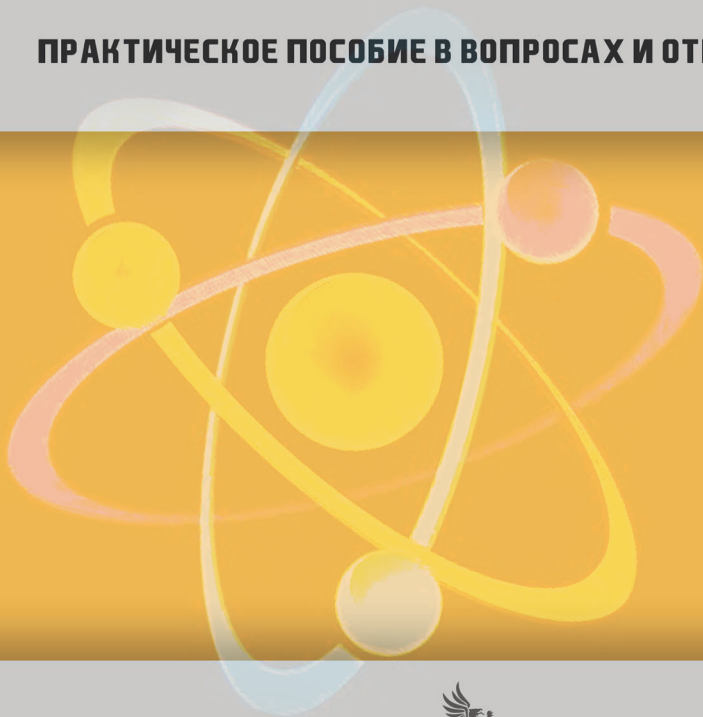


**Дёмин Е.А.**

# **МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ СВАРКИ СТАЛИ**



**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ**



УДК 621.791  
ББК 34.641  
Д 30

*Все права защищены. Воспроизведение всей книги или любой её части любыми средствами и в какой-либо форме, в том числе в сети Интернет, запрещается без письменного разрешения владельца авторских прав.*

**Дёмин Е.А.**

Д 30 Металловедение сварки стали. Практическое пособие в вопросах и ответах / Е.А. Дёмин. – М., 2022. – 240 с.

В пособии в форме вопросов и ответов в кратком изложении рассмотрены общая характеристика металла и стали, понятия структуры, структурных составляющих, фазовый состав и виды фазовых превращений в сталях и сплавах в изотермических условиях и в процессе сварки плавлением, процессы кристаллизации сварного шва, строение зоны термического влияния металла при сварке, виды и параметры термических циклов околошовной зоны, гомогенизация и рост зерна, процессы образования горячих и холодных трещин в сварных соединениях, диаграммы анизотермического превращения аустенита и их использование для выбора режимов сварки перлитных сталей. Даны понятие и характеристики свариваемости сталей разных структурных классов и общие рекомендации по выбору режимов сварки плавлением этих сталей.

В пособии используются материалы работ авторов по металловедению, свариваемости, теории сварочных процессов и различных публикаций по рассмотренным темам.

Пособие будет полезным начинающим и работающим специалистам в области сварочного производства, и студентам соответствующих образовательных специальностей.

УДК 621.791.01  
ББК 34.641

© Дёмин Е.А., 2022

## Содержание

<b>Введение</b> .....	4
1. Общие сведения о свойствах металлов .....	6
2. Сталь и фазовые превращения стали .....	16
3. Виды фазовых превращений в сталях и сплавах в твердом состоянии.....	20
4. Сварка стали плавлением и ее влияние на металл.....	37
5. Фазовые превращения в сталях и сплавах при сварке .....	38
6. Гомогенизация при сварке плавлением.....	60
7. Рост зерна аустенита при сварке .....	61
8. Кристаллизация сварного шва.....	72
9. Тепловые процессы при сварке плавлением .....	118
10. Деформационные изменения в металле при сварке .....	141
11. Трещинообразование при сварке стали и сплавов.....	168
12. Свариваемость стали и сплавов.....	204
13. Условия сварки сталей плавлением.....	216
14. Способы регулирования структуры сварных соединений .....	226
<b>Список литературы</b> .....	230
<b>Для заметок</b> .....	233

## Введение

Металловедение, как наука о строении различных металлов и сплавов, является основой изучения зависимости между составом, строением и свойствами металлов и сплавов, и закономерности их изменения под воздействием внешних факторов таких как тепловые, химические, механические, электромагнитные, радиоактивные. Впервые существование связи между строением стали и ее свойствами было установлено Аносовым П.П. (1799-1851 гг.) Основы научного металловедения были заложены русским металлургом Черновым Д.К. (1839-1921 гг.), открывшим полиморфизм стали. Начиная с 1928-1930 г. идет развитие теории фазовых превращений в металлах благодаря исследованиям Штейнберга С.С., Курнакова Н.С., Курдюмова Г. В., Бочвара А.А., Садовского Д.В., Байкова А.А., Аустена Р., Зейтца Ф, Юм-Розери и Мотта, Велера и др. исследователей. Среди множества различных научных и научно-практических направлений металловедения особое место занимает металловедение сварки сталей и сплавов цветных металлов. Особый вклад в понимание процессов формирования структуры сварных соединений, ее образования и изменения в процессе сварки стали внесли работы Шоршорова М.Х., Белова В.В., Лившица Л.С., Лашко Н.Ф., Гривняка И. и исследователей других научных школ. Особенностью процессов сварки различными способами является нагрев металла в широком интервале скоростей и температур и последующее охлаждением нагретых зон с разными скоростями. Кроме этого на свариваемый металл оказывают влияние сопутствующие сварочные деформации и напряжения, что в итоге приводит к протеканию сложных структурных и фазовых изменений и определяет в дальнейшем формирование структуры и механических свойств сварного соединения. В связи с этим металловедение, изучающее закономерности изменения структуры и свойств металла раз-

ной природы и состава при различных условиях влияния температуры, напряжений, и др., является основой для получения сварных высококачественных соединений и выбора оптимальных условий и режимов сварки различных объектов. Так в работах Шоршорова М.Х. впервые были даны как теоретические основы формирования структуры сварных соединений при сварке плавлением, так и практические рекомендации по анализу и принципам выбора оптимальных режимов сварки сталей на основе структурных изменений в металле. В работах Демьянцевича В.П., Ерохина А.А., Рыкалина Н.Н., Походни И.К., Любавского К.В., Окерблома Н.О., Винокурова В.А., и др. исследователей приводятся закономерности процессов кристаллизации сварных швов, тепловых процессов, развитие напряжений и деформаций, и других различных процессов при сварке.

**Почему в Пособии рассматривается металловедение только сварки стали?** Во-первых, т.к. различные стали и их сплавы являются наиболее широко распространенным металлом для производства различных изделий и конструкций с применением сварки. Во-вторых, структура сварного соединения для различных марок, структурных классов, толщин металла сталей зависит от разных методов и технологий их сварки плавлением. В-третьих, от структуры металла, образующейся при сварке, зависят механические свойства сталей и оптимальное качество сварного соединения. Поэтому знание процессов образования и изменения структуры металла сталей и сплавов при сварке плавлением является основой для анализа, выбора и оптимального применения их методов в практике работ специалистов сварочного производства.

## 1. Общие сведения о свойствах металлов.

### 1.1. Что значит металл и основные характеристики металлов?

**Металл** – это группа химических элементов с характерными металлическими свойствами, представляющие собой поликристаллические тела, состоящие из мелких различно ориентированных по отношению друг к другу кристаллов. Кристаллы металла вследствие условий кристаллизации имеют неправильную форму и называются кристаллитами или зёрнами, т.е. металлы имеют зеренную структуру.

Металлы характеризуются рядом свойств, к которым относятся:

- ✓ высокая тепло- и электропроводность,
- ✓ тепловое расширение,
- ✓ твердость, упругость, прочность, пластичность,
- ✓ характерный металлический блеск,
- ✓ плотность,
- ✓ полиморфизм,
- ✓ магнитные свойства.

Все металлы и металлические сплавы имеют кристаллическую (зеренную) структуру, которая сохраняет упорядоченное расположение элементарных частиц (ионов, атомов) и характеризуются металлической связью.

### 1.2. Что значит металлическая связь?

Металлическая связь является основой металла и его кристаллической структуры.

**Металлическая связь** образует кристаллические структуры посредством взаимодействия положительных ионов узлов кристаллической решётки (атомов, потерявших электроны) с полем общих во всем объеме металла электронов внешних орбит ранее нейтральных атомов. Этот вид связи по своей природе не относится к химической, так как металлы обычно не имеют молекулярного строения, а их атомы объ-

единяются в кристаллические образования. Этот вид связи обуславливает высокую прочность, пластичность и электропроводность металлов.

Металлическая связь по своей природе имеет значительное сходство с ковалентной связью. В обоих случаях имеет место обобществление электронов внешних оболочек атомов, но в металлах происходит объединение не отдельных, как при ковалентной связи, а всех внешних электронных орбит атомов.

Атомы располагаются, закономерно образуя правильную кристаллическую решетку в связи с действием сил притяжения и отталкивания между атомами (ионами) и электронами.

### 1.3. Какие типы кристаллической решетки у металла?

Различают три основных типа кристаллической решетки металла:

1. *Объемноцентрированная кубическая решетка* с координационным числом, равным 8 (натрий, калий, хром, ниобий, железо и др.). Атомы металла расположены в вершинах куба, а один – в центре объема. Плотность упаковки шарообразны ми ионами в этом случае составляет 68% (Рис. 1).

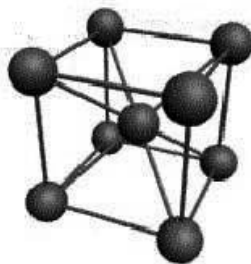


Рис. 1.

2. *Гранецентрированная кубическая решетка* с координационным числом, равным 12 (алюминий, медь, серебро,

никель и др.). Атомы металла расположены в вершинах куба и в центре каждой грани. Плотность упаковки – 74% (Рис. 2).

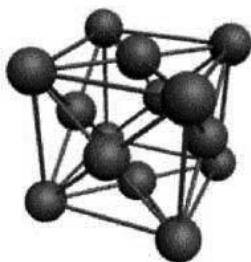


Рис. 2.

3. *Гексагональная решетка* с координационным числом 12 (магний, цинк, кадмий, титан, и др.) Атомы металла расположены в вершинах и центре шестигранных оснований призмы, а еще три – в ее средней плоскости. Плотность упаковки – 74%.

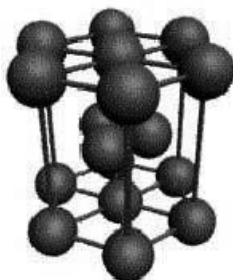


Рис. 3.

Из-за неодинаковой плотности атомов в различных направлениях кристалла наблюдаются разные свойства. Это явление, получившее название *анизотропия*, что характерно для одиночных кристаллов – монокристаллов. Однако большинство металлов в обычных условиях имеют поликристаллическое строение, т. е. состоят из значительного числа кристаллов, или зерен, каждое из которых также будет анизотропно.



#### 1.4. Какие виды элементарных связей в твёрдых телах?

Характер и величина энергии элементарных связей твердого тела, а значит, и прочность его соединений зависит от природы вещества твердого тела и типа его кристаллической решётки.

Различают четыре вида сил взаимодействия атомов кристаллической решётки твердого тела:

- Химические силы возникают как результат движения электронов внешних (валентных) оболочек атомов в поле соседних ядер атомов. Химическое взаимодействие имеет электромагнитную природу и действует на расстоянии порядка  $10^{-8}$  см. или порядка 1 Ангстрема;

- Ядерные или сильные силы взаимодействия, которые действуют на расстоянии менее  $10^{-12}$  см.;

- Слабые, обусловленные явлением  $\beta$ -распада, которые гораздо ( $10^8$  раз) слабее химических сил взаимодействия;

- Гравитационные силы взаимодействия, которые в  $10^{36}$  раз меньше химических сил.

Понятно, что реально нужно учитывать только химические силы взаимодействия атомов твердого тела.

В физике твердого тела различают четыре типа элементарных связей:

- ковалентную,
- ионную,
- межмолекулярную (Ван-дер-Вальса),
- металлическую.

По этим же четырем группам в зависимости от преобладающих элементарных связей разделяют и кристаллы.

Первые два типа связей (ковалентная и ионная) по своей природе являются химическими и обусловлены образованием общих электронов для двух и более атомов твердого тела.

Межмолекулярные связи обусловлены силами Ван-дер-Вальса и действуют между любыми атомами и молекулами,

но они очень малы. Образование прочных структур обеспечивается главным образом сильными химическими связями, а силы Ван-дер-Ваальса являются лишь небольшой добавкой к ним.

Металлические связи образуют кристаллические структуры посредством взаимодействия положительных ионов узлов кристаллической решётки (атомов, потерявших электроны) с полем общих во всем объеме металла электронов внешних орбит ранее нейтральных атомов. Этот вид связи по своей природе не относится к химической, так как металлы обычно не имеют молекулярного строения, а их атомы объединяются в кристаллические образования. Этот вид связи обуславливает высокую прочность, пластичность и электропроводность металлов.

Металлическая связь по своей природе имеет значительное сходство с ковалентной связью. В обоих случаях имеет место обобществление электронов внешних оболочек атомов, но металлах происходит объединение не отдельных, как при ковалентной связи, а всех внешних электронных орбит атомов.

Все четыре типа связей в кристаллах (ковалентная, ионная, молекулярная и металлическая) почти не встречаются в чистом виде. Обычно имеет место сочетание различных типов связей, причем необходимо помнить, что молекулярные связи проявляют себя значительно слабее по сравнению с тремя остальными типами связи.

### **1.5. Что значит фаза и структура металла?**

Для рассмотрения строения, превращений и особенностей металла и сплавов в металловедении вводится понятие фаза и структура.

**Фазой** называется однородная составляющая структуры металла, ограниченная от других компонентов поверхностью раздела ("границей"), при переходе через которую

структура изменяется. Например, однородный чистый металл имеет однофазное строение. Состав, имеющий жидкий металл и кристаллы, представляет двухфазное строение.

В сталях фазами являются феррит, цементит и аустенит.

В тоже время **фаза** это однородная обособленная часть структуры (сплава), имеющая одинаковый состав и строение.

**Структурой** называют внутреннее строение металла или форму, размеры и характер взаимного расположения соответствующих фаз (структурных составляющих). **Иначе структура – это внутрифазовое строение металла.**

Структурными составляющими металла являются обособленные фазы структуры, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями.

В зависимости от размеров (дисперсности) структурных составляющих (фаз) структура делится на:

- внутривзеренная (субзеренная) или "тонкая" структура,
- зеренная или микроструктура,
- кристаллическая или макроструктура, когда строение металла видимо невооруженным глазом и при небольшом увеличении (20 – 30 раз).

## 1.6. Что значит полиморфизм металла?

**Полиморфизм** или перекристаллизация (аллотропия) это способность металла в твердом состоянии при различных температурах (или давлении) иметь различные типы структур или фазовое строение. На Рис. 4 показана схема полиморфного превращения железа. Полиморфизм и полиморфные превращения в металлах имеет большое практическое значение. Так благодаря полиморфизму железа имеется возможность широкого изменения структуры и свойств сплавов на основе железа (сталей), например, посредством термической обработки (закалки, отпуска, отжига). При сварке плавлением стали полиморфизм определяет фазовые превраще-

ния в структуре металла сварных соединений при нагреве и охлаждении.

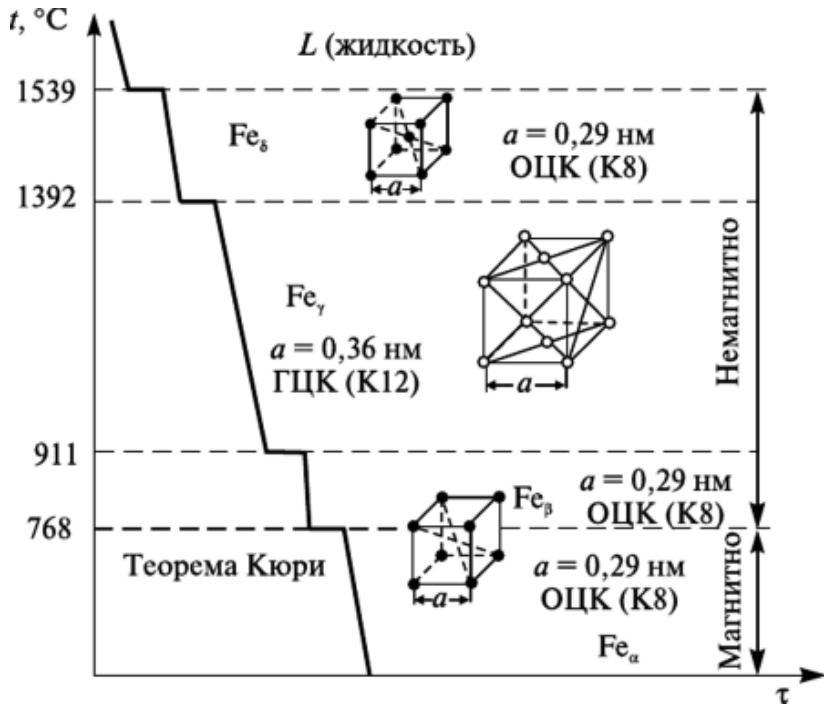


Рис. 4. Полиморфные превращения железа

При нормальной температуре железо существует в форме магнитной ОЦК-кристаллической модификации ( $\text{Fe}_\alpha$ ). В процессе нагрева при  $t = 768^\circ\text{C}$  (точка магнитного превращения, или температура Кюри)  $\text{Fe}_\alpha$  переходит в немагнитную ОЦК-кристаллическую форму  $\text{Fe}_\beta$ . Далее при  $t = 911^\circ\text{C}$   $\text{Fe}_\beta$  превращается в ГЦК-кристаллическую модификацию  $\text{Fe}_\gamma$ , при  $t = 1392^\circ\text{C}$   $\text{Fe}_\gamma$  переходит в ОЦК-кристаллическую форму  $\text{Fe}_\delta$ , кристаллографически аналогичную  $\text{Fe}_\alpha$ , при  $t = 1539^\circ\text{C}$  происходит плавление железа.

### **1.7. Что значит фазовое превращение в металле?**

**Фазовые превращения (фазовый переход)** – любой переход между разными агрегатными состояниями веществ (плавление, кипение, испарение и т.д.), а также изменение плотности и кристаллической структуры вещества в пределах одного агрегатного состояния. Под превращением в твердом состоянии понимают процессы приводящие к изменению структуры твердых тел. Под фазовыми превращениями (переходами I рода) понимают превращения с образованием новых фаз, отличающихся от исходных атомно-кристаллическим строением, часто составом, свойствами и разграниченными с ними поверхностями раз дела (межфазными границами). При образовании новой фазы в ее объеме меняется свободная энергия, скачкообразно изменяются энтропия, энтальпия, и в момент превращения теплоемкость стремится к бесконечности. В связи с этим фазовое превращение сопровождается изменением плотности, выделением или поглощением теплоты. Теория фазовых превращений в твердом состоянии является основой для управления структурой и свойствами металлов и сплавов при различных видах воздействия на металл.

### **1.8. Какие критические точки фазовых превращений?**

**Критические точки** – температуры, при которых происходят **фазовые превращения** в структуре металла. Для стали критические точки обозначают буквой А.

Ас – точка соответствует нагреву, когда температура увеличивается.

Аг – точка соответствует охлаждению, когда температура уменьшается.

Нижняя критическая точка соответствует линии PSK диаграммы состояния железо-углерод. Эта точка называется А1 и соответствует превращению аустенита в перлит при охлаждении или перлита в аустенит при нагреве. Верхняя крити-

ческая точка называется А3. Критическая точка А3 для доэвтектоидных сталей лежит на линии GS диаграммы железо-углерод и соответствует началу выделения феррита при охлаждении или концу его растворения при нагреве. Критическая точка А3 для заэвтектоидных сталей лежит на линии SE и соответствует началу выделения вторичного цементита при охлаждении или концу его растворения при нагреве (Таб. 1).

Таб. 1. Критические точки чистого железа и сплавов Fe-Fe<sub>3</sub>C

Температура превращения, °С	Обозначение критических точек		Примечание
	При нагреве	При охлаждении	
1539	—	—	Плавление, кристаллизация
910	A <sub>c3</sub>	A <sub>r3</sub>	Fe $\alpha$ ↔ Fe $\gamma$
770	A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Магнитное пре- вращение железа
727	A <sub>c1</sub>	A <sub>r1</sub>	Эвтектоидное превращение цементита
210	A <sub>0</sub>	—	Магнитное превращение цементита

На Рис. 5 (на след. стр.) приводятся иллюстрация обозначения критических точек соответствующих процессам нагрева и охлаждения на диаграмме фазовых превращений.

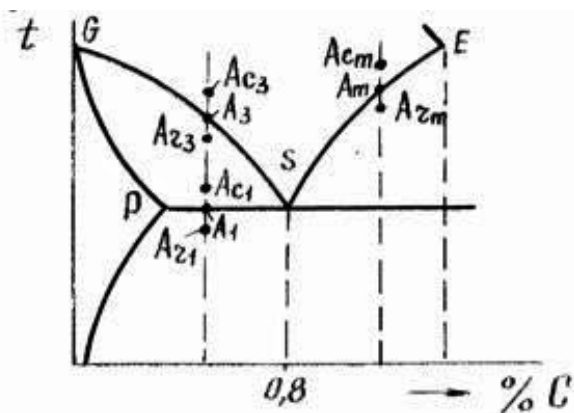


Рис. 5. Критические точки на диаграмме «Fe – C»

### 1.9. Какие типы фазовых превращений существуют?

Существует несколько основных типов фазовых превращений, отличающихся механизмом образования новых фаз.

1. Бездиффузионные фазовые превращения, если скорость превращения определяется скоростью перемещения границы раздела фаз, отличающихся только своей кристаллической структурой.

2. Диффузионные фазовые превращения непрерывное и прерывистое (ячеистое).

3. Нормальное превращение, когда при снижении температуры системы скорость превращения сначала возрастает, что обусловлено облегчением образования зародышей новой фазы с увеличением переохлаждения системы, а затем скорости превращения уменьшаются с уменьшением подвижности атомов в связи с уменьшением температуры системы.

4. Мартенситное превращение. Превращение такого типа характеризуется очень большой скоростью роста кристаллов новой фазы при слабой зависимости скорости роста от температуры. Более того, при снижении температуры в об-

ласть низких температур мартенситное превращение может идти с очень большой скоростью, в то время как в изотермических условиях и при более высоких температурах оно не происходит.

## **2. Сталь и фазовые превращения стали.**

### **2.1. Какое определение стали и ее сплавов?**

**Сталь** является сплавом железа с углеродом (и другими элементами), содержащий не менее 45% железа и в котором содержание углерода находится в диапазоне от 0,02 до 2,14% . При содержании углерода от 0,6% до 2,14% сталь относится к высокоуглеродистой. Если содержание углерода в сплаве превышает 2,14%, то такой сплав называется чугуном. Кроме углерода в стали находятся постоянные примеси: кремний, марганец, сера, фосфор и другие химические элементы. Эта группа сталей относится к **углеродистым**. К сплавам относятся стали с разной степенью добавки (легирования) различных элементов (марганец, кремний, хром, никель, ванадий, ниобий, титан и пр.). Такие стали относятся к **легированным**.

### **2.2. Как классифицируются углеродистые стали?**

Углеродистые стали классифицируются на:

- низкоуглеродистые (до 0,2-0,25% углерода);
- среднеуглеродистые (0,25-0,45%);
- высокоуглеродистые (от 0,45-2,14%).

### **2.3. Как классифицируются легированные стали?**

Легированные стали классифицируются на:

- низколегированные (до 2,5% легирующих элементов);
- среднелегированные (2,5-10% легирующих элементов, один легирующий элемент не более 5%);
- высоколегированные (от 10%).



#### 2.4. Какие виды структурных составляющих в составе стали?

Структурными составляющими в составе стали в зависимости от температуры являются:

**аустенит (А)** – твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе  $Fe\gamma$  (С);

**феррит (Ф)** – твердый раствор небольших (0,02-0,04%) массовых долей углерода в  $\alpha$ -железе  $Fe\alpha$  (С);

**перлит (П)** – эвтектоидная (механическая) смесь из одновременно образующихся феррита и карбида  $Fe\alpha + Fe_3C$ ;

**(цементит)** – карбид железа, химическое соединение с формулой  $Fe_3C$  с ничтожно малой равновесной растворимостью углерода в феррите;

**мартенсит (М)** – твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе  $Fe\alpha$  (С);

**смешанная структура** (аустенито-феррит, аустенито-мартенсит, аустенито-феррито-мартенсит).

#### 2.5. Какие основные виды превращений в твердом состоянии в сталях и сплавах?

Основой всех сталей является железо, которое претерпевает полиморфное (фазовое) превращение. Железо имеет две модификации  $Fe\gamma$  с гранецентрированной кубической решеткой (параметр  $a=3,565 \text{ \AA}$  при  $910^\circ$ ), устойчивая в равновесных условиях при температурах от  $910$  до  $1401^\circ$ , и  $Fe\alpha$  с объемноцентрированной кубической решеткой ( $a = 2,862 \text{ \AA}$  при  $910^\circ$ ), устойчивая при температурах ниже  $910^\circ$  и в интервале  $1401 - 1539^\circ$ , т. е. до температуры плавления. В железе превращение  $Fe\gamma$  в  $Fe\alpha$  происходит с увеличением удельного объема на 3%. В твердом состоянии в сталях и сплавах проходят фазовые превращения П в А и обратно соответственно при нагреве и охлаждении металла.

## 2.6. Что такое диаграмма состояния?

Диаграмма состояния – графическое изображение фазовых равновесий и превращений фазового состава металла при разных значениях термодинамических параметров: температуры, давления и концентраций компонентов в фазах

## 2.7. Что такое диаграмма превращений стали и сплавов?

Диаграмма железо-углерод показывает изменение фазового состояния сплавов железа с углеродом в зависимости от их химсостава и температуры. Фазовые превращения показаны на диаграмме превращений железо-углерод (Рис. 6).

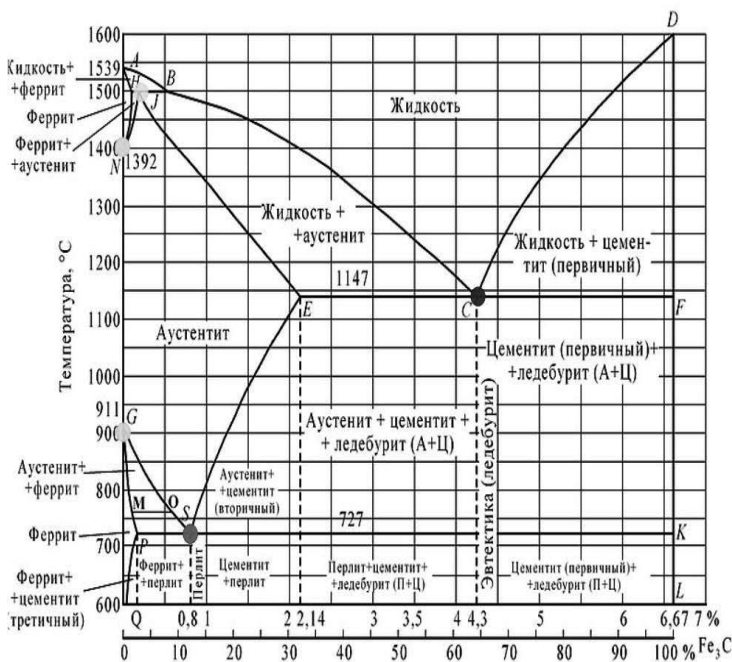


Рис. 6. Диаграмма превращений железо-углерод

Критические точки, образующие линию PSK, обозначаются Ас<sub>1</sub> (при нагреве) и Аг<sub>1</sub> (при охлаждении).

Значения точек диаграммы железо-углерод:

**Точка А** соответствует температуре плавления (кристаллизации) чистого железа. Температура, отвечающая этой точке, составляет 1539 °С.

**Точка С** эвтектическое превращение со структурой ледебурит при содержании углерода 4,3%.

**Точка S** эвтектоидное превращение (в структуре чистый перлит 0,8% углерода).

**Точка Н** перитектическое превращение (взаимодействие кристаллов твердого раствора с жидкостью, происходящий при постоянной температуре и постоянной концентрации фаз, приводящее к образованию кристаллов другого твердого раствора).

**Точка G** точка полиморфного превращения в чистом железе  $Fe\alpha \leftrightarrow Fe\gamma$ . Температура превращения 911 °С.

**Точка P** точка предельного содержания углерода в феррите, находящемся в равновесии с цементитом и аустенитом при эвтектоидной температуре (727 °С).

Линии диаграммы:

*Линия ACD* – линия ликвидуса, выше этой линии сплав находится в жидком состоянии. При температурах, соответствующих этой линии, начинается первичная кристаллизация сплава.

*Линия AECF* – линия солидуса, ниже этой линии сплав находится в твердом состоянии. При температурах линии *AE* заканчивается первичная кристаллизация стали образованием твердого аустенита. *ECF* – эвтектическая линия; по этой линии заканчивается первичная кристаллизация чугуна образованием ледебурита.

*Линия GSE* – начало процесса вторичной кристаллизации твердого раствора. Линия *GS* соответствует температурам начала превращения аустенита в феррит.

Линия *SE* показывает температуру начала выделения вторичного цементита из аустенита.

*Линия PSK* – эвтектоидная линия, на которой заканчивается процесс вторичной кристаллизации образованием перлит.

Кроме фазовых превращений, в сталях и сплавах протекают процессы возврата, полигонизации, рекристаллизации и роста зерен (собирательная рекристаллизация).

## **2.8. Что значит возврат и полигонизация структуры?**

**Возврат и полигонизация** процессы в структуре металла, когда при нагреве вначале происходит снятие микронапряжений II рода и частично искажений кристаллической решетки (напряжений III рода), а затем проходит **полигонизация** (дробление кристаллитов на субзерна полигоны с малоугловыми границами).

## **2.9. Что значит рекристаллизация структуры?**

**Рекристаллизация** процесс в структуре металла при нагреве, когда какие-то из зерен имеют предпочтительные условия для роста (вторичная рекристаллизация) или образование одних зерен поликристалла происходит за счет других.

## **3. Виды фазовых превращений в сталях и сплавах в твердом состоянии.**

### **3.1. Какие виды превращений в сталях и сплавах?**

По своему механизму превращения в сталях и сплавах разделяются на **диффузионные** и **бездиффузионные**. Из числа фазовых превращений к диффузионным относятся превращения второго (превращение аустенита в перлит  $A \rightarrow P$ ) и третьего (превращение аустенита в мартенсит  $A \rightarrow M$ ) рода, т. е. эвтектоидный распад, распад пересыщенных твердых растворов и обратные им превращения. Полиморфные превращения могут протекать как по диффузионной (нормальной) так и по бездиффузионной (мартенситной) кинетике. Однако между полиморфными превращениями, характери-

зующимися нормальной кинетикой, и диффузионными превращениями второго и третьего рода имеются существенные различия. При полиморфных превращениях величина смещений атомов не превышает межатомного расстояния, а при превращениях второго и третьего рода она его значительно превышает. Таким образом, в сталях и сплавах основными видами превращений являются: 1. полиморфное превращение, в частности превращение мартенситного типа 2. эвтектоидный распад и обратное ему образование твердого раствора из эвтектоидной смеси 3. распад пересыщенных твердых растворов (старение, отпуск мартенсита) и обратное растворение в твердом состоянии.

### **3.2. Какой пример превращения диффузионного типа?**

Примером превращения диффузионного типа является перлитное превращение при распаде аустенита при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Одной из характеристик перлитной структуры является окончательный размер колоний (перлитных зерен). Чем меньше размер аустенитных зерен и ниже температура превращения, тем меньше размер перлитных зерен. С уменьшением их размера механические свойства структуры улучшаются.

### **3.3. Какие особенности фазовых превращений железа и сплавов?**

Особенностями фазового превращения в анизотропной твердой среде являются:

- 1) определенная связь между кристаллографическими ориентировками исходной фазы и зародышей новой фазы,
- 2) возникновение внутренних напряжений и деформаций при образовании и росте зародышей новой фазы,
- 3) значительно меньшая диффузионная подвижность атомов,