

# 重庆大学

## 学期考试试卷

### 一、填空题（15分）

- 1、在 BCC 和 FCC 晶格中，单位晶胞内的原子数分别为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_，其致密度分别为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 2、金属的结晶过程是\_\_\_\_\_的过程。控制结晶后晶粒大小的方法有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 3、冷变形金属在加热时组织与性能的变化，随加热温度不同，大致分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三个阶段。
- 4、1Cr18Ni9Ti 钢中 Ti 的作用是\_\_\_\_\_，而 20CrMnTi 钢中 Ti 的作用是\_\_\_\_\_。
- 5、碳在白口铸铁中主要以\_\_\_\_\_形式存在，而在灰口铸铁中主要以\_\_\_\_\_形式存在。

### 二、名词解释（10分）

- 1、合金； 2、共晶转变； 3、枝晶偏析； 4、伪共晶； 5、回复；

### 三、选择题（12分）

- 1、工程上使用的金属材料一般都呈（ ）。  
A. 各向异性； B. 各向同性； C. 伪各向异性； D. 伪各向同性。
- 2、固溶体的晶体结构（ ）。  
A. 与溶剂的相同； B. 与溶质的相同；  
C. 与溶剂、溶质的都不相同； D. 是两组元各自结构的混合。
- 3、多晶体金属的晶粒越细，则其（ ）。  
A. 强度越高，塑性越好 B. 强度越高，塑性越差  
C. 强度越低，塑性越好 D. 强度越低，塑性越差

- 4、调质处理后可获得综合力学性能好的组织是 ( )
- A. 回火马氏体      B. 回火托氏体  
C. 回火索氏体      D. 索氏体
- 5、过共析钢正火的目的是 ( )。
- A. 调整硬度, 改善切削加工性      B. 细化晶粒, 为淬火作组织准备  
C. 消除网状二次渗碳体      D. 防止淬火变形与开裂
- 6、对于可热处理强化的铝合金, 其热处理方法为 ( )。
- A. 淬火+低温回火      B. 完全退火  
C. 水韧处理      D. 固溶+时效

#### 四、判断题 (5分)

- 1、金属铸件可通过再结晶退火来细化晶粒。 ( )
- 2、亚共析钢加热至  $Ac_1$  和  $Ac_3$  之间将获得奥氏体+铁素体二相组织, 在此区间, 奥氏体的含碳量总是大于钢的含碳量。 ( )
- 3、化学热处理既改变工件表面的化学成分, 又改变其表面组织。 ( )
- 4、所有合金元素均使  $M_s$ 、 $M_f$  点下降。 ( )
- 5、可锻铸铁可在高温下进行锻造加工。 ( )

#### 五、问答题 (36分)

- 1、什么叫临界晶核?它的物理意义及与过冷度的定量关系如何? (8分)
- 2、试比较 45 钢、T 8 钢、T12 钢的硬度、强度和塑性有何不同? (9分)
- 3、试述奥氏体的形成过程及控制奥氏体晶粒的方法。(9分)
- 4、分析碳和合金元素在高速钢中的作用及高速钢热处理工艺的特点。(10分)

#### 六、综合分析题 (22分)

- 1、用 9SiCr 钢制成圆板牙, 其工艺路线为: 锻造→球化退火→机械加工→淬火→低温回火→磨平面→开槽开口。试分析: ①球化退火、淬火及回火的目的; ②球化退火、淬火及回火的大致工艺。(10分)

- 2、一碳钢在平衡冷却条件下，所得显微组织中，含有 50% 的珠光体和 50% 的铁素体，问：① 此合金中碳的质量分数为多少？② 若该合金加热到 730 °C 时，在平衡条件下将获得什么组织？③ 若加热到 850 °C，又将得到什么组织？（12 分）

## 金属学及热处理试卷参考答案

### 一、填空题

- 1、2，4，0.68，0.74； 2、形核与长大，增加过冷度，变质处理，振动、搅拌等；  
3、回复，再结晶，晶粒长大； 4、防止奥氏体不锈钢晶间腐蚀，细化晶粒；  
5、Fe<sub>3</sub>C，石墨。

### 二、名词解释

- 1、合金：是指由两种或两种以上元素组成的具有金属特性的物质。  
2、共晶转变：在一定的温度下，由一定成分的液相同时结晶出两个成分不同的固相的转变。  
3、由于固溶体结晶通常是树枝状进行，结果使枝干和枝间的化学成分不同，称为枝晶偏析。  
4、非共晶成分的合金所得到共晶组织称为伪共晶。  
5、回复：冷变形金属在加热时所产生的某些亚结构和性能的变化过程。

### 三、选择题

- 1A，2A，3A，4C，5C，6D

### 四、判断题

- 1×，2√，3√，4×，5×

### 五、问答题

- 1、根据自由能与晶胚半径的变化关系，可以知道半径  $r < r_c$  的晶胚不能成核； $r > r_c$  的晶胚才有可能成核；而  $r = r_c$  的晶胚既可能消失，也可能稳定长大。因此，半径为  $r_c$  的晶胚称为临界晶核。其物理意义是，过冷液体中涌现出来的短程规则排列的原子集团，当其尺寸  $r \geq r_c$  时，这样的原子团便可成为晶核而长大。临界晶核半径  $r_c$  其大小与过冷度

$$r_c = \frac{2\sigma T_m}{L_m \Delta T}$$

有关。

- 2、由含碳质量分数对碳钢性能的影响可知，随着钢中碳含量的增加，钢中的渗碳体增多，硬度也随之升高，基本上呈直线上升。在 0.8% C 以前，强度也是呈直线上升的。在 0.8% C 时，组织全为珠光体，强度最高；但在 >0.8% C 以后，随碳量的继续增加，组织中将会出现网状渗碳体，致使强度很快下降；当  $\geq 2.11\% C$  后，组织中出现莱氏体。强度将很低，而塑性是随碳量增加而下降的，在出现莱氏体后，塑性将几乎降为零。由此可知，T12 的硬度最高，45 钢的硬度最低；T12 的塑性最差，45 钢塑性最好；T8 钢均居中，T8 钢的强度最高。

- 3、奥氏体形成过程：a) 奥氏体晶核的形成 b) 奥氏体晶核的长大；c) 残留渗碳体的溶解；d) 奥氏体成分均匀化。控制奥氏体晶粒大小的方法：a) 制定合适的加热规范，包括控制加热

温度及保温时间、快速短时加热；b)碳含量控制在一定范围内，并在钢中加入一定量阻碍奥氏体晶粒长大的合金元素。如：Al、V、Ti、Zr、Nb 等；c)考虑原始组织的影响，例如片状球光体比球状珠光体加热组织易粗化。

4、化学成分：高碳的目的是为了和碳化物形成元素 Cr、W、Mo、V 等形成碳化物，并保证得到强硬的马氏体基体以提高钢的硬度和耐磨性。W、Mo、V 主要是提高钢的红硬性，因为这些元素形成的碳化物硬度高，产生二次硬化效应，因而显著提高钢的红硬性、硬度和耐磨性。Cr 主要是提高钢的淬透性。其工艺突出的特点是淬火加热温度非常高，回火温度高，次数多，淬火加热时采用预热。

## 六、综合分析题

1、球化退火是为了消除锻造应力，获得球状珠光体和碳化物，降低硬度以利于切削加工并为淬火做好组织准备，减少淬火时的变形与开裂；淬火及回火是为了获得回火马氏体，保证热处理后具有高硬度、高耐磨性。球化退火工艺：加热温度 790—810℃，等温温度 700—720℃；淬火工艺：加热温度 850—870℃(油淬)；回火工艺：160—180℃。

2、①设该合金中含 C%=x，则由杠杆定律得

$$\frac{0.77\% - X}{0.77\% - 0.0218\%} = 50\%$$

所以 C%=x=0.38%

②其显微组织为 F+A

③全部奥氏体(A)组织

# 重庆大学 期末考试试卷

## 一、填空题 (15分)

1、实际金属中存在有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三类晶体缺陷。

2、为了使金属结晶过程得以进行，必须造成一定的\_\_\_\_\_，它是理论结晶温度与\_\_\_\_\_的差值。

3、碳在  $\alpha$ -Fe 中的间隙固溶体称为\_\_\_\_\_，它具有\_\_\_\_\_晶体结构。在\_\_\_\_\_℃时碳的最大溶解度为\_\_\_\_\_%。

4、当钢中发生奥氏体向马氏体转变时，原奥氏体中碳含量越高，则 Ms 点越\_\_\_\_\_转变后的残余奥氏体量就越\_\_\_\_\_。

5、除\_\_\_\_\_处，其他的合金元素溶入 A 中均使 C 曲线向\_\_\_\_\_移动，即使钢的临界冷却速度\_\_\_\_\_，淬透性\_\_\_\_\_。

## 二、名词解释 (10分)

1、相； 2、热处理； 3、置换固溶体； 4、加工硬化； 5、珠光体；

### 三、选择题（12分）

1、当晶格常数相同时，FCC 晶体比 BCC 晶体（ ）。

- A. 原子半径大，但致密度小；      B. 原子半径小，但致密度大；  
C. 原子半径大，但致密度也大；      D. 原子半径小，但致密度也小。

2、能使单晶体产生塑性变形的应力为（ ）。

- A. 正应力      B. 切应力      c. 原子活动力      D. 复合应力

3、钢在淬火后所获得的马氏体组织的粗细主要取决于（ ）

- A. 奥氏体的本质晶粒度      B. 奥氏体的实际晶粒度  
C. 奥氏体的起始晶粒度      D. 加热前的原始组织

4、过共析钢的正常淬火加热温度是（ ）。

- A.  $A_{cm} + (30-50^{\circ}\text{C})$       B.  $A_{c3} + (30-50^{\circ}\text{C})$   
C.  $A_{c1} + (30-50^{\circ}\text{C})$       D.  $A_{c1} - (30-50^{\circ}\text{C})$

5、制造手工锯条应采用（ ）。

- A. 45 钢淬火+低温回火      B. 65Mn 淬火+中温回火  
C. T12 钢淬火+低温回火      D. 9SiCr 淬火+低温回火

6、LY12 的（ ）。

- A. 耐蚀性好      B. 铸造性能好  
C. 时效强化效果好      D. 压力加工性好

### 四、判断题（5分）

1、固溶体的强度和硬度，比组成固溶体的溶剂金属的强度和硬度高。      （ ）

2、实际金属是由许多结晶位向都完全相同的小晶粒组成的。      （ ）

3、T10 和 T12 钢如其淬火温度一样，那么它们淬火后残余奥氏体量也是一样的。  
（ ）

4、高速钢反复锻造是为了打碎鱼骨状共晶莱氏体，使其均匀分布于基体中。  
（ ）

5、铸铁可以通过再结晶退火使晶粒细化，从而提高其力学性能。 ( )

### 五、问答题 (36分)

1、分析纯金属生长形态与温度梯度的关系? (8分)

2、何为超塑性?如何实现超塑性? (9分)

3、何谓回火脆性?说明回火脆性的类型、特点及其抑制方法。(9分)

4、为什么合金钢比碳钢的力学性能好?热处理变形小?合金工具钢的耐磨性热硬性比碳钢高? (10分)

### 六、综合分析题 (22分)

1、某汽车齿轮选用 20CrMnTi 材料制作，其工艺路线为：下料→锻造→正火→切削加工→渗碳→淬火+低温回火→喷丸→磨削加工。请分别说明上述四项热处理工艺的目的及工艺。(10分)

2、现有 A、B 两种铁碳合金。A 的显微组织为珠光体的量占 75%，铁素体的量占 25%；B 的显微组织为珠光体的量占 92%，二次渗碳体的量占 8%。请回答：

①这两种铁碳合金按显微组织的不同分属于哪一类钢? ②这两种钢铁合金的含碳量各为多少? ③画出这两种材料在室温下平衡状态时的显微组织示意图，并标出各组织组成物的名称。(12分)

## 金属学及热处理试卷参考答案

### 一、填空题

1、点缺陷、线缺陷、面缺陷； 2、过冷度，实际结晶温度；  
3、铁素体，BCC，727，0.0218； 4、低，多； 5、Co，右，减小，增加。

### 二、名词解释

1、相：结构相同、成分相同并以界面相互分的均匀组成部分。

2、热处理：是指将钢在固态下加热、保温和冷却，以改变钢的组织结构，获得所需要性能的一种工艺。

3、置换固溶体：溶质原子位于溶剂晶格的某些结点位置所形成固溶体。溶质原子与溶剂原子的尺寸差不同，都将引起晶格畸变，产生固溶强化。

4、随冷塑性变形量增加，金属的强度、硬度提高，塑性、韧性下降的现象称加工硬化。

5、共析转变的产物是 F 与 Fe<sub>3</sub>C 的机械混合物，称作珠光体，用 P 表示。

### 三、选择题

1B, 2B, 3B, 4C, 5C, 6C

### 四、判断题

1√, 2×, 3×, 4√, 5×

## 五、问答题

1、纯金属生长形态是指晶体长大时界面的形貌。界面形貌取决于界面前沿液体中的温度分布。

(1)平面状界面。当液体具有正温度梯度时，晶体以平界面方式推移长大。此时，界面上任何偶然的小的凸起伸入液体时，都会使其过冷度减小，长大速率降低或停止长大，而被周围部分赶上，因而能保持平界面的推移。长大中晶体沿平行温度梯度的方向生长，或沿散热的反方向生长，其他方向的生长则受到抑制；

(2)树枝状界面。当液体具有负温度梯度时，在界面上若形成偶然的凸起伸入前沿液体时，由于前方液体有更大的过冷度，有利于晶体长大和凝固潜热的散失，从而形成枝晶的一次轴。一个枝晶的形成，其潜热使邻近液体温度升高，过冷区降低，因此，类似的枝晶只在相邻一定间距的界面上形成。相互平行分布。在一次枝晶处的温度比枝晶间温度高，这种负温度梯度使一次轴上又长出二次轴分枝，同样，还会产生多次分枝。枝晶生长的最后阶段，由于凝固潜热放出使枝晶周围的液体温度升高至熔点以上。液体中出现正温度梯度，此时晶体长大依靠平面方式推进，直至枝晶间隙全部被填满为止。

2、金属材料在一定条件下拉伸，其延伸率可以高达 200% 以上，甚至大于 1000%。这种性能称作超塑性。超塑性可以分成组织超塑性，相变超塑性和其他超塑性三大类。其中组织超塑性应该具备三个条件：

(1)晶粒超细化、等轴化、稳定化，一般不超过  $10\ \mu\text{m}$ ；

(2)变形温度一般在  $(0.5-0.7)T_m$ ，呈现超塑性；

(3)一定的应变速率，超塑性变形最佳的速率为  $10^{-4}-10^{-5}\text{S}^{-1}$  或者  $10^{-3}-10^{-2}\text{min}^{-1}$ 。

3、有些钢在某一温度范围内回火时，其冲击韧性比在较低温度回火时还显著下降，这种脆化现象称为回火脆性。

回火脆性类型主要有两种，即低温回火脆性与高温回火脆性。低温回火脆性亦称第一类回火脆性，几乎所有工业用钢都存在程度不同的这类脆性、它与回火后的冷却速度无关。因此又称为不可逆回火脆性。高温回火脆性亦称第二类回火脆性，其特点是只出现在一些特定成分的钢中，其回火脆性与否，与回火后冷却速度有关，即回火缓冲出现，快冷不出现，因此亦称可逆回火脆性。

抑制回火脆性的方法：对于第一类回火脆性由于其不可逆性，只能避免在脆化温度范围内回火；如果必须在该温度回火，可采用等温淬火；加 Si 使低温回火脆化温度移向高温等措施。

抑制高温回火脆性的方法：1)高温回火后快速冷却；2)降低钢中杂质元素的含量；3)钢中加入适量的 Mo、W。

4、(1)合金元素加入后并经适当热处理，可使钢的力学性能提高或得以改善。(2)合金元素(除 Co 外)加入后使钢的淬透性增加，因此获得同样组织时合金钢可选择较缓的冷却介质，故热处理变形小。(3)合金工具钢出于含有一些合金元素，与钢中的碳形成合金碳化物，而这些合金碳化物的硬度高、熔点高，所以合金工具钢的耐磨性、热硬性比碳钢高。

## 六、综合分析题

1、①正火目的：使组织均匀化、细化、改善加工性能。正火工艺：加热至  $A_{c3}+(30-50)^\circ\text{C}$ ，空冷。②渗碳目的：提高齿轮表面的含碳量，为淬火作准备。渗碳工艺：在  $900-950^\circ\text{C}$  进行。③淬火目的：使渗碳层获得最好的性能，即获得高的齿面硬度，耐磨性及疲劳强度并保持心部的强度及韧性。淬火工艺：渗碳后，油冷。④低温回火目的：减少或消除淬火后应力，并提高韧性。低温回火工艺：加热至  $(150-200)^\circ\text{C}$  进行。

2、①A：亚共析钢 B：过共析钢

② 设 A 钢的含碳量为：x1

$$\frac{x1 - 0.0218\%}{0.77\% - 0.0218\%} = P\% = 75\%$$

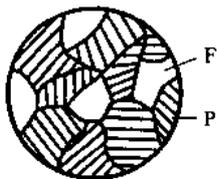
$x1=0.58\%$  故 A 钢的含碳量为 0.58%

设 B 钢的含碳量为:  $x2$

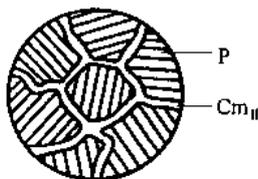
$$\frac{6.69\% - x2}{6.69\% - 0.77\%} = P\% = 92\%$$

$x2=1.24\%$  B 钢的含碳量为 1.24%

③组织示意图:



A



B

## 金属学与热处理试题

### 第一部分金属学

一、解释下列名词并说明其性能特点（本大题共 2 小题，每小题 3 分，总计 6 分）

1、渗碳体 2、铁素体

二、问答题（本大题共 5 小题，总计 40 分）

- 写出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中共析和共晶转变式，并说明含碳量及温度。（8 分）
- 写出 Fick 第一定律和第二定律的表达式，并说明应用范围、区别及联系。（8 分）
- 图示并说明什么是热过冷。（4 分）
- 何谓加工硬化？产生原因是什么？有何利弊？（12 分）
- 无论置换固溶体还是间隙固溶体都会引起强度升高，试分析其原因。（8 分）

三、计算题（本大题共 2 小题，每小题 5 分，总计 10 分）

1、计算莱氏体中 Fe<sub>3</sub>C 的相对含量。

2、已知 Cu 的熔点为 1083℃，试估算其再结晶温度。（ $\delta \approx 0.35$ ）

#### 四、实验题（本大题共 2 小题，每小题 3 分，总计 6 分）

- 1、试画出含碳量为 0.45% 的铁碳合金金相显微组织示意图；
- 2、试分析含碳量分别为 0.20%、0.45%、0.65% 的铁碳合金在组织和力学性能上有什么不同？

#### 第二部分热处理原理（38 分）

##### 一、名词解释（本大题共 3 小题，每小题 2 分，总计 6 分）

- 1、热处理 2、马氏体 3、实际晶粒度

##### 二、填空题（本大题共 16 个空，每空 1 分，总计 16 分）

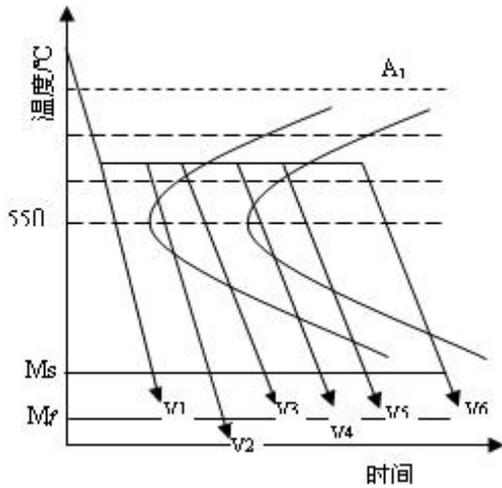
- 1、马氏体的基本形态有和，此外还有、和。通常低碳钢所形成的马氏体为，高碳钢所形成的马氏体为。
- 2、按回火温度不同，通常将回火分为、和；  
回火温度分别是、和；其回火组织分别为、和。

##### 三、何谓奥氏体？简述奥氏体的转变的形成过程及影响奥氏体晶粒长大的因素。（本大题 6 分）

##### 四、问答题：（本大题共 2 小题，每小题 5 分，总计 10 分）

将共析钢加热至 780℃，经保温后，请回答：

- 1、若以图示的 V1、V2、V3、V4、V5 和 V6 的速度进行冷却，各得到什么组织？
- 2、如将 V1 冷却后的钢重新加热至 530℃，经保温后冷却又将得到什么组织？力学性能有何变化？



## 答案

### 第一部分 金属学 (62分)

一、

1.  $Fe_3C$  为复杂晶体结构的间隙化合物，其硬度高，脆性大，塑性几乎等于零，硬脆相，是钢中主要强化相。
2.  $\alpha-Fe$  中溶入溶质元素而构成的固溶体，铁素体仍保持  $\alpha-Fe$  的体心立方晶格，由于间隙小，溶碳极少，力学性能与纯铁相同，强度、硬度不高，具有良好的塑性，770 °C 以下为铁磁性。

二、

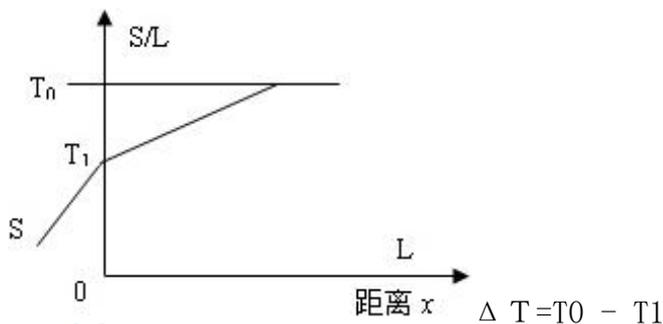
1.  $A_0.77 \xrightleftharpoons{727^\circ C} (F_0.0218+Fe_3C)$  共析  $L_4.3 \xrightarrow{1495^\circ C} (A_2.11+Fe_3C)$  共晶；

2.  $J = -D \frac{dC}{dx}$  稳态

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad \text{非稳态}$$

第一扩散定律是第二扩散定律的特例。

3.



过冷是由液固界面前沿实际温度分布与平衡凝固温度之差，称热过冷。

4. 冷加工变形后，金属材料强度、硬度升高而塑性下降的现象叫加工硬化。是由于塑变中产生了大量位错等晶体缺陷，相互交互作用，使位错运动阻力增大，变形抗力增加，加工硬化是强化金属材料重要方法，尤其是热处理不能强化材料更重要，使材料在加工中成为可能。但同时变形抗力增加，进一步变形必消耗动力，塑性大幅下降，会导致开裂，有时为继续变形必加中间再结晶退火，增加生产成本。

5. 一是溶质原子的溶入使晶格畸变，阻碍滑移面上位错运动。

二是位错线上偏聚的溶质原子对位错的钉扎作用，形成“柯氏气团”对位错起钉扎作用。

### 三、计算题

$$1. \quad W_{Fe_3C} = \frac{EC}{EF} \times 100\% = \frac{4.3 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% = 47.8\%$$

2.  $T_{再} = \delta T_m = 0.35 \times (1083 + 273) = 474.6K$ ，即  $201.6\text{ }^{\circ}C$

#### 四、实验题

- 1、0.45%的铁碳合金金相显微组织示意图；
- 2、随含碳量 $\uparrow$ ， $F\downarrow$ ， $Fe_3C\uparrow$ 。塑性、韧性下降，强度硬度 $\uparrow$

#### 第二部分热处理原理（38分）

##### 一、名词解释（本大题共3小题，每小题2分，总计6分）

- 1、热处理：将钢在固态下进行加热、保温，冷却，以改变其组织而得到所需性能的工艺方法。
- 2、马氏体：C在 $\alpha-Fe$ 中的过饱和固溶体。
- 3、实际晶粒度：在某一加热条件下（实际热处理）所得到的实际奥氏体晶粒大小。

##### 二、填空题（本大题共16个空，每空1分，总计16分）

- 1、板条状、片状，此外还有蝶状、薄片状和 $\epsilon$ 马氏体。板条状，片状。
- 2、低温、中温、高温： $150\sim 250^{\circ}C$ ， $350\sim 500^{\circ}C$ ， $500\sim 650^{\circ}C$ ；回火M，回火T，回火S。

##### 三、

奥氏体：C溶解在 $\gamma-Fe$ 中的固溶体。

形成过程：奥氏体生核、长大、残余渗碳体溶解、奥氏体均匀化。

影响因素：加热温度、保温时间，加热速度，含碳量，合金元素，冶炼方法，原始组织等。

##### 四、

- 1、V1：M+A残余、V2：T+M、V3：S+T+M+A残余、V4：S+T、V5：S，V6：S。

2、S 回火，硬度有所下降，塑性、韧性等上升，综合力学性能提高。

