

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Российский государственный профессионально-педагогический
университет»

Институт инженерно-педагогического образования
Кафедра металлургии, сварочного производства и методики
профессионального обучения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:
Заведующий кафедрой МСП
_____ Б.Н. Гузанов
« ____ » _____ 2017 г

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕ-
ЗА (ЧУГУНА) В СРЕДЕ ЖИДКОГО АЛЮМИНИЯ**

Идентификационный код ВКР: 019

Исполнитель:

студент группы МП-402

(подпись)

М.Ю Москвитин

Руководитель:

доцент кафедры МСП

канд. пед. Наук

(подпись)

Ю.А. Бекетова

Нормоконтролер:

профессор кафедры МСП,

канд. техн. наук, доцент

(подпись)

Ю.И. Категоренко

Екатеринбург
2017

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 52 страницах, содержит 20 рисунков, 2 таблицы, 14 источников литературы, а также 2 приложения на 27 страницах.

Ключевые слова: ЧУГУН, АЛЮМИНИЙ, МИКРОСКОП, ШЛИФ, МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.

В выпускной квалификационной работе для решения задач выполнено:

- получены теоретические знания о чугунах;
- проведены опытные плавки серого чугуна (марки СЧ20), хромистого высоколегированного чугуна (марки ЧХ28) и высокопрочного (марки ВЧ50) в среде жидкого алюминия на производственной площадке кафедры;
- изучена структура отливок из серого, высокопрочного и хромистого чугунов после погружения в расплав алюминия и выдержки при определенной температуре;
- исследованы физические и механические свойства (твердость, плотность, износостойкость, деформационное поведение, коррозионную стойкость) до и после эксперимента;
- Дана оценка прочностных характеристик исследуемых чугунов;

					44.03.04. 169. ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Исследование стойкости сплавов на основе железа (чугуна) в среде жидкого алюминия	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		Москвитин М.Ю.						
<i>Провер.</i>		Бекетова Ю.А.						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		Категоренко Ю.И.						
<i>Утверд.</i>		Гузанов Б.Н.						
						<small>ФГАОУ ВО РГПУ ИИПО каф. МСП, группа МП-402</small>		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА I. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	
1.1 Виды и классификация чугунов	7
1.2 Структура, свойства и модифицирование чугуна.....	10
1.3 Технология получения чугунов.....	20
1.4 Коррозионная стойкость чугуна.....	26
1.5 Травление чугуна.....	30
1.6 Микроструктура, макроскопический и микроскопический анализ..	
ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	
2.1 Основные сведения об эксперименте.....	34
2.2 Описание микроструктуры исследуемых чугунов.....	35
ГЛАВА III. 3. Разработка методических указаний к лабораторной работе по теме «техника микроструктурного анализа».....	
	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	66

ВВЕДЕНИЕ

Чугуны являются важнейшими материалами современного машиностроения и находят широкое применение в промышленности. Это связано с тем, что чугуны обладают высокими технологическими, механическими и эксплуатационными свойствами. Следовательно, в целом хорошими техническими и экономическими показателями. Отливки из чугунов составляют около 80 % всего фасонного литья металлургической продукции. С каждым годом российский рынок чугуна растет и пополняется отечественными производителями, а производство чугуна увеличивается.

В наше время наука о металлах развивается весьма динамично, в основном, благодаря современной аппаратуре (микрорентгеноспектральный анализ, электронные микроскопы и множество других, не менее важных, приборов). Все эти новшества позволяют более полно и глубоко изучить строение и структуру различных металлов и сплавов, находить новые пути повышения их механических, физических и технических свойств.

Актуальность настоящей работы обусловлена тем, что в современном мире огромное количество различных важных материалов изготавливается из чугунов, повышаются их свойства и прочностные характеристики. В ближайшем будущем будет наблюдаться тенденция к увеличению роста производства этого металла. На протяжении многих лет, металлурги, химики и все кто связан с проблемой стойкости металлов, задаются вопросом, как повысить прочностные характеристики различных металлов. Таким образом, тема исследования стойкости чугунов в расплаве алюминия, позволит углубиться в проблему прочностных характеристик различных чугунов.

Представленная работа позволит более подробно изучить структурообразование, фазовые превращения, микроструктуру и стойкость чугунов различной номенклатуры в нестандартной среде. Исследования в этой области имеют не только научное, но и промышленное значение. Оценка начальных и конечных результатов позволит выявить некоторые физико-химические закономерности и даст представление о стойкости чугунов заданной номенклатуры.

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вопросу стойкости чугунов посвящено множество работ, демонстрирующих изменение структурных составляющих и показывающих состояние прочностных характеристик. При этом известно, что стойкость чугуна и последующие ее изменения, зависят от химико-физических составляющих расплава, добавки модификаторов и условий проведения плавки.

Целью исследования являлось выявление особенностей изменения микроструктуры, свойств и стойкости серого чугуна СЧ20, хромистого высоколегированного чугуна ЧХ28 и высокопрочного ВЧ50, в расплаве жидкого алюминия.

Для достижения цели в дипломном исследовании были сформулированы следующие задачи:

- получить, систематизировать и обобщить теоретические и экспериментальные данные о чугунах;
- провести опытные плавки серого чугуна (марки СЧ20), хромистого высоколегированного чугуна (марки ЧХ28) и высокопрочного (марки ВЧ50) в среде жидкого алюминия, на производственной площадке;
- изучить структуру отливок из серого, высокопрочного и хромистого чугунов, после погружения в расплав алюминия и выдержки при определенной температуре;
- исследовать физические и механические свойства (твердость, плотность, износостойкость, деформационное поведение, коррозионную стойкость) до и после эксперимента;
- дать оценку прочностных характеристик исследуемых чугунов;

Достоверность результатов, полученных в работе, обеспечивается тем, что все полученные отливки из чугунов, были выполнены в реальных производственных условиях. Для каждой марки чугунов, количество плавок составляло не менее пяти. Обработка данных и анализ проделанной работы осуществлялись с помощью современного оборудования с комплексным применением измерительных методов и статистической обработкой экспериментальных данных, на основе которых сделаны соответствующие выводы.

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Виды и классификация

Чугун — сплав железа, в котором процентное количество углерода составляет от 2,14 до 6,67%.

Популярность этого материала обусловлена тем, что он недорогой и обладает отличными литейными качествами. Основное применение чугуна — машиностроение, кроме того он широко применяется в искусстве (художественное литье), архитектуре. Еще одно немаловажное назначение чугуна — это сырье для производства стали.

Помимо этого, добавление в чугун легирующих элементов может довольно значительно изменить его свойства, снижая свойственную этому материалу хрупкость и даже приближая его механические качества к углеродистым сталям.

Сырьем для выплавки чугуна является железо, т.е. железная руда. В состав чугуна обязательно входят следующие элементы:

кремний — менее 4,3%; второй по важности элемент после углерода; делает материал более мягким, улучшая его жидкотекучесть и литейные свойства;

марганец — менее 2%; этот элемент увеличивает прочность сплава;

сера — менее 0,07%; этот элемент является причиной появления трещин при нагревании отливок, ухудшает жидкотекучесть сплава и литейные свойства;

фосфор — менее 1,2%; наличие фосфора является причиной появления трещин при охлаждении отливок, ухудшает механические качества чугуна;

Углерод — самый важный элемент в чугуне; от его количества, формы и вида зависит разделение чугуна на сорта. В жидком сплаве чугуна - углерод пребывает в растворенном состоянии. В твердом сплаве - либо в виде графита, либо с железом в химически связанном виде.

						44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			5

Классификация чугунов в зависимости от состояния углерода в сплаве:

- 1) серые
- 2) белые
- 3) ковкие
- 4) высокопрочные

В структуре серых чугунов графит пластинчатой формы.

Серые чугуны содержат: 3,2-3,5% углерода, 1,9-2,5% кремния, 0,5-0,8% марганца, 0,1-0,3% фосфора и менее 0,12% серы.

Отливки деталей из серых чугунов получают в кокилях – земляных или металлических формах. Серый чугун находит широкое применение в машиностроении. Ввиду невысоких механических свойств у отливок из серого чугуна и простоты получения их применяют для изготовления деталей менее ответственного назначения, деталей, работающих при отсутствии ударных нагрузок. В частности из них делают крышки, шкивы, станины станков и прессов.

По содержанию углерода серый чугун подразделяют на:

Доэвтектический содержанием углерода от 2,14% до 4,3%

Эвтектический с содержанием углерода 4,3%

Заэвтектический с содержанием углерода от 4,3% до 6,67%.

Таблица №1 – предел прочности серых чугунов

Марка чугуна	Предел прочности при растяжении, кгс/мм ² , не менее	Предел прочности при изгибе, кгс/мм ² , не менее	Стрела прогиба, мм, при расстоянии между опорами, мм		Твердость по Бринеллю, НВ
			600	300	
СЧ 00	Испытания не производятся				
СЧ 12-28	12	28	6	2,0	143-229
СЧ 15-32	15	32	8	2,5	163-229
СЧ 18-36	18	36			170-229
СЧ 21-40	21	40	9	3,0	170-241
СЧ 24-44	24	44			170-241
СЧ 28-48	28	48			170-241
СЧ 32-52	32	52			187-255
СЧ 35-56	35	56	10	3,5	197-269
СЧ 38-60	38	60			207-269

В белом чугуна весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита Fe₃C. У белого чугуна высокая износостойкость и твердость, однако, он хрупок и плохо обрабатывается резанием, поэтому в машиностроении. Применяется для переплавки в сталь и получения ковких сортов чугуна (поэтому его называют передельным). В сером, ковком, высокопрочном чугунах весь углерод или большая его часть находится в виде графита различной формы (их еще называют графитными).

Ковкий чугун получают длительным отжигом белого чугуна, в результате которого образуется графит хлопьевидной формы. Металлическая основа такого чугуна: феррит и реже перлит. Ковкий чугун получил своё название не случайно, так как имеет повышенную пластичность и вязкость (хотя обработке давлением не подвергается). Ковкий чугун обладает повышенной прочностью при растяжении и высоким показателем сопротивления к удару. Из ковкого чугуна изготавливают детали сложной формы: картеры заднего моста автомобилей, тормозные колодки, тройники, угольники и т. д.

Высокопрочный чугун содержит графит шаровидной формы. Он обладает наиболее высокими прочностными свойствами.

Высокопрочный чугун содержит: 3,2-3,8% углерода, 1,9-2,6% кремния, 0,6-0,8% марганца, до 0,12% фосфора и не более 0,3% серы.

Высокопрочный чугун получают путем модифицирования (т.е. введения добавки-модификатора – магния) жидкого расплава. Модификаторы способствуют образованию графитных включений шаровидной формы, благодаря чему механические свойства такого чугуна приближаются к свойствам углеродистых сталей, а литейные свойства повышаются (но все равно остаются ниже, чем у серых чугунов). Из высокопрочных чугунов изготавливают ответственные детали для машиностроения - поршни, цилиндры, коленчатые валы, тормозные колодки. Также из высокопрочного чугуна изготавливают трубы.

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2 Структура, свойства и модифицирование чугуна

Структура и свойства чугуна в основном определяются тем, в каком количестве и в каком виде (свободном или связанном) содержится в нем углерод. Свободный углерод в чугуне представляет собой равномерно распределенные в металлической основе сплава включения графита - неметаллического материала, обладающего малой прочностью и твердостью, имеющего в различных чугунах разную форму: пластинчатую, шаровидную, хлопьевидную или промежуточную. Связанный углерод входит в состав чугуна в виде химического соединения Fe_3C — цементита. Включения графита, особенно пластинчатой формы, действуют на металлическую основу чугуна как надрезы, снижающие ее механическую прочность и пластичность. Поэтому чугуны, несмотря на сходство по составу со сталями, обладают меньшей прочностью и большей хрупкостью. Чем больше по количеству и размерам включения графита в чугуне, тем меньше его прочность. Наиболее высокими механическими свойствами обладают высокопрочные чугуны с шаровидной формой графита и ковкие чугуны, в которых благодаря специальной термической обработке обеспечивается выделение углерода, отжига в виде хлопьевидных частиц. Большое содержание углерода в чугуне оказывает положительное влияние на литейные качества чугуна: повышает жидкотекучесть, понижает температуру плавления, уменьшает усадку. Таким образом, из чугуна можно получать более тонкостенные отливки, чем из стали, кроме того, использовать меньше металла на литниковую систему и прибыли. Обычный серый чугун дешевле и проще в приготовлении, чем сталь, отливки из него менее подвержены коррозии и образованию трещин.

К основным составляющим структуры различных чугунов, определяющим их свойства, помимо графита относят феррит, цементит, перлит, аустенит, фосфидная эвтектика, ледебурит.

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в α – железе с содержанием 0,025% С. Под микроскопом на травленном шлифе феррит имеет вид зерен,

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

разделенных ясно видимыми границами. Твердость феррита небольшая, он легко обрабатывается резцом.

Цементит – химическое соединение – карбид железа (Fe_3C), содержит 6,67%С. Цементит является самой твердой, но в то же время и хрупкой фазой Fe-C, придающей, например, чугунам, имеющим в своем составе структурно свободный цементит, высокую твердость, хрупкость и плохую обрабатываемость. В феррите могут быть растворены также кремний, марганец, фосфор и другие элементы. Феррит мягок и пластичен, если не содержит легирующих примесей, повышающих его прочность, твердость, хрупкость.

Перлит - эвтектоидная смесь феррита с цементитом, образующаяся во всех точках, во всех сталях и чугунах. Мельчайшие частицы цементита, находящиеся в пластичной массе феррита, придают этой смеси хорошие прочностные свойства. В перлите содержится 0,83 % углерода.

Аустенит – высокотемпературная пластичная фаза, твердый раствор углерода (до 2,14%) в γ - железе. Аустенит немагнитен.

Фосфидная эвтектика – твердая структурная составляющая, напрямую зависящая от количества фосфора в чугуне. Предел прочности чугуна немного повышается при содержании фосфора до 0,3%, при дальнейшем повышении содержания фосфора, снижаются механические свойства чугуна. Однако фосфор способствует улучшению жидкотекучести чугуна.

Ледебурит - эвтектическая механическая смесь аустенита и цементита, образующаяся при температурах ниже $1145^{\circ}C$. Содержание углерода в ледебурите 4,3%. При нормальной температуре ледебурит представляет собой смесь цементита и перлита. Кроме основных элементов в сплавах чугуна всегда присутствуют примеси-спутники: Si 1,0-2,5%; Mn 0,5-1,1%; S менее 0,12-0,15% и P менее 0,3%. По влиянию на структуру вышеперечисленные примеси можно подразделить на два класса:

- 1) Примеси, различаемые под микроскопом в микроструктуре (к ним относятся кислород и сера, связанные в виде сульфидов и оксидов).
- 2) Примеси, неразличимые под микроскопом (Si, Mn, P).

									Лист
									11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	44.03.04. 169. ПЗ				

В основе такого разделения лежат следующие явления. Кислород и сера практически не растворимы в твердом железе, поэтому, они образуют химические соединения, различимые под микроскопом. Марганец, кремний и фосфор растворяются в твердом железе в количестве, большем, чем их содержание в серых чугунах. На процесс формирования чугунных отливок оказывает влияние ряд факторов, наиболее существенными являются: химический состав чугуна, температура его перегрева перед заливкой в форму и скорость охлаждения отливки. Структуру металла готовой отливки можно изменять с помощью термической обработки. По химическому составу, чугуны разделяют на легированные и нелегированные. Как основные, так и легирующие элементы оказывают различное влияние на графитизацию чугуна. В приведенном ниже ряду элементы расположены в зависимости от их влияния на графитизацию (слева - способствующие графитизации, справа - тормозящие ее, в середине - не оказывающие на этот процесс существенного влияния): Al, C, Si, Ti, Ni, Cu, P, Co, Zr, Nb, W, Mn, Mo, S, Cr, V, Te, Mg, Sr.

Таким образом, постоянные компоненты чугуна C и Si оказывают сильное графитизирующее действие, а Mn и S тормозят выделение свободного графита. Величина, распределение и форма включений графита в очень значительной степени влияют на прочность чугуна. Чем меньше в чугуне графита, тем выше его механические качества. Изменить эти качества в свою пользу можно повышением прочности металлической основы, так же изменением формы, количества и размеров графитных включений. Включения графита – это пустоты различной формы, которые уменьшают эффективную площадь поперечного сечения и являются концентраторами напряжений. Графитизация аналогично структурообразованию зависит от следующих факторов: химический состав, скорость охлаждения, модифицирование и перегрев. Имеет смысл отдельно рассмотреть перегрев чугуна.

Перегрев при плавке помогает сплаву избавиться от плохой наследственности. Плохая наследственность заключается в соответствии включений графита в отливках и чушках. Графитовые включения доэвтектических чугу-

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

нов, под микроскопом кажутся изолированными, на самом деле они соединены между собой, потому что при кристаллизации первичного графита наблюдается образование скелета в форме дерева, а видимые в плоскости шлифа включения, являются ничем иным, как сечениями веток этого дерева.

Легирование чугунов (ГОСТ 7769—82) применяют как в целях повышения их прочности, так и для придания отливкам ряда специальных свойств: износостойкости, устойчивости против коррозии в различных средах и т. д. Различают низко- и высоколегированные хромистые, кремнистые, алюминиевые, марганцевые и никелевые чугуны. В настоящее время также применяют чугуны, модифицированные небольшими количествами редкоземельных элементов. Области применения низколегированных чугунов весьма разнообразны. Из таких чугунов отливают: штампы, базовые детали металлорежущих станков высокой точности, цилиндры автомобильных двигателей и т.д. Изделия из обычного чугуна обладают не только прочностью и твердостью, но и хрупкостью, что является нежелательным качеством. Для того, чтобы повысить эксплуатационные качества чугунов, при производстве в них добавляют разные, легирующие, химические элементы. Легирование улучшает следующие характеристики: прочность, износостойкость, жаропрочность, жаростойкость, хрупкость (в сторону уменьшения).

Введением большого количества легирующих компонентов серым чугунам с пластинчатым графитом придают разнообразные свойства. Так, немагнитные отливки для электромашиностроения, имеющие аустенитную структуру металлической основы, изготавливают из чугуна, содержащего до 7,0% марганца и до 12% никеля. При отливке коррозионно-стойких деталей для химического машиностроения, хорошо выдерживающих воздействие серной, уксусной, муравьиной кислот, каустической соды, некоторых солей и щелочей, а также морской воды, используют чугун, легированный молибденом, медью, никелем и хромом.

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Таблица 1- Свойства различных чугунов

Легированный чугун	Специальный чугун, ферросплав	Высокопрочный чугун	Ковкий чугун
<p>В сплав для улучшения некоторых свойств (к примеру, износостойкость, жаростойкость, коррозионностойкость и проч.) вводят легирующие элементы: хром (Cr), никель (Ni), титан (Ti), <u>алюминий</u> (Al), <u>медь</u> (Cu) и другие; такие чугуны получают свое название в зависимости от основного легирующего элемента (никелевый чугун, медный чугун и т.д.); высоколегированный >10% легирующих добавок; средрелегированный 2,5%-10%; низколегированный <2,5%. Применяется для работы в агрессивных средах, изготовления деталей повышенной коррозионно- и износостойкости.</p>	<p>Сплав с повышенным содержанием марганца, кремния: ферросилиций содержит 9%-13% кремния (Si) и 15%-25% марганца (Mn); ферромарганец содержит <25% марганца (Mn). Применяется для раскисления (удаления кислорода) стали при плавке.</p>	<p>Получают введением в жидкий серый чугун специальных элементов (магния, кальция и других), в результате чего меняется форма входящего в сплав графита с пластинчатого на шаровидный, который практически не нарушает металлическую матрицу; свойства этого вида чугуна приближены к углеродистой стали. Применяется для изготовления износостойких деталей, подвергающихся большому механическому воздействию.</p>	<p>Изготавливается из белого чугуна, который нагревают до высокой температуры и долго так выдерживают (так называемый, отжиг), иногда с добавлением некоторых элементов (магний, теллур), в результате содержащийся в сплаве графит принимает форму хлопьев. Эта особенность, наряду со структурой металлической основы и определяет его свойства: высокая вязкость, пластичность, отличное сопротивление ударам и растяжению. Применяется в машиностроении.</p>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Модифицирование чугуна заключается в том, что при выпуске его из плавильной печи (например, на желобе вагранки), в ковше, а иногда в литниковой системе при заливке форм в расплав вводят добавки-модификаторы, измельчающие структурные составляющие чугуна, либо вызывающие изменение формы включений графита. Таким образом, используя ферросилиций, силикокальций и некоторые другие модификаторы, обрабатывают расплав чугуна с пониженным содержанием углерода и кремния. Без воздействия модификаторов в структуре чугуна при затвердевании образуется цементит. Но модификатор оказывает графитизирующее действие, причем графит выделяется в виде мелких пластин, а общее количество их в металлической основе небольшое, так как малым было содержание углерода в исходном чугуне. В результате упрочняющее действие включений графита проявляется в меньшей степени, чем в обычном сером чугуне, и достигаются более высокие механические свойства металла. Особенно эффективно модифицирование магнием или его сплавами, воздействие которых на чугун таково, что выделяющийся при кристаллизации отливки графит приобретает шаровидную форму, а чугун становится пластичным и высокопрочным. Наибольшее применение в модификации получил магний, при содержании которого 0,03–0,05 % графит кристаллизуется в чугуне в виде шаровидных включений. Такой чугун называют магниевым. Магниевый чугун по механическим свойствам близок к конструкционной углеродистой стали, но по сравнению с ней имеет несколько преимуществ: магниевый чугун дешевле, плавится при более низкой температуре, обладает более высокими литейными свойствами, лучше и легче обрабатывается резанием, менее склонен к образованию трещин, пригара.

Очень важная часть модифицирования – это затухание модифицирующего эффекта, а так же стремление системы вернуться в исходное состояние. Это связано с тем, что активные элементы модификатора активно взаимодействуют с примесями чугуна и окисляют воздух кислородом. Поэтому вводить модификатор в расплав желательно перед разливкой или во время разливки. Следующая особенность модифицирования заключается в том, что концентрация эле-

мента-модификатора должна находиться в определенных пределах. Избыточное или недостаточное количество элемента-модификатора не только не даст нужного результата, но и может привести к ухудшению структуры металла и его полезных свойств. Не смотря на то, что существует большое количество теоретических и экспериментальных данных о модифицировании, до сих пор нет единой и ясной теории о модифицировании металлов и сплавов.

Для получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом применяют также модифицирование церием, вводя его в виде кусков непосредственно в ковш. Расход церия составляет не более 0,3% от массы модифицируемого расплава, причем по качеству цериевый чугун превосходит магниевый. Однако церий дорог, дефицитен и используется в качестве модификатора редко. Для улучшения структуры металлической основы чугуна после модифицирования его магнием или церием рекомендуется вводить в расплав кусковой ферросилиций ФС75 в количестве 0,3—1,0%. Содержание кремния в серых чугунах значительно больше, чем в углеродистых сталях, поэтому он влияет на положение критических точек. Уменьшается эвтектическая температура и снижается эвтектическая концентрация углерода, а температура эвтектического превращения повышается. В настоящее время рекомендуется использовать тройную диаграмму состояния Fe-C-Si.

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

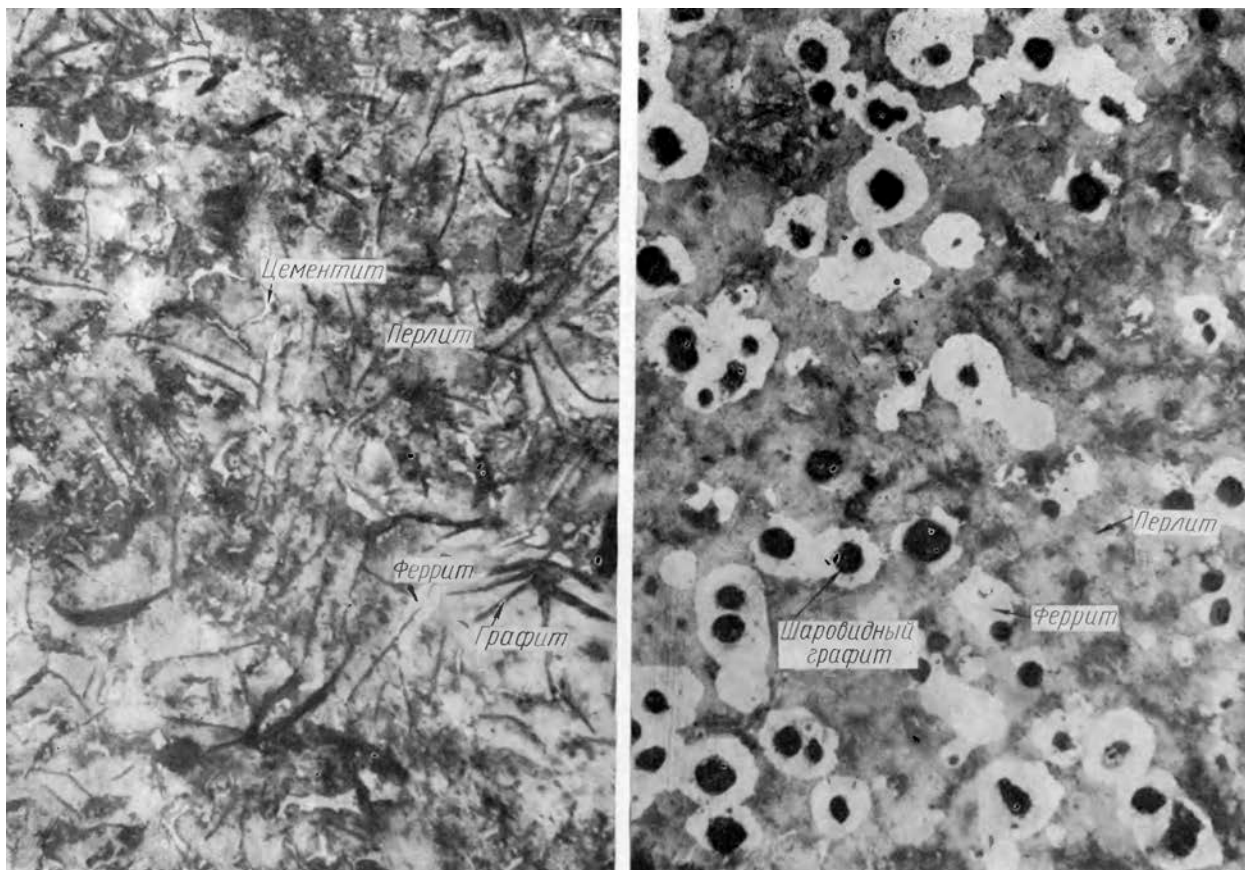


Рисунок 1. Микроструктура высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Следует отметить, что названные смещения критических точек и химического состава Fe-C в настоящее время успешно учитываются удобными для практического пользования специальными характеристиками: степенью эвтектичности и аналогичным по смыслу углеродным эквивалентом.

Белый чугун в отличие от серого имеет совершенно другую структуру, и свойства. Белый чугун не имеет в своей структуре графита. Он состоит из цементита и перлита, имеет светлый, блестящий излом, очень тверд и хрупок, практически не поддается механической обработке, хорошо противостоит истиранию. Структура белого чугуна образуется при незначительном содержании графитизирующих элементов.

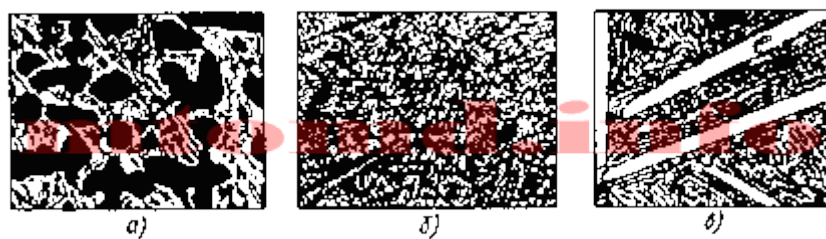


Рисунок 2. Микроструктура белых чугунов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

а) доэвтектический, б) эвтектический, в) заэвтектический

Образованию такой структуры способствует быстрое охлаждение отливок. Значительно шире, белый чугун используется, как материал для дальнейшей переработки на ковкий чугун.

Название «ковкий» является условным, как бы подчеркивающим, что КЧ гораздо более пластичен и вязок, чем обычный СЧ. Такой чугун получают отжигом из белого доэвтектического чугуна. Хорошие качества данного чугуна напрямую зависят от процесса кристаллизации и охлаждения. Если во время кристаллизации и охлаждения отливок в форме не происходит процесс графитизации, то свойства такого чугуна будут оптимальны. Для того, чтобы предотвратить возможную графитизацию, чугуны должны иметь низкое содержание кремния и углерода.

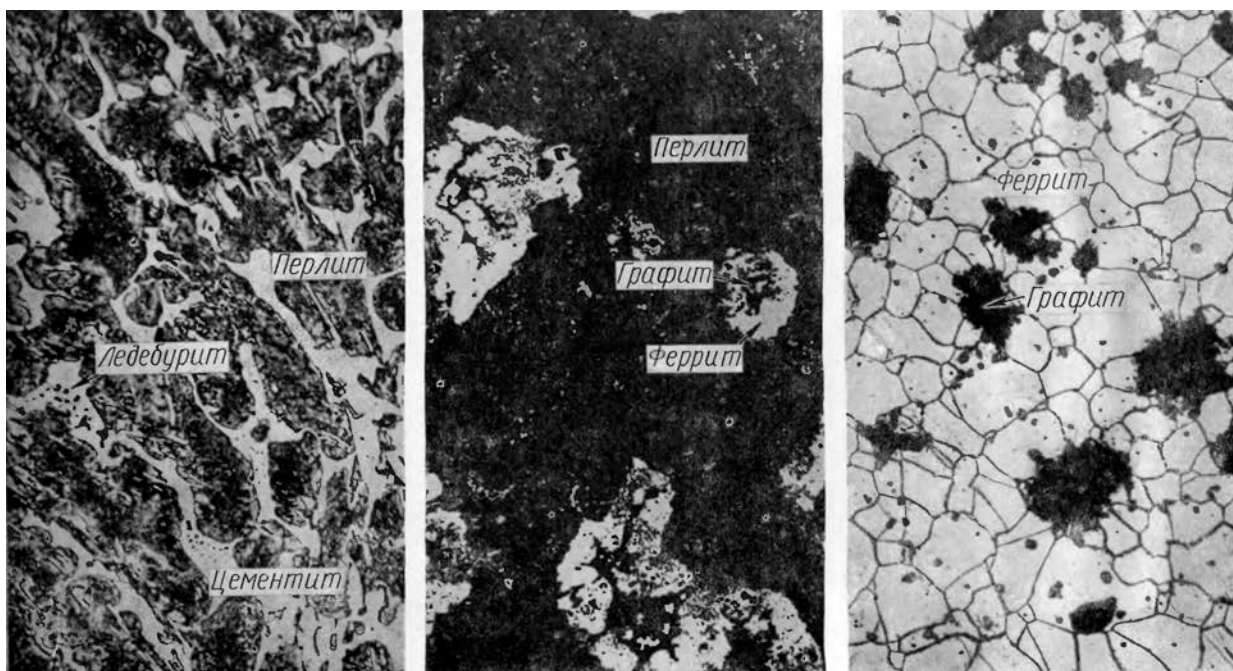


Рисунок 3. Микроструктура ковких чугунов.

Предел текучести ковкого чугуна составляет около 67% от временного сопротивления. Это является очень ценным качеством ковкого чугуна, как конструкционного материала и определяет его преимущества в машиностроении. Сопротивление разрыву у ковких чугунов прямо пропорционально удлинению, в отличие от всех остальных черных металлов. Необходимо отметить, что отливки из ковкого чугуна имеют почти одинаковую прочность и вязкость по

всем направлениям. Благодаря этому при конструировании, не столь важно учитывать направления приложения силы. Так же ковкий чугун обладает повышенным сопротивлением к коррозии. Перлитный ковкий чугун отлично работает на износ и во многих узлах успешно заменяет бронзовые втулки. Ковкий чугун достаточно широко используют в автомобилестроении и тракторостроении (задний мост, картер дифференциала, ступицы, кронштейны и т.д.

Физические и механические свойства.

Прочность структурных составляющих увеличивается по мере увеличения степени их дисперсности. Форма, количество, величина и распределение графитных включений оказывают на предел прочности большее влияние, чем структура основной металлической массы. Наиболее заметное снижение прочности наблюдается при расположении графитных включений в виде цепочки, прерывающей цельность металлической массы. Наибольшая прочность достигается при сфероидальной форме графита. Она достигается в чугунах без тепловой обработки при прибавлении в определенных количествах магния и церия. С повышением температуры предел прочности остается практически постоянным до 400°C. При нагреве свыше 400°C, наблюдается непрерывное падение предела прочности.

Технологические свойства.

Жидкотекучесть зависит от свойств металла и формы: она может быть определена разными методами. Чаще всего, жидкотекучесть, увеличивается при уменьшении вязкости, увеличении перегрева, уменьшении интервала затвердевания (наибольшая жидкотекучесть наблюдается при эвтектическом составе) и зависит от скрытой теплоты плавления и теплоемкости, отнесенных к единице объема.

Гидродинамические свойства.

Вязкость уменьшается при увеличении содержания марганца, а также при уменьшении содержания серы и неметаллических включениях в зависимости от температурных условий, вязкость уменьшается приблизительно пропорционально отношению температуры опыта к абсолютной температуре начала за-

										Лист
										19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	44.03.04. 169. ПЗ					

твердевания. При переходе температуры к началу затвердевания вязкость резко увеличивается. Поверхностное натяжение увеличивается с понижением содержания углерода и резко изменяется при наличии неметаллических включений.

Химические свойства.

Сопротивление коррозии зависит от структуры чугуна и от внешней среды (ее состав, температура, а также ее движения). По убывающему электродному потенциалу структурные составляющие чугуна могут быть расположены в такой последовательности: графит (наиболее стойкий) - цементит, фосфидная эвтектика - феррит. Разность потенциалов между ферритом и графитом составляет 0,56 в. Сопротивление коррозии уменьшается по мере увеличения степени дисперсности структурных составляющих. Однако чрезмерное уменьшение степени дисперсности графита также снижает сопротивление коррозии. Леггирующие элементы влияют на сопротивление чугуна коррозии в соответствии с их влиянием на структуру. Повышенное сопротивление коррозии наблюдается у чугуновых отливок с сохранившейся литейной коркой.

1.3 Технология получения чугунов

В историческом плане производство черных металлов развивалось по следующим этапам:

1. Сыродутный процесс (1500 лет до н. э.). Производительность данного процесса невероятно мала, получали за 1 час всего до 0,5- 0,6 кг железа. Железо восстанавливалось из руды углем, при продувке воздухом, с помощью кузнечных мехов. Изначально, при горении древесного угля, образовывалась окись углерода, которая восстанавливала чистое железо из руды. Результатом длительной продувки воздухом являлись кусочки чистого железа, почти без примесей, которые сваривались в полосу, кузнечным способом. В последствие чего использовались для производства необходимых изделий. Полученное железо очень хорошо ковалось и сваривалось, так как содержало минимальное количество углерода и примесей. Восстановление металла проходило в

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

твердой фазе, так как плавка шла при относительно невысокой температуре (от 1100 до 1300°С) и металл не плавился. В результате получалось ковкое (кричное) железо. Этот способ просуществовал до XIV века, а в несколько усовершенствованном виде до начала XX века, но был постепенно вытеснен кричным переделом.

2. С увеличением размеров сыродутных горнов и интенсификацией процесса возрастало содержание углерода в железе, температура плавления чугуна оказывалась ниже, чем у более чистого железа и получалась часть металла в виде расплавленного чугуна, который как отход производства вытекал из горна вместе со шлаком. В XIV век в Европе был разработан двухступенчатый способ получения железа (маленькая домна, далее кричного процесс). Производительность увеличилась до 40 - 50 кг/час железа. Использовалось водяное колесо для подачи воздуха. Кричный передел - это процесс рафинирования чугуна (снижение количества C, Si, Mn) с целью получения из чугуна кричного (сварочного) железа.

3. В конце XVIII века в Европе начали использовать минеральное топливо в доменном и в пудлинговом процессе. При пудлинговом процессе каменный уголь сгорает в топке, газ проходит через ванну, расплавляет и очищает металл. В Китае даже раньше, в X веке, выплавляли чугун, а далее получали сталь процессом пудлингования. Пудлингование - это очистка чугуна в пламенной печи. При очистке железные зерна собираются в комя. Пудлинговщик ломом много раз переворачивает массу и делит ее на 3-5 частей – криц. В кузнице или прокатной машине свариваются зерна и получают полосы и другие заготовки. Используются уже паровые машины вместо водяного колеса. Производительность возрастает до 140 кг сварочного железа в час.

4. В конце XIX века — практически одновременно внедряются три новых процесса получения стали: мартеновский, бессемеровский и томасовский. Производительность плавки стали возрастает резко (до 6 т/час).

5. В середине XX века: появляются кислородное дутье, автоматизация процесса и непрерывная разливка стали.

						44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			21

Технология производства чугуна состоит из следующих стадий:

Подготовка руды. Суть подготовки заключается в том что руду сортируют по кускам и химическому составу. Руду крупных размеров дробят на мелкие части, а фракции в виде мелких частей и пыли, наоборот, окусковывают. При процессе окускования происходит образование пористого продукта и спекание шихты. Совместно с процессом окускования происходит процедура обогащения бедных руд. В дальнейшем процессе переработки основная часть пустой породы удаляется, соответственно содержание железа увеличивается.

Подготовка топлива. Кокс подвергают грохочению. Грохочение – это процесс разделения частиц по крупности для получения фракций. Грохочение также называют ситовой классификацией или сортировкой. При грохочении кокс проводят через одно или несколько решет или сит.

Подготовка флюсов. Как только флюсы измельчаются, отсеивается вся мелочь, материалы загружаются в печь.

Доменный процесс производства. Доменную печь заправляют коксом, затем агломератом (руда, спеченная с флюсом) и снова коксом. Чтобы температура плавки оставалась неизменной, ее контролируют вдуванием подогретого воздуха. В горне кокс сгорает и образуется углекислый газ. Далее CO₂ проходит через кокс и образует CO. Основную часть руды восстанавливается окисью углерода. При восстановлении сплав становится твердым. Сплав растворяет внутри себя углерод, постепенно переходя в более горячую часть печи. В результате образуется чугун. Жидкий чугун вытекает в специальные ковши, откуда его выливают в предназначенные для него формы.

В современном производстве чугуна используют продукцию многих предприятий: добывающего, по производству кокса, огнеупорных материалов и многих других. Чугунное литье начинается с изготовления шихты. Шихта - специальная смесь, в состав которой входит агломерат, окатыши, кокс и флюсы. На одну тонну чугуна используется от восьмидесяти процентов агломерата, до двадцати – окатышей и полтонны кокса.

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	44.03.04. 169. ПЗ					

Шихта переплавляется в сложных инженерных сооружениях – доменных печах, которые работают почти непрерывно в течение десяти лет. Специальные машины, нагнетают воздух. Воздух, нагретый до температуры 1400-1500°С, подается через воздуховод в печь. Через дымовую трубу отводят дымовые газы. После горения топлива и восстановления железа обогащенная шихта называется чугуном. Он выпускается через чугунную и шлаковую летку, и направляется по желобам в ковши, вместе со шлаком.

Специальный кран обслуживает литейный двор доменной печи. Жидкий чугун транспортируется в помещение литейных машин, при этом взвешивается на весах. С помощью лебедки, из ковшей, чугунная масса выливается на машину, с которой полученные твердые чушки отправляются на склад. Жидкий шлак сливают в грануляционный бассейн, заполненный водой, для того чтобы произвести гранулирование. Таким образом, шлак превращается в мелкие гранулы.

Доменные печи выпускают литейный и специальный виды чугуна. Литейные чугуны используются для производства разнообразного литья, их отличие состоит в том, что они содержат высокое количество кремния – до 5%. Чугунное литье выполняется из чугунных заготовок – чушек весом по 5-10 килограмм.

С определенной последовательностью осуществляется загрузка шихты в печь. Каждый скип разгружается на малый конус через приемную воронку. Из малого конуса материал выгружается на большой конус, после полной разгрузки каждого скипа. Нагретый до определенной температуры оксид углерода, восстанавливает железо, двигаясь с высокой скоростью навстречу шихтовому потоку, попутно отдавая ему свое тепло.

Капли чугуна и шлака медленно стекают в горн (нижняя часть доменной печи). Шлак – это смесь из пустой породы, золы и кокса с известняком, после химических взаимодействий. Вес получаемого продукта в два раза меньше веса чугуна, поэтому он всплывает на поверхность чугуна в горне. Так же он фильтрует чугун, очищая его от серы. Через специальные отверстия, которые назы-

ваются летками, горн избавляется от жидкого материала. Летки расположены на разных уровнях, для того, чтобы отделить шлак от чугуна, благодаря разнице в удельном весе.

В процессе получения белого чугуна важно подавить процесс графитизации в течение всего времени кристаллизации жидкой массы. В данном случае имеет значение грамотный подбор исходных материалов и соблюдение технологии охлаждения чугуна в форме. Высокое содержание цементита в белых чугунах существенно осложняет их использование в качестве конструкционных материалов, так как они отличаются хрупкостью и крайне тяжело поддаются механической обработке. Несмотря на это отливкам белого чугуна свойственна коррозионная стойкость, устойчивость к высоким температурам и открытому огню, износостойкость. Для поддержания и подтверждения вышеуказанных качеств их состав должен быть однородным. Чем больше карбидов содержится в белом чугуне, тем большей твердостью он обладает. Если происходит коагуляция карбидов из-за несоблюдения технологии, тогда твердость чугуна значительно снижается. Лучшей твердостью обладает белый чугун мартенситной структуры. В белом чугуне весь углерод находится в виде химического соединения с железом, кроме углерода, растворенного в феррите (0,025% C). Белый чугун редко применяют в машиностроении, за исключением тех случаев, когда деталь работает на износ. Даже в таком случае деталь отливают таким образом, чтобы белый чугун получился исключительно у рабочей поверхности. В центре сечения обязательно должен быть серый чугун. Такие отливки называют отбеленными.

Усадка в жидком состоянии, в процессе затвердевания металла, определяет величину образующихся усадочных раковин. Для белого чугуна усадка больше, чем для стали и серого чугуна, а значит, более вероятна опасность образования усадочных раковин и рыхлостей.

Технология получения ковкого чугуна состоит в том, что детали отливают из белого чугуна, а затем подвергают термической обработке, в результате которой происходит разложение основной структурной составляющей белого

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

чугуна — цементита. В зависимости от химического состава изначального чугуна и правильном режиме термообработки, можно получить две основные разновидности ковкого чугуна: ферритной и перлитной структурами металлической основы. Отличительной чертой всех видов ковких чугунов является то, что графит в них имеет тесную, хлопьевидную форму, а это и определяет качества КЧ, как промежуточные между серым чугуном и сталью. Ферритный ковкий чугун обладает хорошей пластичностью и отлично выдерживает ударные нагрузки. Перлитный ковкий чугун имеет высокую прочность и износостойкость. Ударная вязкость ковкого чугуна примерно в два раза меньше, чем у стали, но в 4-6 раз больше, чем у серого чугуна. Получают два вида ковкого чугуна: черносердечный и белосердечный. Это зависит от состава чугуна и способа термической обработки. Черносердечный ковкий – чугун, полученный в результате графитизации отожденного белого чугуна в нейтральной газовой среде, при температуре 900-950 °С. Свое название он получил исходя из того, что излом такого чугуна этого имеет матовый темный цвет. Белосердечный ковкий чугун – чугун, который получают обезуглероживанием при отжиге в 900°С, белого чугуна в окислительной среде. Излом такого чугуна имеет белый (светлый) цвет. В нашей стране в основном производят отливки из черносердечного ковкого чугуна. Это связано с тем, что процесс получения белосердечного ковкого чугуна является неэкономичным, так как включает в себя: длительный отжиг, большой расход руды и повышенный расход топлива.

Получение высокопрочного чугуна состоит в том, что расплавленный серый чугун подвергается модифицированию ферросилицием, и магнием. В результате такого двойного модифицирования в структуре высокопрочного чугуна графит имеет форму шаровых комочков. Существенно то, что такая форма графита получается в высокопрочном чугуне непосредственно в процессе литья, тогда как для получения ее в структуре ковкого чугуна необходим длительный отжиг. Благодаря этому высокопрочный чугун значительно дешевле ковкого. Для получения высокопрочного чугуна с основой из тонкопластинчатого или сорбитообразного перлита чаще всего легируют чугун

						Лист
					44.03.04. 169. ПЗ	25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

хромом и никелем, которые, в свою очередь, способствуют образованию высокодисперсных эвтектоидов.

Для получения высокопрочного чугуна с преимущественно ферритовой структурой; необходимо снижение содержания марганца до 0,4 % и фосфора до 0,1 % в исходном чугуне. В последнее время разработали метод получения нового, высокопрочного чугуна с округлым графитом. Перед разливкой жидкий чугун подвергается модифицированию магнием. В результате такого модифицирования чугун по структуре графита и по механическим свойствам превосходит не только серый, но и ковкий чугун. В наше время из всех железоуглеродистых сплавов тенденцию к расширению объемов и применения сохраняет именно высокопрочный чугун, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме шаровидных включений. Эти чугуны даже после термической обработки, не уступают по прочности нелегированным сталям. При этом значения механических свойств таких чугунов (временное сопротивление при растяжении, износостойкость и др.) напрямую зависят от структуры металлической основы. Современные имеющиеся возможности улучшения качества высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (модифицирование, легирование, термообработка и др.) привели к росту объема производства и потребления отливок из данного материала в различных отраслях машиностроения.

1.4 Коррозионная стойкость чугуна

Коррозия – самопроизвольное химическое, электрохимическое или физическое разрушение металлов и сплавов, взаимодействующих с окружающей средой. Физическое разрушение не является коррозией, а объясняется такими понятиями, как «истирание», «износ», «эрозия».

Коррозионная стойкость чугуна играет немаловажную роль при выборе материалов для изготовления различных деталей, изделий и элементов конструкций. Коррозионное разрушение чугуна вызвано исключительно электро-

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

химическими процессами. Конечно, в процессе коррозионного разрушения имеет место часть только химического процесса, но она не играет важной роли. Следовательно, химической коррозии чугуна не придают особого значения, нежели электрохимической коррозии. В большинстве случаев так происходит при коррозии металлов обычного назначения. Коррозия является достаточно сложным и нелинейным процессом, имеющим массу нюансов. Поэтому, те люди, которые исследуют коррозионную стойкость чугуна, выделяют несколько типов вариантов коррозии. Так, например, коррозия может быть равномерной, местной, межкристаллитной и избирательной. Этот вопрос буквально связан с химическим составом конкретной марки чугуна и кристаллической структурой отливки достаточно сложными зависимостями, чересчур плохо поддающимися усреднению при классификации. Коррозионная стойкость чугуна напрямую зависит от его химического состава, структуры и чистоты. Например, содержание кремния в чугуне выше 11% положительно влияет на его коррозионную стойкость, а содержание менее 7% отрицательно. Содержание марганца до 0,75% увеличивает химическую стойкость чугуна, а выше соответственно - уменьшает. Против разрушения в щелочах стойкость чугуна повышает фосфор, а так же снижает количество СО в кислотах. Обычный серый чугун обладает высокой стойкостью в концентрированной серной кислоте, но при этом легко разрушается слабой серной и другими кислотами.

Коррозионная стойкость чугуна определяется преимущественно формой графита. Чугун с шаровидной формой графита, как и чугун с тонкодисперсными включениями пластинчатого графита, более устойчив к коррозии, нежели чугун с грубыми выделениями пластинчатого графита. Понижение дисперсности и числа структурных составляющих металлической основы чугуна благоприятно способствует повышению коррозионной стойкости. Так же повышение коррозионной стойкости чугуна может быть достигнуто легированием, модифицированием и сфероидизацией графитовых включений.

						44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			27

Таблица 1- Условия эксплуатации чугунов

Чугун	Условия эксплуатации								
	Промышленная атмосфера	Влажная камера с ежедневной добавкой 0,3% SO ₂	Прочная водопроводная при 25 °С	Морская вода *1	10%-ный раствор соды при 50 °С	3%-ный раствор при 10-19 °С	5%-ная кислота		
							серная	соляная	азотная
Белый	—	—	—	0,045	—	—	—	—	—
Серый	0,141	0,242	0,267	0,03-0,09	0,0185	0,084	30,7	26,7	25,8
Высокопрочный:									
Ферритный	0,181	0,285	0,216	0,025-0,105	0,01	0,077	—	—	—
ферритно-перлитный	0,181	0,235	0,257	—	—	0,083	—	—	—
Перлитный	0,141	0,220	0,285	0,05-0,07	0,012	0,084	—	—	—
Ковкий	—	—	—	0,045-0,08	—	—	—	—	—
Коррозионно-стойкий типа неризист 4Н15Д7	—	—	0,049	0,02	—	—	0,152	0,3	21,3
Кремнистый типа ЧС15, ЧС15МЧ	—	—	—	—	—	—	0,125	0,125	—

Роль состава и структуры чугуна также не очень велика при коррозии в природных, промышленных, лечебных и морских водах. Однако чугун марок ВЧ, особенно перлитный, обладает наиболее высокой коррозионной стойкостью в морской воде, чем чугун марок СЧ. Состав среды и плотность отливок оказывают самое существенное влияние на эти условия, как и при атмосферной коррозии. Растворы солей, гидраты которых придают воде кислотный характер, значительно ускоряют коррозию. Соли, дающие при гидролизе щелочные растворы, замедляют коррозионный процесс.

По сопротивлению коррозии, серые чугуны с пластинчатым и шаровидным графитом могут относиться к разным классам стойкости. Будучи в чистом и сухом духе такие чугуны являются очень стойкими благодаря образованию пассивирующей пленки. Коррозия возрастает при загрязнении атмосферы, особенно сернистыми газами. При этом состав и тип чугуна, в частности форма графита и характер матрицы, оказывают небольшое воздействие. Единственным здоровым элементом в этих обстоятельствах, является медь.

Зачастую изделия из чугуна, которые входят в состав различных конструкций, эксплуатируются под землёй, в грунте на разной глубине. Здесь возникает довольно специфический вид коррозии - это подземная коррозия чугуна. Глубина под землёй, никак не влияет на коррозионную стойкость чугуна, всё зависит от конкретных условий эксплуатации. Основные факторы, оказывающие существенное влияние, в условиях подземной коррозии: химический состав грунта, электрическое сопротивление почвы, характер контакта с грунтом. Самый ускоряющий фактор подземной коррозии чугуна - это наличие блуждающих токов. По мере увеличения электрического сопротивления почвы с обычных 100 - 200 до 20000 Ом на см, скорость коррозии чугуна уменьшается в три раза. Электрическое сопротивление почвы напрямую зависит от такого параметра, как влажность почвы. Влажность является определяющим фактором коррозионной стойкости чугуна в подземной среде. Чем больше влажность земли, тем быстрее активизируются все причины электрохимической коррозии чугуна. Исследования показывают, что наибольшее сопротивление коррозии в почве наблюдаются у чугунов марок СЧ и ВЧ, особенно заметна устойчивость в агрессивных средах.

Чтобы повысить сопротивление чугуна в агрессивных средах, легируют элементы, обладающие высоким потенциалом (Cu, Ni, Mo). Эти элементы либо более устойчивы, либо способны образовывать защитные пассивирующие пленки в той или иной среде, либо обладают обоими этими качествами.

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

1.5 Травление чугуна и подготовка шлифов

Травление — группа технологических приёмов для управляемого удаления поверхностного слоя материала под действием специально подбираемых химических реактивов. Ряд способов травления предусматривает активацию травящих реагентов посредством других физических явлений, например, наложением внешнего электрического поля при электрохимическом травлении, ионизацией атомов и молекул реагентов при ионно-плазменном травлении и т. д.

Травление черных металлов осуществляют в различных кислотах. Прежде всего, в серной и соляной, а в некоторых случаях — в их смеси. Скорость удаления окалина, ржавчины и оксидов с поверхности деталей зависит от их состава и структуры, а также от состава травильного раствора, его концентрации, температуры и способов травления.

Процесс травления включает в себя: подготовку поверхности (шлифовка, полировка и т.д.), взаимодействие травителя и электролита и очистку поверхности от травителя или продуктов травления.

Травление чугуна в течении небольшого количества времени после кратковременного нагрева до 280 °С, позволяет отличить цементит от фосфида. Цементит приобретает розовый цвет, а фосфид – светло-желтый.

При травлении чугуна по всей поверхности образца, выделяется графит в виде сложной пленки. Необходимо, чтобы выдержка была кратковременной. От качества подготовки шлифа зависит точность определения структурных составляющих. Шлифы изготавливают следующим образом: из исследуемого материала вырезают образец, шлифуют и полируют одну из его поверхностей, затем травят эту поверхность специальными реактивами, после чего смотрят структуру и выявляют дефекты. Такие шлифы называют - макрошлифами. Время травления зависит от природы металлического материала, концентрации реактива, по изменению отражательной способности и цвета поверхности шлифа. В результате неодинаковой травимости фаз, на поверхности металла обра-

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

зуется микрорельеф. При рассмотрении рельефной поверхности микрошлифа под микроскопом будет создаваться сочетание света и тени. Различные структурные составляющие, которые травятся по-разному, неодинаково отражают свет. Структура, травящаяся сильнее, кажется под микроскопом более темной, так как имеет неровности поверхности и больше рассеивает свет. Границы зерен после травления выглядят тонкими линиями из-за рассеивания отраженного света в углублениях границы между зернами. Часто зерна одного и того же металла травятся по-разному, что объясняется тем, что в плоскости зерна находятся зерна с разной кристаллографической ориентировкой, а, следовательно, их химическая активность (травимость) разная [7].

1.6 Микроструктура, макроскопический и микроскопический анализ

Макроструктура – это структура любого металла и сплава, видимая невооруженным глазом или при незначительном увеличении. Макроструктуру изучают с помощью макрошлифов, по излому или разрезу отливки. Таким образом, изучив макроструктуру можно определить величину зерна, его форму и строение волокна. А так же выделить видимые дефекты: усадочные раковины, трещины, пористость, неметаллические включения.

Макроанализ заключается в определении строения металла путем просмотра его излома или специально подготовленной поверхности невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях — до 30 раз. Это позволяет наблюдать одновременно большую поверхность и получить представление об общем строении металла и о наличии в нем определенных дефектов.

В отличие от микроскопического исследования, макроскопический анализ не определяет подробностей строения и является предварительным, а не окончательным видом исследования. Характеризуя многие особенности строения, макроанализ позволяет выбрать те участки, которые требуют дальнейшего микроскопического исследования. С помощью макроанализа можно определить:

										Лист
										31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	44.03.04. 169. ПЗ					

1. Нарушение сплошности металла: усадочную рыхлость, газовые пузыри и раковины, пустоты, образовавшиеся в литом металле, трещины, возникшие при горячей механической или термической обработке, дефекты сварки (в виде газовых пузырей, пустот);
2. Дендритное строение и зону транскристаллизации в литом металле;
3. Химическую неоднородность сплава (ликвацию);
4. Неоднородность строения сплава, вызванную обработкой давлением, а также линии скольжения (сдвигов) в наклепанном металле;
5. Неоднородность, созданную термической или химико-термической обработкой [5].

Микроструктура – строение металла или сплава, видимое при большом увеличении. Для изучения микроструктуры используют металлографические и электронные микроскопы. Увеличение таких микроскопов варьируется от 10 000 до 100 000 раз. С помощью микроанализа можно определять величину и форму самых мелких зерен, качество термической обработки и выявить мельчайшие дефекты металла или сплава. Микроструктура – это внутреннее строение металлов и сплавов, под этим понятием подразумевают количественное соотношение, форму, размеры и взаимные расположения частей материалов – фаз и структурных составляющих. Фазы – отдельные части металлов и сплавов, которые имеют один тип кристаллической решетки и одинаковый химический состав.

Микроскопический анализ включает в себя следующие этапы:

- подготовка шлифов;
- химическое травление шлифов для выявления микроструктуры;
- исследование микроструктуры металлов и сплавов с помощью оптических металлографических микроскопов.

В зависимости от металлической основы чугуны разделяют на перлитные, феррито-перлитные и ферритные.

Перлитные чугуны. Структура таких чугунов состоит из перлита и включений графита. Перлит содержит 0,8% углерода, следовательно это количество

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

углерода находится в связанном состоянии, а весь остальной углерод находится в свободном виде, в форме графита.

Феррито-перлитные чугуны. В этих чугунах количество связанного углерода меньше 0,8%. Их структура состоит из феррита, перлита и включений графита.

Ферритные чугуны. В этих чугунах металлической основой является феррит, а практически весь углерод находится в сплаве в форме графита.\

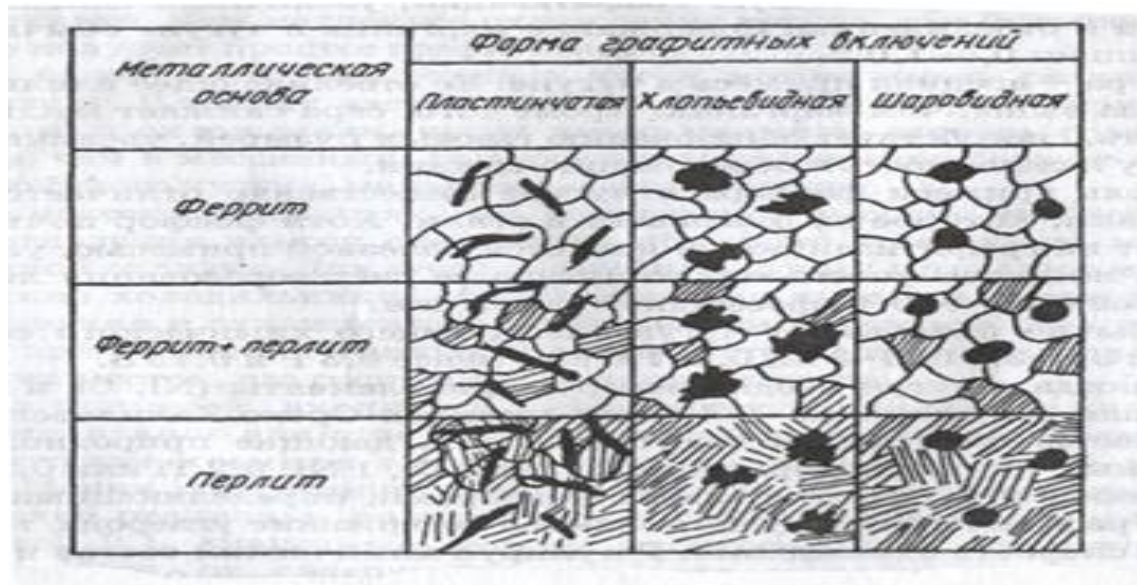


Рисунок 4. Форма графитных включений

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Основные сведения об эксперименте

Изучение взаимодействия чугуна с алюминием было выполнено методом погружения и изотермической выдержки. Методами оптической и электронной микроскопии была исследована микроструктура реакционной зоны. Парциальная энтальпия растворения чугуна в жидком алюминии была исследована методом высокотемпературной калориметрии при 800°C. Рентгенофазовый анализ и измерение микротвердости использовались для изучения фазового состава реакционной зоны.

Эксперименты проводились в муфельных печах. Муфельная печь – это нагревательное устройство, предназначенное для нагрева разнообразных материалов до определенной температуры. Основной особенностью таких печей является наличие муфеля. Муфель защищает обрабатываемый материал и является главным рабочим пространством муфельной печи. Так же, муфель предохраняет материал или изделие от контакта с топливом и продуктами его сгорания, в том числе газами. Муфельные печи со сменными муфелями и стационарной нагревательной камерой работают по следующему принципу. В постоянно разогретую печь загружается муфель с порцией нагреваемого материала. После нагрева до нужной температуры и выдержки, муфель извлекается из печи для охлаждения и на его место устанавливается другой.

Взаимодействие чугунных образцов с жидким алюминием имеет характерные отличительные параметры. Если у стали взаимодействующей с алюминием на всей поверхности контакта образуются реакционные слои и происходит интенсивное растворение, то у чугуна заметное взаимодействие наблюдается только при времени выдержки 4 ч и более. При этом взаимодействие развивается в отдельных очагах, а не по всей поверхности контакта. Вокруг этих очагов формируются твердые реакционные слои, которые направлены как вовнутрь образца чугуна, так и наружу. И даже с увеличением времени выдержки, интенсивного растворения чугуна в алюминии не происходит.

										Лист
										34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	44.03.04. 169. ПЗ					

Образцы для приготовления шлифов вырезались механическим способом, в таких местах заготовки, которые характеризовали строение всего объема металла. Каждая сторона образца, предназначенная для приготовления шлифа, заторцовывалась на заточных станках, для создания ровной поверхности. Плоскость образца шлифовалась вручную. Шлифование начинали на грубых абразивных бумагах, до полного удаления неровностей. Далее переходили к все более мелкозернистым абразивным бумагам для уменьшения шероховатости. Заканчивали шлифование на микронной бумаге. Полирование шлифов производили на полировальной установке – станке с вращающимся металлическим диском, обтянутым тонким сукном. Полирование происходило до тех пор, пока поверхность шлифа не приобретала зеркальный блеск, при внешнем осмотре не вооруженным глазом.

Для проведения опытов использовались следующие материалы: чугун марки СЧ-20 ГОСТ 1412-85, чугун марки ЧХ-28 ГОСТ 7769-82, чугун марки ВЧ-50 ГОСТ 7293-85, чистый алюминий марки ЧДА (99,90мас.%) Образцы из чугуна имели различную (зафиксированную перед началом экспериментов) форму и вес. Взаимодействие твердого чугуна с жидким алюминием было изучено методом погружения изучаемого материала (чугуна) при изотермических условиях. В ходе каждого эксперимента были использованы 5 образцов с соответствующим временем выдержки: 24 часа, 48 часов, 72 часа, 96 часов и 120 часов. Температура выдержки составляла - 800°С.

Микроструктура чугунов изучалась с помощью макроскопического и микроскопического анализа. Все образцы травились в реактиве Грессбека (4г перманганата калия, 4г гидроксида натрия, 100мл воды) - $H_2SO_4(0,1M)$.

2.2.Описание микроструктуры исследуемых чугунов.

Серый чугун СЧ20

Структура серого чугуна состоит из феррита и графита. Графит проявляется в виде включений (темные пятна). На величину и расположение включе-

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ний графита влияют скорость охлаждения, температура, время выдержки, химический состав чугуна, добавка модификаторов. Чем медленнее скорость охлаждения отливки, тем крупнее образуются включения графита.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0.006% при комнатной температуре, максимальную – 0.02% при температуре 727°C. Углерод располагается в дефектах решетки. При температуре свыше 1392°C, существует высокотемпературный феррит с предельной растворимостью углерода 0.1% при температуре 1499 °C. Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – 130 НВ, предел прочности 300 МПа) и пластичен, магнитен до 768°C. В структуре серых чугунов имеется фосфидная эвтектика, сернистые включения, шлаки, песчинки, поры и др. Фосфор в количестве 0,3% растворяется в феррите. При большей концентрации он образует с железом и углеродом тройную "фосфидную" эвтектику с низкой температурой плавления (950°C), что увеличивает жидкотекучесть чугуна и обеспечивает высокую твердость и хрупкость после кристаллизации. Повышенное содержание фосфора допускается в отливках с высокой износостойкостью.

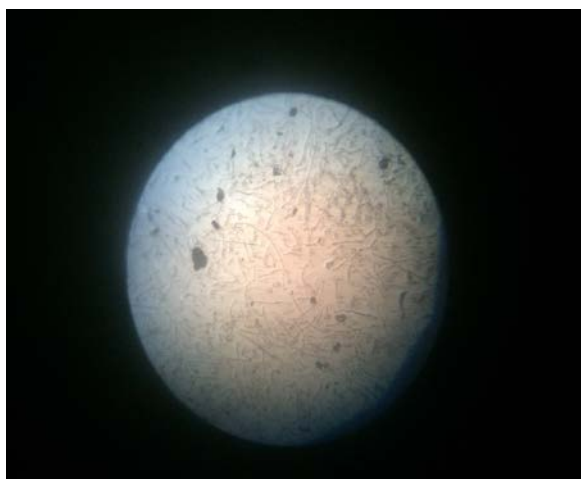


Рисунок 5. Микроструктура образца серого чугуна №1.

Из рисунка 5 мы видим, что у образца серого чугуна № 1 (выдержка 24 часа) две структурные составляющие - графит и феррит. Светлое поле микрошлифа – феррит, темные крупные прожилки (пластинки) – графит. Это означа-

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

ет, что графитизация в твердом состоянии полностью прошла. Такой сплав называется серым чугуном на ферритной основе. Сам образец заметно деформировался из первоначального состояния.

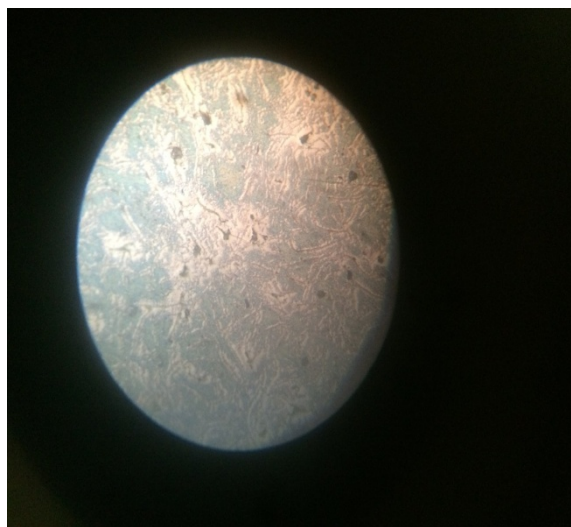


Рисунок 6. Микроструктура образца серого чугуна №2.

На рисунке 6 показана микроструктура серого чугуна после 48 часов выдержки. Образец так же имеет две структурные составляющие – графит и феррит, хотя включения графита изменились.



Рисунок 7. Микроструктура образца серого чугуна №3

На рисунке 7 показана микроструктура чугуна, после 72 часов выдержки. Включения графита несколько уменьшились. Образец деформировался еще сильнее по сравнению с предыдущим.

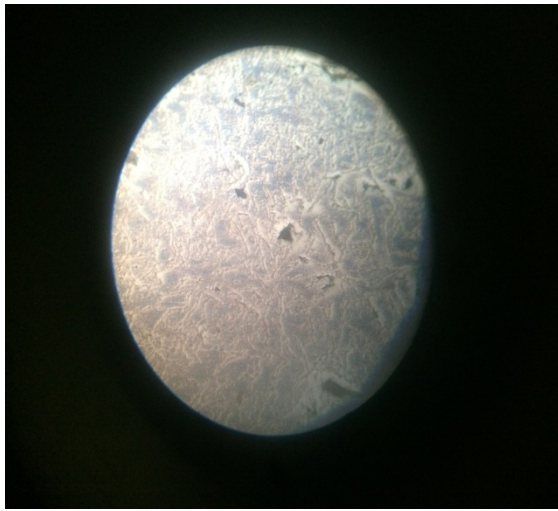


Рисунок 8. Микроструктура образца серого чугуна №4

На рисунке 8, мы наблюдаем микроструктуру серого чугуна, после 96 часов выдержки в расплаве жидкого алюминия. По сравнению с предыдущим образцом микроструктура изменилась незначительно. Часть образца была поглощена расплавом алюминия.



Рисунок 9. Микроструктура образца серого чугуна №5

На рисунке 9 показано, что количество включений графита минимально. Выдержка составляла 120 часов. Следовательно, механические свойства серого чугуна с течением времени только повышаются. Сам образец деформировался не больше чем предыдущие, значит, что по истечении 120 часов, дальнейшего разрушения образца серого чугуна не происходит.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

44.03.04. 169. ПЗ

Лист

38

Высокопрочный чугун ВЧ50

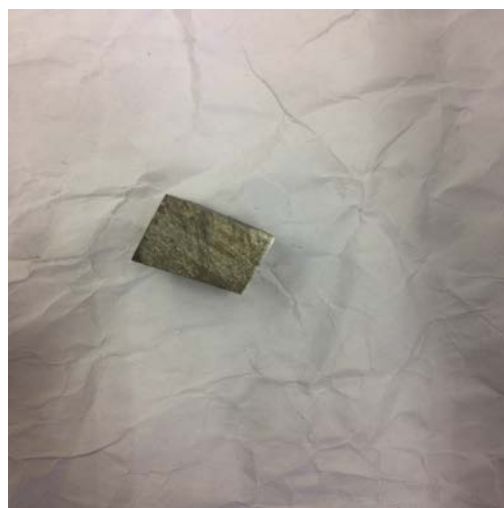


Рисунок 10. Микроструктура образца высокопрочного чугуна №1

На рисунке 10 представлен образец, который выдерживался 24 часа в расплаве жидкого алюминия, при температуре 800 °С. В микроструктуре этого чугуна отчетливо видны включения шаровидного графита. Шаровидная форма включений графита является наиболее компактной, она имеет наименьшее отношение поверхности включений к их объему, в результате чего рабочее сечение отливки ослабляется в меньшей степени, а концентрация напряжений на включениях графита практически отсутствует. При такой форме включений графита резко возрастают не только прочностные, но и пластические свойства чугуна. Поэтому чугун с шаровидным графитом, как конструкционный материал ценен не столько прочностью, сколько пластичностью и вязкостью.



Рисунок 11. Микроструктура образца высокопрочного чугуна №2

На рисунке 11 мы наблюдаем образец, который выдерживался 48 часов. Включения графита значительно уменьшились. Микроструктура заметно изменилась. Началось разрушение образца.



Рисунок 12. Микроструктура образца высокопрочного чугуна №3

Образец высокопрочного чугуна, представленный на рисунке 12, выдерживался 72 часа. Микроструктура значительно отличается от микроструктуры предыдущего образца. Включений графита становится все меньше с течением времени. Сам образец полностью потерял свою форму и начал плавиться в расплаве алюминия.



Рисунок 13. Микроструктура образца высокопрочного чугуна №4

Образец высокопрочного чугуна, представленный на рисунке 13, выдерживался 96 часов. Микроструктура данного образца не сильно отличается от микроструктуры предыдущего. В результате термической выдержки чугуновый образец начал сплавляться с расплавом алюминия.



Рисунок 14. Микроструктура образца высокопрочного чугуна №5

Последний образец высокопрочного чугуна, который выдерживался 120 часов, практически весь расплавился в жидком алюминии. Глядя на микроструктуру видно, что включения графита минимальны. Сам образец сплавился до критического состояния, полностью потерял свою форму и массу. Это говорит о нестабильности и низкой стойкости данного металла.

Чугун хромистый

В структуре отливок из хромистого чугуна мы наблюдаем крупнозернистые выделения карбидной фазы. После модифицирования карбидная фаза приняла мелкокристаллическую структуру. В хромистом чугуне весь имеющийся углерод находится в химически связанном состоянии, в виде карбида железа (F3C - цементит). Чугун марки ЧХ 28 является доэвтектическим, т.к. содержание углерода в нем 0,5 - 1,6% С. Во всех белых чугунах имеется цементитная эвтектика (ледебурит). Хром — обычный легирующий компонент белых износостойких чугунов. Сопоставление кинетических диаграмм кристаллизации хромистых чугунов, состав которых близкий к эвтектическому, показывает, что увеличение содержания хрома не оказывает заметного влияния на относительное положение линии появления аустенита. С ростом содержания хрома выделение графита затрудняется.

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	44.03.04. 169. ПЗ					



Рисунок 15. Микроструктура образца хромистого чугуна №1.

На рисунке 15 представлен образец хромистого чугуна и его микроструктура, после 24 часов выдержки. В микроструктуре показанной на рисунке 12 три структурные составляющие: перлит (крупные темные зерна), вторичный цементит (белая составляющая), ледебурит перлитный – ячеистая составляющая (перлит + цементит), в которой на белом цементитном поле располагаются мелкие темные включения перлита.



Рисунок 16. Микроструктура образца хромистого чугуна №2.

На рисунке 16, отчетливо видны включения перлита. Представленный образец выдерживался 48 часов. По сравнению с предыдущим образцом объемные доли перлита и ледебурита значительно увеличились.



Рисунок 17. Микроструктура образца хромистого чугуна №3.

На рисунке 17 представлен образец, который выдерживался 72 часа. Микроструктура состоит из перлита и вторичного цементита.



Рисунок 18. Микроструктура образца хромистого чугуна №4.

На рисунке 18 представлен образец хромистого чугуна, который выдерживался 96 часов. По сравнению с предыдущим образцом включения перлита в микроструктуре увеличились.

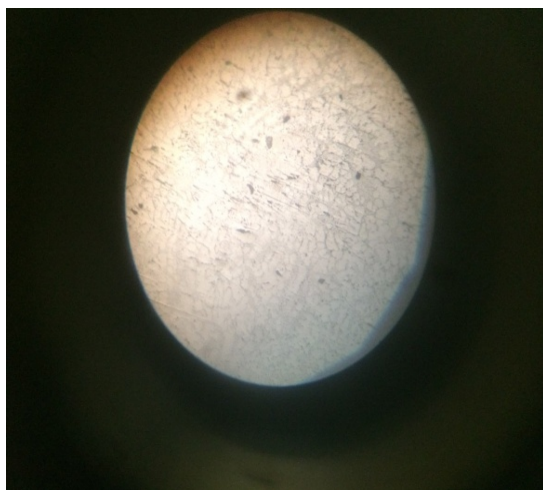


Рисунок 19. Микроструктура образца хромистого чугуна №5.

Образец, представленный на рисунке 19, выдерживался 120 часов. Образец деформировался незначительно. Микроструктура этого образца

В белых чугунах с низким содержанием углерода (близким к 2,14%) вторичный цементит выявляется достаточно отчетливо, так как в таких чугунах мало ледебурита. С увеличением содержания углерода, когда ледебурита становится относительно много, вторичный цементит в структуре сливается с цементитом ледебурита (эвтектическим). Можно считать, что структура таких доэвтектических белых чугунов состоит из ледебурита (цементитной эвтектики) и перлита.

Цементит – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6.67 % углерода. Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решетка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу. Температура плавления цементита точно не установлена (1250, 1550⁰С). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217⁰С. Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки. Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов: азотом, кислородом; атомы железа – металлами: марганцем,

хромом, вольфрамом и др. Такой твердый раствор на базе решетки цементита называется легированным цементитом.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение при структурообразовании чугунов.

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ ПО ТЕМЕ «ТЕХНИКА МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА»

Цель работы: Овладеть методами микроскопического анализа. Освоить приемы приготовления шлифов. Приобрести знания основных свойств материалов, использующихся в профессиональной деятельности.

1. Материально-техническое оснащение:

Металлографический микроскоп, набор шлифовальных шкур, шлифовально-полировальный станок, шлифовальная паста, травитель, образец технического железа.

2. Теоретическая часть

Под микроструктурным анализом понимают изучение строения металлов и сплавов с помощью металлографического микроскопа при увеличении в 50-1500 раз.

Микроанализ позволяет определить расположение фаз составляющих сплав, выявить структуру, характерную для различных видов термической обработки и обнаружить микропороки металла.

Микроскопический анализ включает приготовление микрошлифов и исследование их с помощью металлографического микроскопа.

Металлографический микроскоп (рисунок) позволяет рассмотреть непрозрачные предметы в отраженном свете. Увеличение рассматриваемого объекта достигается двумя системами линз: объективом, обращенным к объекту, и окуляром, обращенным к глазу. Необходимое увеличение достигается путем выбора определенного сочетания объектива и окуляра.

Исследуемый шлиф устанавливается на предметный столик. С помощью макрометрического и микрометрического винтов предметный столик микроскопа поднимается и опускается, при этом добиваются максимальной резкости наводки. Предметный столик можно перемещать в горизонтальном направлении. Наблюдение объектов ведется через окуляр.

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Изучение в микроскопе металлов, как и всех непрозрачных тел, возможно лишь при отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена для микроанализа. Такая поверхность называется микрошлифом. Для изготовления шлифа необходимо надлежащим образом вырезать образец из исследуемого металла и получить на нем плоскую поверхность.

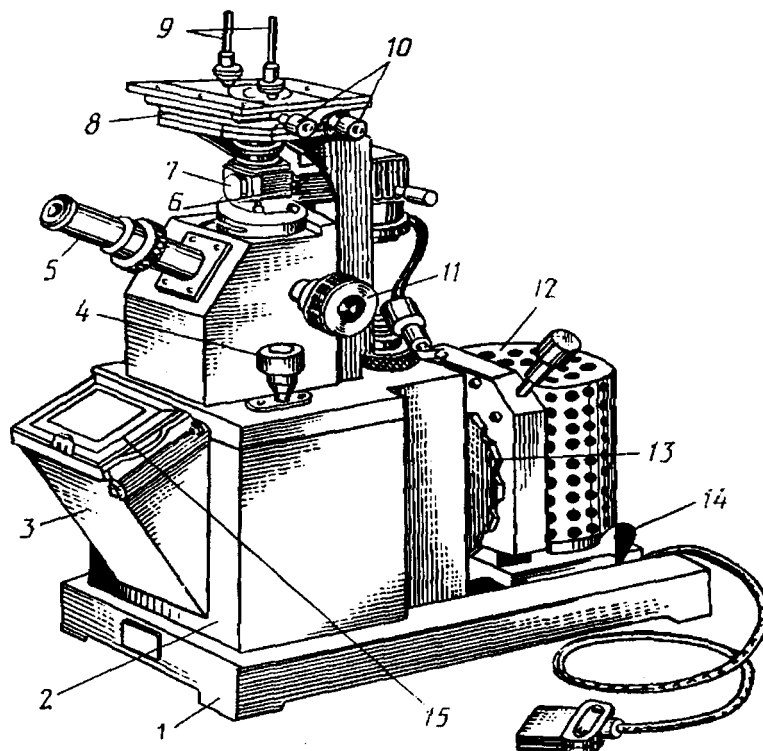


Рисунок 20. Металлографический микроскоп.

1 – основание; 2 – корпус; 3 – фотокамера; 4 – микрометрический винт; 5 – визуальный тубус с окуляром; 6 – рукоятка иллюминатора; 7 – иллюминатор; 8 – предметный столик; 9 – клеммы; 10 – винты перемещения столика; 11 – макрометрический винт; 12 – осветитель; 13 – рукоятка светофильтров; 14 – стопорное устройство осветителя; 15 – рамка с матовым стеклом

Шлифование вручную производят следующим образом. Полоску из самой крупнозернистой бумаги накладывают на тонкое стекло. Шлиф водят по бумаге в одном направлении до исчезновения рисок от напильника или наждачного круга. Затем берут более мелкозернистую бумагу и водят по ней шлифом в направлении, перпендикулярном рискам от первой бумаги, до тех пор,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

44.03.04. 169. ПЗ

Лист
47

пока эти риски не исчезнут. Так постепенно доходят до самой мелкозернистой бумаги. Шлиф не должен иметь завалов по краям.

Механическое полирование производят на специальном полировальном станке. Образец отшлифованной поверхностью слегка прижимают к вращающемуся кругу, на которое натянуто сукно или фетр. Сукно смачивают полировальной жидкостью – взвесью тонкого абразива в воде. В процессе полирования образец поворачивают. Полируют до полного исчезновения рисок и получения зеркальной поверхности.

После полировки шлиф промывают в воде и сушат полированную поверхность шлифовальной бумагой. Фильтровальную бумагу следует прикладывать к зеркалу шлифа, а не водить по нему.

Для выявления микроструктуры шлиф подвергается травлению – кратковременному действию реактива. Травитель и время травления подбирают опытным путем. Обычно травителями для микрошлифов служат слабые растворы кислот, щелочей и солей в воде или спирте.

Травление производят погружением шлифа в емкость с травителем или наносят травитель на полированную поверхность шлифа с помощью ватного тампона, намотанного на стеклянную или фарфоровую палочку. Признаком травления обычно служит слабое потускнение зеркального шлифа, а сильное потемнение свидетельствует о перетравливании.

После травления шлиф промывают водой или спиртом, сушат фильтровальной бумагой и ставят на столик микроскопа.

Вследствие неодинаковой травимости различных структурных составляющих и повышенной растворимости границ зерен, создается рельеф поверхности микрошлифа. Световой поток, направленный через объектив микроскопа, по разному отражается от различных участков поверхности, что и создает изображение структуры.

3. Порядок выполнения работы

1. Разобраться в устройстве металлографического микроскопа.
2. Приготовить микрошлиф из технического железа.

									Лист
									48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

44.03.04. 169. ПЗ

3. Протравить микрошлиф технического железа. Травитель – 5% HNO₃ в спирте.
4. Изучить структуру микрошлифа с помощью оптического микроскопа.
5. Сфотографировать микроструктуру.

4. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткое описание методики приготовления микрошлифа.
4. Фотография микроструктуры образца технического железа.
5. Написать вывод.

5. Контрольные вопросы

1. Что понимают под микроструктурным анализом?
2. Что позволяет определить микроанализ?
3. В чем заключается методика приготовления микрошлифа?
4. С какой целью шлифы травят реактивами?
5. Каким образом достигается требуемое увеличение в металлографическом микроскопе?

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей дипломной работе были изучены основные аспекты исследования стойкости серого СЧ20, высокопрочного ВЧ50 и хромистого ЧХ28 чугунов в среде жидкого алюминия и проведен ряд экспериментов.

При выполнении дипломной работы были проведены исследования химического состава, физических и химических свойств и структурно-фазового состояния изучаемых чугунов, которые широко применяются в машиностроительном производстве. С помощью микроскопического анализа, была изучена структура поверхности чугунов и дано представление об общем строении металла и наличии в нем определенных дефектов. Сделаны соответствующие выводы по поводу стойкости чугунов заданной номенклатуры в расплаве жидкого алюминия.

Цель дипломной работы заключалась в том, чтобы определить какой из чугунов заданной номенклатуры имеет наибольшую стойкость в расплаве жидкого алюминия.

Микроструктура образцов серых чугунов СЧ20, оставалась практически идентичной до и после проведения экспериментов, за исключением, небольшого изменения графитных включений. С течением времени пластинчатые включения графита формировались в шаровидные, что указывало на уменьшение отрицательного влияния этих включений. Графитные включения уменьшались, а значит, повышались механические свойства чугунных образцов. Округлые включения шаровидного графита не создают резкой концентрации напряжений, такие включения не являются трещинами, а чугун с шаровидным графитом имеет значительно более высокую прочность при растяжении в изгибе, чем чугун с пластинчатым графитом. Образцы серого чугуна СЧ20 меньше всего подверглись разрушению, что говорит о высокой стойкости такого чугуна в агрессивных средах, в том числе в расплаве жидкого алюминия.

В микроструктуре образцов высокопрочных чугунов ВЧ50 включения графита уменьшались с течением времени. С каждым образцом количество пустот уменьшалось, как известно, чем меньший объем занимают пустоты, тем

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

выше свойства чугуна. Однако образцы высокопрочного чугуна с течением времени разрушались в расплаве алюминия, что говорит о низкой стойкости и нестабильности исследуемых образцов высокопрочного чугуна.

Микроструктура хромистых чугунов состоит из перлита вторичного цементита и ледебурита. В доэвтектических белых чугунах находятся три структурные составляющие: перлит (крупные темные зерна), вторичный цементит (белая составляющая), ледебурит перлитный – ячеистая составляющая, в которой на белом цементитном поле располагаются мелкие темные включения перлита. Вторичный цементит выделяется из аустенита, содержащего при 1147°C-2,14% углерода, а при 727°C -0,8% углерода. В белых чугунах с низким содержанием углерода (близким к 2,14%) вторичный цементит выявляется достаточно отчетливо, так как в таких чугунах мало ледебурита. Образцы хромистого чугуна ЧХ28 также как образцы серого чугуна СЧ20 не сильно подверглись разрушению по сравнению с высокопрочным чугуном ВЧ50.

После проведения экспериментов выявлено, что образцы серого и хромистого чугунов в расплаве жидкого алюминия оказались значительно устойчивее, чем образцы высокопрочного чугуна.

Установлено, что в результате изменения структурных составляющих исследуемых чугунов уменьшается предел прочности, увеличивается износостойкость, при этом твердость пластичность и плотность остаются без изменений.

Подводя итоги, можно уверенно говорить о том, что серый чугун СЧ20 и хромистый чугун ЧХ28, больше подходят для работы в расплаве жидкого алюминия, нежели высокопрочный чугун ВЧ50

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Производство отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом // А.И. Беляков [и др.]; под ред. А.И. Белякова. М.: Машиностроение, 2010. 435 с.
2. Мургаш М.И, Чаус А.С., Покусова М. К. Выбор химического состава высокопрочного чугуна // Литейное производство. М.: Машиностроение. 1999. №3. С. 14-17.
3. Рубинштейн Э.Г., Зайцев М.В. Оптимизация состава шихты и свойств высокопрочного чугуна // Литейное производство. М.: Машиностроение. 1989. №10. С. 14-15.
4. Панченко, Е.В. Лаборатория металлографии: учеб. пособие / Е.В. Панченко [и др.]; под ред. Б.Г. Лившица. 2-е изд. – М.: Металлургия, 1965. – 440 с.

					44.03.04. 169. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52