

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Иркутская государственная сельскохозяйственная академия**

Кафедра «Технический сервис и общеинженерные дисциплины»

С. В. Агафонов, М. В. Охотин

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**МИКРОСТРУКТУРА ЧУГУНОВ
И УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ
В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ**

Учебно–методическое пособие

Иркутск 2014



УДК 620.22+621.7./9+669.1.017:620.18

А 235

Агафонов С. В., Охотин М. В.
А 235 Материаловедение и технология конструкционных материалов. Микроструктура чугунов и углеродистых сталей в равновесном состоянии: учеб.–метод. пособие. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2014. – 25 с.

Рекомендовано к печати научно-методическим советом инженерного факультета Иркутской государственной сельскохозяйственной Академии (протокол № 10 от 19 июня 2014 г.).

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент **П. И. Ильин**, кафедра «Эксплуатация машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения» инженерного факультета ФГБОУ ВПО Иркутской государственной сельскохозяйственной Академии;

кандидат технических наук, доцент **Н.Г. Филиппенко**, кафедра «Технологии ремонта транспортных средств и материаловедения» факультета транспортные системы ФГБОУ ВПО Иркутского государственного университета путей сообщения.

Даны сведения о микроструктуре чугунов (белого, серого, ковкого, высокопрочного) и сталей в равновесном состоянии (доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной).

Учебно-методическое пособие подготовлено на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта и программы дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов», предназначено для бакалавров обучающихся по направлениям подготовки 110800 – «Агроинженерия», 190600 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» очной и заочной формы обучения, 051000 – «Профессиональное обучение» в качестве пособия к лабораторно-практическим занятиям и для самостоятельной работы.

© Агафонов С.В., Охотин М.В., 2014
© Издательство ИрГСХА, 2014

1 МИКРОСТРУКТУРА ЧУГУНОВ И УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы

1 Изучить микроструктуру чугунов и углеродистых сталей в равновесном (отожжённом) состоянии.

2 Установить связь между структурами и диаграммой состояния Fe-Fe₃C.

Приборы и материалы

Металлографический микроскоп МИМ-7, коллекция микрошлифов чугунов и сталей, атлас фотографий микроструктур.

Задание

1 По результатам исследования классифицировать чугуны на белые, серые, ковкие, высокопрочные.

2 Классифицировать стали по структуре на доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные.

Отчётность

1 Дать краткую характеристику чугунам.

2 Зарисовать структуру чугунов: белого, серого, ковкого и высокопрочного.

3 Дать общую характеристику углеродистым сталям в равновесном состоянии.

4 Зарисовать структуру сталей: доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной.

5 По микроструктуре определить примерное содержание углерода в доэвтектоидной стали.

2 МИКРОСТРУКТУРА ЧУГУНОВ

Высокоуглеродистые сплавы железа, содержащие более 2,14 %С, называют **чугунами**.

Практическое применение находят чугуны с содержанием углерода до 4–4,5 %. При большем количестве углерода механические свойства чугуна существенно ухудшаются.

Промышленные чугуны не являются двойными сплавами, а так же, как и стали, содержат постоянные примеси: марганец, кремний, серу и фосфор. Однако в чугунах они присутствуют в больших количествах и оказывают на физико-механические и служебные характеристики чугуна более интенсивное влияние, чем на сталь.

Углерод в чугунах может находиться как в химически связанном состоянии в виде карбида железа (Fe_3C), называемого *цементитом*, так и в свободном состоянии в виде графитных включений.

Процесс образования графита в чугунах называется графитизацией.

Количественное соотношение связанного и свободного углерода зависит от того, в какой мере успевает протекать процесс графитизации при кристаллизации и последующем охлаждении чугуна.

Полнота протекания процесса графитизации зависит главным образом от химического состава и скорости охлаждения чугуна.

Увеличение скорости охлаждения препятствует графитизации и поэтому способствует уменьшению в структуре чугуна доли свободного и увеличению доли связанного углерода и наоборот.

По состоянию углерода чугуны подразделяются на белые и графитизированные (серые).

Белыми называются чугуны, у которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита.

Графитизированными – чугуны, у которых весь углерод или значительная его часть находится в свободном состоянии в виде графитных включений той или иной формы.

В зависимости от формы графитных включений графитизированные чугуны подразделяются на серые, ковкие и высокопрочные (рисунок 1, 2, 3).

Чугуны с пластинчатой формой графита называются серыми, с хлопьевидной – ковкими, с шаровидной – высокопрочными.



Рисунок 1 – Пластинчатая форма графитных включений – серый чугун (шлиф не травлён) ($\times 200$)

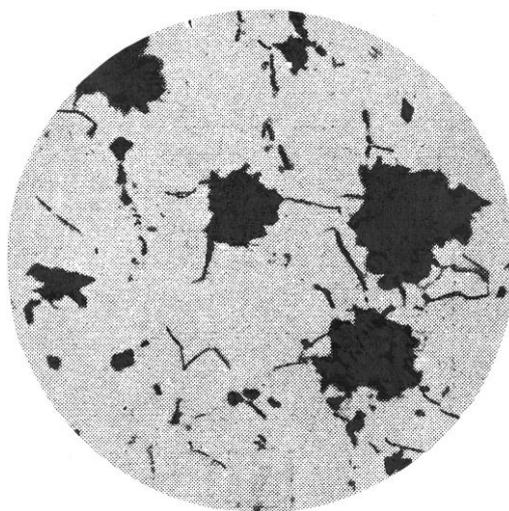


Рисунок 2 – Хлопьевидная форма графитных включений – ковкий чугун (шлиф не травлён) ($\times 200$)

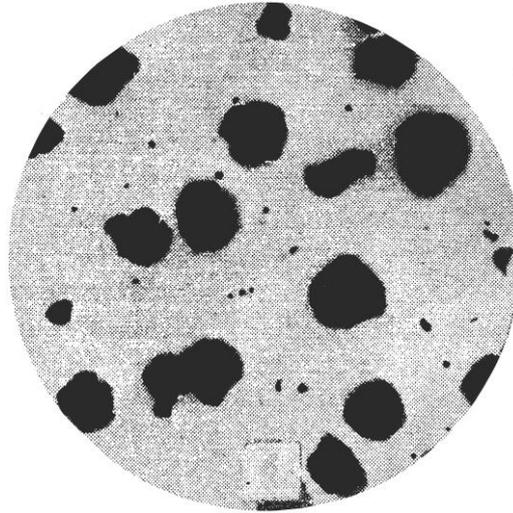


Рисунок 3 – Шаровидная форма графитных включений – высокопрочный чугун (шлиф не травлен) ($\times 200$)

Графитные включения представляют собой неметаллическую часть структуры. Поэтому структуру любого графитизированного чугуна следует считать состоящей из металлической основы и распределённых в ней графитных включений. Металлическая основа может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной.

Микроструктура белых чугунов

В зависимости от содержания углерода белые чугуны подразделяются на доэвтектические (от 2,14 до 4,3 %C), эвтектические (4,3 %C) и заэвтектические ($C > 4,3 \%$). Микроструктура белых чугунов показана на рисунках 4, 5, 6.

Доэвтектические чугуны, наряду с ледебуритом, содержат перлит и цементит вторичный. С увеличением в этих чугунах содержания углерода происходит увеличение в структуре количества ледебурита с соответствующим уменьшением структурно-свободного перлита. Белые доэвтектические чугуны без специальных легирующих добавок имеют ограниченное применение вследствие низкой динамической прочности.

Из белого чугуна иногда отливают детали (без механической обработки), работающие в абразивной среде, например зубья ковшей экскаваторов.

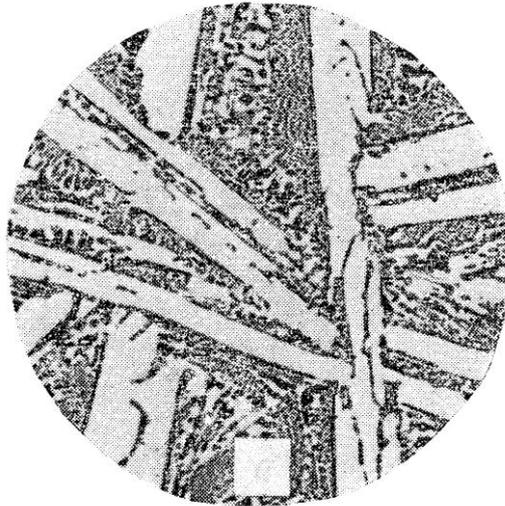


Рисунок 4 – Микроструктура доэвтектического белого чугуна – 3 %С, ($\times 200$)

Согласно диаграмме состояния Fe-Fe₃C, эвтектический чугун (точка С) имеет л е д е б у р и т н у ю структуру. Ледебурит при нормальной температуре состоит из цементита (светлые участки) и перлита (тёмные участки).

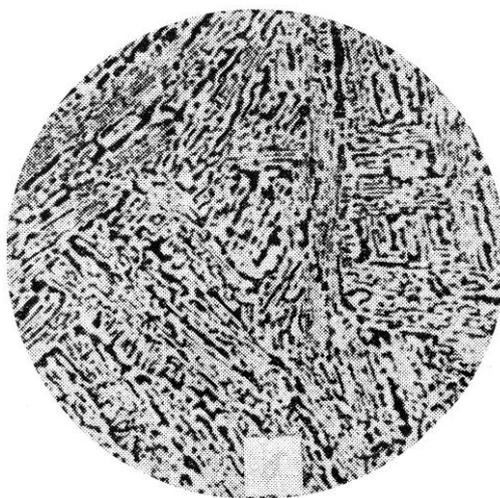


Рисунок 5 – Микроструктура эвтектического белого чугуна – 4,3 %С, ($\times 200$)

Заэвтектические чугуны, наряду с ледебуритом, содержат цементит первичный, располагающийся в структуре в виде крупных пластин на ледебуритном фоне.

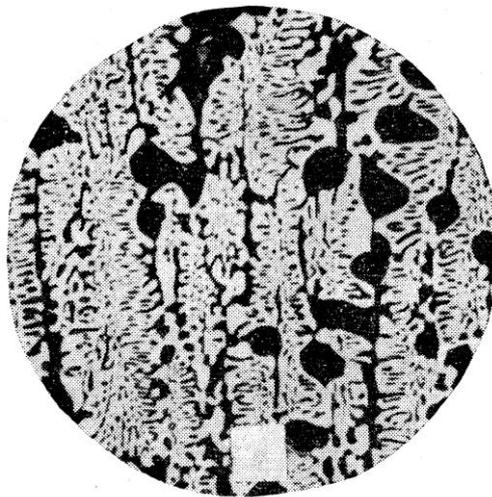


Рисунок 6 – Микроструктура *заэвтектического* белого чугуна – 5 %С, ($\times 200$)

Микроструктура графитизированных чугунов

Микроскопические исследования графитизированных чугунов проводятся по нетравлёным и травлёным шлифам.

На нетравлёных шлифах отчётливо выделяются графитные включения в виде тёмных участков, по форме которых определяется вид графитизированного чугуна.

На травлёных шлифах, наряду с графитными включениями, выявляется структура металлической основы.

Серые чугуны

В серых (литейных) чугунах углерод находится в свободном состоянии в виде графитных включений пластинчатой формы. Распаду цементита (графитизации) способствует кремний, содержание которого в серых чугунах колеблется от 1,5 до 3,5 %.

Структура серых чугунов определяется двумя основными факторами: химическим составом и режимом (скоростью) охлаждения.

Серый чугун получается при медленном охлаждении. Чем меньше скорость охлаждения, тем в большей степени успевает произойти процесс графитизации.

Но при этом обязательно следует учитывать, что рост пластинок графита ухудшает механические характеристики чугуна, т. к. включения графита – это по существу микротрещины в металлической основе чугуна. Поэтому серый чугун имеет низкие характеристики механических свойств (σ_v , δ , ψ) при испытаниях на растяжение. Включения графита играют роль концентраторов напряжений, поэтому работа удара близка к нулю. Вместе с тем твёрдость и прочность при испытаниях на сжатие, зависящие от свойств металлической основы, у чугуна достаточно высоки.

Однако серый чугун с пластинчатой формой графита имеет и ряд преимуществ. Он позволяет получать дешёвое литьё, так как при низкой стоимости обладает хорошей жидкотекучестью и малой усадкой. Включения графита делают стружку ломкой, поэтому чугун легко обрабатывается резанием. Благодаря смазывающему действию графита чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами. Чугун имеет высокие демпфирующие свойства, он хорошо гасит вибрации и резонансные колебания.

По структуре металлической основы серые чугуны делятся на:

- ферритные;
- феррито-перлитные;
- перлитные;
- перлитно-цементитные.

В зависимости от этого их твёрдость составляет 143–255 НВ. Соответственно меняется и прочность: чем больше феррита, тем ниже прочность и износостойкость.

Ферритная структура чугуна образуется при очень медленном охлаждении крупных отливок в земляной форме. Цементит в ней отсутствует. На поле микрошлифа (рисунок 7) различают две структурные составляющие: стальная основа и графит (пластинчатые включения).

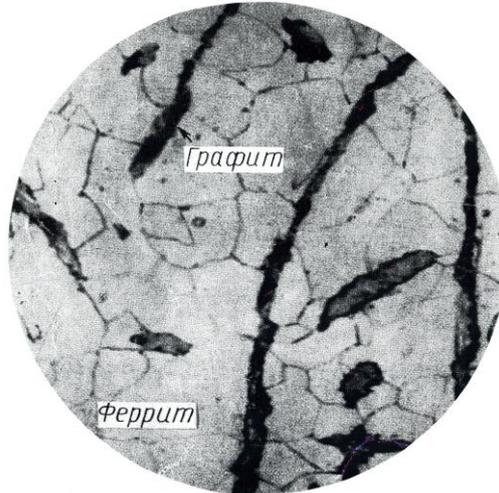


Рисунок 7 – Микроструктура серого чугуна на ферритной основе ($\times 200$)

Ферритно-перлитная структура чугуна соответствует ферритно-перлитной стали с содержанием 0,5 %С. Пластинки графита располагаются, преимущественно, на ферритных полях (рисунок 8).

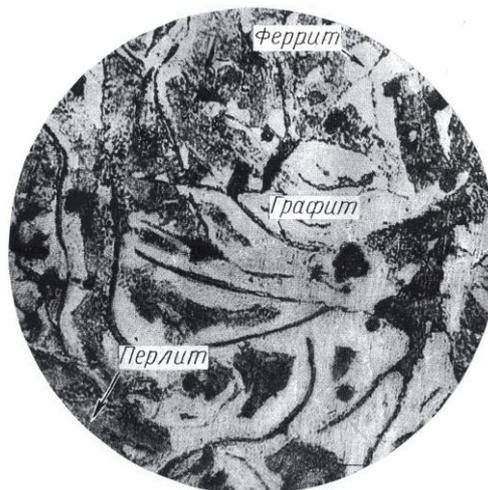


Рисунок 8 – Микроструктура серого чугуна на феррито-перлитного основе ($\times 200$)

Ферритные и феррито-перлитные чугуны с $\sigma_B = 120\text{--}180$ МПа применяются для изготовления малоответственных, мало нагру-

женных деталей (фундаментные плиты, корпуса редукторов и насосов, строительные колонны, крышки, ступицы и др.).

σ_B – временное сопротивление разрыву, МПа (предел прочности при растяжении), соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

Перлитная структура чугуна соответствует перлитной стали с содержанием 0,8 %С. Пластинки графита расположены равномерно по всему полю основы (рисунок 9).

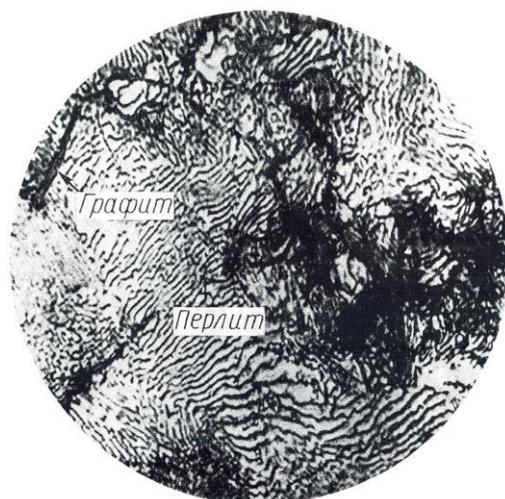


Рисунок 9 – Микроструктура серого чугуна на перлитной основе ($\times 200$)

По сравнению с ферритным и феррито-перлитным чугуном перлитный чугун имеет наиболее высокие механические свойства и применяется для изготовления ответственных деталей (станин мощных станков, гильз, поршней, поршневых колец, цилиндров, блоков двигателей и др.).

У перлитно-цементитной структуры чугуна металлическая основа состоит из перлита с включениями цементита. Последние располагаются на стыках трёх-четырёх зёрен перлита. Графитные включения рассеяны по полю перлита и никогда не пересекают включения структурно-свободного цементита (рисунок 10).

Перлито-цементитная структура серого чугуна дефектна, так как включения структурно-свободного цементита значительно снижают механические свойства чугуна. Крупные включения цементита резко ухудшают механическую обработку такого чугуна резцами.

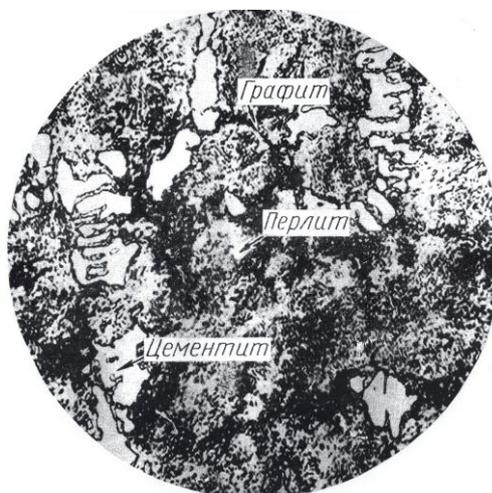


Рисунок 10 – Микроструктура серого чугуна на перлито-цементитной основе (×200)

Критерием качества серого чугуна принято считать временное сопротивление разрыву (σ_B). Серый чугун маркируется буквами «СЧ» и цифрами, соответствующими пределу прочности при растяжении. Например, чугун СЧ 15 имеет $\sigma_B = 150$ МПа. Марки и механические свойства серых чугунов приведены в таблице 1.

Таблица 1– Механические свойства серых чугунов (ГОСТ 1412-85)

Марка чугуна	σ_B МПа, не менее	$\sigma_{изг}$ МПа, не менее	Твёрдость, <i>HV</i>
СЧ 10	100	280	120–205
СЧ 15	150	320	130–241
СЧ 20	200	400	143–255
СЧ 25	250	460	156–260
СЧ 30	300	500	163–270
СЧ 35	350	550	179–290
СЧ 40	400	600	207–285
СЧ 45	450	650	229–289

Ковкие чугуны

Ковким чугуном называется вязкий, хорошо сопротивляющийся разрыву и ударной нагрузке чугун.

Название его связано с повышенной пластичностью, высоким относительным удлинением – до 15 %, в то время как у обычного серого чугуна оно не превышает 3 %.

Однако следует запомнить, что, как и другие виды чугунов, ковкий чугун не куётся, т. е. не подвергается пластической деформации при нагреве.

Ковкий чугун получают путем длительного отжига – томления отливок, полученных из белого доэвтектического чугуна. Графитизирующий отжиг (рисунок 11) осуществляется при температуре 950–970 °С в течение длительного времени (свыше 20 ч).

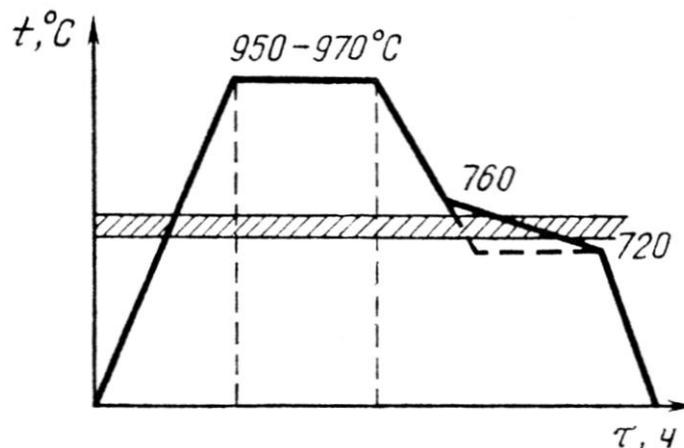
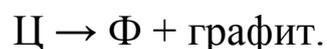


Рисунок 11 – Схема отжига белого чугуна на ковкий чугун

Конечная цель отжига – разложить цементит и получить структуру феррит + углерод отжига в виде хлопьевидного графита (см. рисунок 2):



В зависимости от технологии отжига основная металлическая масса в ковких чугунах, как и в серых, может быть ферритной, перлитно-ферритной и перлитной (рисунок 12, 13, 14).

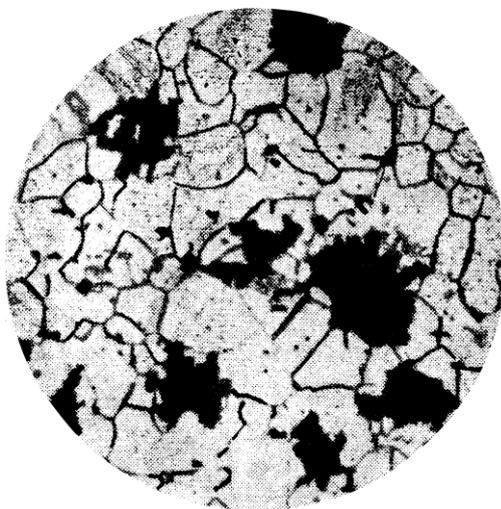


Рисунок 12 – Микроструктура ковкого чугуна на ферритной основе ($\times 200$)

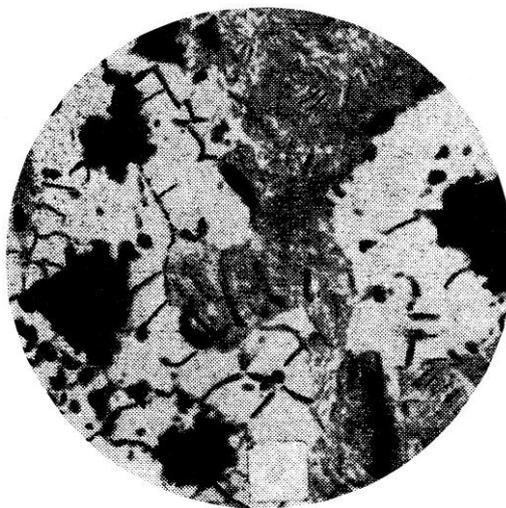


Рисунок 13 – Микроструктура ковкого чугуна на феррито-перлитной основе ($\times 200$)

Ковкий чугун обозначают буквами «КЧ» и цифрами: первые цифры соответствуют временному сопротивлению разрыву (σ_B), вторые – относительному удлинению (δ %), т. е. характеризуют вязкость чугуна. Например, КЧ 35 - 10 имеет $\sigma_B = 350$ МПа, $\delta = 10$ %.

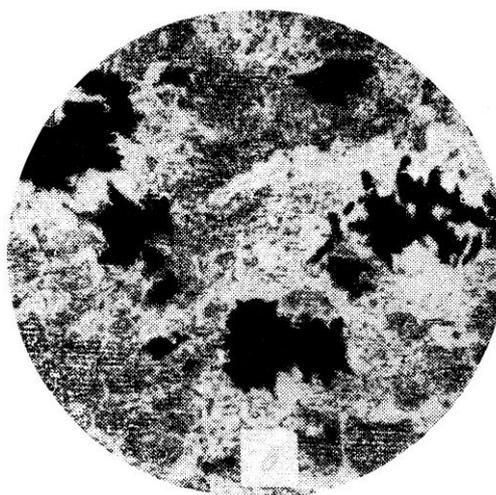


Рисунок 14 – Микроструктура ковкого чугуна на перлитной основе ($\times 200$)

В таблице 2 приведены марки и механические свойства некоторых ковких чугунов.

Таблица 2 – Механические свойства ковких чугунов (ГОСТ 1215-79)

Марка чугуна	σ_B , МПа	δ , %	НВ, не более
<i>Ферритные чугуны</i>			
КЧ 33-8	330	8	165
КЧ 37-12	370	12	163
<i>Перлитные чугуны</i>			
КЧ 50-4	500	4	241
КЧ 60-3	600	3	269

Ковкий чугун используется для изготовления различных деталей в автотракторостроении и сельскохозяйственном машиностроении: задние мосты, ступицы, коленчатые валы, тормозные колодки, шестерни, муфты, храповики, звёздочки и др.

Высокопрочный чугун

Высокопрочный чугун соединяет в себе высокие механические свойства стали с технологичностью производства чугунных отливок. Он может заменить стальное литье и поковки, ковкий чугун, а в ряде случаев и цветные сплавы. Применение его вместо серого (литейного) чугуна увеличивает эксплуатационную надёжность и долговечность деталей машин и в отдельных случаях уменьшить их вес и сечение.

Получают высокопрочный чугун путем двойного модифицирования расплавленного серого чугуна. Модифицирование осуществляется путём добавок в ковш с жидким чугуном специальных присадок – модификаторов. Вначале вводят примерно около 1 % магния, а затем мелкоизмельченный в виде гранул ферросилиций (сплав железа с кремнием) в количестве 0,3–0,4 % к весу жидкого чугуна.

Модификаторы служат дополнительными центрами кристаллизации графита, который формируется в виде шаровидных (глобулярных) включений. Благодаря такой форме графита (рисунок 15, 16, 17) сплав становится более пластичным при сохранении высокой прочности ($\sigma_B = 1000$ МПа).

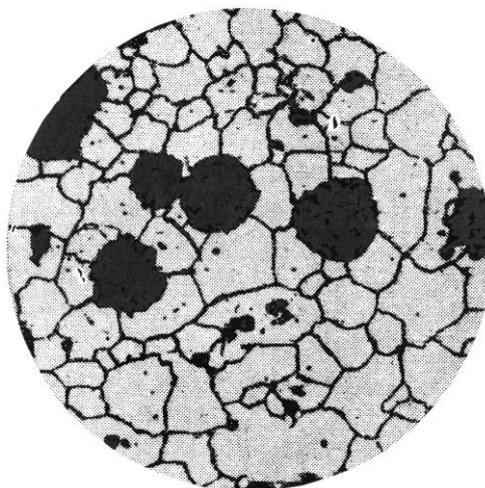


Рисунок 15 – Микроструктура высокопрочного чугуна на ферритной основе ($\times 200$)

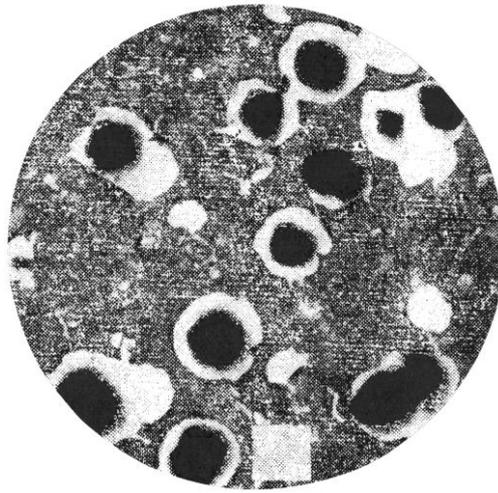


Рисунок 16 – Микроструктура высокопрочного чугуна на феррито-перлитной основе ($\times 200$)

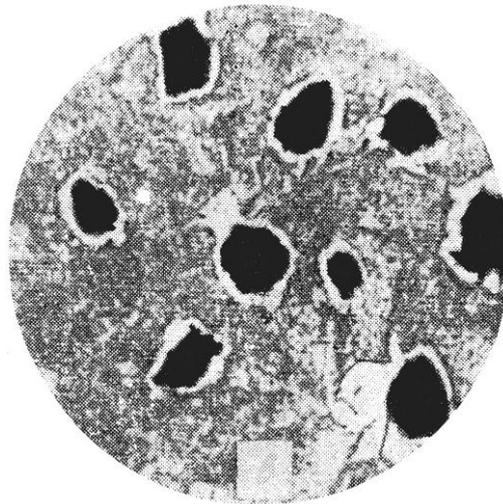


Рисунок 17 – Микроструктура высокопрочного чугуна на перлитной основе ($\times 200$)

Маркируется высокопрочный чугун буквами «ВЧ» и цифрой, подобно серому чугуну, например ВЧ 60 ($\sigma_B = 600$ МПа), характеризующей временное сопротивление разрыву (предел прочности при растяжении).

Механические свойства некоторых высокопрочных чугунов приведены в таблице 3. Он используется для изготовления широкой номенклатуры деталей машин и механизмов: ступиц, рычагов рулевого управления, шестерён сеялок, педалей сцепления, шкивов и др.

Таблица 3 – Механические свойства высокопрочных чугунов (ГОСТ 7293-85)

Марка чугуна	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Твёрдость, НВ
	не менее			
ВЧ 35	350	220	22	140–170
ВЧ 40	400	250	15	140–202
ВЧ 45	450	310	10	140–225
ВЧ 50	500	320	7	153–245
ВЧ 60	600	370	3	192–277
ВЧ 70	700	420	2	228–302
ВЧ 80	800	480	2	248–351
ВЧ 100	1000	700	2	270–360

3 МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

К углеродистым сталям относят сплав железа с углеродом с содержанием последнего от 0,02 до 2,14 %.

Основными компонентами углеродистых сталей является железо и углерод. Кроме того, в углеродистой стали присутствует ряд примесей: марганец (Mn), кремний (Si), сера (S), фосфор (P), называемых нормальными примесями. Присутствие их в стали ограничивается соответствующими техническими условиями – стандартами: до 0,8 % Mn; 0,4 % Si; 0,05 % S; 0,05 % P.

Примеси оказывают влияние на свойства стали. Так, например, Mn и Si повышают твёрдость и прочность, P придает стали *хладноломкость*, а S – *красноломкость*, хрупкость при температурах горячей обработки давлением.

Кислород – вредная примесь. Наличие закиси железа резко снижает динамическую и статическую прочность стали.

Влияние примесей в указанных выше пределах не оказывает заметного влияния на свойства стали. Основным элементом, определяющим механические и технологические свойства стали, является углерод. Поэтому такие стали называются углеродистыми.

Железо – полиморфный металл, имеющий различные кристаллические решётки в различных температурных интервалах. При комнатной температуре имеет решётку ОЦК. Эта аллотропическая модификация железа называется α - железом (Fe_α).

Температура плавления 1539 °С. Временному сопротивлению разрыву составляет $\sigma_B = 250$ МПа, относительное удлинение $\delta = 50$ %, ударная вязкость (a_H) 3 МДж/м², твёрдость НВ 80.

Углерод – неметаллический элемент, обладающий полиморфизмом (многоформием). В природе встречается в виде графита и алмаза.

Взаимодействуя с железом, в зависимости от их количественного соотношения и температуры, образует различные фазы, представляющие собой однородные части железоуглеродистого сплава. Это взаимодействие заключается в том, что углерод может растворяться как в жидком (расплавленном) железе, так и в различных его модификациях в твёрдом состоянии (в α -, γ - железе и др.). Кроме того, он может образовывать с железом химические соединения.

Твёрдый раствор углерода в α - железе называется **ферритом**.

Феррит – мягкая (НВ 80), пластичная ($\delta = 50$ %) составляющая стали. Максимальная растворимость углерода в феррите 0,02 % при температуре 727 °С (точка Р, рисунок 18); при комнатной температуре феррит содержит ничтожно малое количество углерода – 0,006 % (точка Q). Под микроскопом феррит имеет вид светлых зёрен неправильной формы с тонкими темными границами. Кристаллическая решётка феррита ОЦК.

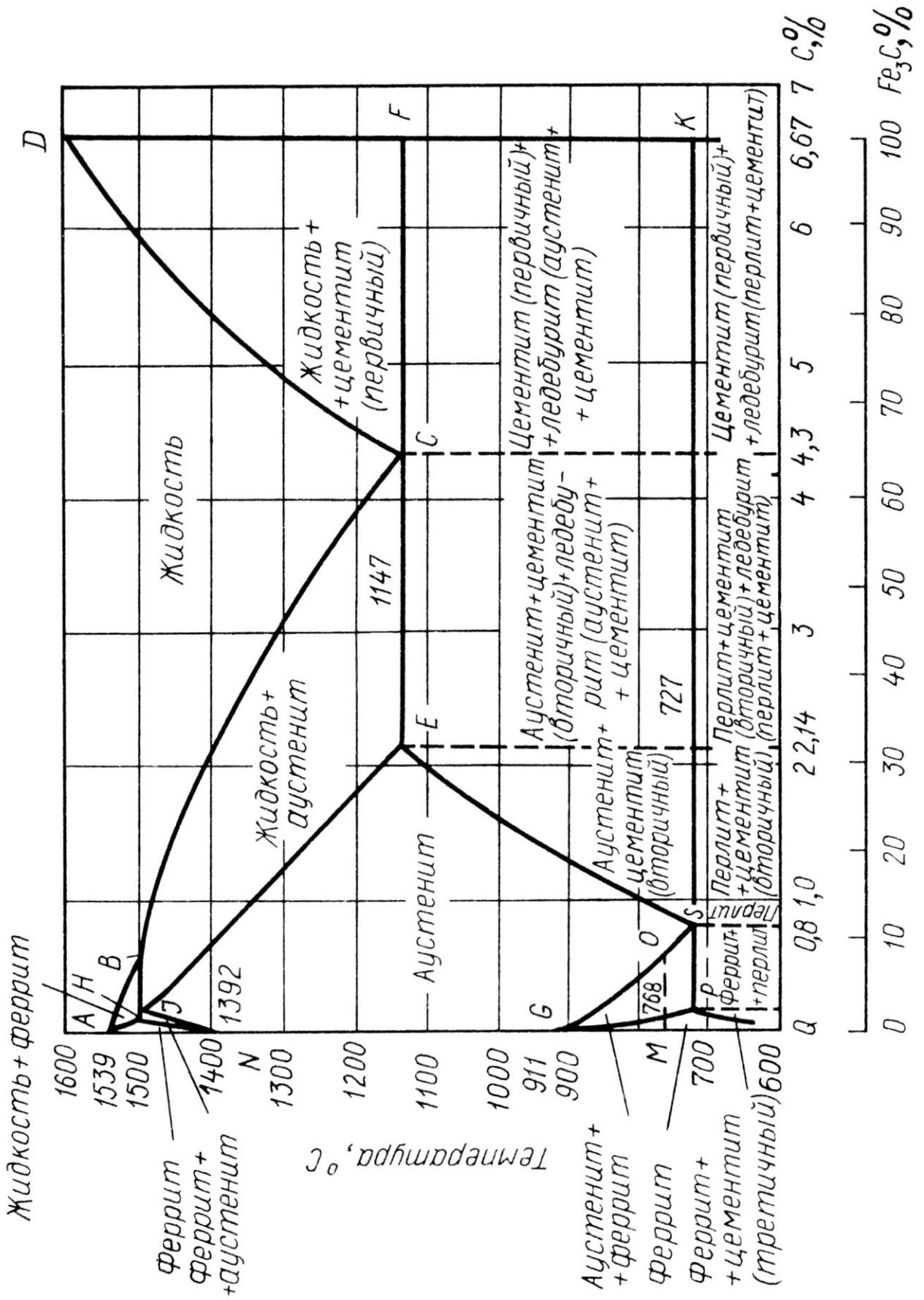


Рисунок 18 – Диаграмма состояния Fe – Fe₃C

При химическом взаимодействии железа с углеродом образуется карбид железа Fe_3C , называемый *цементитом*.

Цементит обладает сложной кристаллической решёткой, содержит 6,67 %С. Цементит твёрд (НВ 800) и хрупок. Наличие в сплаве мелких частичек цементита различной формы резко повышает твёрдость и прочность сплава. При высоких температурах цементит неустойчив и разлагается на графит и аустенит, а затем (ниже линии PSK) – на феррит и графит.

По структуре стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

Стали с содержанием углерода до 0,8 % называются **доэвтектоидными**. Их структура в равновесном состоянии состоит из феррита и перлита (рисунок 19).

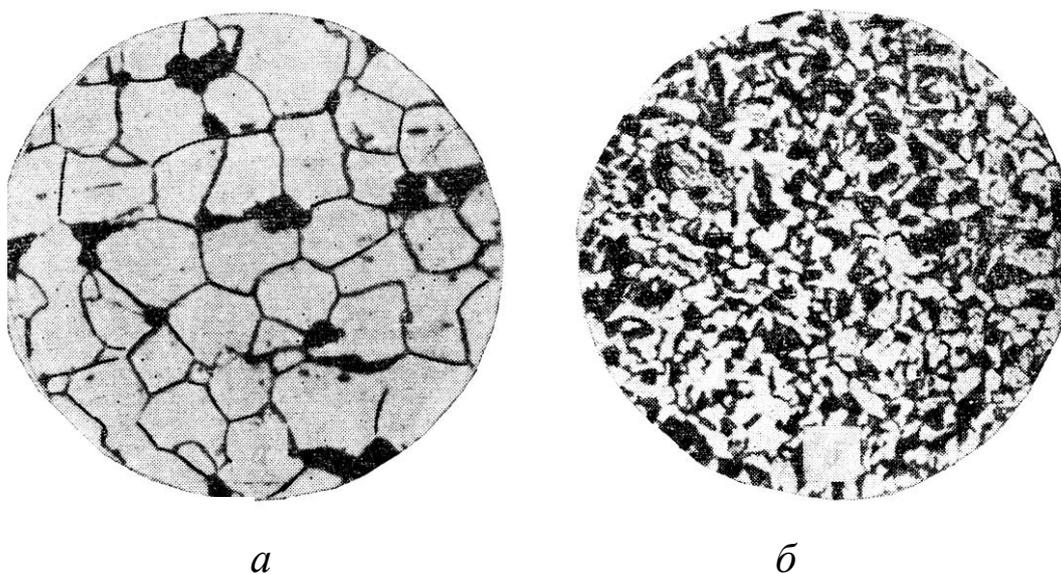


Рисунок 19 – Микроструктура доэвтектоидных сталей с различным содержанием углерода ($\times 200$):

a – сталь 10 (0,1 %С);

б – сталь 40 (0,4 %С)

После травления 4 %-ной азотной кислотой в спирте, на шлифе доэвтектоидной стали феррит выявляется и виде светлых полей, а перлит – в виде темных полей полосчатого строения.

Количество перлита и феррита в доэвтектоидной стали зависит от содержания в ней углерода. С увеличением количества углерода перлита становится больше, а феррита – меньше.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода. Для этого нужно определить площадь (в процентах), занимаемую ферритом и перлитом.

В связи с тем, что в феррите растворено очень небольшое количество углерода, практически можно считать, что в доэвтектоидной стали весь углерод находится в перлите (перлит содержит 0,8 %С, точка S).

Тогда содержание углерода (С, %) в стали можно определить по формуле

$$C = \frac{F_n \cdot 0.8}{100},$$

где F_n – площадь, занимаемая перлитом, %.

Предположим, например, что 40 % всей площади занято ферритом, 60 % – перлитом. Содержание углерода в такой стали будет

$$C = \frac{60 \cdot 0.8}{100} = 0,48 \text{ \%}.$$

Сталь с содержанием углерода 0,8 % называется **эвтектоидной**. Микроструктура – перлит (рисунок 20).

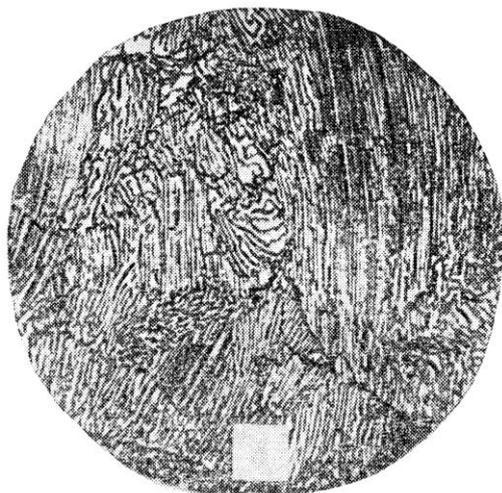


Рисунок 20 – Микроструктура эвтектоидной стали У8 (0,8 %С)
(×200)

Эвтектоид – механическая смесь феррита и цементита, образующаяся в результате распада аустенита при температуре $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка *S*). После травления эвтектоидной стали поверхность шлифа приобретает перламутровый отлив, в связи с чем такую структуру и назвали перлитом.

Сталь с содержанием углерода от 0,8 до 2,14 % называется **заэвтектоидной**. Имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита (рисунок 21). Вторичный цементит выделяется из аустенита при охлаждении от температуры A_{cm} (линии SE) до температуры A_{r1} (линия PSK).

При медленном охлаждении вторичный цементит (Ц II) выделяется в виде сетки по границам зёрен аустенита.

При достижении температуры A_{r1} ($727\text{ }^{\circ}\text{C}$) аустенит превращается в перлит. В результате после травления на поверхности шлифа наблюдается тёмное поле пластинчатого перлита, обрамлённое белой сеткой вторичного цементита.

Чем больше углерода в заэвтектоидной стали, тем более массивной (толстой) получается цементитная сетка.

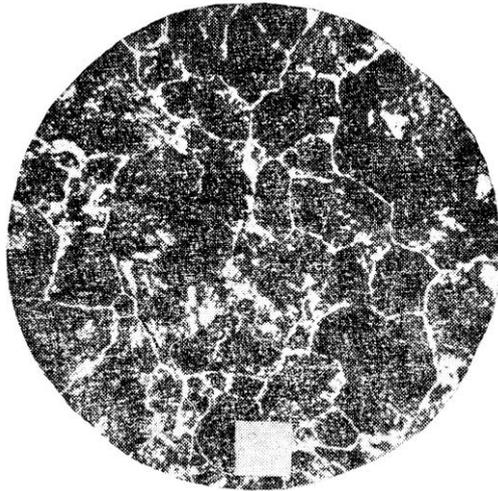


Рисунок 21 – Микроструктура заэвтектоидной стали У12 (1,2 %С)
(×200)

Выпадаемый по линии SE цементит – продукт вторичной кристаллизации. В отличие от цементита первичного (линия CD), вторичный цементит (Ц II) выделяется при медленном охлаждении аустенита (линия SE). Природа и свойства первичного и вторичного цементита практически идентичны.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бондаренко Г. Г. Материаловедение : учеб. для бакалавров / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко ; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 2-е изд. – М. : Изд-во «Юрайт», 2012. – 359 с.
- 2 Волков Г. М. Материаловедение: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Г. М. Волков, В. М. Зуев. – М. : Изд. центр «Академия», 2008. – 400 с.
- 3 Материаловедение / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 646 с.
- 4 Оськин В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учеб. для вузов / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. – М. : КолосС, 2007. – Кн.1. – 447 с.
- 5 Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов / В. А. Оськин [и др.] ; под ред. В. А. Оськина, В. Н. Байкаловой. – М. : КолосС, 2007. – 318 с.

Учебное издание

**Агафонов Сергей Викторович
Охотин Михаил Васильевич**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**МИКРОСТРУКТУРА ЧУГУНОВ
И УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ
В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ**

Учебно-методическое пособие

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР №070444 от 11.03.98 г.
Подписано в печать XX.XX.XX. Формат 60x84/16
Усл. печ. л. 1,6 Тираж 50

Издательство Иркутской государственной сельскохозяйственной академии
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный