

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора ЮТИ ТПУ по УР
_____ В.Л. Бибик
« _____ » _____ 2014 г.

Валуев Д.В.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ОТОЖЖЕННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ И БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Термическая обработка сталей и сплавов» для бакалав-
ров по направлению 22.03.02 «Металлургия»

Издательство
Юргинского технологического института (филиала)
Томского политехнического университета
2014

УДК 620.18: 669. 14. 018. 252

Структура и свойства отожженных углеродистых сталей и белых чугунов: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Термическая обработка металлов и сплавов» для бакалавров по направлению 150400 «Металлургия» очной формы обучения / Сост. Д.В. Валув. – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета, 2014. – 15с.

Рецензент

доктор технических наук, доцент

С.Б. Сапожков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
МЧМ ЮТИ ТПУ
«__» _____ 2011 г.

Зав. кафедрой МЧМ

канд. тех. наук,

_____ *А.А. Сапрыкин*

Председатель

учебно-методической комиссии

_____ *И.С. Сулимова*

Рецензент

Кандидат технических наук,

доцент

С.Б. Сапожков

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, ЮТИ ТПУ, 2014

© Валув Д.В., 2014

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение структуры и свойств отожженных углеродистых сталей и белых чугунов, различных марок, взаимосвязи между составом, структурой и свойствами.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

1. Металлографический микроскоп, ЛабоМет - 1
2. Прибор для измерения твердости металла по методу Роквелла
3. Комплект образцов отожженных углеродистых сталей и белых чугунов,
4. Набор фотографий микрошлифов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Углеродистыми сталями и чугунами называют сплавы на основе железа, содержащие в качестве основного дополнительного элемента углерод, а также кремний, марганец, серу, фосфор и некоторые другие примеси.

Для изучения структурных составляющих железоуглеродистых сплавов рассмотрим диаграмму состояния сплавов системы железо-углерод (рис. 2).

Промышленные углеродистые стали содержат менее 2 % С, а также, в зависимости от марки и качества до 0,4 % Si, до 0,8 % Mn, до 0,055 % S, до 0,045% P.

В практически используемых углеродистых сталях содержание углерода не превышает 1,4%.

Структура отожженных сталей определяется главным образом содержанием углерода. Все стали в широком диапазоне повышенных температур (выше линии GSE) могут находиться в однофазном аустенитном состоянии, их структура при комнатной температуре определяется происходящими при охлаждении фазовыми превращениями.

Аустенит - твердый раствор углерода в Fe γ .

Сплавы, содержащие, менее 0,006% углерода являются однофазными и имеют структуру феррита. Феррит - твердый раствор углерода в Fe α . Максимальная растворимость углерода в феррите около 0,006% при 20⁰С и 0,025 % при 727⁰С. Феррит магнитен и весьма пластичен. Твердость феррита 80-90 НВ.

Феррит имеет зернистое (полиэдрическое) строение. В структуре литой или перегретой среднеуглеродистой стали, наблюдаются пластинчатые выделения феррита в перлите. Такая структура называется

видманштеттовой. В таких же сталях наблюдаются и выделения феррита по границам зерен перлита.

Сплавы с содержанием углерода более 0,006% при комнатной температуре состоят из двух фаз — феррита и цементита.

Небольшое увеличение содержания углерода, даже до сотых долей процента, вследствие незначительной его растворимости в α -железе (до 0,006 % до 20°C) вызывает образование второй фазы - цементита. При содержании углерода примерно до 0,025 % цементит присутствует в структуре в относительно небольших количествах. Этот третичный цементит, выделяющийся из феррита при охлаждении вследствие уменьшения растворимости углерода в α -железе. Третичный цементит располагается, главным образом по границам зерен феррита, что понижает пластичность, и вязкость низкоуглеродистой стали.

Цементит - химическое соединение железа с углеродом Fe_3C , содержит углерода 6,67 %. Цементит имеет сложную кристаллическую решетку, очень высокую твердость 800 НВ и весьма хрупок.

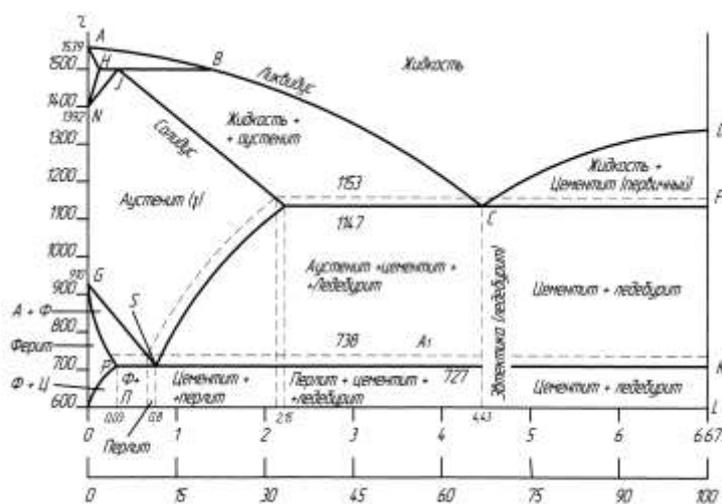


Рис. 2 Диаграмма состояния FeC

В структуре сплавов с увеличением содержанием углерода (более 0,025%) появляется перлит (эвтектоид). Перлит представляет собой смесь двух фаз - феррита и цементита. Перлит образуется при медленном охлаждении из аустенита при $t = 727^{\circ}C$ и содержит 0,8% углерода.

В зависимости от формы частиц цементита перлит может быть пластинчатым или зернистым. Твердость пластинчатого перлита средней дисперсности 250 НВ, зернистого 180 НВ. Количество перлита возрастает пропорционально увеличению содержания углерода. Одновременно с увеличением содержания углерода растет твердость сплавов.

В зависимости от содержания углерода различают, стали доэвтектоидные (от 0,025 до 0,8 % С), эвтектоидные (0,8 % С) и заэвтектоидные (от 0,8 % С до 2,14 % С).

Структура доэвтектоидной стали, состоит из феррита и перлита, эвтектоидная сталь имеет структуру - перлит. Структура заэвтектоидной стали - перлит плюс цементит вторичный. Цементит вторичный образуется, в структуре стали при медленном охлаждении в интервале температур между линиями SE и PK, располагаясь по границам зерен перлита, образуя так называемую сетку вторичного цементита.

В стали с содержанием углерода до 0,1 - 0,15% еще сохраняются включения третичного цементита.

Перлит как двухфазная структура при воздействии реактива (например, раствора азотной кислоты) на микрошлиф травится интенсивнее, чем феррит. Поэтому при рассмотрении под микроскопом перлит имеет вид темных включений неоднородного строения. Вследствие значительной дисперсности строение перлита можно отчетливо различать только при сравнительно больших увеличениях - более чем в 500 раз. Строение тонкопластинчатого перлита (сорбита, троостита) отчетливо различается в электронном микроскопе.

В стали перлит в большинстве случаев имеет пластинчатое строение: темные пластинки видимые в перлите, представляют собой тени, отбрасываемые на участки феррита выступающими после травления участками (пластинками) цементита. Наблюдается также перлит зернистого строения. Сталь с такой структурой перлита отличается лучшей пластичностью и обрабатываемостью резанием. Ее стараются получить особенно в заэвтектоидной стали. Морфология перлита в доэвтектоидных и эвтектоидных сталях определяется условиями выполнения отжига.

В заэвтектоидной стали, основной структурной составляющей является перлит. Наряду с перлитом присутствует и вторичный цементит, выделяющийся из аустенита при охлаждении, вследствие уменьшения растворимости углерода в γ -железе. При правильном выполнении теплового режима предшествовавшей обработки (прокатки,ковки,отжига) вторичный цементит присутствует в виде мелких зерен, сравнительно равномерно распределенных в основной массе перлита. Возможно также выделение вторичного цементита в виде сетки по границам зерен перлита. Оно происходит в результате окончания горячей обработки при излишне высокой температуре или отжига с нагревом выше точки $A_{ст}$ (вместо принятого нагрева на 50-70°C выше A_1) и является значительным дефектом заэвтектоидной стали, ухудшающим ее прочность и вязкость.

Еще одной, но более редко встречающейся формой выделения цементита, также сильно ухудшающей механические свойства, является образование его в виде игл. Оно может быть следствием значительного перегрева.

В табл. 4 приведены данные о свойствах отдельных структурных составляющих.

Таблица 4

Свойства структурных составляющих

Структурные составляющие	Твердость, НВ кг/мм ²	Предел прочности	Относительное сужение, %	Относительное удлинение, %
Феррит	80-90	190-250	60-75	40-50
Цементит	800	до 30,0	-	-
Перлит (пластинчатый)	250	860-900	10-15	9-12
Перлит (зернистый)	180	650-700	18-25	18-25

Механические свойства отожженных сталей зависят от их состава и, в первую очередь от содержания углерода.

Даже при малом изменении содержания углерода оказывает заметное влияние на изменение свойств стали. С увеличением углерода в структуре стали растет содержание цементита. В сталях с содержанием углерода до 0,8% структура состоит из феррита и перлита, если углерода более 0,8% в структуре стали, кроме перлита, появляется структурно свободный вторичный цементит.

Феррит имеет низкую прочность, но сравнительно пластичен. Цементит характеризуется высокой твердостью, но хрупок. Поэтому с ростом содержания углерода увеличивается, твердость и прочность и уменьшается, вязкость и пластичность стали (рис.3).

Рост прочности происходит до 0,8-1,0% углерода. При увеличении содержания углерода более 0,8% уменьшается не только пластичность, но и прочность. Это связано с образованием сетки хрупкого цементита вокруг перлитных зёрен, легко разрушающейся при нагружении. По этой причине заэвтектоидные стали, подвергают специальному отжигу, в результате которого получают структуру зернистого перлита.

Углерод оказывает, существенное влияние на технологические свойства стали: свариваемость» обрабатываемость давлением и резанием.

С увеличением содержания углерода ухудшается свариваемость, а также способность деформироваться в горячем и, особенно в холодном состоянии.

Наиболее хорошо обрабатываются, резанием среднеуглеродистые стали, содержащие 0,3 – 0,4% С. Низкоуглеродистые стали, при механической обработке дают плохую поверхность и трудноудаляемую стружку. Высокоуглеродистые стали, имеют повышенную твердость, что снижает стойкость инструмента.

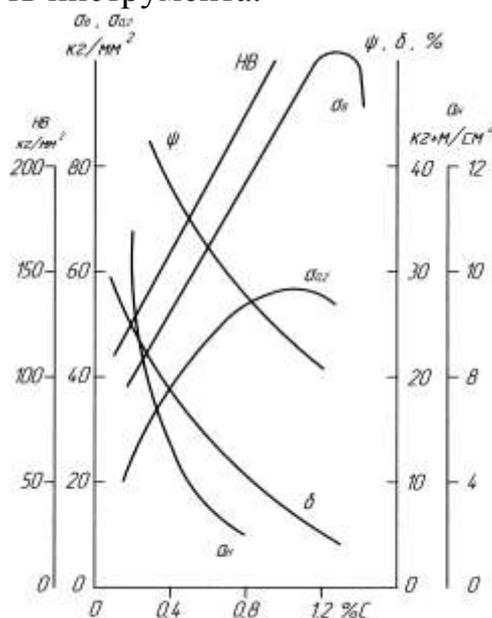


Рис. 3 Влияние углерода на механические свойства

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода больше 2,14% называются чугунами. Согласно диаграмме состояния железо-углерод белые чугуны могут быть доэвтектические ($C < 4,3\%$), эвтектические ($C = 4,3\%$), и заэвтектичные ($C > 4,3\%$).

Для структуры белых чугунов характерно наличие ледебурита. Ледебурит (эвтектика) - смесь аустенита и цементита. Ледебурит образуется при кристаллизации жидкого раствора постоянного состава (4,3% С) при температуре 1147°C. Эвтектическое превращение с образованием ледебурита происходит по следующей реакции:



Ледебурит имеет высокую твердость ~ 1000 НВ и очень хрупок. При температуре $< 727^\circ\text{C}$ состоит из перлита и цементита и называется ледебурит превращенный, т. к. при $t = 727^\circ\text{C}$ аустенит превращается в перлит.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Изучить микроструктуру доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной стали и белых чугунов по фотографиям микрошлифов.

2.2. Зарисовать схемы микроструктур. Обратив особое внимание на взаимное расположение и вид структурных составляющих. Площадь рисунка не менее чем 3x2 см.

2.3. Дать характеристики химического состава, механических свойств и структуры нескольких марок сталей доэвтектоидных, заэвтектоидных, эвтектоидных согласно ГОСТ 380-71, ГОСТ 1050-88, ГОСТ 1435-74. (Приложение 1, 2, 3)

2.4. При помощи микроскопа исследовать стальной микрошлиф, приготовленный в предыдущей работе. Зарисовать микроструктуру, определить состав структурных составляющих, а также примерное содержание углерода, указать марку стали.

2.5. Измерить твердость исследуемого шлифа. Данные по твердости (для всей подгруппы) свести в таблицу и построить график зависимости твердости от содержания углерода. Сделать вывод.

2.6. Оформить отчет.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие сплавы называют углеродистыми сталями?
2. Какие сплавы называют чугунами?
3. От содержания, какого элемента в основном зависит структура отожженных углеродистых сталей?
4. Какое однофазное состояние может быть получено у всех, сталей?
5. Какое превращение претерпевают, все стали?
6. При каких температурах в эвтектоидных сталях выделяется вторичный цементит?
7. Почему увеличение содержания углерода сопровождается ростом прочности отожженных углеродистых сталей?
8. Как зависит пластичность отожженных сталей от содержания углерода?
9. Как классифицируются чугуны по структуре?

Выписка из ГОСТ 380-71
Сталь углеродистая общего назначения
Марки и технические требования

Настоящий стандарт распространяется на углеродистую сталь общего назначения: горячекатаную - листовую, сортовую, фасонную, универсальную. В части норм химического состава стандарт распространяется также на слитки, блюмсы, слябы, сутунки, заготовки, катанные и литые с машин непрерывного литья, трубы, поковки и штамповки, ленту, проволоку, метизы и гнутые профили проката.

1.1. В зависимости от назначения сталь подразделяется на три группы:

А - поставляемую по механическим свойствам;

Б - поставляемую по химическому составу,

1) - поставляемую по механическим свойствам и химическому составу.

1.2. В зависимости от нормируемых показателей сталь каждой группы

подразделяют на категории:

1, 2, 3 - группы А;

1., 2- группы Б;

1, 2, 3, 4, 5, 6 - группы В.

Примечание. Указанные категории не распространяются на сталь толщиной менее 4 мм.

1.3. Сталь изготавливают следующих марок:

группы А – Ст1, Ст2, Ст3, Ст3Г, Ст4, Ст5,

Ст5Г, Ст6;

группы Б – БСт0, БСт1, БОг2, БСт3, БСт3Г, БСт4, БСт5,

БСт5Г, БСт6;

группы В - ВСт1, ВСт2, ВСт3Г, ВСт4, ВСт5, ВСт5Г.

1.4. Сталь всех групп с номерами марок 1, 2, 3, 4 по степени раскисления

изготавливают кипящей, полуспокойной и спокойной; с номерами 3Г, 5, 6 - полуспокойной и спокойной; 5Г - полуспокойной.

Буква Г указывает на повышенное содержание марганца в стали. Стали марок Ст0 и БСт0 по степени раскисления не разделяют.

1.4.1. Степень раскислений всех групп выбирается предприятием изготовителем, - если она не указана в заказе.

1.5. Сталь марок ВСт1, ВСт2, ВСт3 всех категорий и всех степеней раскисления, в том числе и с повышенным содержанием марганца, а по требованию заказчика сталь марок БСт1, БСт2, БСт3 второй категории всех степеней раскисления в том числе и с повышенным содержанием марганца, поставляется с гарантией свариваемости.

1.5.1. Свариваемость обеспечивается технологией изготовления и соблюдением всех требований, предъявляемых к стали группы Б по химическому составу, к стали группы В - по химическому составу и механическим свойствам.

1.5.2. Поставка стали группы Б с гарантией свариваемости оговаривается в заказе и в документе о качестве буквами "св" после обозначения марки стали.

1.5.3. Сталь с содержанием углерода в готовом прокате более 0,22% применяется для сварных конструкций при условиях сварки, обеспечивающих надежность сварного соединения.

1.6. Обозначение марок стали при заказе, клеймении, в документе о качестве, на чертежах и в другой документации - буквенно-цифровое.

1.6.1. Буквы Ст обозначают «сталь», цифры от 0 до 6 - условный номер марки в зависимости от химического состава стали и механических свойств, например: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3.

1.6.2. Буквы Б и В перед обозначением марки обозначают группу стали; групп; Л в обозначении марки стали не указывается, например: БСт3, ВСт3, Ст3.

1.6.3. Для обозначения степени раскисления к обозначению марки стали после номера марки и буквы Г добавляют индексы: кп - кипящая, пс-полуспокойная, сп спокойная, например: Ст3кл, Ст3пс, Ст3сп, БСт3сп, ВСт3сп.

1.6.4. Для обозначения категории стали, к обозначению марки добавляют в конце номер соответствующей категории, например: Ст3пс2, БСт3кп2, ВСт4пс2.

1.6.5. Первую категорию в обозначении марки стали, не указывают, например БСт3кп, ВСт3пс.

1.6.6. При заказе стали, необходимой категории без указания степени раскисления в обозначении марки стали номер марки и категорию отделяют друг от друга тире, например: Ст3 -2, БСт3 - 2.

2.3. Химический анализ стали поплавному анализу ковшевой пробы должен соответствовать нормам, указанным в табл. 4.

Примечания к табл. 4:

1. В стали, выплавленной на базе керченских руд, допускается массовая доля мышьяка до 0,15%, фосфора - до 0,050%.

2 При раскислении полуспокойной стали алюминием, а также несколькими раскислителями (ферросилицием и алюминием, ферросилицием и титаном и др. массовая доля кремния в стали допускается менее 0,05%. Раскисление титаном алюминием и другими раскислителями, не содержащими кремния, указывается в сертификате.

3. Для проката из стали с номерами марок 3, 4, 5, 6 (всех степеней раскисления) 10ЛЩИМОЙ до 12 мм включ. Допускается снижение массовой доли марганца на 0,10%.

4. Массовая доля азота в готовом прокате, а также в слитках, блюмах, слябах и заготовках, предназначенных для дальнейшей прокатки, из кислородно-конверторной и мартеновской стали должна быть не более 0,008%.

5. Для кипящей химически закупоренной стали, в готовом прокате допускается массовая доля кремния до 0,15%, за исключением случаев, когда сталь предназначена для холодной высадки и вытяжки или штамповки, что должно быть оговорено в заказе.

6. В стали, изготовленной скрап-процессом, допускается массовая доля меди до < 0,40%, при массовой доле углерода не более 0,20% и массовой доле хрома, никеля и меди в сумме не более 0,80%.

Приложение 2

Выписка из ГОСТ 1050-88

Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали

Общие технические условия

Настоящий стандарт устанавливает общие технические условия для горячекатаного и кованного сортового проката из углеродистой качественной конструкционной стали марок 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, (55кп) и 60 диаметром или толщиной до 250 мм, а также проката калиброванного и со специальной отделкой поверхности всех марок.

В части норм химического состава стандарт распространяется на другие виды проката, слитки, поковки, штамповки из стали марок, перечисленных выше, а также из стали марок 05кп, 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 11кп, 15кп, 15пс, 18кп, 20кп и 20пс.

Марки и химический состав

Таблица 1

Марка Стали	Массовая доля элементов, %			
	углерода	кремния	марганца	хрома, не более
1	2	3	4	5
05кп	не более 0,06	не более 0,03	не более 0,40	0,10
08ки	0,05-0,12	не более 0,03	0,25-0,50	0,10
08пс	0,05-0,11	0,05-0,17	0,35-0,65	0,10
08	0,05-0,12	0,17-0,37	0,35-0,65	0,10
10кп	0,07-0,14	не более 0,07	0,25-0,50	0,15
10пс	0,07-0,14	0,05-0,17	0,35-0,65	0,15
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15
11кп	0,05-0,12	не более 0,06	0,30-0,50	0,15
15кп	0,12-0,19	не более 0,07	0,25-0,50	0,25
15пс	0,12-0,19	0,05-0,17	0,35-0,65	0,25'
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25
18кп	0,12-0,20	не более 0,06	0,30-0,50	0,15
20кп	0,17-0,24	не более 0,07	0,25-0,50	0,25
20пс	0,17-0,24	0,05-0,17	0,35-0,65	0,25
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25

Выписка из ГОСТ 1435-74

Сталь нелегированная инструментальная

Технические условия

Настоящий стандарт распространяется на углеродистую инструментальную горячекатаную, кованую, калиброванную сталь, сталь со специальной отделкой поверхности.

В частности норм химического состава стандарт распространяется на слитки, лист, проволоку.

Таблица 1

Марки и химический состав

Марки стали	Массовая доля, %				
	углерода	кремния	марганца	серы	фосфора
				не более	
У7	0,66-0,73	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У8	0,76-0,83	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У8Г	0,81-0,89	0,17-0,33	0,33-0,58	0,028	0,030
У9	0,86-0,93	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У10	0,96-1,03	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У11	1,06-1,13	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У12	1,16-1,23	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У13	1,26-1,34	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У7А	0,66-0,73	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025
У8А	0,76-0,83	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025
У8ГА	0,81-0,89	0,17-0,33	0,33-0,58	0,018	0,025

Примечание.

1. К группе качественных сталей относятся марки стали без буквы А, к группе высококачественных сталей, более чистых по массовой доле серы и фосфора, а также примесей других элементов – марки стали с буквой А.

2. Массовая доля серы в стали, полученной методом электрошлакового переплава, не должна превышать 0,013%.

3. Буквы и цифры в обозначении марок сталей обозначают: У-углеродистая, следующая за ней цифра - средняя массовая доля углерода в десятых долях процентах, Г-повышенная массовая доля марганца.

Таблица 2

Механические свойства

Марка стали	Твердость термически Обработанной стали		Твердость образцов после закалки в воде	
	НВ, не более	Диаметр отпечатка, мм, не менее	Температура, °С	HRC, (HRC), не менее
У7, У7А У8, У8А У8Г, У8ГА	187	4,4	800-820 780-800 780-800	63(62)
У9, У9А	192	4,35	760-780	63(62)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Металлургия черных металлов»

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Лабораторная работа № __

Исполнитель
студент,
номер группы

(подпись) И.О. Фамилия
(дата)

Руководитель
(должность,
ученая степень)

(подпись) И.О. Фамилия
(дата)

Юрга 201__

Учебное издание

ВАЛУЕВ Денис Викторович

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ОТОЖЖЕННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ И БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Термическая обработка сталей и сплавов» для бакалав-
ров по направлению 22.03.02 «Металлургия»

Печатается в редакции автора-составителя

**Отпечатано в издательстве ЮТИ ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.11.2014г.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная.

Плоская печать. Усл. печ. л. 0,70. Уч-изд. л. 0,63.

Тираж 20 экз. Заказ . Цена свободная.

ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.

652000, Юрга, ул. Московская, 17.