

Министерство образования и науки РФ

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ

Методические указания для самостоятельной работы

Автор-составитель Т.Ю. Малёткина

Томск

Изучение микроструктуры чугунов: методические указания / Сост. Т.Ю. Малёткина, – Томск: Изд-во ТГУ, 2015. -- 16 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по дисциплинам «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов»

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе

Изд. лиц. № 021253 от 31.10.97. Подписано в печать 30.01.14.
Формат 60x90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс, печать офсет.
Уч.-изд. л. 1,87. Тираж 300 экз. Заказ № .

Изд-во ТГУ, 634050, г. Томск
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГУ
634050, г. Томск

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить микроструктуры различных чугунов. Научиться определять их вид, маркировку и особенности применения.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Изучить классификацию чугунов.

2. Ознакомиться со структурными составляющими чугунов согласно диаграммам сплавов железо-цементит и железо-углерод.

3. Рассмотреть под металлографическим микроскопом шлифы чугунов и определить белый, серый, ковкий и высокопрочный чугуны.

4. Схематично зарисовать микроструктуры эти чугунов, указав форму и месторасположение структурных составляющих.

5. Указать возможную марку и особенности применения.

3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 % углерода, называют чугунами. Чугун – это первичный продукт переработки железных руд путём их плавки в доменных печах. По назначению и химическому составу чугуны делятся:

1) на *передельные*, т.е. предназначенные в основном для переработки в сталь;

2) на *литейные*, служащие для производства фасонного литья различной степени сложности;

3) на *специальные*, то есть коррозионнотойкие, антифрикционные, жаростойкие и др.

Литейные чугуны, предназначенные для получения отливок, различают по виду высокоуглеродистых фаз, химическому составу, назначению и технологии получения.

В зависимости от условий получения чугуна и от состояния углерода в чугуне, различают:

1) *белый чугун*, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита и других карбидов;

2) *половинчатый отбеленный чугун* (поверхностный слой отливки имеет структуру белого чугуна, а сердцевина – структуру графитизированного чугуна);

3) *серый графитизированный чугун*, характеризуемый наличием в структуре свободного графита.

По химическому составу различают *нелегированный* и *легированный* чугуны.

В зависимости от предъявляемых требований по назначению чугуны могут быть разделены на несколько групп:

1) машиностроительные серые чугуны с характерными для них технологическими и механическими свойствами, необходимыми в станкостроении, автомобилестроении, электротехнической промышленности и т.д.;

2) с повышенной прочностью и вязкостью (высокопрочные, вермикулярные и ковкие чугуны);

3) с повышенной поверхностной твёрдостью (отбеленные чугуны, подвергнутые поверхностной закалке);

4) с повышенной износостойкостью в условиях трения и скольжения – антифрикционные чугуны;

5) с резко выраженными специальными физическими или химическими свойствами – легированные чугуны.

По технологии получения различают отливки, получаемые при литье в песчаные одноразовые формы, оболочковые формы, в металлические, керамические постоянные формы и т.д.

4. БЕЛЫЕ ЧУГУНЫ

В белом чугуне весь углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита (Fe_3C). Структуры белого чугуна соответствуют диаграмме состояния «железо-цементит» ($\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$) и образуются в результате более

ускоренного охлаждения по сравнению со сплавами, отвечающими диаграмме (Fe-C).

Согласно диаграмме состояния «железо-цементит» (рис. 1) белые чугуны в зависимости от содержания углерода, наличия и соотношения структурных составляющих могут быть:

- а) *доэвтектические*, содержащие от 2,14 до 4,3 % углерода;
- в) *эвтектический*, содержащий 4,3 %;
- в) *заэвтектические*, содержащие от 4,3 до 6,67 % углерода.

Рассмотрим фазовые превращения, происходящие в соответствии с диаграммой при охлаждении из жидкого состояния доэвтектического чугуна, содержащего 3 % С (рис. 1, сечение 1 -- 4).

В точке (1) чугун находится в жидком состоянии (L) в виде расплава. При охлаждении до линии ликвидуса (AC) в нём не происходит структурных превращений.

Точка (2) соответствует началу кристаллизации жидкого чугуна в виде структурной составляющей -- аустенита (А). При выделении этого твёрдого раствора из жидкого расплава содержание углерода в аустените изменяется по линии АЕ, а в жидкой фазе -- по линии АС, т.е. оставшийся жидкий сплав обогащается углеродом.

В точке (3) концентрация углерода в оставшейся жидкости достигает 4,3 % С, и при постоянной температуре 1147 °С происходит эвтектическая кристаллизация оставшегося жидкого расплава в виде ледебурита (Л).

Ледебури́т -- это эвтектическая смесь мелких зерен аустенита (2,14 % С) и цементита (6,67 % С).

При дальнейшем охлаждении сплава в интервале температур 1147...727 °С вследствие падения растворимости углерода в аустените с 2,14 % до 0,8 % С, согласно диаграмме

Fe – Fe₃C, из аустенита выделяется вторичный цементит (Ц₂). Концентрация углерода в аустените уменьшается по линии SE диаграммы. Сказанное в полной мере относится и к аустениту, входящему в состав ледебурита.

В точке (4) при достижении температуры 727 °С (линия РК) в сплаве происходит изотермическое эвтектонидное превращение, т.е. аустенит, содержащий 0,8 % С, превращается в перлит (П) (механическую мелкокристаллитную смесь феррита и цементита).

Ниже точки (4) структура чугуна будет состоять из ледебурита, вторичного цементита и перлита (Л+Ц₂+П). **Ледебури́т при этих температурах представляет собой механическую смесь перлита и цементита.** Таким образом, структура доэвтектического белого чугуна при комнатной температуре состоит из ледебурита, вторичного цементита и перлита [(П+Ц₂)_Л+Ц₂+П].

Белый эвтектический чугун при комнатной температуре состоит только из ледебурита. Перлит ледебурита П_Л в микроскоп воспринимается как темная составляющая мелкой округлой формы, а цементит Ц_Л -- как светлая основа.

Структура заэвтектического белого чугуна при комнатной температуре состоит из первичного цементита, выпавшего из жидкого расплава, и ледебурита, т.е. (Ц₁+Л).

Благодаря большому содержанию цементита белый чугун непластичен, очень тверд и хрупок, плохо поддается механической обработке режущим инструментом. Излом такого чугуна белый, блестящий. Чисто белые чугуны в машиностроении используют редко. Отливки обычно идут на передел в сталь или используются для получения графитизированных чугунов. Однако в некоторых случаях термообработкой специально «отбеливают» поверхность чугунных деталей для повышения износостойкости.

5. СЕРЫЕ ЧУГУНЫ

Чугуны, в которых весь углерод, либо его значительная часть, находится в свободном состоянии – в виде графита (Г), называются *серыми*. Название обусловлено более тёмным цветом излома из-за наличия графита по сравнению со светлым цветом излома белых чугунов, в которых графит отсутствует.

Структура серых чугунов состоит из металлической основы и графитных включений. Структурные превращения осуществляются в условиях медленного охлаждения сплава.

Формирование структуры происходит по стабильной диаграмме «железо-углерод», которая изображена на рис. 2 пунктирными линиями.

Согласно диаграмме в доэвтектическом чугуне в точке (2) начинает кристаллизоваться аустенит. По мере выделения кристаллов аустенита жидкий сплав обогащается углеродом по линии AC_1 .

В точке (3) оставшийся жидкий чугун кристаллизуется в виде эвтектики, состоящей из пластинок графита и аустенита.

При охлаждении ниже точки (3) вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените происходит выделение графита уже из аустенита.

В точке (4) при эвтектоидном превращении аустенит распадается на графит и феррит. В этом случае получим ферритную металлическую основу, и практически весь углерод присутствует в структуре в виде графита.

Если ускорить охлаждение при эвтектоидном превращении, то согласно диаграмме железо-цементит возможно частичное или полное превращение аустенита в перлит. В этом случае металлическая основа будет феррито-перлитной, либо перлитной, соответственно.

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

Перлитные чугуны. Структура их состоит из перлита и включений графита. Перлит содержит 0,8 % С, следовательно это количество углерода находится в связанном состоянии (в виде Fe_3C). Остальной углерод находится в свободном виде, в форме графита (рис. 3).

Феррито-перлитные чугуны. Структура их состоит из феррита, перлита и включений графита (рис. 3). В этих чугунах количество связанного углерода меньше 0,8 %.

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

Свойства чугунов зависят от вида металлической основы и от количества, формы и характера распределения графитных включений. Свойства металлической основы, так же как в сталях, зависят от её структуры. С увеличением количества перлита в чугунах твёрдость и прочность будут увеличиваться, а вязкость и пластичность уменьшаться. Поскольку графит обладает низкими механическими свойствами, его включения в чугуне можно рассматривать как своеобразные пустоты или надрезы. Чем больший объём занимают графитные включения, тем ниже пластичность чугунов, ниже их предел прочности при растяжении, изгибе или кручении. Особенно низкими свойствами обладает чугун, у которого графитные включения образуют замкнутый скелет из пластин графита. По мере округления графитных включений перечисленные выше свойства чугуна улучшаются, приближаясь к свойствам стали.

На процесс графитизации, следовательно, на структуру и свойства чугуна существенное влияние оказывают не только скорость охлаждения, но и количество присутствующих в нём легирующих элементов, примесей и центров кристаллизации (модификаторов). Обычные промышленные чугуны кроме углерода в количестве 2,4 – 4,8 % содержат и много других элементов, прежде всего кремний, марганец, серу, фосфор. Кремний в наибольшей мере способствует выделению графита. Изменяя содержание кремния в пределах 0,5 -- 5%, можно

получать чугуны, различные по структуре и свойствам: от малокремнистого белого до высококремнистого чугуна с ферритной металлической основой. Сера (S) является вредной примесью, так как способствует отбеливанию и ухудшает литейные свойства чугуна, поэтому ее содержание ограничивают до 0,12...0,15%. Фосфор (P), практически не влияя на процесс графитизации, значительно улучшает механические и литейные свойства. Его содержание может достигать 0,2...0,3%. Марганец препятствует графитизации, и его обычное содержание в серых чугунах не превышает 0,5...1,1%.

Таким образом, факторами, определяющими степень графитизации чугуна, являются скорость охлаждения, наличие в составе графитизирующих элементов (в первую очередь кремния и иногда меди, никеля и титана).

Графит в чугунах может быть в четырёх основных формах (рис. 3):

- в виде лепестков, пластинок – пластинчатый графит;
- в виде червеобразных прожилок – вермикулярный графит;
- в виде равноосных компактных, но не округлых форм – компактный (хлопьевидный) графит;
- в виде округлых включений – шаровидный графит.

Соответственно **по форме графита различают чугуны с пластинчатым графитом** – обычный серый чугун (СЧ), с червеобразным графитом - *вермикулярный* (ЧВГ), чугуны с компактным (хлопьевидным) графитом - *ковкий* (КЧ) и чугуны с шаровидным графитом - *высокопрочный* (ВЧ).

Серый чугун с пластинчатым графитом

Обычный *серый чугун с пластинчатым графитом* обозначается буквами **СЧ**. Далее следует цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления σ_B в кгс/мм² при растяжении. Согласно ГОСТ

1412-85 существуют следующие марки чугуна: СЧ 10; С 15; СЧ 20; СЧ 25; СЧ 30; СЧ35. Ферритный чугун невысокой прочности марок СЧ10 и СЧ15 используют для строительных опор, фундаментных плит и т.д., чугун остальных марок – для литых деталей сельхозмашин, станков, автомобилей, тракторов и т.д.

Модифицированные порошками графита, FeSi, SiCo чугуны с перлитной основой и мелкими графитными включениями соответствуют маркам СЧ35, СЧ40, СЧ45.

Ускорение скорости охлаждения при кристаллизации способствует выделению углерода в связанном состоянии в виде цементита. Поэтому при одном и том же составе чугуна по сечению отливка может иметь разную структуру. В тонких частях чугунных литых деталей у поверхности, где скорость охлаждения велика и степень графитизации меньше, образуется больше цементита (отбел чугуна). В сердцевине же, где чугун охлаждается медленнее, образуется больше графита. В некоторых случаях специально ускоренным охлаждением на поверхности деталей из серых чугунов создаются отбеленные слои. Они хорошо работают в условиях повышенного абразивного износа. Для деталей в узлах трения скольжения применяют антифрикционные чугуны АСЧ-1, АСЧ-2, АСЧ-3.

Чугун с вермикулярным графитом

Чугун с вермикулярным графитом получается путём ограниченного модифицирования перед разливкой и обозначается буквами **ЧВГ**. Далее следует цифровое обозначение σ_B при растяжении в кгс/мм². Для изготовления отливок применяются чугуны следующих марок: ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40, ЧВГ45 (ГОСТ 28394–89). По механическим свойствам чугун с вермикулярным графитом занимает промежуточное положение между чугунами с шаровидным и пластинчатым графитом. Основные области применения: детали общего и специального машиностроения, работающие

при значительных переменных механических нагрузках (детали двигателей внутреннего сгорания, корпуса газовых турбин и компрессоров, работающих при переменных повышенных температурах, изложницы, поддоны, кокильная оснастка и т.д.).

Ковкий чугун

Ковкий чугун с компактным (хлопьевидным) графитом получают длительным двухстадийным отжигом отливок со структурой белого чугуна и маркируют буквами **КЧ** и цифрами. Первое двузначное число обозначает σ_B при растяжении в кгс/мм², а второе - относительное удлинение δ в %. Согласно ГОСТ 1215-79 существуют следующие марки ковких чугунов: КЧ 30-6; КЧ 33-8; КЧ 35-10; КЧ 37-12; КЧ 45-7; КЧ 50-5; КЧ 60-3; КЧ 65-3; КЧ 70-2; КЧ 80-1,5.

В зависимости от температурных режимов отжига ковкие чугуны могут быть ферритные, перлитные, и феррито-перлитные. Вследствие более благоприятной формы графитных включений ковкие чугуны обладают лучшими механическими свойствами по сравнению с серыми. Из отливок ковкого чугуна изготавливают детали с относительно тонкими стенками, работающие при ударных вибрационных нагрузках. Так, ферритные ковкие чугуны марок КЧ37-12 и КЧ35-10 широко применяют в сельскохозяйственном машиностроении, а феррито-перлитные КЧ45-7 и КЧ60-3 – для деталей, работающих в условиях износа. Применяют также антифрикционные ковкие чугуны АКЧ-1, АКЧ-2.

Высокопрочный чугун

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом маркируют буквами **ВЧ** и цифрами, показывающими σ_B при растяжении в кгс/мм². Согласно ГОСТ 7293-85 существуют следующие марки чугунов: ВЧ 35; ВЧ 40, ВЧ 45; ВЧ 50; ВЧ 60; ВЧ 70; ВЧ 80; ВЧ 100.

В зависимости от химического состава и температурных

режимов получения отливок высокопрочные чугуны могут быть ферритные, перлитные и феррито-перлитные. Для получения графита шаровидной формы перед разливкой жидкий чугун подвергается модифицированию магнием, церием и графитизирующими добавками. В результате такого модифицирования получается чугун преимущественно с перлитной основой и с шаровидной формой графитных включений. Сочетание высокой прочности и пластичности позволяет изготавливать из высокопрочных чугунов ответственные детали двигателей (коленчатые и распределительные валы), сельхозмашин (шестерни, звёздочки, ступицы колёс, шкивы, зубья борон, опорные катки) и др. При изготовлении деталей часто используют термическую обработку: предварительный отжиг и заключительную упрочняющую обработку: закалку и высокий отпуск ТВЧ. Применяются антифрикционные чугуны АЧВ-1, АЧВ-2 (ГОСТ 1585-85).

Легированные чугуны со специальными свойствами

К этой группе чугунов относят чугуны, в которых целенаправленным легированием никелем, хромом, кремнием, алюминием, марганцем изменяют структуру металлической основы, формируя особые эксплуатационные свойства, такие как коррозионная стойкость, износостойкость, жаростойкость и жаропрочность, специальные физические свойства. Металлическая основа может быть представлена ферритом, перлитом, аустенитом и мартенситом. Углерод в легированных чугунах может присутствовать в виде карбидов или графита.

В соответствии с ГОСТ 7769-82 специальные свойства чугуна и содержание легирующих элементов отражены в маркировке легированных чугунов: ИЧХ4Г7Д – износостойкий чугун, легированный 4% Cr, 7% Mn и до 1% Cu; ЖЧХ2,5 – жаростойкий чугун, легированный 2,5% Cu; ЧХ32 – хромистый чугун с 32% Cr; ЧН19Х3Ш – чугун никелевый жаропрочный с

19% Ni, 3% Cr с шаровидным графитом и т.д. Цифры указывают содержание легирующих элементов в округлённых до целого процентах.

6. ОБОРУДОВАНИЕ

Подготовленные микрошлифы чугунов анализируются с помощью металлографических микроскопов МИМ 6 и МИМ 7.

7. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ И СОСТАВЛЕНИЯ ОТЧЕТА

1. Дать определение чугуна и описать структурные составляющие белых и серых чугунов.
2. По представленным на рис.4 фотографиям микроструктуры чугунов определить структурные составляющие и вид металлической основы чугунов.
3. Определить по наблюдаемой в микроскоп структуре тип сплава (белый, серый, вермикулярный, ковкий и высокопрочный чугун).
4. Зарисовать просмотренные структуры. Указать все структурные составляющие чугуна и возможную маркировку.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Привести классификацию видов чугунов и дать их определение.
2. Дать определение структурным составляющим чугунов.
3. Пользуясь диаграммой железо-углерод, объяснить структурные превращения в чугунах.
4. Указать области и возможности применения чугунов.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. -- М. : Металлургия, 1977. – 647 с.
2. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. -- М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.

3. Болдырев А.М. Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов / А.М. Болдырев, А.С. Орлов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1994. – 432 с.

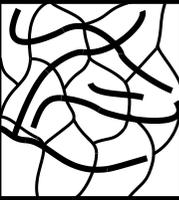
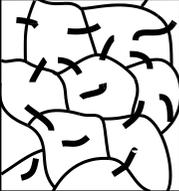
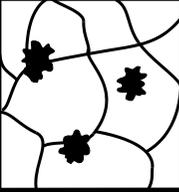
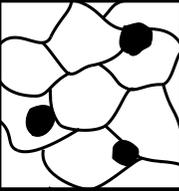
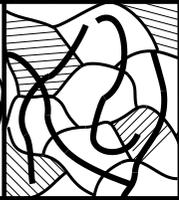
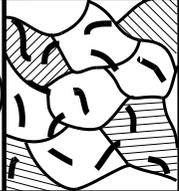
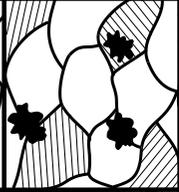
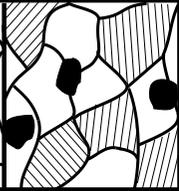
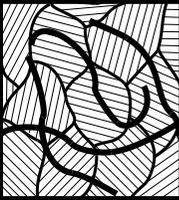
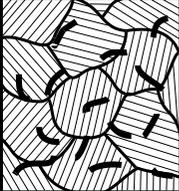
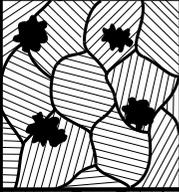
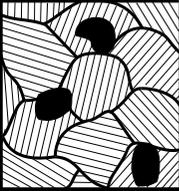
Металлическая основа	Форма графитных включений			
	Пластинчатая	Вермикулярная	Хлопьевидная	Шаровидная
Феррит				
Феррит + перлит				
Перлит				

Рис.3 Классификация чугуна по структуре металлической основы и форме графитных включений

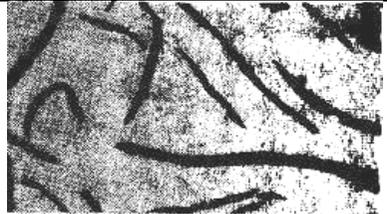
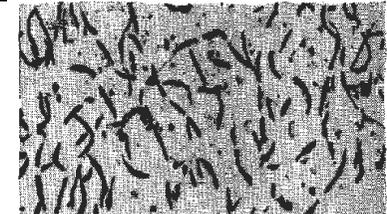
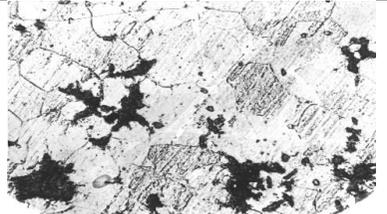
Белый доэвтектический чугун	
Серый чугун с пластинчатым графитом	
Чугун с вермикулярным графитом	
Ковкий чугун	
Высокопрочный чугун	

Рис. 4. Фотографии микроструктур чугунов с разной металлической основой

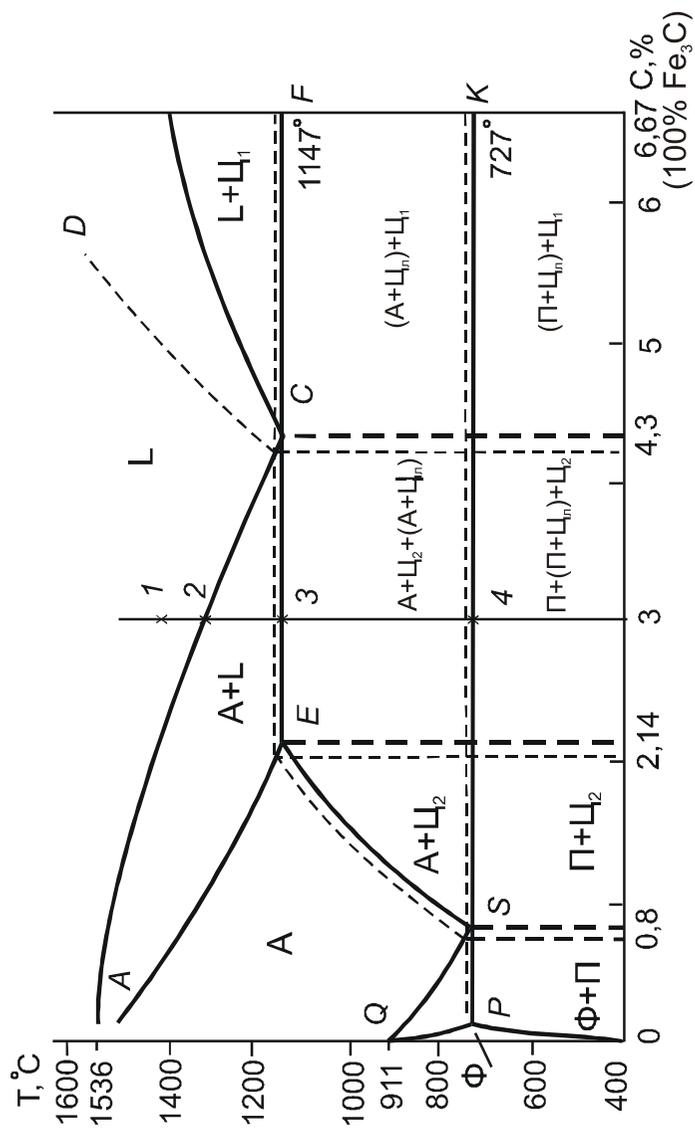


Рис.1 Диаграмма состояния сплавов железо - цементит

3

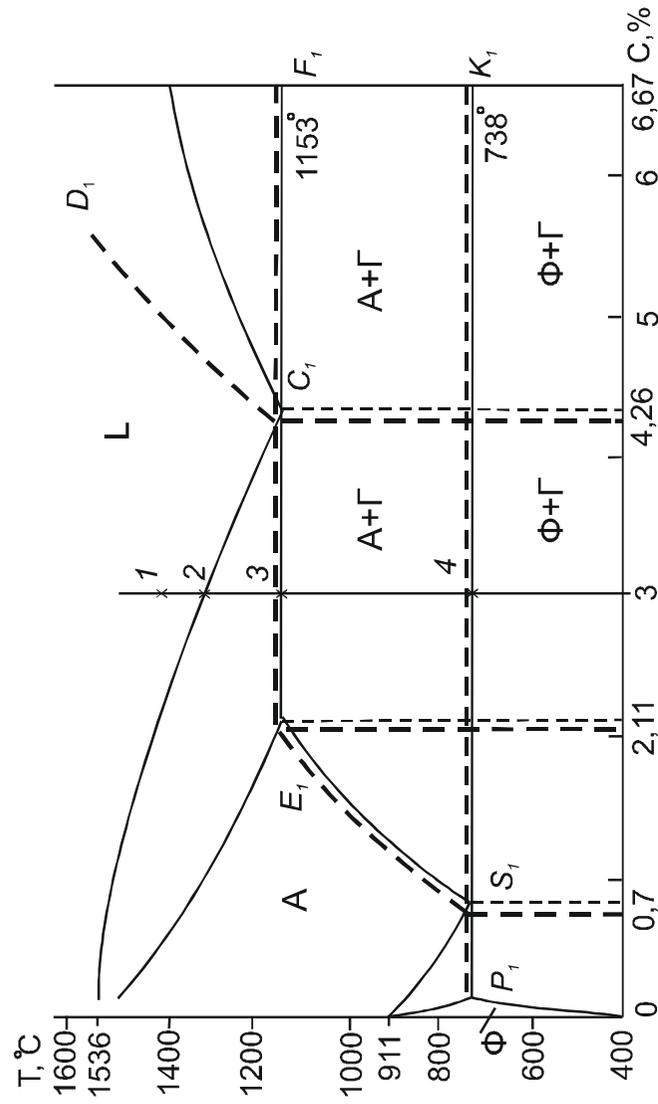


Рис.2 Диаграмма состояния сплавов железо - углерод

4

