

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 669.715

ТРУБИЦКИЙ
Роман Эдуардович

**ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ЧУГУННЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ОТЛИВОК
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ШИХТЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности

05.16.04 – Литейное производство

Минск, 2014

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель **Довнар Геннадий Витольдович,**
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
«Металлургия литейных сплавов» Белорусского
национального технического университета

Официальные оппоненты: **Свидунович Николай Александрович,**
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры «Материаловедение и технология металлов»
Белорусского государственного технологического
университета;

Королев Сергей Павлович
кандидат технических наук, директор ОДО «Эвтектика»

Оппонирующая организация Государственное научное учреждение
«Физико-технический институт НАН Беларуси»

Защита состоится «30» мая 2014 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.14 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. (факс) ученого секретаря (017) 292-81-85.

E-mail: kafmls@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 28 апреля 2014 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
доктор технических наук, доцент

В.М. Константинов

© Трубицкий Р.Э., 2014

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее ответственным изделием автомобильной промышленности является двигатель, увеличение ресурса и улучшение показателей которого тесно связано с повышением физико-механических характеристик составляющих его частей, прежде всего основных деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ): гильз цилиндров, поршней, колец

Одним из наиболее эффективных методов комплексного улучшения эксплуатационных характеристик деталей ЦПГ является легирование. Оно позволяет оказывать существенное положительное воздействие на их потребительские свойства. Вместе с тем, несмотря на явные преимущества данного направления, расширение объемов производства легированных сплавов сдерживается экономическими факторами.

Значительно уменьшить затраты на легирование можно путем использования в шихте дешевых вторичных материалов. Изучение отходов производства показало, что в некоторых из них содержатся перспективные для легирования металлов элементы. Разработанные совмещенные процессы выплавки и легирования железоуглеродистых сплавов за счет отходов производства, содержащих оксиды цветных металлов, позволяют с минимальными затратами осуществить легирование чугунов. Имеются данные и по использованию лома и отходов при получении рабочих сплавов и лигатур на основе алюминия, которые могут быть основой для исследования и разработки технологии получения отливок поршней.

Учитывая, что в Республике Беларусь нет своей сырьевой базы, а образуется значительное количество стального, чугунного и алюминиевого лома, а также отходов производств, содержащих оксиды цветных металлов, в данной работе разработаны и внедрены в производство технологии получения отливок гильз цилиндров, поршневых колец и поршней двигателей внутреннего сгорания (далее – ДВС) с использованием вторичного сырья.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете в рамках проводимых научных исследований, а также в соответствии с ежегодными планами организационно-технических мероприятий ОАО «Лидский ЛМЗ».

Исследования и результаты, положенные в основу диссертации, соответствуют приоритетным направлениям научно-технической деятельности

в Республике Беларусь на 2006–2010 годы, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 6 июля 2005 г. № 315, в частности п. «Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии производства конкурентоспособной продукции», а также приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденным Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585 п. 8.3 «Теории прочности пластичности, формообразования и разрушения материалов, металлургические процессы черных и цветных металлов, сплавов на их основе, технологии производства литейных сплавов с использованием вторичных ресурсов на основе черных и цветных металлов».

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка технологии получения легированных чугунов и алюминиевых сплавов для отливок ДВС при использовании в шихте вторичных материалов.

В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие задачи:

1. Оптимизировать химический состав чугуна для отливок гильз цилиндров применительно к выбранному способу литья.

2. Провести анализ состава отходов производства и потребления, образующихся на территории Республики Беларусь и содержащих цветные металлы.

3. Выполнить термодинамические расчеты и необходимые эксперименты для определения условий и степени восстановления цветных металлов из соединений, присутствующих во вторичных материалах.

4. С учетом полученных результатов провести лабораторные и производственные испытания для перевода исследуемых вторичных ресурсов во вторичное сырье для сплавов на основе железа и алюминия.

5. Разработать технологии получения легированных чугунов и алюминиевого сплава для отливок ответственных деталей ДВС при использовании вторичных материалов и внедрить их в производство.

Объект исследования: отливки поршневых колец, гильз цилиндров, поршней, отходы производства (медные шлаки, оловянно-свинцовистая изгарь) и потребления (отработанные катализаторы, использованные железоникелевые аккумуляторы).

Предмет исследования: химический состав, структура и свойства отливок поршневых колец, гильз цилиндров и поршней ДВС.

Положения, выносимые на защиту

1. Рассчитанные термодинамические параметры процессов (константа

реакции (K), коэффициент распределения элемента между шлаком и металлом (L_{Me}), и степень усвоения легирующего элемента (Φ_{Me} , %)), происходящих в шихте при ее нагревании и на границе «расплав – шлак» при использовании отходов производства (медные шлаки, оловянно-свинцовистая изгарь) и потребления (отработанные катализаторы, использованные железо-никелевые аккумуляторы), содержащие оксиды цветных металлов, и установленная теоретическая возможность их металлургической переработки со степенью восстановления от 0,35 до 99,9 %, при получении легированных чугунов за счет имеющихся в расплаве восстановителей (C, Si, Mn).

2. Выявленный фазовый и фракционный состав шлаков, образующихся при плавке бронз и латуней, свидетельствующий, что все фракции содержат металлическую составляющую, причем количество ее увеличивается от 20 % (фракция 0,2–0,6 мм) до 75 % (фракция 1,6–2,5 мм), а содержание оксидов меди по отношению к общему количеству медьсоставляющих компонентов шлака увеличивается в 3,5 раза в направлении от более крупной фракции (4 мм – 5,5 %) к мелкой фракции (0,05 мм – 28 %), а также результаты исследования влияния сопутствующих примесей в используемых вторичных материалах на структуру и свойства чугунов, что дает возможность использовать их в качестве шихтового медьсодержащего материала без предварительной подготовки и промышленные испытания различных способов плавки медьсодержащих отходов, позволившие получить максимальное усвоение меди в чугуне (87 %) при вводе легирующих добавок в шихту.

3. Установленное влияние различных технологических факторов (температура жидкого алюминия, состав флюса, способ ввода никельсодержащей добавки, время плавки и интенсивность перемешивания), позволившее определить, что максимальный эффект усвоения жидким алюминием никеля из оксида (69–73 %) наблюдается при увеличении температуры процесса до 1000 °С, использовании хлоридно-фторидного флюса с повышенным содержанием криолита (≥ 20 % Na_3AlF_6) от массы флюса или использовании буры в качестве флюса, вводимого в обоих случаях в количестве 20 % от массы расплава, а также состав и способ получения быстрорастворимых лигатур на основе вторичного сырья и новый способ термообработки отливок поршней (низкотемпературная закалка в воде от температуры извлечения из кокиля с последующим старением), взамен высокоэнергозатратного режима Т6 (закалка + искусственное старение).

Личный вклад соискателя

Основные результаты, изложенные в диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично. Экспериментальные исследования, апробация

разработок в производственных условиях, формулировка промежуточных и заключительных выводов выполнены непосредственно соискателем.

Определение целей и задач исследования, обсуждение и обобщение основных научных результатов исследования проводились совместно с научным руководителем, к.т.н., доцентом Г.В. Довнаром.

Вклад соавторов совместных публикаций по теме диссертации состоял в обсуждении полученных результатов, помощи в оценке возможностей их практического использования, а также решении других вопросов, не затрагивающих положений, вносимых на защиту диссертации.

Автор выражает благодарность и признательность сотрудникам кафедры «Металлургия литейных сплавов» БНТУ, а также ОАО «БЕЛНИИЛИТ» и ГНУ «Институт порошковой металлургии» за помощь в организации исследований и получение ценных советов.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на VIII научно-технической конференции «Неметаллические включения и газы в литейных сплавах» (Запорожье, ЗГТУ, 09-11.09.1997.), Международном научно-техническом семинаре, посвященном 35-летию кафедры «Металлургия литейных сплавов» Белорусского национального технического университета (г. Минск, 01-02.04.2004 г.), на 6-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (г. Минск, 24-25.04.2008 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По основным положениям и результатам выполненных исследований опубликовано 14 научных работ, в том числе 11 статей опубликованы в научно-технических журналах и сборниках, включенных в перечень изданий ВАК Беларуси и 3 в материалах докладов конференций. Общий объем материалов, опубликованных по теме диссертации, составляет 2,5 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 155 страницах и содержит 36 таблиц и 33 иллюстрации, 135 использованных источника, 10 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы обоснована актуальность диссертации, дана краткая характеристика работы, ее основные цели и задачи, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены результаты литературного анализа, которые показывают, что, изготавливаемые литьем детали ДВС работают в тяжелых условиях: повышенное давление в камере сгорания (12–14,5 МПа), высокая температура (до 230 °С) и др. Это требует использования легированных многокомпонентных сплавов. Максимальная эффективность технологий изготовления отливок ЦПГ может быть достигнута путем оптимизации составов сплавов, исходя из конкретных условий их эксплуатации, выбором наилучшего способа литья и термической обработки для каждой конкретной отливки, снижением себестоимости продукции, например, путем использования дешевого вторичного сырья.

В ранее опубликованных работах Лекаха С.Н. и других авторов рассматривалось получение сталей и чугунов с использованием таких отходов, как ванадийсодержащая шлакометаллическая фракция, хром-никель и молибденсодержащие отработанные катализаторы, шламы гальванического производства и другие. Проведенные термодинамические исследования показали реальную возможность восстановления этих элементов через шлаковую фазу при выплавке чугуна и стали в дуговых электропечах. Применительно к условиям плавки гильзового чугуна в индукционных тигельных печах промышленной частоты и использования в составе шихты значительной доли стального лома и карбюризатора возникла необходимость комплексного рассмотрения процессов легирования чугуна с использованием отходов, включая первоначальное восстановление элементов твердым углеродом при нагреве и расплавлении шихтовых материалов с последующим довосстановлением их через шлаковую фазу. Это обстоятельство потребовало проведения дополнительных термодинамических расчетов с учетом условий протекания процессов восстановления элементов, сопоставления результатов расчетов с экспериментальными данными.

Анализ литературных данных и опыт передовых предприятий показывает также, что на сегодняшний день наиболее прогрессивными способами получения отливок деталей ЦПГ являются: для гильз и колец – литье в облицованный кокиль, а для поршней – литье в окрашенный кокиль на карусельных машинах. Поэтому для достижения максимальной эффективности при производственной реализации результатов исследований были выбраны именно эти способы литья.

Алюминиевые поршневые сплавы, в отличие от легированных чугунов, эффективно упрочняются термообработкой, и снижение энергозатрат в этом процессе является дополнительным фактором снижения себестоимости продукции. Улучшение технологических показателей поршневых сплавов может быть получено за счет применения эффективных быстрорастворимых

лигатур, содержащих тугоплавкие компоненты, а повышение экономических характеристик – так же как и в чугунах – путем использования дешевого сырья: металлического лома и отходов производства.

Выполненный анализ состояния вопроса явился основой для постановки цели и задач исследования.

Во второй главе приведена методика проводимых исследований.

Исследование микроструктуры осуществлялось на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия). Химический состав исследовался с помощью микрорентгено-спектрального анализатора «INCA 350».

Испытания двигателя с опытными гильзами цилиндров проводились в Российской Федерации на ОАО «Заволжский моторный завод».

Плавка поршневого сплава осуществлялась в газовой барабанной печи емкостью 0,6 т. Заливка поршней производилась из печи сопротивления САТ–0,25 в трехпозиционную кокильную машину модели 01МКМ.

Плавка лигатурных сплавов для поршней осуществлялась в индукционной печи ИСТ–0,1. Лигатуры отливались в виде прутков (литье в кокиль), гранул (литье в воду с использованием специальной, разработанной на кафедре «Металлургия литейных сплавов» БНТУ, установки для гранулирования), лент (литье в валковый кристаллизатор, также разработанный в БНТУ).

Другие исследования проводились по стандартным методикам.

В третьей главе была исследована и разработана технология получения легированных чугунов с использованием в шихте производственных отходов.

В качестве базового чугуна для производства отливок гильз цилиндров и поршневых колец был выбран износостойкий чугун ИЧГ-33М следующего химического состава, вес. %: C = 3,3–3,7; Si = 2,2–2,6; Mn = 0,5–0,7; Cr = 0,50–0,75; Ni = 0,15–0,50; Cu = 0,5–0,8; P = 0,30–0,45; V = 0,08–0,15; Ti = 0,05–0,15; S = 0,05–0,10; B = 0,008–0,050. Этот чугун, разработанный для технологий центробежного литья и литья в сырую песчаную форму, при литье гильз цилиндров в облицованный кокиль приводил к повышению твердости в отливках до 272 НВ вместо 217–255 по техническим требованиям, в связи с чем возникла необходимость оптимизировать химический состав чугуна для получения требуемой структуры и твердости гильз. Данная задача была решена подбором легирующих элементов использованием, в частности, математического планирования экспериментов.

В результате реализации матрицы математического планирования экспериментов для сплава типа ИЧГ-33М с интервалом варьирования исследуемых компонентов, вес. %: C = 3,2–3,5; Cr = 0,50–0,65; Mn = 0,5–0,8; V+B = 0,04–0,07; Si = 2,0–2,5; Cu+Ni = 0,6–0,7; Ti = 0,06–0,07 были получены

следующие регрессионные зависимости, связывающие твердость и структуру с химическим составом:

$$Y_p [\text{HB}] = 227,6 + 1,4X_1 + 2,9X_2 + 1,1X_3 + 0,9X_6, \quad (1)$$

где X_1, X_2, X_3, X_6 – кодированные уровни соответственно содержания C, Cr, V, Cu (максимум = +1, минимум = -1), а коэффициенты имеют размерность [HB];

Кроме заданной твердости, в отливках гильз необходимо обеспечить практически полную перлитизацию металлической матрицы ($\leq 5\%$ феррита). Поэтому были проведены также и исследования по влиянию основных перлитизаторов (V и Cr) на содержание феррита в структуре отливки.

$$Y_p [\% \text{ феррита}] = 2,55 - 2,33X_1 + 1,80X_2 - 0,83X_1X_2 + 3,93X_2^2, \quad (2)$$

где X_1 и X_2 – кодированные уровни элементов ($X_1 = -1, V; X_1 = +1, Cr$) и их содержания ($X_2 = -1, 0,1\%; X_2 = 0, 0,3\%, X_2 = +1, 0,5\%$), а коэффициенты имеют размерность [%].

Третья полученная модель связывает твердость исследуемого чугуна с количеством Cu, Ni и Cr:

$$Y_p [\text{HB}] = 209,6 + 7,8X_1 + 5,2X_2 + 4,3X_1X_2, \quad (3)$$

где X_1 и X_2 кодированные уровни элементов, ($X_1 = -1, Cu; X_1 = 0, Ni; X_1 = +1, Cr$;) и их содержания ($X_2 = -1, 0,1\%; X_2 = 0, 0,3\%; X_2 = +1, 0,5\%$), а коэффициенты имеют размерность [HB].

С учетом результатов расчетов по указанным моделям, а также известных данных по влиянию легирующих элементов на структуру и свойства чугунов был установлен новый оптимальный химический состав гильзового чугуна, применительно к литью в облицованный кокиль (вес. %): C – 3,3–3,7; Si – 2,0–2,6; Mn – 0,6–1,2; Cu – 0,4–0,8; Cr – 0,3–0,6; P – 0,20–0,45; V – 0,02–0,15; Ti – 0,05–0,15; который отличается от известного меньшим содержанием Cr, Cu, P, V отсутствием дорогостоящих V и Ni (последний замещается Mn).

Для проверки полученных результатов была использована современная система моделирования литейных процессов ProCast, позволившая установить что, оптимизация состава сплава приведет к снижению твердости гильз до заданных чертежом значений. Результаты моделирования показали также, что, если бы из чугуна оптимизированного состава для условий литья в облицованный кокиль отливались гильзы центробежным способом, твердость отливок была бы недостаточной.

Другим направлением снижения затрат на получение гильз является использование дешевых шихтовых материалов, например, в виде отходов производства и потребления.

Цветные металлы в данных отходах содержатся либо в виде чистых металлов и химических соединений (шлаки, изгарь), либо полностью в виде оксидных и гидроксидных соединений (гальваношламы, катализаторы).

Чтобы оценить возможность восстановления легирующих элементов из соединений за счет C, Si и Mn, присутствующих в расплаве чугуна, были рассчитаны такие важнейшие параметры процесса, как константа реакции K , коэффициент распределения элемента между шлаком и металлом L_{Me} , и главного критерия – степени восстановления легирующего элемента Φ_{Me} .

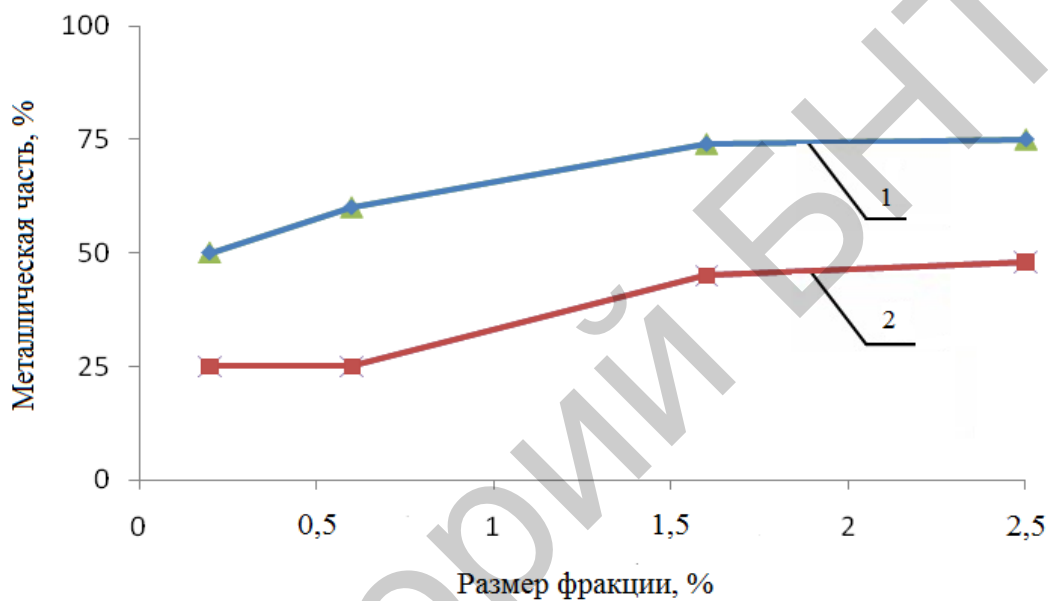
Результаты расчетов (таблица) термодинамических параметров процессов при использовании отходов производства и потребления, содержащие оксиды цветных металлов, позволили установить теоретическую возможность их металлургической переработки со степенью восстановления элементов от 0,35 до 99,9 %, при выплавке легированных чугунов за счет имеющихся в расплаве восстановителей.

Результаты расчетов термодинамических параметров (для температуры 1400 °C)

Реакции	K	$f_{[Me]}$	L_{Me}	$\Phi_{Me}, \%$
$CuO_{ТВ} + [C]^{Fe} = [Cu]^{Fe} + CO_{Г}$	4677351,4	1,3	$3,2 \cdot 10^{-8}$	99,9
$2CuO_{ТВ} + [Si]^{Fe} = 2[Cu]^{Fe} + SiO_2$	15848931,9	1,3	$0,9 \cdot 10^{-8}$	99,9
$CuO_{ТВ} + [Mn]^{Fe} = [Cu]^{Fe} + MnO$	1862087,1	1,3	$8,1 \cdot 10^{-8}$	99,9
$NiO_{ТВ} + [C]^{Fe} = [Ni]^{Fe} + CO_{Г}$	870963,6	1,1	$3,49 \cdot 10^{-7}$	99,9
$NiO_{ТВ} + 1/2[Si]^{Fe} = [Ni]^{Fe} + 1/2SiO_2$	$288,4 \cdot 10^4$	1,1	$10,5 \cdot 10^{-8}$	99,9
$NiO_{ТВ} + [Mn]^{Fe} = [Ni]^{Fe} + MnO$	$41,7 \cdot 10^4$	1,1	$7,3 \cdot 10^{-7}$	99,9
$Cr_2O_{3ТВ} + 3[C]^{Fe} = 2[Cr]^{Fe} + 3CO_{Г}$	0,05	0,83	4,9	67,11
$Cr_2O_{3ТВ} + 3/2[Si]^{Fe} = 2[Cr]^{Fe} + 3/2SiO_2$	0,76	0,83	0,323	96,87
$Cr_2O_{3ТВ} + 3[Mn]^{Fe} = 2[Cr]^{Fe} + 3MnO$	0,0039	0,83	63,2	13,66
$TiO_{2ТВ} + 2[C]^{Fe} = [Ti]^{Fe} + 2CO_{Г}$	0,0048	0,038	71,3	11,4
$TiO_{2ТВ} + [Si]^{Fe} = [Ti]^{Fe} + SiO_2$	0,0044	0,038	8,4	10,33
$TiO_{2ТВ} + 2[Mn]^{Fe} = [Ti]^{Fe} + 2MnO$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	0,038	292	0,35

В работе основным объектом из рассматриваемых промышленных отходов был выбран шлак от плавки медных сплавов.

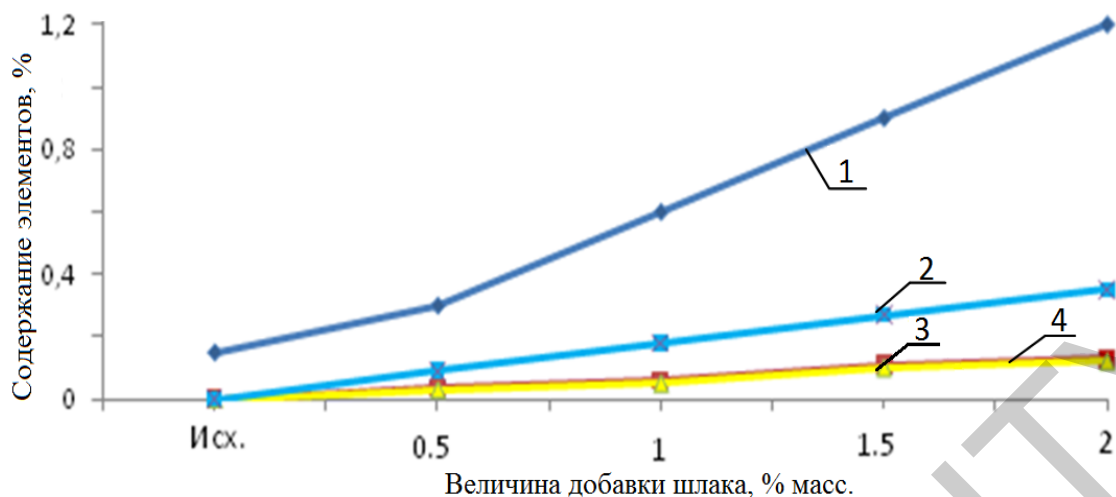
Результаты исследований фазового и фракционного состав шлаков, образующихся при плавке бронз и латуней, свидетельствуют, что все фракции содержат металлическую составляющую, причем количество ее увеличивается от 25 % (фракция 0,2–0,6 мм) до 75 % (фракция 1,6–2,5 мм) (рисунок 1), а содержание оксидов меди по отношению к общему количеству медьсоставляющих компонентов шлака увеличивается в 3,5 раза в направлении от более крупной фракции (4 мм – 5,5 %) к мелкой фракции (0,05 мм – 28 %).



1- шлак бронзы, 2 – шлак латуни

Рисунок 1 – Содержание металлической составляющей в различных фракциях шлака

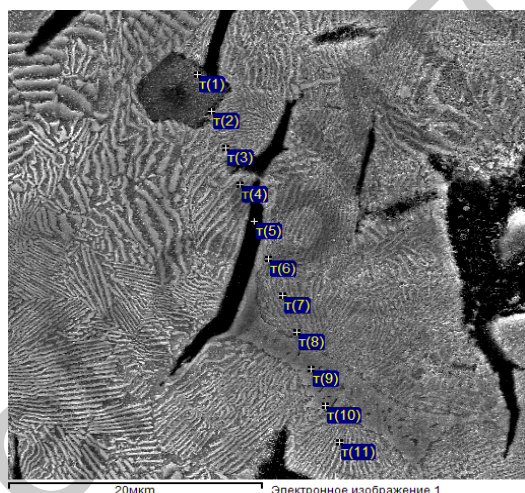
На рисунке 2 представлено влияние добавок шлака на расчетное содержание меди и сопутствующих металлических примесей в чугунах, из которого следует, что при увеличении концентрации Si в чугунах до 0,5% (среднее содержание в гильзовом чугуне) возможно внесение сопутствующих металлических примесей в количестве: $\text{Sn} < 0,15\%$; $\text{Pb} < 0,05\%$; $\text{Zn} < 0,05\%$.



1 – Cu; 2 – Sn; 3 – Zn; 4 – Pb.

Рисунок 2 – Влияние добавок шлака на содержание Cu и примесей в чугуна:

Проведенным микрорентгеноспектральным анализом установлено, что вносимые вместе со шлаком примеси Sn, Pb, Zn, Al образуют сложные соединения, которые, вследствие незначительного их содержания в сплаве не оказывают заметного влияния на свойства (рисунок 3). В шлаках плавки медных сплавов может содержаться до 11% ZnO, из которого Zn легко восстанавливается С, но в исследуемых образцах он не был обнаружен, вероятно вследствие испарения при плавке чугуна (температура кипения Zn – 906°C).



Спектр	Al	Si	P	Mn	Fe	Cu	Pb
т (1)	2.11	1.55	0.00	71.75	Основа	0.00	15.22
т (2)	1.19	1.35	0.00	40.73	Основа	0.00	9.31
т (3)	0.00	2.49	0.00	0.00	Основа	0.00	0.00
т (4)	0.00	2.49	0.00	0.00	Основа	1.24	0.00
т (5)	0.00	1.71	0.00	0.00	Основа	0.00	0.00
т (6)	0.00	2.54	0.00	0.00	Основа	0.00	0.00
т (7)	0.00	2.20	0.00	0.00	Основа	0.00	0.00
т (8)	0.00	2.22	0.00	0.00	Основа	0.00	0.00
т (9)	0.00	0.78	11.23	0.00	Основа	0.00	0.00
т (10)	0.00	0.00	5.75	0.00	Основа	0.00	0.00
т (11)	0.00	2.74	0.00	0.00	Основа	0.00	0.00

а

б

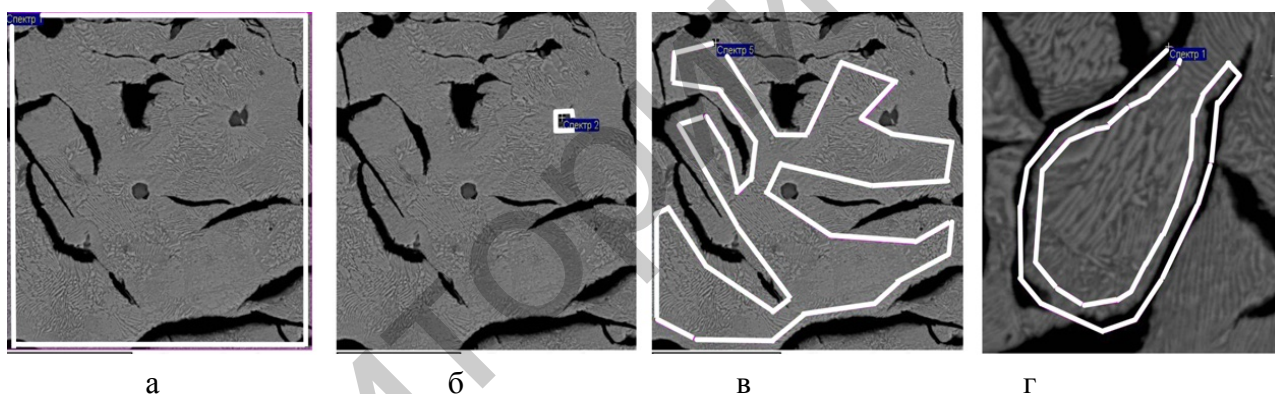
а – микроструктура с указанием расположения анализируемых точечных участков (1-11);

б – результаты точечного микрорентгеноспектрального анализа

Рисунок 3 – Результаты точечного микрорентгеноспектрального анализа образца из отливки чугунной гильзы, полученного с использованием в шихте медьсодержащей присадки

В результате исследования влияния сопутствующих примесей, входящих в состав медных шлаков, на структуру и свойства чугунов установлено, что данные отходы производства можно использовать в качестве шихтового медьсодержащего материала без дополнительной обработки.

Исследования некоторых других видов отходов, в частности, оловянно-свинцовой изгари, образующейся при плавке припоев, показало, что в ее составе содержится Sn как в чистом виде, так и в виде оксидов. Это позволяет рассматривать изгарь в качестве потенциального заменителя дорогостоящего перлитизатора структуру чугунов – первичного Sn. Однако в оловянно-свинцовой изгари содержится до 40% Pb, который по некоторым литературным данным может оказывать негативное влияние на структуру и свойства чугунов. Поэтому были проведены исследования содержания и характера распределения Pb в чугунах, полученных после добавки в ковш с жидким чугуном 0,38% изгари (рис.4), что при полном восстановлении Pb и переходе его в железоуглеродистый сплав приводит к концентрации Pb в чугуне 0,15%.



Элемент	%
Si	2,83
P	0,29
S	0,13
Cr	0,39
Mn	0,94
Fe	94,14
Ni	0,14
Cu	0,53
Sn	0,44
Pb	≤ 0,18

Элемент	%
Si	≤ 0,23
P	≤ 0,1
S	35,34
Cr	≤ 0,10
Mn	58,08
Fe	6,04
Ni	≤ 0,1
Cu	≤ 0,1
Sn	≤ 0,20
Pb	≤ 0,20

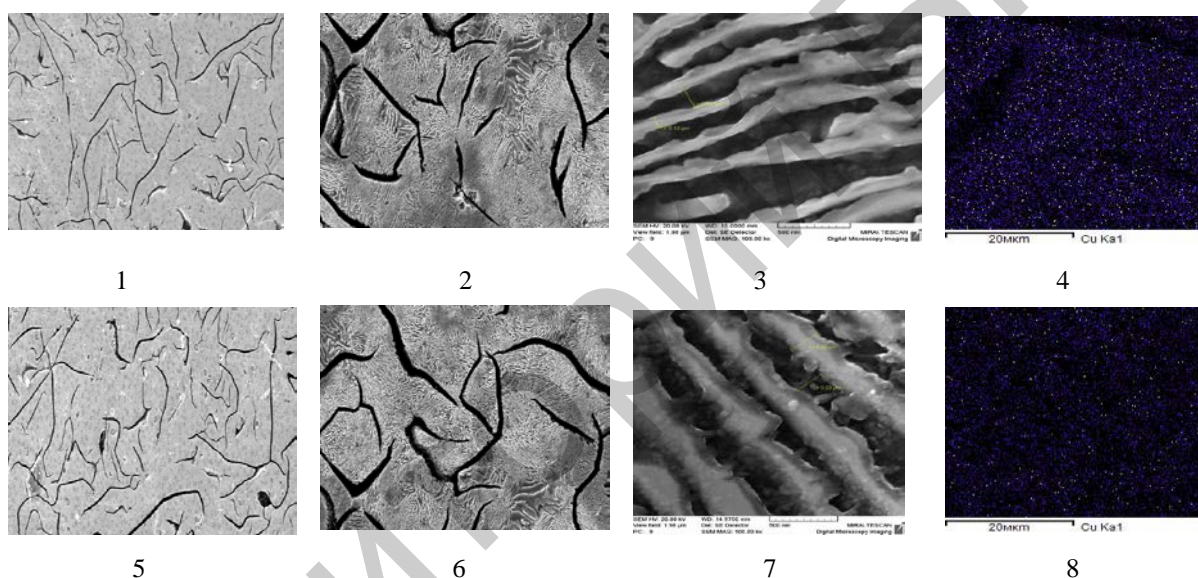
Элемент	%
Si	2,68
C	9,13
S	≤ 0,1
Cr	0,24
Mn	0,58
Fe	86,68
Ni	≤ 0,1
Cu	0,57
Sn	≤ 0,20
Pb	≤ 0,20

Элемент	%
Si	3,16 ± 0,11
P	≤ 0,1
S	≤ 0,1
Cr	0,26 ± 0,18
Mn	0,71 ± 0,12
Fe	94,9 ± 0,39
Ni	≤ 0,1
Cu	0,44 ± 0,18
Sn	0,32 ± 0,16
Pb	0,18 ± 0,17

Рисунок 4 – электронные изображения образца отливки из гильзового чугуна, полученного после добавки 0,38% оловянно-свинцовой изгари (а, б, в, г) с анализируемыми участками (границы выделены белым цветом) и соответствующие им усредненные значения химического состава

Установлено, что независимо от площади анализируемого участка или его расположения (а – максимальная площадь, б – отдельное включение, в – металлическая основа, г – граница зерна), концентрация Рb не превышает порога чувствительности прибора (0,15 – 0,20%).

Опытные плавки на ОАО «Лидский ЛМЗ» гильз цилиндров и поршневых колец показали, что они имеют идентичный химический состав, твердость и структуру независимо от способа ввода Cu. Использование сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения при увеличении $\times 100\ 000$ позволило установить, что при использовании медьсодержащей добавки размер перлитных пластин увеличился с 0,10–0,20 до 0,15–0,25 мкм и расстояние между пластинами с 0,15–0,20 до 0,18–0,25 мкм (рисунок 5), что может быть связано с внесением вместе с легирующей добавкой примесей Рb и Sn.



1 – 4 введение металлической меди; 5 – 8 добавка медьсодержащего шлака 1, 5 – увеличение $\times 500$; 2, 6 – $\times 2000$ (травлено); 3, 7 – $\times 100\ 000$ (травлено); 4, 8 – съемка в рентгеновском излучении ($\times 800$)

Рисунок 5 – Микроструктуры отливок гильз, полученных после различных вариантов ввода меди

В результате проведенных исследований различных плавков также установлено, что максимальное усвоение меди в чугуне составляет 87 % при вводе легирующих добавок непосредственно в шихту в смеси с отработанными катализаторами.

На основании разработанной технологии были внесены коррективы в технологический процесс получения отливок гильз цилиндров на ОАО «Лидский ЛМЗ», изготовлена и отправлена на Заволжский моторный

завод (РФ) опытная партия заготовок гильз цилиндров, где она прошла успешные испытания на безотказность на двигателе ЗМЗ-402.10.

Изготовленные опытные партии отливок поршневых колец с применением в шихте медьсодержащих добавок отправлены на «ЯТК АМО ЗИЛ», г. Ярцево. Замечаний по качеству поставленных партий отливок не было.

Внедрение на ОАО «Лидский ЛМЗ» технологии изготовления отливок гильз цилиндров ДВС по оптимизированному химическому составу чугуна позволило получить экономический эффект 122,4 млн. рублей в ценах 2003 г., а внедрение технологии плавки чугуна в индукционных плавильных печах с использованием в шихте медьсодержащих отходов позволило получить дополнительный экономический эффект 31,8 млн. рублей в ценах 2005 г.

В четвертой главе была исследована и разработана комплексная технология получения поршневого сплава АК12ММгН на основе вторичного сырья.

В работе для удешевления шихты при изготовлении лигатур вместо гранулированного Ni исследовалась возможность применения алюминиевого лома, а также никельсодержащих отходов, в качестве которых использовалась специально подготовленная анодная масса положительных ламелей отработанных железоникелевых аккумуляторов. Было исследовано также влияние различных технологических факторов (температура жидкого алюминия, состав флюса, способ ввода никельсодержащей добавки, время плавки и интенсивность перемешивания).

Максимальный эффект усвоения жидким алюминием никеля из оксида (73%) получили при использовании хлоридно-фторидного флюса с повышенным содержанием криолита ($\geq 20\%$), вводимого в количестве 20 % от массы расплава или буры (также 20 % от массы шихты).

В результате проведенных экспериментов были разработаны составы и способы получения быстрорастворимых лигатур на основе вторичного сырья и изготовлены их опытные партии, на основе лома алюминия (I–VI групп), главным образом, в виде корпусных деталей автомобиле- и приборостроения, лома железо-никелевых аккумуляторных батарей (гр. К-2) и электромоторного лома, содержащего медь в обмотках.

Использование дисперсных лигатур позволило значительно снизить температуру расплава при легировании (с 800 °С до 720 °С), что дало возможность использовать в качестве плавильных агрегатов раздаточные печи.

В соответствии с техническими требованиями поршни из сплава АК12ММгН должны иметь твердость, 100–130 НВ. ГОСТом 1583–93 для данного сплава предусмотрено два режима термообработки – Т1 и Т6. Результаты исследования режимов термообработки поршней показали, что

старение (естественное и искусственное) не обеспечивает получения твердости на уровне требований чертежа отливки. Необходимую твердость можно получить при использовании энергозатратного режима Т6, который может быть более экономным при замене искусственного старения естественным. Моделирование в лабораторной муфельной печи низкотемпературной закалки поршней от температуры извлечения поршней из кокиля показало, что такая термообработка с последующим старением обеспечивает получение требуемой твердости лишь в варианте охлаждения от максимально возможной температуры до температуры закалки, а не нагрева до этой температуры.

В результате данных исследований был разработан новый способ термообработки отливок поршней (низкотемпературная закалка в воде от температуры извлечения из кокиля с последующим старением), взамен высокоэнергозатратного режима Т6 (закалка + искусственное старение).

Эти исследования были подтверждены производственными испытаниями в условиях ОАО «Лидский ЛМЗ».

В результате выполненной работы на ОАО «Лидский ЛМЗ» внедрена технология изготовления отливок поршней с использованием в шихте лома алюминиевых сплавов, разработанных лигатур, применения при плавке покровно-рафинирующего флюса (47 % KCl + 30 % NaCl + 23 % Na₃AlF₆) с измененной термической обработкой.

Внедрение данной технологии позволило получить экономический эффект 17,6 млн. руб. в ценах 2000 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате компьютерного моделирования и математического планирования экспериментов установлено, что перевод изготовления гильз с центробежного литья на литье в облицованный кокиль, вследствие увеличения скорости кристаллизации сплава, требует коррекции химического состава гильзового чугуна марки ИЧГ-33М в сторону уменьшения допустимого содержания Cr – с 0,50–0,75 % до 0,3–0,6 %; V – с 0,08–0,15 % до 0,02–0,15 %; Si – с 0,5–0,8 % до 0,4–0,8 %; P – с 0,30–0,45 % до 0,20–0,45 %, Ni заменяется Mn, В исключается из состава, что обеспечивает получение твердости и микроструктуры согласно требований ТУ ВУ 500016122.008-2007[1, 2, 6, 8, 9, 13].

2. Исходя из составов исследуемых легированных чугунов, определены вторичные металлосодержащие ресурсы в виде отходов производства и потребления (гальванические шламы, отработанные катализаторы, шлаки от

плавки медных сплавов и оловянно-свинцовой изгари, использованные железоникелевые аккумуляторы), основу которых составляют оксиды различных цветных металлов, что, с учетом установленной практической возможности их восстановления (Cu – до 90 %, Sn – до 91 %, Ni – до 93 %), позволяет перевести эти материалы во вторичное сырье для легирования сплавов на основе железа и алюминия [3, 10, 14].

3. Установлен фазовый и фракционный состав шлаков, образующихся при плавке бронз и латуней, свидетельствующий, что все фракции содержат металлическую составляющую, причем количество ее увеличивается от 20 % (фракция 0,2–0,6 мм) до 75 % (фракция 1,6–2,5 мм), а содержание оксидов меди по отношению к общему количеству медьсоставляющей компоненты шлака увеличивается в 3,5 раза в направлении от более крупной фракции (4 мм – 5,5 %) к мелкой фракции (0,05 мм – 19 %), что дает возможность использовать их в качестве шихтового медьсодержащего материала без предварительной подготовки (сортировка), и получены результаты исследований различных способов плавки медьсодержащих отходов, позволившие получить максимальное усвоение меди в чугунах (87 %) при вводе легирующих добавок в шихту [3–5, 9–11].

4. Установлено влияние различных технологических факторов (температура жидкого алюминия, состав флюса, способ ввода никельсодержащей добавки, время плавки, перемешивание) на процесс восстановления никеля из оксида, позволившее определить, что максимальный эффект усвоения жидким алюминием никеля (69–73 %) наблюдается при увеличении температуры плавки до 1000 °С, использовании 20 % хлоридно-фторидного флюса с повышенным содержанием криолита (>20 % Na_3AlF_6) или буры (также 20 % от массы шихты) [12].

5. Разработаны составы и способ получения быстроохлажденных лигатур на основе первичных и вторичных шихтовых материалов, содержащих от 11 до 41 % Si, ≥ 41 % Cu, ≥ 21 % Ni, ≥ 31 % Mg в виде гранул или лент, что позволило снизить температуру легирования с 850 до 720–750 °С, уменьшить время растворения лигатур, повысить σ_b на 3–11 %, δ на 2,3–22,2 %, снизить газосодержание расплава с 0,35 до 0,26 см³ H₂/100 г расплава [12].

6. Физическое моделирование в нагревательной печи процесса низкотемпературной закалки отливок поршней из сплава АК12ММгН показало, что нагрев их до средней температуры извлечения из кокиля (350 °С) с последующей закалкой в воде и старение (200 °С – 6 часов) незначительно влияет на твердость. Требуемое увеличение твердости до уровня 100 – 130 единиц НВ обеспечивает охлаждение поршней от максимально возможной температуры (на 5 – 10 °С ниже температуры плавления двойной эвтектики –

528 °С) с закалкой и старением (180 °С – 5 часов)

Рекомендации по практическому использованию результатов

В результате выполненной работы на ОАО «Лидский ЛМЗ» внедрены следующие технологии:

1. Технология плавки легированного чугуна для производства отливок поршневых колец и гильз цилиндров ДВС в индукционных плавильных печах с использованием в шихте медьсодержащих отходов, что позволило получить экономический эффект 31,8 млн. рублей в ценах 2005 г.

2. Технология изготовления отливок гильз цилиндров ДВС по оптимизированному химическому составу чугуна. Внедрение данной технологии позволило получить экономический эффект 122,4 млн. рублей в ценах 2003 г.

Данные технологии могут быть использованы на предприятиях Республики Беларусь, Союзе Независимых Государств и в странах дальнего зарубежья при производстве отливок поршневых колец и гильз цилиндров ДВС, а также при производстве других отливок из легированного серого чугуна.

3. Технология изготовления отливок поршней с использованием в шихте лома алюминиевых сплавов, лигатур марок ЛАК1, ЛАМ1, ЛАНК1, ЛАМГ1, а также измененная их термическая обработка. Внедрение данной технологии позволило получить экономический эффект 17,6 млн. руб. в ценах 2000 г.

Данная технология может быть использована на предприятиях РБ, СНГ, в странах дальнего зарубежья при производстве отливок поршней для бензиновых и дизельных двигателей внутреннего сгорания.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК

1. Трубицкий, Р.Э. Оптимизация состава и свойств экономнолегированного чугуна для гильз / Р.Э. Трубицкий, А.Г. Слуцкий, Б.А. Каледин // *Литье и металлургия*. – 2003. – № 1. – С. 97–100.
2. Гильзы цилиндров автомобильных двигателей из экономнолегированного чугуна / А.Г. Слуцкий, Б.А. Каледин, Г.В. Довнар, Р.Э. Трубицкий // *Литейное производство*. – 2004. – № 3. – С. 12–13.
3. Исследование процесса восстановления при получении легированных высокоуглеродистых сплавов / А.Г. Слуцкий, В.А. Сметкин, О.А. Слуцкая, Р.Э. Трубицкий // *Литье и металлургия*. – 2006. – № 4. – С. 115–118.
4. Некоторые аспекты технологического процесса литья в облицованный кокиль / А.Н. Крутилин, Р.Э. Трубицкий, И.В. Рафальский, П.Е. Лущик // *Литье и металлургия*. – 2010. – № 1, 2. – С. 88–94.
5. Экономное легирование гильзового чугуна медью / Р.Э. Трубицкий, А.Г. Слуцкий, Г.В. Довнар, В.А. Сметкин // *Литье и металлургия*. – 2010. – № 4. – С. 72–76.

Статьи в рецензируемых сборниках, включенных в перечень ВАК

6. Экономнолегированный чугун для гильз цилиндров автотракторных двигателей / Р.Э. Трубицкий, В.А. Альхименко, А.Г. Слуцкий, Г.В. Довнар // *Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск: Выш. школа, 2002. – Вып. 26. – С. 53–56.
7. Довнар, Г.В. Термическая обработка отливок поршней из сплава АК12ММгН / Г.В. Довнар, А.Г. Слуцкий, Р.Э. Трубицкий // *Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск: Выш. школа, 2002. – Вып. 26. – С. 124–129.
8. Исследование процесса экономного легирования гильзового чугуна / А.Г. Слуцкий, Г.В. Довнар, В.А. Сметкин, В.В. Павлович, Р.Э. Трубицкий // *Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск: Выш. школа, 2003. – Вып. 27. – С. 43–46.
9. Исследование процесса восстановления легирующих элементов при выплавке железоуглеродистых сплавов / А.Г. Слуцкий, В.А. Сметкин,

О.А. Слуцкая, В.В. Павлович, Р.Э. Трубицкий // *Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск: Выш. школа, 2005. – Вып. 29. – С. 72–78.

10. Разработка состава и технологии выплавки экономнолегированного чугуна для гильз цилиндров автомобильных двигателей / Р.Э. Трубицкий, Г.В. Довнар, А.Г. Слуцкий, Б.А. Каледин // *Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск: Выш. школа, 2006. – Вып. 30. – С. 122–130.

11. Влияние способа легирования чугуна медью на его структуру и свойства / А.Г. Слуцкий, Г.В. Довнар, Р.Э. Трубицкий, В.А. Сметкин, А.А. Андриц, А.В. Бородич // *Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск: БНТУ, 2011 – Вып. 33, ч.1 – С. 117–125.

Материалы научных конференций

12. Получение быстроохлажденных алюминиевых лигатур при использовании металлического лома и никельсодержащих отходов / Р.Э. Трубицкий // *Неметаллические включения и газы в литейных сплавах: сб. науч. тр. VIII науч.-технич. конф., Запорожье, 1997 / ЗГТУ. – Запорожье, 1997. – С. 206–209.*

13. Оптимизация состава экономнолегированного чугуна для гильз цилиндров автомобильных двигателей / А.Г. Слуцкий, Р.Э. Трубицкий, Б.А. Каледин, Г.В. Довнар // материалы Междунар. науч.-технич. семин., посвящ. 35-летию кафедры «Металлургия литейных сплавов» БНТУ, Минск, 2004 / БНТУ. – Минск, 2004. – С. 96.

14. Легирующие присадки для железоуглеродистых сплавов на основе вторичных ресурсов / А.Г. Слуцкий, Р.Э. Трубицкий, А.А. Шевцов, Б.А. Кирсанов // *Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-й Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 2008 / БНТУ. – Минск, 2008. – С. 152.*

РЭЗІЮМЭ

Трубіцкі Раман Эдуардавіч

Тэхналогіі атрымання чыгунных і алюмініевых адлівак рухавікоў унутранага згарання пры выкарыстанні ў шыхце другаснай сыравіны

Ключавыя словы: рухавік, цыліндр, паршнявое кольца, гільза, поршань, адліўка, шыхта, матэрыялы, металы, аксіды, шлакі.

Мэта працы: распрацоўка тэхналогіі атрымання легіраваных чугуноў і алюмініевых сплаваў для адлівак рухавікоў унутранага згарання пры выкарыстанні ў шыхце другасных матэрыялаў.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца адліўкі паршнявых кольцаў, гільзаў цыліндраў, поршняў, адходы вытворчасці (медныя шлакі, алавяна-святцова мяшанка) і спажывання (адпрацаваныя каталізатары, выкарыстаныя железанікелевыя акумулятары).

Прадметам даследавання з'яўляецца хімічны склад, структура і ўласцівасці адлівак паршневых кольцаў, гільзаў цыліндраў і поршняў РУЗ.

Вывучаны механізм легіравання расплаву чыгуну аксідамі металаў праз шлаковую фазу.

Устаноўлена, што ва ўмовах правядзення прамысловых плавак ствараюцца магчымасці для пераходу ў сплаў Cu, Ni і Sn з аксідаў з каэфіцыентам аднаўлення ад 0,35 да 99 % у залежнасці ад спосабу ўводу і выгляду легіруючых дабавак.

Падабраныя адходы вытворчасці і спажывання, аснову якіх складаюць розныя аксіды каляровых металаў, што дазваляе іх лічыць другаснай сыравінай для легіравання сплаваў на аснове жалеза.

Аптымізаваны склад гільзавага чыгуну ИЧГ-33М, паменшаны дапушчальны інтэрвал ўтрымання Cr – з 0,50–0,75 % да 0,3–0,6 %; V – з 0,08–0,15 % да 0,02–0,15 %; Cu – з 0,5–0,8 % да 0,4–0,8 %; P – з 0,30–0,45 % да 0,20–0,45 %, Ni замяшчаецца Mn, B выключаецца з складу.

Ўкаранены наступныя тэхналогіі:

- тэхналогія плаўкі легіраваннага чыгуну для вытворчасці адлівак паршнявых кольцаў і гільзаў цыліндраў РУЗ у індукцыйных плавільных пячах з выкарыстаннем у шыхце медзьзмяшчальных адходаў.

- тэхналогія вырабу адлівак гільзаў цыліндраў РУЗ па аптымізаванаму хімічнаму складу чыгуну.

- тэхналогія вырабу адлівак поршняў з выкарыстаннем у шыхце лому алюмініевых сплаваў, лігатур марак ЛАК1, ЛАМ1, ЛАНК1, ЛАМг1, а таксама змененая іх тэрмічная апрацоўка.

РЕЗЮМЕ

Трубицкий Роман Эдуардович

Технологии получения чугунных и алюминиевых отливок двигателей внутреннего сгорания при использовании в шихте вторичного сырья

Ключевые слова: двигатель, цилиндр, поршневое кольцо, гильза, поршень, отливка, шихта, материалы, металлы, оксиды, шлаки.

Цель работы: разработка технологии получения легированных чугунов и алюминиевых сплавов для отливок двигателей внутреннего сгорания при использовании в шихте вторичных материалов.

Объектом исследования являются отливки поршневых колец, гильз цилиндров, поршней, отходы производства (медные шлаки, оловяно-свинцовистая изгарь) и потребления (отработанные катализаторы, использованные железоникелевые аккумуляторы).

Предметом исследования является химический состав, структура и свойства отливок поршневых колец, гильз цилиндров и поршней ДВС.

Изучен механизм легирования расплава чугуна оксидами металлов через шлаковую фазу.

Установлено, что в условиях проведения промышленных плавок создаются возможности для перевода в сплав Cu, Ni и Sn из оксидов с коэффициентом восстановления от 0,35 до 99 % в зависимости от способа ввода и вида легирующей добавки.

Подобраны отходы производства и потребления, основу которых составляют различные оксиды цветных металлов, что позволяет их считать вторичным сырьем для легирования сплавов на основе железа.

Оптимизирован состав гильзового чугуна ИЧГ-33М, уменьшен допустимый интервал содержания Cr с 0,50–0,75 % до 0,3–0,6 %; V – с 0,08–0,15 % до 0,02–0,15 %; Cu – с 0,5–0,8 % до 0,4–0,8 %; P – с 0,30–0,45 % до 0,20–0,45 %, Ni заменяется Mn, В исключается из состава.

Внедрены следующие технологии:

-технология плавки легированного чугуна для производства отливок поршневых колец и гильз цилиндров ДВС в индукционных плавильных печах с использованием в шихте медьсодержащих отходов.

-технология изготовления отливок гильз цилиндров ДВС по оптимизированному химическому составу чугуна.

-технология изготовления отливок поршней с использованием в шихте лома алюминиевых сплавов, лигатур марок ЛАК1, ЛАМ1, ЛАНК1, ЛАМГ1, а также измененная их термическая обработка.

SUMMARY

Trubitsky Roman E.

Technologies for obtaining cast iron and aluminum castings internal combustion engines for use in the charge recycled

Keywords: engine, cylinder, piston ring, liner, piston, cast, charge, materials, metals, oxides, slags.

Objective: Development of technology for production of alloy cast iron and aluminum castings for internal combustion engines using a batch of recycled materials.

The research object is cast piston rings, cylinder liners, pistons, waste production (copper slag, dross tin- leaded) and consumption (spent catalysts used nickel-iron batteries).

The subject of this study is the chemical composition, structure and properties of cast piston rings, cylinder liners and piston engine.

The mechanism of doping iron melt metal oxides through the slag phase.

Found that in conditions of industrial batches are possible for the transfer to the alloy Cu, Ni and Sn oxide recovery coefficient of from 0.35 to 99 % depending on the input method and type dopant.

Selected waste production and consumption, which are based on various oxides of nonferrous metals, which allows them to be considered secondary raw materials for alloying iron-based alloys.

Optimized structure of the barrel iron ICHG - 33M, reduced the permissible range of the Cr content from 0,50-0,75 % to 0.3-0.6 %; V - from 0.08-0.15 % and 0.02-0.15 %; Cu - from 0.5-0.8 % to 0.4-0.8 %; P – from 0,30–0,45 % and 0,20–0,45 %, Ni is replaced by Mn, B is excluded from the composition.

Implemented the following technologies:

- smelting technology for the production of alloyed iron castings piston rings and cylinder liners in the engine induction melting furnaces using batch copper waste.
- technology for making castings of cylinder liners for internal combustion engines to optimize the chemical composition of pig iron.
- technology for making castings using pistons in charge of scrap aluminum alloys, ligature marks LAK1, LAM1, LANK1, LAMg1, as well as changes in their heat treatment.

Научное издание

ТРУБИЦКИЙ Роман Эдуардович

**ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ЧУГУННЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ОТЛИВОК
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ШИХТЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности
05.16.04 – Литейное производство

Подписано в печать 24.04.2014. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 70. Заказ 317.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.