

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ»**

Составитель:  
И.В.БЕЛЯЕВ

Владимир, 2011

УДК 621.74

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры

технология машиностроения

Владимирского государственного университета имени

Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

В.Г. Гусев

Печатается по решению редакционного совета

Владимирского государственного университета

**Методические указания** к лабораторным работам по дисциплине «Ресурсосберегающие технологии в металлургии»/ Владим. гос. ун-т; сост. И.В.Беляев.- Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011 - с.

Методические указания разработаны в соответствии с учебным планом подготовки бакалавров по направлению 150400 «Металлургия», рабочей программой курса «Ресурсосберегающие технологии в металлургии» и служат руководством к проведению лабораторных работ в рамках данного курса.

Содержат сведения о видах металлургических отходов производства литых изделий; о вторичных материалах, используемых при выплавке сплавов; о методах подготовки вторичных материалов к переплаву на паспортную шихту; о явлении структурной наследственности при производстве отливок из вторичных материалов; о металлотермических методах переработки металлических и смешанных порошковых отходов; об особенностях переработки вторичных материалов на паспортную шихту заданного состава.

Приведены рекомендации по организации занятий, последовательности и методики выполнения лабораторных работ, а также рекомендации по составлению отчётов, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов – бакалавров очной и заочной форм обучения по направлению 150400 «Металлургия».

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторные работы по дисциплине «Ресурсосберегающие технологии в металлургии» составлены в соответствии с учебным планом и направлены на закрепление общекультурных и профессиональных компетенций по данной дисциплине бакалаврами направления 150400 «Металлургия».

Перед началом лабораторных работ студенты должны самостоятельно изучить описание работы, теоретический материал по теме, используя рекомендованную литературу, составить краткое описание методики работы, схем и эскизов используемых приборов и установок, таблицы технологических параметров основных процессов.

Прежде чем приступить к занятиям, преподаватель должен ознакомить студентов с задачами предстоящей работы, последовательностью её выполнения, требованиями, предъявляемыми к отчёту, правилами поведения при проведении лабораторной работы, рекомендуемой литературой, провести инструктаж по технике безопасности и пожарной безопасности. Усвоение этих правил подтверждается подписью в журнале техники безопасности или контрольном листе.

По каждой лабораторной работе каждый студент должен составить письменный отчёт. Содержание отчётов указано в конце каждой лабораторной работы. Оформленные отчёты студенты сдают преподавателю в день проведения следующей лабораторной работы. Работа считается выполненной и зачтённой только после защиты её студентом у преподавателя.

В ходе выполнения лабораторных работ у студентов будут сформированы следующие общекультурные и профессиональные компетенции:

- владеть культурой мышления, обобщать и анализировать информацию, ставить цель и выбирать пути её достижения (ОК-1);
- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-6);
- владеть основными методами защиты производственного персонала от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий (ОК-7);
- использовать компьютер как средство управления информацией (ОК-11);
- использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-17);
- уметь использовать фундаментальные общеинженерные знания (ПК-1);
- уметь сочетать теорию и практику для решения инженерных задач (ПК-4);
- уметь применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды (ПК-5);
- иметь способности к анализу и синтезу (ПК-18);

- уметь выбирать методы исследования, планировать и проводить необходимые эксперименты, интерпретировать результаты и делать выводы (ПК-19).

## **ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЁТОВ**

Лабораторные работы по дисциплине «Ресурсосберегающие технологии в металлургии» проводятся под руководством преподавателя в специально оборудованных помещениях ВлГУ или его учебно-производственных филиалах.

Необходимые для проведения лабораторных работ оборудование, приборы, оснастка, инструменты, материалы готовят предварительно перед началом занятий. Ответственным за подготовку помещения, оборудования, приборов к занятиям является учебный мастер.

Студенты должны приходить на занятия подготовленными, предварительно ознакомившись с темой лабораторной работы и изучив учебно-методическую литературу, посвящённую данному вопросу. Степень подготовленности студента к занятиям определяет преподаватель, который имеет право не допустить студента к занятиям в случае недостаточной подготовленности. Повторное проведение лабораторной работы студентом возможно только с разрешения преподавателя.

Для обеспечения участия каждого студента в лабораторной работе преподаватель может разделять группы студентов на подгруппы, бригады, а также давать студентам индивидуальные задания в рамках темы данной лабораторной работы.

При выполнении лабораторных работ студентам рекомендуется использовать компьютерную технику.

Отчёт по лабораторным работам оформляется каждым студентом в тетради или на стандартных листах при помощи компьютера. В верхней части титульного листа должно быть приведено полное название университета, в середине указываются номер и название лабораторной работы. Ниже названия с правой стороны листа указываются фамилия студента и номер его учебной группы, ещё ниже- фамилия преподавателя. В нижней части титульного листа приводятся название города (местонахождения университета) и год проведения работы. После титульного листа следует индивидуальное задание, выдаваемое студенту преподавателем, затем оглавление, в котором должны быть указаны разделы отчёта и номера страниц. Содержание отчёта должно соответствовать оглавлению. В конце отчёта следует приводить список литературы, а в тексте отчёта необходимо делать ссылки на используемую литературу.

## ПАМЯТКА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Все студенты перед началом занятий в обязательном порядке проходят инструктаж по технике безопасности.
2. Все операции с расплавленным металлом следует производить в спецодежде и в светозащитных очках.
3. Во избежание выбросов расплава из плавильной печи и ковша все компоненты шихты и плавильно-разливочная оснастка должны быть тщательно просушены.

### Лабораторная работа № 1

#### ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ СОСТАВОВ И ВИДОВ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВ

**Цель работы:** получить представление о видах отходов производства литых изделий и их образовании, а также о классификации отходов, их внешнем виде, форме и степени загрязнённости.

Продолжительность работы: 8 часов.

#### 1. Общие сведения

Отходами производства отливок и их последующей механической обработки, контроля и испытаний называются различного рода вещества (сплавы, шлаки, песчано-глинистые смеси, шламы, стружка и т.п.), образующиеся на различных стадиях технологического процесса изготовления отливок и не пригодные для дальнейшего использования в данном технологическом процессе, без специальных мероприятий по их подготовке и переработке. Стадии технологического процесса изготовления литых изделий и образующиеся при этом отходы приведены на рис. 1.

#### Классификация отходов

Отходы, образующиеся при производстве отливок и их последующей механической обработки, контроля и испытаний можно разделить на три класса:

- 1 класс – металлические отходы
- 2 класс – смешанные отходы
- 3 класс – неметаллические отходы

**Металлические отходы** подразделяются на пять групп:

1 группа – брак отливок, выявленный на стадии механической обработки и испытаний (рис.2);

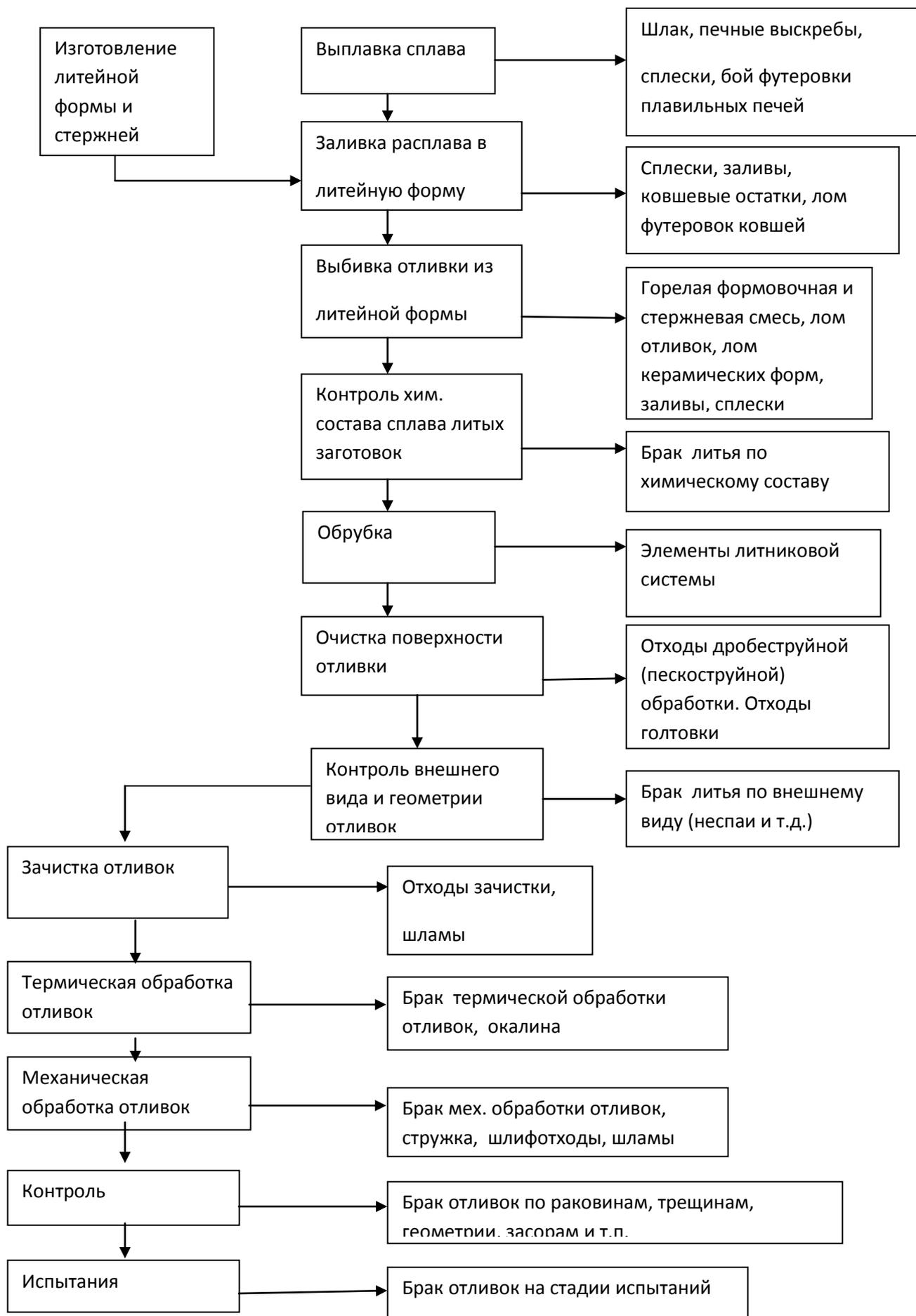


Рис. 1. Стадии технологического процесса изготовления литых изделий и образующиеся отходы

2 группа – брак литья, выявленный в литейном цехе по хим.составу, недоливам, трещинам и т.п.(рис.3);

3 группа – элементы литниковой системы (рис.4);

4 группа – сплески, заливы, ковшевые остатки (рис.5);

5 группа – стружка (рис.6);

**Смешанные отходы** представляют собой механическую смесь металлической и неметаллической составляющих отходов производства отливок и изделий из них.

Смешанные отходы можно разделить на три группы:

1 группа – печные выскребы (рис.7);

2 группа – отходы дробеструйной обработки отливок (рис. 8), пыли, шламы;

3 группа – шлифотходы (рис.9);

**Неметаллические отходы** производства отливок можно разделить на пять групп:

1 группа – отработавшие формовочные и стержневые смеси (рис.10);

2 группа – лом футеровок плавильных печей, миксеров и металлургических ковшей (рис.11);

3 группа – лом футеровок термических, обжиговых, прокаточных, нагревательных печей (рис.12);

4 группа – металлургические шлаки (рис.13);

5 группа – окалина (рис.14).

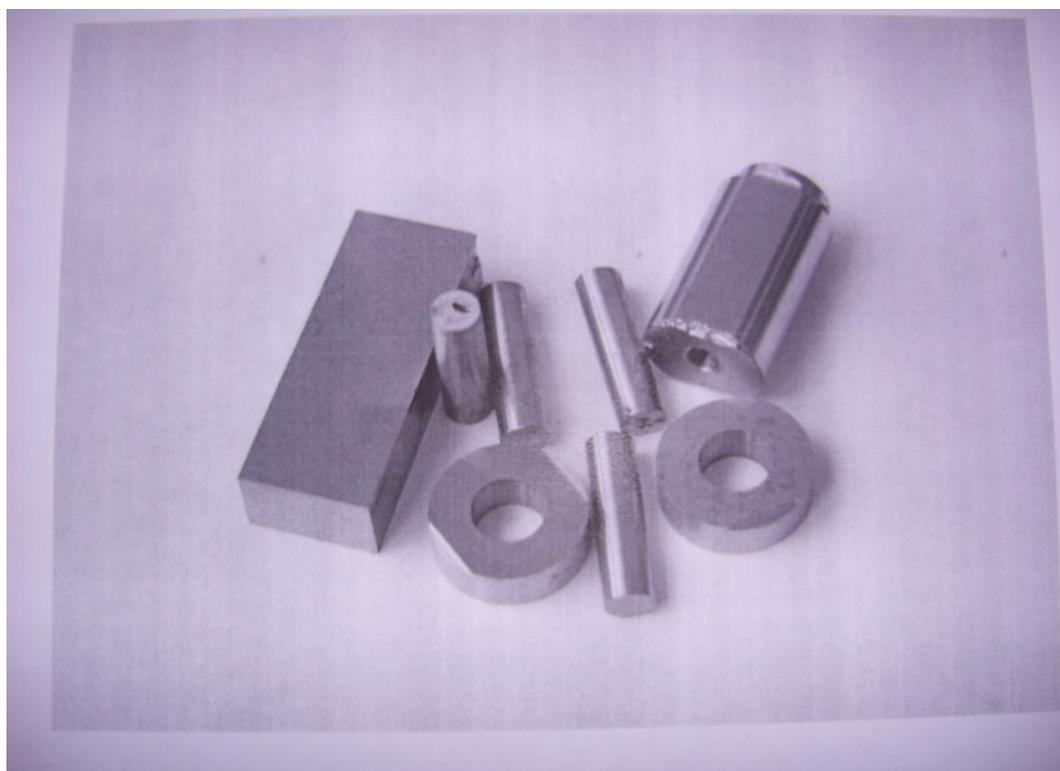


Рис. 2.Металлические отходы 1 группы: брак отливок, выявленный на стадии механической обработки и испытаний



Рис. 3. Металлические отходы 2 группы: брак отливок, выявленный в литейном цехе (по химическому составу, по недоливам, по трещинам и т.п.)



Рис. 4. Металлические отходы 3 группы: элементы литниковой системы



а)



б)

Рис.5. Металлические отходы 4 группы: сплески, заливывы (а), ковшевые остатки (б)



Рис. 6. Металлические отходы 5 группы: стружка



Рис. 7. Смешанные отходы 1 группы: печные выскребы

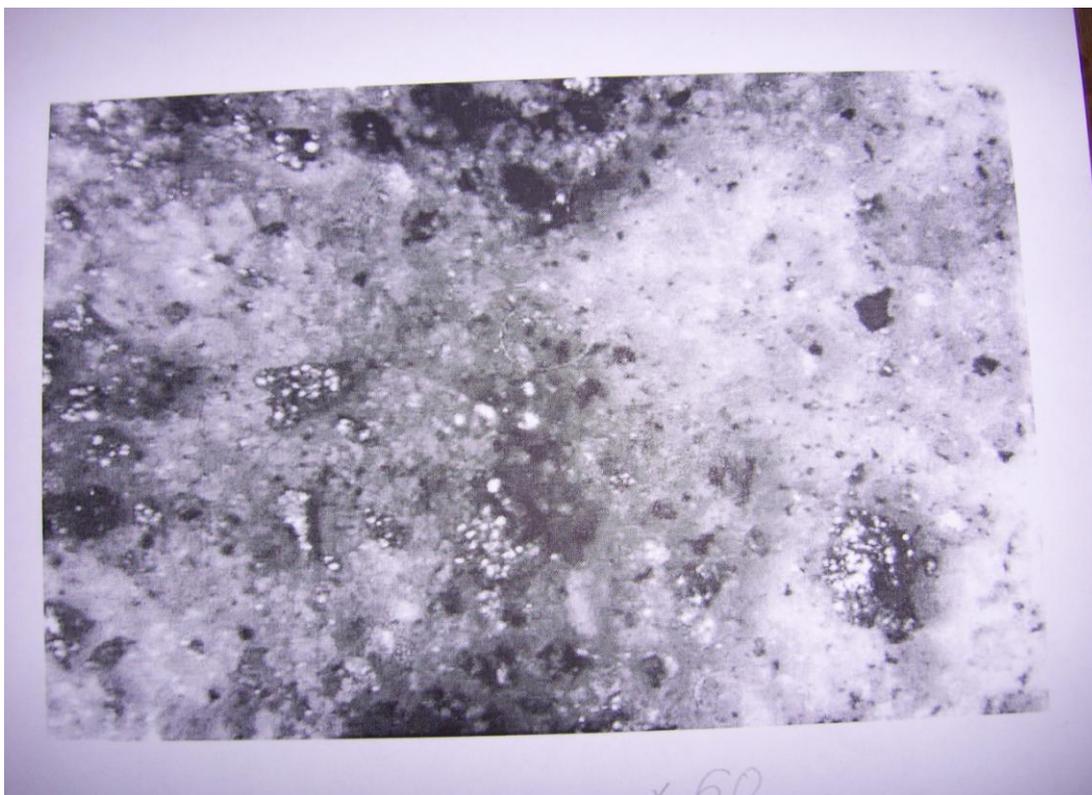


Рис. 8. . Смешанные отходы 2 группы: отходы дробеструйной обработки отливок, х 60

**Металлические отходы 1-й группы (брак отливок, выявленный на стадии механической обработки и испытаний)** всегда имеют заданный химический состав сплава, поверхность их иногда бывает слегка окислена или замаслена смазывающе-охлаждающей жидкостью. Эти отходы могут быть использованы в качестве компонента шихты без какой-либо специальной подготовки. Иногда требуется лишь голтовка отходов или дробеструйная обработка поверхности.

**Металлические отходы 2-й группы (брак литья, выявленный в литейном цехе)** часто имеют отклонения от заданного химического состава, поверхность их может быть загрязнена остатками материала литейной формы, пригаром и оксидами. Перед использованием поверхность этих отходов необходимо очищать (голтовка, дробеструйная, пескоструйная обработка), а сами отходы переплавлять в большой печи для усреднения химического состава сплава.

**Металлические отходы 3-й группы (элементы литниковой системы)** загрязнены примесями, растворимыми и нерастворимыми, имеют окисленную поверхность, на которой возможен пригар и налипший материал литейной формы. Имеются открытые и закрытые усадочные полости, поверхность которых окислена. Прямое использование этого вида отходов в качестве компонента шихты не рекомендуется. Требуется обязательная очистка поверхности (голтовка, пескоструйная обработка и т.п.) и усреднительно-рафинировочный переплав с последующей паспортизацией полученного сплава.



а) x 150



б) x 500

Рис. 9. Смешанные отходы 3 группы: отходы зачистки и сухого обнажачивания шлифования отливок, РЭМ, x 150 (а); отходы мокрого шлифования отливок, РЭМ, X 500 (б)



Рис. 10. Неметаллические отходы 1 группы: отработавшая формовочная смесь



Рис. 11. Неметаллические отходы 2 группы: лом футеровки плавильной индукционной печи



Рис. 12. . Неметаллические отходы 3 группы: лом футеровки прокаточной печи

Оценка загрязненности металлических отходов 3-й группы производится визуально, а также при помощи методов химического, газового и металлографического анализов.

**Металлические отходы 4-й группы** (сплески, заливы, ковшевые остатки) как правило имеют окисленную поверхность, содержат неметаллические включения, замешавшиеся в сплав механическим путем, а также налипшие на поверхности контакта сплава с разливочным ковшом. Обычно налипшие включения легко отделяются от поверхности сплава при голтовке. Химический состав сплава отходов 4-й группы обычно соответствует заданному. Перед использованием этих отходов в качестве компонентов шихты рекомендуется тщательная очистка их поверхности голтовкой и обдувкой сжатым воздухом, а также рафинировочный переплав с последующей паспортизацией полученного сплава.

**Металлические отходы 5-й группы** (стружка) часто имеют окисленную поверхность. Стружка, образованная при снятии первых поверхностных слоев отливки, может содержать неметаллические включения и примеси, попавшие в сплав путём диффузии из материала литейной формы (углерод сверхдопустимых пределов, фосфор.). Стружка часто бывает замаслена или перепачкана смазывающе-охлаждающей жидкостью, содержащей органические вещества. Химический состав стружки по основным элементам обычно соответствует заданному. Перед использованием в качестве компонента шихты стружку рекомендуется брикетировать.

**Смешанные отходы 1-й группы** (печные выскребы) представляют собой трудноразделимую шлакометаллическую смесь, образующуюся в результате чистки стенок плавильного тигля после плавки и сброса осыпающихся при этом частиц керамики, шлаков, последних порций расплава в печной приямок.

Для того, чтобы полезно использовать такие отходы, их сначала подвергают дроблению (иногда помолу) и отделению металлической составляющей



Рис. 13. Неметаллические отходы IV группы:  
металлургический шлак



Рис. 14. Неметаллические отходы IV группы:  
окалина

от неметаллической. Последнее обычно делается методом магнитной сепарации.

Полученный сплав не имеет стабильного химического состава, окислен и сильно загрязнен примесями. Для того, чтобы его использовать в качестве компонента шихты требуется рафинировочный переплав с последующей паспортизацией полученного сплава по основным элементам и примесям.

**Смешанные отходы 2-й группы** (отходы дробеструйной обработки, шламы, пыли) представляют собой сухие сыпучие смеси металлических и неметаллических частиц. Разделение этих частиц обычно производят методами магнитной сепарации (сухой или мокрой), а также центробежными и гравитационными методами.

Металлическую составляющую отходов обычно прессуют или формуют совместно с вяжущим рафинировочным составом (цемент, флюс, жидкое стекло) и в таком виде переплавляют на паспортную шихту. Если металлическая составляющая отходов сильно окислена, то производят дополнительный окислительный обжиг для полного окисления всей металлической составляющей, затем полученный оксид смешивают с восстановителем (угольная пыль), шлакообразующей смесью и прессуют в брикеты. Эти брикеты обжигают при температуре 800-1000С и затем используют для получения паспортной шихты.

Химический состав металлической составляющей отходов 2-й группы, как правило, неоднороден (за исключением дробы, входящей в состав отходов дробеструйной обработки). Поверхность металлических частиц может быть окисленной.

**Смешанные отходы 3-й группы** (шлифотходы) образуются при обработке (шлифовании, заточке, зачистке, обнаждачивании) литых изделий абразивными кругами и представляет собой смесь частиц сплава и керамики (чаще всего это корунд). При мокром шлифовании в состав смешанных отходов 3-й группы входят также органические компоненты смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Эти компоненты после высыхания СОЖ склеивают частицы между собой и делают смесь не сыпучей. При сухом шлифовании (зачистке, заточке, обнаждачивании) отливок шлифотходы представляют собой сыпучую смесь металлических частиц сплава и керамики неметаллических частиц. Внешний вид шлифотходов приведен на рис.9. Металлические частицы шлифотходов имеют нестабильный химический состав, слабоокислены и содержат относительно небольшое количество вредных примесей. Размер металлических частиц в отходах сухого шлифования (заточки и т.д.) может достигать 500 мкм, в отходах мокрого размерного шлифования – 50 мкм. В состав отходов сухого шлифования может входить более 40% об. Керамики, в состав отходов мокрого шлифования – не более 20% об.

Переработка этого вида отходов заключается в их окислительном обжиге, магнитной сепарации и металлотермическом (или углетермическом) восстановлении окисленных металлических частиц. Полученный сплав после

паспортизации химического состава (по основным элементам и примесям) можно использовать в качестве компонента шихты при выплавке сплавов заданного состава.

Металлическую составляющую отходов сухого шлифования (заточки и т.п.) можно перерабатывать также путем их брикетирования с цементом и водой с последующим переплавом брикетов на паспортную шихту.

**Неметаллические отходы 1-й группы** представляют собой отработавшие (горелые) формовочные и стержневые смеси. Это окомковавшиеся спекшиеся смеси минералов с плохой сыпучестью и плохой формуемостью, содержащие в своем составе частично выгоревшие и прореагировавшие органические вещества-добавки. Для восстановления рабочих характеристик эти смеси подвергают обжигу и дезинтеграции, после чего их вновь можно использовать в технологии производства отливок в качестве основы формовочных и стержневых смесей.

**Неметаллические отходы 2-й группы** представляют собой спекшиеся, частично или полностью металлизированные куски футеровки плавильных печей, миксеров, металлургических ковшей. Металлизация футеровки происходит потому, что оксиды металлов, входящие в состав расплава, смачивают материал футеровки и проникают в ее поры. Эти оксиды могут вступать в химическое взаимодействие с материалом футеровки и образовывать новые химические соединения, тем самым ослабляя футеровку и, в конечном счете, приводя к ее разрушению. Утилизация этого вида отходов, как правило, предполагает их дробление, помол, при необходимости обжиг и использование в производстве строительных материалов и изделий из них.

**Неметаллические отходы 3-й группы** представляют собой спекшиеся, частично оплавившиеся или наоборот разъединенные, частично осыпавшиеся куски футеровки термических, обжиговых, прокалочных и др. печей, эксплуатация которых не предусматривает прямой контакт футеровки с металлическим расплавом.

Этот вид отходов практически не содержит вредных примесей, хорошо прокален и стабилен по фазовому составу. Утилизация этого вида отходов заключается в дроблении, помоле и классификации (рассеивание по фракциям), после чего он является товаром и реализуется предприятиям, изготавливающим огнеупоры и изделия из них.

**Неметаллические отходы 4-й группы** представляют собой металлургические шлаки. Это камнеподобные образования, состоящие из затвердевшего расплава оксидов, фторидов, хлоридов и других соединений, который специально наводится на поверхности металлического расплава при помощи флюсов с целью его рафинирования от вредных примесей (неметаллических включений, растворимых примесей, газов) или с целью защиты от газонасыщения. Шлаки могут и самостоятельно образовываться на поверхности металлического расплава вследствие окисления его компонентов.

Шлаковые и металлические расплавы – это несмешивающиеся жидкости. Затвердевший шлак представляет собой кристаллическое или аморфное образование. Состав шлака определяют методом количественного рентгенофазового анализа при помощи специальных приборов – рентгеновских дифрактометров. Исследование состава шлаков производится также методами стереометрической оптической металлографии, методами петрографии, методами растровой электронной микроскопии, методами локального микрорентгеноспектрального анализа и т.п. Типичный состав известково-глиноземистого шлака, широко применяемого при выплавке различных сплавов на основе железа, содержит до 50 % CaO, до 60 % SiO<sub>2</sub> и до 15 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Отработавшие шлаки могут в большом количестве содержать в своем составе: серу, фосфор, оксиды тяжелых металлов. Данный вид отходов используют для производства строительных материалов (шлакобетон, шлакоцемент) и изделий из них, для изготовления камнелитых изделий (кислотостойкие трубы, контейнеры для захоронения радиоактивных отходов, радиационностойкие строительные блоки, шламоводы и др.), для компонентов флюсов, катализаторов, адсорбентов.

**Неметаллические отходы 5-й группы (окалина)** представляют собой мелкодисперсные или хлопьевидные порошкообразные оксиды металлов, входящих в состав сплава отливки (литой заготовки). Этот вид отходов образуется, как правило, не в литейных, а в термических, кузнечно-прессовых и прокатных цехах. Неметаллические отходы 5-й группы, как правило, состоят из весьма чистых слабых оксидов (оксидов железа, никеля, кобальта, меди, цинка), свободны от органики, не содержат газообразующих примесей (углерода, серы). Состав этого вида отходов определяют методами количественного фазового анализа при помощи рентгеновского дифрактометра. О наличии малого количества примесей судят по данным масс-спектрометрического анализа.

Неметаллические отходы 5-й группы могут быть утилизированы методами металлотермического или углетермического восстановления металла из его оксида. При помощи этих методов может быть получена паспортная шихта, которую используют для выплавки сплава заданного состава.

Эти отходы можно применять и непосредственно в виде оксидов. Для этого их смешивают с цементом, угольной пылью и брикетируют. Брикеты можно использовать как компонент шихты при выплавке чугунов в вагранке.

## **2. Оборудование, инструменты и материалы**

1. Металлографический микроскоп
2. Набор слесарных инструментов и материалы для изготовления металлографических шлифов.
3. Химические реактивы для травления шлифов.
4. Вытяжной шкаф.

5. Химическая посуда.
6. Весы.
7. Линейка.
8. Постоянный магнит.

### **3. Порядок выполнения работы**

1. Внимательно рассмотреть каждый вид отходов и при необходимости взвесить (по заданию преподавателя).
2. Перечислить имеющиеся на отходах виды загрязнений, записать в тетрадь (рабочий журнал).
3. Измерить линейкой неметаллические включения, плены, глубину металлизированного слоя, размеры дефектных зон на бракованных отливках. Произвести запись в рабочий журнал.
4. Поместить рассматриваемый вид отходов под микроскоп и исследовать его внешние поверхности при увеличениях в 5-20 раз. Произвести запись в рабочий журнал.
5. Отрезать от заданной части металлических отходов (назначает преподаватель) кусочек сплава и приготовить из него металлографический шлиф.
6. Протравить поверхность шлифа реактивом для выявления неметаллических включений.
7. Внимательно рассмотреть неметаллические включения под микроскопом, произвести измерения их размеров, зарисовать форму.
8. Произвести подсчет количества неметаллических включений в 20 полях зрения. Произвести запись в рабочей тетради.
9. Рассмотреть шлифотходы, шламы, пыли (по заданию преподавателя) под микроскопом, измерить размеры металлических и неметаллических частиц, сделать запись в рабочем журнале .
10. Обобщить все данные, составить отчет.

### **4. Содержание отчета**

1. Описание исследуемых отходов.
2. Эскизы характерных неметаллических включений.
3. Таблицы результатов эксперимента, фотографии.
4. Выводы.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Какие виды отходов образуются при производстве отливок методом литья под давлением?
2. Можно ли использовать металлические отходы 3-й и 4-й групп при изготовлении фасонных отливок из нержавеющей стали 17X18H10T?
3. Для чего следует брикетировать стружку перед ее использованием в качестве компонента шихты при выплавке сплавов?

4. Каким образом можно разделить металлическую и неметаллическую составляющие смешанных отходов?
5. Каким образом можно утилизировать металлические шлаки?

## **Лабораторная работа №2**

### **СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА И ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА К ПЕРЕПЛАВУ**

Цель работы: изучить способы подготовки металлического покупного лома и собственного литейного возврата к использованию в качестве компонента шихты при выплавке сплавов заданного состава и применяемого приобрести навыки такой подготовки.

Продолжительность работы: 4 часа.

#### **1. Общие сведения**

Покупной лом и собственный литейный возврат широко используют в качестве компонентов шихты при выплавке различных сплавов. Это позволяет существенно снизить себестоимость получаемого сплава по сравнению со сплавом, который изготавливается путём сплавления чистых металлов. Использование ломов и собственных металлических отходов (в том числе литейного возврата) является основой ресурсосберегающих технологий в металлургии и в литейном производстве. В то же время выплавить сплав заданного состава и с нужными свойствами из такой шихты далеко не просто. Покупной металлический лом часто бывает неразобраным по маркам сплавов т.е. привезённые металлические изделия могут иметь различный химический состав. Бывает также, что сплав с якобы известным химическим составом не соответствует сертификату или имеет сильные отклонения от заданного химического состава. Использование таких материалов в качестве компонентов шихты при выплавке сплавов заданного химического состава невозможно. Предварительно необходимо тщательно разобрать весь привезённый материал по маркам сплавов (по химическому составу). Для проведения такой работы удобно использовать современные портативные анализаторы химического состава. Внешний вид одного из таких анализаторов приведён на рис. 15.

Конструкция анализатора, как правило, включает малогабаритную рентгеновскую трубку, твердотельный детектор высокого разрешения, дисплей, источник питания и мощное аналитическое устройство (миникомпьютер), позволяющее в течение 10-30 сек определить химический состав сплава. Для проведения анализа необходимо включить прибор, прижать носовую часть рентгеновской трубки (датчик) к исследуемому объекту и на несколько секунд нажать кнопку включения источника рентгеновского излучения. Информация о химическом составе сплава появляется на дисплее прибора. Подробно конструкция прибора,



Рис. 15. Внешний вид портативного рентгенофлуоресцентного анализатора химического состава сплавов

в данной конкретной лабораторной работе, а также порядок проведения измерений приведены в соответствующем техническом паспорте на прибор и в инструкции по его эксплуатации.

Разобранный по химическому составу металлический лом раскладывают по отдельным ёмкостям и прикладывают в каждую ёмкость сертификат (листок с указанием химического состава сплава). Данные сертификата используют для расчёта шихты выплавляемого сплава. В случае, если привозной лом является крупногабаритным и не вмещается в тигель плавильной печи его разделяют на более мелкие куски, удобные для загрузки в плавильную печь. Для этого в зависимости от типа сплава лом либо разбивают на копре, либо разрезают при помощи механической пилы, аллигаторных ножниц, газовых или плазменных резаков. То же самое проделывают, при необходимости, с собственными литейными отходами (с литейным возвратом).

Покупной металлический лом и собственный литейный возврат часто бывают покрыты слоем ржавчины, загрязнены и замаслены. Ржавая (окисленная) шихта приводит к насыщению расплава кислородом, повышенному угару легкоокисляемых элементов сплава, появлению газовых и газоусадочных дефектов в отливке, к загрязнению сплава оксидными неметаллическими включениями. Во избежание этого окисленную и загрязнённую с поверхности шихту следует очищать от ржавчины и грязи. Такую очистку обычно производят методами голтовки или пескоструйной (дробеструйной) обработки поверхности шихты в специальных камерах. Процесс голтовки производят в специальных голтовочных барабанах. Конструкция голтовочного барабана схематично приведена на рис. 16. На крышке и боковых поверхностях барабана имеются отверстия,



через которые в процессе голтовки высыпается отлетевшая от поверхности шихты ржавчина или грязь. Для очистки металлической шихты в голтовочном барабане её загружают примерно на 2/3 объёма барабана, закрывают крышку барабана и включают привод вращения барабана. При этом находящиеся в барабане куски металлической шихты ударяются друг о друга и о стенки барабана, в результате чего имеющаяся на поверхности шихты ржавчина и налипшая грязь отбиваются от поверхности шихты и удаляются через отверстия в стенках и крышке барабана. Обычно процесс голтовки длится от 15 до 30 минут, после чего голтовочный барабан останавливают, а очищенную шихту извлекают из барабана.

Замасленная шихта может быть причиной повышенного загрязнения выплавляемого сплава углеродом и серой. Для удаления масла с поверхности шихты обычно проводят окислительный обжиг шихты. Такой обжиг проводят в открытых камерных или проходных печах сопротивления при интенсивной приточно-вытяжной вентиляции камеры печи, при температуре 650-700С в течение 15-30 минут. Кислород воздуха окисляет содержащиеся в масле углерод и серу, которые в виде газов удаляются с поверхности шихты. Процесс должен происходить при достаточном количестве воздуха. В противном случае реакция окисления не пройдёт до конца, а на поверхности шихты осядут пиролитический углерод и пиролитическая сера. После проведения окислительного обжига шихта, как правило, подвергается голтовке для очистки поверхности от оксидов и других возможных загрязнений.

## **2. Оборудование, инструмент и материалы**

1. Портативный анализатор химического состава сплавов.
2. Весы.
3. Лом различных сплавов.
4. Литейный возврат различных сплавов.
5. Специальная шихтовая тара.
6. Голтовочный барабан.
7. Установка для пескоструйной очистки металлических изделий.
8. Лабораторная нагревательная печь сопротивления.
9. Набор слесарных инструментов.
10. Газовый или плазменный резак.
11. Спецодежда.

## **3. Порядок выполнения работы**

1. Отобрать несколько образцов металлического лома различной загрязнённости (по заданию преподавателя) и зачистить часть поверхности керамическим кругом или напильником.

2. При помощи портативного анализатора химического состава измерить химический состав каждого из образцов металлического лома. Данные занести в рабочий журнал.

3. в зависимости от характера загрязнённости или окисленности металлического лома применить тот или иной способ очистки её поверхности (головку, пескоструйную обработку или окислительный обжиг).

4. Взвесить образцы металлического лома с различным химическим составом. Данные занести в журнал.

5. Опираясь на полученные данные о химическом составе лома произвести расчёт шихты, состоящей из двух или трёх (определяет преподаватель) образцов металлического лома и необходимой подшихтовки чистыми металлами или лигатурами для получения сплава (состав сплава определяет преподаватель).

6. Произвести расчёт шихты для выплавки того же сплава из чистых металлов (марка металла задаётся преподавателем).

7. Используя данные о рыночных ценах чистых металлов и используемых в данной работе металлических ломов (задаёт преподаватель или Интернет-ресурс) произвести сравнительный расчёт стоимости шихты, выплавляемой из чистых металлов и из металлических ломов.

#### **4. Содержание отчёта**

1. Описание задания и методики проведения эксперимента.

2. Блок-схема и краткое описание работы портативного анализатора химического состава сплавов.

3. Таблица результатов замеров химического состава образцов металлического лома.

4. Способ очистки металлического лома, оборудование и технологические режимы.

5. Таблица результатов взвешивания очищенного металлического лома.

6. Таблица результатов расчёта шихты для получения сплава заданного химического состава из покупного металлического лома.

7. Таблица сравнительных данных о ценах шихтовых материалов и выплавленного сплава заданного химического состава при использовании в качестве компонентов шихты чистых металлов и металлических ломов.

8. Краткое обсуждение результатов работы, выводы.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Как можно быстро определить химический состав не разобранного металлического лома?

2. Устройство и принцип действия портативного рентгеновского анализатора химического состава сплавов?

3. Назовите промышленные способы очистки поверхности шихтовых материалов (металлических ломов, литейного возврата, отходов собственного производства) от ржавчины и налипшей грязи?

4. Назовите промышленные способы очистки поверхности вторичных шихтовых материалов от литейного пригара?
5. Назовите промышленные способы очистки поверхности вторичных шихтовых материалов от масла, мазута и другой органики?
6. Что такое окислительный обжиг и для чего он применяется?
7. Для чего нужен голтовочный барабан?
8. Назовите промышленные способы разделки крупных кусков металлического лома на более мелкие?

### **Лабораторная работа № 3**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ШИХТЫ ЛОМОВ И ЛИТЕЙНОГО ВОЗВРАТА**

Цель работы: изучить причины наследования отливкой макроструктуры шихты, обстоятельства при которых это явление реализуется и методы устранения зависимости макроструктуры отливки от макроструктуры шихты.

Продолжительность работы: 8 часов.

### **1. Общие сведения**

Явление структурной наследственности широко известно в литейном производстве. Оно состоит в наследовании отливкой кристаллической структуры шихты, из которой изготовлена эта отливка. Явление структурной наследственности проявляется тогда, когда в состав шихты входит покупной металлический лом, возврат собственного производства или паспортная шихта. Если кристаллическая структура этих компонентов шихты является мелкозернистой, то и структура будущей отливки тоже, как правило, бывает мелкозернистой. Мелкозернистая структура как бы передаётся от шихты будущей отливке. Причина этого явления заключается в том, что в мелкозернистой шихте, как правило, содержится большое количество неметаллических включений, способных становиться центрами кристаллизации для сплава, из которого состоит отливка. При плавке такой шихты эти неметаллические включения попадают во вновь образующийся расплав и при его затвердевании в литейной форме (или в изложнице) измельчают кристаллическую структуру отливки.

Причиной измельчения макроструктуры отливки при её затвердевании могут быть также недорасплавившиеся мелкие кристаллы шихтовой заготовки. Это случается тогда, когда расплавление шихты производят быстро, без существенного перегрева расплава над ликвидусом и без выдержки расплава при температурах выше ликвидуса. Сплав шихтовой заготовки в этом случае не успевает расплавиться полностью, он

расплавляется лишь по границам зёрен, а сами зёрна до конца расплавятся не успевают. Эти недорасплавленные зёрна при последующей кристаллизации сплава работают как центры кристаллизации и также измельчают зёрненную структуру отливки.

Согласно известному правилу Данкова не все неметаллические включения способны становиться центрами кристаллизации для данного сплава, а только те, параметры кристаллических решёток которых отличаются от параметров кристаллической решётки данного сплава не более, чем на 15%. Однако, если неметаллическое включение, не обладающее структурным соответствием со сплавом, длительно находится в составе этого сплава, то структура поверхностных слоёв этого включения искажается и становится подобной окружающему его сплаву. Кристаллические решётки неметаллического включения и окружающего его сплава как бы сближаются и включение приобретает структурное соответствие со сплавом. Такое включение уже может быть центром кристаллизации для этого сплава.

Явление приобретения неметаллическими включениями структурного соответствия с окружающим их сплавом вследствие длительного в нём пребывания называется активацией неметаллических включений. Присутствие активированных неметаллических включений особенно велико в металлическом ломе, который образовался вследствие снятия с эксплуатации выработавших свой срок станков, металлоконструкций, станин, приборов, двигателей, механизмов, машин и т.д. Если такой лом будет иметь к тому же мелкокристаллическую структуру, то при использовании его в качестве компонента шихты, он при определённых обстоятельствах, а именно при малом перегреве расплава над ликвидусом и при недостаточной выдержке расплава при температурах выше ликвидуса, может быть причиной сильного измельчения макроструктуры изготавливаемой из него отливки.

Вышеописанные обстоятельства и являются причиной наследования отливкой структуры шихты, состоящей из металлического лома или собственного литейного возврата (или переплавленных на паспортную шихту металлических отходов производства). Если же при выплавке сплава производить нагрев расплава до достаточно высоких температур (примерно на 250-300 °С выше температуры ликвидуса выплавляемого сплава) и выдерживать расплав при этих температурах 5-15 минут, то эффект наследования отливкой макроструктуры шихты исчезает. Точнее связь между макроструктурой (размером зерна) шихты и макроструктурой (размером зерна) отливки перестаёт быть однозначной. Так, например, при использовании мелкозернистого лома после проведения вышеописанной обработки расплава размер зерна отливки вполне может получиться крупным. Это объясняется прежде всего тем, что присутствующие в металлическом ломе активированные неметаллические включения при проведении высокотемпературной обработки расплава (ВТОР) дезактивируются т.е. утрачивают своё структурное соответствие с окружающим их сплавом, а следовательно перестают быть активными центрами кристаллизации для этого сплава. Это связано с исчезновением у

неметаллических включений поверхностного искажённого слоя под воздействием ВТОР.

Во многих случаях ВТОР может приводить к растворению имеющихся в расплаве неметаллических включений и интерметаллидов или к их диссоциации. При этом элементы, входившие в состав распавшихся неметаллических включений, могут удаляться из расплава в виде газообразных соединений (газообразные оксиды углерода, серы, азота). При последующем затвердевании обработанного таким образом расплава неметаллические включения, способные становиться активными центрами кристаллизации для этого сплава, уже могут не образоваться. Тогда макроструктура отливки будет крупнозернистой несмотря на то, что размер зерна используемого в качестве шихты металлического лома (литейного возврата, паспортной шихты) был мелким. Пример такого укрупнения зерна в отливке после проведения ВТОР приведён на рис. 17.

Случается и наоборот, когда ВТОР вызывает резкое измельчение зерна в отливке, несмотря на то, что структура шихты (металлического лома, литейного возврата и др.) крупнозернистая. Это случается, например, тогда, когда в сплаве имеются элементы-демодификаторы, такие как сера, селен или теллур. Эти элементы-демодификаторы осаждаются на поверхностях неметаллических включений, имеющих структурное соответствие со сплавом, и образуют на них собственные химические соединения, которые не обладают структурным соответствием со сплавом. Таким образом элементы-демодификаторы подавляют неметаллические включения, обладающие структурным соответствием со сплавом, как активные центры кристаллизации, образуя на них оболочку из другого материала (соединения). ВТОР может приводить к растворению этой оболочки и удалению элементов-демодификаторов из расплава. Тогда высвободившиеся из оболочки элементы-демодификаторов неметаллические включения могут вновь стать активными центрами кристаллизации и структура отливки станет мелкозернистой.

Таким образом эффект наследования отливкой структуры шихты, состоящей из металлического лома и т.д., легко устраняется ВТОР, проводимой при выплавке сплава. Этот эффект (эффект структурного наследования) может быть также устранён путём рафинирования расплава от неметаллических включений, способных становиться активными центрами кристаллизации для данного сплава. Наследование отливкой макроструктуры шихты, состоящей из металлического лома и т.п. может иметь место лишь в одном случае, когда при выплавке сплава не создаются условия для растворения или удаления из расплава имеющихся в нём неметаллических включений, т.е. когда не проводится ВТОР и рафинирование расплава от неметаллических включений.



а)



б)

Рис. 17. Макроструктура отливок из магнитотвердого сплава ЮНДКТ5БА, полученного из шихты, содержащей 50% мелкозернистых отходов собственного производства: (а) плавку проводили без ВТОР; (б) при плавке использовали ВТОР

## **2. Оборудование, инструмент, материалы**

1. Плавильная печь.
2. Инструмент и оснастка для выплавки и разлива сплавов.
3. Пирометр для измерения температуры расплава.
4. Шихта, состоящая из металлического лома, литейного возврата, предварительно переплавленных отходов собственного производства.
5. Металлографический микроскоп.
6. Оборудование для приготовления металлографических шлифов.
7. Линейка.
8. Спецодежда.

## **3. Порядок выполнения работы**

1. Отобрать, подготовить к плавке и взвесить металлический лом (тип и марку сплава задаёт преподаватель) с мелкозернистой кристаллической структурой.

2. Измерить средний размер зерна металлического лома по излому при помощи линейки.

3. Произвести расчёт шихты для выплавки сплава так, чтобы количество металлического лома в шихте было не менее 50% по массе.

4. Загрузить шихту в плавильную печь и произвести выплавку сплава не повышая температуру расплава более чем на 20С выше температуры его ликвидуса и не производя никакой выдержки при этой температуре. Залить расплав в литейную форму.

5. Из полученной отливки отобрать или изготовить образец для анализа макроструктуры.

6. Измерить средний размер зерна на образце, данные измерений занести в рабочий журнал.

7. Ту же самую шихту (см. п. 1 и п. 3) расплавить в плавильной печи и произвести ВТОР по следующим режимам: расплав нагреть до температуры на 250-300 °С выше температуры ликвидуса полученного сплава, произвести выдержку расплава при этой температуре в течение 10-15 минут, затем вновь снизить температуру расплава до значения на 20 °С превышающего температуру ликвидуса сплава и залить расплав в литейную форму.

8. Измерить средний размер зерна полученной отливки, данные измерений занести в рабочий журнал. Сравнить результаты замера среднего размера зерна отливок, полученных без ВТОР и с использованием ВТОР.

## **4. Содержание отчёта**

1. Описание состава шихты.
2. Методика проведения экспериментов.
3. Таблицы результатов экспериментов.
4. Обсуждение полученных результатов.
5. Выводы.

## **5. Контрольные вопросы**

1. Что понимается под термином «структурная наследственность»?
2. В чём суть структурной наследственности при выплавке сплавов из вторичных шихтовых материалов?
3. Имеет ли место структурная наследственность при выплавке сплавов из чистых металлов?
4. Какие неметаллические включения могут быть активными центрами кристаллизации?
5. В чём состоит правило Данкова?
6. Что такое активация неметаллических включений?
7. Как произвести дезактивацию неметаллических включений?
8. В чём суть высокотемпературной обработки расплава?

#### **Лабораторная работа № 4**

### **ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Цель работы: изучить физико-химические и технологические аспекты метода металлотермического восстановления металлов из их соединений, сферы применения этого метода в металлургии и литейном производстве, используемое при этом оборудование и оснастку, возможности применения этого метода для переработки окисленных металлических порошковых отходов металлургического и литейного производств (шлифотходов, шламов, окалины и т.п.).

Продолжительность работы: 4 часа.

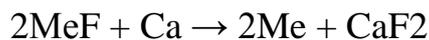
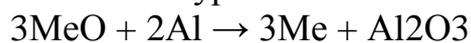
#### **1. Общие сведения**

Металлотермическое восстановление – это метод извлечения металлов из их соединений (оксидов, фторидов) при помощи других металлов-восстановителей, способных отобрать кислород или фтор у этих соединений. В качестве металлов-восстановителей обычно используют алюминий или кальций. Процесс восстановления металлов из их соединений алюминием называют алюминотермическим восстановлением. Процесс восстановления металлов из их соединений кальцием называют кальцийтермическим восстановлением.

Алюминий используют в виде порошка размером 100-500 мкм, кальций используют в виде стружки. Как правило, алюминий используют для восстановления металлов из их оксидов, кальций используют для восстановления металлов из их фторидов.

Обычно метод алюминотермического восстановления применяют для извлечения переходных металлов (железо, кобальт, никель) и меди из их оксидов, а также для получения ферросплавов и других лигатур на базе этих металлов. Кальцийтермическое восстановление чаще всего применяют для извлечения редкоземельных металлов (таких как неодим, празеодим, диспрозий, тербий) из их фторидов.

В общем виде реакции алюминотермического и кальцийтермического восстановления могут быть описаны уравнения



Все реакции металлотермического восстановления протекают с выделением большого количества тепла. Интенсивность протекания этих реакций может быть очень высокой. Для снижения интенсивности протекания реакций металлотермического восстановления в состав реакционной смеси, помимо соединений восстанавливаемых металлов и металлов-восстановителей, добавляют также балластные вещества. В качестве балластных веществ используют шлакообразующие вещества. В случае алюминотермического восстановления это, как правило, обожженная известь ( $\text{CaO}$ ), а в случае кальцийтермического восстановления это фторид кальция (плавиковый шпат,  $\text{CaF}_2$ ). В ходе протекания реакции металлотермического восстановления эти шлакообразующие вещества соединяются с неметаллическими продуктами реакции и образуют шлаки, обладающие высокой рафинировочной способностью по отношению к восстанавливаемому металлу. В случае алюминотермического процесса это шлаки типа  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MeO}$ , в случае кальцийтермического процесса это шлаки типа  $\text{Ca-CaF}_2$ . Балластные вещества предотвращают взрывоподобное развитие окислительно-восстановительных реакций при протекании металлотермических процессов, делают эти процессы более плавными, управляемыми и безопасными. Образующиеся при этом шлаки хорошо рафинируют восстановленный металл от растворимых и нерастворимых примесей.

Металлотермическое восстановление обычно проводят в толстостенных металлических (чугунных) или графитовых реакционных ёмкостях, имеющих цилиндрическую форму, разборных и состоящих из двух половинок цилиндра, соединённых скобами (рис.18). Реакционную смесь, состоящую из тщательно перемешанных порошков соединений восстанавливаемых металлов, металлов-восстановителей и шлакообразующих веществ, загружают в реакционную ёмкость и слегка притрамбовывают. Затем реакционную ёмкость со смесью перемещают в специальную реакционную камеру с мощной вытяжной вентиляцией и поджигают реакционную смесь при помощи запального устройства или другим способом.

Горение реакционной смеси происходит фронтом, перемещающимся последовательно из верхних горизонтов реакционной ёмкости в нижние. В ходе этого процесса происходит восстановление металлов из их соединений с образованием шлака. Капли жидкого восстановленного металла и капли жидкого шлака какое-то время представляют собой механическую смесь не смешивающихся друг с другом жидкостей, а затем происходит их самопроизвольное разделение. Шлак, как более лёгкая жидкость, всплывает, а капли

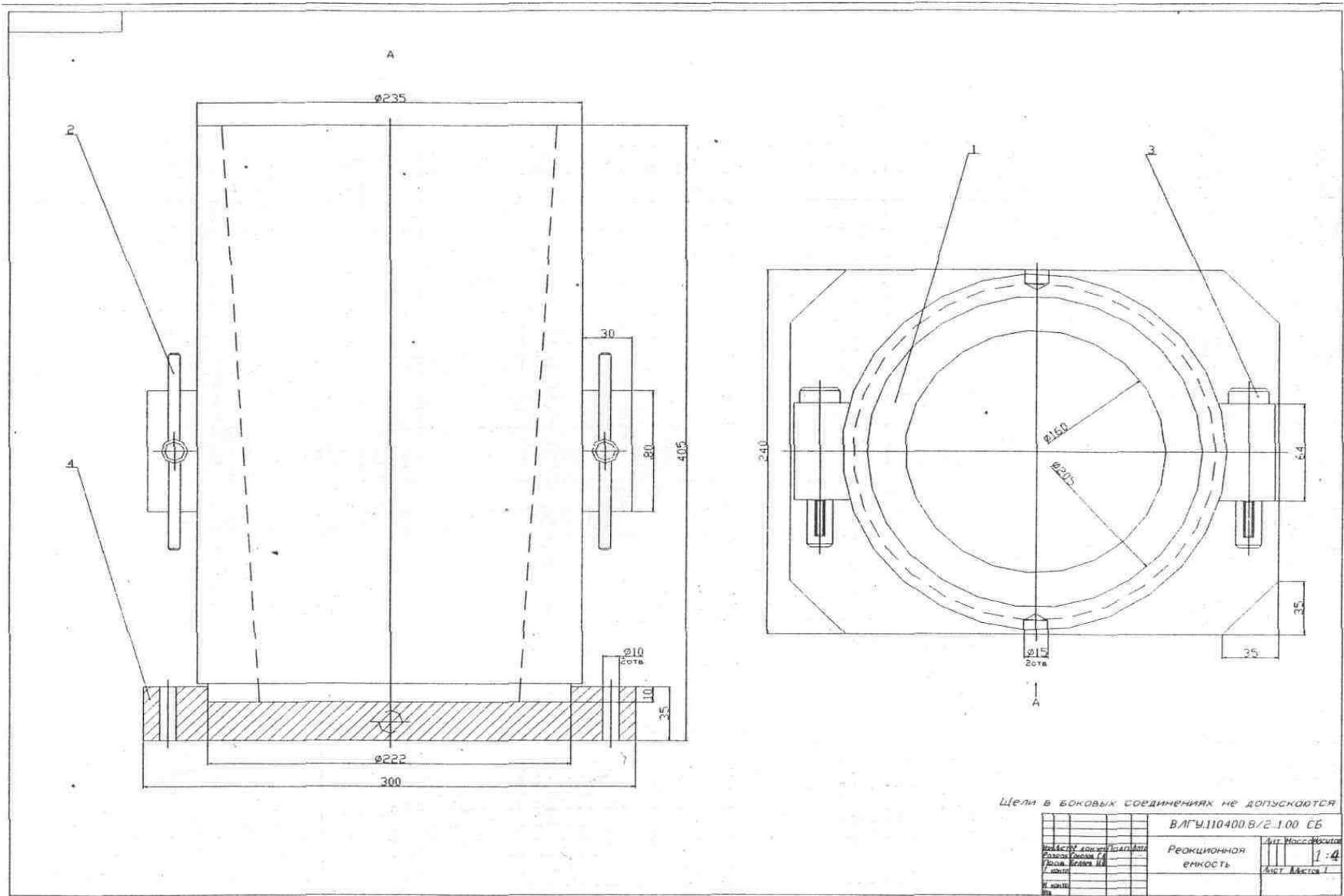


Рис. 18. Реакционная емкость в сборе: 1- разъемная изложница; 2 – клин; 3- ось; 4 - плита

металла, как более тяжёлая жидкость, наоборот, оседает на дно реакционной ёмкости и, затвердевая там, образуют слиток. Этот процесс схематично представлен на рис.19. Находясь в тесном контакте капли жидкого металла и шлака активно взаимодействуют. Находящиеся в жидком металле растворимые и нерастворимые примеси переходят в шлак. Происходит рафинирование металлического расплава. Таким образом, получаемый методом металлотермического восстановления металл (сплав) является довольно чистым по растворимым и нерастворимым примесям.

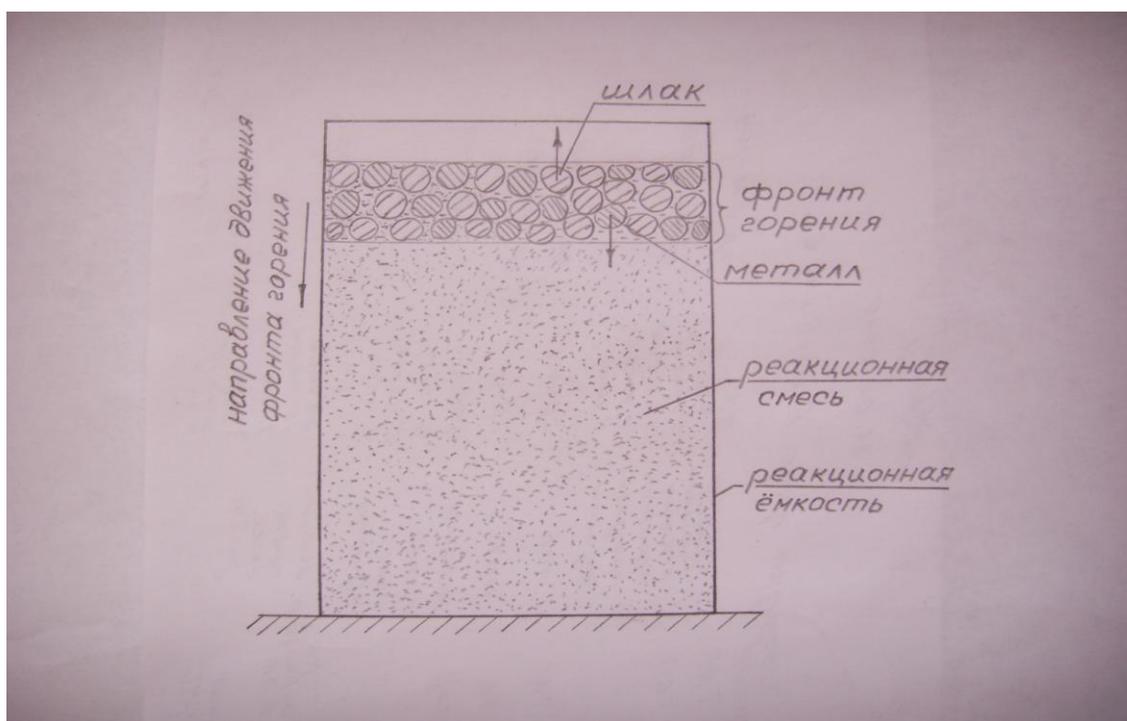


Рис. 19. Схематичное изображение процесса алюминотермического восстановления металлов из их оксидов в реакционной емкости

Метод металлотермического восстановления может быть использован для переработки различных металлических порошковых отходов: сухих и мокрых отходов шлифования (шлифотходов), шламов, пылей, окалины. Особенно часто для этих целей используют метод алюминотермического восстановления металлов из их оксидов. При использовании этого метода предназначенные к переработке металлические порошковые отходы должны быть подвергнуты окислительному обжигу. Обычно такой обжиг проводят во вращательных печах в атмосфере воздуха при температуре 850-1000 °С. В результате окислительного обжига весь металлический порошок (вся металлическая составляющая порошковых отходов) должен окислиться. Если этого не произойдет, то реакция алюминотермического восстановления не сможет реализоваться.

Обязательному обжигу должны быть подвергнуты и используемые для составления реакционной смеси шлакообразующие вещества. Если в качестве такого вещества используют известь, то обжиг производится при

температуре 650-700 °С в течение примерно 1,5 часов. Реакция разложения извести (карбоната кальция) под воздействием высокой температуры имеет следующий вид:



Если в состав порошковых металлических отходов в большом количестве входят частицы посторонних неферромагнитных соединений, то перед операцией окислительного обжига эти отходы рекомендуется подвергнуть магнитной сепарации. После хорошо проведённой магнитной сепарации в составе металлических порошковых отходов должно оставаться не более 3% неферромагнитных примесей.

Состав шихты и определение потребного количества восстановителя (порошкового алюминия) рассчитывают по данным количественного фазового анализа обожжённых металлических порошковых отходов. Количество восстановителя должно обеспечивать полное восстановление всех элементов сплава из их оксидов.

Приготовление реакционной смеси производится в смесителе. Время смешивания ингредиентов составляет 15-30 минут. Готовую реакционную смесь засыпают в реакционные ёмкости и нагревают вместе с ёмкостями до 150-200С, после чего поджигают.

Процесс алюминотермического восстановления следует проводить в специальной реакционной камере с закрывающимися дверцами и оснащённой мощной вытяжной вентиляцией. Стенки реакционных ёмкостей при этом следует охлаждать сжатым воздухом. Раскрытие реакционных ёмкостей и извлечение из них металлических слитков рекомендуется производить только после их полного остывания. Образовавшийся в ходе реакции алюминотермического восстановления шлак отделяют от металлических слитков на выбивных решётках и отправляют на утилизацию. Металлические слитки, после контроля их химического состава, отправляют на шихтовый двор и используют в качестве компонента шихты при выплавке сплавов заданного химического состава. Внешний вид металлического слитка, полученного методом алюминотермического восстановления в чугунной реакционной ёмкости, приведён на рис. 20.

## **2. Оборудование, инструмент, материалы**

1. Камерная или проходная нагревательная печь.
2. Установка для магнитной сепарации порошковых материалов.
3. Смеситель порошковых материалов.
4. Весы.
5. Реакционная камера с мощной вытяжной вентиляцией.
6. Реакционные ёмкости.
7. Портативный анализатор химического состава сплавов.
8. Выбивная решётка.
9. Набор слесарных инструментов.



Рис. 20. Внешний вид металлического слитка, полученного методом алюминотермического восстановления в чугунной реакционной емкости

10. Металлические или смешенные порошковые отходы (шлифотходы, шламы, окалина).
11. Порошковый алюминий.
12. Известь.
13. Запальное устройство.
14. Сжатый воздух.
15. Спецодежда, спецобувь, светозащитные очки.

### **3. Порядок выполнения работы**

1. Произвести магнитную сепарацию металлических или смешанных порошковых отходов.
2. Произвести окислительный обжиг металлических порошковых отходов до полного окисления металлической составляющей (температуру и длительность окислительного обжига назначает преподаватель).
3. Произвести количественный фазовый анализ обожжённых порошков.
4. Произвести обжиг извести.
5. Произвести расчёт состава реакционной смеси.
6. Взвесить ингредиенты реакционной смеси на весах.
7. Произвести смешивание ингредиентов реакционной смеси в смесителе.
8. Загрузить реакционную смесь в реакционную ёмкость.
9. Нагреть реакционную ёмкость со смесью до 150-200С в камерной или проходной нагревательной печи.
10. Переместить реакционную ёмкость со смесью в реакционную камеру.

11. Поджечь реакционную смесь при помощи запального устройства и включить вытяжную вентиляцию.

12. По окончании реакции горения смеси переместить реакционную ёмкость с продуктами алюмотермического восстановления на охлаждающий плац.

13. После охлаждения реакционной ёмкости и её содержимого до комнатной температуры разобрать реакционную ёмкость и извлечь из неё металлический слиток.

14. Очистить слиток от шлака на выбивной решётке и взвесить его на весах.

15. Зачистить часть поверхности металлического слитка и определить его химический состав при помощи портативного анализатора химического состава.

#### **4. Содержание отчёта**

1. Описание методики эксперимента.
2. Описание расчёта состава ингредиентов реакционной смеси.
3. Эскиз реакционной ёмкости в сборе.
4. Таблица результатов эксперимента.
5. Обсуждение результатов, выводы.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Суть метода металлотермического восстановления металлов из их соединений?

2. Для чего нужна операция окислительного обжига при алюмотермическом восстановлении?

3. Почему нельзя использовать в качестве компонента реакционной смеси негашёную известь?

4. Для чего в состав реакционной смеси вводят балластные вещества?

5. Почему реакционную ёмкость делают разборной?

#### **Лабораторная работа № 5**

### **ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПАСПОРТНУЮ ШИХТУ ЗАДАННОГО СОСТАВА**

Цель работы: изучение студентами процесса получения паспортной шихты заданного состава из вторичных шихтовых материалов, приобретение практических навыков работы с аналитическим и технологическим оборудованием.

Продолжительность работы: 4 часа.

## 1. Общие сведения

Металлические отходы, как собственные, так и покупные, являются большим резервом литейного производства в области материалов. Использование металлических отходов взамен чистых металлов делает продукцию литейного производства более дешёвой, а следовательно более конкурентоспособной. Однако такая замена не должна снижать качества выплавляемого сплава и получаемых из него литых изделий. Выплавленный сплав должен находиться в рамках заданного химического состава, а содержание вредных примесей в нём не должно превышать установленных ГОСТ или ТУ пределов.

Металлические отходы производства отливок, даже изготовленных из одной и той же марки сплава, могут иметь существенные различия в химическом составе, как по основным элементам, так и по примесям. Так, например, элементы литниковой системы всегда содержат повышенное количество как растворимых, так и нерастворимых примесей. В прилики скапливается избыточное количество серы, попадающее туда в результате ликвации по плотности. В шлакоуловителе всегда содержится много неметаллических включений, шлаков, плён. Стружка и шлифотходы, как правило, не имеют стабильного химического состава. Изделия от разных производителей всегда имеют различия в химическом составе, даже если эти изделия имеют одну и ту же марку сплава. Использование таких отходов в качестве основы шихты часто приводит к неприемлемым отклонениям от заданного химического состава, особенно при выплавке прецизионных сплавов.

Часто бывает, что приобретённые на стороне металлические отходы оказываются не разобранными по маркам сплавов и разборка такая является делом весьма трудоёмким. Во всех этих случаях металлические отходы целесообразно переплавлять на паспортную шихту (ПШ).

ПШ называется сплав, выплавленный из металлического лома неопределённого химического состава, разлитый по металлическим изложницам, затвердевший там и прошедший анализ химического состава по основным элементам и примесям. Результаты анализа оформляют в виде паспорта на данную партию сплава. ПШ используют в качестве основы шихты при выплавке сплавов заданного химического состава. Недостающее до заданного состава сплава количество элементов дошихтовывают чистыми металлами или лигатурами. Обычно это количество не превышает 10% от общей массы шихты.

Угар элементов при выплавке сплавов из ПШ, когда ПШ составляет основу металлозавалки, всегда ниже, чем в случае, когда шихта состоит только из чистых металлов. К тому же в этом случае значительно выше стабильность значений угара элементов. Поэтому точность попадания в заданный химический состав при выплавке сплава из ПШ всегда выше, чем в случае использования в качестве шихты чистых металлов. В качестве иллюстрации вышесказанного в таблице приведены значения угара

элементов при выплавке магнитотвёрдого сплава ЮНДК5БА в открытой индукционной печи в случае, когда компонентами шихты являются чистые металлы и когда основу металлозавалки составляет ПШ.

Таблица

Угар элементов при выплавке магнитотвёрдого сплава ЮНДК5БА  
в открытой индукционной печи

Состав шихты	Угар элементов при плавке, % мас.						
	Fe	Co	Ni	Cu	Nb	Al	Ti
Чистые металлы						13,5	11,5
Паспортная шихта	-0,1	-0,25	-1,0	-1,5	0	4,0	2,0

Пониженные значения угара элементов при переплаве ПШ связаны с тем, что в этом случае испарение элементов при плавке и активность взаимодействия расплава с футеровкой плавильной печи значительно ниже, чем при выплавке сплавов из чистых металлов. Это объясняется тем, что в затвердевшем сплаве между элементами сплава имеются связи. Пока эти связи не разрушены элементы, входящие в состав сплава, ведут себя пассивно по отношению к внешней среде (атмосфере, материалу футеровки). Эти же связи удерживают элементы сплава от испарения при плавлении сплава.

Невысокий и стабильный угар элементов при выплавке сплавов из ПШ делает рациональным приведение химического состава ПШ в точное соответствие с химическим составом выплавляемого сплава с превышением содержания угорающих элементов на величину угара. Такое приведение производится непосредственно по ходу выплавки сплава. Для этого из образующегося при расплавлении шихты расплава отбирают пробу и производят анализ её химического состава при помощи экспресс-анализатора химического состава. После этого производят корректировку химического состава выплавляемого сплава ( т.е. введение в расплав по ходу плавки необходимого количества недостающих элементов ) и быструю разливку расплава по изложницам. Полученный таким образом сплав называют паспортной шихтой заданного состава (ПШЗС).

Использование ПШЗС в литейном производстве сильно упрощает процесс выплавки сплавов и резко снижает требования к квалификации рабочего персонала (шихтовщиков, плавильщиков). В большинстве случаев процесс плавки при этом сводится к загрузке ПШЗС в тигель плавильной печи, к её расплавлению, доведению температуры расплава до заданного значения и к выпуску расплава из печи в заливочный ковш (или непосредственно в литейную форму). При этом химический состав сплава будет точно соответствовать заданному (в связи с небольшим и стабильным значением угара элементов при плавке через ПШЗС). Поэтому процесс плавки с использованием ПШЗС легко поддаётся автоматизации.

ПШЗС является самостоятельным товаром и может поставляться по согласованным ТУ или другим документам на любые литейные предприятия, включая зарубежные.

При выплавке сплавов из ПШЗС при необходимости можно применять любые методы рафинирования расплава.

## **2. Оборудование, инструмент, материалы**

1. Плавильная индукционная или электродуговая открытая печь.
2. Набор плавильного инструмента и оснастки.
3. Весы.
4. Экспресс-анализатор химического состава сплавов.
5. Не разобранный по маркам сплавов металлический лом.
6. Чистые металлы для подшихтовки.
7. Набор слесарных инструментов.
8. Спецодежда, спецобувь, светозащитные очки.

## **3. Порядок выполнения работы**

1. Не разобранный по маркам сплавов металлический лом загрузить в плавильную печь и произвести его расплавление.
2. Отобрать из расплава пробу для анализа химического состава сплава.
3. Произвести экспресс-анализ химического состава сплава.
4. Произвести расчёт потребного количества чистых металлов для подшихтовки с целью получения заданного химического состава выплавляемого сплава.
5. Произвести навеску чистых металлов для подшихтовки.
6. Произвести подшихтовку и довести температуру расплава до заданного значения (задаёт преподаватель).
7. Выпустить металлический расплав в металлургический ковш и произвести разливку расплава по изложницам.
8. Произвести анализ химического состава полученного сплава по основным элементам и примесям. Составить паспорт на полученную партию сплава.

## **4. Содержание отчёта**

1. Методика эксперимента.
2. Характеристика шихты (металлического лома).
3. Описание плавильного агрегата.
4. Краткое описание и принцип действия экспресс-анализатора химического состава.
5. Таблица результатов эксперимента, выводы.

## 5. Контрольные вопросы

1. Что такое паспортная шихта?
2. Что такое паспортная шихта заданного состава?
3. За счёт чего обеспечивается качество отливки при плавке на ПШЗС?
4. Почему при плавке на ПШЗС угар элементов минимален?
5. В каком случае можно быстрее произвести расплавление шихты: при сплавлении чистых металлов или при использовании ПШЗС?
6. Как повлияет применение ПШЗС при плавке на выход годного литого изделия?
7. Какие преимущества имеет отливка, изготовленная при использовании ПШЗС?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Супрун В.Н. Словарь терминов и определений вторичной металлургии/. – М: ООО» Рынок вторичных металлов». – 2006. – 96 с.
2. Н.Н.Сафронов, Б.А.Фоченков. Утилизация дисперсных промышленных отходов в ваграночном процессе: Монография. – СПб: Издательство «Инфо-да». – 2004. – 151 с.
3. Комплексная переработка техногенных отходов металлургического производства./ Международный симпозиум, 8 октября 2009г, Москва / Сб. тез. – М.: ЦНИИЧермет – 2009. – 20 с.
4. Гаврилин И.В. Получение литейных силуминов с использованием пылевидного кремния и металлоотходов : Моног. Гаврилин И.В. и др. / Владим. гос. ун-т. Владимир – 2003. – 149 с.
5. Актуальные проблемы переработки лома и отходов цветных металлов. / Тезисы докладов научно – практической конференции: Под ред. В.А.Кечина. – Владимир – ВлГУ – 1997. – 87 с.
6. В.И.Никитин. Наследственность в литых сплавах. /Самар. Гос. техн. ун-т. Самара. –1995. – 248 с.
7. Плинер Ю.Л., Игнатенко Г.Ф. Восстановление окислов металлов алюминием. / М: Металлургия – 1967.– 248 с.
8. Салтыков С.А.. Стереометрическая металлография / М: Металлургия – 1970. – 375 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЁТОВ.....	4
ПАМЯТКА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ .....	5
<b>Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ СОСТАВОВ И ВИДОВ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВ.....</b>	<b>5</b>
<b>Лабораторная работа № 2. СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА И ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА К ПЕРЕПЛАВУ .....</b>	<b>20</b>
<b>Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ШИХТЫ ЛОМОВ И ЛИТЕЙНОГО ВОЗВРАТА .....</b>	<b>25</b>
<b>Лабораторная работа № 4. ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ .....</b>	<b>30</b>
<b>Лабораторная работа № 5. ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПАСПОРТНУЮ ШИХТУ ЗАДАННОГО СОСТАВА .....</b>	<b>36</b>
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	40

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**«РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ»**

Владимир, 2011

