

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Кафедра Технических дисциплин
Направление подготовки 22.03.02 «Металлургия»
направленность (профиль) «Металлургия черных металлов»

Допускается к защите
Зав. кафедрой
_____/Д.С. Балабанов/
«_____» _____ 2019г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему: «Изучение структуры чугуна мелющих тел, изготовленных
в условиях Пашийского металлургического-цементного завода».

Студент _____ / Сыропятова С.П. /

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на _____ стр.
2. Графическая часть на _____ листах.

Руководитель _____ / Щербаков А.Ю. /

Лысьва, 2019г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОАО «Пашийский металлургическо-цементный завод».....	4
2 ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ.....	7
2.1 Расчет шихты для последующего изготовления цельпечсов.....	7
2.2 Вагранка. Загрузка вагранки.....	7
2.3 Контроль загрузки в вагранки.....	9
2.4 Меры безопасности при загрузке вагранки.....	9
2.5 Краткая технология литья в кокиль.....	11
2.6 Правила техники безопасности при разливе расплава в кокиль	12
3 ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В УСЛОВИЯХ ОАО «Пашийский металлургическо - цементный завод»	15
3.1 Химический состав цельпечсов.....	15
3.2 Акт испытаний партий цельпечсов, отлитых в условиях ОАО «ПМЦЗ».....	15
3.3 Структура чугуновых мелющих тел.....	16
3.4 Описание структуры чугунов.....	18
4 МИКРОШЛИФЫ. ИЗУЧЕНИЕ И ОПИСАНИЕ МИКРОСТРУКТУР....	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	58

					ВКР. 2019 - ПЗС	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		1

ВВЕДЕНИЕ

Одной из областей эффективного применения чугунов является изготовление мелющих тел. Процесс дробления сырья и материалов широко применяется в самых различных отраслях промышленности, в том числе, горнорудной, цементной, энергетической и др. Ежегодно в мире с их помощью размалывают около двух миллиардов тонн минерального сырья.

Одной из основных статей затрат в себестоимости сырья являются затраты на мелющие тела. В настоящее время происходит замена дорогих стальных мелющих тел на более дешевые и эффективные - чугунные. В некоторых случаях (руды черных и цветных металлов, цемент, уголь) по эффективности чугунные мелющие тела превосходят стальные. Мелющие тела выпускают в России, а так же во многих странах мира и СНГ на металлургических, машиностроительных и специализированных предприятиях.

Мелющие или помольные тела - это изделия, применяемые в шаровых мельницах для помола материалов. Мелющее тело может разрушать размалываемый материал ударом, истиранием или совместным воздействием. Все мелющие тела подвергается постоянной абразивной и ударной нагрузке, как со стороны размалываемого материала, так и со стороны бронефутеровки мельницы и шаров между собой.

Основными потребителями мелющих шаров, являются горнометаллургическая, цементная и энергетическая отрасли.

Преимущества чугунных мелющих тел заключаются в другом. Стальные мелющие тела получают ковкой и прокаткой. Пластическая деформация высокоуглеродистой стали требует строгого соблюдения температурно-деформационного режимаковки. Термическая обработка, без которой не удастся реализовать высокий уровень свойств стали, удорожает стоимость мелющих тел.

Чугунные мелющие тела получают литьем в металлические кокили для обеспечения высокой скорости охлаждения. При отливке сразу получают

					ВКР. 2019 - ВВ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

готовое мелющее тело, ковка или механическая обработка не требуется. Для повышения скорости охлаждения, кокили покрывают только противопригарной краской.

На эксплуатационную стойкость влияет также форма мелющего тела. В настоящее время для чугунных тел предпочтение отдают эллиптическим и параболическим формам.

Цель работы выпускной квалификационной работы - изучение типичных микроструктур чугунов мелющих тел в условиях Пашийского металлургическо - цементного завода. В ходе выполнения работы приобретаются практические навыки определения форм структурных составляющих металлической основы чугунов и графитных включений.

Для достижения поставленной цели необходимо изучить представленные образцы, рассмотреть и описать их микроструктуру.

Изучение структуры микрошлифов проводилось с помощью электронного микроскопа, находящегося в научной лаборатории ЛФ ПНИПУ.

					ВКР. 2019 - ВВ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		3

1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАШИЙСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКО - ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА И ЕГО СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

ОАО "Пашийский металлургическо-цементный завод" основан в 1785 году, входил в состав уральских имений князей Голицыных. Пашийский завод первым на Урале и в стране освоил производство глиноземистого цемента. С 1936 года организуется плавка железистых бокситов с целью получения природно-легированных титанистых и титано-медистых чугунов, глиноземистых шлаков, предназначенных для размолла на высокопрочные быстротвердеющие глиноземистые цементы специального назначения. В 1941 году вводится в действие цех по помолу шлаков и получению различных видов и марок глиноземистых цементов. В годы Великой Отечественной войны глиноземистый цемент, выпускаемый на Пашийском заводе, был признан наилучшим специальным цементом для быстрого возведения укрепительных сооружений. В 1942 году на заводе организуется литейный цех по производству мелющих тел для цементных мельниц, продукцию которого потребляют многие цементные заводы. По улучшению качества глиноземистого цемента, областей его применения, улучшения технологии производства на Пашийском заводе работали видные ученые - доктор технических наук И.В.Кравченко, инженеры М. Ф. Чебуков и Г. С. Вальберг ("ГИПРОцемент", г. Ленинград), д. т. н. профессор Т. В. Кузнецова (г. Москва). В настоящее время вопросы качества, области применения глиноземистого цемента находятся под постоянным контролем специалистов завода и курирующих завод научных работников института РХТУ им. Д. И. Менделеева, НИИцемента, ГИПРОцемента.

Уже 80 лет ОАО «ПМЦЗ» производит глиноземистый цемент и более 60 лет занимается производством чугунных мелющих цилиндров. Благодаря своей компетенции, удачному географическому расположению, 225-летнему опыту и постоянному развитию в настоящее время Пашийский завод

					ВКР. 2019 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		4

является лидером в этом направлении деятельности на постсоветском пространстве.

Предприятие производит 2 вида специальных цементов и 4 разновидности мелющих тел 3 типоразмеров для крупнейших горнодобывающих компаний, цементных холдингов, энергетических объектов, крупных металлургических компаний, нефтеперерабатывающих заводов.

Шагая в ногу со временем, данное предприятие сотрудничает с научно-исследовательскими институтами и постоянно совершенствует состав и свойства сырья, технологию производства.

Продукция ОАО «ПМЦЗ» широко представлена на рынках ближнего зарубежья:

Республика Казахстан, Республика Белоруссия, Республика Узбекистан, Эстония, Республика Молдова, Республика Литва, Республика Армения, Кыргызская Республика, Республика Украина, Республика Азербайджан, Туркмения.

В России продукция Пашийского металлургическо - цементного пользуется стабильным спросом на следующих территориях: Иркутская область, Республика Башкортостан, Белгородская обл., Нижегородская обл., Оренбургская обл., Красноярский край, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Карелия, Мурманская обл., Кемеровская обл., Липецкая обл., Брянская обл., Чеченская Республика, Рязанская обл., Омская обл., Томская обл., Ленинградская обл., Архангельская обл., Алтайский край, Ставропольский край, Ульяновская обл., Приморский край, Забайкальский край. Саратовская обл., Ростовская обл., Пермский край, Свердловская обл. Новосибирская обл., Московская обл., Татарстан, Краснодарский край, Челябинская обл., Новгородская обл., Воронежская обл., Тюменская обл., Еврейский АО, Ямало-Ненецкий АО, Республика Саха, Самарская обл., Кировская обл., Удмуртская Республика.

Продукция, выпускаемая на предприятии.

					ВКР. 2019 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		5

Цемент:

- Цемент глиноземистый;
- Цемент гипсоглиноземистый;
- Цемент напрягающий;
- Цемент тампонажный для арктических условий;
- Цемент тампонажный расширяющийся облегченный арктический.

Чугун:

- Чугун литейный титаномедистый;
- Чугун титанистый;
- Чугун передельный;
- Чугун литейный;
- Мелющие тела:
- Цилиндры мелющие чугунные (для шаровых мельниц);
- Щебеночная смесь;
- Мелочь коксовая.

ПРОИЗВОДСТВО (ЦЕХА):

- Цех помола шлаков;
- Доменный цех;
- Литейный цех;
- Ремонтно-механический цех;
- Колеровочный цех.

					ВКР. 2019 -ОР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		6

2 ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ

2.1 Расчет шихты для последующего изготовления цельпечсов

Таблица 1 - Расчет шихты на цельпечсы

Шихтовые материалы		Содержание компонента в шихте, %	Содержание элементов в шихтовых материалах и расплаве			
Наименование	Марка		Углерод, %		Кремний, %	
			В шихте	В металле	В шихте	В металле
1. Чугун ванадиевый		17	4,46	0,7582	0,25	0,0425
2. Чугун литейный	ЛТ	35	4,60	1,61	2,0	0,7
3. Лом чугунный	17 А	5	3,40	0,17	1,6	0,08
4. Лом стальной	1 А	21	0,30	0,063	0,3	0,093
5. Возврат цельпечсов		20	3,60	0,72	1,6	0,32
6. Ферросилиций	ФС-45	2	0,60	0,012	45	0,9
Всего в шихте				3,3332		2,1355
Угар (-), пригар (+)				+0,357		-0,4698
Содержание в расплаве				3,6902		1,6657

Данные таблицы 1 и последующего описания производства взяты из технологической инструкции на загрузку шихты в вагранки, утвержденной главным инженером ЗАО «Пашийского металлургическо – цементного завода» В.С. Ефремовым от 15.01.1998 г.

2.2 Вагранка. Загрузка вагранки.

Вагранка - это печь шахтного типа для плавки чугуна в литейных цехах. Вагранки являются самыми распространенными печами в чугунолитейных цехах, – в них выплавляется около 95 % всего чугуна. Это связано с тем, что вагранки просты по конструкции, имеют высокий к.п.д. и удобны в эксплуатации. В свою очередь, вагранки разделяют по видам используемого топлива на коксовые, коксогазовые и газовые. Преимущество коксовых вагранок в использовании дешевой шихты с относительно низким содержанием кремния и марганца, низкая окислительная способность атмосферы внутри печи, а также возможность стабильной работы без подогрева воздуха в воздухоподогревателях. Преимущество газовых вагранок в использовании газообразного топлива – более дешевого по

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР. 2019 -ТР.ПЗ				

сравнению с коксом. Принято считать, что наиболее низкая себестоимость плавки чугуна в коксогазовых вагранках.

Загрузка происходит следующими этапами:

- металлошихта из бункера с помощью вибронабирателей набирается в бункер электровесовой тележки. Количество проверяется по циферблату весового механизма. Точность веса компонентов – в пределах \pm веса минимальных кусков (чушек). После набора всех компонентов одной чаши («колоши») электровесовой телеги, телега перемещается к приемке скипового подъемника загружаемой вагранки. Убедившись, что скип находится под воронкой, завальщик (машинист телеги) открывает люк бункера;

- кокс загружается из расходного бункера с помощью виброгрохота. Количество определяется по показателям весового механизма;

- флюсы загружаются из расходных бункеров с помощью вибропитателей;

- ферросплавы загружаются из расходных бункеров, со взвешиванием на платформенных весах.

- подъем скипа производится нажатием кнопок управления механизма подъема после получения разрешающего сигнала от указателя уровня шихты в вагранке. При отсутствии уровнемера, контроль уровня шихты определяют визуально;

- завалка должна происходить ритмично, иначе есть вероятность упуска уровня завалки, что связано с последующим охлаждением металла (расстройства хода плавки);

- состав шихты устанавливается технологом или начальником цеха на смену или сутки;

- корректировка шихты, пересыпка производятся только по указанию ответственных лиц за ведение плавки;

- количество одновременно набираемой шихты не должно превышать количество одной завалки, чтобы избежать поломок затвора;

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

2.3 Контроль загрузки в вагранки

- вес загружаемой металлошихты контролируется по показателю механизма ЭВТ, кокса - по объему контрольной загрузки, флюсов - по объему контрольной загрузки, ферросплавов - по взвешиванию на платформенных весах;

- полнота загрузки вагранки контролируется:

а) максимальный уровень – периодически вручную мерной цепью через люк на колошниковой площадке (кровля здания литейного двора);

б) по ходу плавки – (косвенное определение) – по измерению давления дутья, регистрируемого самопишущим прибором.

2.4 Меры безопасности при загрузке в вагранки

- все работы по загрузке вагранок и обслуживании механизмов должны производиться персоналом, обученным правилам эксплуатации механизмов и безопасной работы, обеспеченным ИСЗ (индивидуальными средствами защиты);

- все работы должны производиться в соответствии с действующими правилами техники безопасности и охраны труда, установленными для данного участка цеха и выполняемых работ;

- с металлошихтой не должны попадаться в вагранку болонны, емкости, бачки, забитые грязью и льдом, обрезки труб, и другие предметы, которые могут вызывать хлопки или взрывы в вагранке;

- устранение зависаний шихты в вагранке, пересыпных воронках, расходных бункерах, затворах ЭВТ производят крючками, ломом с соблюдением осторожности, при выключенных механизмах;

- ремонтные работы и работы по очистке скиповых мостов, приемков, путей ЭВТ, загрузочных воронок должны производиться при выключенных механизмах с установкой предупреждающих табличек. Обесточивание механизмов производится снятием предохранителей;

- рабочие места оборудуются безопасным освещением, оборудование должно быть заземлено;

					ВКР. 2019 - ТР.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документ</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

- при ежемесячных осмотрах оборудования, особое внимание уделяют целости подвесок вибропитателей, их креплению, неповрежденности кабелей;

- команде крановщику на заполнение бункеров должна подаваться только машинистом ЭВТ (завальщиком) и мастером;

- запрещено заполнение шихтой бункеров, расположенных напротив скиповых приемков во время пребывания рабочих внутри приемка;

- заполнение шихтой расходных бункеров должно производиться с максимальной осторожностью, чтобы избежать выпадания шихтовых материалов на пути;

- во время перемещения ЭВТ, обслуживающие бункера рабочие, должны находиться в безопасной зоне, а находясь на площадке ЭВТ, держаться за перила;

- удаление из бункеров негабаритных кусков шихты производят в ручную и только крючком, после удаления всей шихты электромагнитной шайбой;

- инструменты для обслуживания бункеров (крючки, лопаты) должны устанавливаться в определенные места, чтобы исключить их падение при включении вибропитателей и перемещениях ЭВТ;

- переполнение бункеров шихтой запрещено, попавшие на борта бункера куски шихты убрать немедленно крючком или электро - магнитной шайбой крана внутри бункера;

- всякое перемещение ЭВТ запрещено, если шихтовые материалы свисают с края вибропитателя, на рельсовых путях находятся куски шихты, др. предметы, шихтовые материалы выступают на верхние края бункера, рабочие, обслуживающие бункера, не находятся в безопасной зоне, производятся ремонтные работы, на путях, в приемке скипов, на бункере;

- во время работы ЭВТ пребывание на ней посторонних лиц запрещается;

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

- при начале движения ЭВТ с места, подать сигнал, убедиться в отсутствии людей на путях;
- воспрещено производить регулирование и смазку механизмов во время движения ЭВТ;
- воспрещено набирать груз, превышающий по габаритам размеры выходного отверстия буккеров и скипа;
- в установленные сроки проверять состояние защитных заземлений, производить замеры сопротивлений заземлений и изоляций и электрического оборудования, проводов, проверяя соответствие замеряемых данных, действующим нормам;
- все ремонтные работы производить после снятия напряжения;
- запрещается прикосновения к частям установки, находящихся под напряжением;
- при контроле уровня загрузки шихты через люк колошниковой площадки, защитить лицо и тело от попадания выбросов и руки от ожогов об инструмент и металлоконструкций.

2.5 Технология литья в кокиль.

Слово «кокиль» имеет французское происхождение «coquille», а сам он представляет собой специальную металлическую форму, широко используемую в технологическом процессе изготовления различных деталей и заготовок методом литья. Заполнение ее расплавом происходит под действием сил гравитации. В принципе, он имеет точно такое же назначение, что и литьевая песчаная форма, однако, в отличие от нее, может использоваться многократно. Поэтому можно однозначно утверждать, что смысл и сущность литья в кокиль состоит как раз именно в том, чтобы иметь возможность применять для изготовления различных деталей формы, которые можно использовать многократно. При этом основу кокилей составляют металлические части, которые и определяют в конечном итоге и свойства, и конфигурацию отливки.

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документ</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

Перед тем, как производить литье в кокиль, его необходимо подготовить. При этом разъем и поверхность его рабочей полости тщательно очищается от масла, ржавчины, различного рода загрязнений. Кроме того, тщательно контролируется точность центрирования подвижных частей, а также легкость их перемещения и надежность крепления в неподвижном положении. По окончании этой процедуры на всю поверхность рабочей полости наносится специальное огнеупорное покрытие. Далее производят заливку расплава в кокиль.

После того, как слой огнеупорного материала нанесен, кокиль разогревают до его рабочей температуры. Практика показывает, что в большинстве случаев перед заливкой кокиль разогревают до температуры от 200° до 350°. Далее половинки кокиля соединяются и фиксируются с помощью специальных зажимов (в кокильной машине вместо них используются механизмы запираания), и в них производится заливка расплава.

После того как отливка охладится до определенной температуры, она извлекается из кокиля, от нее отрезаются выпоры, прибыли и литники, выбивается керамический или песчаный стержень, производится контроль качества. После этого она используется снова.

Далее отливки (в данном случае мелющие тела) сортируют. Сортировка проводится при помощи штангенциркуля.

2.6 Правила техники безопасности при разливе расплава в кокиль, действующие на предприятии

- работники, задействованные в производстве кокильного литья из чугуна (вагранщик, заливщик, плавильщик, кокильщик сборщик) должны быть обеспечены соответствующими средствами индивидуальной защиты (СИЗ).

- перед началом работы кокильщик сборщик обязан:

					ВКР. 2019 - ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		12

а) проверить исправность кокильной оснастки, то есть, прежде всего, убедиться в отсутствии трещин разгара, выбоин на рабочих поверхностях кокиля, а также - отсутствие остатков чугуна «приваренного к кокилю в результате предыдущей заливки»;

б) проверить исправность газовой горелки воздушных инжекторов (распылителей), приводов кокильных машин, инструментов и приспособлений. Они должны быть технически исправны и пригодны к применению. Кроме того, инструменты, непосредственно контактирующие с жидким чугуном в процессе изготовления кокильного литья (ломики, клещи) должна быть предварительно нагретыми до температуры 100-110° и покрашенными кокильными красками;

в) убедиться в исправности освещения рабочего места и приточной вытяжной вентиляционной системой;

г) подготовить рабочее место к работе в частности убедиться в отсутствии влаги, убрать смесь металла, шлак и мусор. Убрать все посторонние предметы с пути транспортировки расплава чугуна.

- во время работы кокильщик сборщик обязан:

а) во избежание ожогов работать в спецодежде согласно существующих норм и правил, а также с применением СИЗ, в частности в защитных очках или с защитным щитом.

б) не допускать заливку металла в холодный кокиль

в) с целью исключения возможности «приваривания» отливки к кокилю производить своевременную покраску кокиля и не превышать его допустимую температуру нагрева

г) прекратить эксплуатацию кокиля для устранения неисправностей, в случае если металл течет по разьему кокиля или происходит кипение металла в кокиле

д) систематически убирать из-под ног смесь пролитого металла.

- после окончания работы кокильщик сборщик обязан:

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		13

а) убрать рабочее место, проверить техническое состояние кокильной оснастки, оборудования, инструмента, приспособлений;

б) сдать рабочее место мастеру, сообщив об имевших место в течение смены неисправностях и неполадках;

- заливщик металла перед началом работы обязан:

а) проверить состояние футеровки крановых ковшей используемых для заливки кокилей;

б) проверить техническую исправность крановых ковшей, состояние корпуса траверса и механизмы наклона ковша, наличие количества крепежных болтов, исправность защелки фиксатора траверсы, о всех выявленных недостатках проинформировать мастера (старшего мастера). К работе приступить после устранения неполадок;

в) убедиться в отсутствии посторонних предметов на пути транспортировки жидкого металла;

г) нагреть до 100-150° кокильные счищения и покрасить противопопригарными красками.

- во время работы заливщик обязан:

а) на выпуске металл направлять струю строго по центру ковша

б) заполнять ковш металлом на более 150-250 мм до верха ковша

в) не заливать металл в холодные или не покрашенные кокиля

г) не допускать нахождения посторонних людей в зоне заливки.

- по окончании работы заливщик обязан очистить рабочее место, убрать в специальное место инструмент и приспособления.

					ВКР. 2019 - ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		14

3 ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В УСЛОВИЯХ ОАО «Пашийского металлургическо – цементного завода»

3.1 Химический состав цельпечсов

Согласно технологической карте №5, действующей на предприятии ОАО «ПМЦЗ», химический состав чугуна для мелющих тел по ТУ 21-32-288-88 представлен:

- углерод 3,8 - 4,2 %
- кремний 1,2 - 1,9 %
- марганец 0,1 - 0,8 %
- хром 0,1 - 0,5 %
- титан 0,05 - 0,25 %
- ванадий 0,05 - 0,25 %
- алюминий как раскислитель до 0,8 - 0,9 кг /т
- сера до 0,15 %
- фосфор до 0,15 %

Отбор проб чугуна на химический анализ осуществляется 3 раза в смену. Отбор проб шлака производится 1 раз в смену. Химический анализ чугуна определяют от сменной выработки по усредненной пробе. Результаты анализа заносят в сменный журнал. Мелющие цилиндры с нарушенным химическим составом бракуются ОТК и возвращаются на переплав (возврат).

3.2 Акт испытаний партии цельпечсов, отлитых в условиях ОАО «ПМЦЗ»

Так же проводят испытания мелющих тел. Имеющиеся акты испытаний указаны ниже.

Акт о промышленных испытаниях опытной партии цельпечсов на Горнозаводском цементном заводе, подписанный главным инженером Горнозаводского цементного завода В.Я. Павловым.

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документ</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

Испытания проводились в камере № 3 сырьевой мельницы № 1 диаметром 2,4 м * 13 м со стальной бронифутеровкой. С момента начала испытаний мельница отработала 849 часов. Данные испытаний сведены в таблицу № 2.

Таблица № 2 - Данные испытаний сырьевой мельницы № 1.

№	Дата загрузки и последующих догрузок	Вес загружаемой партии, т	Время работы мельницы		Выработано продукции, т		Вес контрольной пробы	Доверительная проба			
				С начала испытаний		С начала испытаний		Бой (30кг)		Абразив. износ	
1	4.09	23	-	-	-	-	51,8	-	-	-	-
2	16.09	4	238	238	6426	6426	-	1,86	6,2	49,8	3,8
3	29.09	3	255	493	6885	13311	-	3,06	10,2	49,6	4,2
4	8.10	3	179	672	4833	18144	-	-	-	-	-
5	16.10	2	177	849	4779	22923	-	3,27	10,9	45,1	13,1

Результаты испытаний.

Фактический износ цельпеска за 849 часов работы мельницы составил 10 т. Было выработано 22923 т шлама, т.е удельный расход цельпеска составил 0,436 кг/т шлама.

3.3 Структура чугунных мелющих тел. Описание микроструктур.

Феррит (лат. ferrum - железо), фазовая составляющая сплавов железа, представляющая собой твёрдый раствор углерода и легирующих элементов в α -железе (α -феррит). Имеет объёмноцентрированную кубическую кристаллическую решётку. Является фазовой составляющей других структур, например, перлита, состоящего из феррита и цементита.

При температурах выше 1401 °С в железоуглеродистых сплавах образуется твёрдый раствор углерода в δ -железе (δ -феррит), который можно рассматривать как высокотемпературный феррит.

Аустенит - это твердый раствор проникновения атома углерода в гранцентрическую кубическую кристаллическую решетку железа, именуемую как γ . Атом карбона внедряется в полость γ -решетки железа. Его размеры превосходят соответствующие поры между атомами Fe, что

объясняет ограниченность прохождения их сквозь «стенки» основной структуры. Образуется в процессах температурных превращений феррита и перлита при повышении тепла выше 727°С.

Цементит - это химическое соединение углерода с железом (карбид железа) Fe₃C. Так как растворимость углерода в α-железе мала, то при нормальных температурах в большинстве случаев в структуру стали входят высокоуглеродистые фазы в виде цементита.

Температура плавления цементита - около 1250 °С. Магнитные свойства цементит теряет при 217 °С. Цементит имеет высокую твердость > HB800, легко царапает стекло, но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность.

Цементит - соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение для высокоуглеродистых сплавов - чугунов.

Перлит - одна из структурных составляющих железоуглеродистых сплавов - сталей и чугунов: представляет собой эвтектоидную смесь двух фаз - феррита и цементита. Перлит - продукт эвтектоидного распада (перлитного превращения) аустенита при сравнительно медленном охлаждении железоуглеродистых сплавов ниже 727 °С. При этом γ-железо переходит в α-железо, растворимость углерода в котором составляет от 0,006 до 0,025 %; избыточный углерод выделяется в форме цементита или карбидов. В зависимости от формы различают перлит пластинчатый (основной вид перлита; обе фазы имеют форму пластинок) и зернистый (округлые зёрнышки цементита располагаются на фоне зёрен феррита). С увеличением переохлаждения растёт число колоний перлита, то есть участков с однообразной ориентацией пластинок феррита и цементита, а сами пластинки становятся более тонкими. Механические свойства перлита зависят в первую очередь от межпластиночного расстояния (суммарная толщина пластинок обеих фаз): чем оно меньше, тем выше значение предела

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		17

прочности и предела текучести и ниже критическая температура хладноломкости.

Ледебурит - структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, главным образом чугунов, представляющая собой эвтектическую смесь аустенита и цементита в интервале температур 727 - 1147 °С, или перлита и цементита ниже 727 °С. Основная фаза, инициирующая зарождение ледебурита - цементит. На пластинке цементита, зародившейся в эвтектической жидкости, разрастается плоский дендрит аустенита. Далее идет сравнительно быстрый парный рост взаимно проросших кристаллов обеих фаз. Каждая из фаз в пределах одной колонии ледебурита непрерывна, то есть относится к одному кристаллу.

В зависимости от температуры, фазовый состав ледебурита может быть разным. Так в температурном интервале от 1147 °С до 727 °С ледебурит состоит из аустенита и цементита, а при температурах ниже 727 °С - из феррита и цементита.

Далее нужно более подробно рассмотреть структуру чугуновых цильпесов, представленных в виде микрошлифов.

3.4 Описание структуры чугунов

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода свыше 2,14 % и постоянные примеси (Si, Mn, P, S) и затвердевающие с образованием эвтектики, называемой ледебуритом.

Чугун отличается от стали составом (более высоким содержанием углерода), лучшими литейными свойствами (жидкотекучесть, температура плавления), малой величиной пластической деформации, низкой ценой. Поэтому он получил широкое распространение в различных отраслях производства - используется для производства качественных отливок сложной формы.

Углерод в структуре чугунов может находиться в химически связанном состоянии в виде цементита (Fe₃C) и в свободном состоянии в виде графита.

					ВКР. 2019 - ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		18

В зависимости от формы присутствующего углерода, т. е. в зависимости от степени графитизации, обуславливающей вид излома, различают чугуны:

- белые;
- серые (СЧ);
- ковкие (КЧ);
- высокопрочные (ВЧ).

В зависимости от формы включений графита чугуны бывают:

- с пластинчатым (СЧ) графитом;
- с хлопьевидным (КЧ) графитом;
- с шаровидным (ВЧ) графитом;
- с вермикулярным (червеобразным) графитом.

По характеру металлической основы чугуны подразделяются на:

- перлитный;
- ферритный;
- перлитно-ферритный;
- аустенитный;
- мертенситный.

По назначению чугуны делятся:

- на конструкционные;
- со специальными свойствами.

По химическому составу чугуны бывают:

- легированные;
- нелегированные.

Белый чугун.

В нем весь углерод находится в химически связанном состоянии и при нормальной температуре состоит из перлита и цементита. Свое название чугун получил по матово-белому цвету излома. Образуется при быстром охлаждении сплава. Из-за большого количества цементита белые чугуны

					ВКР. 2019 - ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		19

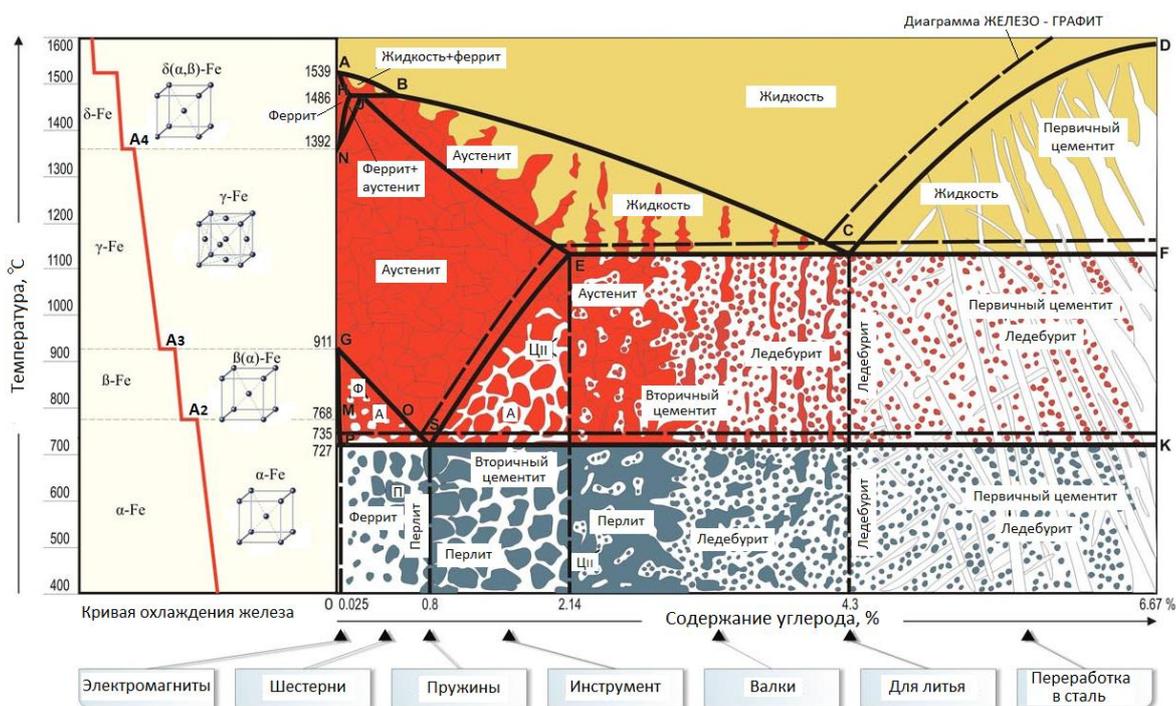
тверды (НВ 450-550), хрупки, плохо обрабатываются резанием и для изготовления деталей машин почти не используются.

Ограниченное применение имеют отбеленные чугуны (отливки из серого чугуна с поверхностным слоем белого чугуна). Из них изготавливают прокатные валки, лемеха плугов, тормозные колодки, вагонные колеса и другие детали, работающие в условиях износа.

В соответствии с диаграммой Fe-Fe₃C белые чугуны могут быть:

- доэвтектическими ($2,14 < C < 4,3 \%$);
- эвтектическими ($C = 4,3 \%$);
- заэвтектическими ($C > 4,3\%$).

Рисунок 1 - Структурная диаграмма состояния системы железо - **цементит**



Основными линиями диаграммы железо-углерод, соответствующими температурам фазовых превращений в сталях при охлаждении, являются:

- Линия GS - начало полиморфного превращения аустенита с образованием феррита (Ф);
- Линия PG - окончание образования феррита;
- Линия SE - ограничение растворимости углерода в аустенит, образование цементита вторичного (ЦII);

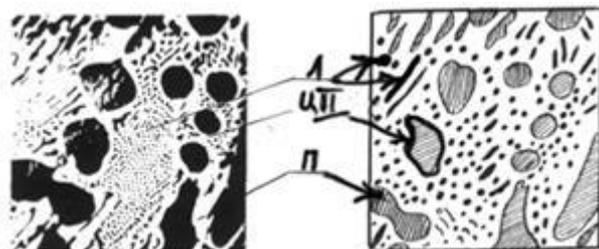
								Лист
								20
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата	ВКР. 2019 - ТР.ПЗ			

- Линия PSK - эвтектоидное превращение: из аустенита образуется ферритно-цементитная смесь (перлит);

- Линия PQ - ограничение растворимости углерода в феррите; образование цементита третичного (ЦШ).

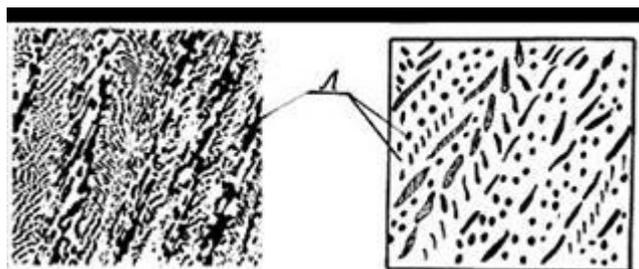
Структура доэвтектического чугуна при комнатной температуре состоит из перлита (П), ледебурита (Л) и цементита вторичного (ЦШ). Темные большие участки на микрошлифе - перлит. Участки с точечными темными вкраплениями или пластинами - ледебурит. Вторичный цементит сливается с цементитом ледебурита, а частично виден в виде светлых выделений по границам перлитных областей.

Рисунок 2 - Структура доэвтектического чугуна



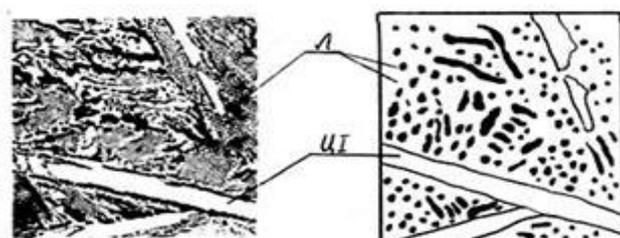
Структура эвтектического белого чугуна представлена ледебуритом (Л). На рисунке пластины цементита со столбиками аустенита в них.

Рисунок 3 - Структура эвтектического белого чугуна



Структура заэвтектического белого чугуна (рис. 6.1, в) при комнатной температуре состоит из ледебурита (Л) и цементита первичного (Ц).

Рисунок 4 - Структура заэвтектического белого чугуна



4 МИКРОШЛИФЫ. ИЗУЧЕНИЕ И ОПИСАНИЕ МИКРОСТРУКТУР.

Микрошлиф - это специально подготовленный образец для микроскопического исследования.

Изготовление шлифов состоит из вырезания образца, шлифовки, полировки и травления.

Наиболее удобным считается микрошлиф с площадью поперечного сечения приблизительно 1 кв. см и высотой 10-15 мм. Однако на практике часто изготавливают шлифы и других размеров. Если образцы имеют небольшие размеры, то для приготовления шлифа их зажимают в струбцины или заливают в легкоплавкие материалы (сплав Вуда, полистирол и т. п.).

Поверхность образца, на которой должен быть подготовлен шлиф, предварительно выравнивают путем обработки на абразивном круге с периодическим его охлаждением. Для удаления грубого рельефа и наклепа на поверхности образца, получающихся после обработки на абразивном круге, производится шлифовка бумажной шкуркой. Ее нужно начинать с более крупнозернистого материала, последовательно переходя к более мелкозернистому. Шлифовать образцы можно вручную, на неподвижной шкурке, или на шлифовальных станках. Ручная шлифовка - медленный и трудоемкий процесс, однако при нем меньше разогреваются образцы и как следствие - меньше искажается структура поверхности.

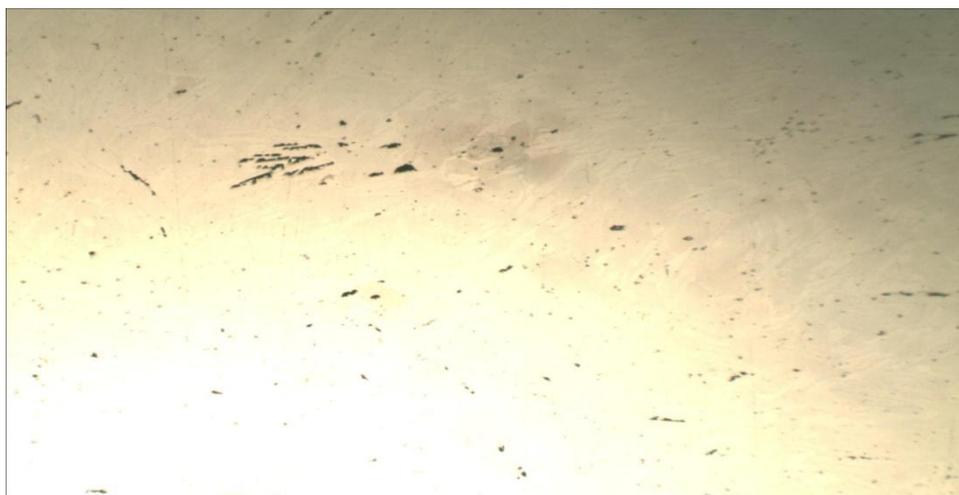
После шлифования поверхности образца проводят полирование с целью устранения рисок, оставшихся от воздействия абразивных частиц. Полировать шлифы можно также вручную и на полировальных станках. На вращающийся круг станка либо на гладкую поверхность натягивают полировальный материал - фетр, сукно, драп, бархат и др. и смачивают водной суспензией тонкодисперсного абразива (окись алюминия, хрома, магния и др.). Полировку заканчивают после исчезновения рисок от шлифовки на бумаге и при получении зеркальной поверхности шлифа.

Полированный образец промывают проточной водой и тщательно высушивают фильтровальной бумагой, прикладывая ее к шлифу, но не вытирая ею.

Структура мелющих тел рассматривалась под электронным микроскопом, оборудованным фотоприбором. Микроскоп расположен в научной лаборатории ЛФ ПНИПУ.

Образец микрошлифа № 1 (1).

Рисунок № 5 - образец № 1



Из рисунка № 1 видно, что данный образец не подвергался процессу травления. Структура состоит из металлической основы без включений графита, что говорит о том, что данный микрошлиф из белого чугуна.

Рисунок 6 - Виды графитовых включений



Графит удобнее наблюдать на светлой металлической основе до травления, как показано на рисунке № 5.

Более подробное описание данной структуры возможно после проведения травления.

Для исследования микроструктуры шлиф подвергают травлению. Перед травлением поверхность шлифа обезжиривают спиртом. Наиболее часто применяется травление методом избирательного растворения фаз. Он основан на различии физико-химических свойств отделенных фаз и пограничных участков зерен. В результате различной интенсивности растворения создается рельеф поверхности шлифа.

Травление - это удаление поверхностного слоя металлической детали при помощи специально подобранных химических реагентов. Оно позволяет удалять с изделий окалину, ржавчину и окислы под действием кислот, солей и щелочей в растворах. Таким способом проводят дополнительную подготовку изделий из металла к соединению или нанесению покрытия, что улучшает сцепление деталей или наносимого слоя с основой. Так же травление позволяет более подробно рассмотреть и изучить структуру металла.

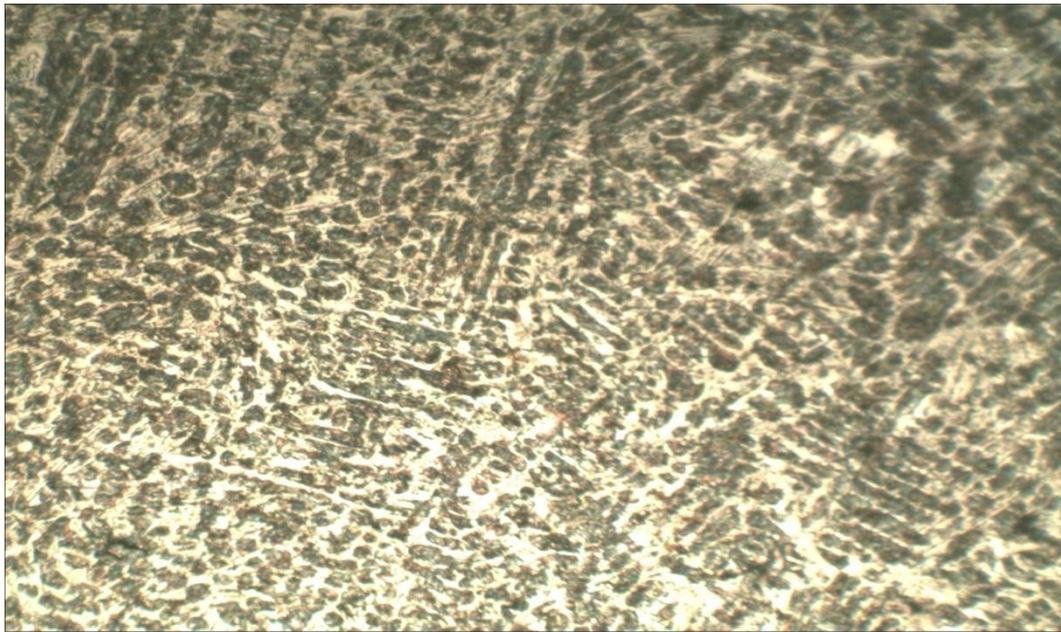
На поверхности шлифа происходит растворение одних фаз, окисление и окрашивание других. Химическое травление осуществляется путем погружения образца в травящий реактив или протираания образца с помощью тампона. Продолжительность травления чаще всего устанавливается опытным путем. В большинстве случаев признаком травления является потускнение поверхности, наступающее обычно через несколько секунд.

После травления шлиф быстро промывают водой и сушат фильтровальной бумагой.

Далее представлено изображение микрошлифа № 1, но уже после проведения технологии травления.

Рисунок 7 - Образец микрошлифа № 1 после травления.

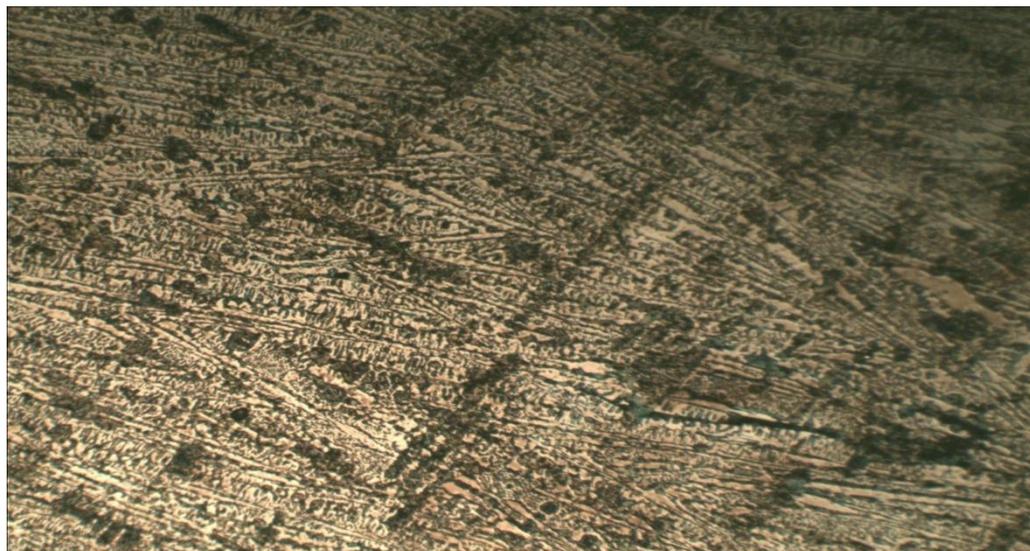
					ВКР. 2019 - ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		25



После проведения травления можно более подробно рассмотреть структуру микрошлифа. На данном изображении представлен образец микроструктуры доэвтектического (т.е. $2,14 < C < 4,3$ %) серого чугуна, состоящий из перлита, вторичного цементита и ледебурита, причем вторичный цементит сливается в белое поле с цементитом ледебурита, на фоне которого просматриваются крупные темные участки перлита (светлые участки - вторичный цементит, темные участки - перлит, мелкие точки - ледебурид). Ниже эвтектической линии ECF структура характеризуется избыточными кристаллами аустенита и эвтектикой (ледебуритом). При охлаждении от 1147 до 727 °C состав аустенита непрерывно меняется по линии ES, при этом выделяется цементит вторичный. Ниже 727 °C весь аустенит: и избыточный, и тот, который входит в состав эвтектики - претерпевает эвтектоидное превращение, при котором образуется перлит, т.е. при t ниже 727 °C структура доэвтектического белого чугуна характеризуется следующими структурными составляющими: избыточным перлитом (бывшим аустенитом), ледебуритом превращенным, состоящим из перлита и цементита и цементитом вторичным. Чем ближе состав сплава к эвтектическому, тем больше в нем эвтектики - ледебурита.

Образец микрошлифа № 2 (1/3).

Рисунок 8 - Образец микрошлифа № 2 (1/3)



На изображении видно, что микрошлиф представлен после травления. При рассмотрении видно, что на изображении представлен заэвтектический белый чугун, состоящий из ледебурита и крупных белых пластинок первичного цементита (былые полосы - первичный цементит, темные - ледебурит).

Железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода от 4,3 до 6,67 % называются заэвтектическими белыми чугунами. Кристаллизация начинается при температуре t_4 несколько ниже линии CD выпадением цементита, который называется цементитом первичным (Цпервичн.). Состав жидкой фазы меняется по линии CD, твердая - остается без изменения. При температуре 1147 °C заканчивается кристаллизация избыточных кристаллов Цпервичн. . Жидкость состава точки C (4,3 %C) согласно эвтектической реакции образует ледебурит. При дальнейшем охлаждении изменение состава аустенита по линии ES приводит к выделению цементита вторичного (Цвторичн.), который присоединяется к эвтектическому.

Основное отличие серого чугуна от белого в том, что в первом имеется небольшой процент связанного углерода (графит), во втором - наоборот, присутствует главным образом связанный углерод (цементит). Данная

особенность предопределяет разницу между рассматриваемыми металлами в аспекте:

- твердости;
- цвета на изломе;
- устойчивости к износу;
- хрупкости;
- обрабатываемости ручным инструментом;
- сферы применения;
- процента связанного и свободного углерода;
- процента кремния, марганца, фосфора.

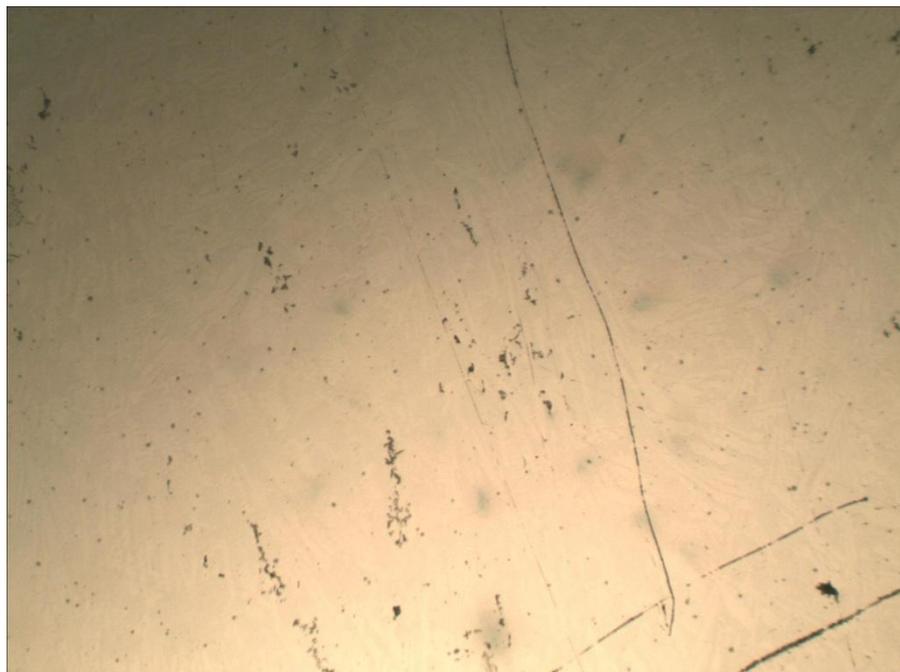
Более наглядно изучить то, в чем разница между серым и белым чугуном заключается в указанных аспектах, нам поможет небольшая таблица.

Таблица 2 - Сравнение белого и серого чугунов

Серый чугун	Белый чугун
Менее твердый	Более твердый
Более темный на изломе	Более светлый на изломе
Менее устойчив к износу	Более устойчив к износу
Менее хрупок	Более хрупок
Хорошо поддается обработке ручным инструментом	Не слишком хорошо поддается обработке ручным инструментом
Активно применяется в различных сферах промышленности	Используется главным образом в целях изготовления стали, серого чугуна
Имеет большой процент свободного углерода — в виде графита	Включает в основном связанный углерод
Характеризуется большим процентом кремния, меньшим - марганца, фосфора	Характеризуется меньшим процентом кремния, большим - марганца, фосфора

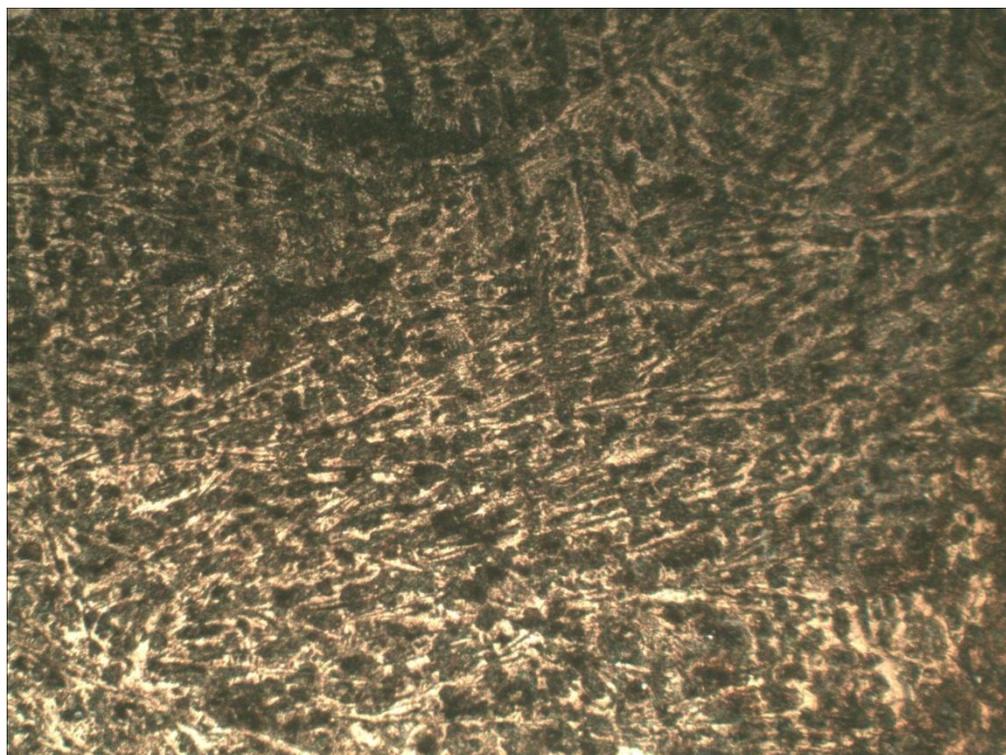
Образец № 3 (3/4).

Рисунок 9 - Образец № 3 (3/4).



На изображении видно, что образец не проходил процесс травления. Образец состоит из металлической основы с отсутствующими включениями графита, из чего следует, что данный образец - белый чугун.

Рисунок 10 - Образец № 3 (3/4) после травления.



Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

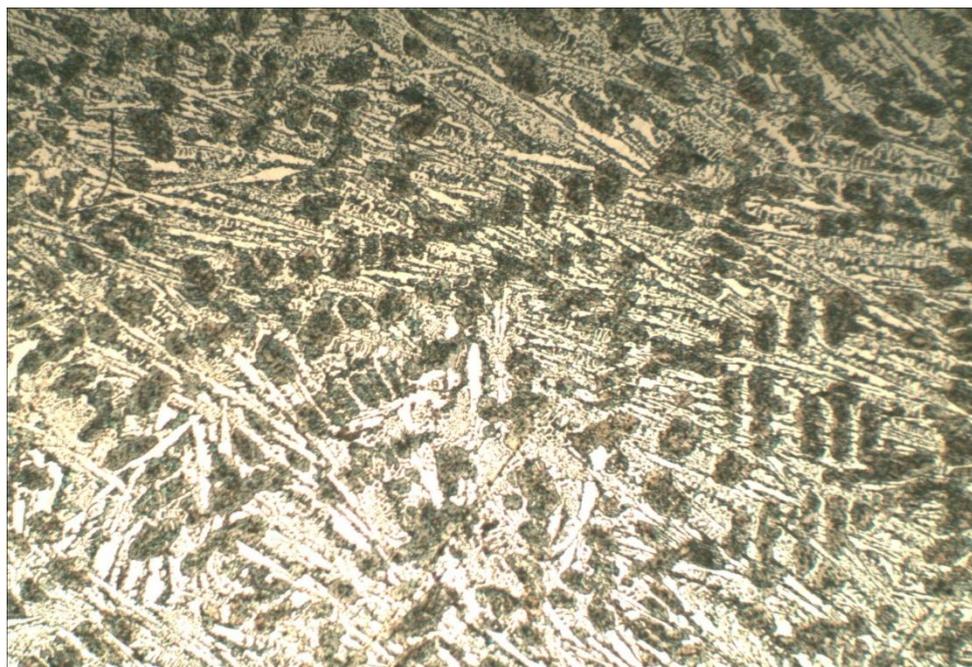
Согласно рисунку 10, представленный образец под номером $\frac{3}{4}$ является эвтектическим (4,3% C), белым чугуном. Белые чугуны на диаграмме состояния системы железо - цементит (метастабильная диаграмма Fe - C) находятся правее точки E (2,14% C). В них, в отличие от сталей, обязательно кристаллизуется эвтектика аустенит - цементит, называемая ледебуритом. В отличие от серых чугунов, содержащих структурно свободный углерод - графит, в белых чугунах углерод, не вошедший в твердый раствор на основе железа, образует с железом карбид Fe₃C (цементит). Чугуны с таким фазовым составом имеют светлый излом, и поэтому их называют белыми. По химическому составу и структуре белые чугуны подразделяют на эвтектические (4,3% C), доэвтектические (менее 4,3% C) и заэвтектические (более 4,3% C).

Образующаяся смесь этих фаз (эвтектика) называется ледебуритом (смесь аустенита и цементита).

Структура ледебурита обычно состоит из хорошо выраженных эвтектических колоний (черные точки).

Образец № 4 (5/3).

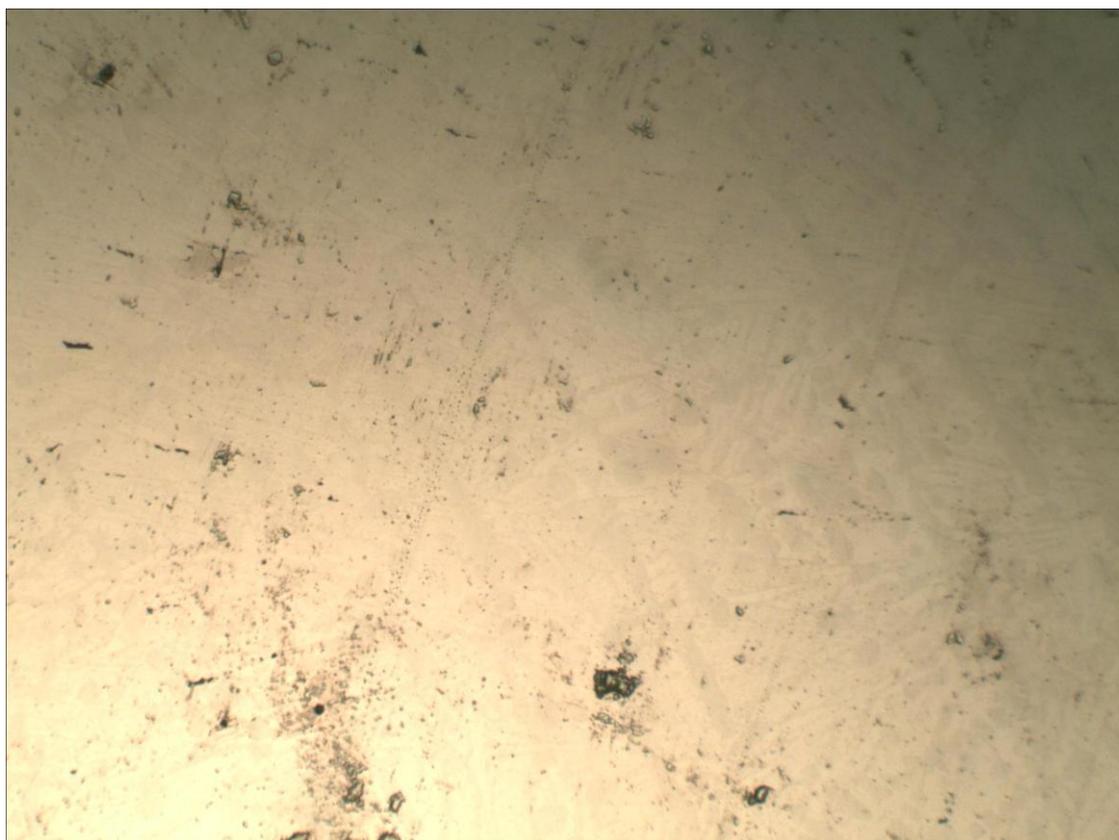
Рисунок № 11 - Образец № 4 (5/3).



На рисунке № 10 представлен образец 5/3, который прошел процесс травления. Из рисунка видно, что это структура белого заэвтектического чугуна. Ниже линии СД в сплаве будет происходить кристаллизация цементита первичного в виде пластин. При произвольной температуре t состав жидкости определяется проекцией точки k на ось концентрации, то есть состав жидкости изменяется по линии ликвидус СД. Количество жидкости и цементита первичного при температуре $\%$ и $\%$. На линии ЕСF происходит кристаллизация ледебурита как и в эвтектическом сплаве, данный образец состоит из цементита первичного и ледебурита и изображена.

Образец № 5 (13).

Рисунок № 12 - Образец № 5 (13)



На рисунке 12 представлен образец высокопрочного чугуна - металлическая основа и шаровидные включения графита.

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием и

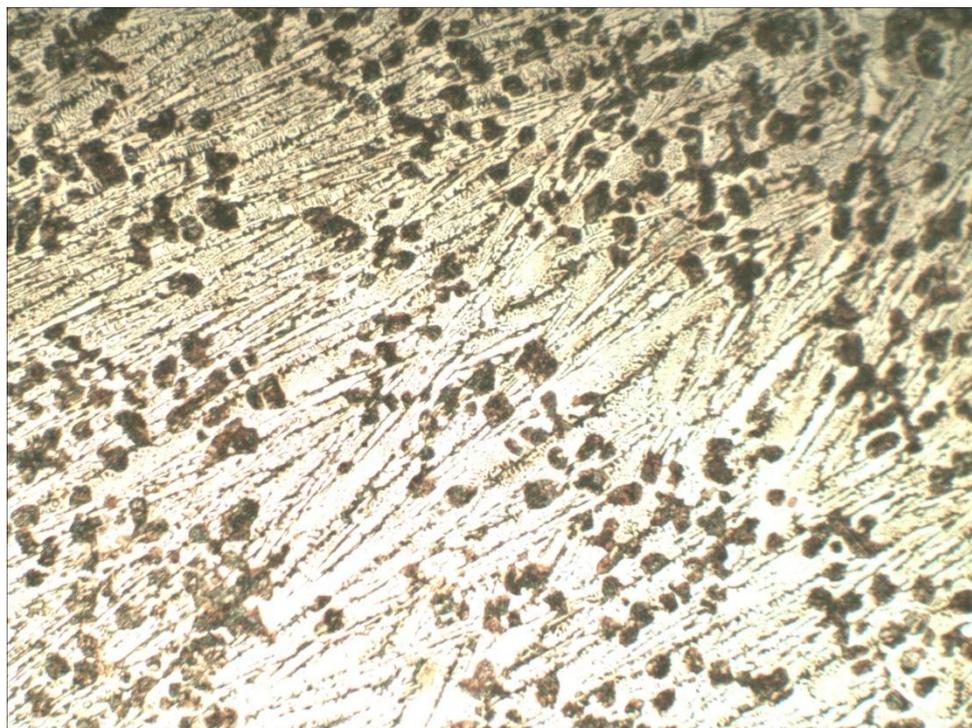
ферросилицием, которые вводят в жидкий серый чугун в небольшом количестве 0,02-0,08 %. Обычный состав высокопрочного чугуна: 2,7-3,8 % С; 1,6-2,7 % Si; 0,2-0,7 % Mn; 0,02 % S; 0,1 % P.

По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть:

- ферритным (до 20 % перлита) - ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45;
- перлитным (до 20 % феррита) - ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100.

Шаровидный графит является более слабым концентратором напряжений, чем пластинчатый графит, поэтому меньше снижает механические свойства чугуна. Высокопрочный чугун обладает более высокой прочностью, хорошей износостойкостью, антифрикционностью и некоторой пластичностью. Он является хорошим заменителем литой стали, ковкого чугуна, сплавов цветных металлов.

Рисунок № 13 - Образец № 5 (13) после процесса травления.

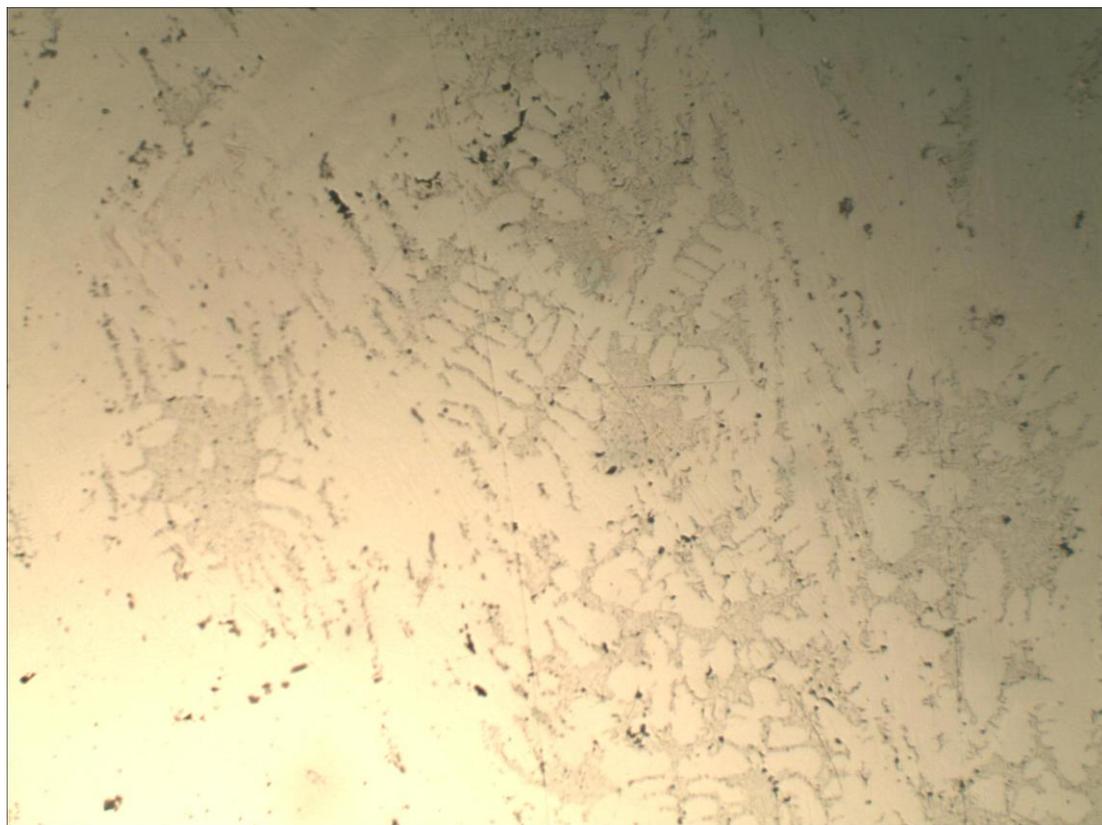


После травления можно разглядеть, что данный образец имеет микроструктуру высокопрочного чугуна: феррит + шаровидный графит - ферритный высокопрочный чугун.

Чугуны с шаровидным графитом имеют более высокие механические свойства, не уступающие свойствам литой углеродистой стали, сохраняя при этом хорошие литейные свойства, высокую износостойкость, способность гасить вибрации. Сочетая в себе высокие физико-механические свойства, высокопрочный чугун может быть использован взамен обычного серого, ковкого чугуна, ковкой и литой стали, а также вместо некоторых сплавов на основе меди во многих отраслях машиностроения. Из него, например, производят шпиндели карусельных станков, детали кузнечно-прессового и прокатного оборудования, изложницы для разлива стали, штампы, коленчатые валы, поршневые кольца, картера, кронштейны, подшипники качения, детали ходовой части тепловозов, подъемно-транспортные устройства и т.д.

Образец № 6.

Рисунок № 14 - Образец № 6 (20).

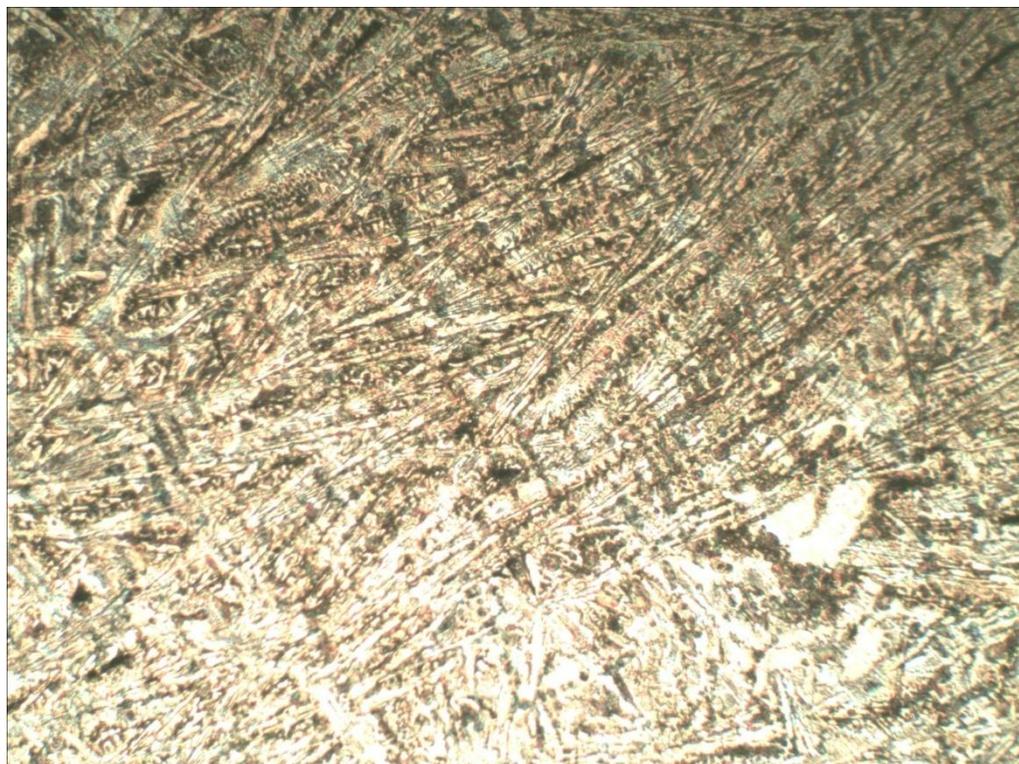


На данном изображении видно, что здесь представлена ферритно - графитная структура серого чугуна (междендритные включения).

Представленная структура отвечает очень низкой твердости и износостойкости.

При рассмотрении в микроскоп нетравленного микрошлифа серого чугуна хорошо видны включения пластинчатого графита. На величину и расположение включений графита влияют скорость охлаждения, температура и время выдержки расплавленного чугуна перед отливкой, химический состав чугуна, введение в чугун некоторых примесей (модификаторов). Например, скорость охлаждения влияет таким образом, что при прочих равных условиях графит образуется тем крупнее, чем медленнее охлаждение.

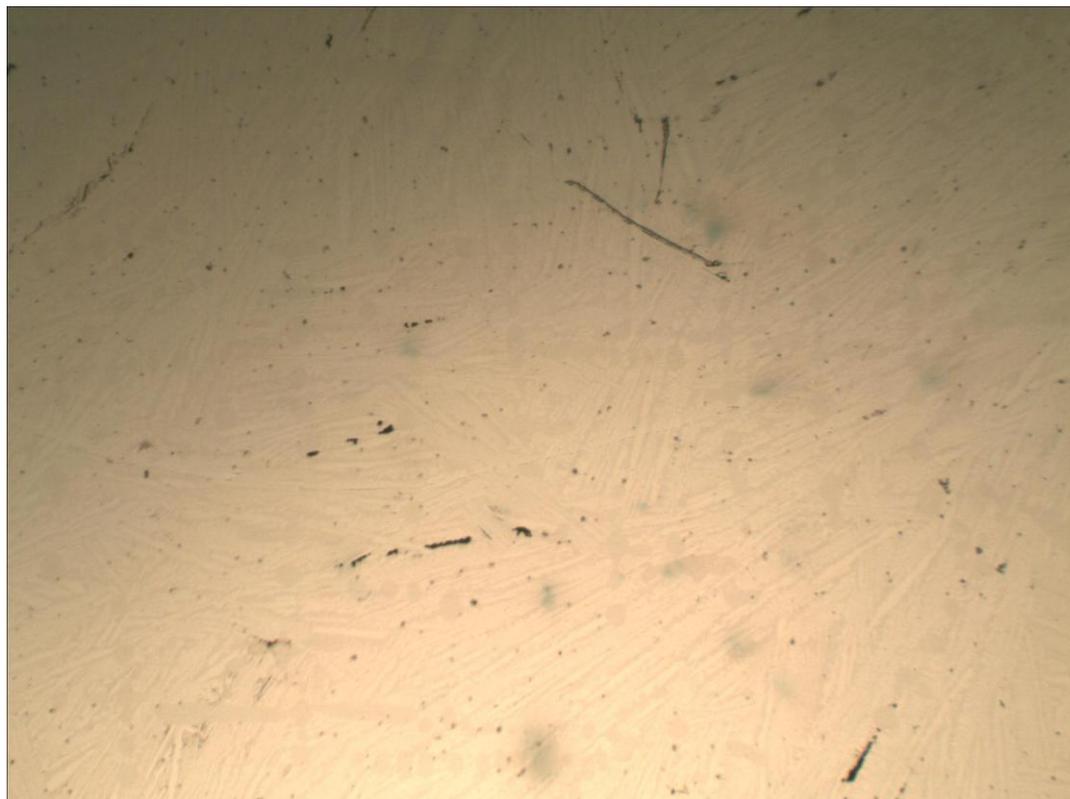
Рисунок № 15 - Образец № 6 (20) после процесса травления.



Ферритная микроструктура серого чугуна (рис. 15) ведет к недопустимо низкой твердости и износостойкости. Наличие феррита в металлической основе снижает механические свойства серого чугуна и особенно его твердость и износостойкость (графит темные участки, феррит светлые).

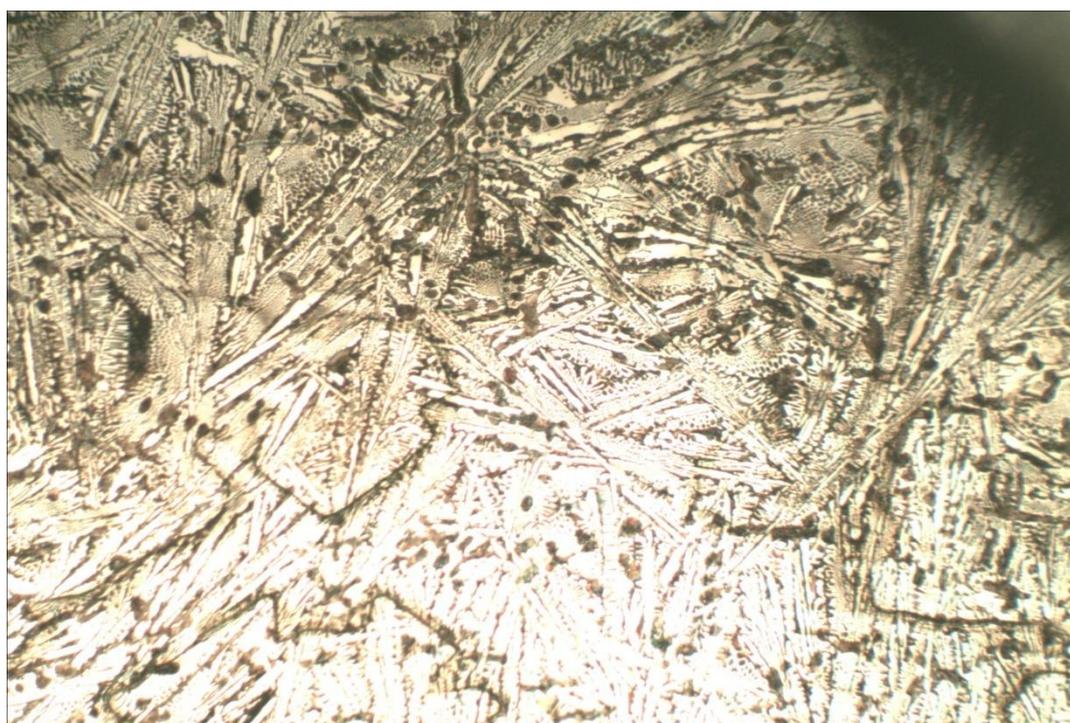
Образец № 7 (3).

Рисунок № 16 - Образец № 7 (3).



Образец состоит из металлической основы с отсутствующими включениями графита, из чего следует, что данный образец - белый чугун.

Рисунок № 17 - Образец № 7 (3) после процесса травления.



Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

ВКР. 2019 - ТР.ПЗ

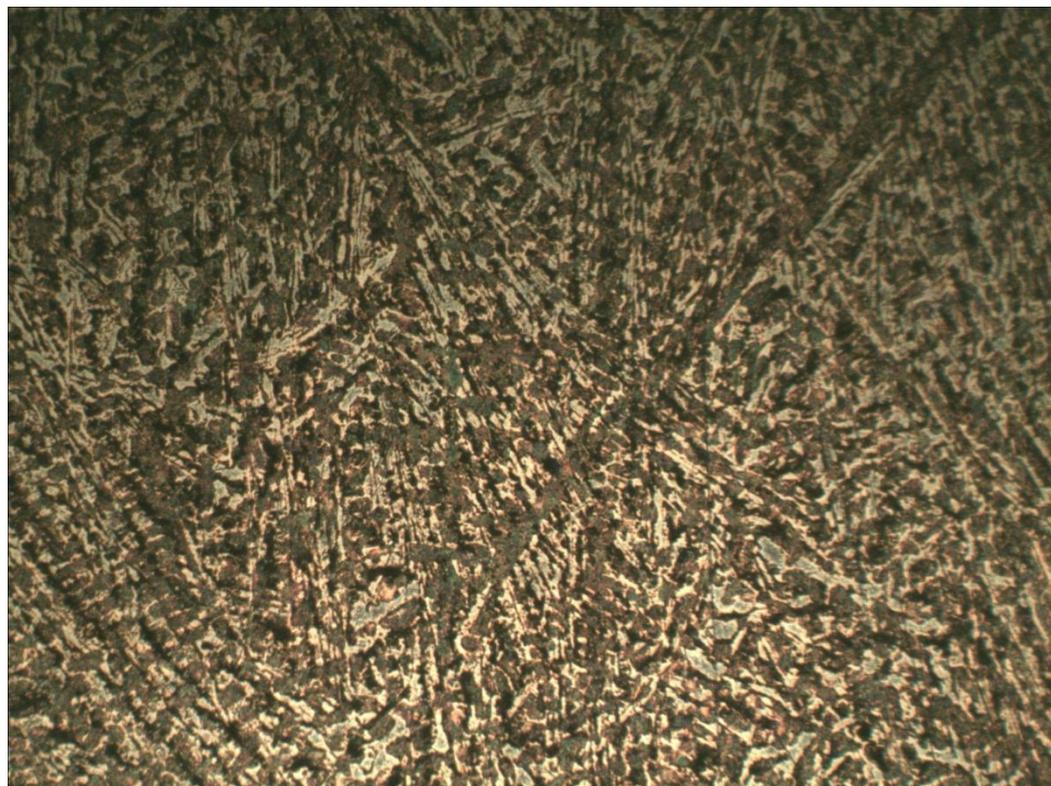
Лист

34

Микроструктура образца № 7 (3) заэвтектического белого чугуна состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледебурита. В результате кристаллизации первичного цементита ниже линии DC диаграммы жидкий чугун обезуглероживается и при температуре 1147°C (линия ECF) с содержанием углерода 4,3% затвердевает в эвтектику (ледебурит), которая при нормальной температуре представляет собой смесь перлита и цементита; с повышением содержания углерода в заэвтектическом чугуне количество первичного цементита возрастает, количество ледебурита уменьшается. Высокое содержание эвтектического, первичного и вторичного цементита в белом чугуне придает ему высокую твердость, хрупкость и износостойкость. Белый чугун очень плохо обрабатывается режущим инструментом. Применяется при литье только износостойких отливок, не требующих обработки (шары для шаровых мельниц, прокатные валки, вагонные колеса с отбеленным ободом и не-которые другие). Белый чугун своим названием обязан матово - белому цвету излома.

Образец № 8 (12, ø 25).

Рисунок 18 - Образец № 8 (12, ø 25).

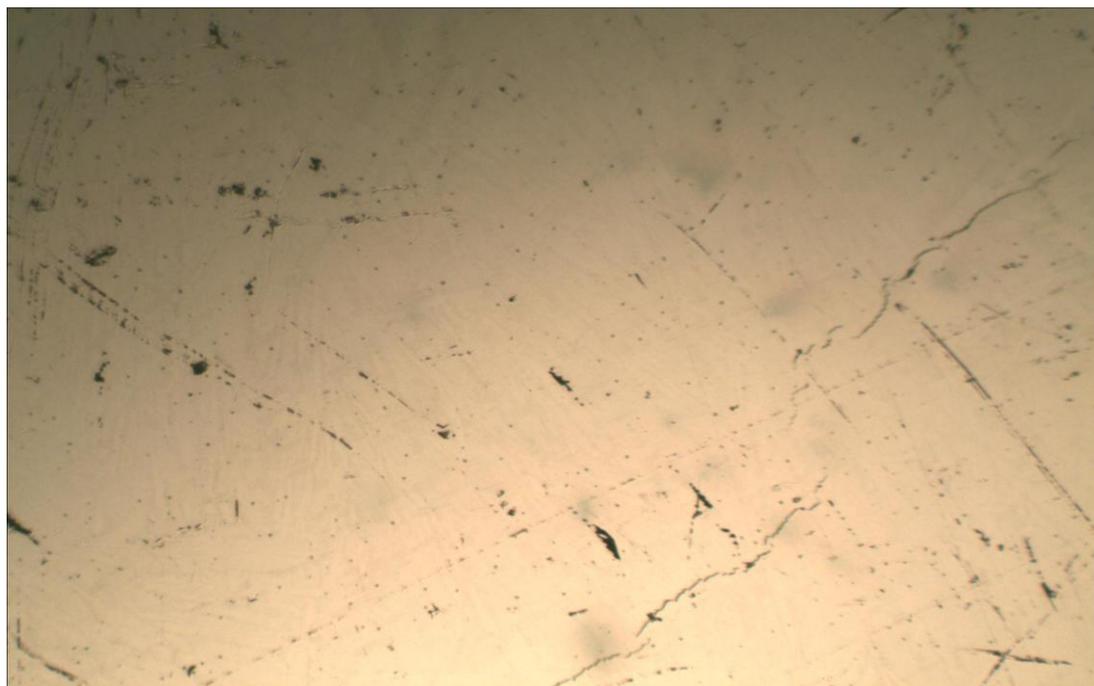


					ВКР. 2019 - ТР.ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		

Данный образец представлен уже в состоянии после травления. На изображении видно, что это структура белого доэвтектического чугуна. Чугун с концентрацией углерода 2,14 % до 4,3 %. При комнатной температуре их структура состоит из перлита, ледебурита (темные пятна) на перлитной основе и вторичного цементита. При этом перлит выглядит в виде темных довольно крупных зерен, имеющих преимущественно округлую форму. Ледебурит на перлитной основе выглядит в виде мелких темных сферических зерен. Между зернами перлита и скоплениями ледебурита можно заметить светлый ореол, который представляет собой вторичный цементит.

Образец № 9 (12).

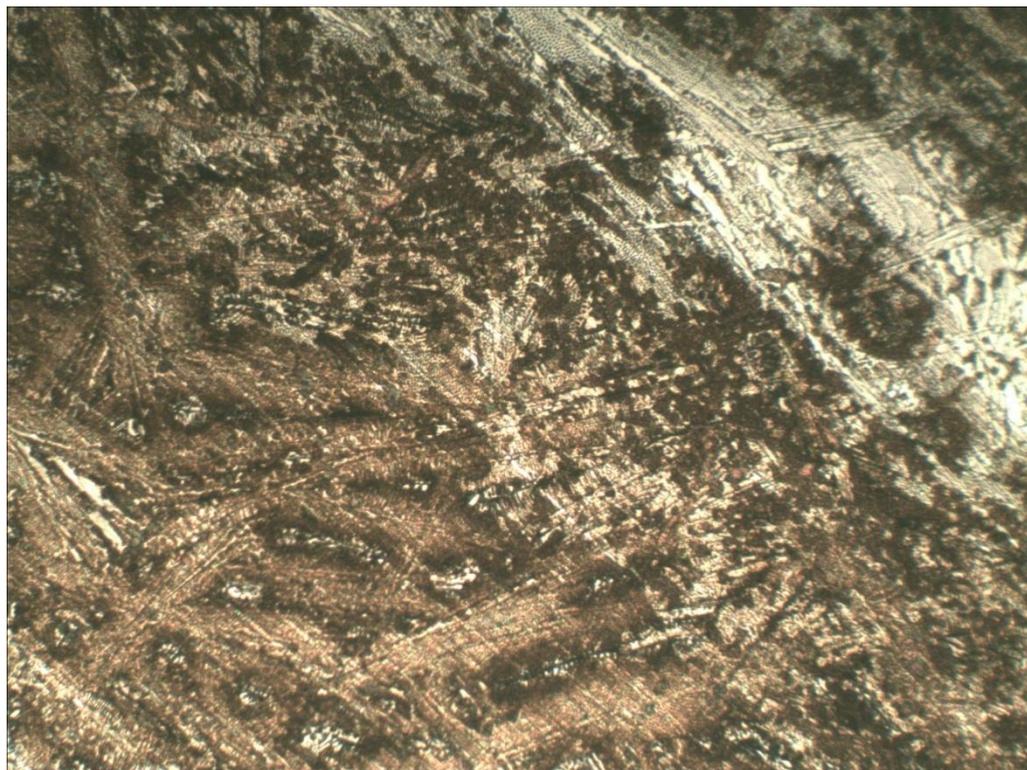
Рисунок № 19 - Образец № 9 до травления.



Из рисунка № 19 видно, что данный образец не подвергался процессу травления. Структура состоит из металлической основы и включений графита. Структура графита пластинчатая, что говорит о том, что данный микрошлиф из серого чугуна.

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		36

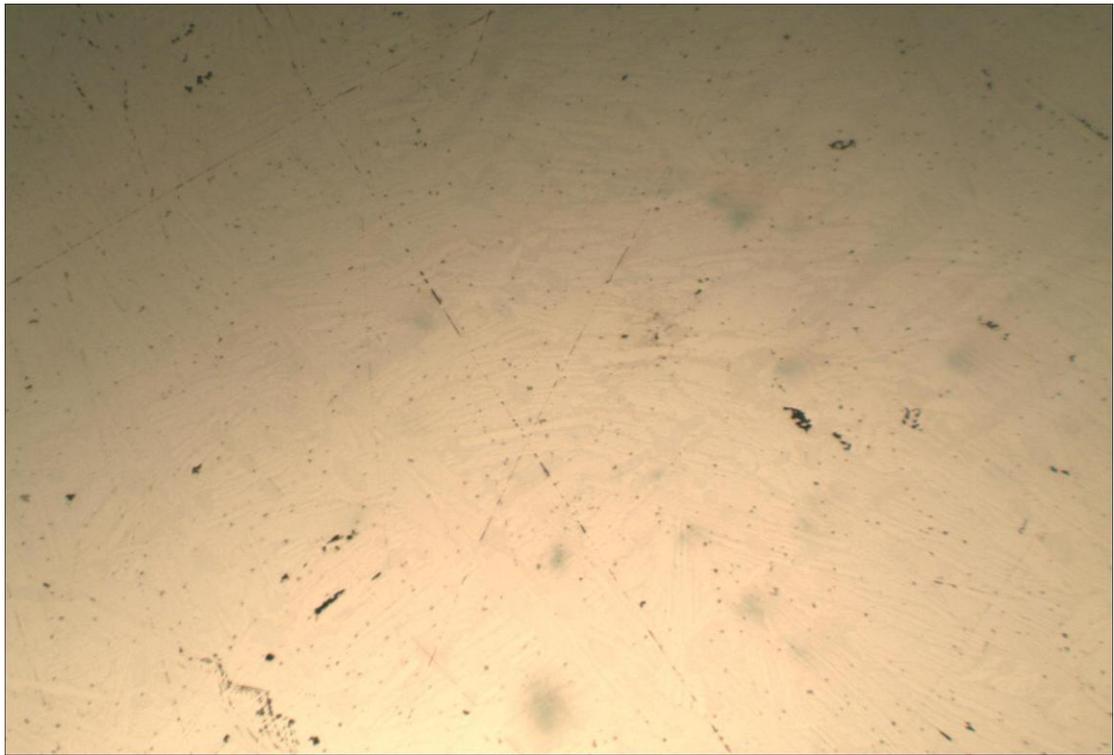
Рисунок № 20 - Образец № 9 после травления.



На изображении образца после травления, можно разглядеть перлитный серый чугун, обладающий высокой крепостью, умеренной твердостью и хорошей обрабатываемостью резанием. Высокая крепость этого чугуна объясняется наличием в его структуре перлита и тонких пластинок графита. Вязкость и хорошая обрабатываемость получаются вследствие того, что цементит находится не в пустом состоянии, а в сочетании с вязким ферритом, вникающим в состав перлита. Идет только на получение литых ответственных деталей машин и станков, поэтому перлитный чугун дорог.

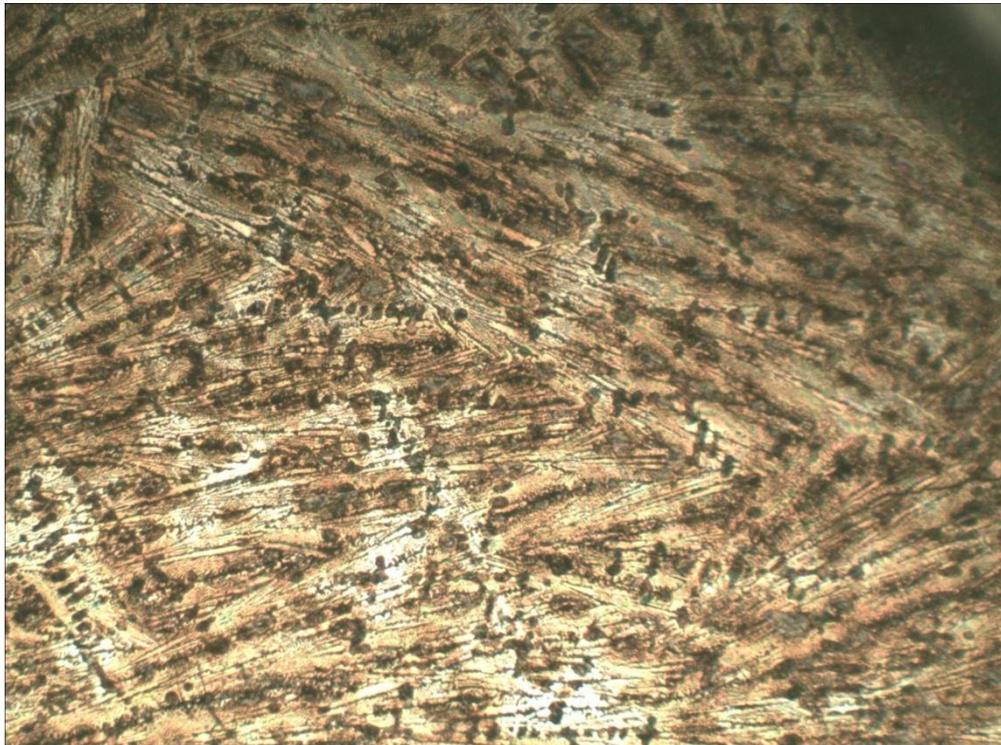
Образец № 10 (17).

Рисунок № 21 - Образец № 10 (17).



Образец состоит из металлической основы с отсутствующими включениями графита, из чего следует, что данный образец - белый чугун.

Рисунок 22 - Образец № 10 (17).

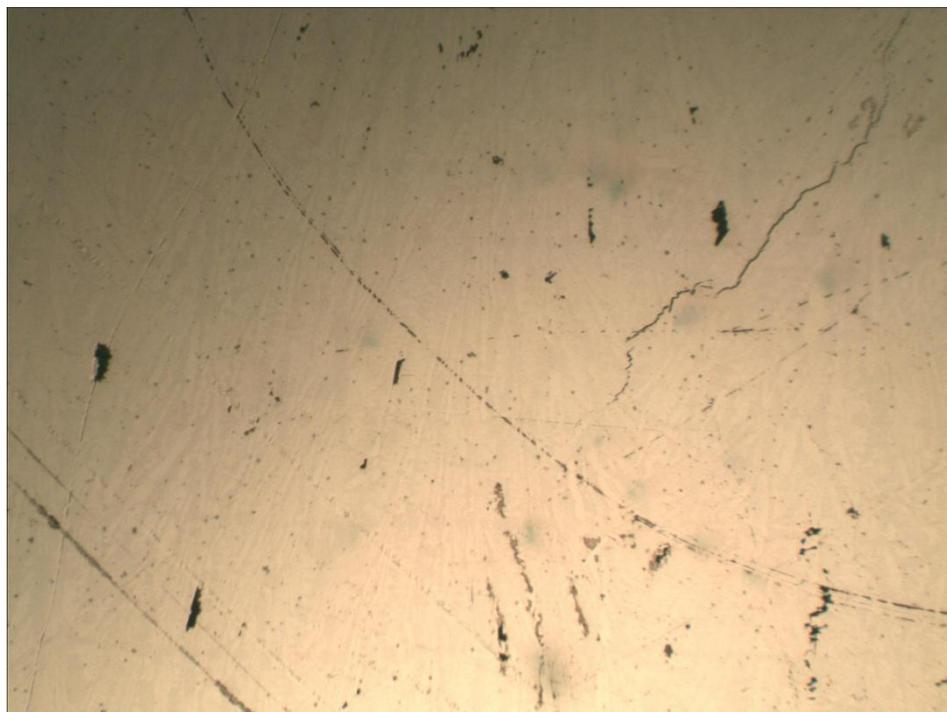


Микроструктура образца № 10 (17) является заэвтектическим белым чугуном, состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледобурита.

Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

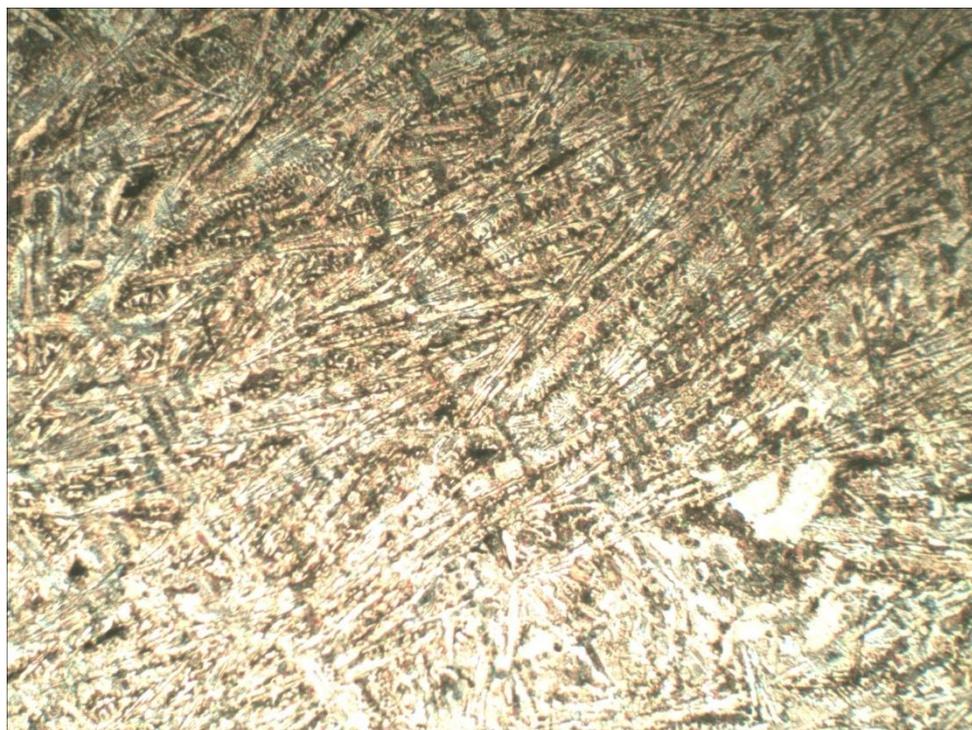
Образец № 11 (20).

Рисунок 22 - Образец № 11 (20) до травления.



Образец состоит из металлической основы с отсутствующими включениями графита, из чего следует, что данный образец - белый чугун.

Рисунок 23 - Образец № 11 (20) после травления.

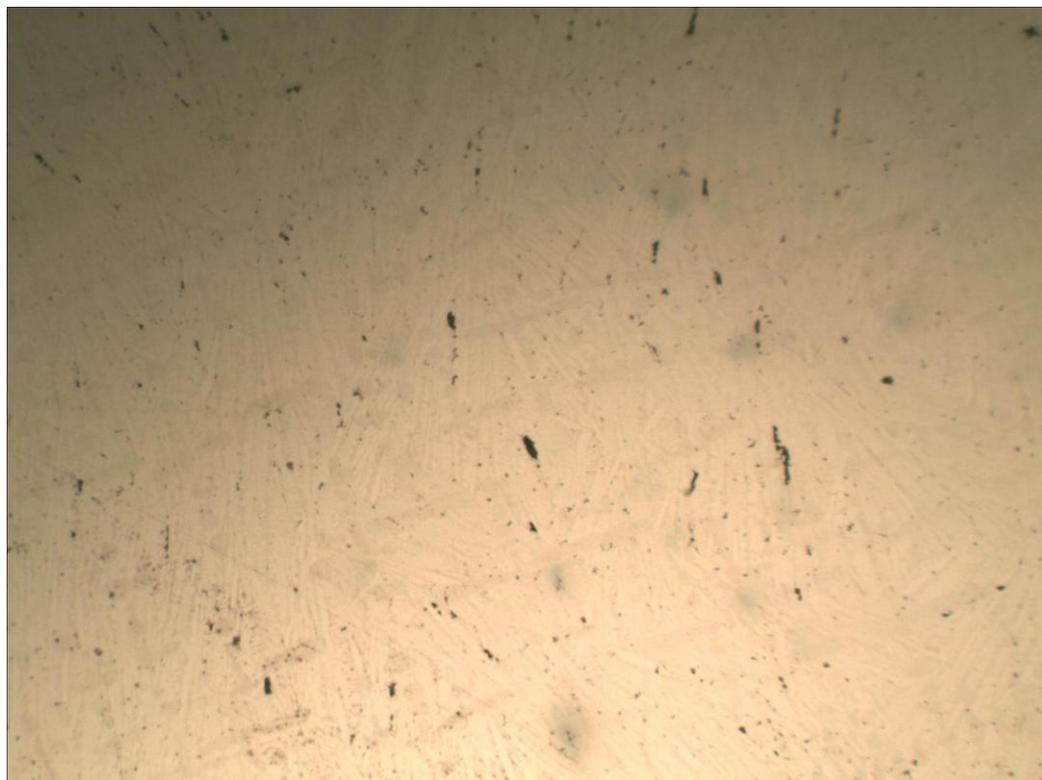


Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

Микроструктура образца № 11 (20) является заэвтектическим белым чугуном, состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледебурита.

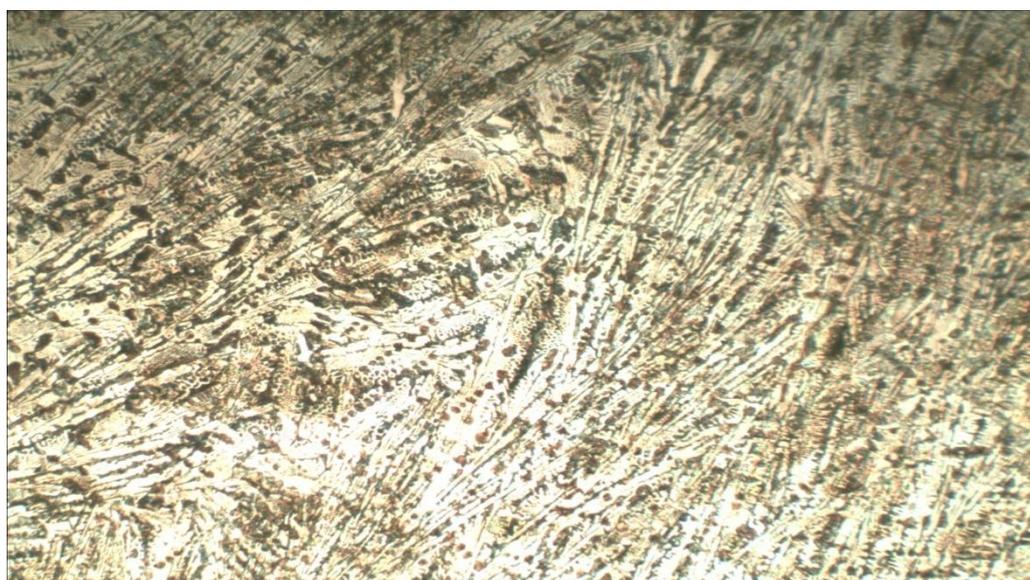
Образец 12 (21).

Рисунок 24 - Образец 12 (21) до травления.



Данный образец состоит из металлической основы с отсутствующими включениями графита, из чего следует, что данный образец - белый чугун.

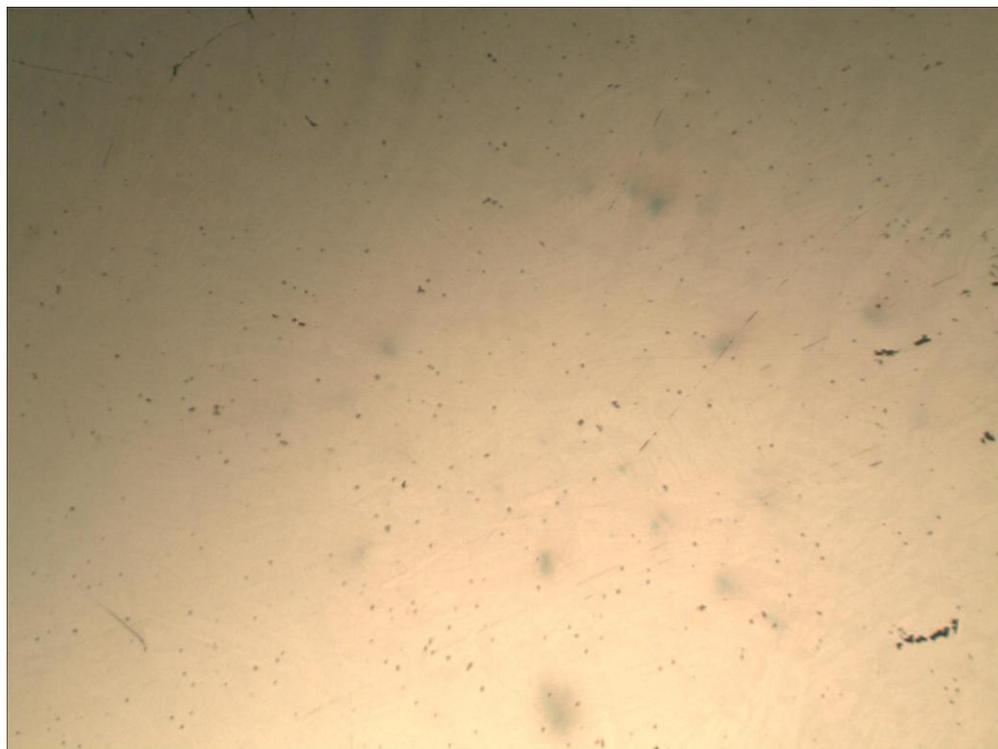
Рисунок 25 - Образец 12 (21) после травления.



Микроструктура образца № 12 (21), как и нескольких предыдущих, является заэвтектическим белым чугуном, состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледебурита.

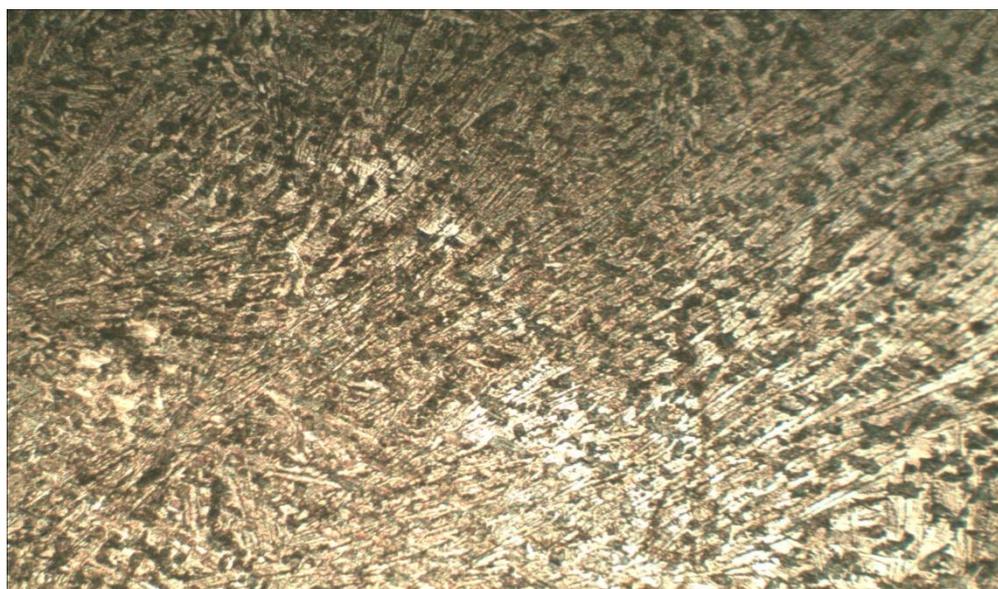
Образец 13 (23).

Рисунок 26 - Образец 13 (23) до травления.



Согласно данному рисунку, образец представляет собой белый чугун, состоит из металлической основы с отсутствующими включениями графита.

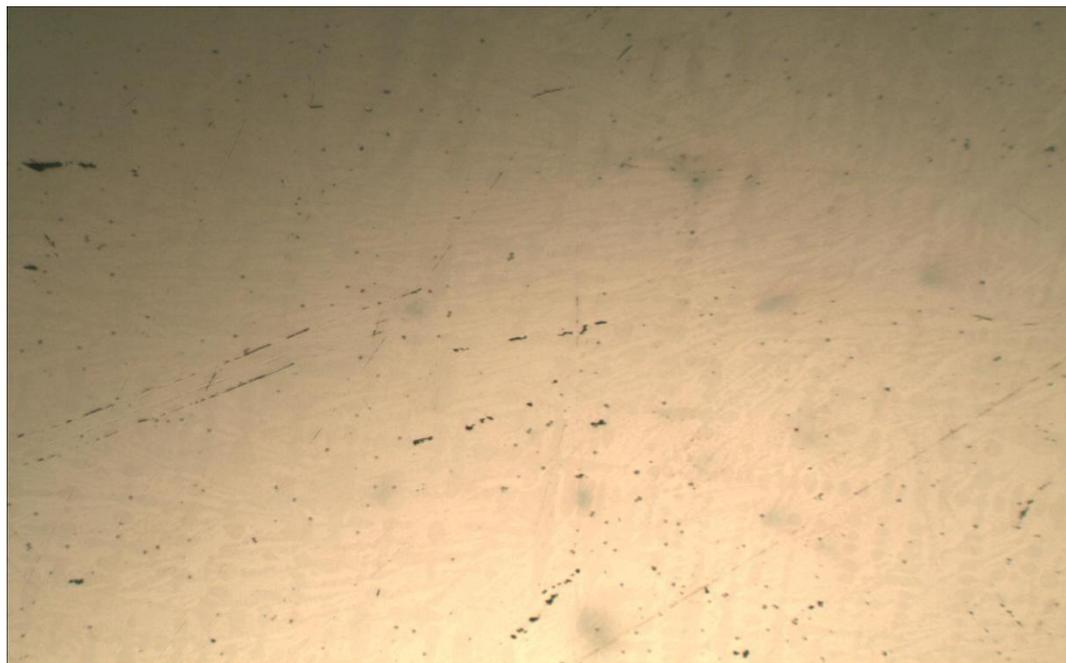
Рисунок 26 - Образец 13 (23) после травления.



Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

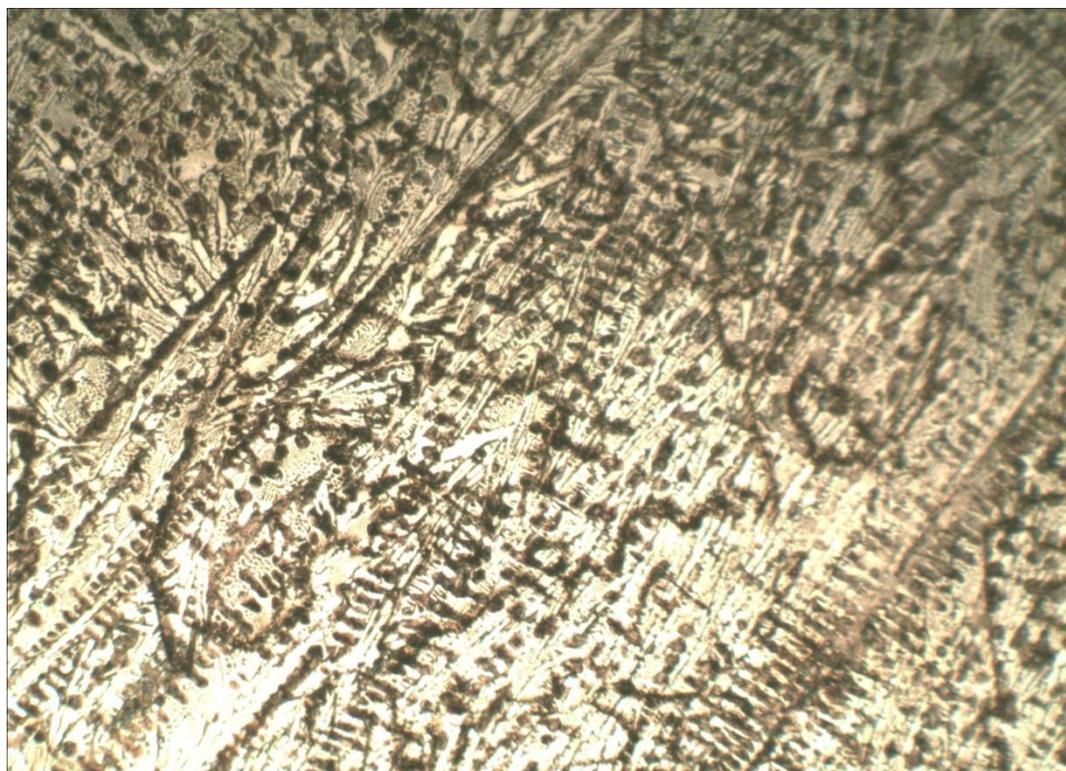
Образец 14 (24).

Рисунок 27 - Образец 14 (24) до травления.



Данный образец состоит из металлической основы с отсутствующими включениями графита, из чего следует, что данный образец - белый чугун.

Рисунок 27 - Образец 14 (24) после травления.



Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

ВКР. 2019 -ТР.ПЗ

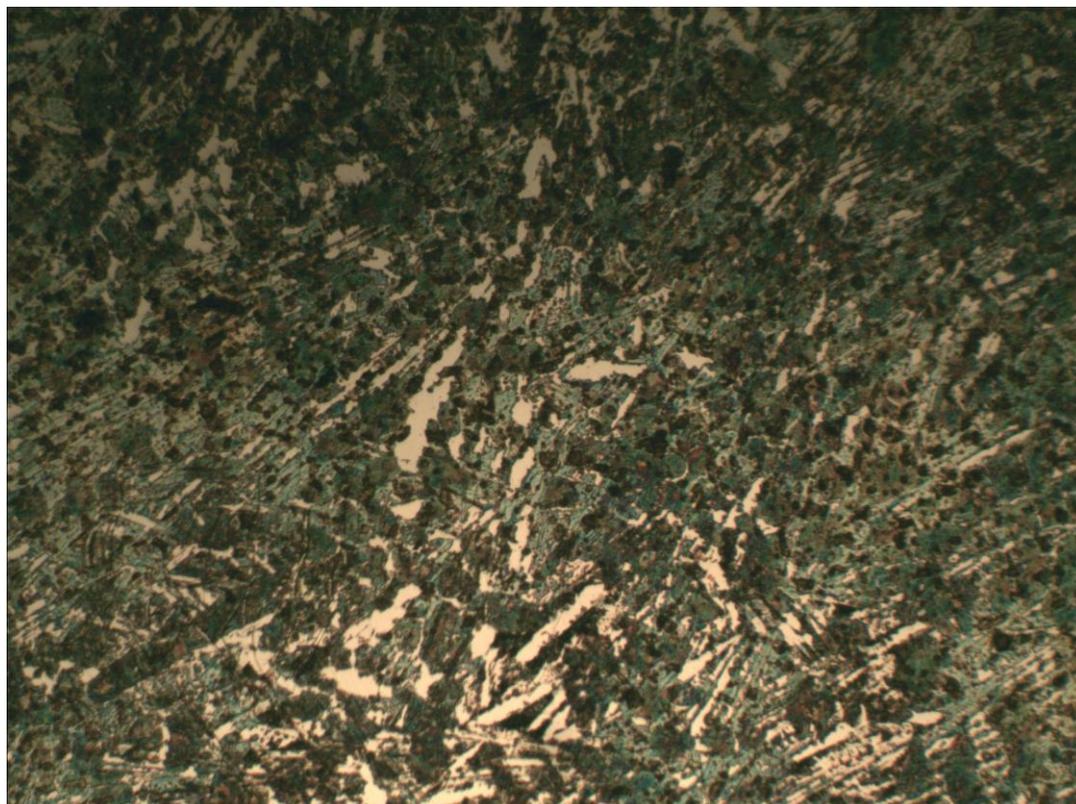
Лист

42

Микроструктура образца № 14 (24), представленная на рисунке 24, как и нескольких предыдущих, является заэвтектическим белым чугуном, состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледебурита.

Образец 15 (1, \varnothing 25).

Рисунок 28 - Образец 15 (1, \varnothing 25) после травления.



Данный образец представляет собой структуру белого доэвтектического чугуна. Чугун с концентрацией углерода 2,14 % до 4,3 %. При комнатной температуре их структура состоит из перлита, ледебурита (темные пятна) на перлитной основе и вторичного цементита. При этом перлит выглядит в виде темных довольно крупных зерен, имеющих преимущественно округлую форму. Ледеburит на перлитной основе выглядит в виде мелких темных сферических зерен. Между зернами перлита и скоплениями ледебурита можно заметить светлый ореол, который представляет собой вторичный цементит.

Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

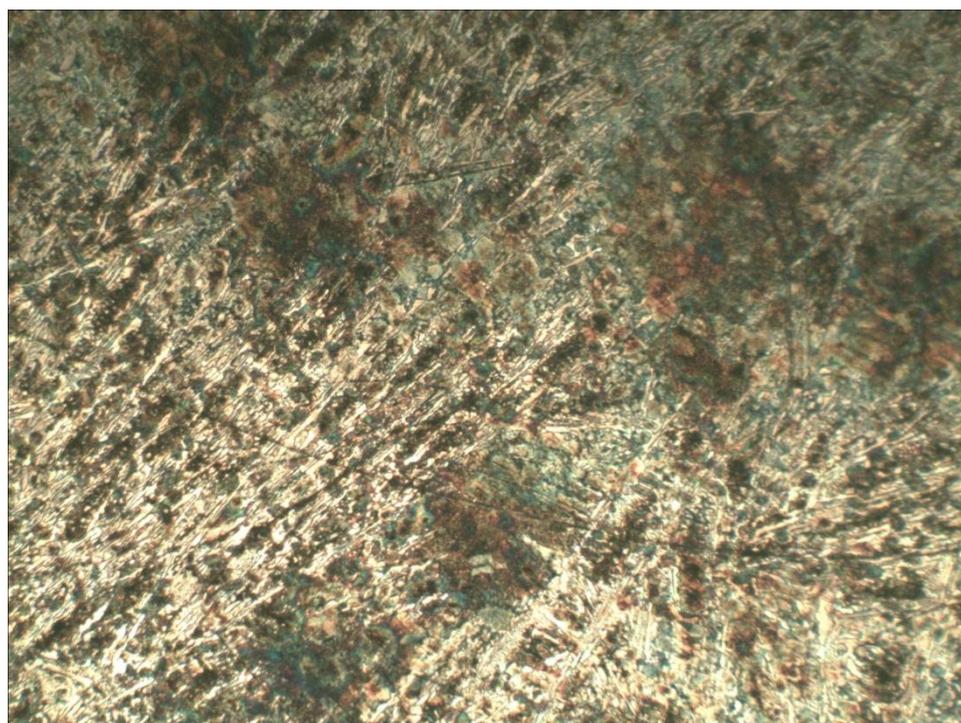
Образец № 16 (2, обычн. сорт с 6 отс).

Рисунок 29 - Образец № 16 (2, обычн. сорт с 6 отс) до травления.



На изображении видно, что образец не проходил процесс травления. Образец состоит из металлической основы с включениями графита, из чего следует, что данный образец - серый чугун.

Рисунок 30 - Образец № 16 (2, обычн. сорт с 6 отс) после травления.



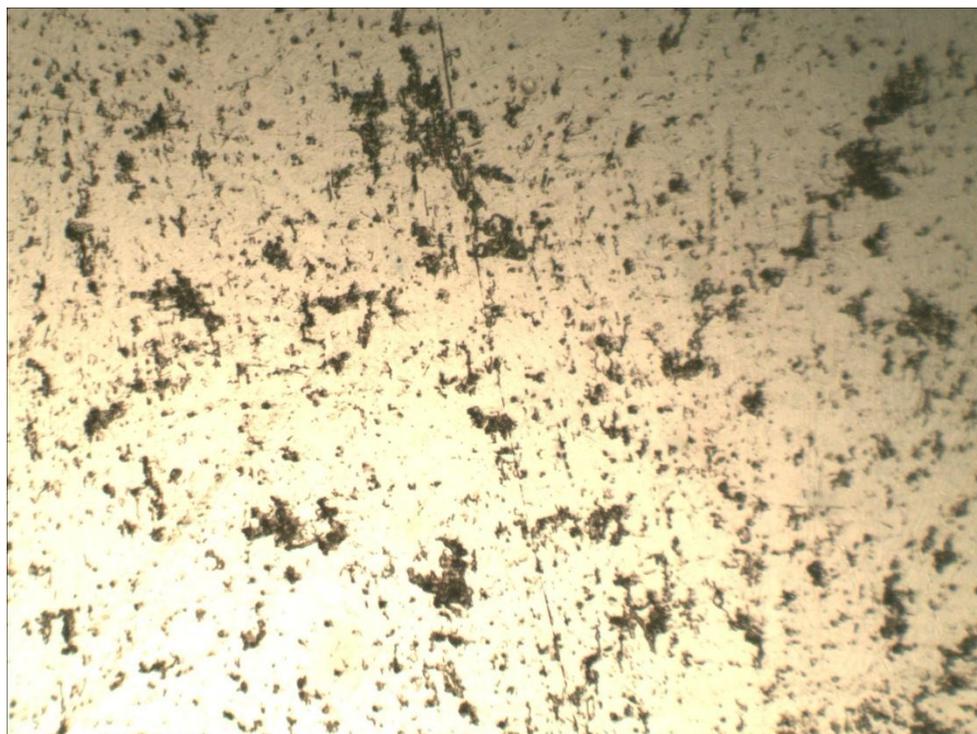
Согласно рисунку 30, данный образец перлитный серый чугун. Перлитные серые чугуны СЧ21, СЧ25 применяют для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: блоки цилиндров, картеры двигателей, поршни цилиндров, станины станков и пр.

Согласно ГОСТ 1412-85 установлены марки отливок из серого чугуна. Серый чугун маркируется буквами СЧ и двузначным числом, показывающим минимальное значение предела прочности на растяжение.

Например, у чугуна марки СЧ25 временное сопротивление при растяжении $\sigma_b = 250$ МПа; твердость НВ180-250 и структура металлической основы – Ф + П.

Образец 17 (2, \varnothing 25).

Рисунок 31 - Образец 17 (2, \varnothing 25) до травления.



Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

В образце 17, представленному на рисунке 31, хорошо видны включения хлопьевидного графита, который указывает на то, что это микроструктура ковкого чугуна. Металлическая основа ковкого чугуна - ферритная, содержащая в себе углерод отжига. При рассмотрении в микроскоп нетравленного микрошлифа ковкого чугуна хорошо видны включения хлопьевидного графита (углерода отжига).

Рисунок 32 - режимы отжига ковкого чугуна

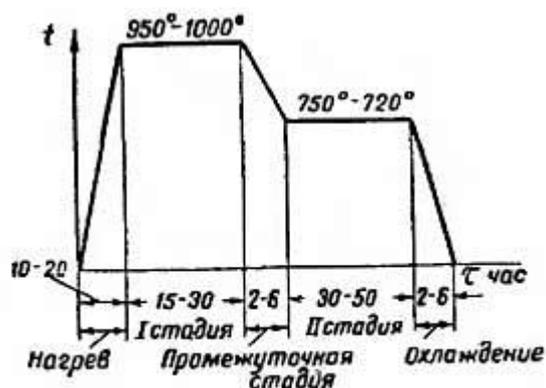
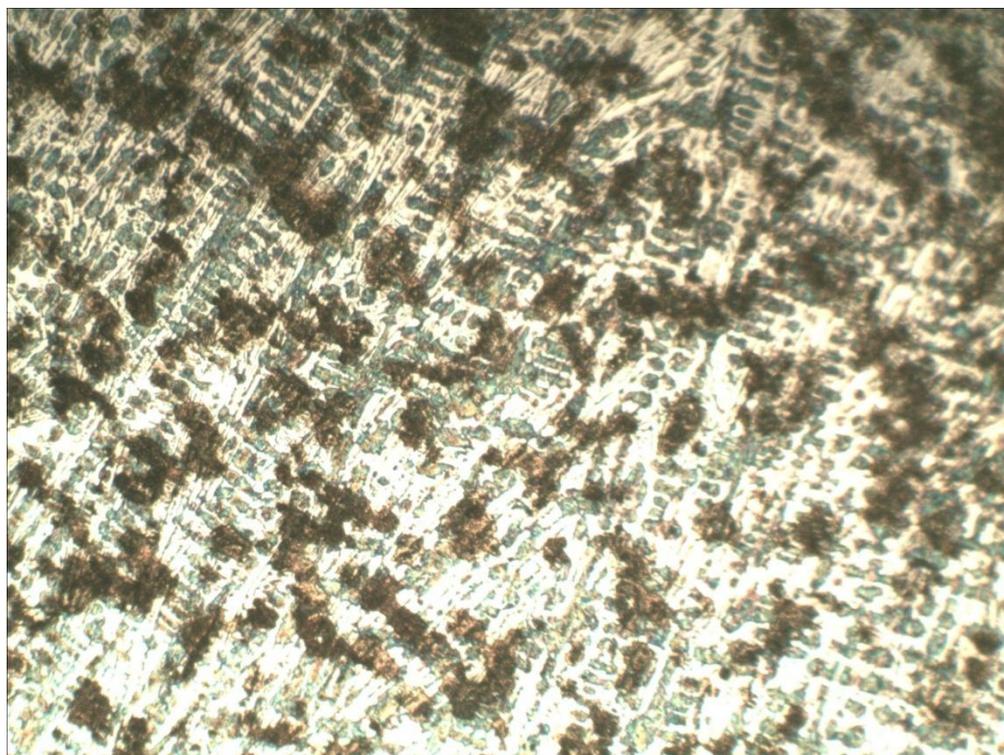


Рис. 76. Режимы отжига ковкого чугуна

Рисунок 33 - Образец 17 (2, \varnothing 25) после травления.



Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата
------	------	------------	---------	------

Структура - феррит и графит хлопьевидной формы.

Химический состав белого чугуна, предназначенного для отжига, выдерживают в довольно узких пределах: 2,2% углерода, 0,7-1,5% кремния; 0,2-0,6% марганца, не более 0,2% фосфора и не более 0,1% серы. Малое содержание углерода в ковком чугуне позволяет получить высокие прочностные характеристики и пластичность.

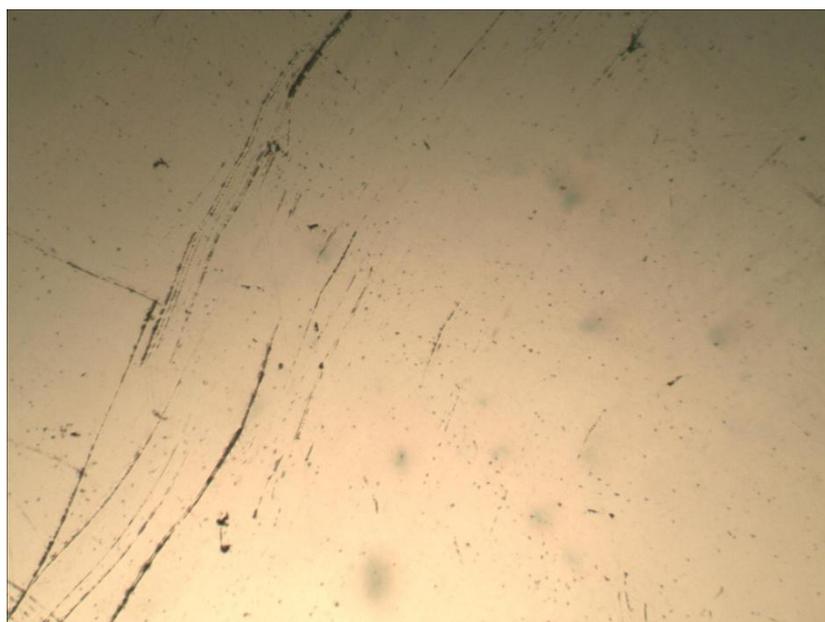
Толщина сечения отливки не должна превышать 40-50 мм, при большом размере отливок в их сердцевине образуется пластинчатый графит, и чугун становится непригодным для отжига.

Отливки из ковкого чугуна применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках.

Маркировка ковких чугунов по ГОСТ 1215 – 79: буквами «КЧ» – ковкий чугун и цифрами; первые две цифры указывают временное сопротивление, вторые – относительное удлинение. Например: КЧ 37-12 – ковкий чугун, предел прочности при растяжении $\sigma_B = 370$ МПа, относительное удлинение $\delta = 12$ %.

Образец № 18 (9 ø 12 от 25.09.2014)

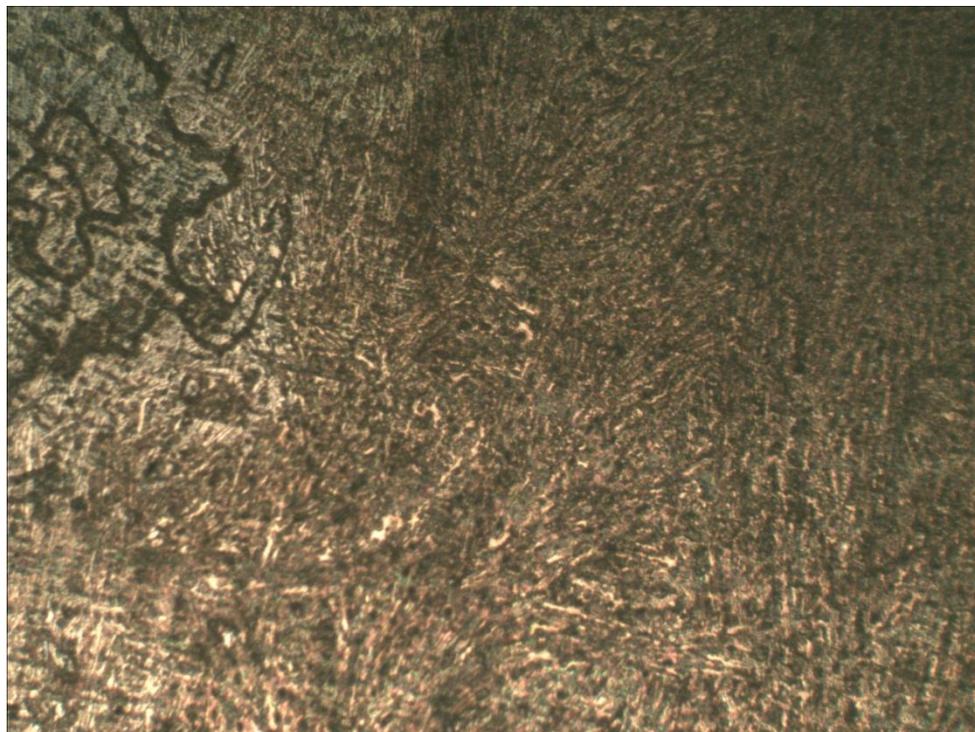
Рисунок 34 - Образец 18 (9 ø 12 от 25.09.2014) до травления.



Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

На изображении видна металлическая основа с мелкими вкраплениями графита. Более подробный анализ микроструктуры образца возможен после проведения операции травления.

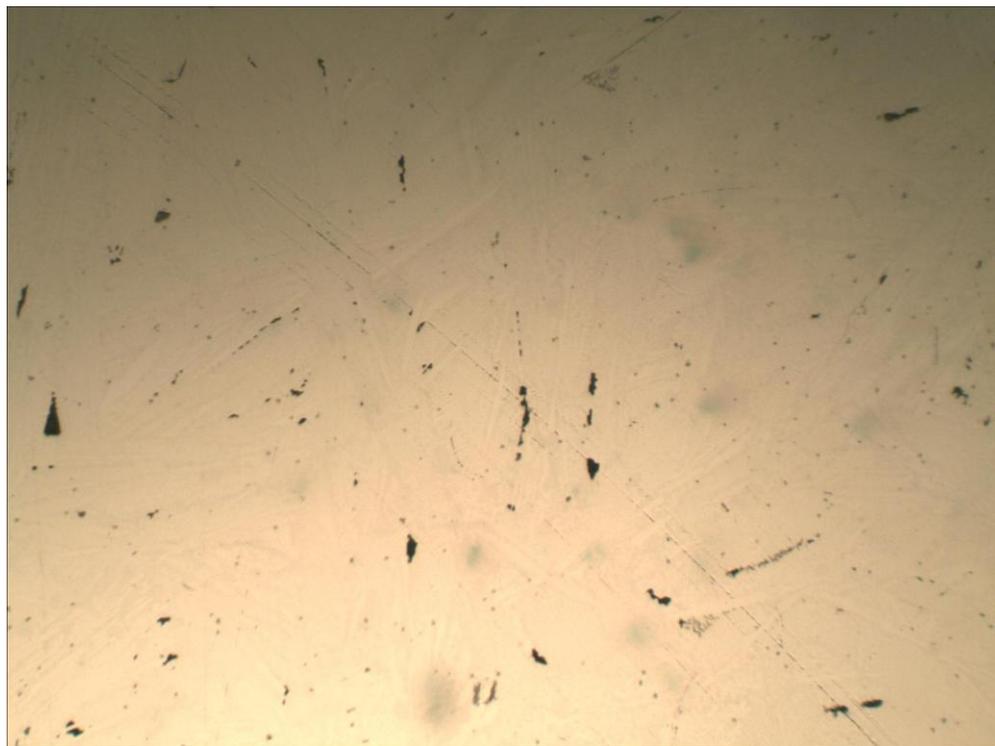
Рисунок 35 - Образец 18 (9 Ø 12 от 25.09.2014) после травления.



После проведения травления данного образца становится видно, что образец имеет структуру перлитного серого чугуна (видны тонкие пластинки графита и темные вкрапления перлита). В перлите содержится 0,7-0,8% связанного углерода. Так как перлит содержит 0.8 % С, то такое количество углерода в перлитном чугуне находится в связанном состоянии, а остальное количество - в свободном состоянии (т.е. в виде графита). Перлитную структуру имеют чугуны марок СЧ25-СЧ45. Перлит имеет достаточно высокую твердость. Чугуны, имеющие перлитную структуру, обладают высокими механическими свойствами. Они применяются для изготовления отливок, испытывающих динамические нагрузки, например, станины станков, шестерни, блоки цилиндров, поршневые кольца и др.

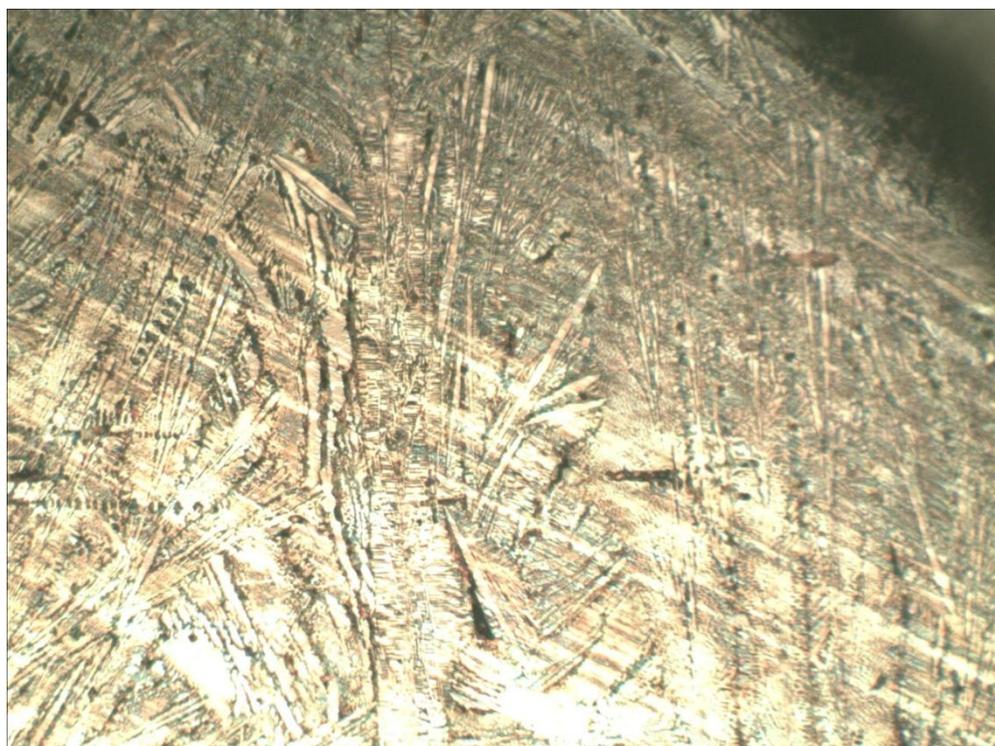
Образец № 19 (9).

Рисунок 36 - Образец № 19 (9) не травленный.



Согласно данному рисунку, образец представляет собой белый чугун, состоит из металлической основы с отсутствующими включениями графита.

Рисунок 36 - Образец № 19 (9) после травления.

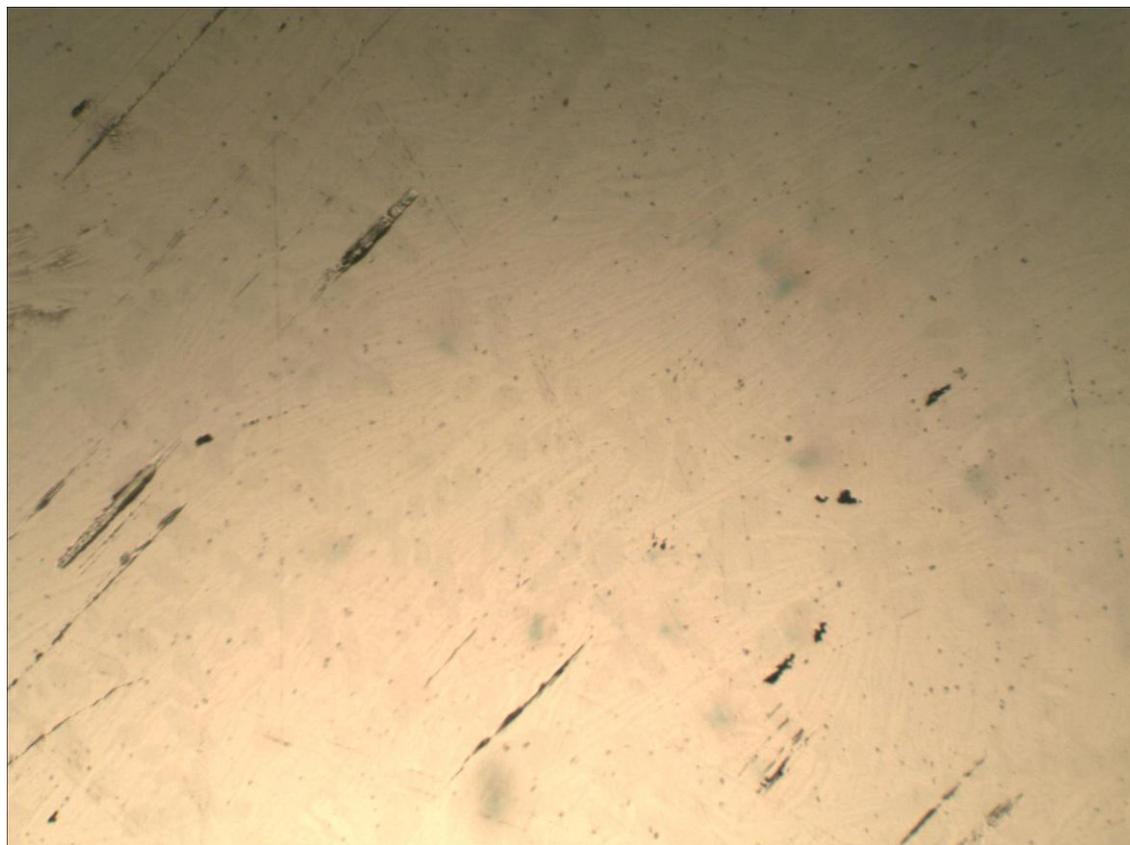


Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

Микроструктура образца № 19 (9), является заэвтектическим белым чугуном, состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледебурита.

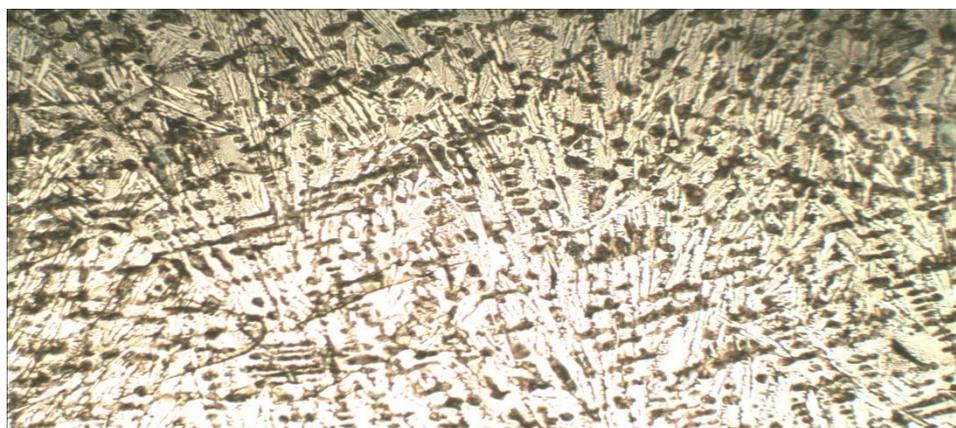
Образец № 20 (25).

Рисунок 37 - Образец № 20 (25) перед травлением.



Данный образец имеет металлическую основу, в которой отсутствуют включения графита, из чего следует, что этот образец состоит из белого чугуна.

Рисунок 38 - Образец № 20 (25) после травления.

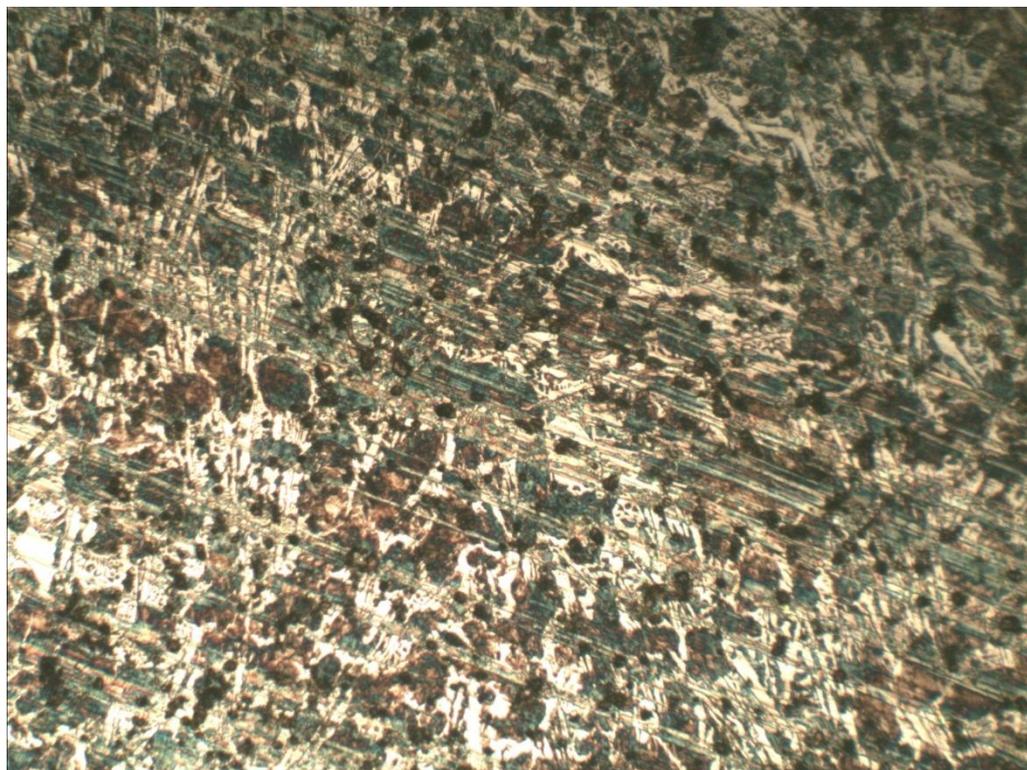


Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

Микроструктура образца № 20 (25), является заэвтектическим белым чугуном, состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледебурита.

Образец № 21 (2, ø 32).

Рисунок 39 - Образец № 21 (2, ø 32) после травления.



Данный образец представлен уже после травления, поэтому на изображении лучше видна его структура.

Структура исследуемого образца является структурой высокопрочного чугуна, о чем говорят шаровидные (в отличие от хлопьевидных) графитовые включения.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом - это конструкционный материал, обладающий высокими прочностными свойствами и хорошими эксплуатационными характеристиками. Как известно, в чугунах форма зерна графита оказывает определяющее влияние на прочностные характеристики материала. В высокопрочном чугуне графитные включения имеют шаровидную форму. Вследствие чего по механическим свойствам значительно превосходит серый чугун и успешно конкурирует со сталью.

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		51

Образец 22 (хром 3, \varnothing 16).

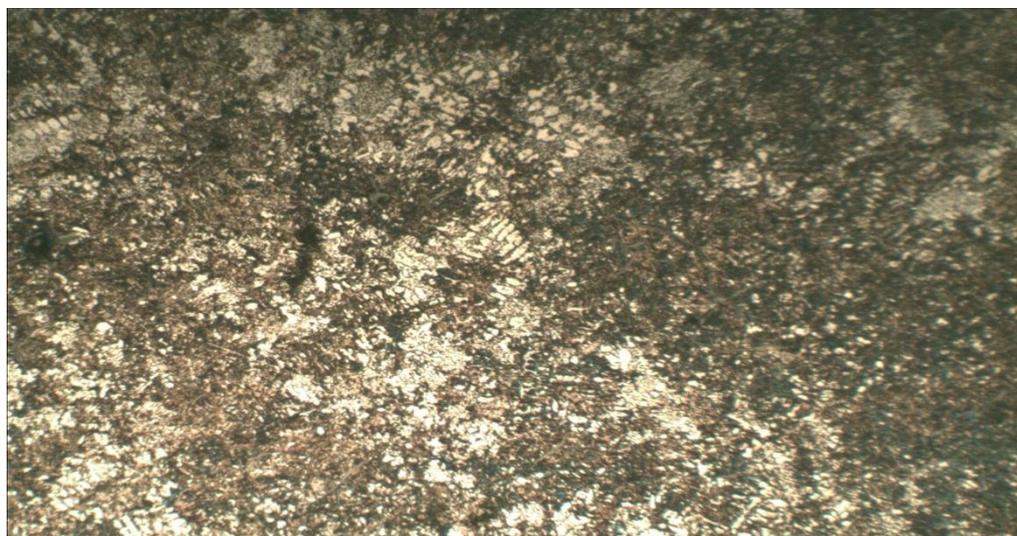
Рисунок 40 - Образец 22 (хром 3, \varnothing 16) травленный.



Образец № 22 является эвтектическим (4,3% С), белым чугуном. Из названия образца можно понять, что это модифицированный белый чугун с добавлением хрома. Хром - главный ЛЭ белых чугунов. Его содержание в них достигает 35%. При содержании $Cr > 8\%$ в расплаве происходит замена ледебурита эвтектикой. Содержание Cr тем выше, чем больше в чугуне C .

Образец 23 (хром 1, \varnothing 16).

Рисунок 41 - Образец 23 (хром 1, \varnothing 16) после травления.

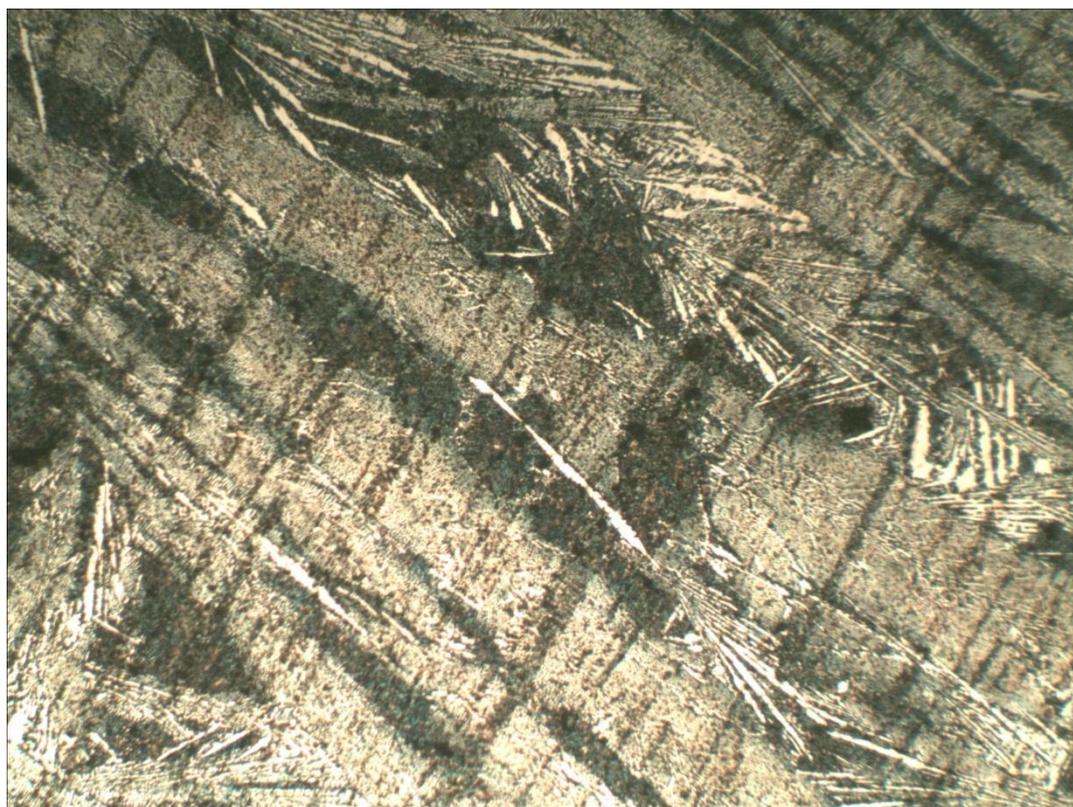


Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

Согласно изображению, данный образец является доэвтектическим, легированным хромом, белым чугуном (содержит от 2,14 до 4,3 % углерода), состоит из перлита, ледебурита превращенного и цементита вторичного, который может кристаллизоваться в виде тонких пластинок или зёрен.

Образец 24 (хром 2, \varnothing 16).

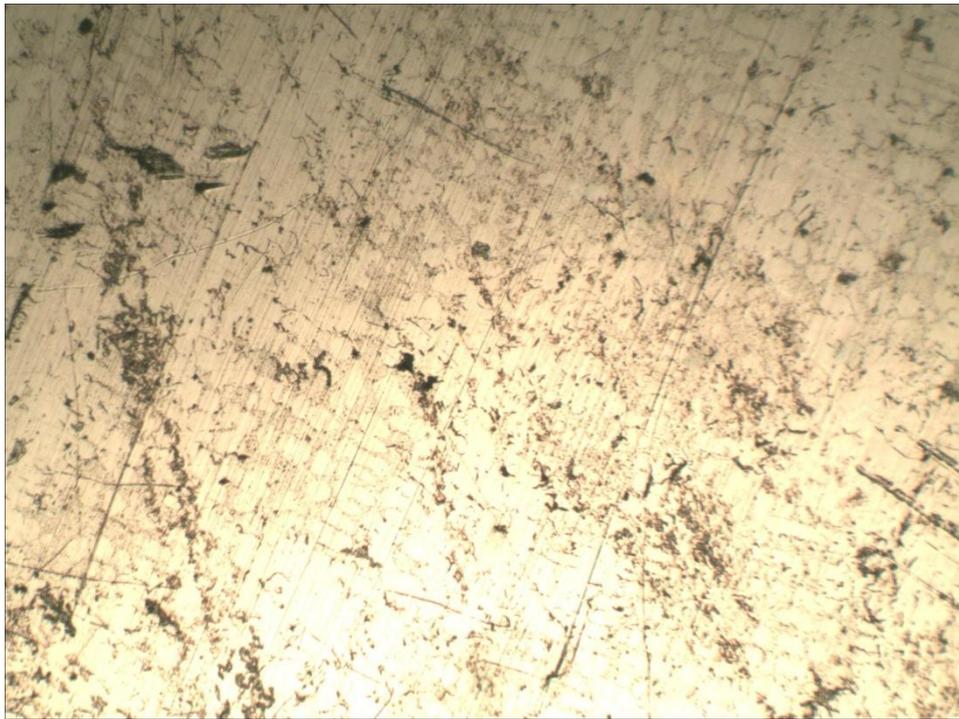
Рисунок 42 - Образец 24 (хром 2, \varnothing 16).



Представленный образец является заэвтектическим белым чугуном, содержащий свыше 4,3% углерода, имеющий структуру цементита первичного и ледебурита превращенного. Кристаллы первичного цементита имеют форму вытянутых плоских дендритов.

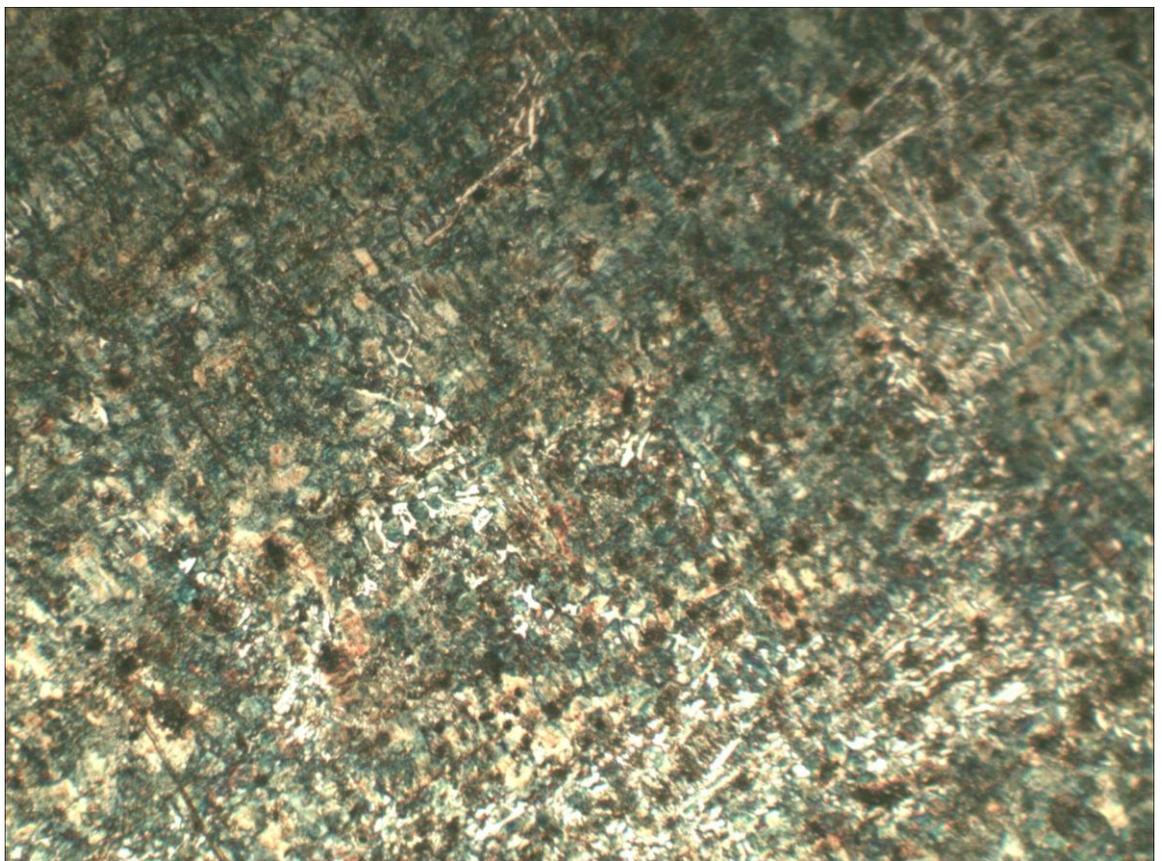
Образец 25 (экспериментальный, с новой чашей).

Рисунок 43 - Образец 25 (экспериментальный, с новой чашей) не травленный.



Согласно изображению, в представленном образце присутствуют графитовые включения, что говорит о том, что это серый чугун.

Рисунок 44 - Образец 25 (экспериментальный, с новой чашей) травленный.



Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата

Данный образец является перлитным чугуном - из общего количества углерода около 0,8 % остаётся в связанном состоянии, а остальной графитизирован. Получается такой чугун в том случае, если графитизации подвергается только первичный и вторичный цементит, а цементит перлита не распадается. Структура - перлит и включения графита.

					ВКР. 2019 -ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		55

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В зависимости от механических свойств чугуна, технологи делают выбор, какой именно чугун использовать для изготовления чугунных мелющих тел.

Для того, что бы сделать правильный выбор, нужно изучить микроструктуру чугунов, их механические свойства и химический состав. Например:

1. Серый, ковкий и высокопрочный чугуны отличаются друг от друга в основном формой графитовых включений. Это и определяет различие механических свойств указанных чугунов.

2. У серого чугуна графит (при рассмотрении под микроскопом) имеет форму пластинок.

3. Графит обладает низкими механическими свойствами. Он нарушает сплошность металлической основы и действует как надрез или мелкая трещина. Чем крупнее и прямолинейнее формы графитовых включений, тем хуже механические.

4. Основное отличие высокопрочного чугуна заключается в том, что графит в нем имеет шаровидную (округленную) форму. Такая форма графита лучше пластинчатой, так как при этом значительно меньше нарушается сплошность металлической основы.

5. Ковкий чугун получают длительным отжигом отливок из белого чугуна, в результате которого образуется графит хлопьевидной формы - углерод отжига.

В зависимости от механических свойств чугуна, технологи делают выбор, какой именно чугун использовать для изготовления чугунных мелющих тел.

Для улучшения физических свойств, чугуны довольно часто легируют, т.е добавляют в расплав чугуна легирующие элементы.

Легированные чугуны получают при введении в их состав легирующих компонентов (Cr, Si, Al, Ni, Mn и др.)

					ВКР. 2019 - 3.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		56

Легирование производится для получения каких либо особых свойств: износостойкости, жаростойкости, коррозионной стойкости и др. Из легированных чугунов можно выделить следующие группы:

- износостойкие чугуны;
- жаростойкие чугуны;
- жаропрочные чугуны;
- коррозионностойкие чугуны;
- антифрикционные чугуны.

Легированные чугуны маркируются по типу: первые буквы означают вид чугуна: Ж-жаростойкий, А-антифрикционный, Ч-жаропрочный или коррозионностойкий. Следующие буквы обозначают наличие легирующих элементов (Х-хром, С-кремний, Ю-алюминий, Д-медь, Н-никель, Г-марганец, М-молибден, В-вольфрам). Цифры после букв указывают примерное содержание легирующего элемента в процентах. Если цифры нет, то содержание легирующего элемента соответствует ~1 %. Например, ЖЧЮ7Х2- жаростойкий чугун, алюминия -7 %, хрома -2 %.

Поэтому изучение микроструктуры чугунных мелющих тел позволяет подобрать оптимальный состав чугуна, для их последующего изготовления. Оптимальный подбор химического состава чугуна позволяет выплавлять чугунные мелющие тела с оптимальными физическими и химическими свойствами, что ведет к увеличению времени работы данных отливок. Что в свою очередь позволяет снизить затраты на производство новых мелющих тел.

					ВКР. 2019 - 3.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		57

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шевельков В.В., Былеев А.С. Материаловедение. Учебное пособие. Псков: ППИ, 2006. 97с.
2. Гуляев А.П. Металловедение: учебник для вузов/А.П. Гуляев. М.: Металлургия, 2006. 554 с.
3. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова и др. М.: Машиностроение, 2005. 592с.
4. Кнорозов Б.В. Технология металлов и материаловедение / Б.В. Кнорозов, Л.Ф. Усова и др. М.: Металлургия, 1987. 800 с.
5. Кузьмин Б.А. Технология металлов и конструкционные материалы / Б.А. Кузьмин. М.: Металлургия, 1989. 494 с.
6. Материаловедение / под общ. ред. В.Н. Арзамасова. М.: Металлургия 2005. 384 с.
7. <https://studfiles.net/preview/5569233/page:21/>
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Чугун>
9. <https://poznayka.org/s76703t1.html>
10. <https://prompriem.ru/chugun/kovkij>
11. <http://spravconstr.ru/chugunyi/pe>
12. <https://www.ngpedia.ru/id600749p1>.
13. <https://narfu.ru/upload/iblock/6d7>
14. <https://lektsia.com/1x1ab8.html>
15. https://studopedia.su/8_43599_mikrostruktura-i-svoystva-chugunov.html

					ВКР. 2019 - 3.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		58