

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический универси-
тет»

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА
(СТАЛЕЙ) В СРЕДЕ ЖИДКОГО АЛЮМИНИЯ**

Выпускная квалификационная работа
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отрас-
лям)
профилю подготовки Металлургия
профилизации Технология и менеджмент в металлургических производствах

Идентификационный код ВКР: 168

Екатеринбург 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический универси-
тет»

Институт Инженерно-педагогического образования

Кафедра Металлургии, сварочного производства и методики профессиональ-
ного обучения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:

Зав. Кафедрой МСП

_____ Б.Н. Гузанов

« _____ » _____ 2017г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА
(СТАЛЕЙ) В СРЕДЕ ЖИДКОГО АЛЮМИНИЯ**

Исполнитель:

студент группы МП-402

_____ (подпись)

Сотников Р.Е.

_____ (Ф.И.О.)

Руководитель:

Ученое звание, степень, должность

_____ (подпись)

Категоренко Ю.И. к.т.н доцент

_____ (Ф.И.О., ученая степень, звание)

Нормоконтролер:

Ученое звание, степень, должность

_____ (подпись)

Категоренко Ю.И. к.т.н доцент

_____ (Ф.И.О., ученая степень, звание)

Екатеринбург 2017

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 41 странице, содержит 14 рисунков, 5 таблиц, 8 источников литературы.

Ключевые слова: СПЛАВ, МИКРОСТРУКТУРА, РАСПЛАВ, СТАЛЬ, ЖЕЛЕЗО

Цель работы: определение стойкости сплавов на основе железа (сталей) в расплаве жидкого алюминия опытным путем.

Основные задачи: выявить изменение свойств и микроструктуры испытуемых сплавов на основе железа (сталей 30 и 15Х13Л)

В методической части разработана лабораторная работа «Исследование влияния температуры на пластичность и сопротивление деформированию», целью которой является изучение зависимости строения и механических свойств металлов от температурного режима пластической деформации.

					44.03.04.168.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Сотников Р.Е.</i>			<i>Исследование стойкости сплавов на основе железа (сталей) в расплаве жидкого алюминия</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Категоренко Ю.И.</i>					3	41
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Категоренко Ю.И.</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Гузанов Б.Н.</i>						
						<small>ФГАОУ ВО РГППУ ИИПО Каф. МСП гр.МП-402</small>		

Содержание:

Содержание	
ВВЕДЕНИЕ.....	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	6
1.1. Общие сведения о металлах и их свойствах	6
1.1.1. Фазы и структурные превращения железоуглеродистых сплавов.	7
1.1.2 Кристаллическое строение металлов.....	8
1.1.3 Свойства металлов и сплавов.	10
1.1.4 Структура сплавов.	11
1.2. Стали.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2.1 Легированная сталь.....	17
1.2.2 Жаростойкие и жаропрочные стали.....	19
1.2.3 Производство стали.	19
2. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.	28
2.1. Описание и результаты эксперимента.....	29
2.2. Выводы по исследовательской части.....	29
2.3.Ход эксперимента.	Ошибка! Закладка не определена.
2.4. Результаты эксперимента.....	Ошибка! Закладка не определена.
3. МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА	35
3.1Лабораторная работа «Исследование влияния температуры на пластичность и сопротивление деформированию».....	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	41

Введение

Как правило, поступающий на плавку первичный алюминий, имеет достаточно хорошее качество. Проблемой плавильного производства является сохранение этого качества и предохранение металла от загрязнения. При плавке алюминиевых сплавов и получении отливок из них жидкий металл находится в контакте с различными металлическими материалами, которые могут интенсивно растворяться в жидком металле. К сплавам, из которых выполнены широко применяемые в литейном производстве конструкционные и технологические элементы, относятся сталь и чугун. Из них изготавливают перемешивающие лопатки, тигли печей, раздаточные ковши, различного рода металлические формы и др. При этом происходит заметное взаимодействие жидкого расплава алюминия с чугунным и стальным инструментом, что приводит к загрязнению алюминия железом. Железо снижает пластичность, коррозионную стойкость сплава и ухудшает литейные свойства.

На сегодняшний день нет достаточной информации о механизме взаимодействия жидкого алюминия с чугуном и сталью, скорости их растворения в жидком алюминии, характере образующихся пограничных слоев. Вместе с тем, помимо отмеченной выше ключевой роли данной информации для плавки качественных литейных сплавов на основе алюминия, она важна для понимания процессов, которые протекают при взаимодействии армирующих вставок из сплавов на основе железа с матрицей отливки на основе алюминиевого сплава (композиционное литье), а также для анализа закономерностей формирования фаз при получении покрытий на изделиях из стали и чугуна нанесением жидкого алюминия (алитирование).

Цели работы заключались в установлении особенностей взаимодействия сталей с агрессивной средой расплава жидкого алюминия и определения их свойств.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. Теоретические сведения

1.1 Общие сведения о металлах и их свойствах

Металлы и их сплавы повсеместно используют для изготовления конструкций машин, оборудования, инструмента и т.д. Несмотря на широкий круг искусственно созданных материалов (керамики, клеев), металлы служат основным конструкционным материалом и в обозримом будущем по-прежнему будут доминировать. В природе металлы встречаются как в чистом виде, так и в рудах, оксидах и солях. В чистом виде встречаются химически устойчивые элементы (Pt, Au, Ag, Hg, Cu).

Металлические материалы обычно подразделяют на две большие группы: железо и его сплавы (сталь и чугун) называют *черными металлами*, а остальные металлы и их сплавы *цветными*.

Металлы имеют характерные общие свойства. К ним относятся:

- высокая пластичность
- высокая теплопроводность
- высокая электропроводность
- положительный температурный коэффициент электрического сопротивления, означающий рост сопротивления с повышением температуры, и сверхпроводимость многих металлов при температурах, близких к абсолютному нулю
- хорошая отражательная способность (металлы непрозрачны и имеют характерный металлический блеск)
- термоэлектронная эмиссия, т.е. способность к испусканию электронов при нагреве
- кристаллическое строение в твердом состоянии

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1.1.1 Фазы и структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.

В зависимости от температуры и концентрации углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие составляющие.

Аустенит – твердый раствор углерода в γ -железе с предельной концентрацией углерода 2,14 % при температуре 1147°C; с понижением температуры до 727°C концентрация углерода уменьшается до 0,8 %. Сталь со структурой аустенита имеет высокие пластичность и вязкость. Аустенит немагнитен.

Феррит – твердый раствор углерода в α -железе с предельной концентрацией углерода 0,02 % при температуре 727°C. Сталь со структурой феррита ферромагнитна вплоть до температуры Кюри 770°C, имеет малую твердость и высокую пластичность.

Цементит – химическое соединение железа с углеродом Fe₃C (6,67 % C); ферромагнитен до температуры Кюри 210 °C, имеет высокие твердость и хрупкость.

Перлит – эвтектоидная смесь феррита и цементита, образующаяся при эвтектоидном распаде аустенита (0,8 % C). Сплав, имеющий структуру перлита, ферромагнитен, обладает повышенными прочностью и твердостью.

Ледебурит (4,3 % C) – эвтектическая смесь аустенита и цементита; ниже температуры 727°C аустенит превращается в перлит, при этом образуется смесь перлита и цементита – превращенный ледебурит.

Графит – углерод в свободном состоянии, образующийся в результате распада цементита при медленном охлаждении. Графит немагнитен, мягок и обладает низкой прочностью.

Основные свойства сплава определяются содержанием углерода. Взаимодействие углерода с α - или γ -модификациями железа приводит к образованию железоуглеродистых сплавов, различных по строению и свойствам.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.1.2 Кристаллическое строение металлов

Общее свойство металлов и сплавов – их кристаллическое строение, характеризующееся определенным закономерным расположением атомов в пространстве. Для описания атомно-кристаллической структуры используют понятие кристаллической решетки, являющейся воображаемой пространственной сеткой с ионами (атомами) в узлах.

Атомно кристаллическая структура может быть представлена изображением не рядом периодически повторяющихся объемов, а одной элементарной ячейкой – ячейкой, повторяющейся во всех трех измерениях. Трансляцией этого наименьшего объема можно полностью воспроизвести структуру кристалла (рис.1.1).

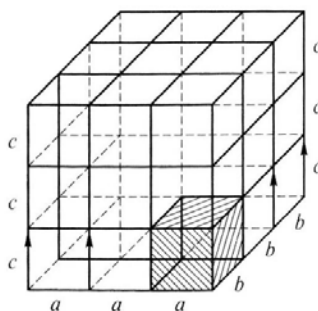


Рис 1.1 Кристаллическая решетка с параметрами a , b и c

В кристалле элементарные частицы (атомы, ионы) сближены до соприкосновения. Для упрощения пространственное изображение принято заменять схемами, где центры тяжести частиц представлены точками. В точках пересечения прямых линий располагаются атомы; их называют узлами решетки. Расстояния a , b и c между центрами атомов, находящихся в соседних узлах решетки, называют *параметрами* или *периодами решетки*. Величина их в металлах примерно $0,1 \dots 0,7$ нм, размеры элементарных ячеек $0,2 \dots 0,3$ нм.

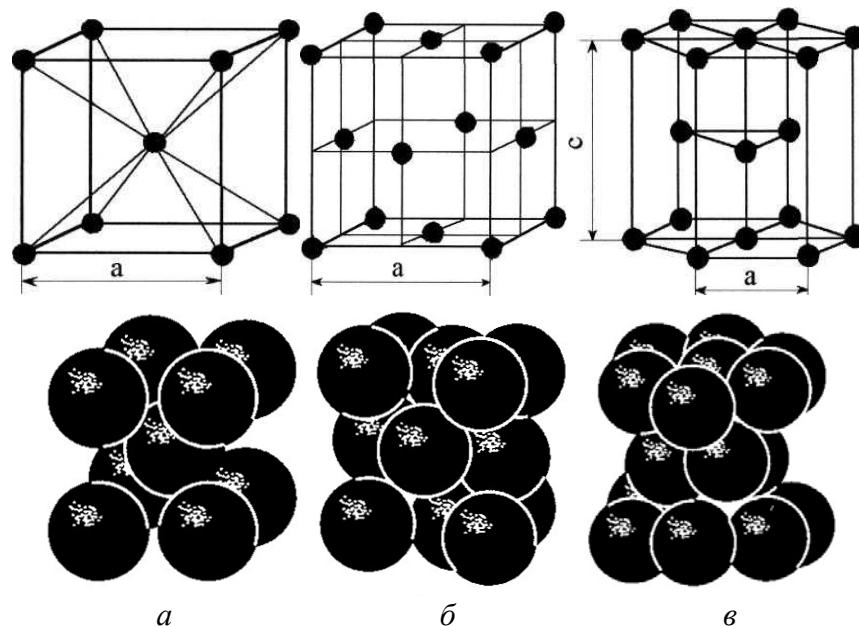


Рис 1.2 Типы элементарных ячеек кристаллических решеток металлов и схемы упаковки в них атомов

На рис. 1.2 показаны три типа элементарных ячеек кристаллических решеток, наиболее характерных для металлов: объемно-центрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГПУ), а также схемы упаковки в них атомов. В ОЦК решетке атомы расположены в вершинах куба, а один атом в центре его объема (рис. 1.2, а). В ГЦК решетке атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани (рис 1.2., б). В ГПУ решетке атомы расположены в вершинах и в центре шестигранных оснований призмы, а три атома – в средней плоскости призмы (рис. 1.2, в).

Некоторые металлы при разных температурах могут иметь разную кристаллическую решетку. Способность металла существовать в различных кристаллических формах носит название *полиморфизма*. Принято обозначать полиморфную модификацию, устойчивую при более низкой температуре, индексом α , при более высокой β , затем γ и т.д. Температура превращения одной кристаллической модификации в другую называется *температурой полиморфного превращения*.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При полиморфном превращении меняются форма и тип кристаллической решетки – происходит *перекристаллизация*. Так, при температуре ниже 911°С устойчиво α -железо, в интервале температур 911 ... 1392°С устойчиво γ -железо. При нагреве выше 911°С атомы ОЦК решетки перестраиваются, образуя ГЦК решетку. На явлении полиморфизма основана термическая обработка.

1.1.3 Свойства металлов и сплавов.

Различают физические, химические, технологические и механические свойства материалов.

Физические свойства материалов определяют поведение материалов в тепловых, гравитационных, электромагнитных и радиационных полях. К физическим свойствам относятся плотность, теплоемкость, температура плавления, термическое расширение, магнитные характеристики, теплопроводность, электропроводность.

Под *химическими* свойствами понимают способность материалов вступать в химическое взаимодействие с другими веществами, сопротивляемость окислению, проникновению газов и химически активных веществ. Характерным примером химического взаимодействия среды и металла является коррозия.

Технологические свойства металлов и сплавов характеризуют их способность подвергаться горячей и холодной обработке, в том числе при выплавке, горячем и холодном деформировании, обработке резанием, термической обработке и особенно сварке

Механические свойства материалов характеризуют их способность сопротивляться деформированию и разрушению под воздействием различного рода нагрузок. Механические нагрузки могут быть статическими, динамическими и циклическими. Кроме того, материалы могут подвергаться деформации и разрушению как при разных температурах, так и в различных, в том числе агрессивных, средах.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

1.1.4 Структура сплавов.

Учитывая, что границы зерен или фаз существенно влияют как на структурные превращения, так и на свойства сплавов, их необходимо детально характеризовать при описании структуры. Границы раздела отличаются от примыкающих к ним микрообластей по структуре, а часто и по химическому составу.

Однофазные микрообласти могут иметь локальные изменения химического состава. Кроме того, каждая из них содержит дефекты кристаллической решетки – вакансии и дислокации. Искажения решетки оказывают существенное влияние на ход превращений и свойства сплавов и поэтому обязательно должны учитываться при характеристике структуры.

Многофазные материалы могут быть получены в результате кристаллизации расплавов, фазовых превращений во время термической обработки, выделений избыточных фаз из первичных твердых растворов. Для упрощения анализа удобнее рассматривать двухфазные структуры, хотя в материалах могут присутствовать несколько равновесных и неравновесных фаз. Анализ структур целесообразно проводить на основе изучения геометрических параметров распределения отдельных фаз или зерен, определяя их размеры, форму и ориентацию.

В условиях равновесия относительное содержание каждой фазы, образовавшейся в результате превращения, определяется первоначальным составом сплава. Однако полностью равновесное состояние далеко не всегда достигается; кроме того, в ряде случаев оно может быть нежелательным. Фактическое число фаз зависит от режима обработки; при закалке удельные объемы фаз меняются по сравнению с равновесным состоянием.

Частицы второй фазы могут иметь различную форму: равноосную, пластинчатую или волокнистую (рис 1.3). В первом случае размеры по трем коор-

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

динатным осям примерно одинаковы, во втором – один размер заметно меньше других, в третьем – размер по одной оси много больше, чем по другим осям. Получение на практике любой выбранной формы достаточно сложно, но в ряде случаев возможен выбор двух из этих трех структур. Графит в чугунах может иметь пластинчатую или сфероидальную форму, перлит в результате термической обработки стали может быть пластинчатым или зернистым (рис. 1.4)

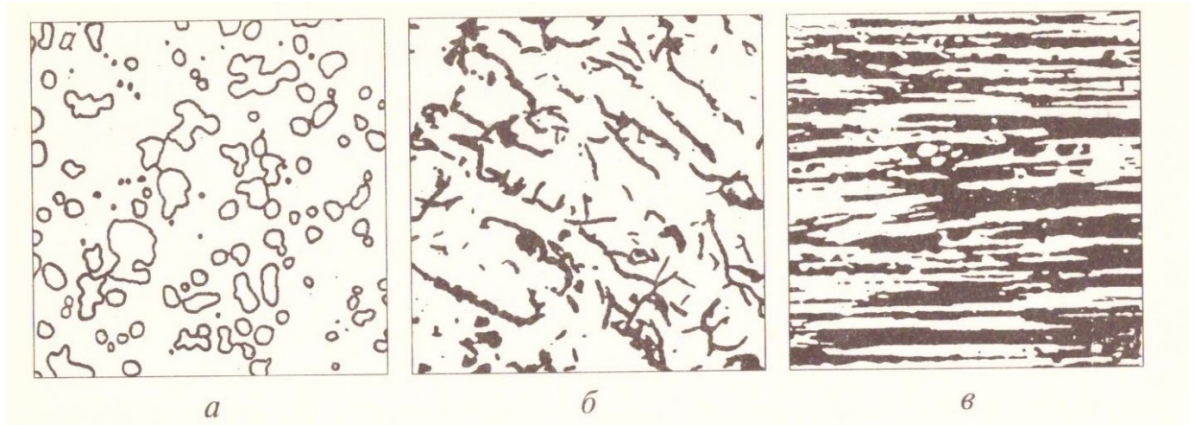


Рис. 1.3 Форма частиц второй фазы

а – равноосная (карбиды в инструментальной стали); *б* – пластинчатая (пластинчатый графит в сером чугунах); *в* – волокнистая (композит)

Тенденция к сфероидизации частиц второй фазы обусловлена тем, что сфера имеет минимальную площадь поверхности на единицу объема, а следовательно, и наименьший уровень поверхностной энергии. Поэтому сфероидальный цементит в перлите по сравнению с пластинчатым обладает более высокой геометрической стабильностью. Пластинки цементита образуются в результате ускоренного направленного затвердевания, а не в условиях равновесия.

Преобразование перлита с пластинчатой структурой в зернистый перлит требует более длительной выдержки при температуре, близкой к эвтектоидной (рис. 1.5). В условиях полного равновесия структура будет иметь вид единичных шаровидных выделений цементита, окруженных ферритом.

Внутреннее строение твердого тела не является статичным, атомы не закреплены неподвижно на своих местах в кристаллической решетке, они непрерывно колеблются и перемещаются из своих положений равновесия в узлах решетки. Преимущественные однонаправленные перемещения атомов, в итоге приводящие к макроскопическому переносу вещества, называется *диффузией атомов*.

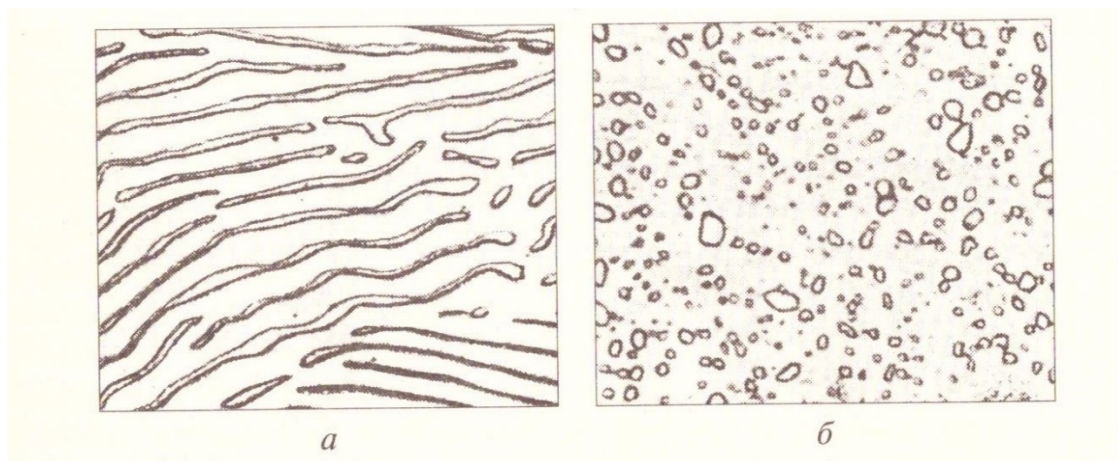


Рис. 1.4 Форма фазовых составляющих структуры стали с содержанием углерода 0,8% (мас.) (цементит и феррит)

a – пластинчатый перлит, увеличение в 2500 раз; *б* – зернистый перлит, увеличение в 1000 раз

Любые процессы зарождения и роста фаз, рекристаллизация, коагуляция и сфероидизация, фазовые превращения в твердом растворе, распад растворов и выделение второй фазы связаны с диффузией атомов

Диффузия в сплавах представляет собой перенос разнородных атомов, который сопровождается изменением концентрации компонентов в отдельных зонах.

Самодиффузией называют перемещение атомов одного и того же типа в чистых металлах или основного компонента – в сплавах.

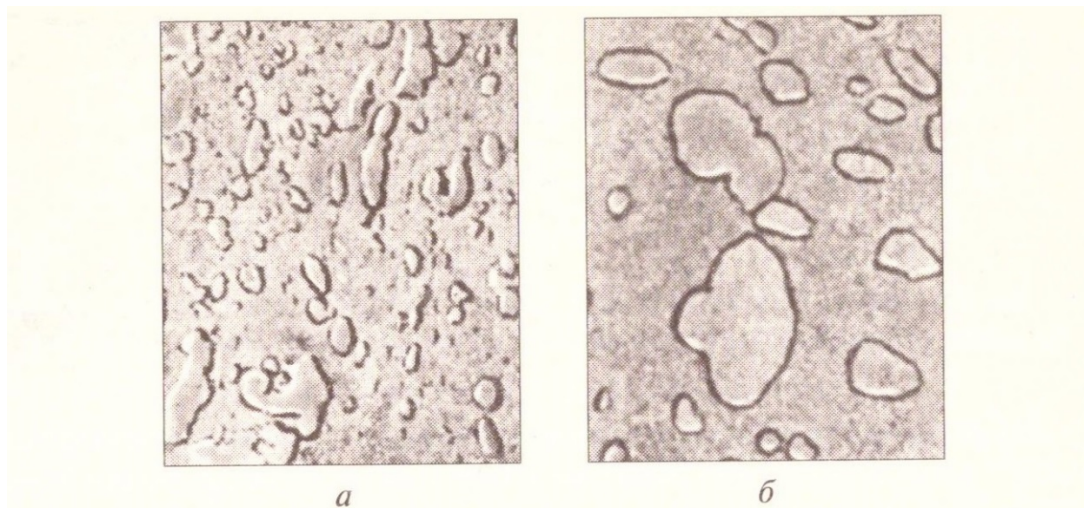


Рис. 1.5 Размер фазовых составляющих структуры (цементит и феррит в отпущенном мартенсите), увеличение в 11000 раз:

a – отпуск при температуре 600°C в течение 1 ч, твердость 33 HRC; *б* – отпуск при температуре 675°C в течение 12 ч, твердость 20 HRC; структура с более крупными выделениями имеет меньшую твердость

Стабильность структуры и свойств жаропрочных сплавов достигается путем торможения процесса диффузии. Торможение диффузии, подобное торможению дислокации, создается соответствующей неоднородностью структуры. Торможение диффузионных процессов в литой структуре инструментальных сталей создается при формировании развитого дендритного скелета с термически прочной междендритной фазой карбидов. Неоднородность структуры может быть определяющим фактором при распространении трещин.

1.2. Стали

В наше время, сталь — это один из важнейших инструментальных и конструкционных материалов, широко применяемый практически во всех областях промышленности.

Сталь — это сплав железа с углеродом, количество которого не должно превышать 2,14%. Углерод снижает пластичность и ковкость железа, делая его более твердым. Кроме того, в сплаве могут присутствовать и другие хи-

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		144

мические элементы: как металлы, так и неметаллы. С учетом этого факта, сталью называют сплав, в котором содержание железа составляет не менее 45%.

При малом содержании в стали других элементов, ее называют *углеродистой сталью*. Углеродистые стали классифицируют по структуре, способу производства и раскисления, по качеству.

По структуре различают: *доэвтектоидную* сталь, содержащую до 0,8% углерода, структура которой состоит из феррита и перлита; *эвтектоидную*, содержащую примерно 0,8% углерода, структура которой состоит только из перлита; *заэвтектоидную*, содержащую до 0,8 – 2,14% углерода, её структура состоит из зёрен перлита, окаймлённых сеткой цементита.

По способу раскисления различают кипящие, полуспокойные и спокойные стали.

Рассмотрим строение слитка спокойной стали. Схема строения слитка спокойной стали приведена на рисунке 1.6. Структура слитка состоит из трех зон: наружной мелкозернистой зоны **I**, зоны столбчатых кристаллов **II** и зоны равноосных кристаллов **III**.

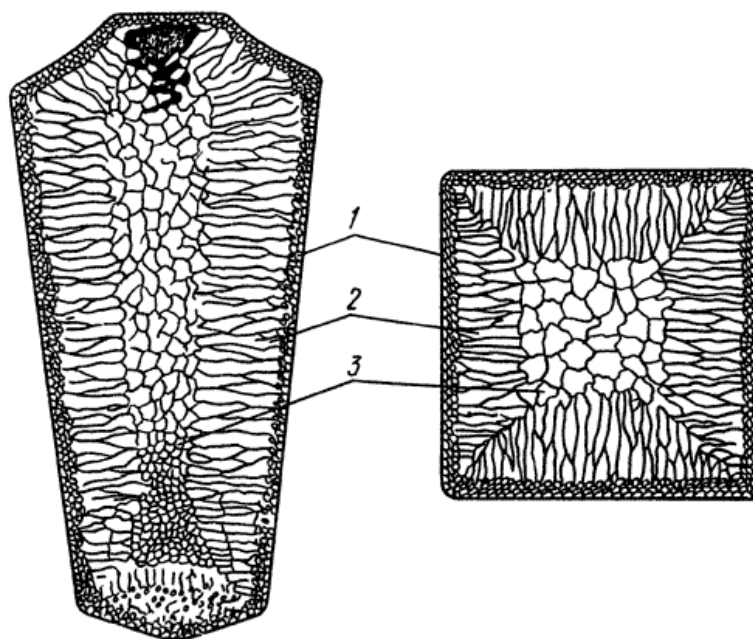


Рис. 1.6 Строение слитка спокойной стали

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

44. 03. 04. 168. ПЗ

Лист

155

Наружная мелкозернистая зона состоит из неориентированных в пространстве мелких кристаллов. Ее образование обусловлено резким перепадом температур: жидкий металл – холодные стенки изложницы. Металл в этой зоне сильно переохлаждается, в нем образуется большое число центров кристаллизации, и он приобретает мелкозернистое строение.

После образования корковой зоны условия теплоотвода меняют, температурный градиент в прилегающем слое жидкого металла падает и снижается степень переохлаждения. В результате из сравнительно небольшого числа центров кристаллизации в направлении отвода теплоты, т.е. перпендикулярно стенке изложницы, начинают расти столбчатые кристаллы, образующие вторую зону. Развитие их в стороны сдерживается соседними дендритами.

Третья зона – зона равноосных кристаллов. В центре слитка нет определенной направленности отвода теплоты. Здесь зародышами обычно являются различные мелкие твердые частицы, оттесненные при кристаллизации к центру слитка. Относительное распределение в объеме слитка столбчатой и равноосной зон очень важно. В зоне столбчатых кристаллов металл более плотный, но в местах их стыка он имеет малую прочность. Кристаллизация, при которой зоны столбчатых кристаллов стыкуются, называется *транскристаллизацией*.

Основными дефектами слитка являются усадочная раковина, усадочная пористость и ликвация. Усадочная пористость обычно образуется вблизи усадочной раковины и по оси слитка. Образование усадочной раковины и усадочной пористости обусловлено тем, что все металлы кроме висмута имеют в твердом состоянии меньший удельный объем, чем в жидком.

По качеству углеродистые стали бывают обыкновенного качества, качественные и высококачественные. *Стали обыкновенного качества* содержат не более 0,05% серы и не более 0,04% фосфора. Качественные стали содержат не более 0,04% серы (в случае инструментальных сталей до 0,03%) и не более 0,035% фосфора, они менее загрязнены неметаллическими включениями и газами.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		166

Стали обыкновенного качества изготавливают по ГОСТ380-94. Выплавка их производится в крупных мартеновских печах и кислородных конвертерах. Их маркируют буквами Ст и цифрами от 0 до 6. Буквы Ст означают «сталь», цифры – условный номер марки стали в зависимости от её химического состава.

Качественные углеродистые стали выплавляют в электропечах, кислородных конвертерах и мартеновских печах по ГОСТ1050-88. Качественные стали поставляют по химическому составу и механическим свойствам. К качественным сталям предъявляют более жесткие требования по содержанию вредных примесей (серы не более 0,04%, фосфора не более 0,035%).

Качественные углеродистые стали маркируют двузначными цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента.

По содержанию углерода качественные углеродистые стали подразделяют на *низкоуглеродистые* (до 0,25% углерода), *среднеуглеродистые* (от 0,3% до 0,5% углерода) и *высокоуглеродистые* конструкционные (до 0,65% углерода).

Для изделий ответственного назначения применяют *высококачественные стали* с ещё более низким содержанием серы и фосфора. Необходимость обеспечения низкого содержания вредных примесей в высококачественных сталях дополнительно повышает стоимость и усложняет производство. Поэтому обычно высококачественными сталями бывают не углеродистые, а легированные стали.

1.2.1 Легированная сталь

Чтобы придать материалу какие-либо специальные свойства, в сталь добавляют легирующие элементы— как правило металлы, которые довольно значительно изменяют свойства стали (коррозионную устойчивость, механические, магнитные или электрические свойства). Такую сталь называют легированной.

В качестве легирующих элементов часто выступают: алюминий, молибден, никель, хром и другие.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		177

Применение легирующих элементов существенно влияет на себестоимость стали. При использовании тех или иных легирующих элементов руководствуются не только их влиянием на свойства, но и экономическими соображениями, в частности стоимостью добычи и получения, а также дефицитностью.

Легирующие элементы, вступая во взаимодействие с железом и углеродом, могут участвовать в образовании различных фаз в легированных сталях.

Если проанализировать с помощью двойных диаграмм состояния систему железо – легирующий элемент, как легирующие элементы влияют на расширение области твердого раствора γ -железа (легированного аустенита) и, наоборот, на сужение области твердого раствора α , т.е. легированного феррита, то по этому влиянию все легирующие элементы можно разделить на две группы: *расширяющие* область твердых растворов γ – аустенитообразующие легирующие элементы и *сужающие* γ -область (расширяющие область твердых растворов α) – ферритообразующие легирующие элементы.

Легированные стали в свою очередь подразделяются на: *высоколегированные* — более 11% легирующих включений; *среднелегированные* — менее 11% легирующих включений; *низколегированные* — менее 4% легирующих включений.

Помимо содержания углерода, различных элементов и легирующих добавок, на свойства стали влияет обработка различных видов: *термомеханическая* (ковка, прокатка), *химико-термическая* (азотирование, цементация), *термическая* (отжиг, закалка).

Стали делятся в зависимости от назначения на: *инструментальные* (сюда входит быстрорежущая сталь) — используется для производства: измерительных и ударно-штамповых инструментов, штампов, резцов и других режущих инструментов; *конструкционные* — из нее изготавливают: паровые котлы, вагонные и судовые корпуса, детали механизмов и машин, строительные конструкции; *стали, обладающие особыми свойствами* — это: *кислотоустойкая сталь*, нержавеющая, электротехническая сталь и другие.

						44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			188

1.2.2 Жаростойкие и жаропрочные стали.

Способность металла сопротивляться химической коррозии в сухой газовой среде при высоких температурах называется жаростойкостью или окалинностью. Железо с кислородом может образовывать оксиды трех видов: FeO, Fe₃O₄, Fe₂O₃. До температуры 560 ... 600°C окалина состоит преимущественно из плотного слоя оксидов Fe₂O₃ и Fe₃O₄, что затрудняет диффузию атомов кислорода и металла. Выше 600°C происходит растрескивание этих оксидов и вместо них защита металла осуществляется лишь рыхлым оксидом FeO, что облегчает доступ кислорода к поверхности металла. Нагрев свыше 600°C приводит к интенсивному окислению сплавов на основе железа.

Учитывая, что высокое содержание алюминия и кремния способствует охрупчиванию и ухудшает технологическую пластичность при обработке давлением, основным легирующим элементом является хром. Жаростойкие свойства растут с увеличением его содержания в стали. Сталь, содержащая 5% хрома, сохраняет окалинность до температуры 600°C (15X5), 9% (40X9C2) – до 800°C, 17% (08X17T) – до 900°C. Хромистые марки стали относятся к сталям ферритного класса.

1.2.3 Производство стали

По способу производства различают стали, выплавляемые в электропечах, мартеновских печах и кислородно-конверторным способом.

Сущность процесса

Основными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом. Механические свойства стали гораздо выше, чем у чугуна, что объясняется пониженным содержанием углерода, а также примесей в стали по сравнению с чугуном (табл. 1).

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		199

Таблица 1 - Состав пердеельного чугуна и низкоуглеродистой стали

Материал	Состав, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
Передельный чугун	4,0–4,4	0,75–1,25	До 1,75	0,15–0,3	0,03–0,07
Стальнизкоуглеродистая	0,14–0,22	0,12–0,3	0,4–0,65	0,005	0,055

Сущностью любого передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы.

Сущность мартеновского процесса

Выплавка из металлической шихты стали заданной марки является задачей мартеновского процесса. Состав металлической шихты может изменяться от 100% чугуна до 100% стального возврата, причем чугунная составляющая может поступать в печь и в жидком, и в твердом состоянии. Необходимость расплавления твердой части шихты и нагрева металла до температуры, превышающей его точку плавления примерно на 100°C, а также покрытие крайне больших неизбежных тепловых потерь требуют затраты внешнего тепла. В современных печах расход тепла колеблется в широких пределах – от 700 до 1500 ккал/кг выплавляемой стали, а при применении кислорода для интенсификации мартеновского процесса значительно меньше.

Питание печи кислородом воздуха производится в количестве, превышающем теоретически необходимое для полного горения. Это обуславливает окислительный характер газовой фазы в мартеновской печи. К продуктам сгорания топлива присоединяются газы, выделяющиеся из расплавленной ванны и неметаллической части шихты, например, CO₂ из известкового камня. Наряду со свободным кислородом воздуха в газовом потоке (0,5-0,8%) содержатся окислительные компоненты дыма: 10,0-18,0% CO₂ и 9,0-15,0% H₂O. Частично эти трехатомные газы при температурных условиях рабочего пространства диссоциируют и отдают свой кислород жидкой ванне.

Воздействие окислительной газовой среды на металл начинается еще в процессе завалки шихты. Угар железа тем больше, чем легче веснее скрап и чем медленнее идет процесс плавления, что в свою очередь зависит от термической мощности печи и тугоплавкости шихты.

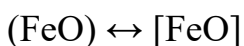
Одновременно с окислением железа идет окисление и входящих в состав шихты примесей. Нелетучие их окислы вместе с окислами железа и флюсами входят в состав образующегося шлака. В формировании его применяют также вносимые с чугуном и скрапом песок, земля, огнеупоры и продукты оплавления кладки и износа пода рабочего пространства.

Система газ – шлак – металл.

Теоретически установлено, что в рабочем пространстве мартеновской печи существует постоянный резкий перепад давления кислорода между газовой и металлической фазами.

При полном сжигании горючего давление кислорода над ванной в среднем едва ли бывает ниже 10^{-2} ат. Эта величина немного ниже упругости диссоциации чистой Fe_3O_4 при $1600^\circ C$, но гораздо больше упругости диссоциации FeO , насыщающей жидкое железо (около 10^{-8} ат), и еще выше, когда в ванне имеется некоторая концентрация углерода (от 10^{-9} до 10^{-10} ат). Отсюда следует, что разность давлений кислорода между газовой и металлической фазами достигает 10^{-8} ат; это создает условия для непрерывного потока кислорода из газовой фазы через шлак к металлу.

Приближение к равновесному состоянию системы газ – шлак – металл в условиях мартеновского процесса находится в зависимости от скорости перехода кислорода (в виде FeO) из шлака в металл в зоне контакта шлакового слоя с металлом.



Эта скорость в свою очередь зависит от того, в состоянии движения или покоя находятся соприкасающиеся жидкие массы, а также от величины их контактной поверхности. Практика показывает, что при интенсивном перемешивании металла со шлаком (например, при эмульгировании шлака) до-

стигаются очень большие скорости реакции между этими фазами. Этим же отчасти объясняются высокие скорости протекания конвертерных процессов.

Основной задачей сталевара является создание такого шлакового режима, который обеспечивал бы и надлежащую скорость окисления примесей, и удержание в шлаке окислов тех элементов, присутствие которых в металле нежелательно.

При работе на твердой садке к моменту расплавления шихты зеркало ванны уже бывает покрыто шлаковым слоем. Однако при кислом процессе нередко не хватает шлака для полного покрытия металла. Этот недостаток восполняют подкидкой шлака от предыдущих плавов. Такие случаи исключены при основном процессе, который требует введения в завалку расчетных количеств известкового камня, а при работе с высоким содержанием жидкого чугуна в шихте – и значительных количеств железной руды.

Металл после расплавления по содержанию в нем компонентов еще далек от заданного состава стали и не имеет необходимой степени нагрева. Поэтому за периодом расплавления следует период фришевания, в течение которого происходит дальнейшее окисление компонентов ванны и ее нагревание.

Производство стали в кислородных конвертерах

Кислородный конвертер представляет собой агрегат грушевидной формы высотой до 15 м, кожух которого изготовлен из листовой стали толщиной до 110 мм. Внутри конвертер футерован огнеупорным кирпичом. В процессе работы конвертер может поворачиваться на цапфах с помощью поворотного устройства вокруг горизонтальной оси для завалки скрапа, заливки чугуна, разгрузки стали и шлака.

Шихтовыми материалами для кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, скрап и флюсы. В состав флюсов входят известняк, железная руда, боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2 , который применяют для разжижения шлака.

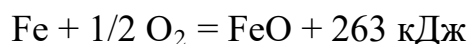
					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

В кислородном конвертере всегда ведут основной процесс выплавки-стали, повышенную щелочность создают с помощью известняка для удаления фосфора и серы.

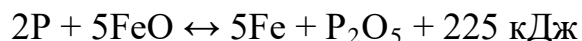
Перед плавкой в наклоненный конвертер через горловину загружают-скрап и заливают чугун с температурой 1250–1350 °С. Шихта должна занимать 1/5 объема конвертера. После этого конвертер поворачивают в вертикальное положение и внутрь его вводят водоохлаждаемую фурму, через которую подают кислород под высоким давлением. Фурма не доходит до уровня металла на 1,2–2 м. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают флюсы.

Для снижения содержания в чугуне углерода и примесей осуществляют их окисление. Процессы окисления сопровождаются выделением большого количества тепла, что необходимо для расплавления шихты и нагрева ванны жидкого металла. В этом состоит первый этап плавки.

В первую очередь под действием кислорода начинается интенсивное окисление железа в соответствии с законом действующих масс, так как в чугуне в большом количестве содержится железо и оно взаимодействует с кислородом:



Образовавшийся оксид железа, при высоких температурах процесса, более активно, чем чистый кислород, взаимодействует с примесями чугуна. На 4–6-й минутах плавки окисляется кремний, восстанавливается железо и выделяется большое количество тепла. С окисления кремния начинается процесс шлакообразования. На 8–10-й минутах плавки начинает окисляться марганец и в виде оксида также удаляется в шлак. Фосфор начинает взаимодействовать с оксидом железа в начальный момент продувки (с 5-й минуты):

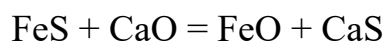


Повышенное содержание оксида железа способствует образованию P_2O_5 . Это соединение неустойчивое, и реакция может идти в обе стороны, но

присутствующий в печи оксид кальция уже при невысоких температурах связывает P_2O_5 , переводя его в шлак:

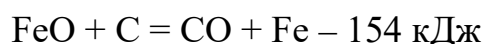


Хуже всего при кислородно-конвертерном процессе удаляется сера, присутствующая в чугунах в виде сульфида железа FeS , который начинает взаимодействовать с оксидом кальция даже при низких температурах:



Но в кислородном конвертере из-за повышенного содержания FeO сера практически не связывается кальцием, так как этот процесс сопровождается образованием FeO , который уже в избытке.

Второй этап выплавки стали – «кипение» металлической ванны начинается при достижении температуры $1450^\circ C$. Это позволяет интенсивно протекать реакции окисления углерода, сопровождающейся поглощением теплоты:



Пузырьки окиси углерода выделяются из жидкого металла, вызывая бурное кипение ванны. Оно способствует выравниванию температуры по объему конвертера и частичному удалению в шлак неметаллических включений, прилипающих к пузырькам углерода. При достижении заданного содержания углерода подачу кислорода отключают, фурму поднимают, конвертер наклоняют и сталь через летку выливают в ковш.

Третий этап выплавки стали – раскисление в кислородном конвертере не проводится, оно осуществляется в ковше осаждающим методом.

Раскисление заключается в восстановлении оксида железа FeO , растворенного в жидком металле. Кислород, выполнивший свою функцию при удалении примесей из металла, сам является вредной примесью, и его содержание необходимо снизить.

В ковш добавляют ферромарганец, ферросилиций и алюминий. Они обладают большим сродством к кислороду, чем сталь. Железо восстанавли-

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

вается, а образующиеся оксиды MnO , SiO_2 , Al_2O_3 , обладающие меньшей плотностью, уходят в шлак:



В кислородных конвертерах выплавляют конструкционные стали с различным содержанием углерода – кипящие и спокойные. Этим способом трудно получать стали, содержащие высокое количество легкоокисляющихся легирующих элементов, поэтому кислородно-конвертерным способом можно выплавить только низколегированную сталь. Легирующие элементы вводятся в ковш в расплавленном состоянии или в виде твердых ферросплавов. Кислородно-конвертерный процесс отличается высокой производительностью: выплавка стали в конвертерах вместимостью 50–300 т идет 25–50 мин.

Производство стали в электродуговых печах

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами:

- легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока;
- можно получать высокую температуру металла;
- можно создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений.

Электропечи используют для выплавки конструкционных низко- и высоколегированных сталей, инструментальных и специальных сталей и сплавов. Различают дуговые и индукционные электропечи.

Дуговая печь питается трехфазным переменным током, имеет три цилиндрических электрода из графитированной массы, закрепленных в электрододержателях, к которым подводится электрический ток по кабелям. Между электродом и металлической шихтой возникает электрическая дуга.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Корпус печи имеет форму цилиндра. Снаружи он заключен в прочный стальной кожух, внутри футерован основным или кислым кирпичом. Съёмный свод имеет отверстия для электродов. В стенке корпуса находится рабочее окно (для слива шлака, загрузки ферросплавов, взятия проб), закрытое при плавке заслонкой. Готовую сталь выпускают через сливное отверстие со сливным желобом. Печь опирается на секторы и имеет опорные ролики для наклона в сторону рабочего окна или желоба. Печь загружают при снятом своде.

Вместимость печей составляет от 0,5 до 400 т. В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, в литейных – с кислой.

В основной дуговой печи осуществляется плавка двух видов: на шихте из легированных отходов (методом переплава) и на углеродистой шихте (с окислением примесей).

Плавку на шихте из легированных отходов ведут без окисления примесей. После расплавления шихты из металла удаляют серу, наводя основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Проводят диффузионное раскисление, подавая на шлак измельченные ферросилиций, алюминий, молотый кокс. Так выплавляют легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают шихту: стальной лом, металлизированные окатыши, чушковый передельный чугун, железную руду для окисления примесей, электродный бой или кокс для науглероживания металла, известь. Опускают электроды, включают ток. Шихта под действием электродов плавится, металл накапливается в подине печи. Во время плавления шихты кислородом воздуха, оксидами шихты и окалина окисляются железо, кремний, фосфор, марганец и частично углерод. К концу «окислительного» периода заканчивается удаление фосфора в основной железистый шлак.

После нагрева до 1500–1540 °С начинается период «кипения» металла, для дальнейшего окисления углерода.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

При достижении нужного количества углерода прекращают кипение и приступают к удалению серы, раскислению для получения металла заданного химического состава. Раскисление производят осаждающим и диффузионным методами. Для диффузионного раскисления наводят шлак, содержащий известняк и молотый кокс. Благодаря повышенному содержанию в шлаке оксида кальция и пониженному содержанию оксида железа в него из металла переходит сера. Для определения химического состава металла берут пробы и при необходимости вводят в печь ферросплавы для получения заданного химического состава. Затем выполняют конечное раскисление алюминием и силикокальцием, выпускают сталь в ковш.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов.

В дуговых печах выплавляют качественные и высококачественные углеродистые и легированные стали – конструкционные и инструментальные.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Эксперимент заключается в проведении ряда опытов, а именно погружении образцов сталей 30 и 15Х13Л в расплав алюминия, при температуре 800 в течение различных промежутков времени. Для эксперимента брались образцы сталей различной массы. Взвешивание образцов проводилось до и после эксперимента. После первоначального взвешивания образцы были разложены в пронумерованные тигли, заполнены алюминием (60г) и помещены в печь. Образцы вытаскивались из печи через определенные промежутки времени: через 24, 48, 72 и 96 часов. После истечения каждого промежутка времени, тигль с образцом доставался из печи, охлаждался до температуры лаборатории, после чего образец извлекался из пробы и взвешивался. В результате проведения эксперимента были получены следующие данные:

Таблица 5 - Результаты эксперимента

Сплав	№ образца	Масса образца до эксперимента, г	Масса образца после эксперимента, г	Время, проведенное образцом в расплаве, ч
Ст30	1	17,7955	15,8803	24
	2	8,8344	4,4458	48
	3	8,7029	4,2692	96
	4	12,3316	6,9023	72
15Х13	1	13,1696	12,0476	24
	2	19,3752	14,9696	48
	3	16,7053	13,0721	96
	4	19,1435	11,1501	72

2.2. Выводы по исследовательской части.

Рассмотрим изменение массы и микроструктуры образцов до и после эксперимента.

Для стали 30:

Образец №1 – был легко извлечен из неостывшего расплава; масса образца уменьшилась на 1,9152г.

Рис 2.1 Микроструктура образца №1 (сталь 30)

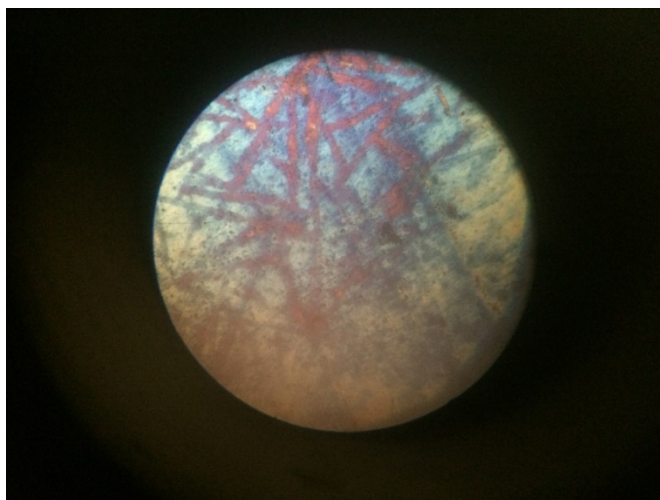
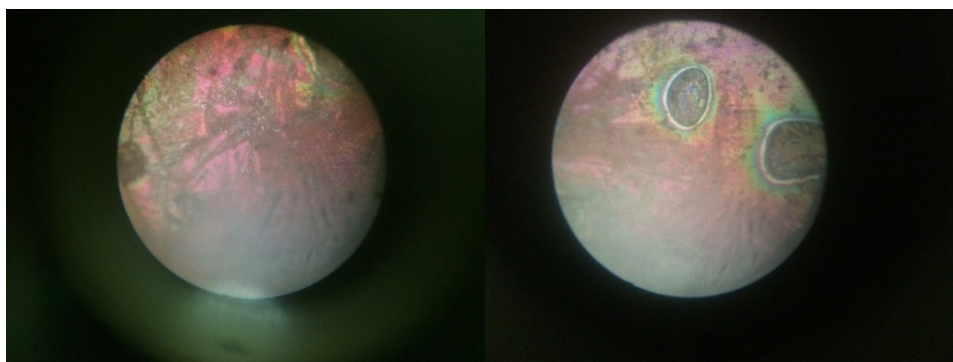


Диаграмма изометрического превращения для стали данного типа показывает, что при 640°C превращение аустенита начинается только после выдержки 1ч. На границах ферритных участков можно видеть следы дендритного роста, которые, по-видимому, отражают механизм, при помощи которого протекает превращение.

Образец №2 – был легко извлечен из неостывшего расплава; масса образца уменьшилась на 4,3886г.

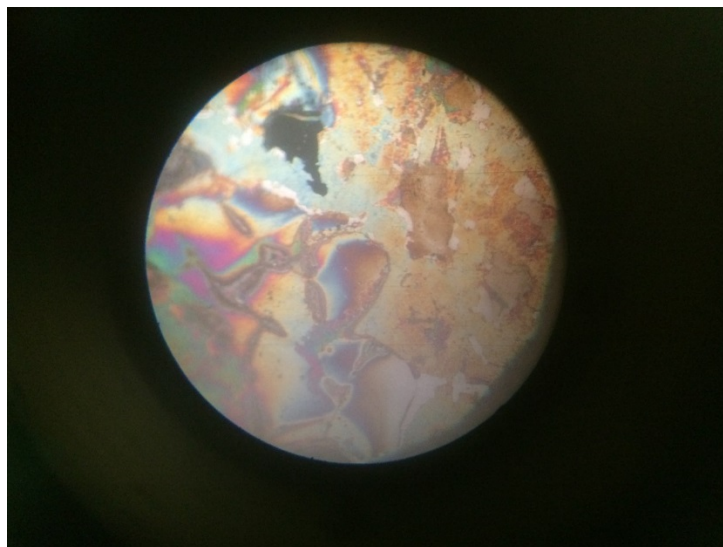
Рис 2.2 Микроструктуры образца №2 (сталь 30)



На данных снимках наблюдается продолжение дендритного роста на ферритных участках, по которому мы можем судить о незаконченном превращении аустенита.

Образец №3 – из неостывшего расплава образец извлечь не удалось, так как началось спекание вследствие диффузии. Проба была извлечена из тигля после остывания, из которой вручную был удален образец; масса образца уменьшилась на 5,4293г.

Рис 2.3 Микроструктура образца №3 (сталь 30)

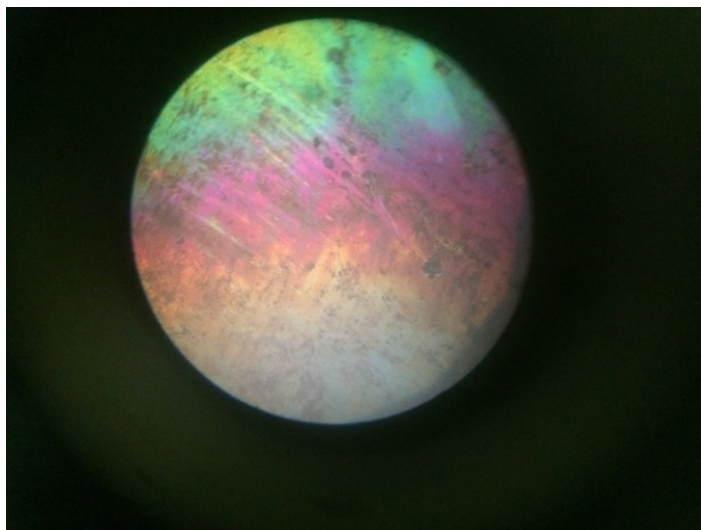


На данной фотографии видны удлиненные ферритные участки на одной из стадий их образования. В результате превращения все еще сохраняются определенные предпочтительные направления и образуется очень тонкие пластинки, которые могут вырасти до нескольких микрон без увеличения ширины.

Образец №4 – извлекался из неостывшего расплава хуже, чем образцы №1 и №2; масса образца уменьшилась на 4,4367г.

На данном снимке так же можно заметить следы дендритного роста и разные фазы превращения перлита и феррита в аустенит

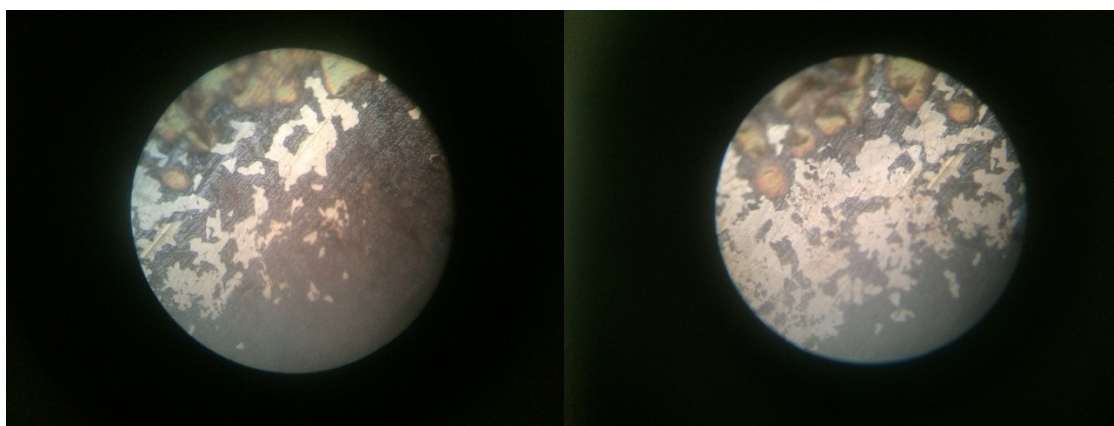
Рис 2.4 Микроструктура образца №4 (сталь 30)



Для стали 15X13Л:

Образец №1 – был легко извлечен из неостывшего расплава; масса образца уменьшилась на 1,122г.

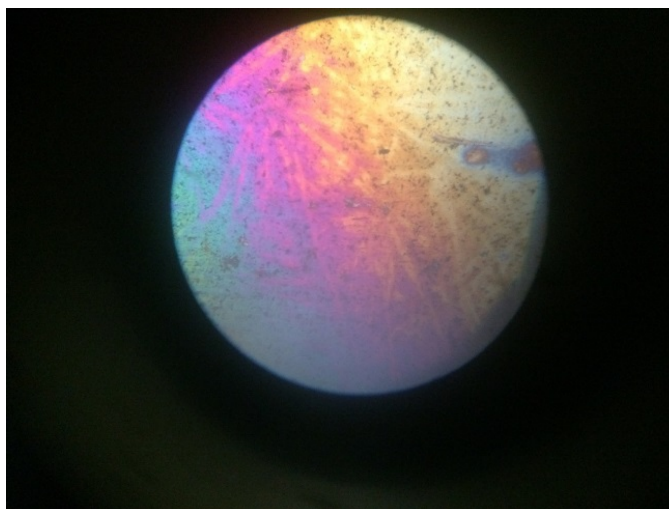
Рис 2.5 Микроструктуры образца №1 (сталь 15X13Л)



Структура состоит из феррита и участков мартенсита. Перлит превратился в аустенит, затем часть феррита растворилась. При охлаждении из аустенита образовался мартенсит. 383/3

Образец №2 – извлекался из неостывшего расплава хуже, чем предыдущий образец; масса образца уменьшилась на 4,4056г.

Рис 2.6 Микроструктура образца №2 (сталь 15X13Л)



Перлит отсутствует. Образовался игольчатый бейнит, в котором видны частицы цементита. Светлые участки представляют собой слаботравящийся мартенсит. Присутствуют глобулы цементита.

Образец №3 – из неостывшего расплава образец извлечь не удалось, так как началось спекание вследствие диффузии. Проба была извлечена из тигля после остывания, из которой вручную был удален образец; масса образца уменьшилась на 3,6332г.

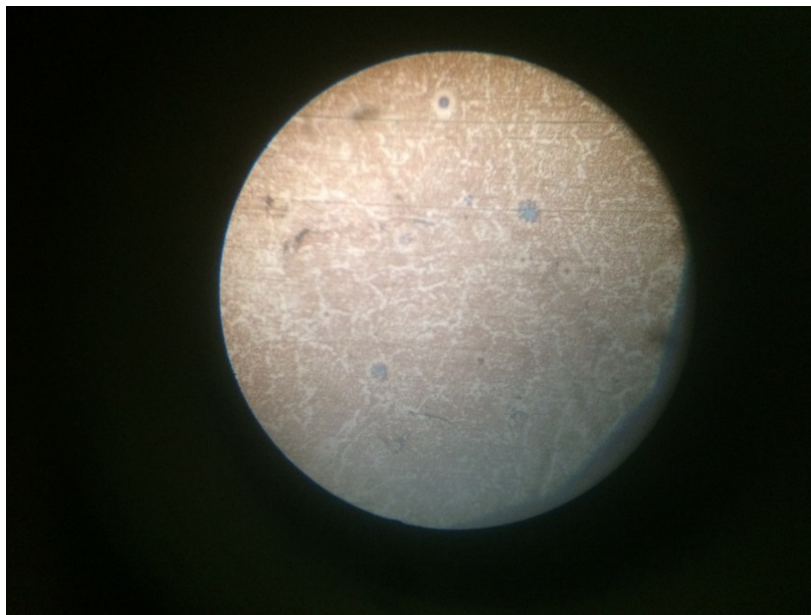
Рис 2.7 Микроструктура образца №3 (сталь 15X13Л)



На данном снимке наблюдается зернистый перлит; частицы карбидов различных размеров, расположенных в виде сетки.

Образец №4 – из неостывшего расплава образец извлечь не удалось, так как началось спекание вследствие диффузии. Проба была извлечена из тигля после остывания, из которой вручную был удален образец; масса образца уменьшилась на 7,9934г.

Рис 2.8 Микроструктура образца №4 (сталь 15X13Л)



Сетка по границам первичных аустенитных зерен. В мартенсите мелкие, похожие на стержни выделения, ориентация которых зависит от ориентации исходных игл мартенсита. Эти стержни могут быть карбидами. Наиболее мелкие выделения карбидов не видны. Между участками мартенсита гладкие зоны нерасправившегося остаточного аустенита.

Вывод по экспериментальной части: проанализировав изменения, произошедшие с образцами углеродистой конструкционной стали 30 и легированной конструкционной стали 13X15Л можно сделать вывод, что более стойкой к агрессивной среде является легированная конструкционная сталь 13X15Л, так как ее образцы претерпели меньшее изменение в ходе эксперимента.

3. Методическая разработка

3.1 Лабораторная работа «Исследование влияния температуры на пластичность и сопротивление деформированию»

Цель работы – изучить зависимость строения и механических свойств металлов от температурного режима пластической деформации.

Оборудование, приборы и материалы: 1. Образцы различных марок; 2. Прибор для измерения твердости металлов и сплавов по методу Роквелла модели ТК-14-250; 3. Электродпечь сопротивления, камерная лабораторная СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2; 4. Кузнечные клещи; 5. Молоток.

Теоретическая часть.

Обработка металлов давлением основана на их способности пластически деформироваться под действием внешних сил. Пластической деформации всегда предшествует упругая, при которой атомы смещаются один относительно другого на величину, меньшую межатомных расстояний, и тело после снятия внешней нагрузки полностью восстанавливает исходную форму и размеры. При пластической деформации атомы смещаются относительно друг друга на величины, превышающие межатомные расстояния, и после снятия внешних сил не возвращаются в исходные положения; в результате изменяются форма и размеры деформируемого тела. Пластическая деформация выражается в скольжении одних частей кристаллов относительно других по плоскостям наиболее плотного размещения атомов (плоскостям скольжения) без изменения расстояния между этими плоскостями. При этом силовое взаимодействие между атомами не исчезает, и деформация протекает без нарушения сплошности и без изменения объема деформируемого тела.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

В реальных металлах и сплавах, представляющих собой поликристаллические тела, в результате изменения формы, сдвигов и поворотов зёрен при пластической деформации возникает преимущественная ориентировка их кристаллических решеток, называемая текстурой деформации. В результате пластической деформации зерна и межзёренной прослойки с повышенным содержанием примесей (серы, кислорода, фосфора и др.) вытягиваются в направлении деформации, что и приводит к образованию полосатости или волокнистости структуры. Деформированный металл имеет резко выраженную анизотропию (неоднородность свойств в различных направлениях). Наиболее высокие показатели прочности, пластичности и вязкости имеют продольные образцы (расположенные при вырезке из заготовок в направлении деформации), наиболее низкие – поперечные образцы. Соотношение показателей свойств, полученных на продольных и поперечных образцах, характеризует степень анизотропии.

Пластическая деформация приводит к значительному изменению механических, физических и химических свойств металлов вследствие увеличения количества дислокаций, вакансий и дислоцированных атомов, а также искажения кристаллической решетки. С увеличением степени деформации повышаются твердость и прочность и снижаются пластичность и вязкость, увеличивается электрическое сопротивление, уменьшаются сопротивление коррозии и теплопроводность. Совокупность явлений, связанных с изменением химических, физических и механических свойств металла в процессе пластической деформации, называется упрочнением (наклепом).

Основная часть энергии (до 90...95 %), затрачиваемой на деформирование металла, превращается в тепловую, нагревающую металл, остальная часть энергии поглощается металлом и аккумулируется в виде повышенной свободной энергии смещенных атомов. В связи с тем, что любая система стремится к состоянию, когда уровень ее свободной энергии наименьший, деформированный металл является термодинамически неустойчивым и при

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

его нагреве протекают процессы возврата и рекристаллизации, обуславливающие возвращение всех свойств к свойствам металла до деформации.

При нагреве деформированного металла до сравнительно низких температур, обычно ниже $(0,2...0,3) T_{пл}$ ($T_{пл}$ – абсолютная температура плавления металла), происходит процесс возврата, под которым понимают повышение структурного совершенства упрочненного металла без изменения структуры, уменьшение количества точечных дефектов кристаллической решетки, перераспределение, слияние и частичное устранение дислокаций.

При нагреве металла до более высоких температур значительно увеличивается амплитуда тепловых колебаний атомов и создаются условия для перестройки зерен. При температурах больше температуры возврата образуются зародыши новых зерен с неискаженной кристаллической решеткой и значительно меньшей плотностью дислокаций. При дальнейшем нагреве продолжается процесс образования новых равноосных зерен вместо ориентированной волокнистой структуры. Этот процесс называется первичной рекристаллизацией. В дальнейшем новые зерна взаимодействуют друг с другом, сливаются и укрупняются – происходит собирательная рекристаллизация; в итоге практически полностью устраняются последствия упрочнения и свойства металла приближаются к исходным. Согласно многочисленным исследованиям, температура начала рекристаллизации составляет $0,4...0,6 T_{пл}$ для технических сплавов и $0,2...0,4 T_{пл}$ для чистых металлов.

Различают холодную, горячую, неполную холодную и неполную горячую пластическую деформации. При холодной деформации рекристаллизация и возврат полностью отсутствуют и деформированный металл имеет все признаки упрочнения.

Горячей деформацией называют такую деформацию, во время которой процесс рекристаллизации успевает произойти полностью. В результате горячей деформации металл получает равноосную микроструктуру при отсут-

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

ствии каких-либо следов упрочнения. При неполной холодной и горячей деформации имеет место частичное упрочнение металла. В таблице 2.1 приведены теоретические температуры рекристаллизации, равные 0,4 Тпл, а также температуры рекристаллизационного отжига и горячей обработки давлением.

Таблица 3.1 - Температура рекристаллизации и горячей обработки металлов давлением

Металл	Температура		
	Рекристаллизации	Рекристаллизационного отжига	Горячей обработки давлением (начало – конец)
Железо	450	600–700	1300–800
Сталь 45	450	600–700	1200–750
Сталь У10	450	600–700	1100–850
Медь	270	450–500	800–600
Латунь	250	400–500	750–600
Алюминий	50	250–350	460–350
Молибден	900	1400–1600	2000–1400

При горячей обработке резко понижается усилие деформации и в связи с этим снижаются затраты энергии на обработку. Однако горячей обработке присущи и определенные недостатки, в отдельных случаях делающие более выгодной холодную деформацию. Практически невозможно выдержать температурный режим для мелких заготовок (диаметром менее 5...7 мм), что исключает возможность их горячей обработки. При нагреве металл окисляется, что затрудняет последующую обработку давлением, резанием, снижает точность размеров готовых поковок, ухудшает шероховатость их поверхности. Часть металла теряется в виде окалины. Благодаря процессу рекристаллизации горячая обработка не позволяет получать изделия с высокой прочностью,

твердостью и другими свойствами, характерными для холоднодеформированного металла.

Порядок выполнения работы: 1. Измерить твердость исходных образцов (не менее чем в 3-х точках); 2. Произвести деформирование образцов молотком с размеров 20x20 мм на размер 15x10 мм при температурах 20, 150, 250, 350, 500 °С; 3. Измерить твердость деформированных образцов (не менее чем в 3х точках на деформированной части); 4. Построить зависимость твердости деформированных образцов от температуры нагрева; 5. Определить температуры возврата и рекристаллизации.

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов: 1. Как происходит пластическая деформация поликристаллических металлов и сплавов? 2. Что называется текстурой деформации? 3. Как изменяется микроструктура металла в результате холодного пластического деформирования? 4. Что такое упрочнение металла и каковы причины его образования? 5. Почему холоднодеформированный металл является термодинамически неустойчивой системой? 6. Опишите сущность процессов возврата и рекристаллизации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе было проведено исследование, в котором были определены свойства сталей, в агрессивной среде расплава алюминия. Было определено поведение и изменение микроструктуры исследуемых сталей, а также изменение их свойств. Были выявлены лучшие материалы для изготовления литейной оснастки и инструментов.

В методической части разработана лабораторная работа «Исследование влияния температуры на пластичность и сопротивление деформированию», целью которой является изучение зависимости строения и механических свойств металлов от температурного режима пластической деформации.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Солнцев, Юрий Порфирьевич. *Материаловедение* [Текст] : учебник [Гриф Федерального института развития образования] / Ю. П. Солнцев, С. А. Вологжанина, А. Ф. Иголкин. - 8-е изд., стер. - Москва : Академия, 2013. - 494, [1] с. : ил., табл. - (Среднепрофессиональное образование) (Технологические машины и оборудование)
2. Моряков, Олег Сергеевич. *Материаловедение* [Текст] : учебник [Гриф Федерального института развития образования] / О. С. Моряков. - 6-е изд., стер. - Москва : Академия, 2013. - 284, [1] с. : ил., табл. - (Среднепрофессиональное образование) (Технология машиностроения).
3. Черепяхин, Александр Александрович. *Материаловедение* [Текст] : учебник [Гриф Минобразования РФ] / А. А. Черепяхин. - 5-е изд., перераб. - Москва : Академия, 2012. - 265, [1] с. : ил., табл. - (Среднепрофессиональное образование) (Машиностроение)
4. Соколова, Елена Николаевна. *Материаловедение* [Текст] : лабораторный практикум : учебное пособие [Гриф Федерального института развития образования] / Е. Н. Соколова, А. О. Борисова, Л. В. Давыденко. - Москва : Академия, 2012. - 122, [3] с. : ил., табл. - (Среднепрофессиональное образование)
5. Сапунов, Сергей Васильевич. *Материаловедение* [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов [Гриф УМО] / С. В. Сапунов. - 2-е изд., испр. и доп. - Электрон. текстовые дан. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2015. - 201 с. : ил., табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/56171/>. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации. - ЭБС Лань.
6. Фетисов, Геннадий Павлович. *Материаловедение и технология металлов* [Текст] : учебник для сред. проф. образования [Гриф Минобразования РФ] / Г. П. Фетисов, Ф. А. Гарифуллин. - 3-е изд., испр. - Москва : Оникс, 2009. - 619 с.
7. *Материаловедение* [Текст] : учебник для вузов [Гриф Минобразования РФ] / Б. Н. Арзамасов [и др.]. - 7-е изд., стер. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. - 646 с.
8. *Металлография железа. Том 2. «Структура сталей»* (с атласом микрофотографий). Перевод с англ. Изд-во «Металлургия» 1972, 284с.

					44. 03. 04. 168. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		441