
目 录

目 录.....	I
序 言.....	1
历年录取情况.....	3
工程材料常见名词解释.....	16
《工程材料》复习思考题参考答案.....	23

序 言

华中科技大学材料科学与工程学院经过长期不懈的努力，已形成了二十多个具有特色和实力的研究方向。其中，“材料加工工程”专业的主要研究方向为：现代模具技术、精密塑性成型技术、材料加工装备及其自动化、液态及半固态金属精密成形技术、新材料制备与成形技术、先进连接与电子封装技术等；“数字化材料成形”专业的主要研究方向为：数字化模具技术、材料成形的计算机辅助技术、材料成形过程数值模拟、快速原型技术与快速制模、材料成形过程检测与控制技术、材料虚拟成形系统等；“材料学”专业主要研究方向为：表面科学与工程、新型块体非晶材料及纳米材料、新型金属和陶瓷材料、复合材料、光电材料与电子封装技术、新型能源材料及器件、核材料以及生物材料等；“纳米科学与技术”专业主要研究方向为：非平衡态与纳米材料、纳米生物材料、纳米陶瓷材料、高分子基纳米复合材料、纳米光电材料、封装技术与器件等。

其中 2016 年材料学院专业型硕士招生 57 人，统考招生 51 人。材料专业型硕士所考科目一般考工程材料（817）或材料成型原理（817），考生可根据自己的意向选择不同的考试科目，考试时两部分内容在同一张卷子上面，只需注明作答科目即可。专业科目总分为 150，一般而言 817 考到 140+ 高分不容易，大多在 120-140 之间，想要在专业课上考取高分就需要付出较大努力。

首先，考研想要考取高分，最重要的就是数学和专业课，这两门是主要的拉分点，因此，要多花时间在数学和专业课上。华中科技大学材料专硕考的数学二，内容不算多，但是知识点的深度还是有的，需要对各个知识点融会贯通，因此在整个考研过程中每天都要花大量时间在数学上。对于数学复习，考研前期要多看书，重难点要反复看，看书的同时要同步练习，打好基础，课本一般在两遍以上，对于多重积分这种每年必考的难点，看书次数应在四遍以上。中后期要根据全书全面复习，边看边做，全书一般是复习两遍。复习完全书之后可拿整体适当进行测试，后期做模拟题，一方面是测试自己，另一方面是巩固自己的复习。同时，对于那些课本上打星号但考纲要求的知识点，这些知识比较偏，但也可能会考选择填空题，因此，这类知识点也不要遗漏。推荐的资料有：

- 1、高等数学上下册、线性代数课本和概率论课本（一般是同济版）
- 2、李永乐或李正元复习全书
- 3、李永乐线性代数复习指导和概率论复习指导

4、李永乐数学考研历年真题

5、李永乐、李正元、张宇模拟题

对于专业课的复习，没有什么诀窍，就是反复看书，一般是在暑假开始时正式开始复习，第一遍可以先熟悉一下课本，同时看配套辅导与习题上的知识点，做上面的题目。配套辅导上的习题非常重要，近几年的真题都出现了辅导书上的原题；同时，辅导书上的题目由许多推导结论是课本上没有的，而且真题的选择题也喜欢考。并且，考试题型大多都在辅导书上都有，特别是合金钢的题目。因此，要认真对待辅导书，一般看一章课本做一章辅导书，辅导书上的题目除了那些特别复杂和偏的差不多都要会做，课本上的知识点要面面俱到，将各个章节的知识点联系起来思考问题。一般而言，看的越多，考的越高。

然后说一下复试情况，面试时间一般在3月11日左右，总共两天时间。第一天下午或晚上笔试。第二天上午面试，下午体检。笔试一般包括兴趣测试（酱油）、数学基本概念的推导（微商、微分、差商、差分等）、英语段落翻译（关于材料学科的介绍）、专业课测试，专业课测试一般是几个论述题，大部分是往年的原题，准备好了考的都差不多，基本内容都在初试考试的工程材料或者材料成型原理里面；接下来就是面试了，这才是这个复试环节的决定性方面，一定要好好准备面试，基本环节包括自我介绍、面试官英语提问、面试官专业课提问。由于专业硕士没有听力部分，所以自我介绍一般用全英文；英语提问也会比较生活化，提问内容一般是介绍家乡、对研究生的规划、对自己心中理想导师的看法等等，提问的问题一般为两到三个；专业课提问也是根据初试所学的知识来的，抽完提问签之后回答上面的题目，然后老师会根据你回答的问题向你提出相关的专业性问题。最后，参加下午的体检安心等着复试结果。

最后希望各位学弟学妹好好复习，俗话说坚持就是胜利，只要持之以恒，即使失败了也不会留太多的遗憾。此外，也希望你们也不要纠结于自己的本科院校是不是985、211或普通本科，只要努力，任何人都能考上华中科技大学，并且复试时本科院校的影响并不大，主要是靠自己的表现。希望各位学弟学妹都能考上自己心仪的学校！

——来自于无名学长

历年录取情况

2014 年招生情况

1. 招生计划

学位类别	学科（专业）	已录推免生	统考拟招录人数
学术型	材料科学与工程	6	64
专业型	材料工程	16	43

2. 复试分数线

材料学院：

材料科学与工程：

政治 ≥ 50 分 英语 ≥ 50 分 业务一 ≥ 90 分 业务二 ≥ 90 分 总分 ≥ 350 分

材料工程：

政治 ≥ 50 分 英语 ≥ 50 分 业务一 ≥ 90 分 业务二 ≥ 90 分 总分 ≥ 330 分

3. 进复试人数

材料学院：

学硕：69 人（其中保研推免 6 人）

专硕：59 人（其中保研推免 16 人，调剂录取 7 人）

4. 录取情况

材料学院：

学硕：69 人，有 6 人是保研推免直接录取，剩余 64 人通过统考录取。

专硕：59 人，有 16 人是保研推免直接录取，36 人是通过统考录取，剩余 7 人通过调剂录取。

总结：材料学院总共 128 人进复试，全部录取。

2015 年招生情况

1. 招生计划

学位类别	学科（专业）	已录推免生	统考拟招录人数
学术型	材料科学与工程	86	29
专业型	材料工程	21	38

2. 复试分数线:

材料学院:

材料科学与工程:

政治 ≥ 50 分 英语 ≥ 50 分 业务一 ≥ 90 分 业务二 ≥ 90 分 总分 ≥ 376 分

材料工程:

政治 ≥ 50 分 英语 ≥ 50 分 业务一 ≥ 90 分 业务二 ≥ 90 分 总分 ≥ 345 分

3. 进复试人数

材料学院:

学硕: 46 人

专硕: 59 人

4. 录取人数

材料学院:

学硕: 29 人, 其中: 被刷的 17 人有 6 个调剂到 WISCO 联合实验室工程硕士, 11 人推荐到其他院系录取, 初试成绩分别为 WISCO 联合实验室: 377、378、382、386、387、394, 其他院系: 376、376、376、377、378、380、383、383、384、385、387。

专硕: 38 人, 其中: 被刷的 21 人有 6 个调剂到 WISCO 联合实验室工程硕士, 初试成绩分别为 349、371、378、379、383、384。

总结: 材料学院总共 105 人进复试, 录取 67 人。

2016 年招生情况

1. 招生计划

材料学院：

学位类别	学科（专业）	已录推免生	统考拟招人数
学术型	材料科学与工程	57	37
专业型	材料工程	3	51

2. 复试分数线

材料学院：

材料科学与工程：

政治 ≥ 50 分 英语 ≥ 55 分 业务一 ≥ 90 分 业务二 ≥ 90 分 总分 ≥ 370 分

材料工程：

政治 ≥ 50 分 英语 ≥ 50 分 业务一 ≥ 90 分 业务二 ≥ 90 分 总分 ≥ 330 分

3. 进复试人数

材料学院：

学硕：45 人

专硕：51 人

4. 录取人数

材料学院：

学硕：37 人，被刷 8 人，初始成绩分别为 370、370、370、371、375、377、382、383，此外还有少数几人调剂至其他学院。并且复试通知直接说明学硕未录取人员不能调剂到专硕。

专硕：51 人，全部录取。

总结：材料学院总共 96 人进复试，录取 88 人。

注意：由于今年保研不限制学硕名额，导致学硕保研人数爆炸，学硕保研比例达到较高值，加上报考华科的人数处于持续上升的状态，导致材料学剩余考研名额只有 37 人，材料工程剩余 51 人。所以今年的形式不知道会不会和去年一样，希望大家多关注考试报名前的保研名单公布，可以大致知道统考所招的人数，然后决定报考学硕还是专硕。



材料人
Cailiaoren.com

考试重点

内容：2 3 5 6 7 章 其中第 7 章（合金钢）重中之重

教材：工程材料及应用，周凤云（第二版） 推荐哈工大版金属学与热处理一起复习



2012 年华中科技大学工程材料考研真题

一 名词解释 (4 分)

- 1 晶体
- 2 过冷度
- 3 致密度
- 4 晶体的各向异性
- 5 加工硬化
- 6 固溶强化
- 7 枝晶偏析
- 8 固溶体
- 9 共晶反应
- 10 相平衡

二 问答题 (5 分)

- 1 常见的金属晶体结构有哪几种?他们的原子排列和晶格常数有什么特点?
- 2 为什么单晶体具有各向异性而多晶体在一般情况下不显示各向异性
- 3 简述固溶体和金属间化合物在晶体结构与机械性能方面的区别
- 4 技术结晶的基本规律是什么, 晶核形核率和生长速率受到哪些因素的影响?
- 5 在平衡条件下 45 钢, T8 钢和 T12 钢的强度, 硬度, 塑性和韧性那个大哪个小, 变化规律是什么? 原因何在?
- 6 一般条件下进行塑性变形时为什么在锌镁中易出现孪晶而在纯铜中易产生滑移带
- 7 用手来回弯折一根铁丝时开始感觉省劲后来逐渐感到有些费劲最后铁丝被弯断。试解释过程演变的原因
- 8 说明共析碳钢 C 曲线各个区各条线的物理意义并指出影响 C 曲线形状和未知的主要原因
- 9 确定下列钢件的退火方法 并指出退火目的及退火后的组织
 - (1) 经冷轧后的 15 钢钢板要求降低硬度
 - (2) ZG35 的锻造齿轮
 - (3) 锻造后热的 60 钢锻坯
 - (4) 具有片状渗碳体的 T12 钢坯
- 10 比较各类铸钢的性能特点, 与钢铁相比铸铁在性能上有何优缺点

三 计算题（10 分）

- 1 已知 Fe 的原子直径为 $2.54 \times 10^{-10} \text{m}$ 求 Fe 的晶格常数。并计算 1mol Fe 中的原子数。
- 2 分析 Mg-Cu 相图，求出 30%Cu 合金冷却到 500°C ， 400°C 各相的成分和重量百分比。



2013 年真题

一 名词解释 (4 分)

- 1 晶体
- 2 位错
- 3 过冷度
- 4 相图
- 5 滑移
- 6 热处理
- 7 贝氏体
- 8 二次硬化

二 问答题 (6 分)

- 1 何谓晶体, 其特点
- 2 典型的晶体结构有哪些, 其密排面和方向?
- 3 纯金属结晶条件?
- 4 铁碳相图的三个转变区?
- 5 回复, 再结晶的机理?
- 6 C 曲线如何得到 P+M 的混合组织?
- 7 下贝氏体良好综合机械性能的原因?
- 8 亚共析钢在 Ac_1 - Ac_3 间淬火组织的性能?
- 9 20CrMnTi 各元素的作用, 如何提高其表面硬度?
- 10 高分子材料的结构包含哪几个层次?

三 计算题

- 1 τ_c [0 0 1] 方向, 滑移系 (1 1 1) + [-1 0 1] (求滑移力)
- 2 亚共析钢, 完全退火, 铁素体含量=3.88%, 求含碳量, 画出组织示意图

四 综合题 (是 40CrNiMo 比较典型的处理方式)

40CrNiMo, 工艺路线, 要求心部韧, 表面硬, 写出个工艺的目的和组织。



2015 年华中科技大学工程材料考研真题

一 名词解释

- 1 硬度
- 2 变态莱氏体
- 3 相图
- 4 过冷度
- 5 淬硬度
- 6 固溶体

二 问答题

- 1 纯金属结晶的条件是什么
- 2 材料的强化方法有哪些
- 3 Cr 元素在不同钢中的作用
- 4 60Si2Mn 是什么钢，这种钢的回火工艺是什么
- 5 Fe-C 相图平衡结晶过程的分析
- 6 等温淬火是什么（考察教材 120 页的不同淬火方法）
- 7 回复与再结晶的原理，转变机制
- 8 纤维组织为什么力学性能好
- 9 40CrNiMo 中个元素的作用

三 计算题

- 1 考察滑移的切应力计算，用教材 148 页的公式
- 2 结合条件画二元合金相图，参考教材 58 页相图及 65 页习题 3-12

四 综合题

W6Mo5Cr4V2，问是什么钢，制定合适的工艺路线，并说明热处理工艺路线，并说明热处理工艺目的和得到的组织。



2016 年材料工程专业课真题(工程材料)

一、名词解释(5' × 8)

- 1.位错
- 2.结晶
- 3.显微组织
- 4.滑移
- 5.淬透性
- 6.马氏体
- 7.正火
- 8.回火脆性

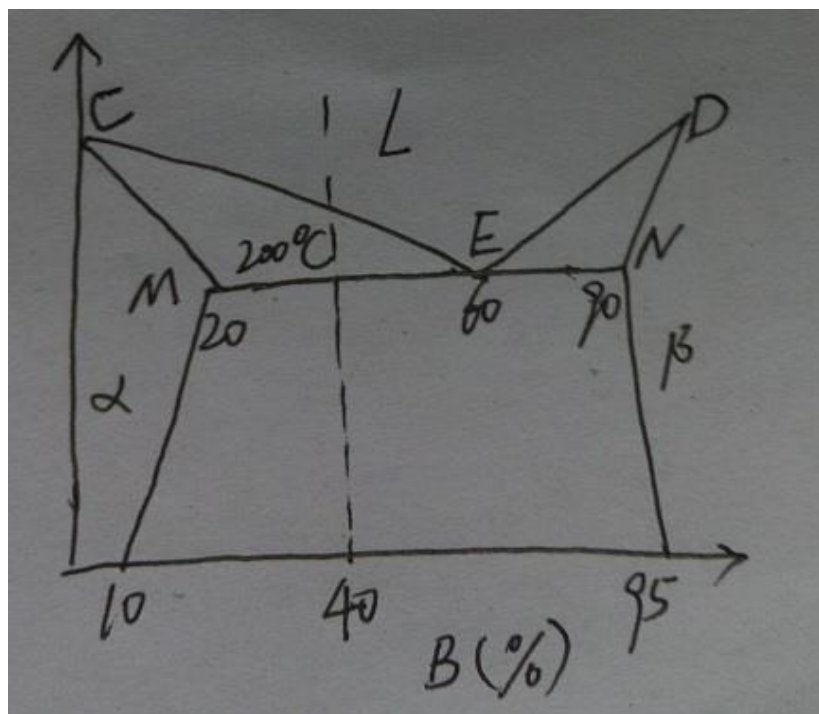
二、简答题(6' × 10)

1. 金属实际晶体结构中存在哪些缺陷?每种晶体缺陷是不可避免的?
2. 写出体心立方晶格中{110}晶面族所包含的晶面,并绘图表示。
3. 二元合金相图表达了合金的哪些关系?有哪些实际意义?
4. 写出面心立方结构晶体所有可能的滑移系。
5. 何为下贝氏体?简述其具有优异综合机械性能的原因?
6. 画出共析钢的 C 曲线,根据该曲线如何获得 P+M 的混合组织?
7. 铁碳合金有几种形式的碳化物?其与含碳量有何关联?
8. 60Si2Mn 是何种用途钢?其合金元素有何作用?
9. 何为调质?共析钢的调质处理后为何组织?
10. 高分子材料的结构包含哪几个?

三、计算题(20')

1. 标出尚未标出的相区组织;
2. 写出恒温转变式,并指出是何种转变;
3. 说明含 40%B 的合金在下列温度时组织中有哪些相,并求出相的相对量:①高于 CE 线; ②刚冷到恒温转变温度,转变尚未开始;

- ③在恒温转变温度，恒温转变完成； ④冷至室温。



四、综合题(30')

高速钢 W6Mo5Cr4V2 的热处理工艺较复杂，试回答下列问题：

1. 淬火加热时，为什么要预热？
2. 其 AC1 在 800℃ 左右，但淬火温度在 1200℃-1240℃，为什么？
3. 高速钢回火工艺一般为 560℃ 左右，并进行三次，为什么？
4. 淬火冷却时常采用分级淬火，分级淬火目的是？
5. 合金元素作用是什么？淬火回火最终为何组织？

附录一 工程材料常见名词解释

1、原子结合键的类型。答：金属键 共价键 离子键 分子键（范德瓦耳键）。

2、材料的性能的分类包括。答：使用性能：力学性能 物理性能 化学性能 工艺性能：铸造性 可锻性 焊接性 切削加工性 力学性能的指标：弹性 强度 塑性 硬度 冲击韧性 疲劳特性 耐磨性

3、纯金属常见的晶体结构体心立方晶胞(b.c.c) $N=2$ 面心立方晶胞(f.c.c) $N=4$ 密排六方晶胞(c.p.h) $N=6$

4、晶胞中的缺陷答 1.点缺陷 是指在三维空间各方向的尺寸都很小、不超过几个原子直径的缺陷。

(1) 空位 (2) 间隙原子 (3) 置换原子 无论是哪一种点缺陷，都会使晶体中的原子平衡状态受到破坏，造成晶格的歪扭（称晶格的畸变），从而使金属的性能发生变化。如随着点缺陷的增加，电子在传导时的散射增加，导致金属的电阻率增大；当点缺陷与位错发生交互作用时，会使强度提高，塑性下降。

2.线缺陷 又称一维缺陷，这种缺陷在三维空间一个方向上的尺寸很大，另外两个方向上的尺寸很小，其具体形式就是晶格中的位错。位错：晶体中某处一系列或若干列原子有规律的错排。金属晶体中不含位错或含有大量位错都会使强度提高，

3.面缺陷 面缺陷又称二维缺陷，这种缺陷在三维空间两个方向上的尺寸较大。另一个方向上的尺寸较小。

面缺陷的具体形式是晶界、亚晶界及相界。缺陷使得金属塑性、硬度以及抗拉压力显著降低等等

5、什么是过冷度？答：液体材料的理论结晶温度 T_0 与其实温度 T_n 之差。因为只有过冷，才具备 $G_{固} < G_{液}$ 的能量条件才能有液态金属自发结晶成为固态金属的驱动力。

6、结晶的过程 形核 —— 长大 7、影响晶粒大小的因素：1.形核率 2.长大速度

8、如何控制晶粒的大小？答：控制过冷度，难熔杂质的影响，金属流动与振动。生产中常利用非自发形核的原理来获得细小的晶粒，提高金属纯度。加入某种物质（变质剂）增大形核率 N 减小晶体的生长速率 G 即变质处理。

9、为什么铸件常选用靠近共晶成分的合金生产，压力加工件则选用单相固溶体合金生产？

答：靠近共晶成分的合金因其固相线与液相线的温度间隔小，故流动性好，又不易产生分散的缩孔，所以易做铸件；而在生产压力加工时，合金的组织为两相组成时，其压力加工性不如单相固

溶体好，这主要是因为不同的两相其塑性变形性能不同，引起两相变形不均匀，将会产生比单相固溶体大得多的应力，导致合金开裂或破断。

10、奥氏体的形成基本过程 答：钢铁加热至像变温度以上转变形成奥氏体的过程称为奥氏体化 1、奥氏体晶核的形成($P \rightarrow A$) 2、奥氏体晶核长 3、残余渗碳体溶解 4、奥氏体均匀化

11、淬火的分类 答：单液淬火 双液淬火 马氏体分级淬火 贝氏体等温淬火 深冷处理

12、钢铁表面热处理分类答：1、表面淬火：加热方法：感应加热、火焰加热、电接触加热 2、气相沉积

13、单晶体的塑性变形方式： 答：**滑移**：在切应力作用下，晶体的一部分相对于另一部分沿着一定的晶面（滑移面）和晶向（滑移方向）产生相对位移，且不破坏晶体内部原子排列规律性的塑变方式。

孪晶：在切应力作用下，晶体的一部分相对于另一部分沿一定的晶面和晶向发生均匀切变并形成晶体取向的镜面对称关系。

14、为什么室温下钢的晶粒越细，强度、硬度越高，塑性、韧性也越好？

答：金属的晶粒越细，晶界总面积越大，需要协调的具有不同位向的晶粒越多，其塑性变形的抗力便越大，表现出强度越高。另外金属晶粒越细，在外力作用下，有利于滑移和能参与滑移的晶粒数目也越多。由于一定的形变量会由更多的晶粒分散承担，不致造成局部的应力集中，从而推迟了裂纹的产生，即使发生的塑性变形量很大也不致断裂，表现出塑性提高。在强度和塑性同时提高的情况下，金属在断裂前要消耗较大量的功，因而其韧性也比较好。

15、什么是加工硬化现象？指出产生的原因及消除措施？

答：**加工硬化**是指随着塑性变形的增加，金属的强度、硬度迅速增加；塑性、韧性迅速下降的现象。

导致加工硬化产生的主要原因是**位错密度及其他晶体缺陷的增加**。工业上常采用**再结晶**来消除加工硬化。

16、三个低碳钢试样，其变形度分别为 5%、15%、30%，如果将它们加热至 800 °C，指出哪个试样会出现粗晶粒，为什么？

答：5%的会出现粗晶粒。因为金属在变形度达 2%-10%时，金属中只有部分晶粒发生变形，变形极不均匀，变形储能仅在局部地区满足形核能量条件，以致只能形成少量的核心，并得以充分长大，从而导致再结晶后的晶粒特别粗大。

17、何谓合金钢？它与同类碳钢相比有哪些优缺点？

答：合金钢是在碳素钢中添加一些合金元素而炼制的一类钢，以改善碳素钢的性能。

优点：①强度指标较高②淬透性较高③高温强度高，热硬性好④具备某些特殊的物理化学性能。缺点：在压力加工、切削加工、焊接工艺性方面比碳钢稍差，且成本较高。

18、简述合金元素对合金钢的主要影响及作用规律。

答：1、强化钢中的基本相：①形成合金铁素体和奥氏体；②形成碳化物、金属化合物；2、对铁碳相图的影响：①扩 γ 大区，②扩 α 大区，③对S、E点的影响；使相图中的S点E点左移，致使共析和共晶成分中的含碳量减少3、对钢热处理的影响：①对奥氏体化及晶粒度的影响，②对过冷奥氏体转变的影响，③对回火转变的影响

19、分析合金元素对过冷奥氏体转变的影响。 答：①除Co以外，大多数合金元素溶入奥氏体后都会使C曲线右移或变形，均可增加过冷奥氏体的稳定性。②除Al、Co、Si外，大多数合金元素（如Mn、Cr、Ni、Mo）溶入奥氏体后，均降低钢的 M_s 点，是某些淬火钢中的残余奥氏体量增加。为消除残余奥氏体增多带来的不利影响而使某些合金钢的热处理工艺复杂化了。

20、铝合金的分类。答：铝合金按其成分、组织、性能及生产工艺的不同，可以分为两大类，一类为形变铝合金，一类为铸造铝合金。

21、常用的铜合金及其添加元素。 答：1、黄铜：①普通黄铜：铜和锌的二元合金，②特殊黄铜：在铜和锌的基础上，再加入少量的其它元素（如铝、锰、锡、硅、铅、铁、锂等）的铜合金；2、青铜：①锡青铜：以锡为主要加入元素的铜合金称为锡青铜，②无锡青铜：除锌锡以外，其他元素与铜的合金称无锡青铜有铝青铜和铍青铜；3、白铜：是Cu-Ni系合金和Cu-Ni-Zn、Cu-Ni-Mn系合金的统称

22. 钛合金按组织结构的不同，分为 α 型钛合金：主要加入元素是扩大 α -Ti区域的铝元素或锡、锆等中性元素， β 型钛合金：主要加入元素是扩大 β -Ti区域的铬、钼、钒等元素， $\alpha + \beta$ 型钛合金： $\alpha + \beta$ 型钛合金通常属于多元合金，即有稳定 α -Ti的元素，又有稳定 β -Ti的元素，室温下其组织为 $\alpha + \beta$ 。 $\alpha + \beta$ 型钛合金适于锻造、冲压、轧制，并有较好的切削加工性能。

23. 汽车、拖拉机齿轮 工作条件恶劣，特别是主传动系统中的齿轮；受力较大，易过载，变速时受到频繁的强烈冲击；对材料的耐磨性、疲劳性能、心部强韧性的要求高，采用中碳钢表面淬火已难满足使用的需要；考虑到经济条件和加工工艺通常选用合金渗碳钢(20Cr、20MnVB、20CrMnTi、20CrMnMo)制造，经渗碳淬火+低温回火处理后，齿面硬度可达58~62HRC，心部硬度30~45HRC。对飞机、坦克等特别重要齿轮，则可采用高淬透性渗碳钢（如18Cr2Ni4WA、20CrMnTi）来制造。加工工艺：下料—锻造—正火—切削加工—渗碳—淬火及低温回火—喷丸—磨削加工

正火：正火的目的是为了改善毛坯的锻造组织，细化晶粒，有利于切削加工

渗碳：渗碳淬火处理可使齿面具有高硬度、高耐磨性和高的疲劳性能，而心部保持良好的强韧性

回火：减小或消除工件在淬火时产生的内应力，降低淬火钢的脆性，是工件获得较好的强度、韧性、塑性、弹性等综合力学性能。

喷丸：进一步强化手段，可使齿面硬度提高 1~3HRC，增加表层残余压应力，进而提高疲劳极限。

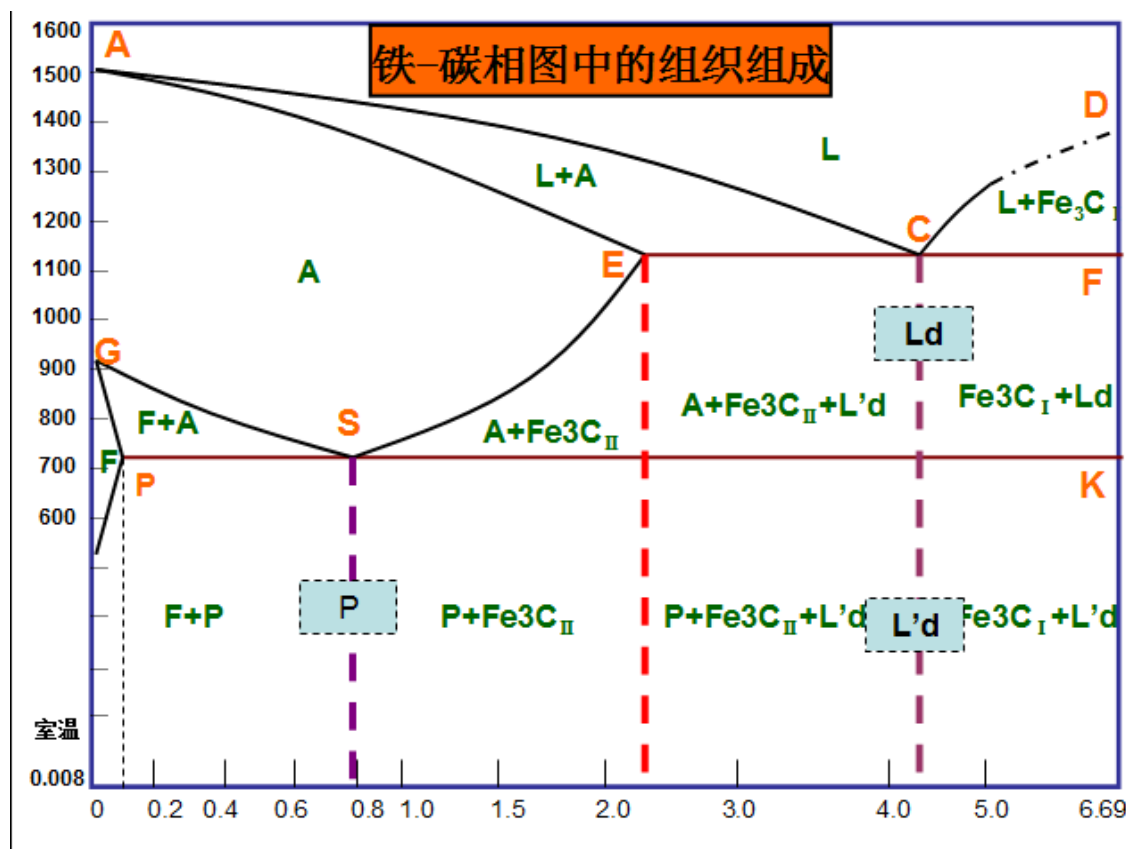
24. 机床主轴： 机床主轴承受弯-扭复合交变载荷、转速中等并承受一定的冲击载荷，考虑到经济条件与加工工艺等一般选用 45 钢或 40Cr 钢制造(40Cr 用于载荷较大、尺寸较大的轴)；对于承受重载、要求高精度、高尺寸稳定性及高耐磨性的主轴(如镗床主轴)，则须用 38CrMoAlA 钢经渗氮处理制造。**45 钢或 40Cr 钢机床主轴的简明加工路线为：**下料→锻造→正火→粗加工→ 调质→半精加工→表面淬火+低温回火→精磨→成品

正火：可使锻造组织均匀化、便于切削加工、可作为表面淬火前的预备组织、并保证轴心的强韧性

调质：调质是为了获得回火索氏体与托氏体组织以使主轴具有高的综合力学性能。

表面淬火：可提高机床主轴表面的硬度，耐磨性和疲劳性能。**低温回火**的作用主要是消除淬火应力。

25、铁碳相图



C 点：共晶点 1148°C 4.30%C，在这一点上发生共晶转变，反应式： $L_c \Leftrightarrow A_E + Fe_3C$ ，当冷到 1148°C 时具有 C 点成分的液体中同时结晶出具有 E 点成分的奥氏体和渗碳体的两相混合物——莱氏体 (Le) \rightarrow ($A_E + Fe_3C$)

E：碳在 $\gamma-Fe$ 中的最大溶解度点 1148°C 2.11%C

G： $\alpha-Fe \Leftrightarrow \gamma-Fe$ 同素异构转变点 (A_3) 912°C 0%C

H：碳在 $\delta-Fe$ 中的最大溶解度为 1495°C 0.09%C

J 点：包晶转变点 1495°C 0.17%C 在这一点上发生包晶转变，反应式： $L_B + \delta_H \Leftrightarrow A_J$ 当冷却到 1495°C 时具有 B 点成分的液相与具有 H 点成分的固相 δ 反应生成具有 J 点成分的固相 A。

N： $\gamma-Fe \Leftrightarrow \delta-Fe$ 同素异构转变点 (A_4) 1394°C 0%C

P：碳在 $\alpha-Fe$ 中的最大溶解度点 0.0218%C 727°C

S 点：共析点 727°C 0.77%C 在这一点上发生共析转变，反应式： $A_s \Leftrightarrow F_p + Fe_3C$ ，当冷却到 727°C

时从具有 S 点成分的奥氏体中同时析出具有 P 点成分的铁素体和渗碳体的两相混合物——珠光体 P ($F_p + Fe_3C$)

ES 线：碳在奥氏体中的溶解度曲线，又称 A_{cm} 温度线，随温度的降低，碳在奥氏体中的溶解度减少，多余的碳以 Fe_3C 形式析出，所以具有 0.77%~2.11% 的钢冷却到 A_{cm} 线与 PSK 线之间时的组织 $A + Fe_3C_{II}$ ，从 A 中析出的 Fe_3C 称为二次渗碳体。

GS 线：不同含碳量的奥氏体冷却时析出铁素体的开始线称 A_3 线，GP 线则是铁素体析出的终了线，所以 GSP 区的显微组织是 $F + A$ 。

PQ 线：碳在铁素体中的溶解度曲线，随温度的降低，碳在铁素体中的溶解度减少，多余的碳以 Fe_3C 形式析出，从 F 中析出的 Fe_3C 称为三次渗碳体 Fe_3C_{III} ，由于铁素体含碳很少，析出的 Fe_3C_{III} 很少，一般忽略，认为从 727℃ 冷却到室温的显微组织不变。

PSK 线：共析转变线，在这条线上发生共析转变 $A_s \Leftrightarrow F_p + Fe_3C$ ，产物 (P) 珠光体，含碳量在 0.02~6.69% 的铁碳合金冷却到 727℃ 时都有共析转变发生。

1、亚共析钢 ($\omega_c=0.40\%$)

组织组成物: $F + P$

$$\omega_F = (0.77 - 0.40) / (0.77 - 0.0008) = 48\%$$

$$\omega_P = 1 - \omega_F = 52\%$$

相组成物: $F + Fe_3C$

$$\omega_F = (6.69 - 0.40) / 6.69 = 94\%$$

$$\omega_{Fe_3C} = 1 - \omega_F = 6\%$$

2、亚共析钢 ($\omega_c=0.77\%$)

组织组成物: P

$$\omega_P = 100\%$$

相组成物: $F + Fe_3C$

$$\omega_F = (6.69 - 0.77) / 6.69 = 88.5\%$$

$$\omega_{Fe_3C} = 1 - \omega_F = 11.5\%$$

3、过共析钢 ($\omega_c=1.20\%$)

组织组成物: $P + Fe_3C_{II}$

$$\omega_{Fe_3C_{II}} = (1.20 - 0.77) / (6.69 - 0.77) = 7\%$$

$$\omega_P = 1 - \omega_{Fe_3C_{II}} = 93\%$$

相组成物: $F + Fe_3C$

$$\omega_F = (6.69 - 1.20) / 6.69 = 82.1\%$$

$$\omega_{Fe_3C} = 1 - \omega_F = 17.1\%$$

4、共晶白口铁 ($\omega_c=4.30\%$)

组织组成物: $L'd$

$$\omega_{L'd} = 100\%$$

相组成物: $F + Fe_3C$

$$\omega_F = (6.69 - 4.30) / 6.69 = 35.7\% \quad \omega_{Fe_3C} = 1 - \omega_F = 64.3\%$$

根据 Fe-Fe₃C 相图，计算：

- 1) 室温下, 含碳 0.6% 的钢中珠光体和铁素体各占多少;
- 2) 室温下, 含碳 1.2% 的钢中珠光体和二次渗碳体各占多少;
- 3) 铁碳合金中, 二次渗碳体和三次渗碳体的最大百分含量。

答: 1) $W_p = (0.6 - 0.02) / (0.8 - 0.02) * 100\% = 74\%$ $W_\alpha = 1 - 74\% = 26\%$

2) $W_p = (2.14 - 1.2) / (2.14 - 0.8) * 100\% = 70\%$ $W_{Fe_3CII} = 1 - 70\% = 30\%$

3) $W_{Fe_3CII} = (2.14 - 0.8) / (6.69 - 0.8) * 100\% = 23\%$

$W_{Fe_3CIII} = 0.02 / 6.69 * 100\% = 33\%$



附录二 《工程材料》复习思考题参考答案

第一章 金属的晶体结构与结晶

1. 解释下列名词

点缺陷，线缺陷，面缺陷，亚晶粒，亚晶界，刃型位错，单晶体，多晶体，

过冷度，自发形核，非自发形核，变质处理，变质剂。

答：点缺陷：原子排列不规则的区域在空间三个方向尺寸都很小，主要指空位间隙原子、置换原子等。

线缺陷：原子排列的不规则区域在空间一个方向上的尺寸很大，而在其余两个方向上的尺寸很小。如位错。

面缺陷：原子排列不规则的区域在空间两个方向上的尺寸很大，而另一方向上的尺寸很小。如晶界和亚晶界。

亚晶粒：在多晶体的每一个晶粒内，晶格位向也并非完全一致，而是存在着许多尺寸很小、位向差很小的小晶块，它们相互镶嵌而成晶粒，称亚晶粒。

亚晶界：两相邻亚晶粒间的边界称为亚晶界。

刃型位错：位错可认为是晶格中一部分晶体相对于另一部分晶体的局部滑移而造成。滑移部分与未滑移部分的交界线即为位错线。如果相对滑移的结果上半部分多出一半原子面，多余半原子面的边缘好像插入晶体中的一把刀的刃口，故称“刃型位错”。

单晶体：如果一块晶体，其内部的晶格位向完全一致，则称这块晶体为单晶体。

多晶体：由多种晶粒组成的晶体结构称为“多晶体”。

过冷度：实际结晶温度与理论结晶温度之差称为过冷度。

自发形核：在一定条件下，从液态金属中直接产生，原子呈规则排列的结晶核心。

非自发形核：是液态金属依附在一些未溶颗粒表面所形成的晶核。

变质处理：在液态金属结晶前，特意加入某些难熔固态颗粒，造成大量可以成为非自发晶核的固态质点，使结晶时的晶核数目大大增加，从而提高了形核率，细化晶粒，这种处理方

法即为变质处理。

变质剂：在浇注前所加入的难熔杂质称为变质剂。

2. 常见的金属晶体结构有哪几种？ α -Fe、 γ -Fe、Al、Cu、Ni、Pb、Cr、V、Mg、Zn 各属何种晶体结构？

答：常见金属晶体结构：体心立方晶格、面心立方晶格、密排六方晶格；

α -Fe、Cr、V 属于体心立方晶格；

γ -Fe、Al、Cu、Ni、Pb 属于面心立方晶格；

Mg、Zn 属于密排六方晶格；

3. 配位数和致密度可以用来说明哪些问题？

答：用来说明晶体中原子排列的紧密程度。晶体中配位数和致密度越大，则晶体中原子排列越紧密。

4. 晶面指数和晶向指数有什么不同？

答：晶向是指晶格中各种原子列的位向，用晶向指数来表示，形式为 $[uvw]$ ；晶面是指晶格中不同方位上的原子面，用晶面指数来表示，形式为 (hkl) 。

5. 实际晶体中的点缺陷，线缺陷和面缺陷对金属性能有何影响？

答：如果金属中无晶体缺陷时，通过理论计算具有极高的强度，随着晶体中缺陷的增加，金属的强度迅速下降，当缺陷增加到一定值后，金属的强度又随晶体缺陷的增加而增加。因此，无论点缺陷，线缺陷和面缺陷都会造成晶格畸变，从而使晶体强度增加。同时晶体缺陷的存在还会增加金属的电阻，降低金属的抗腐蚀性能。

6. 为何单晶体具有各向异性，而多晶体在一般情况下不显示出各向异性？

答：因为单晶体内各个方向上原子排列密度不同，造成原子间结合力不同，因而表现出各向异性；而多晶体是由很多个单晶体所组成，它在各个方向上的力相互抵消平衡，因而表现各向同性。

7. 过冷度与冷却速度有何关系？它对金属结晶过程有何影响？对铸件晶粒大小有何影响？

答：①冷却速度越大，则过冷度也越大。②随着冷却速度的增大，则晶体内核化率和长大速度都加快，加速结晶过程的进行，但当冷速达到一定值以后则结晶过程将减慢，因为这时原子的

扩散能力减弱。③过冷度增大， ΔF 大，结晶驱动力大，形核率和长大速度都大，且 N 的增加比 G 增加得快，提高了 N 与 G 的比值，晶粒变细，但过冷度过大，对晶粒细化不利，结晶发生困难。

8. 金属结晶的基本规律是什么？晶核的形成率和成长率受到哪些因素的影响？

答：①金属结晶的基本规律是形核和核长大。②受到过冷度的影响，随着过冷度的增大，晶核的形成率和成长率都增大，但形成率的增长比成长率的增长快；同时外来难熔杂质以及振动和搅拌的方法也会增大形核率。

9. 在铸造生产中，采用哪些措施控制晶粒大小？在生产中如何应用变质处理？

答：①采用的方法：变质处理，钢模铸造以及在砂模中加冷铁以加快冷却速度的方法来控制晶粒大小。②变质处理：在液态金属结晶前，特意加入某些难熔固态颗粒，造成大量可以成为非自发晶核的固态质点，使结晶时的晶核数目大大增加，从而提高了形核率，细化晶粒。③机械振动、搅拌。

第二章 金属的塑性变形与再结晶

1. 解释下列名词：

加工硬化、回复、再结晶、热加工、冷加工。

答：加工硬化：随着塑性变形的增加，金属的强度、硬度迅速增加；塑性、韧性迅速下降的现象。

回复：为了消除金属的加工硬化现象，将变形金属加热到某一温度，以使其组织和性能发生变化。

在加热温度较低时，原子的活动能力不大，这时金属的晶粒大小和形状没有明显的变化，只是在晶内发生点缺陷的消失以及位错的迁移等变化，因此，这时金属的强度、硬度和塑性等机械性能变化不大，而只是使内应力及电阻率等性能显著降低。此阶段为回复阶段。

再结晶：被加热到较高的温度时，原子也具有较大的活动能力，使晶粒的外形开始变化。从破碎拉长的晶粒变成新的等轴晶粒。和变形前的晶粒形状相似，晶格类型相同，把这一阶段称为“再结晶”。

热加工：将金属加热到再结晶温度以上一定温度进行压力加工。

冷加工：在再结晶温度以下进行的压力加工。

2. 产生加工硬化的原因是什么？加工硬化在金属加工中有什么利弊？

答：①随着变形的增加，晶粒逐渐被拉长，直至破碎，这样使各晶粒都破碎成细碎的亚晶粒，变形愈大，晶粒破碎的程度愈大，这样使位错密度显著增加；同时细碎的亚晶粒也随着晶粒的拉长而被拉长。因此，随着变形量的增加，由于晶粒破碎和位错密度的增加，金属的塑性变形抗力将迅速增大，即强度和硬度显著提高，而塑性和韧性下降产生所谓“加工硬化”现象。

②金属的加工硬化现象会给金属的进一步加工带来困难，如钢板在冷轧过程中会越轧越硬，以致最后轧不动。另一方面人们可以利用加工硬化现象，来提高金属强度和硬度，如冷拔高强度钢丝就是利用冷加工变形产生的加工硬化来提高钢丝的强度的。加工硬化也是某些压力加工工艺能够实现的重要因素。如冷拉钢丝拉过模孔的部分，由于发生了加工硬化，不再继续变形而使变形转移到尚未拉过模孔的部分，这样钢丝才可以继续通过模孔而成形。

3. 划分冷加工和热加工的主要条件是什么？

答：主要是再结晶温度。在再结晶温度以下进行的压力加工为冷加工，产生加工硬化现象；反之为热加工，产生的加工硬化现象被再结晶所消除。

4. 与冷加工比较，热加工给金属件带来的益处有哪些？

答：（1）通过热加工，可使铸态金属中的气孔焊合，从而使其致密度得以提高。

（2）通过热加工，可使铸态金属中的枝晶和柱状晶破碎，从而使晶粒细化，机械性能提高。

（3）通过热加工，可使铸态金属中的枝晶偏析和非金属夹杂分布发生改变，使它们沿着变形的方向细碎拉长，形成热压力加工“纤维组织”（流线），使纵向的强度、塑性和韧性显著大于横向。如果合理利用热加工流线，尽量使流线与零件工作时承受的最大拉应力方向一致，而与外加切应力或冲击力相垂直，可提高零件使用寿命。

5. 为什么细晶粒钢强度高，塑性，韧性也好？

答：晶界是阻碍位错运动的，而各晶粒位向不同，互相约束，也阻碍晶粒的变形。因此，金属的晶粒愈细，其晶界总面积愈大，每个晶粒周围不同取向的晶粒数便愈多，对塑性变形的抗力也愈大。因此，金属的晶粒愈细强度愈高。同时晶粒愈细，金属单位体积中的晶粒数便越多，变形时同样的变形量便可分散在更多的晶粒中发生，产生较均匀的变形，而不致造成局部的应力集中，引起裂纹的过早产生和发展。因此，塑性，韧性也越好。

6. 金属经冷塑性变形后，组织和性能发生什么变化？

答：①晶粒沿变形方向拉长，性能趋于各向异性，如纵向的强度和塑性远大于横向等；②晶粒破

碎，位错密度增加，产生加工硬化，即随着变形量的增加，强度和硬度显著提高，而塑性和韧性下降；③织构现象的产生，即随着变形的发生，不仅金属中的晶粒会被破碎拉长，而且各晶粒的晶格位向也会沿着变形的方向同时发生转动，转动结果金属中每个晶粒的晶格位向趋于大体一致，产生织构现象；④冷压力加工过程中由于材料各部分的变形不均匀或晶粒内各部分和各晶粒间的变形不均匀，金属内部会形成残余的内应力，这在一般情况下都是不利的，会引起零件尺寸不稳定。

7. 分析加工硬化对金属材料的强化作用？

答：随着塑性变形的进行，位错密度不断增加，因此位错在运动时的相互交割、位错缠结加剧，使位错运动的阻力增大，引起变形抗力的增加。这样，金属的塑性变形就变得困难，要继续变形就必须增大外力，因此提高了金属的强度。

8. 已知金属钨、铁、铅、锡的熔点分别为 3380℃、1538℃、327℃、232℃，试计算这些金属的最低再结晶温度，并分析钨和铁在 1100℃ 下的加工、铅和锡在室温（20℃）下的加工各为何种加工？

答： $T_{再}=0.4T_{熔}$ ；钨 $T_{再}=[0.4*(3380+273)]-273=1188.2^{\circ}\text{C}$ ；铁 $T_{再}=[0.4*(1538+273)]-273=451.4^{\circ}\text{C}$ ；铅 $T_{再}=[0.4*(327+273)]-273=-33^{\circ}\text{C}$ ；锡 $T_{再}=[0.4*(232+273)]-273=-71^{\circ}\text{C}$ 。由于钨 $T_{再}$ 为 $1188.2^{\circ}\text{C} > 1100^{\circ}\text{C}$ ，因此属于热加工；铁 $T_{再}$ 为 $451.4^{\circ}\text{C} < 1100^{\circ}\text{C}$ ，因此属于冷加工；铅 $T_{再}$ 为 $-33^{\circ}\text{C} < 20^{\circ}\text{C}$ ，属于冷加工；锡 $T_{再}$ 为 $-71^{\circ}\text{C} < 20^{\circ}\text{C}$ ，属于冷加工。

9. 在制造齿轮时，有时采用喷丸法（即将金属丸喷射到零件表面上）使齿面得以强化。试分析强化原因。

答：高速金属丸喷射到零件表面上，使工件表面层产生塑性变形，形成一定厚度的加工硬化层，使齿面的强度、硬度升高。

第三章 合金的结构与二元状态图

1. 解释下列名词：

合金，组元，相，相图；固溶体，金属间化合物，机械混合物；枝晶偏析，比重偏析；固溶强化，弥散强化。

答：合金：通过熔炼，烧结或其它方法，将一种金属元素同一种或几种其它元素结合在一起所形

成的具有金属特性的新物质，称为合金。

组元：组成合金的最基本的、独立的物质称为组元。

相：在金属或合金中，凡成分相同、结构相同并与其它部分有界面分开的均匀组成部分，均称之为相。

相图：用来表示合金系中各个合金的结晶过程的简明图解称为相图。

固溶体：合金的组元之间以不同的比例混合，混合后形成的固相的晶格结构与组成合金的某一组元的相同，这种相称为固溶体。

金属间化合物：合金的组元间发生相互作用形成的一种具有金属性质的新相，称为金属间化合物。它的晶体结构不同于任一组元，用分子式来表示其组成。

机械混合物：合金的组织由不同的相以不同的比例机械的混合在一起，称机械混合物。

枝晶偏析：实际生产中，合金冷却速度快，原子扩散不充分，使得先结晶出来的固溶体合金含高熔点组元较多，后结晶含低熔点组元较多，这种在晶粒内化学成分不均匀的现象称为枝晶偏析。

比重偏析：比重偏析是由组成相与溶液之间的密度差别所引起的。如果先共晶相与溶液之间的密度差别较大，则在缓慢冷却条件下凝固时，先共晶相便会在液体中上浮或下沉，从而导致结晶后铸件上下部分的化学成分不一致，产生比重偏析。

固溶强化：通过溶入某种溶质元素形成固溶体而使金属的强度、硬度升高的现象称为固溶强化。

弥散强化：合金中以固溶体为主再有适量的金属间化合物弥散分布，会提高合金的强度、硬度及耐磨性，这种强化方式为弥散强化。

2. 指出下列名词的主要区别：

1) 置换固溶体与间隙固溶体；

答：置换固溶体：溶质原子代替溶剂晶格结点上的一部分原子而组成的固溶体称置换固溶体。

间隙固溶体：溶质原子填充在溶剂晶格的间隙中形成的固溶体，即间隙固溶体。

2) 相组成物与组织组成物；

相组成物：合金的基本组成相。

组织组成物：合金显微组织中的独立组成部分。

3. 下列元素在 α -Fe 中形成哪几种固溶体？

Si、C、N、Cr、Mn

答：Si、Cr、Mn 形成置换固溶体；C、N 形成间隙固溶体。

4. 试述固溶强化、加工强化和弥散强化的强化原理, 并说明三者的区别。

答：固溶强化：溶质原子溶入后，要引起溶剂金属的晶格产生畸变，进而位错运动时受到阻力增大。

弥散强化：金属化合物本身有很高的硬度，因此合金中以固溶体为基体再有适量的金属间化合物均匀细小弥散分布时，会提高合金的强度、硬度及耐磨性。这种用金属间化合物来强化合金的方式为弥散强化。

加工强化：通过产生塑性变形来增大位错密度，从而增大位错运动阻力，引起塑性变形抗力的增加，提高合金的强度和硬度。

区别：固溶强化和弥散强化都是利用合金的组成相来强化合金，固溶强化是通过产生晶格畸变，使位错运动阻力增大来强化合金；弥散强化是利用金属化合物本身的高强度和硬度来强化合金；而加工强化是通过力的作用产生塑性变形，增大位错密度以增大位错运动阻力来强化合金；三者相比，通过固溶强化得到的强度、硬度最低，但塑性、韧性最好，加工强化得到的强度、硬度最高，但塑韧性最差，弥散强化介于两者之间。

5. 固溶体和金属间化合物在结构和性能上有什么主要差别？

答：在结构上：固溶体的晶体结构与溶剂的结构相同，而金属间化合物的晶体结构不同于组成它的任一组元，它是以分子式来表示其组成。

在性能上：形成固溶体和金属间化合物都能强化合金，但固溶体的强度、硬度比金属间化合物低，塑性、韧性比金属间化合物好，也就是固溶体有更好的综合机械性能。

6. 何谓共晶反应、包晶反应和共析反应？试比较这三种反应的异同点。

答：共晶反应：指一定成分的液体合金，在一定温度下，同时结晶出成分和晶格均不相同的两种晶体的反应。

包晶反应：指一定成分的固相与一定成分的液相作用，形成另外一种固相的反应过程。

共析反应：由特定成分的单相固态合金，在恒定的温度下，分解成两个新的，具有一定晶体结构的固相的反应。

共同点：反应都是在恒温下发生，反应物和产物都是具有特定成分的相，都处于三相平衡状态。

不同点：共晶反应是一种液相在恒温下生成两种固相的反应；共析反应是一种固相在恒温下生成两种固相的反应；而包晶反应是一种液相与一种固相在恒温下生成另一种固相的反应。

7. 二元合金相图表达了合金的哪些关系？

答：二元合金相图表达了合金的状态与温度和成分之间的关系。

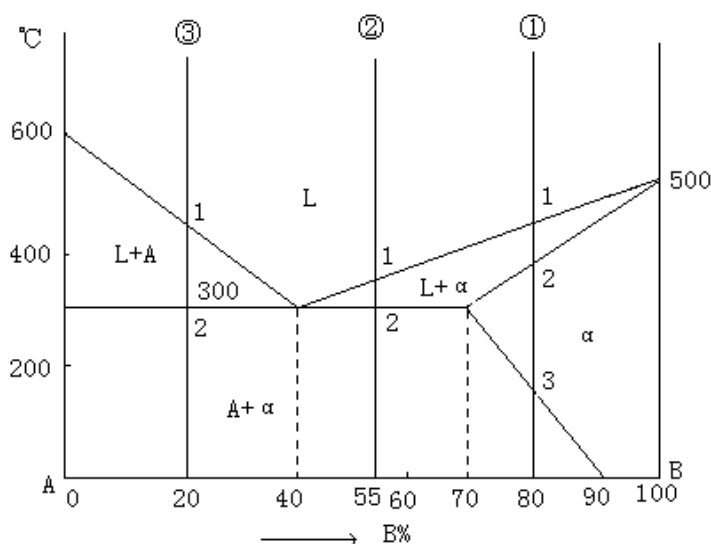
8. 在二元合金相图中应用杠杆定律可以计算什么？

答：应用杠杆定律可以计算合金相互平衡两相的成分和相对含量。

9. 已知 A（熔点 600°C ）与 B（ 500°C ）在液态无限互溶；在固态 300°C 时 A 溶于 B 的最大溶解度为 30%，室温时为 10%，但 B 不溶于 A；在 300°C 时，含 40% B 的液态合金发生共晶反应。现要求：

- 1) 作出 A-B 合金相图；
- 2) 分析 20% A, 45%A, 80%A 等合金的结晶过程，并确定室温下的组织组成物和相组成物的相对量。

答：(1)



(2) 20%A 合金如图①:

合金在 1 点以上全部为液相, 当冷至 1 点时, 开始从液相中析出 α 固溶体, 至 2 点结束, 2~3 点之间合金全部由 α 固溶体所组成, 但当合金冷到 3 点以下, 由于固溶体 α 的浓度超过了它的溶解度限度, 于是从固溶体 α 中析出二次相 A, 因此最终显微组织: $\alpha + A_{II}$

相组成物: $\alpha + A$

$$A = [(90-80)/90] \times 100\% = 11\% \quad \alpha = 1 - A\% = 89\%$$

45%A 合金如图②:

合金在 1 点以上全部为液相, 冷至 1 点时开始从液相中析出 α 固溶体, 此时液相线成分沿线 BE 变化, 固相线成分沿 BD 线变化, 当冷至 2 点时, 液相线成分到达 E 点, 发生共晶反应, 形成 $(A + \alpha)$ 共晶体, 合金自 2 点冷至室温过程中, 自中析出二次相 A_{II} , 因而合金②室温组织:

$A_{II} + \alpha + (A + \alpha)$ 相组成物: $A + \alpha$

$$\text{组织: } A_{II} = (70-55)/70 \times 100\% = 21\% \quad \alpha = 1 - A_{II} = 79\%$$

$$A + \alpha = (70-55)/(70-40) \times 100\% = 50\%$$

$$\text{相: } A = (90-55)/90 \times 100\% = 50\% \quad \alpha = 1 - A\% = 50\%$$

80%A 合金如图③:

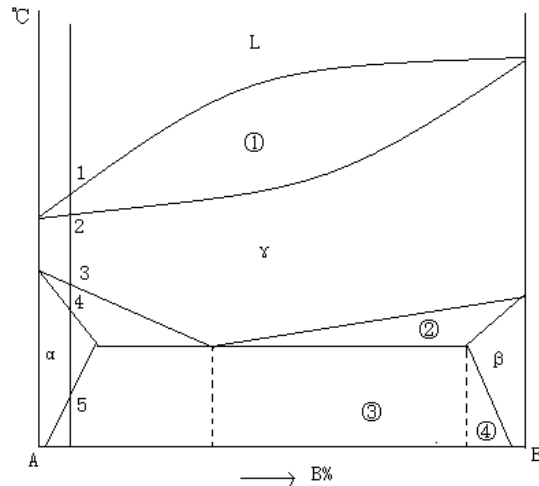
合金在 1 点以上全部为液相, 冷至 1 点时开始从液相中析出 A, 此时液相线成分沿 AE 线变化, 冷至 2 点时, 液相线成分到达点, 发生共晶反应, 形成 $(A + \alpha)$ 共晶体, 因而合金③的室温组织: $A + (A + \alpha)$

相组成物: $A + \alpha$

$$\text{组织: } A = (40-20)/40 \times 100\% = 50\% \quad A + \alpha = 1 - A\% = 50\%$$

$$\text{相: } A = (90-20)/90 \times 100\% = 78\% \quad \alpha = 1 - A\% = 22\%$$

10. 某合金相图如图所示。



- 1) 试标注①—④空白区域中存在相的名称;
- 2) 指出此相图包括哪几种转变类型;
- 3) 说明合金 I 的平衡结晶过程及室温下的显微组织。

答: (1) ①: $L + \gamma$ ②: $\gamma + \beta$ ③: $\beta + (\alpha + \beta)$ ④: $\beta + \alpha_{II}$

(2) 匀晶转变; 共析转变

(3) 合金①在 1 点以上全部为液相, 冷至 1 点时开始从液相中析出 γ 固溶体至 2 点结束, 2~3 点之间合金全部由 γ 固溶体所组成, 3 点以下, 开始从 γ 固溶体中析出 α 固溶体, 冷至 4 点时合金全部由 α 固溶体所组成, 4~5 之间全部由 α 固溶体所组成, 冷到 5 点以下, 由于 α 固溶体的浓度超过了它的溶解度限度, 从 α 中析出第二相 β 固溶体, 最终得到室温下的显微组织: $\alpha + \beta_{II}$

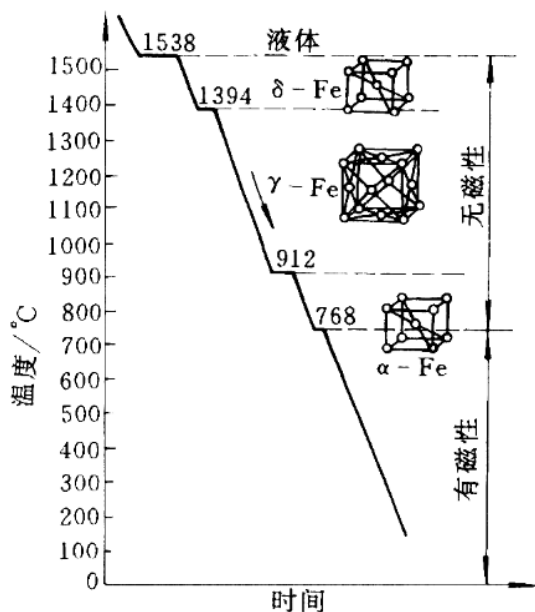
11. 有形状、尺寸相同的两个 Cu-Ni 合金铸件, 一个含 90% Ni, 另一个含 50% Ni, 铸后自然冷却, 问哪个铸件的偏析较严重?

答: 含 50% Ni 的 Cu-Ni 合金铸件偏析较严重。在实际冷却过程中, 由于冷速较快, 使得先结晶部分含高熔点组元多, 后结晶部分含低熔点组元多, 因为含 50% Ni 的 Cu-Ni 合金铸件固相线与液相线范围比含 90% Ni 铸件宽, 因此它所造成的化学成分不均匀现象要比含 90% Ni 的 Cu-Ni 合金铸件严重。

第四章 铁碳合金

1. 何谓金属的同素异构转变？试画出纯铁的结晶冷却曲线和晶体结构变化图。

答：由于条件（温度或压力）变化引起金属晶体结构的转变，称同素异构转变。



2. 为什么 γ -Fe 和 α -Fe 的比容不同？一块质量一定的铁发生 (γ -Fe \rightarrow α -Fe) 转变时，其体积如何变化？

答：因为 γ -Fe 和 α -Fe 原子排列的紧密程度不同， γ -Fe 的致密度为 74%， α -Fe 的致密度为 68%，因此一块质量一定的铁发生 (γ -Fe \rightarrow α -Fe) 转变时体积将发生膨胀。

3. 何谓铁素体 (F)，奥氏体 (A)，渗碳体 (Fe_3C)，珠光体 (P)，莱氏体 (Ld)？它们的结构、组织形态、性能等各有何特点？

答：铁素体 (F)：铁素体是碳在 α -Fe 中形成的间隙固溶体，为体心立方晶格。由于碳在 α -Fe 中的溶解度很小，它的性能与纯铁相近。塑性、韧性好，强度、硬度低。它在钢中一般呈块状或片状。

奥氏体 (A)：奥氏体是碳在 γ -Fe 中形成的间隙固溶体，面心立方晶格。因其晶格间隙尺寸较大，

故碳在 γ -Fe 中的溶解度较大。有很好的塑性。

渗碳体 (Fe_3C)：铁和碳相互作用形成的具有复杂晶格的间隙化合物。渗碳体具有很高的硬度，但塑性很差，延伸率接近于零。在钢中以片状存在或网络状存在于晶界。在莱氏体

中为连续的基体，有时呈鱼骨状。

珠光体 (P)：由铁素体和渗碳体组成的机械混合物。铁素体和渗碳体呈层片状。珠光体有较高的强度和硬度，但塑性较差。

莱氏体 (Ld)：由奥氏体和渗碳体组成的机械混合物。在莱氏体中，渗碳体是连续分布的相，奥氏体呈颗粒状分布在渗碳体基体上。由于渗碳体很脆，所以莱氏体是塑性很差的组织。

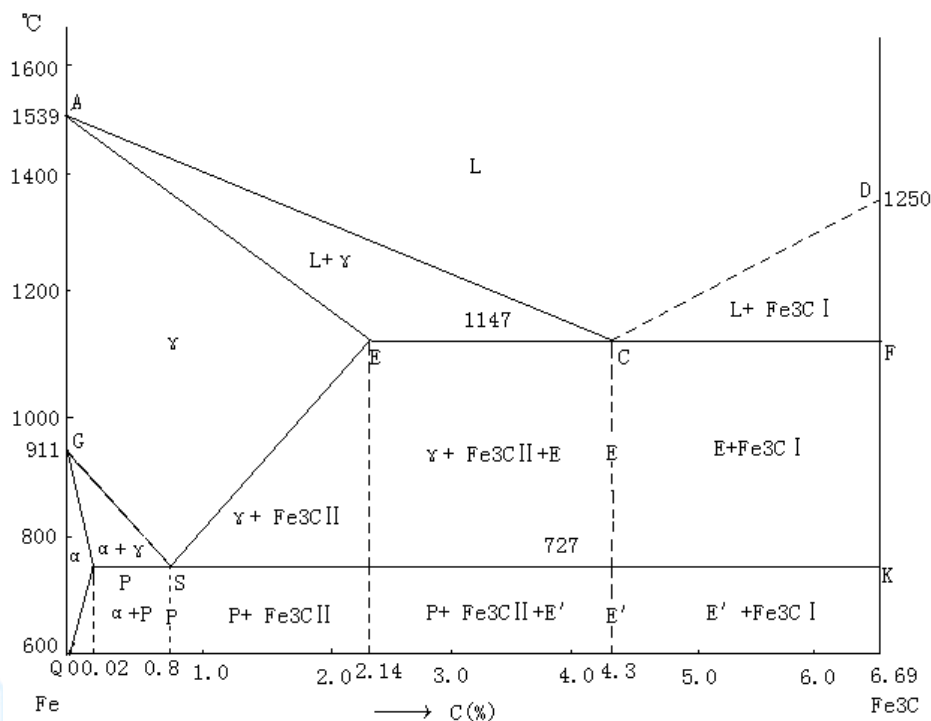
4. Fe-Fe₃C 合金相图有何作用？在生产实践中有何指导意义？又有何局限性？

答：①碳钢和铸铁都是铁碳合金，是使用最广泛的金属材料。铁碳合金相图是研究铁碳合金的重要工具，了解与掌握铁碳合金相图，对于钢铁材料的研究和使用，各种热加工工艺的制订以及工艺废品原因的分析等方面都有重要指导意义。②为选材提供成分依据： $F + Fe_3C$ 相图描述了铁碳合金的组织随含碳量的变化规律，合金的性能决定于合金的组织，这样根据零件的性能要求来选择不同成分的铁碳合金；为制定热加工工艺提供依据：对铸造，根据相图可以找出不同成分的钢或铸铁的熔点，确定铸造温度；根据相图上液相线和固相线间距离估计铸造性能的好坏。对于锻造：根据相图可以确定锻造温度。对焊接：

根据相图来分析碳钢焊缝组织，并用适当热处理方法来减轻或消除组织不均匀性；对热处理： $F + Fe_3C$ 相图更为重要，如退火、正火、淬火的加热温度都要参考铁碳相图加以选择。③由于铁碳相图是以无限缓慢加热和冷却的速度得到的，而在实际加热和冷却通常都有不同程度的滞后现象。

5. 画出 Fe-Fe₃C 相图，指出图中 S、C、E、P、N、G 及 GS、SE、PQ、PSK 各点、线的意义，并标出各相区的相组成物和组织组成物。

答：



C: 共晶点 1148°C 4.30%C, 在这一点上发生共晶转变, 反应式: $L_C \Leftrightarrow A_E + Fe_3C$, 当冷到 1148°C 时具有 C 点成分的液体中同时结晶出具有 E 点成分的奥氏体和渗碳体的两相混合物——莱氏体 (Le) $\rightarrow (A_E + Fe_3C)$

E: 碳在 $\gamma-Fe$ 中的最大溶解度点 1148°C 2.11%C

G: $\alpha-Fe \Leftrightarrow \gamma-Fe$ 同素异构转变点 (A_3) 912°C 0%C

H: 碳在 $\delta-Fe$ 中的最大溶解度为 1495°C 0.09%C

J: 包晶转变点 1495°C 0.17%C 在这一点上发生包晶转变, 反应式: $L_B + \delta_H \Leftrightarrow A_J$ 当冷却到 1495°C 时具有 B 点成分的液相与具有 H 点成分的固相 δ 反应生成具有 J 点成分的固相 A。

N: $\gamma-Fe \Leftrightarrow \delta-Fe$ 同素异构转变点 (A_4) 1394°C 0%C

P: 碳在 $\alpha-Fe$ 中的最大溶解度点 0.0218%C 727°C

S: 共析点 727°C 0.77%C 在这一点上发生共析转变, 反应式: $A_s \Leftrightarrow F_p + Fe_3C$, 当冷却到 727°C

时从具有 S 点成分的奥氏体中同时析出具有 P 点成分的铁素体和渗碳体的两相混合物——珠光体 P ($F_p + Fe_3C$)

ES 线：碳在奥氏体中的溶解度曲线，又称 A_{cm} 温度线，随温度的降低，碳在奥氏体中的溶解度减少，多余的碳以 Fe_3C 形式析出，所以具有 0.77%~2.11%C 的钢冷却到 A_{cm} 线与 PSK 线之间的组织 $A + Fe_3C_{II}$ ，从 A 中析出的 Fe_3C 称为二次渗碳体。

GS 线：不同含碳量的奥氏体冷却时析出铁素体的开始线称 A_3 线，GP 线则是铁素体析出的终了线，所以 GSP 区的显微组织是 $F + A$ 。

PQ 线：碳在铁素体中的溶解度曲线，随温度的降低，碳在铁素体中的溶解度减少，多余的碳以 Fe_3C 形式析出，从 F 中析出的 Fe_3C 称为三次渗碳体 Fe_3C_{III} ，由于铁素体含碳很少，析出的 Fe_3C_{III} 很少，一般忽略，认为从 727℃ 冷却到室温的显微组织不变。

PSK 线：共析转变线，在这条线上发生共析转变 $A_s \Leftrightarrow F_p + Fe_3C$ ，产物 (P) 珠光体，含碳量在 0.02~6.69% 的铁碳合金冷却到 727℃ 时都有共析转变发生。

6. 简述 Fe-Fe₃C 相图中三个基本反应：包晶反应，共晶反应及共析反应，写出反应式，标出含碳量及温度。

答：共析反应：冷却到 727℃ 时具有 S 点成分的奥氏体中同时析出具有 P 点成分的铁素体和渗碳体的两相混合物。 $\gamma_{0.8} \xrightarrow{727^\circ\text{C}} F_{0.02} + Fe_3C_{6.69}$

包晶反应：冷却到 1495℃ 时具有 B 点成分的液相与具有 H 点成分的固相 δ 反应生成具有 J 点成分的固相 A。 $L_{0.5} + \delta_{0.1} \xrightarrow{1495^\circ\text{C}} \gamma_{0.16}$

共晶反应：1148℃ 时具有 C 点成分的液体中同时结晶出具有 E 点成分的奥氏体和渗碳体的两相混合物。 $L_{4.3} \xrightarrow{1147^\circ\text{C}} \gamma_{2.14} + Fe_3C_{6.69}$

7. 何谓碳素钢？何谓白口铁？两者的成分组织和性能有何差别？

答：碳素钢：含有 0.02%~2.14%C 的铁碳合金。

白口铁：含大于 2.14%C 的铁碳合金。

碳素钢中亚共析钢的组织由铁素体和珠光体所组成，其中珠光体中的渗碳体以细片状分布在铁素体基体上，随着含碳量的增加，珠光体的含量增加，则钢的强度、硬度增加，塑性、韧性降低。当含碳量达到 0.8% 时就是珠光体的性能。过共析钢组织由珠光体和二次渗碳体所组成，含碳量接近 1.0% 时，强度达到最大值，含碳量继续增加，强度下降。由于二次渗碳体在晶界形成连续的网络，导致钢的脆性增加。

白口铁中由于其组织中存在大量的渗碳体，具有很高的硬度和脆性，难以切削加工。

8. 亚共析钢、共析钢和过共析钢的组织有何特点和异同点。

答：亚共析钢的组织由铁素体和珠光体所组成。其中铁素体呈块状。珠光体中铁素体与渗碳体呈片状分布。共析钢的组织由珠光体所组成。过共析钢的组织由珠光体和二次渗碳体所组成，其中二次渗碳体在晶界形成连续的网络状。

共同点：钢的组织中都含有珠光体。不同点：亚共析钢的组织是铁素体和珠光体，共析钢的组织是珠光体，过共析钢的组织是珠光体和二次渗碳体。

9. 分析含碳量分别为 0.20%、0.60%、0.80%、1.0% 的铁碳合金从液态缓冷至室温时的结晶过程和室温组织。

答：0.80%C：在 1~2 点间合金按匀晶转变结晶出 A，在 2 点结晶结束，全部转变为奥氏体。冷到 3 点时（727℃），在恒温下发生共析转变，转变结束时全部为珠光体 P，珠光体中的渗碳体称为共析渗碳体，当温度继续下降时，珠光体中铁素体溶碳量减少，其成分沿固溶度线 PQ 变化，析出三次渗碳体 Fe_3C_{III} ，它常与共析渗碳体长在一起，彼此分不出，且数量少，可忽略。

室温时组织 P。

0.60%C：合金在 1~2 点间按匀晶转变结晶出 A，在 2 点结晶结束，全部转变为奥氏体。冷到 3 点时开始析出 F，3~4 点 A 成分沿 GS 线变化，铁素体成分沿 GP 线变化，当温度到 4 点时，奥氏体的成分达到 S 点成分（含碳 0.8%），便发生共析转变，形成珠光体，此时，原先析出的铁素体保持不变，称为先共析铁素体，其成分为 0.02%C，所以共析转变结束后，合金的组织为先共析铁素体和珠光体，当温度继续下降时，铁素体的溶碳量沿 PQ 线变化，析出三次渗碳体，同样 Fe_3C_{III} 量很少，可忽略。

所以含碳 0.40% 的亚共析钢的室温组织为: F+P

1. 0% C: 合金在 1~2 点间按匀晶转变结晶出奥氏体, 2 点结晶结束, 合金为单相奥氏体, 冷却到 3 点, 开始从奥氏体中析出二次渗碳体 Fe_3C_{II} , Fe_3C_{II} 沿奥氏体的晶界析出, 呈网状分布, 3-4 间 Fe_3C_{II} 不断析出, 奥氏体成分沿 ES 线变化, 当温度到达 4 点 (727°C) 时, 其含碳量降为 0.77%, 在恒温下发生共析转变, 形成珠光体, 此时先析出的 Fe_3C_{II} 保持不变, 称为先共析渗碳体, 所以共析转变结束时的组织为先共析二次渗碳体和珠光体, 忽略 Fe_3C_{III} 。

室温组织为二次渗碳体和珠光体。

10. 指出下列名词的主要区别:

1) 一次渗碳体、二次渗碳体、三次渗碳体、共晶渗碳体与共析渗碳体;

答: 一次渗碳体: 由液相中直接析出来的渗碳体称为一次渗碳体。

二次渗碳体: 从 A 中析出的 Fe_3C 称为二次渗碳体。

三次渗碳体: 从 F 中析出的 Fe_3C 称为三次渗碳体 Fe_3C_{III} 。

共晶渗碳体: 经共晶反应生成的渗碳体即莱氏体中的渗碳体称为共晶渗碳体。

共析渗碳体: 经共析反应生成的渗碳体即珠光体中的渗碳体称为共析渗碳体。

2) 热脆与冷脆。

答: 热脆: S 在钢中以 FeS 形成存在, FeS 会与 Fe 形成低熔点共晶, 当钢材在 1000°C~1200°C 压力加工时, 会沿着这些低熔点共晶体的边界开裂, 钢材将变得极脆, 这种脆性现象称为热脆。

冷脆: P 使室温下的钢的塑性、韧性急剧降低, 并使钢的脆性转化温度有所升高, 使钢变脆, 这种现象称为“冷脆”。

11. 根据 Fe-Fe₃C 相图, 计算:

1) 室温下, 含碳 0.6% 的钢中珠光体和铁素体各占多少;

2) 室温下, 含碳 1.2% 的钢中珠光体和二次渗碳体各占多少;

3) 铁碳合金中, 二次渗碳体和三次渗碳体的最大百分含量。

答: 1) $W_p = (0.6 - 0.02) / (0.8 - 0.02) * 100\% = 74\%$ $W_a = 1 - 74\% = 26\%$

2) $W_p = (2.14 - 1.2) / (2.14 - 0.8) * 100\% = 70\%$ $W_{Fe_3CII} = 1 - 70\% = 30\%$

3) $W_{Fe_3CII} = (2.14 - 0.8) / (6.69 - 0.8) * 100\% = 23\%$

$W_{Fe_3CIII} = 0.02 / 6.69 * 100\% = 33\%$

12. 某工厂仓库积压了许多碳钢(退火状态), 由于钢材混杂, 不知道钢的化学成分, 现找出其中一根, 经金相分析后, 发现其组织为珠光体+铁素体, 其中铁素体占 80%, 问此钢材的含碳量大约是多少?

答: 由于组织为珠光体+铁素体, 说明此钢为亚共析钢。

$W_a = 80\% = (0.8 - W_c) / (0.8 - 0.02) * 100\%$ $W_c = 0.18\%$

13. 对某退火碳素钢进行金相分析, 其组织的相组成物为铁素体+渗碳体(粒状), 其中渗碳体占 18%, 问此碳钢的含碳量大约是多少?

答: $W_{Fe_3CII} = 18\% = (W_c - 0.02) / (6.69 - 0.02) * 100\%$ $W_c = 1.22\%$

14. 对某退火碳素钢进行金相分析, 其组织为珠光体+渗碳体(网状), 其中珠光体占 93%, 问此碳钢的含碳量大约为多少?

答: $W_p = 93\% = (2.14 - W_c) / (2.14 - 0.8) * 100\% = 70\%$ $W_c = 0.89\%$

15. 计算 Fe-1.4%C 合金在 700℃ 下各个相及其组分数量和成分。

答: 含 1.4%C 合金属于过共析钢, 其组织为珠光体+二次渗碳体, 相为铁素体和渗碳体。

$W_p = (2.14 - 1.4) / (2.14 - 0.8) * 100\% = 55\%$ $W_{Fe_3CII} = 1 - 55\% = 45\%$

$W_a = (6.69 - 1.4) / (6.69 - 0.02) * 100\% = 79\%$ $W_{Fe_3C} = 1 - 79\% = 21\%$

16. 根据 Fe-Fe₃C 相图, 说明产生下列现象的原因:

1) 含碳量为 1.0% 的钢比含碳量为 0.5% 的钢硬度高;

答: 钢中随着含碳量的增加, 渗碳体的含量增加, 渗碳体是硬脆相, 因此含碳量为 1.0% 的钢比含碳量为 0.5% 的钢硬度高。

2) 在室温下, 含碳 0.8% 的钢其强度比含碳 1.2% 的钢高;

答: 因为在钢中当含碳量超过 1.0% 时, 所析出的二次渗碳体在晶界形成连续的网络状, 使钢的脆性增加, 导致强度下降。因此含碳 0.8% 的钢其强度比含碳 1.2% 的钢高。

3) 在 1100℃, 含碳 0.4% 的钢能进行锻造, 含碳 4.0% 的生铁不能锻造;

答: 在 1100℃ 时, 含碳 0.4% 的钢的组织为奥氏体, 奥氏体的塑性很好, 因此适合于锻造; 含碳 4.0% 的生铁的组织中含有大量的渗碳体, 渗碳体的硬度很高, 不适合于锻造。

4) 绑扎物件一般用铁丝 (镀锌低碳钢丝), 而起重机吊重物却用钢丝绳 (用 60、65、70、75 等钢制成);

答: 绑扎物件的性能要求有很好的韧性, 因此选用低碳钢有很好的塑韧性, 镀锌低碳钢丝; 而起重机吊重物用钢丝绳除要求有一定的强度, 还要有很高的弹性极限, 而 60、65、70、75 钢有高的强度和高的弹性极限。这样在吊重物时不会断裂。

5) 钳工锯 T8, T10, T12 等钢料时比锯 10, 20 钢费力, 锯条容易磨钝;

答: T8, T10, T12 属于碳素工具钢, 含碳量为 0.8%, 1.0%, 1.2%, 因而钢中渗碳体含量高, 钢的硬度较高; 而 10, 20 钢为优质碳素结构钢, 属于低碳钢, 钢的硬度较低, 因此钳工锯 T8, T10, T12 等钢料时比锯 10, 20 钢费力, 锯条容易磨钝。

6) 钢适宜于通过压力加工成形, 而铸铁适宜于通过铸造成形。

答: 因为钢的含碳量范围在 0.02%~2.14% 之间, 渗碳体含量较少, 铁素体含量较多, 而铁素体有较好的塑韧性, 因而钢适宜于压力加工; 而铸铁组织中含有大量以渗碳体为基体的莱氏体, 渗碳体是硬脆相, 因而铸铁适宜于通过铸造成形。

17. 钢中常存杂质有哪些? 对钢的性能有何影响?

答: 钢中常存杂质有 Si、Mn、S、P 等。

Mn: 大部分溶于铁素体中, 形成置换固溶体, 并使铁素体强化; 另一部分 Mn 溶于 Fe_3C 中, 形成合金渗碳体, 这都使钢的强度提高, Mn 与 S 化合成 MnS, 能减轻 S 的有害作用。当 Mn 含量不多, 在碳钢中仅作为少量杂质存在时, 它对钢的性能影响并不明显。

Si: Si 与 Mn 一样能溶于铁素体中, 使铁素体强化, 从而使钢的强度、硬度、弹性提高, 而塑性、韧性降低。当 Si 含量不多, 在碳钢中仅作为少量夹杂存在时, 它对钢的性能影响并不显著。

S: 硫不溶于铁, 而以 FeS 形成存在, FeS 会与 Fe 形成共晶, 并分布于奥氏体的晶界上, 当钢材

在 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 压力加工时, 由于 FeS-Fe 共晶(熔点只有 989°C) 已经熔化, 并使晶粒脱开, 钢材将变得极脆。

P: 磷在钢中全部溶于铁素体中, 虽可使铁素体的强度、硬度有所提高, 但却使室温下的钢的塑性、韧性急剧降低, 并使钢的脆性转化温度有所升高, 使钢变脆。

18. 试述碳钢的分类及牌号的表示方法。

答: 分类: 1) 按含碳量分类

低碳钢: 含碳量小于或等于 0.25% 的钢, $0.01 \sim 0.25\% \text{C} \leq 0.25\% \text{C}$

中碳钢: 含碳量为 0.30~0.55% 的钢 $0.25 \sim 0.6\% \text{C}$

高碳钢: 含碳量大于 0.6% 的钢 $0.6 \sim 1.3\% \text{C} > 0.6\% \text{C}$

(2) 按质量分类: 即含有杂质元素 S、P 的多少分类:

普通碳素钢: $\text{S} \leq 0.055\% \quad \text{P} \leq 0.045\%$

优质碳素钢: $\text{S}、\text{P} \leq 0.035 \sim 0.040\%$

高级优质碳素钢: $\text{S} \leq 0.02 \sim 0.03\%; \text{P} \leq 0.03 \sim 0.035\%$

(3) 按用途分类

碳素结构钢: 用于制造各种工程构件, 如桥梁、船舶、建筑构件等, 及机器零件, 如齿轮、轴、连杆、螺钉、螺母等。

碳素工具钢: 用于制造各种刀具、量具、模具等, 一般为高碳钢, 在质量上都是优质钢或高级优质钢。

牌号的表示方法: (1) 普通碳素结构钢:

用 Q+数字表示, “Q” 为屈服点, “屈” 汉语拼音, 数字表示屈服点数值。若牌号后面标注字母 A、B、C、D, 则表示钢材质量等级不同, A、B、C、D 质量依次提高, “F” 表示沸腾钢, “b” 为半镇静钢, 不标 “F” 和 “b” 的为镇静钢。

(2) 优质碳素结构钢:

牌号是采用两位数字表示的, 表示钢中平均含碳量的万分之几。若钢中含锰量较高, 须将锰元素标出,

(3) 碳素工具钢:

这类钢的牌号是用“碳”或“T”字后附数字表示。数字表示钢中平均含碳量的千分之几。若为高级优质碳素工具钢,则在钢号最后附以“A”字。

19. 低碳钢、中碳钢及高碳钢是如何根据含碳量划分的? 分别举例说明他们的用途?

答: 低碳钢: 含碳量小于或等于 0.25% 的钢; 08、10、钢, 塑性、韧性好, 具有优良的冷成型性能和焊接性能, 常冷轧成薄板, 用于制作仪表外壳、汽车和拖拉机上的冷冲压件, 如汽车车身, 拖拉机驾驶室等; 15、20、25 钢用于制作尺寸较小、负荷较轻、表面要求耐磨、心部强度要求不高的渗碳零件, 如活塞钢、样板等。

中碳钢: 含碳量为 0.30~0.55% 的钢; 30、35、40、45、50 钢经热处理(淬火+高温回火)后具有良好的综合机械性能, 即具有较高的强度和较高的塑性、韧性, 用于制作轴类零件;

高碳钢: 含碳量大于 0.6% 的钢; 60、65 钢热处理(淬火+高温回火)后具有高的弹性极限, 常用作弹簧。T7、T8、用于制造要求较高韧性、承受冲击负荷的工具, 如小型冲头、凿子、锤子等。T9、T10、T11、用于制造要求中韧性的工具, 如钻头、丝锥、车刀、冲模、拉丝模、锯条。T12、T13、钢具有高硬度、高耐磨性, 但韧性低, 用于制造不受冲击的工具如量规、塞规、样板、锉刀、刮刀、精车刀等。

20. 下列零件或工具用何种碳钢制造: 手锯锯条、普通螺钉、车床主轴。

答: 手锯锯条: 它要求有较高的硬度和耐磨性, 因此用碳素工具钢制造, 如 T9、T9A、T10、T10A、T11、T11A。

普通螺钉: 它要保证有一定的机械性能, 用普通碳素结构钢制造, 如 Q195、Q215、Q235。

车床主轴: 它要求有较高的综合机械性能, 用优质碳素结构钢, 如 30、35、40、45、50。

21. 指出下列各种钢的类别、符号、数字的含义、主要特点及用途:

Q235-AF、Q235-C、Q195-B、Q255-D、40、45、08、20、20R、20G、T8、T10A、T12A

答: Q235-AF: 普通碳素结构钢, 屈服强度为 235MPa 的 A 级沸腾钢。

Q235-C: 屈服强度为 235MPa 的 C 级普通碳素结构钢,

Q195-B: 屈服强度为 195MPa 的 B 级普通碳素结构钢,

Q255-D: 屈服强度为 255MPa 的 D 级普通碳素结构钢,

Q195、Q235 含碳量低，有一定强度，常轧制成薄板、钢筋、焊接钢管等，用于桥梁、建筑等钢结构，也可制造普通的铆钉、螺钉、螺母、垫圈、地脚螺栓、轴套、销轴等等，Q255 钢强度较高，塑性、韧性较好，可进行焊接。通常轧制成型钢、条钢和钢板作结构件以及制造连杆、键、销、简单机械上的齿轮、轴节等。

40: 含碳量为 0.4% 的优质碳素结构钢。

45 含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢。

40、45 钢经热处理（淬火+高温回火）后具有良好的综合机械性能，即具有较高的强度和较高的塑性、韧性，用于制作轴类零件。

08: 含碳量为 0.08% 的优质碳素结构钢。塑性、韧性好，具有优良的冷成型性能和焊接性能，常冷轧成薄板，用于制作仪表外壳、汽车和拖拉机上的冷冲压件，如汽车车身，拖拉机驾驶室等。

20: 含碳量为 0.2% 的优质碳素结构钢。用于制作尺寸较小、负荷较轻、表面要求耐磨、心部强度要求不高的渗碳零件，如活塞钢、样板等。

20R: 含碳量为 0.2% 的优质碳素结构钢，容器专用钢。

20G: 含碳量为 0.2% 的优质碳素结构钢，锅炉专用钢。

T8: 含碳量为 0.8% 的碳素工具钢。用于制造要求较高韧性、承受冲击负荷的工具，如小型冲头、凿子、锤子等。

T10A: 含碳量为 1.0% 的高级优质碳素工具钢。用于制造要求中韧性的工具，如钻头、丝锥、车刀、冲模、拉丝模、锯条。

T12A: 含碳量为 1.2% 的高级优质碳素工具钢。具有高硬度、高耐磨性，但韧性低，用于制造不受冲击的工具如量规、塞规、样板、锉刀、刮刀、精车刀。

第五章 钢 的 热 处 理

1. 何谓钢的热处理？钢的热处理操作有哪些基本类型？试说明热处理同其它工艺过程的关系及其在机械制造中的地位和作用。

答：（1）为了改变钢材内部的组织结构，以满足对零件的加工性能和使用性能的要求所施加的一

种综合的热加工工艺过程。

(2) 热处理包括普通热处理和表面热处理；普通热处理里面包括退火、正火、淬火和回火，表面热处理包括表面淬火和化学热处理，表面淬火包括火焰加热表面淬火和感应加热表面淬火，化学热处理包括渗碳、渗氮和碳氮共渗等。

(3) 热处理是机器零件加工工艺过程中的重要工序。一个毛坯件经过预备热处理，然后进行切削加工，再经过最终热处理，经过精加工，最后装配成为零件。热处理在机械制造中具有重要的地位和作用，适当的热处理可以显著提高钢的机械性能，延长机器零件的使用寿命。热处理工艺不但可以强化金属材料、充分挖掘材料潜力、降低结构重量、节省材料和能源，而且能够提高机械产品质量、大幅度延长机器零件的使用寿命，做到一个顶几个、顶十几个。此外，通过热处理还可使工件表面具有抗磨损、耐腐蚀等特殊物理化学性能。

2. 解释下列名词：

1) 奥氏体的起始晶粒度、实际晶粒度、本质晶粒度；

答：(1) 起始晶粒度：是指在临界温度以上，奥氏体形成刚刚完成，其晶粒边界刚刚接触时的晶粒大小。

(2) 实际晶粒度：是指在某一具体的热处理加热条件下所得到的晶粒尺寸。

(3) 本质晶粒度：根据标准试验方法，在 $930 \pm 10^\circ\text{C}$ 保温足够时间（3-8 小时）后测定的钢中晶粒的大小。

2) 珠光体、索氏体、屈氏体、贝氏体、马氏体；

答：珠光体：铁素体和渗碳体的机械混合物。

索氏体：在 $650 \sim 600^\circ\text{C}$ 温度范围内形成层片较细的珠光体。

屈氏体：在 $600 \sim 550^\circ\text{C}$ 温度范围内形成片层极细的珠光体。

贝氏体：过饱和的铁素体和渗碳体组成的混合物。

马氏体：碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体。

3) 奥氏体、过冷奥氏体、残余奥氏体；

答：奥氏体：碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中形成的间隙固溶体。

过冷奥氏体：处于临界点以下的不稳定的将要发生分解的奥氏体称为过冷奥氏体。

残余奥氏体：M 转变结束后剩余的奥氏体。

4) 退火、正火、淬火、回火、冷处理、时效处理（尺寸稳定处理）；

答：退火：将工件加热到临界点以上或在临界点以下某一温度保温一定时间后，以十分缓慢的冷却速度（炉冷、坑冷、灰冷）进行冷却的一种操作。

正火：将工件加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，保温后从炉中取出在空气中冷却。

淬火：将钢件加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，然后快速冷却（一般为油冷或水冷），从而得马氏体的一种操作。

回火：将淬火钢重新加热到 A_1 点以下的某一温度，保温一定时间后，冷却到室温的一种操作。

冷处理：把冷到室温的淬火钢继续放到深冷剂中冷却，以减少残余奥氏体的操作。

时效处理：为使二次淬火层的组织稳定，在 $110\sim 150^{\circ}\text{C}$ 经过 $6\sim 36$ 小时的人工时效处理，以使组织稳定。

5) 淬火临界冷却速度 (V_k)，淬透性, 淬硬性；

答：淬火临界冷却速度 (V_k)：淬火时获得全部马氏体组织的最小冷却速度。

淬透性：钢在淬火后获得淬硬层深度大小的能力。

淬硬性：钢在淬火后获得马氏体的最高硬度。

6) 再结晶、重结晶；

答：再结晶：金属材料加热到较高的温度时，原子具有较大的活动能力，使晶粒的外形开始变化。从破碎拉长的晶粒变成新的等轴晶粒。和变形前的晶粒形状相似，晶格类型相同，把这一阶段称为“再结晶”。

重结晶：由于温度变化，引起晶体重新形核、长大，发生晶体结构的改变，称为重结晶。

7) 调质处理、变质处理。

答：调质处理：淬火后的高温回火。

变质处理：在液态金属结晶前，特意加入某些难熔固态颗粒，造成大量可以成为非自发晶核的固

态质点，使结晶时的晶核数目大大增加，从而提高了形核率，细化晶粒。

3. 指出 A_1 、 A_3 、 A_{cm} ； A_{C1} 、 A_{C3} 、 A_{Ccm} ； A_{r1} 、 A_{r3} 、 A_{rcm} 各临界点的意义。

答： A_1 ：共析转变线，含碳量在 0.02~6.69% 的铁碳合金冷却到 727℃ 时都有共析转变发生，形成 P。

A_3 ：奥氏体析出铁素体的开始线。

A_{cm} ：碳在奥氏体中的溶解度曲线。

A_{C1} ：实际加热时的共析转变线。

A_{C3} ：实际加热时奥氏体析出铁素体的开始线。

A_{cm} ：实际加热时碳在奥氏体中的溶解度曲线。

A_{r1} ：实际冷却时的共析转变线。

A_{r3} ：实际冷却时奥氏体析出铁素体的开始线。

A_{rcm} ：实际冷却时碳在奥氏体中的溶解度曲线。

4. 何谓本质细晶粒钢？本质细晶粒钢的奥氏体晶粒是否一定比本质粗晶粒钢的细？

答：（1）本质细晶粒钢：加热到临界点以上直到 930℃，随温度升高，晶粒长大速度很缓慢，称本质细晶粒钢。

（2）不一定。本质晶粒度只代表钢在加热时奥氏体晶粒长大倾向的大小。本质粗晶粒钢在较低加热温度下可获得细晶粒，而本质细晶粒钢若在较高温度下加热也会得到粗晶粒。

5. 珠光体类型组织有哪几种？它们在形成条件、组织形态和性能方面有何特点？

答：（1）三种。分别是珠光体、索氏体和屈氏体。

（2）珠光体是过冷奥氏体在 550℃ 以上等温停留时发生转变，它是由铁素体和渗碳体组成的片层相间的组织。索氏体是在 650~600℃ 温度范围内形成层片较细的珠光体。屈氏体是在 600~550℃ 温度范围内形成片层极细的珠光体。珠光体片间距愈小，相界面积愈大，强化作用愈大，因而强度和硬度升高，同时，由于此时渗碳体片较薄，易随铁素体一起变形而不脆断，因此细片珠光体又具有较好的韧性和塑性。

6. 贝氏体类型组织有哪几种？它们在形成条件、组织形态和性能方面有何特点？

答：（1）两种。上贝氏体和下贝氏体。

（2）上贝氏体的形成温度在 $600\sim 350^{\circ}\text{C}$ 。在显微镜下呈羽毛状，它是由许多互相平行的过饱和铁素体片和分布在片间的断续细小的渗碳体组成的混合物。其硬度较高，可达 HRC40~45，但由于其铁素体片较粗，因此塑性和韧性较差。下贝氏体的形成温度在 $350^{\circ}\text{C}\sim\text{Ms}$ ，下贝氏体在光学显微镜下呈黑色针叶状，在电镜下观察是由针叶状的铁素体和分布在其上的极为细小的渗碳体粒子组成的。下贝氏体具有高强度、高硬度、高塑性、高韧性，即具有良好的综合机械性能。

7. 马氏体组织有哪几种基本类型？它们在形成条件、晶体结构、组织形态、性能有何特点？马氏体的硬度与含碳量关系如何？

答：（1）两种，板条马氏体和片状马氏体。

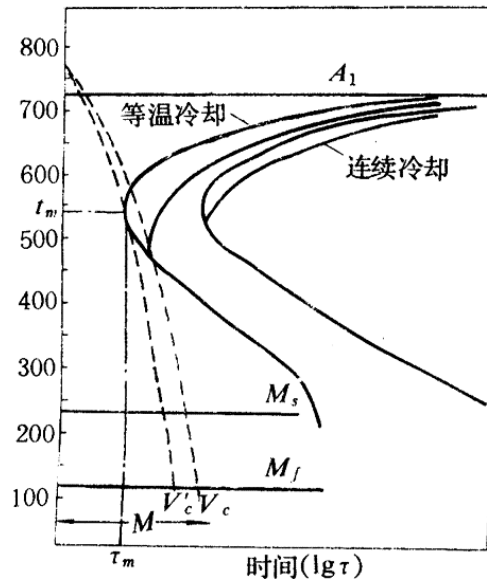
（2）奥氏体转变后，所产生的 M 的形态取决于奥氏体中的含碳量，含碳量 $<0.6\%$ 的为板条马氏体；含碳量在 $0.6\sim 1.0\%$ 之间为板条和针状混合的马氏体；含碳量大于 1.0% 的为针状马氏体。低碳马氏体的晶体结构为体心立方。随含碳量增加，逐渐从体心立方方向体心正方转变。含碳量较高的钢的晶体结构一般出现体心正方。低碳马氏体强而韧，而高碳马氏体硬而脆。这是因为低碳马氏体中含碳量较低，过饱和度较小，晶格畸变也较小，故具有良好的综合机械性能。随含碳量增加，马氏体的过饱和度增加，使塑性变形阻力增加，因而引起硬化和强化。当含碳量很高时，尽管马氏体的硬度和强度很高，但由于过饱和度太大，引起严重的晶格畸变和较大的内应力，致使高碳马氏体针叶内产生许多微裂纹，因而塑性和韧性显著降低。

（3）随着含碳量的增加，钢的硬度增加。

8. 何谓等温冷却及连续冷却？试绘出奥氏体这两种冷却方式的示意图。

答：等温冷却：把奥氏体迅速冷却到 Ar_1 以下某一温度保温，待其分解转变完成后，再冷至室温的一种冷却转变方式。

连续冷却：在一定冷却速度下，过冷奥氏体在一个温度范围内所发生的转变。



9. 为什么要对钢件进行热处理?

答: 通过热处理可以改变钢的组织结构, 从而改善钢的性能。热处理可以显著提高钢的机械性能, 延长机器零件的使用寿命。恰当的热处理工艺可以消除铸、锻、焊等热加工工艺造成的各种缺陷, 细化晶粒、消除偏析、降低内应力, 使钢的组织 and 性能更加均匀。

10. 试比较共析碳钢过冷奥氏体等温转变曲线与连续转变曲线的异同点。

答: 首先连续冷却转变曲线与等温转变曲线临界冷却速度不同。其次连续冷却转变曲线位于等温转变曲线的右下侧, 且没有 C 曲线的下部分, 即共析钢在连续冷却转变时, 得不到贝氏体组织。这是因为共析钢贝氏体转变的孕育期很长, 当过冷奥氏体连续冷却通过贝氏体转变区内尚未发生转变时就已过冷到 M_s 点而发生马氏体转变, 所以不出现贝氏体转变。

11. 淬火临界冷却速度 V_k 的大小受哪些因素影响? 它与钢的淬透性有何关系?

答: (1) 化学成分的影响: 亚共析钢中随着含碳量的增加, C 曲线右移, 过冷奥氏体稳定性增加, 则 V_k 减小, 过共析钢中随着含碳量的增加, C 曲线左移, 过冷奥氏体稳定性减小, 则 V_k 增大; 合金元素中, 除 Co 和 Al (>2.5%) 以外的所有合金元素, 都增大过冷奥氏体稳定性, 使 C 曲线右移, 则 V_k 减小。

(2) 一定尺寸的工件在某介质中淬火, 其淬透层的深度与工件截面各点的冷却速度有关。如果工件截面中心的冷速高于 V_k , 工件就会淬透。然而工件淬火时表面冷速最大, 心部冷速最小, 由表面至心部冷速逐渐降低。只有冷速大于 V_k 的工件外层部分才能得到马氏体。因此, V_k 越小, 钢的淬透层越深, 淬透性越好。

12. 将 $\phi 5\text{mm}$ 的 T8 钢加热至 760°C 并保温足够时间, 问采用什么样的冷却工艺可得到如下组织: 珠光体, 索氏体, 屈氏体, 上贝氏体, 下贝氏体, 屈氏体+马氏体, 马氏体+少量残余奥氏体; 在 C 曲线上描出工艺曲线示意图。

答: (1) 珠光体: 冷却至 550°C 范围内等温停留一段时间, 再冷却下来得到珠光体组织。

索氏体: 冷却至 $650\sim 600^\circ\text{C}$ 温度范围内等温停留一段时间, 再冷却下来得到索氏体组织。

屈氏体: 冷却至 $600\sim 550^\circ\text{C}$ 温度范围内等温停留一段时间, 再冷却下来得到屈氏体组织。

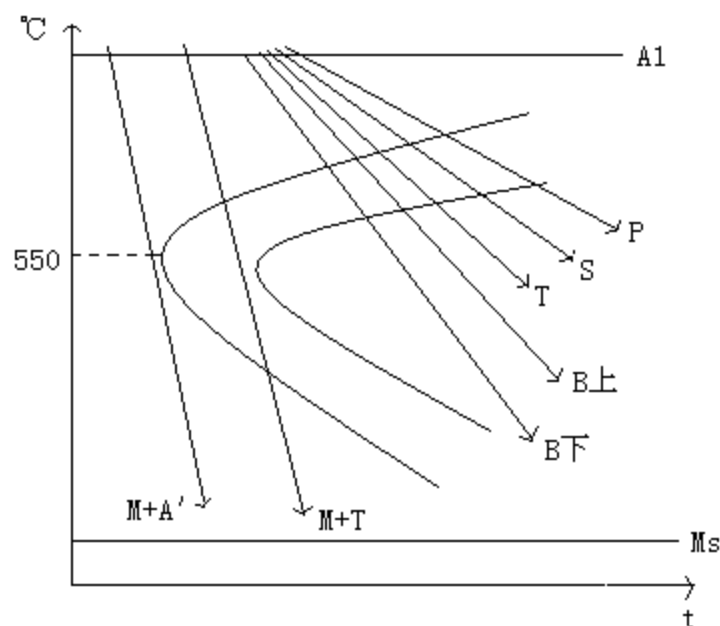
上贝氏体: 冷却至 $600\sim 350^\circ\text{C}$ 温度范围内等温停留一段时间, 再冷却下来得到上贝氏体组织。

下贝氏体: 冷却至 $350^\circ\text{C}\sim M_s$ 温度范围内等温停留一段时间, 再冷却下来得到下贝氏体组织。

屈氏体+马氏体: 以大于获得马氏体组织的最小冷却速度并小于获得珠光体组织的最大冷却速度连续冷却, 获得屈氏体+马氏体。

马氏体+少量残余奥氏体: 以大于获得马氏体组织的最小冷却速度冷却获得马氏体+少量残余奥氏体。

(2)



13. 退火的主要目的是什么? 生产上常用的退火操作有哪几种? 指出退火操作的应用范围。

答：（1）均匀钢的化学成分及组织，细化晶粒，调整硬度，并消除内应力和加工硬化，改善钢的切削加工性能并为随后的淬火作好组织准备。

（2）生产上常用的退火操作有完全退火、等温退火、球化退火、去应力退火等。

（3）完全退火和等温退火用于亚共析钢成分的碳钢和合金钢的铸件、锻件及热轧型材。有时也用于焊接结构。球化退火主要用于共析或过共析成分的碳钢及合金钢。去应力退火主要用于消除铸件、锻件、焊接件、冷冲压件（或冷拔件）及机加工的残余内应力。

14. 何谓球化退火？为什么过共析钢必须采用球化退火而不采用完全退火？

答：（1）将钢件加热到 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间后随炉缓慢冷却至 600°C 后出炉空冷。

（2）过共析钢组织若为层状渗碳体和网状二次渗碳体时，不仅硬度高，难以切削加工，而且增大钢的脆性，容易产生淬火变形及开裂。通过球化退火，使层状渗碳体和网状渗碳体变为球状渗碳体，以降低硬度，均匀组织、改善切削加工性。

15. 确定下列钢件的退火方法，并指出退火目的及退火后的组织：

1) 经冷轧后的 15 钢板，要求降低硬度；

答：再结晶退火。目的：使变形晶粒重新转变为等轴晶粒，以消除加工硬化现象，降低了硬度，消除内应力。细化晶粒，均匀组织，消除内应力，降低硬度以消除加工硬化现象。组织：等轴晶的大量铁素体和少量珠光体。

2) ZG35 的铸造齿轮

答：完全退火。经铸造后的齿轮存在晶粒粗大并不均匀现象，且存在残余内应力。因此退火目的：细化晶粒，均匀组织，消除内应力，降低硬度，改善切削加工性。组织：晶粒均匀细小的铁素体和珠光体。

3) 锻造过热后的 60 钢锻坯；

答：完全退火。由于锻造过热后组织晶粒剧烈粗化并分布不均匀，且存在残余内应力。因此退火目的：细化晶粒，均匀组织，消除内应力，降低硬度，改善切削加工性。组织：晶粒均匀细小的少量铁素体和大量珠光体。

4) 具有片状渗碳体的 T12 钢坯；

答：球化退火。由于 T12 钢坯里的渗碳体呈片状，因此不仅硬度高，难以切削加工，而且增大钢的脆性，容易产生淬火变形及开裂。通过球化退火，使层状渗碳体和网状渗碳体变为球状渗

碳体，以降低硬度，均匀组织、改善切削加工性。组织：粒状珠光体和球状渗碳体。

16. 正火与退火的主要区别是什么？生产中应如何选择正火及退火？

答：与退火的区别是①加热温度不同，对于过共析钢退火加热温度在 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 而正火加热温度在 A_{cm} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。②冷速快，组织细，强度和硬度有所提高。当钢件尺寸较小时，正火后组织：S，而退火后组织：P。

选择：（1）从切削加工性上考虑

切削加工性又包括硬度，切削脆性，表面粗糙度及对刀具的磨损等。

一般金属的硬度在 HB170~230 范围内，切削性能较好。高于它过硬，难以加工，且刀具磨损快；过低则切屑不易断，造成刀具发热和磨损，加工后的零件表面粗糙度很大。对于低、中碳结构钢以正火作为预先热处理比较合适，高碳结构钢和工具钢则以退火为宜。至于合金钢，由于合金元素的加入，使钢的硬度有所提高，故中碳以上的合金钢一般都采用退火以改善切削性。

（2）从使用性能上考虑

如工件性能要求不太高，随后不再进行淬火和回火，那么往往用正火来提高其机械性能，但若零件的形状比较复杂，正火的冷却速度有形成裂纹的危险，应采用退火。

（3）从经济上考虑

正火比退火的生产周期短，耗能少，且操作简便，故在可能的条件下，应优先考虑以正火代替退火。

17. 指出下列零件的锻造毛坯进行正火的主要目的及正火后的显微组织：

（1）20 钢齿轮 （2）45 钢小轴 （3）T12 钢锉刀

答：（1）目的：细化晶粒，均匀组织，消除内应力，提高硬度，改善切削加工性。组织：晶粒均匀细小的大量铁素体和少量索氏体。

（2）目的：细化晶粒，均匀组织，消除内应力。组织：晶粒均匀细小的铁素体和索氏体。

（3）目的：细化晶粒，均匀组织，消除网状 Fe_3C_{II} ，为球化退火做组织准备，消除内应力。组织：索氏体和球状渗碳体。

18. 一批 45 钢试样（尺寸 $\Phi 15 \times 10\text{mm}$ ），因其组织、晶粒大小不均匀，需采用退火处理。拟采用以

下几种退火工艺；

- (1) 缓慢加热至 700°C ，保温足够时间，随炉冷却至室温；
- (2) 缓慢加热至 840°C ，保温足够时间，随炉冷却至室温；
- (3) 缓慢加热至 1100°C ，保温足够时间，随炉冷却至室温；

问上述三种工艺各得到何种组织？若要得到大小均匀的细小晶粒，选何种工艺最合适？

答：(1) 因其未达到退火温度，加热时没有经过完全奥氏体化，故冷却后依然得到组织、晶粒大小不均匀的铁素体和珠光体。

(2) 因其在退火温度范围内，加热时全部转化为晶粒细小的奥氏体，故冷却后得到组织、晶粒均匀细小的铁素体和珠光体。

(3) 因其加热温度过高，加热时奥氏体晶粒剧烈长大，故冷却后得到晶粒粗大的铁素体和珠光体。

要得到大小均匀的细小晶粒，选第二种工艺最合适。

19. 淬火的目的是什么？亚共析碳钢及过共析碳钢淬火加热温度应如何选择？试从获得的组织及性能等方面加以说明。

答：淬火的目的是使奥氏体化后的工件获得尽量多的马氏体并配以不同温度回火获得各种需要的性能。

亚共析碳钢淬火加热温度 $A_{c3} + (30 \sim 50^{\circ}\text{C})$ ，淬火后的组织为均匀而细小的马氏体。因为如果亚共析碳钢加热温度在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 之间，淬火组织中除马氏体外，还保留一部分铁素体，使钢的强度、硬度降低。但温度不能超过 A_{c3} 点过高，以防奥氏体晶粒粗化，淬火后获得粗大马氏体。

过共析碳钢淬火加热温度 $A_{c1} + (30 \sim 50^{\circ}\text{C})$ ，淬火后的组织为均匀而细小的马氏体和颗粒状渗碳体及残余奥氏体的混合组织。如果加热温度超过 A_{cm} ，渗碳体溶解过多，奥氏体晶粒粗大，会使淬火组织中马氏体针变粗，渗碳体量减少，残余奥氏体量增多，从而降低钢的硬度和耐磨性。淬火温度过高，淬火后易得到含有显微裂纹的粗片状马氏体，使钢的脆性增加。

20. 常用的淬火方法有哪几种？说明它们的主要特点及其应用范围。

答：常用的淬火方法有单液淬火法、双液淬火法、等温淬火法和分级淬火法。

单液淬火法：这种方法操作简单，容易实现机械化，自动化，如碳钢在水中淬火，合金钢在油中淬火。但其缺点是不符合理想淬火冷却速度的要求，水淬容易产生变形和裂纹，油

淬容易产生硬度不足或硬度不均匀等现象。适合于小尺寸且形状简单的工件。

双液淬火法：采用先水冷再油冷的操作。充分利用了水在高温区冷速快和油在低温区冷速慢的优点，既可以保证工件得到马氏体组织，又可以降低工件在马氏体区的冷速，减少组织应力，从而防止工件变形或开裂。适合于尺寸较大、形状复杂的工件。

等温淬火法：它是将加热的工件放入温度稍高于 M_s 的硝盐浴或碱浴中，保温足够长的时间使其完成 B 转变。等温淬火后获得 B_T 组织。下贝氏体与回火马氏体相比，在碳量相近，硬度相当的情况下，前者比后者具有较高的塑性与韧性，适用于尺寸较小，形状复杂，要求变形小，具有高硬度和强韧性的工具，模具等。

分级淬火法：它是将加热的工件先放入温度稍高于 M_s 的硝盐浴或碱浴中，保温 2~5min，使零件内外的温度均匀后，立即取出在空气中冷却。这种方法可以减少工件内外的温差和减慢马氏体转变时的冷却速度，从而有效地减少内应力，防止产生变形和开裂。但由于硝盐浴或碱浴的冷却能力低，只能适用于零件尺寸较小，要求变形小，尺寸精度高的工件，如模具、刀具等。

21. 说明 45 钢试样($\Phi 10\text{mm}$)经下列温度加热、保温并在水中冷却得到的室温组织: 700°C , 760°C , 840°C , 1100°C 。

答: 700°C : 因为它没有达到相变温度, 因此没有发生相变, 组织为铁素体和珠光体。

760°C : 它的加热温度在 $Ac_1 \sim Ac_3$ 之间, 因此组织为铁素体、马氏体和少量残余奥氏体。

840°C : 它的加热温度在 Ac_3 以上, 加热时全部转变为奥氏体, 冷却后的组织为马氏体和少量残余奥氏体。

1100°C : 因它的加热温度过高, 加热时奥氏体晶粒粗化, 淬火后得到粗片状马氏体和少量残余奥氏体。

22. 有两个含碳量为 1.2% 的碳钢薄试样, 分别加热到 780°C 和 860°C 并保温相同时间, 使之达到平衡状态, 然后以大于 V_k 的冷却速度至室温。试问:

(1) 哪个温度加热淬火后马氏体晶粒较粗大?

答: 因为 860°C 加热温度高, 加热时形成的奥氏体晶粒粗大, 冷却后得到的马氏体晶粒较粗大。

(2) 哪个温度加热淬火后马氏体含碳量较多?

答：因为加热温度 860°C 已经超过了 A_{cm} ，此时碳化物全部溶于奥氏体中，奥氏体中含碳量增加，而奥氏体向马氏体转变是非扩散型转变，所以冷却后马氏体含碳量较多。

(3) 哪个温度加热淬火后残余奥氏体较多？

答：因为加热温度 860°C 已经超过了 A_{cm} ，此时碳化物全部溶于奥氏体中，使奥氏体中含碳量增加，降低钢的 M_s 和 M_f 点，淬火后残余奥氏体增多。

(4) 哪个温度加热淬火后未溶碳化物较少？

答：因为加热温度 860°C 已经超过了 A_{cm} ，此时碳化物全部溶于奥氏体中，因此加热淬火后未溶碳化物较少

(5) 你认为哪个温度加热淬火后合适？为什么？

答： 780°C 加热淬火后合适。因为含碳量为 1.2% 的碳钢属于过共析钢，过共析碳钢淬火加热温度 $A_{\text{c}1} + (30 \sim 50^{\circ}\text{C})$ ，而 780°C 在这个温度范围内，这时淬火后的组织为均匀而细小的马氏体和颗粒状渗碳体及残余奥氏体的混合组织，使钢具有高的强度、硬度和耐磨性，而且也具有较好的韧性。

23. 指出下列工件的淬火及回火温度，并说明其回火后获得的组织和大致硬度：

(1) 45 钢小轴（要求综合机械性能）；

(2) 60 钢弹簧；

(3) T12 钢锉刀。

答：(1) 45 钢小轴（要求综合机械性能），工件的淬火温度为 850°C 左右，回火温度为 $500^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 左右，其回火后获得的组织为回火索氏体，大致的硬度 $25 \sim 35\text{HRC}$ 。

(2) 60 钢弹簧，工件的淬火温度为 850°C 左右，回火温度为 $350^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 左右，其回火后获得的组织为回火屈氏体，大致的硬度 $40 \sim 48\text{HRC}$ 。

(3) T12 钢锉刀，工件的淬火温度为 780°C 左右，回火温度为 $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，其回火后获得的组织为回火马氏体，大致的硬度 60HRC 。

24. 为什么工件经淬火后往往会产生变形，有的甚至开裂？减小变形及防止开裂有哪些途径？

答：淬火中变形与开裂的主要原因是由于淬火时形成内应力。淬火内应力形成的原因不同可分热应力与组织应力两种。

工件在加热和(或)冷却时由于不同部位存在着温度差别而导致热胀和(或)冷缩不一致所引起的应力称为热应力。热应力引起工件变形特点时:使平面边为凸面,直角边钝角,长的方向变短,短的方向增长,一句话,使工件趋于球形。

钢中奥氏体比体积最小,奥氏体转变为其它各种组织时比体积都会增大,使钢的体积膨胀;工件淬火时各部位马氏体转变先后不一致,因而体积膨胀不均匀。这种由于热处理过程中各部位冷速的差异使工件各部位相转变的不同时性所引起的应力,称为相变应力(组织应力)。组织应力引起工件变形的特点却与此相反:使平面变为凹面,直角变为钝角,长的方向变长;短的方向缩短,一句话,使尖角趋向于突出。

工件的变形与开裂是热应力与组织应力综合的结果,但热应力与组织应力方向恰好相反,如果热处理适当,它们可部分相互抵消,可使残余应力减小,但是当残余应力超过钢的屈服强度时,工件就发生变形,残余应力超过钢的抗拉强度时,工件就产生开裂。为减小变形或开裂,出了正确选择钢材和合理设计工件的结构外,在工艺上可采取下列措施:

1. 采用合理的锻造与预先热处理

锻造可使网状、带状及不均匀的碳化物呈弥散均匀分布。淬火前应进行预备热处理(如球化退火与正火),不但可为淬火作好组织准备,而且还可消除工件在前面加工过程中产生的内应力。

2. 采用合理的淬火工艺;

正确确定加热温度与加热时间,可避免奥氏体晶粒粗化。对形状复杂或导热性差的高合金钢,应缓慢加热或多次预热,以减少加热中产生的热应力。工件在加热炉中安放时,要尽量保证受热均匀,防止加热时变形;选择合适的淬火冷却介质和淬火方法(如马氏体分级淬火、贝氏体等温淬火),以减少冷却中热应力和相变应力等。

3. 淬火后及时回火

淬火内应力如不及时通过回火来消除,对某些形状复杂的或碳的质量分数较高的工件,在等待回火期间就会发生变形与开裂。

4. 对于淬火易开裂的部分,如键槽,孔眼等用石棉堵塞。

25. 淬透性与淬硬层深度两者有何联系和区别?影响钢淬透性的因素有哪些?影响钢制零件淬硬层深度的因素有哪些?

答:淬透性是指钢在淬火时获得淬硬层的能力。不同的钢在同样的条件下淬硬层深不同,说明不

同的钢淬透性不同，淬硬层较深的钢淬透性较好。淬硬性：是指钢以大于临界冷却速度冷却时，获得的马氏体组织所能达到的最高硬度。钢的淬硬性主要决定于马氏体的含碳量，即取决于淬火前奥氏体的含碳量。

影响淬透性的因素：

① 化学成分

C 曲线距纵坐标愈远，淬火的临界冷却速度愈小，则钢的淬透性愈好。对于碳钢，钢中含碳量愈接近共析成分，其 C 曲线愈靠右，临界冷却速度愈小，则淬透性愈好，即亚共析钢的淬透性随含碳量增加而增大，过共析钢的淬透性随含碳量增加而减小。除 Co 和 Al (>2.5%) 以外的大多数合金元素都使 C 曲线右移，使钢的淬透性增加，因此合金钢的淬透性比碳钢好。

② 奥氏体化温度

温度愈高，晶粒愈粗，未溶第二相愈少，淬透性愈好。

26. 钢的淬硬层深度通常是怎规定的？用什么方法测定结构钢的淬透性？怎样表示钢的淬透性值。

答：为了便于比较各种钢的淬透性，常利用临界直径 D_c 来表示钢获得淬硬层深度的能力。所谓临界直径就是指圆柱形钢棒加热后在一定的淬火介质中能全部淬透的最大直径。

对同一种钢 $D_{c油} < D_{c水}$ ，因为油的冷却能力比水低。目前国内外都普遍采用“顶端淬火法”测定钢的淬透性曲线，比较不同钢的淬透性。

“顶端淬火法”——国家规定试样尺寸为 $\phi 25 \times 100\text{mm}$ ；水柱自由高度 65mm；此外应注意加热过程中防止氧化，脱碳。将钢加热奥氏体化后，迅速喷水冷却。显然，在喷水端冷却速度最大，沿试样轴向的冷却速度逐渐减小。据此，末端组织应为马氏体，硬度最高，随距水冷端距离的加大，组织和硬度也相应变化，将硬度随水冷端距离的变化绘成曲线称为淬透性曲线。

不同钢种有不同的淬透性曲线，工业上用钢的淬透性曲线几乎都已测定，并已汇集成册可查阅参考。由淬透性曲线就可比较出不同钢的淬透性大小。

此外对于同一种钢，因冶炼炉冷不同，其化学成分会在一个限定的范围内波动，对淬透性有一定的影响，因此钢的淬透性曲线并不是一条线，而是一条带，即表现出“淬透性带”。钢的成分波动愈小，淬透性带愈窄，其性能愈稳定，因此淬透性带愈窄愈好。

27. 回火的目的是什么？常用的回火操作有哪几种？指出各种回火操作得到的组织、性能及其应用范围。

答：回火的目的是降低淬火钢的脆性，减少或消除内应力，使组织趋于稳定并获得所需要的性能。

常用的回火操作有低温回火、中温回火、高温回火。

低温回火得到的组织是回火马氏体。内应力和脆性降低，保持了高硬度和高耐磨性。这种回火主要应用于高碳钢或高碳合金钢制造的工、模具、滚动轴承及渗碳和表面淬火的零件，回火后的硬度一般为 HRC 58-64。

中温回火后的组织为回火屈氏体，硬度 HRC35-45，具有一定的韧性和高的弹性极限及屈服极限。这种回火主要应用于含碳 0.5-0.7% 的碳钢和合金钢制造的各种弹簧。

高温回火后的组织为回火索氏体，其硬度 HRC 25-35，具有适当的强度和足够的塑性和韧性。这种回火主要应用于含碳 0.3-0.5% 的碳钢和合金钢制造的各种连接和传动的结构零件，如轴、连杆、螺栓等。

28. 指出下列组织的主要区别：

- (1) 索氏体与回火索氏体；
- (2) 屈氏体与回火屈氏体；
- (3) 马氏体与回火马氏体。

答：由奥氏体冷却转变而成的屈氏体(淬火屈氏体)和索氏体(淬火索氏体)组织, 与由马氏体分解所得到的回火屈氏体和回火索氏体组织有很大的区别, 主要是碳化物的形态不同。由奥氏体直接分解的屈氏体及索氏体中的碳化物是片状的, 而由马氏体分解的回火屈氏体与回火索氏体中碳化物是颗粒状的。回火索氏体和回火屈氏体相对于索氏体与屈氏体其塑性和韧性较好。马氏体(M)是由 A 直接转变成碳在 α -Fe 中过饱和固溶体。回火马氏体是过饱和的 α 固溶体(铁素体)和与其晶格相联系的 ϵ 碳化物所组成, 其淬火内应力和脆性得到降低。

29. 表面淬火的目的是什么？常用的表面淬火方法有哪几种？比较它们的优缺点及应用范围。并说明表面淬火前应采用何种预先热处理。

答：表面淬火的目的是使工件表层得到强化，使它具有较高的强度，硬度，耐磨性及疲劳极限，而心部为了能承受冲击载荷的作用，仍应保持足够的塑性与韧性。常用的表面淬火方法有：
1. 感应加热表面淬火；2. 火焰加热表面淬火。

感应加热表面淬火是把工件放入有空心铜管绕成的感应器(线圈)内，当线圈通入交变电流后，立即产生交变磁场，在工件内形成“涡流”，表层迅速被加热到淬火温度时心部仍接近室温，

在立即喷水冷却后, 就达到表面淬火的目的。

火焰加热表面淬火是以高温火焰为热源的一种表面淬火法。将工件快速加热到淬火温度, 在随后喷水冷却后, 获得所需的表层硬度和淬硬层硬度。

感应加热表面淬火与火焰加热淬火相比较有如下特点:

- 1) 感应加热速度极快, 只要几秒到几十秒的时间就可以把工件加热至淬火温度, 而且淬火加热温度高 (AC_3 以上 $80\sim 150^\circ\text{C}$)。
- 2) 因加热时间短, 奥氏体晶粒细小而均匀, 淬火后可在表面层获得极细马氏体, 使工件表面层较一般淬火硬度高 $2\sim 3\text{HRC}$, 且脆性较低。
- 3) 感应加热表面淬火后, 淬硬层中存在很大残余压应力, 有效地提高了工件的疲劳强度, 且变形小, 不易氧化与脱碳。
- 4) 生产率高, 便于机械化、自动化, 适宜于大批量生产。

但感应加热设备比火焰加热淬火费用较贵, 维修调整比较困难, 形状复杂的线圈不易制造
表面淬火前应采用退火或正火预先热处理。

30. 化学热处理包括哪几个基本过程? 常用的化学热处理方法有哪几种?

答: 化学热处理是把钢制工件放置于某种介质中, 通过加热和保温, 使化学介质中某些元素渗入到工件表层, 从而改变表层的化学成分, 使心部与表层具有不同的组织与机械性能。

化学热处理的过程:

- 1 分解: 化学介质要首先分解出具有活性的原子;
- 2 吸收: 工件表面吸收活性原子而形成固溶体或化合物;
- 3 扩散: 被工件吸收的活性原子, 从表面向内扩散形成一定厚度的扩散层。

常用的化学热处理方法有: 渗碳、氮化、碳氮共渗、氮碳共渗。

31. 试述一般渗碳件的工艺路线, 并说明其技术条件的标注方法。

答: 一般渗碳件的工艺路线为:

下料→锻造→正火→切削加工→渡铜(不渗碳部位)→渗碳→淬火→低温回火→喷丸→精磨→成品

32. 氮化的主要目的是什么？说明氮化的主要特点及应用范围。

答：在一定温度（一般在 A_{c1} 以下）使活性氮原子渗入工件表面的化学热处理工艺称为渗氮。其目的是提高工件表面硬度、耐磨性、耐蚀性及疲劳强度。氮化的主要特点为：1) 工件经渗氮后表面形成一层极硬的合金氮化物（如 CrN 、 MoN 、 AlN 等），渗氮层的硬度一般可达 $950\sim 1200HV$ （相当于 $68\sim 72HRC$ ），且渗氮层具有高的红硬性（即在 $600\sim 650^\circ C$ 仍有较高硬度）。2) 工件经渗氮后渗氮层体积增大，造成表面压应力，使疲劳强度显著提高。3) 渗氮层的致密性和化学稳定性均很高，因此渗氮工件具有高的耐蚀性。4) 渗温度低，渗氮后又不再进行热处理，所以工件变形小，一般只需精磨或研磨、抛光即可。

渗氮主要用于要求耐磨性和精密度很高的各种高速传动的精密齿轮、高精度机床主轴（如锤轴、磨床主轴）、分配式液压泵转子，交变载荷作用下要求疲劳强度高的零件（高速柴油机曲轴），以及要求变形小和具有一定耐热、抗蚀能力的耐磨零件（阀门）等。

33. 试说明表面淬火、渗碳、氮化热处理工艺在用钢、性能、应用范围等方面的差别。

答：表面淬火一般适用于中碳钢（ $0.4\sim 0.5\%C$ ）和中碳低合金钢（ $40Cr$ 、 $40MnB$ 等），也可用于高碳工具钢，低合金工具钢（如 $T8$ 、 $9Mn_2V$ 、 GCr_{15} 等）。以及球墨铸铁等。它是利用快速加热使钢件表面奥氏体化，而中心尚处于较低温度即迅速予以冷却，表层被淬硬为马氏体，而中心仍保持原来的退火、正火或调质状态的组织。应用范围：（1）高频感应加热表面淬火应用于中小模数齿轮、小型轴的表面淬火。（2）中频感应加热表面淬火主要用于承受较大载荷和磨损的零件，例如大模数齿轮、尺寸较大的曲轴和凸轮轴等。（3）工频感应加热表面淬火工频感应加热主要用于大直径钢材穿透加热和要求淬硬深度深的大直径零件，例如火车车轮、轧辊等的表面淬火。

渗碳钢都是含 $0.15\sim 0.25\%$ 的低碳钢和低碳合金钢，如 20 、 $20Cr$ 、 $20CrMnTi$ 、 $20SiMnVB$ 等。渗碳层深度一般都在 $0.5\sim 2.5mm$ 。

钢渗碳后表面层的碳量可达到 $0.8\sim 1.1\%C$ 范围。渗碳件渗碳后缓冷到室温的组织接近于铁碳相图所反映的平衡组织，从表层到心部依次是过共析组织，共析组织，亚共析过渡层，心部原始组织。

渗碳主要用于表面受严重磨损，并在较大的冲载荷下工作的零件（受较大接触应力）如齿轮、轴类、套角等。

氮化用钢通常是含 Al 、 Cr 、 Mo 等合金元素的钢，如 $38CrMoAlA$ 是一种比较典型的氮化钢，此外还有 $35CrMo$ 、 $18CrNiW$ 等也经常作为氮化钢。与渗碳相比，氮化工件具有以下特点：

- 1) 氮化前需经调质处理, 以便使心部组织具有较高的强度和韧性。
- 2) 表面硬度可达 HRC65~72, 具有较高的耐磨性。
- 3) 氮化表面形成致密氮化物组成的连续薄膜, 具有一定的耐腐蚀性。
- 4) 氮化处理温度低, 渗氮后不需再进行其它热处理。

氮化处理适用于耐磨性和精度都要求较高的零件或要求抗热、抗蚀的耐磨件。如: 发动机的汽缸、排气阀、高精度传动齿轮等。

34. 拟用 T10 制造形状简单的车刀, 工艺路线为:

锻造—热处理—机加工—热处理—磨加工

- (1) 试写出各热处理工序的名称并指出各热处理工序的作用;
- (2) 指出最终热处理后的显微组织及大致硬度;
- (3) 制定最终热处理工艺规定(温度、冷却介质)

答: (1) 工艺路线为: 锻造—退火—机加工—淬火后低温回火—磨加工。退火处理可细化组织, 调整硬度, 改善切削加工性; 淬火及低温回火可获得高硬度和耐磨性以及去除内应力。

(2) 最终热处理后的显微组织为回火马氏体, 大致的硬度 60HRC。

(3) T10 车刀的淬火温度为 780℃ 左右, 冷却介质为水; 回火温度为 150℃~250℃。

35. 选择下列零件的热处理方法, 并编写简明的工艺路线(各零件均选用锻造毛坯, 并且钢材具有足够的淬透性):

- (1) 某机床变速箱齿轮(模数 $m=4$), 要求齿面耐磨, 心部强度和韧性要求不高, 材料选用 45 钢;
- (2) 某机床主轴, 要求有良好的综合机械性能, 轴径部分要求耐磨(HRC 50~55), 材料选用 45 钢;
- (3) 镗床镗杆, 在重载荷下工作, 精度要求极高, 并在滑动轴承中运转, 要求镗杆表面有极高的硬度, 心部有较高的综合机械性能, 材料选用 38CrMoAlA。

答: (1) 下料→锻造→正火→粗加工→精加工→局部表面淬火+低温回火→精磨→成品

(2) 下料→锻造→正火→粗加工→调质→精加工→局部表面淬火+低温回火→精磨→成品

(3) 下料→锻造→退火→粗加工→调质→精加工→氮化→研磨→成品

36. 某型号柴油机的凸轮轴, 要求凸轮表面有高的硬度($HRC > 50$), 而心部具有良好的韧性($A_k > 40J$), 原采用 45 钢调质处理再在凸轮表面进行高频淬火, 最后低温回火, 现因工厂库存的 45 钢已用完, 只剩 15 钢, 拟用 15 钢代替。试说明:

(1) 原 45 钢各热处理工序的作用;

(2) 改用 15 钢后, 应按原热处理工序进行能否满足性能要求? 为什么?

(3) 改用 15 钢后, 为达到所要求的性能, 在心部强度足够的前提下采用何种热处理工艺?

答: (1) 正火处理可细化组织, 调整硬度, 改善切削加工性; 调质处理可获得高的综合机械性能和疲劳强度; 局部表面淬火及低温回火可获得局部高硬度和耐磨性。

(2) 不能。改用 15 钢后按原热处理工序会造成心部较软, 表面硬, 会造成表面脱落。

(3) 渗碳。

37. 有甲、乙两种钢, 同时加热至 $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温两小时, 经金相显微组织检查, 甲钢奥氏体晶粒度为 3 级, 乙钢为 6 级。由此能否得出结论: 甲钢是本质粗晶粒钢, 而乙钢是本质细晶粒钢?

答: 不能。本质晶粒度是在 $930 \pm 19^{\circ}\text{C}$, 保温 3~8 小时后测定的奥氏体晶粒大小。本质细晶粒钢在加热到临界点 A_{c1} 以上直到 930°C 晶粒并未显著长大。超过此温度后, 由于阻止晶粒长大的难溶质点消失, 晶粒随即迅速长大。 1150°C 超过 930°C , 有可能晶粒随即迅速长大, 所以不能的出结论甲钢是本质粗晶粒钢, 而乙钢是本质细晶粒钢。

38. 为什么用铝脱氧的钢及加入少量 Ti, Zr, V, Nb, W 等合金元素的钢都是本质细晶粒钢? 奥氏体晶粒大小对转变产物的机械性能有何影响?

答: 铝脱氧及加入少量 Ti, Zr, V, Nb, W 等合金元素会形成高温难溶的合金化合物, 在 $930 \pm 19^{\circ}\text{C}$ 左右抑制了晶粒的长大。所以加入以上合金元素的钢都是本质细晶粒钢。

39. 钢获得马氏体组织的条件是什么? 与钢的珠光体相变及贝氏体相变比较, 马氏体相变有何特点?

答: 钢获得马氏体组织的条件是: 钢从奥氏体状态快速冷却, 来不及发生扩散分解而发生无扩散型的相变。

马氏体相变的特点为:

- (1) 无扩散性。钢在马氏体转变前后, 组织中固溶的碳浓度没有变化, 马氏体和奥氏体中固溶的碳量一致, 仅发生晶格改变, 因而马氏体的转变速度极快。
- (2) 有共格位向关系。马氏体形成时, 马氏体和奥氏体相界面上的原子是共有的, 既属于马氏体, 又属于奥氏体, 称这种关系为共格关系。
- (3) 在通常情况下, 过冷奥氏体向马氏体转变开始后, 必须在不断降温条件下转变才能继续进行, 冷却过程中断, 转变立即停止。

40. 说明共析钢 C 曲线各个区, 各条线的物理意义, 并指出影响 C 曲线形状和位置的主要因素。

答: 过冷奥氏体等温转变曲线说明:

- 1) 由过冷奥氏体开始转变点连接起来的曲线称为转变开始线; 由转变终了点连接起来的曲线称为转变终了线。 A_1 线以右转变开始线以左的区域是过冷奥氏体区; A_1 线以下, 转变终了线以右和 M_s 点以上的区域为转变产物区; 在转变开始线与转变终了线之间的区域为过冷奥氏体和转变产物共存区。
- 2) 过冷奥氏体在各个温度等温转变时, 都要经过一段孕育期(它以转变开始线与纵坐标之间的水平距离来表示)。对共析碳钢来说, 转变开始线在 550°C 出现拐弯, 该处被称为 C 曲线的鼻尖, 它所对应的温度称为鼻温。
- 3) 共析碳钢的过冷奥氏体在三个不同温度区间, 可发生三种不同的转变: 在 C 曲线鼻尖以上部分, 即 $A_1 \sim 550^{\circ}\text{C}$ 之间过冷奥氏体发生珠光体转变, 转变产物是珠光体, 故又称珠光体转变; 在 C 曲线鼻尖以下部分, 即 $550^{\circ}\text{C} \sim M_s$ 之间, 过冷奥氏体发生贝氏体转变, 转变产物是贝氏体, 故又称贝氏体转变; 在 M_s 点: 以下, 过冷奥氏体发生马氏体转变, 转变产物是马氏体, 故又称马氏体转变。

亚共析和过共析钢的等温转变 C 曲线, 与共析钢的不同是, 亚共析钢的 C 曲线上多一条代表析出铁素体的线。过共析钢的 C 曲线上多一条代表二次渗碳体的析出线。

影响 C 曲线形状和位置的主要因素有:

凡是提高奥氏体稳定性的因素, 都使孕育期延长, 转变减慢, 因而使 C 曲线右移。—反之, 使 C 曲线左移。碳钢 c 曲线的位置与钢的含碳量有关, 在亚共析钢中, 随着含碳量的增加, 钢的 C 曲线位置右移。在过共析钢中, 随着含碳量的增加, c 曲线又向左移。除此之外, 钢的奥氏体化温度愈高, 保温时间愈长, 奥氏体晶粒愈粗大, 则 C 曲线的位置愈右移。

41. 将 20 钢及 60 钢同时加热至 860°C , 并保温相同时间, 问哪种钢奥氏体晶粒粗大些?

答：60 钢奥氏体晶粒粗大些。

第六章 合 金 钢

1. 为什么比较重要的大截面的结构零件如重型运输机械和矿山机器的轴类，大型发电机转子等都必须用合金钢制造？与碳钢比较，合金钢有何优缺点？

答：碳钢制成的零件尺寸不能太大，否则淬不透，出现内外性能不均，对于一些大型的机械零件，（要求内外性能均匀），就不能采用碳钢制作，比较重要的大截面的结构零件如重型运输机械和矿山机器的轴类，大型发电机转子等都必须用合金钢制造。

(1) 如上所述合金钢的淬透性高

(2) 合金钢回火抗力高

碳钢淬火后，只有经低温回火才能保持高硬度，若其回火温度超过 200°C ，其硬度就显著下降。即回火抗力差，不能在较高的温度下保持高硬度，因此对于要求耐磨，切削速度较高，刃部受热超过 200°C 的刀具就不能采用碳钢制作而采用合金钢来制作。

(3) 合金钢能满足一些特殊性能的要求

如耐热性、耐腐蚀性、耐低温性（低温下高韧性）。

2. 合金元素 Mn、Cr、W、Mo、V、Ti、Zr、Ni 对钢的 C 曲线和 M_s 点有何影响？将引起钢在热处理、组织和性能方面的什么变化？

答：除 Co 以外，大多数合金元素都增加奥氏体的稳定性，使 C 曲线右移。非碳化物形成元素 Al、Ni、Si、Cu 等不改变 C 曲线的形状，只使其右移，碳化物形成元素 Mn、Cr、Mo、W 等除使 C 曲线右移外，还将 C 曲线分裂为珠光体转变的贝氏体转变两个 C 曲线，并在此二曲线之间出现一个过冷奥氏体的稳定区。除 Co、Al 外，其他合金元素均使 M_s 点降低，残余奥氏体量增多。

由于合金元素的加入降低了共析点的碳含量、使 C 曲线右移，从而使退火状态组织中的珠光体的比例增大，使珠光体层片距离减小，这也使钢的强度增加，塑性下降。由于过冷奥氏体稳定性增大，合金钢在正火状态下可得到层片距离更小的珠光体，或贝氏体甚至马氏体组织，从而强度大为增加。Mn、Cr、Cu 的强化作用较大，而 Si、Al、V、Mo 等在一般含量（例如一般结构钢的实际含量）下影响很小。合金元素都提高钢的淬透性，促进马氏体的形成，使强度大为增加但焊接性能变坏。

3. 合金元素对回火转变有何影响？

答：合金元素对回火转变及性能的影响如下：

1. 产生二次硬化

由于合金元素的扩散慢并阻碍碳的扩散，还阻碍碳化物的聚集和长大，因而合金钢中的碳化物在较高的回火温度时，仍能保持均匀弥散分布的细小碳化物的颗粒。强碳化物形成元素如 Cr、W、Mo、V 等，在含量较高及在一定回火温度下，还将沉淀析出各自的特殊碳化物。如 Mo_2C 、 W_2C 、VC 等，析出的碳化物高度弥散分布在马氏体基体上，并与马氏体保持共格关系，阻碍位错运动，使钢的硬度反而有所提高，这就形成了二次硬化。钢的硬度不仅不降低，反而再次提高。

在合金钢中，当含有 W、Mo、Ti、V、Si 等，它们一般都推迟 α 相的回复与再结晶和碳化物的聚集，从而可抑制钢的硬度、强度的降低。

2. 提高淬火钢的回火稳定性（耐回火性）

由于合金元素阻碍马氏体分解和碳化物聚集长大过程，使回火的硬度降低过程变缓，从而提高钢的回火稳定性。由于合金钢的回火稳定性比碳钢高，若要得到相同的回火硬度时，则合金钢的回火温度就比同样含碳量的碳钢要高，回火时间也长。而当回火温度相同时，合金钢的强度、硬度都比碳钢高。

3. 回火时产生第二类回火脆性

在合金钢中，除了有低温回火脆性外，在含有 Cr、Ni、Mn 等元素的钢中，在 $550\sim 650^\circ\text{C}$ 回火后，又出现了冲击值的降低（如图 8），称为高温回火脆性或第二类回火脆性。此高温回火脆性为可逆回火脆性，或第二类回火脆性。产生这类回火脆性的原因，一般认为是由于锡、磷、锑、砷等有害元素沿奥氏体晶界偏聚，减弱了晶界上原子间的结合力所致。

4. 解释下列现象：

（1）在相同含碳量情况下，除了含 Ni 和 Mn 的合金钢外，大多数合金钢的热处理加热温度都比碳钢高；

答：在相同含碳量情况下，除了含 Ni 和 Mn 的合金钢外，大多数合金钢的热处理加热温度都比碳钢高，其主要原因是合金元素的加入而改变了碳在钢中的扩散速度所致。非碳化物形成元素如 Ni、Co，可降低碳在奥氏体中的扩散激活能，增加奥氏体形成速度。相反，强碳化物形成元素如 V、Ti、W、Mo 等，与碳有较大的亲合力，增加碳在奥氏体中的扩散激活能，强烈地减缓碳在钢中的扩散，大大减慢了奥氏体化的过程。

奥氏体形成后, 尚未固溶的各种类型的碳化物, 其稳定性各不相同。稳定性高的碳化物, 要使之完全分解和固溶于奥氏体中, 需要进一步提高加热温度, 这类合金元素将使奥氏体化的时间增长。

合金钢中奥氏体化过程还包括均匀化的过程。它不但需要碳的扩散, 而且合金元素也必需要扩散。但合金元素的扩散速度很慢, 即使在 1000°C 的高温下, 也仅是碳扩散速度的万分之几或千分之几。因此, 合金钢的奥氏体成分均匀化比碳钢更缓慢。以保证合金元素溶入奥氏体并使之均匀化, 从而充分发挥合金元素的作用。

(2) 在相同含碳量情况下, 含碳化物形成元素的合金钢比碳钢具有较高的回火稳定性;

答: 当温度超过 150°C 以后, 强碳化物形成元素可阻碍碳的扩散, 因而提高了马氏体分解温度。与碳钢相比, 合金钢中的残余奥氏体要在更高的回火温度才能转变。在高合金钢中残余奥氏体十分稳定, 甚至加热到 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 并保温一段时间仍不分解。合金元素的扩散慢并阻碍碳的扩散, 阻碍了碳化物的聚集和长大, 使回火的硬度降低过程变缓, 从而提高钢的回火稳定性。由于合金钢的回火稳定性比碳钢高, 若要得到相同的回火硬度时, 则合金钢的回火温度就比同样含碳量的碳钢要高, 回火时间也长。而当回火温度相同时, 合金钢的强度、硬度都比碳钢高。

(3) 含碳量 $\geq 0.40\%$ 、含铬 12% 的铬钢属于过共析钢, 而含碳 1.5%、含铬 12% 的钢属于莱氏体钢;

答: 由于合金元素加入后显著改变了 S 点的位置, 使它向碳含量减少的方向移动。所以含碳量 $\geq 0.40\%$ 、含铬 12% 的铬钢属于过共析钢, 而含碳 1.5%、含铬 12% 的钢属于莱氏体钢

(4) 高速钢在热锻或热轧后, 经空冷获得马氏体组织。

答: 由于钢中含有大量的合金元素, 高速钢的过冷奥氏体非常稳定, 因而钢的淬透性很高。对于中、小型刀具在热锻或热轧后, 经空冷可获得马氏体组织。

5. 何谓调质钢? 为什么调质钢的含碳量均为中碳? 合金调质钢中常含哪些合金元素? 它们在调质钢中起什么作用?

答: 通常把经调质处理后才使用的钢称为调质钢。从碳含量上看, 低碳钢在淬火及低温回火状态虽具有良好的综合机械性能, 但它的疲劳极限低于中碳钢, 淬透性也不如中碳钢。高碳钢虽然强度高, 但它的韧性及塑性很低。因此, 调质钢的含碳量均为中碳。

合金调质钢中常含合金元素有铬、锰、镍、硅、钼、钨、钒、铝、钛等。合金调质钢的主加元素有铬、锰、镍、硅等, 以增加淬透性。它们在钢中除增加淬透性外, 还能强化铁素体, 起固溶强化作

用。辅加元素有钼、钨、钒、铝、钛等。钼、钨的主要作用是防止或减轻第二类回火脆性, 并增加回火稳定性; 钒、钛的作用是细化晶粒; 加铝能加速渗氮过程。

6. W18Cr4V 钢的 A_{c1} 约为 820°C , 若以一般工具钢 $A_{c1}+30-50^{\circ}\text{C}$ 常规方法来确定淬火加热温度, 在最终热处理后能否达到高速切削刀具所要求的性能? 为什么? W18Cr4V 钢刀具在正常淬火后都要进行 560°C 三次回火, 又是为什么?

答: 若以一般工具钢 $A_{c1}+30-50^{\circ}\text{C}$ 常规方法来确定 W18Cr4V 钢淬火加热温度, 在最终热处理后不能达到高速切削刀具所要求的性能。因为若按常规方法来确定淬火加热温度, 则合金碳化物不易溶解, 不能满足在高速切削时刀具应保持红硬性、高耐磨性的要求。为使奥氏体得到足够的合金化, 必须加热到远远大于 A_{c1} 的温度, 既 1280°C 左右。W18Cr4V 钢刀具在正常淬火后都要进行 560°C 三次回火, 这是为消除残余奥氏体。

第七章 铸 铁

1. 白口铸铁、灰口铸铁和钢, 这三者的成分、组织和性能有何主要区别?

答: 碳钢是指含碳量 $0.02\% \sim 2.14\%$ 的铁碳合金, 铸铁是指大于 2.14% 的铁碳合金。与钢相比, 铸铁中含碳及含硅量较高。比碳钢含有较多硫、磷等杂质元素。

钢的组织为铁素体+珠光体、珠光体、珠光体+二次渗碳体; 钢的组织为珠光体+二次渗碳体+莱氏体、莱氏体、一次渗碳体+莱氏体。

钢中低碳钢塑性韧性较好、强度和硬度较低, 良好的焊接性能和冷成型性能; 中碳钢有优良的综合机械性能; 高碳钢塑性韧性较低, 但强度和硬度较高、耐磨性较好。以上钢均可进行锻造和轧制, 并可经过热处理改变其组织, 进而极大的提高其性能。

白口铸铁组织中存在着共晶莱氏体, 性能硬而脆, 很难切削加工, 但其耐磨性好, 铸造性能优良。

灰铸铁组织中碳全部或大部分以片状石墨形式存在, 断口呈暗灰色。其铸造性能、切削加工性、减摩性、消震性能良好, 缺口敏感性较低。

2. 化学成分和冷却速度对铸铁石墨化和基体组织有何影响?

答: (1) 化学成分

1) 碳和硅。碳和硅是强烈促进石墨化元素, 铸铁中碳和硅的含量越高, 就越容易充分进行石墨化。由于共晶成分的铸铁具有最佳的铸造性能。因此, 将灰铸铁的碳当量均配制到 4% 左右。

2) 锰。锰是阻止石墨化的元素, 但锰与硫化合生成硫化锰, 减弱了硫的有害作用, 结果又间接促进石墨化的作用。故铸铁中有适量的锰是必要的。

3) 硫。硫是强烈阻碍石墨化的元素, 它不仅强烈地促使白口化, 而且还会降低铸铁的流动性和力学性能, 所以硫是有害元素, 必须严格控制其含量。

(2) 冷却速度

生产实践证明, 在同一成分的铸铁件中, 其表面和薄壁部分易出现白口组织, 而内部和厚壁处则容易进行石墨化。由此可见, 冷却速度对石墨化的影响很大。冷却速度越慢, 原子扩散时间充分, 也就越有利于石墨化的进行。冷却速度主要决定于浇注温度、铸件壁厚和铸型材料。

4) 磷。磷是弱促进石墨化的元素, 同时能提高铁液的流动性, 但磷的含量过高会增加铸铁的脆性, 使铸铁在冷却过程中易开裂, 所以也应严格控制其含量。

3. 试述石墨形态对铸铁性能的影响。

答: 灰铸铁中石墨呈片状, 片状石墨的强度、塑性、韧性几乎为零, 存在石墨地方就相当于存在孔洞、微裂纹, 它不仅破坏了基体的连续性, 减少了基体受力有效面积, 而且在石墨片尖端处形成应力集中, 使材料形成脆性断裂。石墨片的数量越多, 尺寸越粗大, 分布越不均匀, 铸铁的抗拉强度和塑性就越低。由于灰铸铁的抗压强度、硬度与耐磨性主要取决于基体, 石墨存在对其影响不大。故灰铸铁的抗压强度一般是抗拉强度的 3~4 倍。

球墨铸铁中石墨呈球状, 所以对金属基体的割裂作用较小, 使得基体比较连续, 在拉伸时引起应力集中的现象明显下降, 从而使基体强度利用率从灰铸铁的 30%~50% 提高到 70%~90%, 这就使球墨铸铁的抗拉强度、塑性和韧性、疲劳强度不仅高于其它铸铁, 而且可以与相应组织的铸钢相比。

可锻铸铁中石墨呈团絮状。与灰铸铁相比对金属基体的割裂作用较小, 可锻铸铁具有较高的力学性能, 尤其是塑性与韧性有明显的提高。

第八章 有色金属及其合金

1. 不同铝合金可通过哪些途径达到强化目的?

答: 铸造铝硅合金可通过变质处理达到强化的目的。能热处理强化的变形铝合金可利用时效强化(固溶处理后时效处理)达到强化目的。

2. 何谓硅铝明？它属于哪一类铝合金？为什么硅铝明具有良好的铸造性能？在变质处理前后其组织及性能有何变化？这类铝合金主要用在何处？

答：铝硅铸造合金又称为硅铝明，由于含硅量为 17%附近的硅铝明为共晶成分合金，具有优良的铸造性能。在铸造缓冷后，其组织主要是共晶体 ($\alpha + \text{Si}$)，其中硅晶体是硬化相，并呈粗大针状，会严重降低合金的力学性能，为了改善铝硅合金性能，可在浇注前往液体合金中加入含钠的变质剂，钠能促进硅形核，并阻碍其晶体长大，使硅晶体成为极细粒状均匀分布在铝基体上。钠还能使相图中共晶点向右下方移动，使变质后形成亚共晶组织。变质后铝合金的力学性能显著提高。

铸造铝硅合金一般用来制造质轻、耐蚀、形状复杂及有一定力学性能的铸件，如发动机缸体、手提电动或风动工具（手电钻）以及仪表外壳。同时加入镁、铜的铝硅系合金（如 ZL108），在变质处理后还可进行固溶处理+时效，使其具有较好耐热性和耐磨性，是制造内燃机活塞的材料。



附录三 考试大纲

专业学位招生目录

学科专业名称及代码、 研究方向	招生 人数	考试科目	备注
110 材料科学与工程学院 085204 材料工程		①101 思想政治理论 ②204 英语二 ③302 数学二 ④817 工程材料	

