаграмме растяжения образцов отсутствует, что соответствует традиционным средне-, высокоуглеродистым сталям и прошедшим специальную термообработку. При испытании образцов, полученных при температурах шихты и формы 25/25 °C и 25/400°C, расхождение в значениях предела прочности и относительного удлинения не наблюдается и составляет 765 МПа и 4,1%, соответственно. Снижение данных показателей у образца, полученного, при температурах шихты и формы 25/200°C, до 477 МПа обусловлено наличием в сплаве высокого содержания серы 0,096%.

Зависимости предела прочности при растяжении и относительного удлинения экс-

периментальных образцов из шихтового состава, предназначенного для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ в зависимости от температурных параметров шихты и формы, приведены на рис. 8.

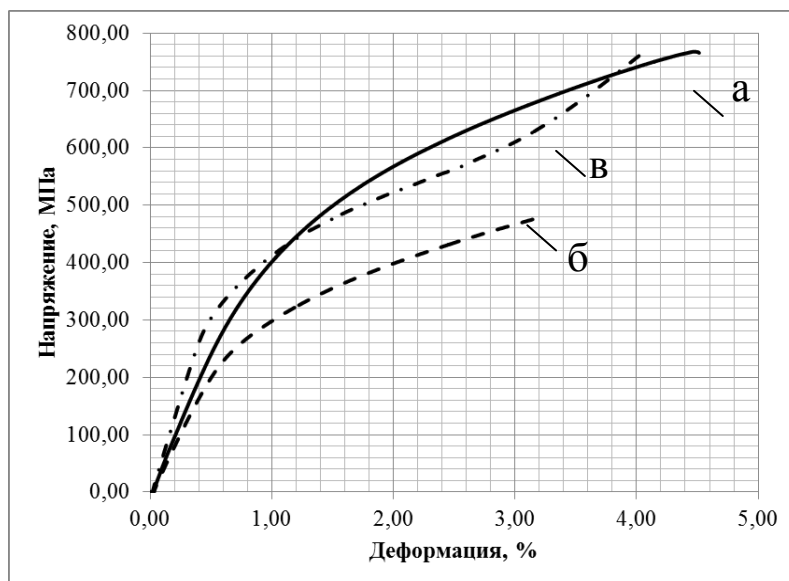
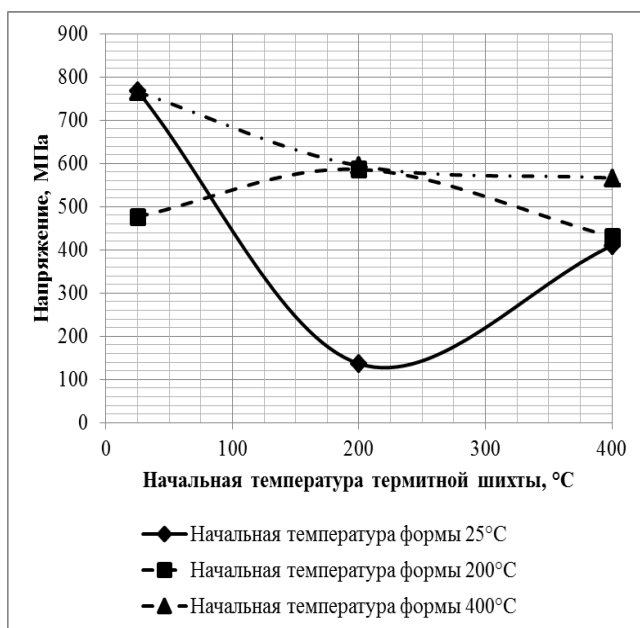
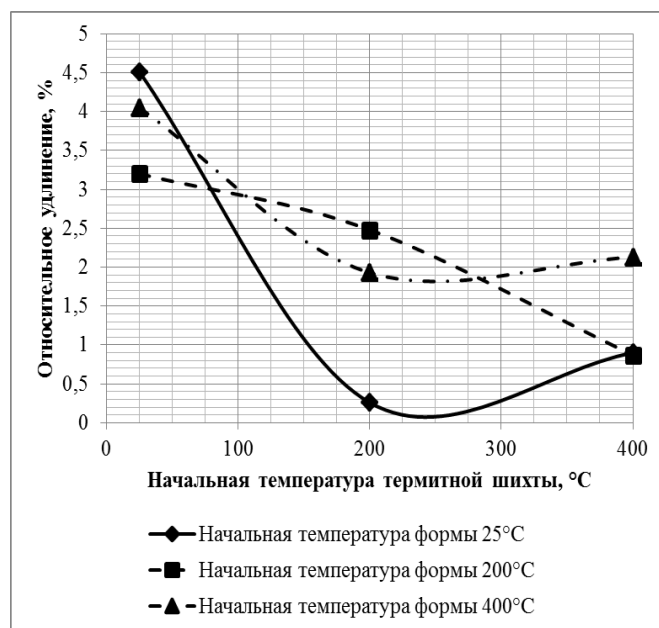


Рис. 7. Диаграммы растяжения экспериментальных сплавов, полученных из термитного состава, предназначенного для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ при разных температурных параметрах шихты и формы: а-25/25°C; б-25/200°C; в-25/400°C.



а.



б.

Рис. 8. Влияние температурных параметров шихты и формы на предел прочности при растяжении и относительное удлинение экспериментальных образцов, полученных с использованием термитного состава, предназначенного для сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ: а - изменение предела прочности при растяжении; б – относительное удлинение при растяжении.

Значения твердости, полученные по сечению образцов, расходятся несущественно. Это значит, что структурные составляющие в объеме заготовки в эксперименталь-

ных сплавах распределены равномерно. На рис. 9 представлена зависимость изменения значений твердости сплавов из шихтового состава, предназначенного для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ при меняющихся температурах шихты и формы.

Минимальной твердостью 28,2 HRC обладает образец, полученный без предварительного температурного воздействия на шихту и форму, соответствующий по химическому составу стали 20ДХЛ. Образцы, полученные из шихтового состава, предназначенного для сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ при температурах шихты и формы 200/25°C и 400/25°C имеют твердость 54 HRC и 52,6 HRC, соответственно.

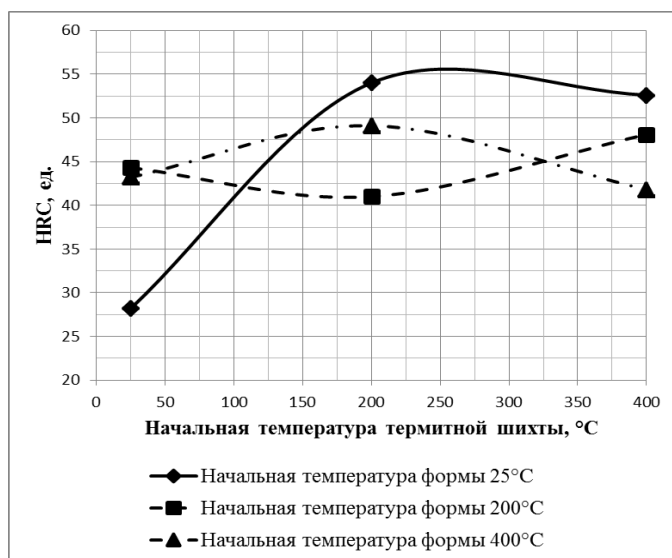
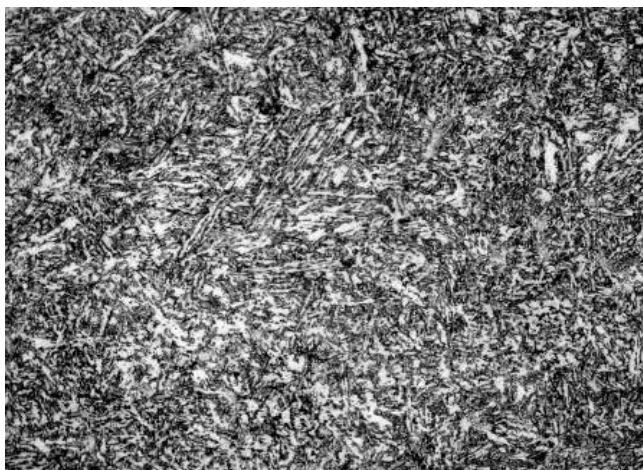


Рис. 9. Изменение твердости образцов, полученных из термитного состава, предназначенного для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ при разных температурах шихты и формы.

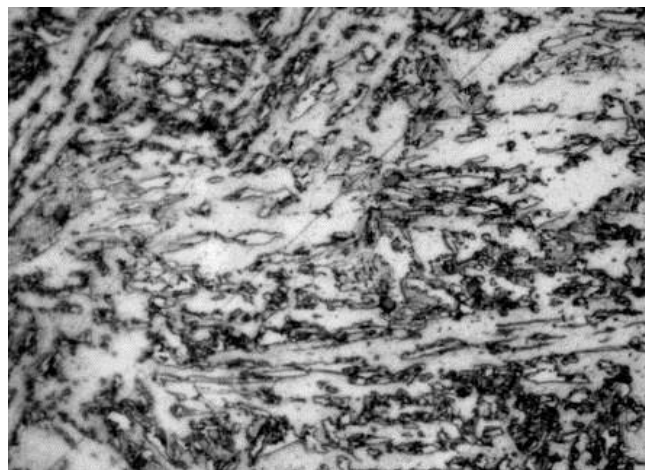
Опытные образцы, не прошедшие термообработку, превосходят по пределу прочности и твердости образцы полученной традиционным способом стали 20ДХЛ после термообработки. Относительное удлинение экспериментальных образцов меньше, чем у традиционной стали, что исправляется термообработкой.

Микроструктуры образцов соответствуют литому состоянию: в основном перлит, феррит, цементит, мартенсит. Структурные составляющие обусловлены химическим составом экспериментальных сплавов и режимами кристаллизации образцов. В ряде случаев образцы обладают удовлетворительными свойствами и не требуют дополнительной термообработки. На рис. 10 приведена микроструктура образца, полученного без предварительного нагрева шихты и формы.

Микроструктура преимущественно мартенсит (темная составляющая), с размером зерна до 8 балла по ГОСТ 8233-56. Феррит (светлая составляющая) расположен между выделяющихся игл мартенсита. Структура соответствует литому состоянию. Согласно исследованиям геометрические параметры формы оказывают влияние на свойства получаемых литых образцов: чем меньше отношение высоты полости формы к диаметру, тем меньше скорость охлаждения, тем менее структура напряжена, наблюдается рост зерна, улучшаются прочностные характеристики. На рис. 11 приведен излом образца из исследуемого сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ 977-88 при растяжении. Характер разрушения образцов хрупкий (рис. 12).



а. (x200)



б. (x1000)

Рис. 10. Микроструктура образца типа “Цилиндр”, полученного из термитного сплава, предназначенного для получения сплава, соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ без предварительного нагрева шихты и формы.



Рис. 11. Излом образцов из исследуемого сплава при растяжении

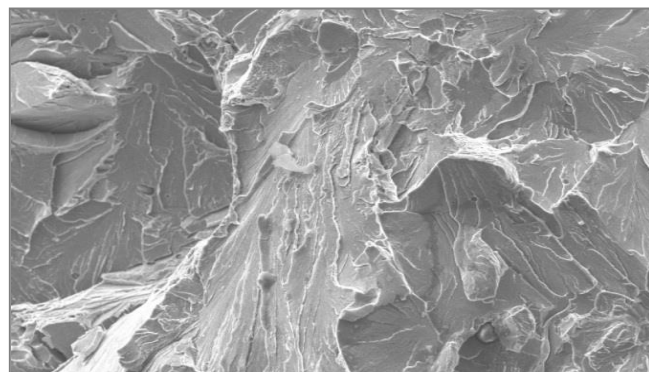


Рис. 12. Фрактограмма поверхности излома образца при растяжении

Пятая глава посвящена отработке технологии получения литья с использованием термитных композиций, позволяющей повысить эффективность переработки металлоотходов путем их использования в составе термитных шихт для нужд литейного производства, а также исследованию свойств металлов, получаемых по рассматриваемой технологии литых заготовок. Экспериментальная технология применялась для получения отливок типа “Конус” и “Крестовина”. При изготовлении отливок типа “Конус” металл, полученный алюмотермитным способом, дополнительно переплавлялся в индукционных агрегатах для определения влияния переплавных процессов на свойства получаемых литых заготовок.

Выбранный температурный режим шихты и формы (25°C) позволил обеспечить получение отливок типа “Крестовина” без газовой пористости, недоливов и непроливов. Металлический расплав заполнил поднутрения и полости формы, химические элементы по телу заготовки распределены равномерно (рис.13).

Повышение показателя твердости (до 28%) наблюдается у верха отливки в месте, сформированном последними порциями металла, имеющими более низкую температуру по сравнению с металлом начала заливки форм. Структура феррито-перлитная. По белым участкам феррита выделяются мартенситные иглы. Пластинчатый перлит локализован отдельными участками темного цвета.

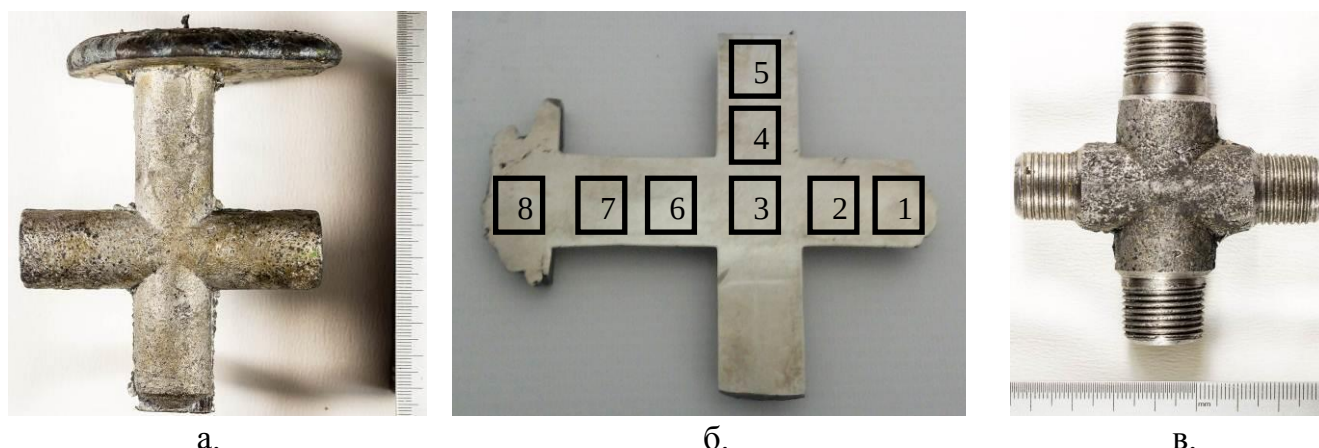


Рис. 13. Отливка типа “Крестовина”: а - отливка; б - продольное сечение отливки с указанием мест анализа химического состава и структуры; в - готовое изделие.

Гидравлические испытания крестовины на герметичность под давлением 10 атм. показали соответствие детали эксплуатационным требованиям, т.к. изготовленное по экспериментальной технологии изделие не имеет несплошностей, металл герметичный, нет потоков испытательной жидкости по телу детали.

Литые заготовки типа «Конус» предназначены для изготовления головок винтовых свай. При получении отливки применялся температурный режим: $T_{\text{ш}} = 25^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{ф}} = 200^{\circ}\text{C}$. Согласно проведенным исследованиям, указанный температурный режим шихты и формы, время выдержки металла перед разливкой 30 секунд и скорость разливки 1 кг/с, позволили обеспечить получение отливок без газовой пористости и недоливов, с равномерным распределением примесных элементов по телу заготовки и удовлетворительным качеством поверхности (рис. 14).

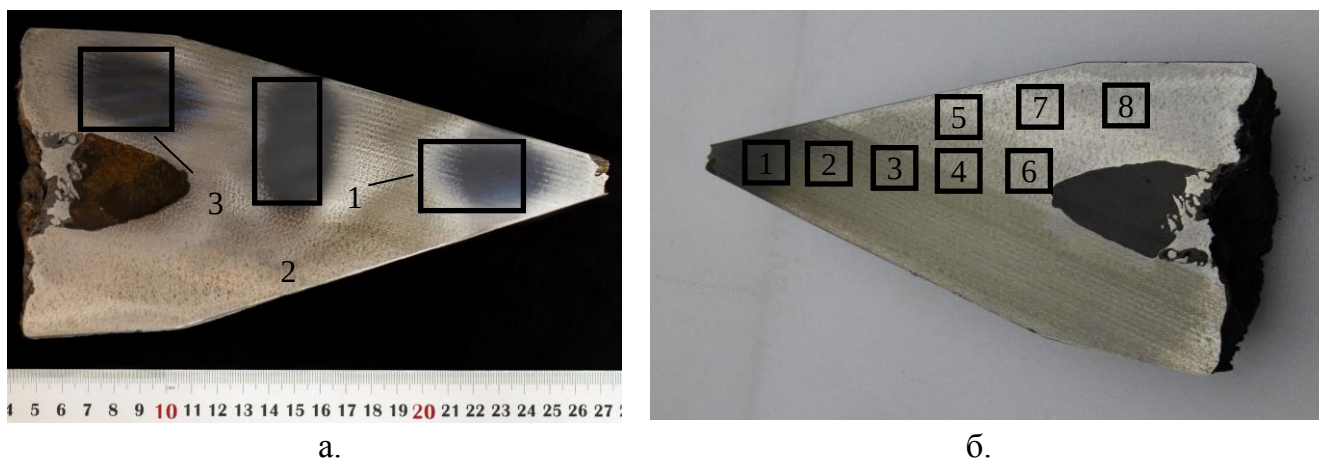


Рис. 14. Продольное сечение отливки типа “Конус” с указанием мест анализа структуры (а) и химического состава (б).

Твердость прогнозируемо снижается (до 6%) от зоны №1, имеющей самый незначительный размер, до наиболее массивной зоны №3 (рис. 14,а). Анализом распределения химических элементов существенных расхождений значений по объему отливки не установлено (рис. 14,б). Микроструктура заготовки по сечению состоит из мартенсита с матрицей феррито-перлитного состава различной дисперсности и фазы промежуточного превращения.

Отливки типа “Конус”, полученные после переплава экспериментальных заготовок в индукционных агрегатах, как и в первом случае, имеют схожую картину изменения параметров твердости со своими значениями (твердость ниже в контрольных точках в среднем на 14%), а также равномерности распределения химических элементов по сечению и содержания структурных составляющих. Содержание примесных элементов ниже, чем в исходных экспериментальных сплавах, так как часть элементов переходит в шлак вследствие их угара. Установлено, что переплавные процессы, проводимые с помощью традиционных плавильных агрегатов, позволяют получать менее напряженную структуру, с упорядоченным зерном, что влияет на физико-механические свойства заготовок.

После получения литой заготовки и проведения подготовительных мероприятий к ней приваривается лопасть для получения головки винтовой сваи. Данные изделия прошли опробование на предприятии ООО “Строительный Альянс” и показали свою пригодность для соответствующих видов работ.

На основании приведенных расчетов фактический экономический эффект от внедрения технологии глубокой переработки отходов машиностроительных предприятий с получением сортовой металлопродукции на Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения российской академии наук составил 7552 руб. на тонну выплавленного расплава.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующей производственной практики показывает, что область применения термитных смесей рассмотрена в литературе достаточно широко. Однако практически не изучены закономерности влияния температурных параметров процесса получения отливок из термитных сплавов на формирование их структуры и свойств.

2. Дифференциально-термическим и термогравиметрическим анализами установлен эффективный диапазон подогрева термитных композиций перед осуществлением экзотермического процесса получения расплавов, составляющий 25-400°C, определяемый сохранностью стехиометрического соотношения оксидов железа и восстановителя, устранением влаги и загрязнений, а также разложением гидроксидных соединений. Выше 400°C подогрев смесей не имеет смысла, так как он значительно интенсифицирует процесс протекания реакции и повышает температуру ее продуктов, что приводит к снижению стойкости углеродной оснастки, снижает выход металла и увеличивает безвозвратные потери материалов.

3. Определено, что увеличение содержания восстановителя в термитных композициях в диапазоне значений 15-30%, получаемых без предварительного нагрева смесей, приводит к увеличению выхода металлической фазы с 27 до 57% при использовании в смесях восстановителя №1 и до 54% при использовании восстановителя №2. Введение в термитную смесь, имеющую в своем составе 22 % восстановителя №1, железосодержащих наполнителей до 4,3% по массе позволяет увеличить выход термитного металла с 50,57% до 53,24%. Увеличение содержания этих наполнителей в термитной смеси до 5,6% и 6,5% снижает выход металлической фазы до 52,71% и 52,02 %, соответственно. При использовании смесей, имеющих в своем составе 25% восстановителя №1, и предварительном температурном воздействии на шихту в интервале температур 25-

200°C, наблюдается рост выхода металлической фазы с 52,8% до 53,9%. Дальнейший нагрев до 600°C приводит к снижению выхода сплава до 41,3%.

4. Установлено, что использование восстановителя №1 в диапазоне его содержания в термитных смесях 15-30%, обеспечивает содержание углерода в экспериментальных сплавах от 0,15% до 1,99%. Минимум углерода наблюдается при 15% содержания восстановителя, а максимум при 22%. Свыше 22% содержания восстановителя №1 в смесях концентрация углерода в сплавах снижается до 0,91%. Восстановитель №2 в диапазоне его содержания в смесях 20-30% обеспечивает рост содержания углерода в экспериментальных сплавах от 0,03% до 0,45%, с минимумом при 20% и максимумом при 30% содержания восстановителя;

5. Определено, что использование восстановителя №1 в диапазоне его содержания в термитных смесях 15-30%, обеспечивает содержание в экспериментальных сплавах: марганца 0,02-0,92%; кремния 0,06-0,75%; серы 0,013-0,028%; фосфора 0,015-0,025%; хрома 0,02-0,07%; никеля 0,1-0,17%; меди 0,14-0,28%. Остаточное содержание алюминия в получаемых сплавах в исследуемом диапазоне содержания восстановителя в термитных смесях с его повышением, возрастает с 0,009% до 7,04%. Применение восстановителя №2 в диапазоне его содержания в смесях 20-30% обеспечивает рост содержания остаточного алюминия в экспериментальных сплавах от 0,012% до 7,07%. При этом обеспечивается содержание: марганца 0,03-1,24%; кремния 0,03-0,79%; серы 0,023-0,06%; фосфора 0,012-0,03%; хрома 0,02-0,09%; никеля 0,08-0,12%; меди 1,07-1,55%. Верхним пределом содержания восстановителя №1 в термитной смеси можно считать 22%. Содержание остаточного алюминия в сплаве при этом 0,078%. Верхним пределом содержания восстановителя №2 можно считать 23%. Содержание остаточного алюминия в сплаве при этом 0,31%;

6. Установлено, что содержание восстановителя №1 в смеси 15% позволяет получать железоуглеродистые сплавы с суммарным содержанием примесных элементов не более 0,74%, не смотря на их содержание в исходных компонентах до 6,1%.

7. Определено, что введение железосодержащих наполнителей в состав термитных шихт до 6,5% обеспечивает непрерывное снижение содержания углерода в сплавах с 1,99% до 0,38% при использовании композиций содержащих 22% восстановителя №1;

8. Установлено, что использование восстановителя №1 в количестве 22% в термитных смесях при введении железосодержащих наполнителей от 0,1% до 6,5% обеспечивает содержание в экспериментальных сплавах марганца 0,23-0,32%, кремния 0,24-0,28%, серы 0,015-0,038%, фосфора 0,017-0,027%, хрома 0,05%, никеля 0,1-0,11%, меди 0,14-0,17%. Остаточное содержание алюминия в получаемых сплавах в исследуемом диапазоне содержания железосодержащих наполнителей в термитных смесях с повышением их количества, возрастает с 0,078% до 1,02%.

9. Выявлено, что снижение степени взаимодействия между углеродной оснасткой и получаемым железоуглеродистым расплавом возможно за счет использования восстановителей с низкой химической активностью, введения в состав смесей восстановителя в количестве, недостаточном для восстановления всех оксидов, введения в состав композиций инертных наполнителей, позволяющих снизить температурные параметры процесса и, соответственно, уменьшить содержание углерода.

10. Определено, что при использовании термитных составов на основе рассматриваемых материалов возможно получение сплавов соответствующих по химическим составам сталям, таким как сталь А4 по ГОСТ 31334-2007, сталь 3311 по ГОСТ 21427.1-83, сталь 20ДХЛ по ГОСТ 977-88, сталь У13 по ГОСТ 1435-74, сталь SM по ГОСТ Р 50567-93, сталям 25Л, 35Л, 40Л по ГОСТ 977-88.

11. Установлено, что повышение температуры предварительного нагрева в диапазоне 25-600°C термитных композиций с содержанием восстановителя №1 в количестве 25% при использовании углеродной оснастки, приводит к росту содержания углерода в экспериментальных сплавах с 1,45 до 1,66%. При этом подогрев термитных шихт до 200°C обеспечивает сокращение содержания углерода в сплавах до 1,32%;

12. Определено, что использование восстановителя №1 в количестве 25% в термитных смесях при повышении температуры предварительного нагрева в диапазоне 25-600°C термитных композиций обеспечивает содержание в экспериментальных сплавах марганца 0,62-0,91%, кремния 0,72-0,8%, серы 0,016-0,019%, фосфора 0,022-0,025%, хрома 0,06-0,07%, никеля 0,11-0,12%, меди 0,17-0,2%. Остаточное содержание алюминия в получаемых сплавах в исследуемом диапазоне температур нагрева термитных смесей, находится в интервале 4,04-5,29%.

13. Установлено, что влияние совместного подогрева шихты и формы в диапазоне 25-400°C при использовании термитных композиций предназначенных для получения сплавов соответствующих по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ977-88 и применяемой углеродной оснастке позволяет обеспечить содержание в экспериментальных сплавах углерода 0,17-1,32%, марганца 0,02-0,92%, кремния 0,06-0,75%, серы 0,013-0,028%, фосфора 0,015-0,025%, хрома 0,02-0,07%, никеля 0,1-0,17%, меди 0,14-0,28%, алюминия 0,17-1,07%. Получение сплава по химическому составу, соответствующему стали 20ДХЛ при использовании исследуемой термитной композиции возможно только при отсутствии начального температурного воздействия на оснастку, вследствие существенного изменения содержания углерода в сплавах.

14. Определено, что влияние совместного подогрева шихты и формы в диапазоне 25-400°C при использовании термитных композиций предназначенных для получения сплавов соответствующих по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ977-88 и применяемой углеродной оснастке позволяет обеспечить соответствие микроструктур получаемых образцов экспериментальных сплавов литому состоянию. В ряде случаев образцы обладают удовлетворительными свойствами и не требуют дополнительной термообработки. Равномерность распределения химических элементов по структуре и отсутствие ликваций характерно для всех экспериментальных образцов.

15. Получаемые образцы сплавов из термитных композиций предназначенных для получения металлов соответствующих по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ977-88 и применяемой углеродной оснастке в диапазоне совместного подогрева шихты и формы 25-400°C обладают твердостью, находящуюся в диапазоне 278-534 НВ, пределом прочности при растяжении 136-767,73 МПа и относительным удлинением 0,26-4,51%.

16. Установлено, что геометрия углеродной формы (соотношения высоты к диаметру полости формы) без термического воздействия оказывает существенное влияние на структуру и свойства получаемого термитного металла соответствующего по химическому составу стали 20ДХЛ по ГОСТ977-88. При отношении высот полостей форм к их диаметрам 2,5 и 12 предел прочности образцов достигает 980 и 470 МПа, а относительное удлинение 9,9 и 2,5%, соответственно. Изломы таких образцов характеризуются как хрупкие.

17. При практическом опробовании результатов исследований получены отливки типа “Крестовина” и “Конус” из термитных сплавов. Разработаны и отработаны технологические рекомендации по обеспечению начальных температурных параметров шихты и форм. При применении углеродной оснастки с использованием экспериментального метода установлена возможность получения литых заготовок без газовой пористости и других литейных дефектов. Определено, что отливки не имеют ликвации химических элементов по объему заготовки. При получении отливки типа “Крестовина” различие значений твердости по объему отливки составляет до 28%, при получении отливок типа “Конус” - до 6%.

18. Переплав экспериментальных сплавов в традиционных индукционных плавильных агрегатах улучшает структуру получаемых отливок. До 14% сокращаются показатели твердости, снижается содержание всех химических элементов в расплавах. При переплаве наблюдается повышенное шлакообразование. Это необходимо учитывать при формировании шихтовых материалов на основе термитных металлов.

19. Свою работоспособность разработанная технология показала при опытных испытаниях на предприятиях ООО «Амуртермит», ЗАО «Огнеупор», ООО “Строительный Альянс” и ОАО «Амурметалл». Результаты разработки внедрены и успешно ис-

пользуются в научно-исследовательских работах ИМиМ ДВО РАН для получения отливок различного назначения с прогнозируемыми свойствами и низкой себестоимостью. На основании проведенных расчетов определен предполагаемый экономический эффект от внедрения технологии термитного получения литья, в среднем по отрасли который может составить 7552 руб. на тонну выплавленного расплава.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих
печатных работах:**

Журналы, рекомендованные ВАК РФ, а также индексируемые “WOS” и “Scopus”:

1. Предеин, В.В. Особенности получения литья из термитных сталей/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин// Заготовительные производства в машиностроении. - 2008. - № 8. - С. 3-6.
2. Предеин, В.В. Применение термитных прибылей при получении стальных отливок/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин// Литейное производство. - 2009. - № 6. - С. 33-36.
3. Предеин, В.В. Экологические аспекты применения термитных смесей в машиностроении/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин, Н.Г. Зиновьев// Безопасность жизнедеятельности. - 2010. - №8. - С. 31-35.
4. Предеин, В.В. Исследование влияния фракции компонентов алюмотермитной смеси на технологические параметры получения термитных сталей/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин, Е.Е. Абашкин// Заготовительные производства в машиностроении. - 2011. - № 6. С. 33-37.
5. Предеин, В.В. Термохимические процессы получения отливок из термитной шихты в графитовых оболочковых формах// О.Н. Комаров, И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, В.В. Предеин// Металлургия машиностроения. - 2013. - №6. - С. 33-37.
6. Predein, V.V. The Influence of Structure on Strength Properties of Casting Steel Obtained with the Use of Thermite Materials// O.N. Komarov, S.G. Zhilin, D.A. Potianikhin, V.V. Predein, E.E. Abashkin, A.A. Sosnin, A.V. Popov// AIP Conference Proceedings 1785, pp. 040027-1-040027-5 (2016).
7. Предеин, В.В. Получение слябовых заготовок из кипящей стали для прокатного производства методом металлотермии// О.Н. Комаров, С. Г. Жилин, В.В. Предеин, Е.Е. Абашкин, А.В. Попов// Заготовительные производства в машиностроении. - 2017. - Т. 15. - № 3. - С. 136–140.

Патенты РФ:

1. Пат. 2551336 Россия, МПК C21B15/02. Способ получения стали/ И.Г. Сапченко, О.Н. Комаров, С.Г. Жилин, В.В. Предеин, Е.Е. Абашкин, Д.А. Потянихин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук. - № 2014110997/02; Заявл. 21.03.2014; Опубл. 20.05.2015, Бюл. № 14.
2. Пат. 2425153 Россия, МПК C21B15/02, B22C9/10. Устройство для получения стали/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин, Е.Е. Абашкин, Н.Г. Зиновьев; заявитель и патентообладатель Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук. - № 2009142898/02; Заявл. 19.11.2009; Опубл. 27.07.2011, Бюл. № 21.
3. Пат. 2372164 Россия, МПК B22C9/08. Литейная форма с термитной прибылью/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин; заявитель и патентообладатель Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН. - № 2008109784/02; Заявл. 13.03.2008; Опубл. 10.11.2009, Бюл. № 31.

Материалы работы докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах:

1. Предеин, В.В. Возможности реализации технологии переработки металлоотходов в промышленности/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин// Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование: сборник трудов пятой Международной научно-практической конференции “Исследование разработка и применение высоких технологий в промышленности” (г. Санкт-Петербург, 28-30 апреля 2008 г.). - СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. – Т.12. – С.494-495.
2. Предеин, В.В. Получение стальной металлопродукции с применением экзотермического восстановительного процесса/ О.Н. Комаров, С.Г. Жилин, В.В. Предеин, Е.Е. Абашкин// Будущее машиностроения России: сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов (г. Москва, 21-25 сентября 2009 г.); Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - С. 52-53.
3. Предеин, В.В. Структуры отливок из термитных сталей 45Л, 35ХГСЛ и 110Г13Л/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин, Н.Г. Зиновьев// Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование, промышленность: сборник трудов восьмой Международной научно-практической конференции “Исследование разработка и применение высоких технологий в промышленности” (г. Санкт-Петербург, 27-28 октября 2009 г.). - СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. – С. 308-309.
4. Предеин, В.В. Влияние фракции компонентов алюмотермической смеси процесса получения термитных сталей/ В.В. Предеин, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, Е.Е. Абашкин, И.Г. Сапченко// Исследования и перспективные разработки в машиностроении: материалы первой научно-практической конференция молодых ученых и специалистов (г. Комсомольск-на-Амуре, 17 сентября 2010 г.); под общ. ред. Р.А. Физулакова. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУ ВПО «КнАГТУ», 2010. - С. 157-163.
5. Предеин, В.В. Особенности получения фракционного состава восстановителя и его влияние на технологические параметры производства термитных сталей/ И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, В.В. Предеин// Проблемы и перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР: труды научно-технической конференции. – Екатеринбург: УРО РАН, 2011. – Т.2. – С. 613-618.
6. Предеин, В.В. Исследование возможности получения отливок с использованием термитных материалов/ И.Г. Сапченко, В.В. Предеин// XXVIII Российская школа по проблемам науки и технологий: краткие сообщения. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. С. 27-29.
7. Предеин В.В. Влияние теплофизических условий экзотермического переплава на зонное строение стальной отливки/ И.Г. Сапченко, О.Н. Комаров, В.В. Предеин// Инновационные материалы и технологии: достижения, проблемы, решения: материалы Международной научно-технической конференции (г. Комсомольск-на-Амуре, 21-22 июня 2013 г.). – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО КнАГТУ, 2013. – Ч. 1. – С. 336-339.
8. Предеин В.В. Исследование влияния температуры шихты и формы на усвоение: С, Al, Cu, Mn, Si, Cr, Ni в стали, полученной методом термитного переплава / В.В. Предеин// Инновации в материаловедении: сб. материалов Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием (г. Москва, 3-5 июня 2013 г.); Ин-т металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. - М.: ООО "Ваш полиграфический партнер", 2013. - С. 269.
9. Предеин, В.В. Термохимические особенности формирования литых структур и их влияние на физико-механические свойства алюмотермитных сталей/ И.Г. Сапченко, О.Н. Комаров, С.Г. Жилин, В.В. Предеин// Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций: тезисы VIII Российской научно-технической конференции (г. Екатеринбург, 26-30 мая 2014 г.). – Екатеринбург: ООО “Издательство УМЦ УПИ”, 2014. – С. 62.

10. Предеин, В.В. Теплофизические особенности формирования физико-механических свойств отливок из сталей, полученных алюмотермией [Электронный ресурс]/ В.В. Предеин, И.Г. Сапченко, О.Н. Комаров, С.Г. Жилин// Дальневосточная школа-семинар “Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций”: тезисы докладов (30 сентября - 3 октября 2014 г.). - Владивосток: ИМиМ ДВО РАН, 2014. - С. 39. – 1 электронный оптический диск (CD-ROM).

11. Предеин, В.В. Параметры фазовых переходов компонентов термитных смесей в экзотермических процессах получения расплава [Электронный ресурс]/ И.Г. Сапченко, О.Н. Комаров, В.В. Предеин, Е.Е. Абашкин// Дальневосточная школа-семинар “Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций”: тезисы докладов (30 сентября - 3 октября 2014 г.). - Владивосток: ИМиМ ДВО РАН, 2014. - С. 48. – 1 электронный оптический диск (CD-ROM).

12. Предеин, В.В. Особенности формирования комплекса физико-механических свойств Ст3 при алюмотермитном переплаве/ О.Н. Комаров, И.Г. Сапченко, В.В. Предеин// Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сборник материалов VI Международной конференции (г. Москва, 10-13 ноября 2015 г.). – М: ИМЕТ РАН, 2015. - С. 406.

13. Predein, V.V. The Influence of structure on Strength Properties of Casting Steel Obtained with the Use of Thermite Materials/ O.N. Komarov, S.G. Zhilin, E.E. Abashkin, D.A. Potianikhin, V.V. Predein, A.A. Sosnin, A.V. Popov// AIP Conference Proceedings. – 2016. - № 1785. - С. 040027-1 – 040027-5.

14. Технология получения заготовок из кипящей стали для прокатного производства/ Девятая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России»: сборник докладов / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. С.189-190.

15. Предеин, В.В. Предпосылки равномерного распределения химических элементов в сплавах, полученных с использованием алюмотермитного переплава/ В.В. Предеин, О.Н. Комаров// II Дальневосточная школа-семинар “Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций”: тезисы докладов (11 сентября - 15 сентября 2017 г.)/ редкол: А.И. Евстигнеев (отв. ред.) [и др.] - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО “КнАГТУ”, 2017. - С. 33-36.

16. Предеин, В.В. Возможности управления структурами литых заготовок путем регулирования температурными параметрами продуктов экзотермических реакций/ В.В. Предеин, О.Н. Комаров, А.В. Попов// II Дальневосточная школа-семинар “Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций”: тезисы докладов (11 сентября - 15 сентября 2017 г.)/ редкол: А.И. Евстигнеев (отв. ред.) [и др.] - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО “КнАГТУ”, 2017. - С. 92-95.

Предеин Валерий Викторович

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК ИЗ ТЕРМИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АЛЮМОТЕРМИИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 06.12.2017

Формат 60x84 1/16. Бумага писчая. Ризограф RISO RZ 370ер.

Усл. печ. 1.45 л. Уч. изд. 1.3 л. Тираж 100 экз. Заказ 2001

Полиграфическая лаборатория Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27