

*Форма представления комплекта контрольных работ (домашних заданий)*

**КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ (ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ)**

**по дисциплине «Материаловедение и ТКМ»**

Каждый студент должен выполнить три контрольные работы. Номер варианта контрольной работы должен совпадать с номером студента в списке группы. Контрольные работы выполняются на бумаге формата А4. Для построения диаграмм используется миллиметровая бумага того же формата (допускается использование копии диаграммы). Все листы должны быть пронумерованы и сброшюрованы. Сброшюрованная контрольная работа должна содержать титульный лист, форма которого приводится ниже.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Мытищинский филиал  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)».  
(МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)



Факультет лесного хозяйства, лесопромышленных технологий и садово-паркового строительства  
Кафедра ЛТ5 «Проектирование объектов лесного комплекса»

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № \_\_\_\_\_

по дисциплине: «Материаловедение и технология конструкционных  
материалов»

Вариант № \_\_\_\_\_

Выполнил студент:

\_\_\_\_\_

Ф.И.О.

группа \_\_\_\_\_

Проверил:

Преподаватель: \_\_\_\_\_

(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_

(подпись)

Мытищи 20\_\_

## Контрольная работа (домашнее задание) № 1 .

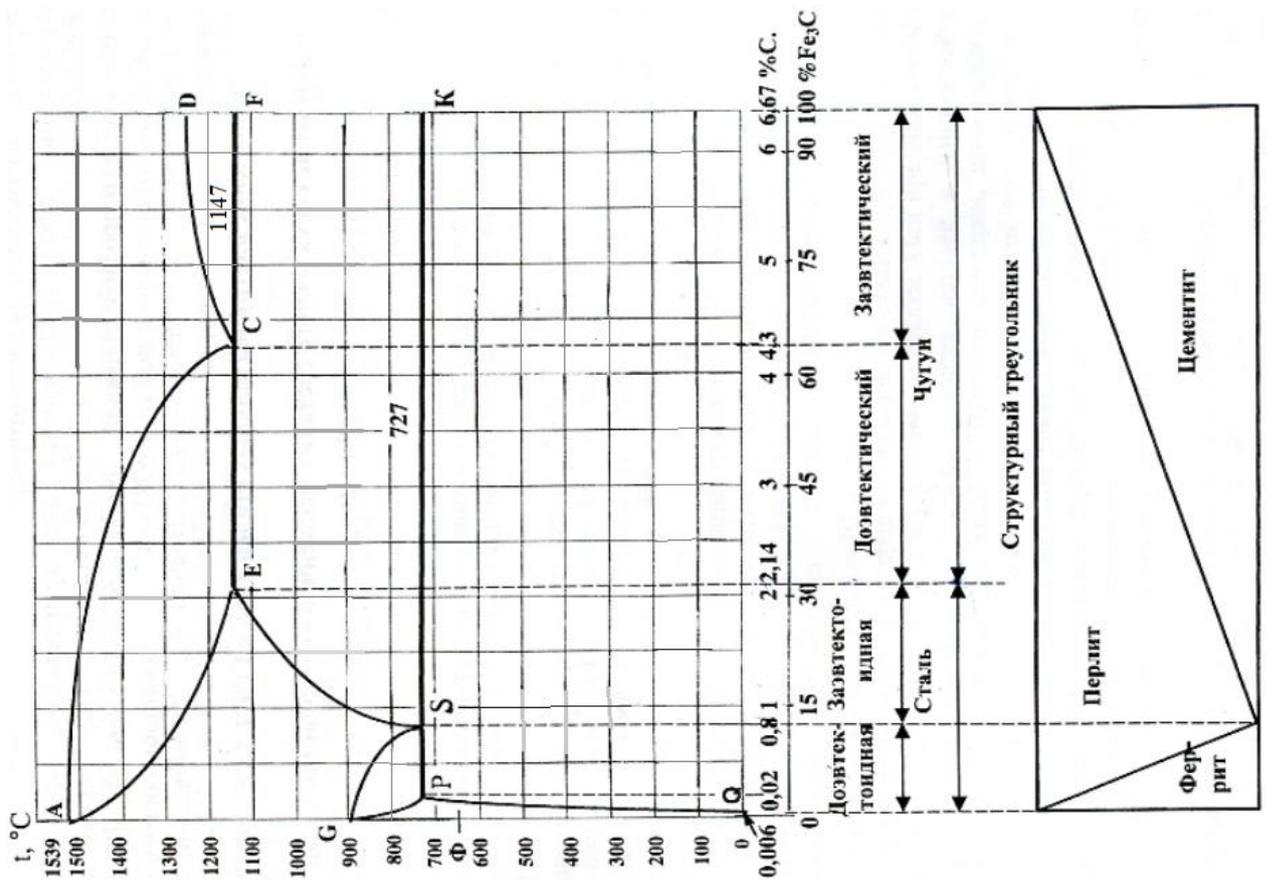
### Модуль 1. Изучение и анализ железоуглеродистых сплавов с использованием диаграммы состояния железо-цементит.

Задание:

1. Начертить в масштабе (можно использовать заготовку) диаграмму состояния Fe - Fe<sub>3</sub>C и обозначить области существования фаз и линии критических точек.
2. Построить кривую охлаждения и описать структурные превращения для сплава с заданным содержанием углерода, по структурному треугольнику определить соотношение фаз в сплаве.
3. Для сплава с заданным содержанием углерода подобрать диапазоны температур для проведения термических обработок: отжига II рода, нормализации, закалки.
4. Построить график термической обработки сплава для проведения термообработки «Улучшение».
5. Расшифровать марки заданных сплавов, указать химический состав, механические свойства и назначение сплавов.

Варианты заданий:

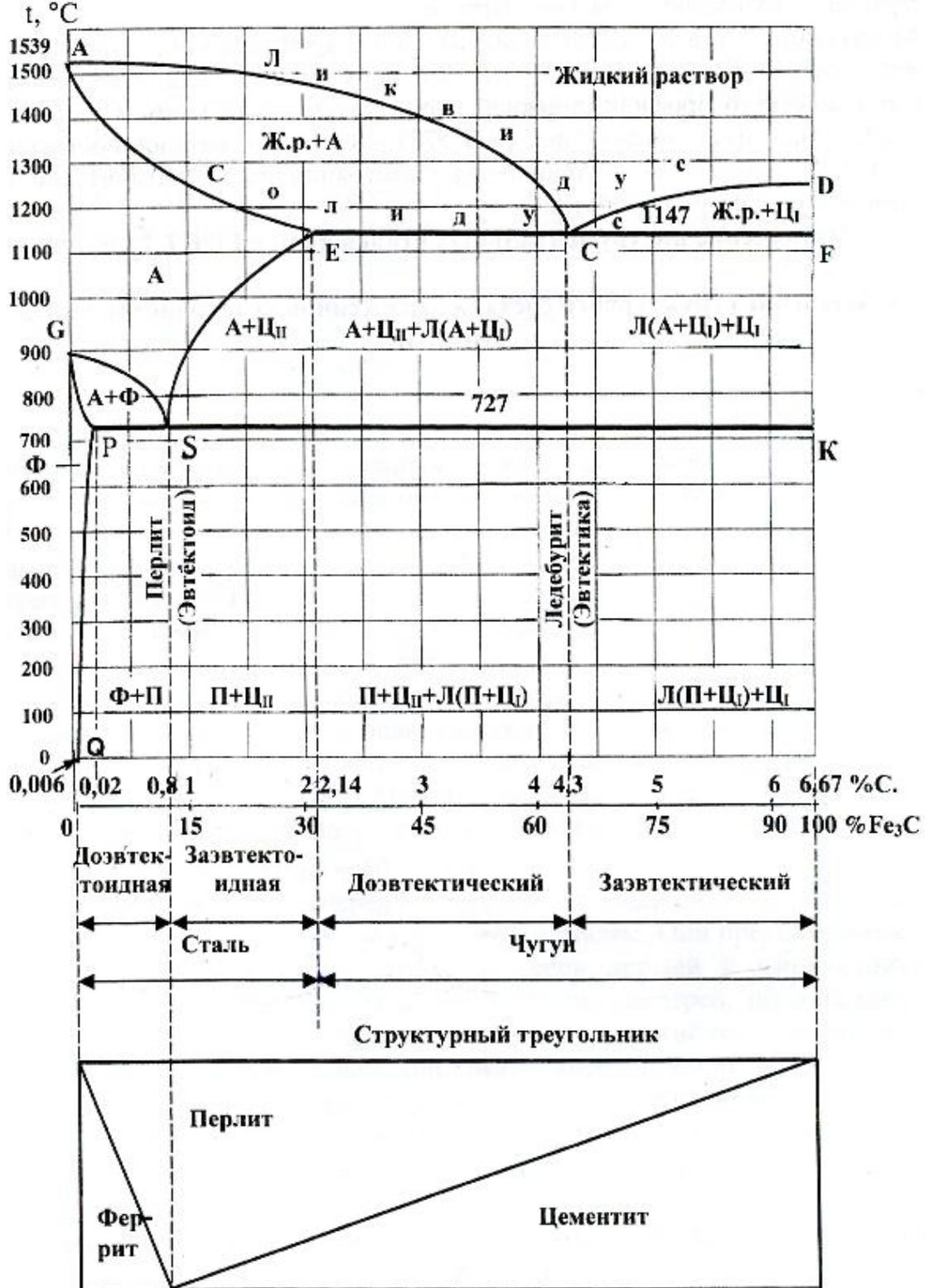
№ вар	Заданное содержание углерода	Марки для расшифровки		
		Сталь	Сталь	Чугун
1	0,5 % C	Ст3 Гпс	Сталь 45	ВЧ 40
2	0,65 % C	Ст3сп	Сталь 35	ВЧ 45
3	0,7 % C	Ст5пс	Сталь 30	КЧ 35-10
4	0,8 % C	Ст3 Гпс	Сталь 65Г	ВЧ 120
5	0,45 % C	Ст1сп	Сталь 35	КЧ 37-12
6	0,55 % C	Ст4сп	Сталь 30	КЧ 50-4
7	0,35 % C	Ст4сп	Сталь 70	КЧ 60-3
8	1,3 % C	Ст1кп	Сталь 10кп	ВЧ 100
9	1,0 % C	Ст2кп	Сталь 55	СЧ 36
10	1,3 % C	Ст3сп	Сталь 08	СЧ 12
11	1,2 % C	Ст4сп	Сталь 40	ВЧ 38
12	1,0 % C	Ст3 Гпс	Сталь 18кп	СЧ 21
13	0,9 % C	Ст3сп	Сталь 35	СЧ 24
14	0,35 % C	Ст5пс	Сталь 30	ВЧ 50
15	1,1 % C	Ст6кп	Сталь 25	ВЧ 60
16	0,35 % C	Ст4кп	Сталь 05кп	ВЧ 70
17	1,1 % C	Ст1пс	Сталь 15	ВЧ 80
18	0,4 % C	Ст1пс	Сталь 11кп	СЧ 15
19	0,65 % C	Ст2пс	Сталь 65	КЧ 33-8
20	0,75 % C	Ст4пс	Сталь 10пс	КЧ 63-2
21	1,1 % C	Ст3 Гпс	Сталь 58 (55ПП)	КЧ 33-8
22	0,85 % C	Ст3сп	Сталь 10кп	КЧ 63-2
23	0,65 % C	Ст5пс	Сталь 12А	ВЧ 40
24	0,45 % C	Ст2кп	Сталь 20кп	ВЧ 35
25	0,35 % C	Ст5кп	Сталь 10пс	КЧ 38-10



**Пример выполнения контрольной работы №1.**

Изучение и анализ железоуглеродистых сплавов с использованием диаграммы состояния железо-цементит.

1. Начертить в масштабе диаграмму состояния Fe - Fe<sub>3</sub>C, обозначить области существования фаз и описать структурные составляющие.



**Пояснения по диаграмме:**

В сплавах железо – цементит существуют следующие фазы: жидкий раствор, феррит, аустенит, цементит и свободный углерод в виде графита..

1. Жидкая фаза. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. **Феррит (Ф или  $\alpha$ )** – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо. Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальную – 0,02 % при температуре 727°C (точка P). Значительная доля атомов углерода размещается на дефектах решетки.

При температуре выше 1392° С существует высокотемпературный феррит ( $\delta$ ), с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре 1499 °С (точка J). Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – 130 НВ, предел прочности  $\sigma_B=300$  МПа) и пластичен (относительное удлинение 30%), магнитен до 768° С.

3. **Аустенит (А или  $\gamma$ )** – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железо. Углерод занимает место в центре гранцентрированной кубической ячейки. Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727 °С (точка S), максимальную – 2,14 % при температуре 1147 °С (точка E).

Аустенит имеет твердость 200...250 НВ, пластичен (относительное удлинение 40-50%), парамагнитен.

При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

**Цементит – (Ц)**, – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $Fe_3C$ ), содержит 6,67 % углерода. Обладает высокой прочностью и малой пластичностью.

Первичная кристаллизация сплавов системы железо-углерод начинается по достижении температур, соответствующих линии ABCD (линии ликвидус), и заканчивается при температурах, образующих линию AHJESF (линию солидус).

При температурах, соответствующих линии BC, из жидкого раствора кристаллизуется аустенит. В сплавах, содержащих от 4,3% до 6,67% углерода, при температурах, соответствующих линии CD, начинают выделяться кристаллы цементита первичного. Цементит, кристаллизующийся из жидкой фазы, называется первичным. В точке С при температуре 1147°C и концентрации углерода в жидком растворе 4,3% образуется эвтектика, которая называется **ледебуритом (Л)**. Эвтектическое превращение с образованием ледебурита можно записать формулой  $J_C \rightarrow (A_E + Ц_F) \rightarrow Л$ . Процесс первичной кристаллизации чугунов заканчивается по линии ECF образованием ледебурита.

Таким образом, структура чугунов ниже 1147°C будет: доэвтектических – аустенит+ледебурит, эвтектических – ледебурит и заэвтектических – цементит (первичный)+ледебурит.

Превращения, происходящие в твердом состоянии, называются вторичной кристаллизацией. Они связаны с переходом при охлаждении  $\gamma$ -железа в  $\alpha$ -железо и распадом аустенита.

Линия GS соответствует температурам начала превращения аустенита в феррит. Ниже линии GS сплавы состоят из феррита и аустенита.

Линия ES показывает температуры начала выделения цементита из аустенита вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените с понижением температуры. Цементит, выделяющийся из аустенита, называется вторичным цементитом.

В точке S при температуре 727°C и концентрации углерода в аустените 0,8% образуется эвтектоидная смесь, состоящая из феррита и цементита, которая называется перлитом (П). Перлит получается в результате одновременного выпадения из аустенита частиц феррита и цементита. Процесс превращения аустенита в перлит можно записать формулой  $A_S \rightarrow (Ф_P + Ц_K) \rightarrow П$ .

Линия PQ показывает на уменьшение растворимости углерода в феррите при охлаждении и выделении цементита, который называется третичным цементитом.

Следовательно, сплавы, содержащие менее 0,006% углерода (точка Q), являются однофазными и имеют структуру чистого феррита, а сплавы, содержащие углерод от 0,006 до 0,02% – структуру феррит+цементит третичный и называются техническим железом.

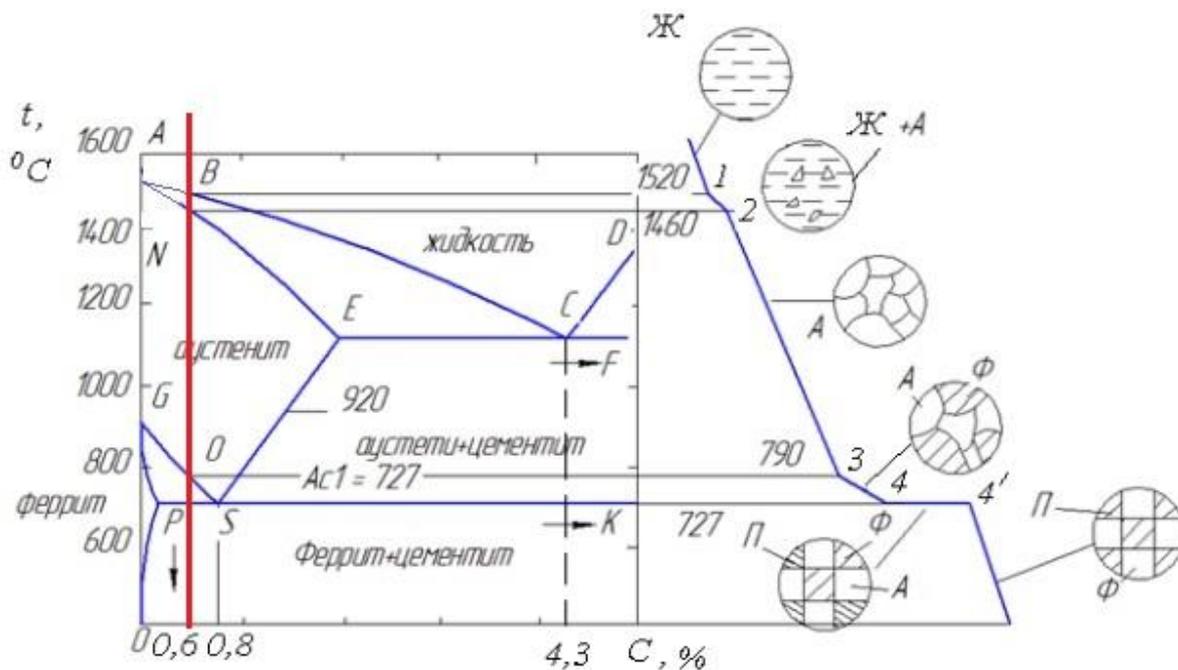
Доэвтектоидные стали (содержание углерода  $C < 0,8\%$ ) при температуре ниже  $727^\circ\text{C}$  имеют структуру феррит + перлит, эвтектоидные ( $C = 0,8\%$ ) состоят только из перлита и заэвтектоидные  $C > 0,8\%$  – перлит + цементит вторичный в виде сетки по границам зерен.

В доэвтектических чугунах (содержание углерода  $C < 4,3\%$ ) в интервале температур  $1147-727^\circ\text{C}$  при охлаждении из аустенита выделяется цементит вторичный, вследствие уменьшения растворимости углерода (линия ES). По достижении температуры  $727^\circ\text{C}$  (линия PSK) аустенит, обедненный углеродом до 0,8% (точка S), превращается в перлит. Таким образом, после окончательного охлаждения структура доэвтектических чугунов состоит из перлита, цементита вторичного и ледебурита, превратившегося в перлит + цементит.

Структура эвтектических чугунов при температурах ниже  $727^\circ\text{C}$  состоит из ледебурита превращенного. Заэвтектический чугун при температурах ниже  $727^\circ\text{C}$  состоит из ледебурита превращенного и цементита первичного.

## 2. Построить кривую охлаждения и описать структурные превращения для заданного состава сплава (0,6 %C), по структурному треугольнику определить соотношение фаз

Сплав железа с углеродом, содержащий 0,6% C (конструкционная сталь 60), является доэвтектоидной сталью. Структура при комнатной температуре – Аустенит + Перлит



Кривая охлаждения стали 60

Для Стали 60

1–2 (1460-1400)– первичная кристаллизация, образование аустенитной структуры

2–3 (1400-790) – охлаждение твердого сплава (превращений нет)

3–4 (790-727) – вторичная кристаллизация; 3 – образование насыщенного твердого раствора углерода в  $\text{Fe}_\alpha$ . Понижение температуры приводит к диффузии избыточного углерода к граница зерен, в результате на границах образуются зоны с высоким содержанием углерода, которые превращаются в Ц.

4–4' (727) – эвтектоидное превращение А в П; 4' – конец превращения;  $t = 727^{\circ}\text{C} = \text{const}$ .

Ниже 4' – остывание сплава, идет процесс третичной кристаллизации, выпадение  $\text{Ц}_{\text{III}}$  из феррита (теоретически), фазовый состав Феррит + Перлит

**3. Для сплава с заданным содержанием углерода подобрать диапазоны температур для проведения термических обработок: отжига II рода, нормализации, закалки.**

**Пояснения:**

**Отжиг II рода** – вид термообработки, заключающийся в нагреве стали выше линии GSK на  $30\dots 50^{\circ}\text{C}$  (по диаграмме), выдержки для получения структуры аустенит и охлаждения с печью. Время выдержки углеродистой стали при отжиге находится в пределах  $0,5\dots 1$  ч.

**Нормализация** – вид термообработки, заключающийся в нагреве стали выше линии GSE на  $30\dots 50^{\circ}\text{C}$  (по диаграмме), выдержке для получения структуры аустенит и охлаждении на воздухе.

**Закалка** – вид термообработки, заключающийся в нагреве стали выше линии GSK на  $30\dots 50^{\circ}\text{C}$  (по диаграмме), выдержке для получения структуры аустенит и охлаждении со скоростью больше критической.

Время выдержки углеродистой стали под закалку в электропечи назначается из расчёта  $50\dots 80$  секунд на 1 мм наименьшей толщины сечения детали.

**Критическая скорость охлаждения  $V_{\text{кр}}$**  при закалке – минимальная скорость, при которой переохлаждённый аустенит будет превращаться в мартенсит закалки. Для углеродистой стали  $V_{\text{кр}}$  получают охлаждением в воде.

**Отпуск** – вид термической обработки, заключающийся в нагреве **закалённой на мартенсит** углеродистой стали, выдержке при заданной температуре и охлаждении. Отпуск снижает хрупкость и внутренние напряжения, полученные при закалке.

По температуре нагрева различают три вида отпуска:

– **низкотемпературный (низкий) отпуск**,  $t_{\text{н}} = 120\dots 250^{\circ}\text{C}$ , при этом отпуске мартенсит закалки превращается в мартенсит отпуска (рис. 3), снижаются закалочные напряжения, несколько повышается пластичность и вязкость, сохраняется высокой твёрдость  $56\dots 63$  HRC и износостойкость;

– **среднетемпературный (средний) отпуск**,  $t_{\text{н}} = 350\dots 500^{\circ}\text{C}$ , при этом отпуске мартенсит закалки превращается в троостит отпуска (рис. 3), снижаются закалочные напряжения, достигает максимального значения предел упругости, снижается твёрдость до  $\sim 40\dots 54$  HRC.

– **высокотемпературный (высокий) отпуск**,  $t_{\text{н}} = 500\dots 650^{\circ}\text{C}$ , при этом отпуске мартенсит закалки превращается в сорбит отпуска (рис. 3), почти полностью снимаются закалочные напряжения, твёрдость снижается до  $\sim 170\dots 300$  НВ, прочность снижается в  $1,5\dots 2$  раза, пластичность и вязкость повышаются в несколько раз, достигается наилучшее соотношение прочности и вязкости, сталь становится малочувствительной к концентраторам напряжений и имеет высокую трещиностойкость  $K_{\text{Ic}}$ .

Время выдержки при отпуске составляет  $1\dots 2$  часа. Для крупных изделий и измерительного инструмента дают более длительный отпуск до  $6\dots 12$  часов и более.

Охлаждение при отпуске должно быть медленным, например, на воздухе, чтобы полнее снять остаточные напряжения. Однако, если сталь склонна к отпускной хрупкости, охлаждение должно быть быстрым, в воде.

**Улучшение** – двойная термообработка, состоящая из закалки в воде и высокого отпуска.

**Пример выполнения задания:**

Сталь 60.

Отжиг II рода -  $860-880^{\circ}\text{C}$

Нормализация -  $860-880^{\circ}\text{C}$

Закалка - 860-880 °C

**4. Построить график термической обработки сплава для проведения термообработки «Улучшение».**

**Параметры термообработки** – температура нагрева  $t_n$ , время выдержки  $\tau_n$ , среда охлаждения (вода, минеральное масло, воздух, печь и др.) выбираются перед термообработкой.

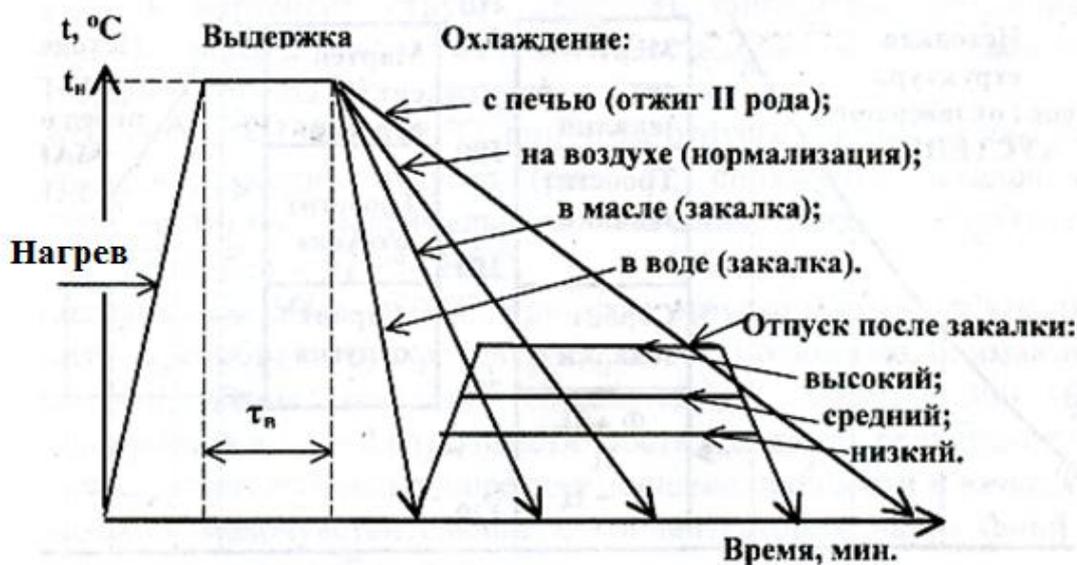


График термообработки углеродистой стали

**Пример построения графика термообработки стали 60.**

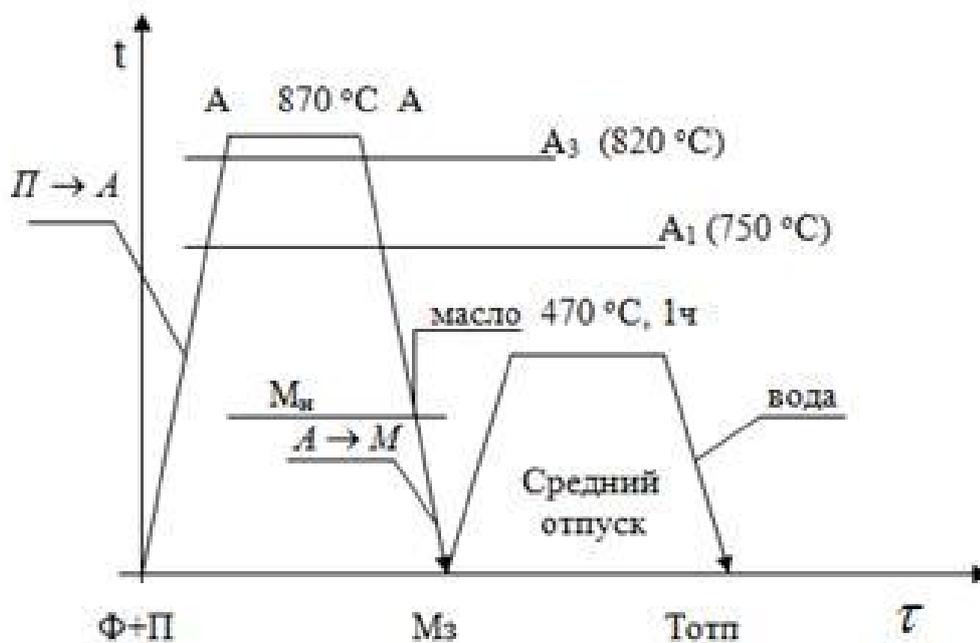


График термообработки стали 60

**5. Расшифровать марки заданных сплавов, указать химический состав, механические свойства и назначение сплавов.**

**Сталь Ст.5пс** – сталь углеродистая, конструкционная, обыкновенного качества.

Ст. – сталь, 5 – номер по ГОСТу, пс – полуспокойная (по степени раскисления – раскисляются добавлением в плавку марганца и кремния). Назначение: ответственные детали (валы, оси, шестерни)

### **Сталь У12А**

Инструментальные углеродистые стали в соответствии с ГОСТ 1435–90 маркируют буквой «У» и числом, указывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента. Для изготовления инструмента применяют качественные стали марок У12 и высококачественные стали марок У12А, химический состав которых приведен в табл. 1.

Сталь У12А применяется для инструментов с пониженной износостойкостью при умеренных и незначительных удельных давлениях (без разогрева режущей кромки): напильников, бритвенных лезвий и ножей, острых хирургических инструментов, шаберов, гравированных инструментов.

Химический состав инструментальных углеродистых сталей (ГОСТ 1435–90)

Марка стали	Массовая доля элемента, %				
	Углерода	Кремния	Марганца	Серы	Фосфора
				не более	
У12А	1,15–1,25	0,17–0,33	0,17–0,33	0,025	0,025

При комнатной температуре структура стали У12 – Перлит+ Цементит

Углеродистые заэвтектоидные стали после горячей пластической обработки {ковки или прокатки) и последующего охлаждения на воздухе имеют структуру, состоящую из пластинчатого перлита и избыточного цементита, который обычно образует сплошную или прерывистую сетку по границам бывших зерен аустенита.

Углеродистые стали наиболее целесообразно применять для инструментов небольшого сечения (до 5 мм), которые можно закалывать в масле и достигать при этом сквозной прокаливаемости, а также для инструментов диаметром или наименьшей толщиной 18—25 мм, в которых режущая часть приходится только на поверхностный слой, например напильники, зенкера, метчики.

Углеродистые инструментальные стали отпускают при температурах не более 200 °С во избежание снижения твердости. Твердость окончательно термически обработанного инструмента из углеродистых сталей обычно лежит в интервале 57–63 HRC, а прочность при изгибе составляет» 1800–2700 МПа.

Достоинствами углеродистых инструментальных сталей является низкая стоимость, хорошая обрабатываемость давлением и резанием в отожженном состоянии.

Их недостатками являются невысокие скорости резания, ограниченные размеры инструмента из-за низкой прокаливаемости и его значительные деформации после закалки в воде.

### **Высокопрочный чугун ВЧ80**

В зависимости от формы графита и условий его образования различают следующие группы чугунов: *серый* – с пластинчатым графитом; *высокопрочный* – с шаровидным графитом; *ковкий* – с хлопьевидным графитом. Схемы микроструктур чугуна в

зависимости от металлической основы и формы графитовых включений представлены на рис.35.

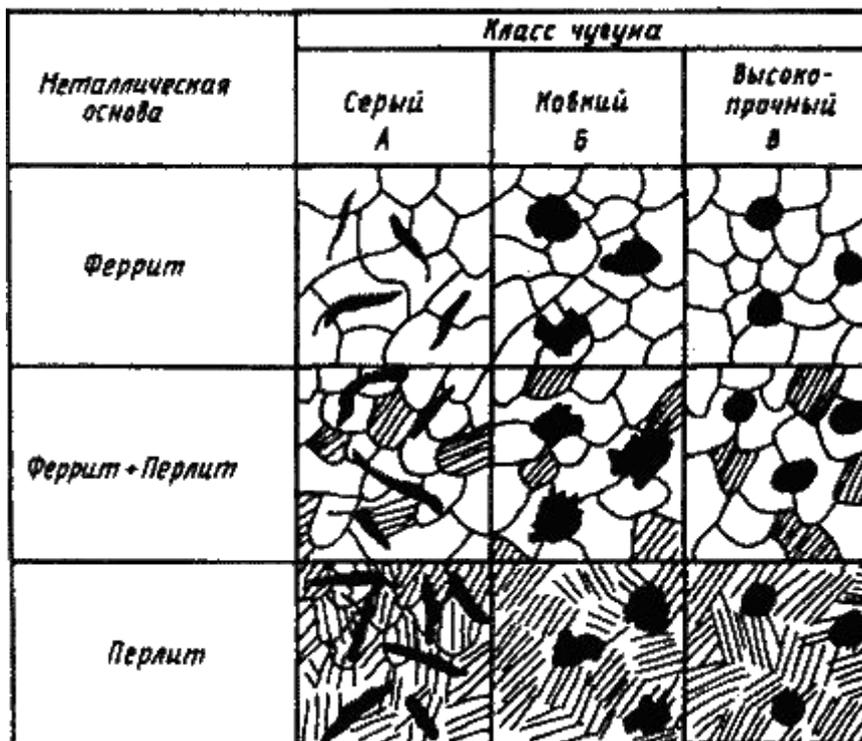


Рисунок 3 - Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений

Наиболее широкое распространение получили чугуны с содержанием углерода 2,4...3,8%. Чем выше содержание углерода, тем больше образуется графита и тем ниже его механические свойства, следовательно, количество углерода не должно превышать 3,8 %. В то же время для обеспечения высоких литейных свойств (хорошей жидкотекучести) углерода должно быть не менее 2,4 %.

Углерод и кремний способствуют графитизации, марганец затрудняет графитизацию и способствует отбеливанию чугуна. Сера способствует отбеливанию чугуна и ухудшает литейные свойства, ее содержание ограничено – 0,08...0,12 %. Фосфор на процесс графитизации не влияет, но улучшает жидкотекучесть, Фосфор является в чугунах полезной примесью, его содержание – 0,3...0,8 %.

Графитовые включения можно рассматривать как соответствующей формы пустоты в структуре чугуна. Около таких дефектов при нагружении концентрируются напряжения, значение которых тем больше, чем острее дефект. Отсюда следует, что графитовые включения пластинчатой формы в максимальной мере разупрочняют металл. Более благоприятна хлопьевидная форма, а оптимальной является шаровидная форма графита. Пластичность зависит от формы таким же образом. Относительное удлинение ( $\delta$ ) для серых чугунов составляет 0,5 %, для ковких – до 10 %, для высокопрочных – до 15%.

Наличие графита наиболее резко снижает сопротивление при жестких способах нагружения: удар; разрыв. Сопротивление сжатию снижается мало.

Положительные стороны наличия графита:

- графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;
- чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;

- из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;
- детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);
- чугун значительно дешевле стали;
- производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

*Высокопрочные чугуны* (ГОСТ 7293) могут иметь ферритную (ВЧ 35), феррито-перлитную (ВЧ45) и перлитную (ВЧ 80) металлическую основу. Получают эти чугуны из серых, в результате модифицирования магнием или церием (добавляется 0,03...0,07% от массы отливки). По сравнению с серыми чугунами, механические свойства повышаются, это вызвано отсутствием неравномерности в распределении напряжений из-за шаровидной формы графита.

Чугуны с перлитной металлической основой имеют высокие показатели прочности при меньшем значении пластичности. Соотношение пластичности и прочности ферритных чугунов - обратное.

Высокопрочные чугуны обладают высоким пределом текучести,  $\sigma_B = 300...420$  МПа, что выше предела текучести стальных отливок. Также характерна достаточно высокая ударная вязкость и усталостная прочность,  $\sigma_{-1} = 230...250$  МПа, при перлитной основе.

Высокопрочные чугуны содержат: углерода – 3,2...3,8 %, кремния – 1,9...2,6 %, марганца – 0,6...0,8 %, фосфора – до 0,12 %, серы – до 0,3 %.

Обозначаются индексом ВЧ (высокопрочный чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на  $10^{-1}$ .