

图书在版编目(CIP)数据

机械工程基础 / 张德生主编. —上海: 华东师范大学出版社, 2014. 2
十二五创新机电一体化系列教材
ISBN 978—7—5675—1729—5

I. ①机… II. ①张… III. ①机械工程—高等职业教育—教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 024141 号

机械工程基础

总 主 编 吕景泉
主 编 张德生
项目编辑 吴 余
装帧设计 创图文化

出版发行 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062
网 址 www.ecnupress.com.cn
电 话 021—60821616 行政传真 021—62572105
客服电话 021—62865537 门市(邮购)电话 021—62869887
地 址 上海市中山北路 3663 号华东师范大学校内先锋路口
网 店 <http://hdsdcbs.tmall.com>

印 刷 者 成都市海翔印务有限公司
开 本 787×1092 16 开
印 张 24
字 数 580 千字
版 次 2014 年 8 月第 1 版
印 次 2014 年 8 月第 1 次
书 号 ISBN 978—7—5675—1729—5/TB·068
定 价 56.00 元

出 版 人 王 焰

(如发现本版图书有印订质量问题,请寄回本社客服中心调换或电话 021—62865537 联系)

目 录



项目一 材料选择	1
任务一 工程材料基础认知	2
任务二 材料热处理和表面改性	19
任务三 钢铁材料的标识与选用	36
任务四 非铁金属和非金属的标识与选用	64
任务五 零件材料选用综合训练	91
知识技能训练	108
项目二 毛坯选择	110
任务一 铸造成形和毛坯选择	111
任务二 锻压成形和毛坯选择	124
任务三 焊接成形和毛坯选择	137
任务四 非金属的成形与快速成形	152
知识技能训练	167
项目三 零件精度解读与误差检测	169
任务一 尺寸精度解读与误差检测	170
任务二 配合精度解读与误差检测	193
任务三 几何精度解读与误差检测	218
任务四 表面粗糙度解读与检测	259
知识技能训练	274
项目四 简单零件制造	276
任务一 认识金属切削过程	277
任务二 金属切削机床认知	295



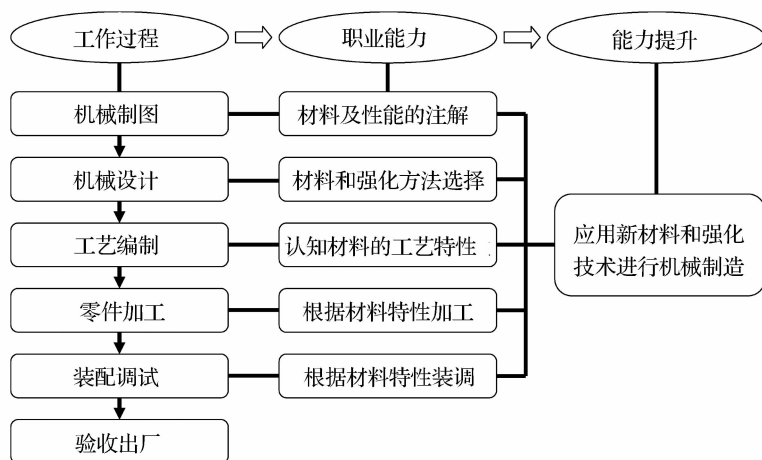
机械工程基础

任务三 常用加工方法选择	307
任务四 认知精密加工与特种加工	315
任务五 典型表面加工方法选择	330
任务六 钳工与装配	349
知识技能训练	368
知识技能训练参考答案	370
参考文献	373

项目一 材料选择

项目目标

本项目是基于机械产品生产过程对零件材料的选择能力要求而开发的,工作过程与本项目所涉及典型岗位的职业能力的关系如下图所示。



由上图可见,在机器制造过程中,机械制图、机械设计、工艺编制、零件加工、装配调试五个岗位都需要具备材料知识和选材的职业能力。随着行业技术的不断发展,还需要掌握新型材料和新强化技术的应用能力。

本项目主要培养学生掌握材料和热处理知识以及选择材料和强化方法的专业技能,同时养成广泛涉猎专业知识、标准和新材料、新技术、新工艺、新装备的职业习惯。一进入大学就开始本项目的学习,还需要尽快建立起有关材料的概念链,为本课程的后续三个项目乃至后续的设计类、工艺类和操作类课程打下良好基础。

本项目以工程材料基础认知、材料热处理和表面改性、钢铁材料的标识与选用、非铁金属和非金属材料的标识与选用、零件材料选用综合训练等五项任务为载体开展学习和训练,旨在使学生按现行材料国家标准获得材料和强化知识,掌握常用材料和新型材料、强化技术的选用技能,能满足零件设计、加工、安装调试岗位的材料选择能力要求,能初步胜任机械制造企业材料供应和管理岗位的工作。



任务一 工程材料基础认知

任务目标

- 了解工程材料分类方法和钢铁的生产过程及常用钢材特征。
- 掌握常用力学性能指标的含义和计算方法。
- 了解材料晶体结构、结晶过程等基础知识。
- 能借助 Fe—Fe₃C 相图分析典型钢种的平衡凝固过程和成分—组织—性能的关系。

任务描述

● 任务内容

- 1.1 认知工程材料的分类和生产过程
- 1.2 材料力学性能的标识和解读
- 1.3 材料性能的微观分析
- 1.4 铁碳相图解读

● 实施条件

1. 校内或校外机械制造职业环境、仿真软件,供学生认知实习。
2. 原子结构的实物或电子模型、铁碳相图挂图、金相照片及力学试验、凝固过程等有关动画。

● 安全提示

1. 有针对性地进行生产现场安全教育,严防生产安全事故。
2. 严防校外训练交通安全事故。
3. 对手工制作原子结构模型等活动,防扎伤,防物料采集时与保安、农民的纠纷。

任务实施

【案例 1-1 金刚石与石墨】

金刚石和石墨的化学成分都是碳(C),称“同素异形体”。从这种称呼可以知道它们具有相同的“质”,但“形”或“性”却不同。它们的确有天壤之别,金刚石是最硬的物质,而石墨却是最软的物质之一。

如此悬殊差别源于其原子结构。在金刚石晶体中,碳原子按四面体成键方式互相连接,组成无限的三维骨架,是典型的原子晶体。由于其 C—C 键很强,所以所有的价电子都参与了共价键的形成,没有自由电子,故金刚石不仅硬度大,熔点极高,而且不导电。



而石墨则是典型的层状结构,碳原子成层排列。上下两层的碳原子之间距离比同一层内的碳之间的距离大得多(层内 C—C 间距=0.142nm,层间 C—C 间距=0.340nm),在外力作用下极易层间滑移,因而硬度、强度极低。

由此可见,材料的性能不仅取决于它的成分,还取决于组成它的原子的空间排列,即内部结构。改变其内部结构则需要外在因素的作用,如石墨,需要施以高温高压才能将其转变成金刚石。这些外部条件,就是工艺。

1.1 工程材料的分类和生产过程

1. 工程材料的常见分类方法

工程材料是指具有一定性能,在特定条件下能够承担某种功能、被用来制造结构、零件和工具的材料。其种类繁多,常见分类方法如下:

(1)按成分可分为金属材料、非金属材料、复合材料(图 1.1)。

(2)按用途可分为结构材料(如机械零件、工程构件用材料)、工具材料(如量具、刀具、模具材料)、功能材料(如磁性材料、超导材料)等。

(3)按应用领域可分为机械工程材料、建筑工程材料、能源工程材料、信息工程材料、生物工程材料等。

2. 钢铁生产过程的简单认知

钢铁是生铁与钢的总称,是以 Fe 和 C 为主要组成元素的合金。生铁是含碳量 $\omega_c > 2.11\%$ 、含杂质较多的铁碳合金,硬而脆。钢是含碳量 $\omega_c < 2.11\%$ 、含杂质较少的铁碳合金,一般具有较好的韧性。钢锭或钢坯经压力加工成为各种形状规格的钢材。

(1)炼铁:炼铁是从矿石中还原出铁的过程。目前主要用高炉炼铁。

(2)炼钢:生铁经氧气顶吹转炉炼钢或电炉冶炼成钢,它通过氧化降低生铁中的碳与杂质含量,获得规定成分和性能。钢液浇注到模具中凝固便得到钢锭或钢坯。

(3)钢材:钢锭或钢坯经轧制、拉拔、挤压、锻造得到钢材。钢材按形状可分为钢板、型钢、钢管、线材、钢丝等。其中型钢又分为圆钢、方钢、扁钢、六角钢、八角钢、工字钢、槽钢、角钢、T 字钢等。



图 1.1 工程材料按成分分类图

1.2 材料力学性能的标识和解读

材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两大类。使用性能是指材料在使用过程中所表现的性能,包括物理、化学和力学性能,其中力学性能是结构件选材的主要依据。

材料受外力作用时所表现的性能称为力学性能(又称机械性能),如强度、塑性、硬度、韧



性及疲劳强度等都是材料的机械性能。

1. 强度与塑性的标识与解读

材料的强度和塑性指标按照 GB/T 228.1—2010《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》测定。图 1.2(a)所示为圆柱形拉伸试样, d_0 为试样原始直径, L_0 为原始标距。将试样夹在拉伸试验机上,缓慢加载,直至拉断。此时,试样最细处的直径变为 d_u ,原标距伸长变为 L_u 。在拉伸过程中,试验机自动记录载荷与伸长量之间的关系,并得出载荷—伸长量关系曲线,即拉伸曲线。图 1.2b 所示为低碳钢的拉伸曲线。根据拉伸曲线计算材料的强度和塑性指标。

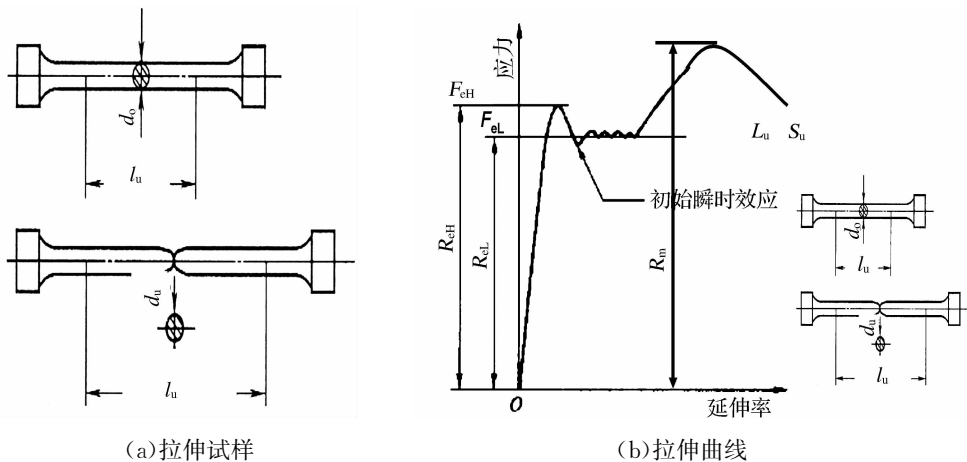


图 1.2 拉伸试样与拉伸曲线

(1)强度的含义与计算:材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力称为强度。根据所加载荷的不同,强度指标有许多种,如屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度、抗扭强度等。其中屈服强度和抗拉强度两个指标应用最多。

①屈服强度:由图 1.2(b)可知,当试样承受载荷到一定值后,如果不再继续增加载荷而试样仍能继续发生塑性变形的现象称为材料的屈服。材料开始发生屈服时的应力点称为屈服强度。

GB/T 228.1—2010 规定,应区分上屈服强度和下屈服强度,分别用 R_{eH} 和 R_{eL} 表示。 R_{eH} 是试样发生屈服时力首次下降前的最高应力, R_{eL} 是在屈服期间的最低应力,见图 1.3(a)。

有些材料没有明显的屈服现象,很难直接确定屈服强度,因此规定了塑性延伸强度 R_p ,它等于规定的引伸计标距百分率时的应力。使用的符号应附下脚注说明所规定的百分率,例如 $R_{p0.2}$ 表示规定塑性延伸率为 0.2% 时的塑性延伸强度。见图 1.3(b)。

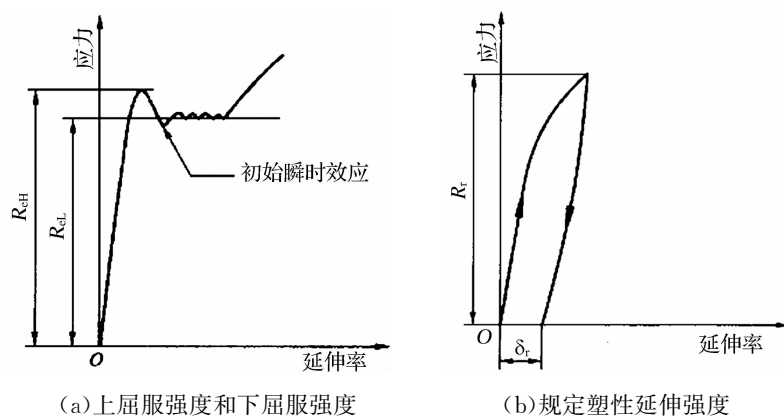


图 1.3 图解法确定屈服强度

②抗拉强度(R_m):断裂前对应最大力(F_m)的应力。

$$R_m = F_m / S_0, \text{MPa}$$

式中, F_m 为试样在断裂前的最大拉力(N), S_0 为试样原始截面面积(mm^2)。

另外,还有一个指标叫屈强比(屈服强度/抗拉强度)。屈强比高,材料强度的利用率高;屈强比低,零件的可靠性提高,即万一超载,材料可通过自身的塑性变形消耗部分能量,不致立即断裂。一般地,碳素钢屈强比约为 0.6,低合金钢 0.65~0.75,合金结构钢 0.85。

(2)塑性的含义与计算:塑性是指材料在受力破坏前所能承受最大塑性变形的能力。常用的塑性判据是断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 。

$$A = (L_u - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中: L_u —断后标距; L_0 —原始标距。

对于比例试样,若原始标距不为 $5.65 \sqrt{S_0}$ (S_0 为平行长度的原始横截面积),则应附下标注明所使用的比例系数,例如 $A_{11.3}$ 表示原始标距 L_0 为 $11.3 \sqrt{S_0}$ 的试样断后伸长率。

$$Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100\%$$

式中: S_0 —原始横截面积; S_u —断后最小横截面积。

一般说来,伸长率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料,即可满足绝大多数零件的要求。

2. 硬度的标识与解读

硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力,一般采用压入法测定。根据对压痕测量方法的不同,分为布氏、洛氏、肖氏、维氏硬度等。下面介绍布氏硬度和洛氏硬度。

(1)布氏硬度:按 GB/T 231.1—2009《布氏硬度试验第 1 部分:试验方法》,采用一定直径的钢球或硬质合金球,以一定载荷压入材料表面,经规定保持时间后,卸掉试验载荷,测其压痕直径,用单位球形压痕表面积所承受的试验力来表示布氏硬度值。

布氏硬度用 HB 表示,当压头为钢球时表示为 HBS,适用于布氏硬度值在 450 以下的材料;当压头为硬质合金球时表示为 HBW,适用于布氏硬度值在 450~650 的材料。而 HBS



或 HBW 之后的数字分别表示试验条件。

例如:150HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 的钢球在 9807N(1000kgf)试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 150;500HBW5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球在 7355N 试验力作用下保持(10~15)s((10~15)s 不标)测得的布氏硬度值为 500。

布氏硬度试验的优点是压痕面积相对较大,数据代表性强且较准确,适于测定经退火、正火、调质的钢,铸铁及有色金属。缺点是不适合薄件及表面要求高的成品件。

(2)洛氏硬度:洛氏硬度的试验原理与布氏硬度相似(GBT 230.1—2009《金属材料洛氏硬度试验 第 1 部分:试验方法〈A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺〉》)。洛氏硬度用符号 HR 表示,按压头类型和主载荷不同,分为 9 个标尺,常用的标尺为 A、B、C,如表 1.1 所示。符号 HR 前面的数字为硬度值,后面为使用的标尺,如 50HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 50。硬度值可直接从洛氏硬度计的表盘上读出。

洛氏硬度的优点是操作简便、压痕小、适用范围广;缺点是测量结果分散度大,故需在试样不同部位测定三点,取其算术平均值。

表 1.1 常用洛氏硬度的符号、试验条件及应用(摘自 GBT 230.1—2009)

硬度符号	压头类型	总试验力 F/N	硬度范围	应用举例
HRA	金刚石圆锥	588.4	20~88	硬质合金、表面淬火钢
HRB	$\Phi 1.5875\text{mm}$ 钢球	980.7	20~100	软钢、退火钢、非铁合金
HRC	金刚石圆锥	1471	20~70	淬火钢、调质钢

注:总试验力=初始试验力+主试验力;初始试验力均为 98.07N。HRA、HRC 刻度盘满刻度为 100,HRB 为 130。

3. 冲击吸收能量

按 GB/T 229—2007《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》,将规定几何形状的缺口试样置于试验机两支座之间,缺口背向打击面置,用摆锤一次打击试样,测定试样的吸收能量。用字母 K 表示吸收能量(单位为 J),用字母 V 或 U 表示缺口几何形状,用下标数字 2 或 8 表示摆锤刀刃半径,例如 KU_2 。

由于大多数材料冲击值随温度变化,因此试验应在规定温度下进行。吸收能量大,表示材料韧性好,对结构中的缺口或其他的应力集中情况不敏感。对重要结构的材料近年来趋向于采用更能反映缺口效应的 V 形缺口试样做冲击试验。

4. 疲劳强度的初步认知

零件在交变载荷(即大小和/或方向随时间而变化的载荷)作用下工作时,零件材料常常在远低于其屈服强度的应力下发生断裂,这种现象称为疲劳。实际服役的金属材料有 90% 是因为疲劳而破坏。无论是韧性还是脆性材料,在疲劳断裂时,事先无明显塑性变形的预



兆,具有很大的危险性。提高零件的疲劳抗力,除应合理选材外,还应注意其结构形状,避免应力集中,减少缺陷,降低表面粗糙度和进行表面强化等。

1.3 材料性能的微观分析

1.3.1 金属材料的结构特点

1. 晶体结构的一般性描述

一般地,若固态下原子或分子在空间呈有序排列,则称之为晶体,反之则为非晶体。

通常把构成晶体的原子看成是一个个按一定的几何形式在空间紧密堆积的小球,如图 1.4a 所示。将原子视为几何质点,并用一些假想的几何线条将各质点连接起来,便形成一个空间几何格架,称为晶格(图 1.4b)。由于晶体中原子作周期性规则排列,因此可以在晶格内取一个能代表晶格特征的,由最少数目的原子构成的最小结构单元来表示晶格,称为晶胞(见图 1.4c),并用棱边长度 a 、 b 、 c 和棱边夹角 α 、 β 、 γ 来表示晶胞的几何形状及尺寸。可见,晶格可以由晶胞不断重复堆砌而成。通过对晶胞的研究可找出该种晶体中原子在空间的排列规律。晶格类型不同,呈现出的力学、物理、化学性能不同。

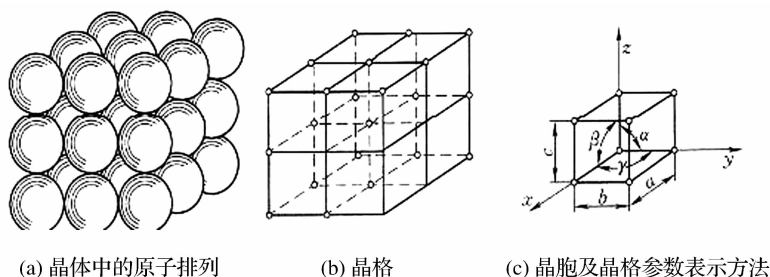


图 1.4 简单立方晶格与晶胞示意图

在金属晶体中,约有 90% 属于体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。体心立方晶格的晶胞是一个立方体,在立方体的八个角上和晶胞中心各有一个原子(图 1.5)。属于这种晶格类型的金属有 α -Fe、Cr、W、Mo、V、Nb 等。面心立方晶格和密排六方晶格示意图分别如图 1.6 和图 1.7 所示,属于面心立方晶格类型的金属有了 γ -Fe、Cu、Al、Ni、Ag、Pb 等;属于密排六方晶格类型的金属有 Mg、Zn、Be 等。

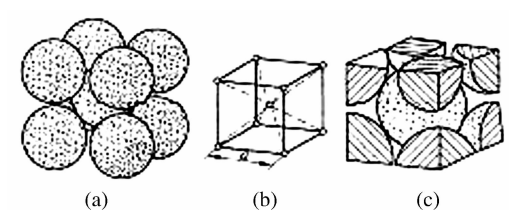


图 1.5 体心立方晶胞

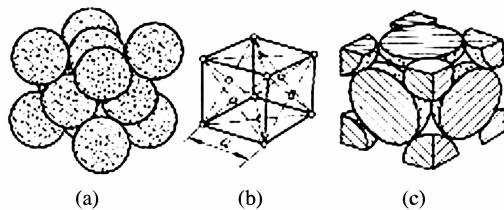


图 1.6 面心立方晶胞

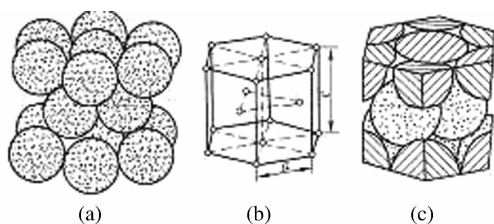


图 1.7 密排六方晶胞示意图

2. 实际金属的晶体结构

(1) 纯金属的晶体结构。内部晶格位向完全一致的晶体称为单晶体。实际金属材料由许多晶格位向不同的微小晶体组成,称为多晶体。组成多晶体的小晶体称为晶粒。晶粒与晶粒之间的界面称为晶界。

(2) 合金的晶体结构

① 关于合金的几个术语

A. 合金:由两种或两种以上的金属元素,或金属和非金属元素组成的具有金属性质的物质。组成合金的最基本的独立物质(金属元素、非金属元素或稳定的化合物)称为组元。按组元多少,可分为二元合金、三元合金等。

B. 相与相变:相是金属或合金中具有相同成分、相同结构和原子聚基状态并以界面相互分开的各个均匀组成部分。一种相在一定条件下可变为另一种相,叫做相变。

C. 组织:用金相观察方法,在金属及合金内部看到的组成相的种类、大小、形状、数量、分布及相间结合状态称为组织。只有一种相组成的组织为单相组织;由两种或两种以上相组成的组织为多相组织。

② 合金的基本相结构

A. 固溶体。它是溶质原子溶入溶剂晶格中而仍保持溶剂晶格类型的相。按溶质在溶剂晶格中的位置,可分为置换固溶体和间隙固溶体(图 1.8)。溶质原子的溶入会引起固体晶格发生畸变,使合金的强度、硬度提高。这种通过溶入原子,使合金强度和硬度提高的方法叫固溶强化。固溶强化是提高材料力学性能的重要强化方法之一。

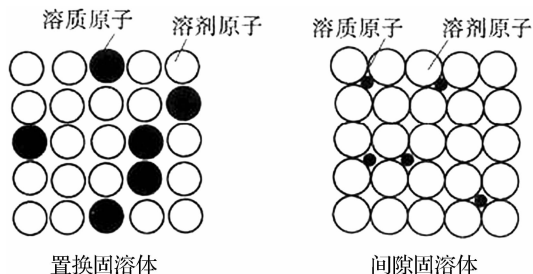


图 1.8 固溶体结构示意图

B. 金属化合物。它是合金元素间发生相互作用而生成具有金属性质的一种新相,其晶



格类型和性能不同于合金中的任一组成元素,一般可用化学式来表示。它一般具有复杂的晶体结构,熔点高,硬而脆,通常能提高合金的强度、硬度和耐磨性,但会降低塑性和韧性。以金属化合物作为强化相强化金属材料的方法,称为第二相强化。金属化合物是合金钢、硬质合金及许多非铁金属的重要组成相。

多数合金是由固溶体和少量金属化合物组成的混合物。根据需要可调整固溶体的浓度和化合物的形状、数量、大小、分布进而调整合金的性能。

1.3.2 非金属材料的结构特点

1. 陶瓷材料的结构特点

陶瓷是由金属和非金属元素的化合物构成的多晶固体材料,其结构比金属晶体复杂得多。通常认为其组织结构由晶体相、玻璃相和气相三部分组成。陶瓷材料的性能由主要晶体相所决定。玻璃相的主要作用是将晶体相黏结起来,填充晶体相之间的空隙,提高材料的致密度,但玻璃相降低陶瓷的机械强度、介电性能、耐热性等,所以工业陶瓷中玻璃相的体积分数需要控制在 20%~40% 的范围内。气相是指陶瓷组织内部残留下来的孔洞,它降低陶瓷的强度,常常造成裂纹,还可降低陶瓷的透明度,所以普通陶瓷的气孔率控制在 5%~10%,特种陶瓷应在 5% 以下。

2. 高分子材料的结构特点

高聚物的微观结构主要包括:大分子链结构和大分子的聚集态结构。

大分子链结构的几何形状有线型、支链型和体型。线型高分子结构(图 1.9a)十分柔软,易于加工,并可反复使用,具有良好的弹性和热塑性。支链型高分子结构(图 1.9b)由于支链的出现一般会使聚合物的黏度增加,性能得以强化。体型高分子结构(图 1.9c)非常稳定,既不能溶解,也不能熔融,尺寸稳定,但弹塑性很低。

大分子聚集态结构按大分子几何排列的特点,分为无定形和晶态两种。无定形高聚物的线型大分子链很长,当高聚物固化时,由于黏度增大,很难进行有规则的排列而形成无定形结构(图 1.10)。晶态高聚物的结构如图 1.11 所示,虽然线型、支链型和交联少的网状高分子聚合物固化时可以结晶,但分子链运动较困难,不可能进行完全的结晶。因为分子间的作用力较大,使晶态高聚物的强度、硬度和刚度较高,熔点较高,耐热性和耐蚀性较好,而弹性、塑性和韧性较低。

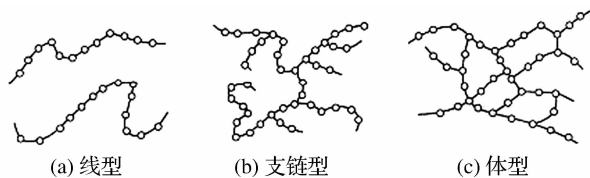


图 1.9 大分子链

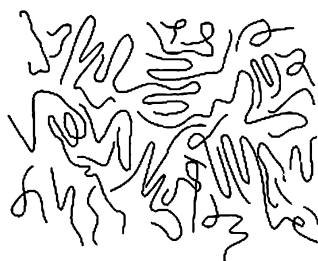


图 1.10 无定形高聚物结构

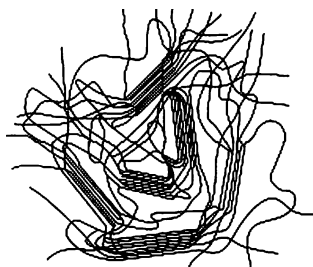


图 1.11 晶态高聚物结构

1.3.3 材料的凝固与结晶过程

材料从液态转变为固态的过程称为凝固,凝固形成晶体物质的过程称为结晶。

1. 金属的结晶特点

纯金属的实际结晶过程可用冷却曲线来描述。从图 1.12 冷却曲线看出,液态金属随时间冷却到某一温度时,在曲线上出现一个平台,这个平台所对应的温度就是纯金属的实际结晶温度。因为结晶时放出结晶潜热,补偿了此时向环境散发的热量,使温度保持恒定,结晶完成后,温度继续下降。实验表明,纯金属的实际结晶温度 T_1 总是低于平衡结晶温度 T_0 ,这种现象叫做过冷现象。实际结晶温度 T_1 与平衡结晶温度 T_0 的差值 ΔT 称为过冷度。过冷是金属结晶的必要条件,液体冷却速度越大, ΔT 越大。

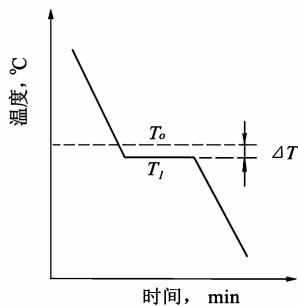


图 1.12 纯金属的冷却曲线

结晶是晶体在液体中从无到有(晶核形成)、由小变大(晶核长大)的过程(图 1.13)。液

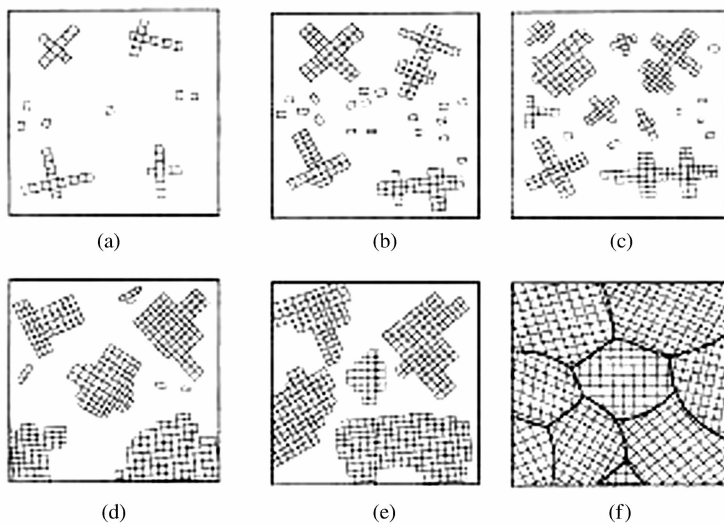


图 1.13 金属的结晶过程



体在一定过冷度条件下形成晶核的过程叫做自发形核。但晶核更容易依附于各种固态的杂质微粒形成,这种形核过程称非自发形核。

2. 细晶强化及晶粒大小的控制

(1)细晶强化:在室温下,细晶粒组织的金属往往不仅强度较高,而且塑性和韧性也较好。这是因为,晶粒越细,晶界越多,晶格畸变强化效果越显著;并且,在同样的变形条件下,变形量被分散到更多的晶粒内进行,各晶粒的变形比较均匀而不致产生过分的应力集中现象;此外,晶界多则不利于裂纹的传播,从而使其在断裂前能承受较大的抗力和塑性变形,表现出较高的强度、塑性和韧性。这种现象叫细晶强化。

(2)晶粒大小的控制:冶金和铸造生产中常用以下方法来细化晶粒:

①增加过冷度:提高形核速度使晶粒细化。

②变质处理:在金属液中加入变质剂,以增加异质形核的数量。

③附加振动:在金属结晶时,施以机械振动、电磁振动、超声波振动等,可使金属初期形成的晶粒破碎,以增加晶核数目,细化晶粒。

3. 非晶态凝固

如果冷却速度很快,晶核不能形成,就会得到非晶体。用高速旋转的铜轮来冷却金属液,可获得带状非晶态合金。

4. 金属的同素异晶转变

有少数金属(如铁、铬、锡、钴、钛等)在固态下随温度的变化由一种晶格转变为另一种晶格,这种现象称为同素异晶转变。如纯铁,由液态结晶后是体心立方晶格,称为 δ -Fe。在 1394°C 以下转变为面心立方晶格,称为 γ -Fe。 γ -Fe冷却到 912°C 又要转变为体心立方晶格,称为 α -Fe。

1.4 铁碳相图解读

1.4.1 铁碳合金的基本组织及其性能

(1)铁素体:碳溶于 α -Fe中形成的间隙固溶体,常以F表示。碳在 α -Fe中的溶解度在 727°C 时溶解度最大,为 0.0218% ,室温时 0.0008% 。铁素体的强度和硬度很低,但塑性和韧性良好。工业纯铁($\omega_{\text{C}} < 0.02\%$)在室温时的组织即为铁素体单相组织。

(2)奥氏体:碳溶于 γ -Fe中形成的间隙固溶体,常以A表示。碳在A中的溶解度在 1148°C 时最大(2.11%)。随着温度的降低,溶解度下降,在 727°C 时为 0.77% 。它有一定的强度和硬度,塑性和韧性也好,所以常将钢加热到奥氏体状态进行塑性加工。

(3)渗碳体:渗碳体是一种金属化合物,化学式 Fe_3C ,含碳量 6.69% 。它硬而脆,硬度约 800HBW ,而塑性和韧性几乎为零。它是钢中的强化相,其形状、大小与分布对钢的性能有



很大影响。

(4)珠光体:是奥氏体冷却到 727°C 发生共析转变生成的由铁素体和渗碳体组成的机械混合物,用 P 表示,平均 $w_{\text{C}}=0.77\%$ 。一般由片状铁素体与渗碳体交替排列而成(图 1.14 左)。其力学性能介于 F 与 Fe_3C 之间,强度、硬度、塑性、韧性适中($R_{\text{m}}=770\text{MPa}$ 、 180HBS 、 $A=20\%\sim 35\%$ 、 $KU_2=24\sim 32\text{J}$)。

(5)莱氏体:由奥氏体和渗碳体组成的机械混合物。它是碳的质量分数 $w_{\text{C}}=4.3\%$ 的铁碳合金冷却到 1148°C 时共晶转变的产物,于 $1148^{\circ}\text{C}\sim 727^{\circ}\text{C}$ 之间的莱氏体称为高温莱氏体,用符号 L_{d} 表示,组织由奥氏体和珠光体组成;存在于 727°C 以下的莱氏体称为变态莱氏体或低温莱氏体,用 L_{d}' 表示,组织由渗碳体和珠光体组成(图 1.14 右)。莱氏体硬度很高,塑性极差,几乎为零。

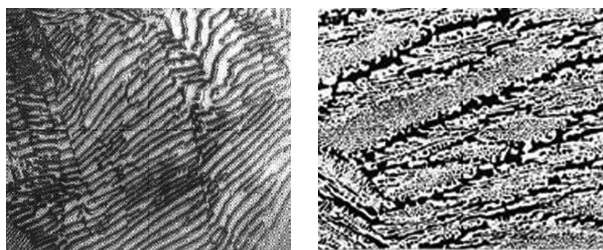


图 1.14 珠光体(左)和莱氏体(右)的显微组织

1.4.2 铁碳合金相图的特征与应用

实用的铁碳相图是 Fe 和 Fe_3C 两个基本组元组成的 Fe— Fe_3C 相图。

1. Fe— Fe_3C 相图分析

简化的 Fe— Fe_3C 相图如图 1.15 所示,各特性点、线的含义见表 1.2 和表 1.3。

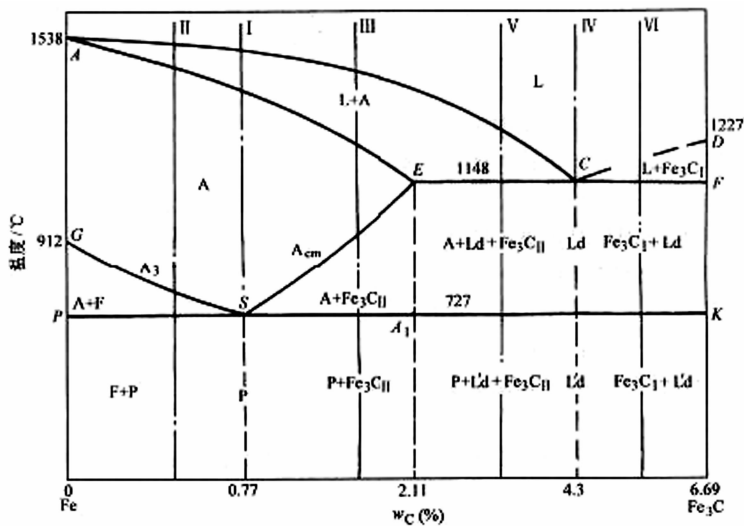


图 1.15 简化的 Fe— Fe_3C 相图



表 1.2 Fe—Fe₃C 相图主要特性点

特性点	温度 $t/^{\circ}\text{C}$	$\omega_{\text{C}}/\%$	含 义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点, $\text{L}_{\text{C}} \rightarrow \text{L}_{\text{d}}$
D	1227	6.69	渗碳体的熔点(计算值)
E	1148	2.11	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
G	912	0	纯铁的同素异晶转变点, $\alpha\text{-Fe} \rightarrow \gamma\text{-Fe}$
S	727	0.77	共析点, $\text{A}_{\text{S}} \rightarrow \text{P}$

表 1.3 Fe—Fe₃C 相图特性线

特性线	名称	含 义
ACD	液相线	此线以上为液相(L), 缓冷至液相线时, 开始结晶
AECF	固相线	此线以下为固相
ECF	共晶线	发生共晶转变, 生成莱氏体(L_{d}), 共晶反应式为: $\text{L}_{\text{C}} \rightarrow \text{L}_{\text{d}}$
PSK	共析线 A_1	发生共析转变, 生成珠光体(P), 共析反应式为: $\text{A}_{\text{S}} \rightarrow \text{P}$
ES	A_{cm}	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的溶解度曲线
GS	A_3	奥氏体 $\rightarrow$ 铁素体转变线

2. 典型合金的结晶过程及组织

(1) 共析钢的结晶: 如图 1.15 中 I 线所示, 当合金由液态缓冷到液相线 AC 时, 从液相中结晶出奥氏体。进一步冷却到固相线 AE 时, 液相全部结晶为奥氏体。奥氏体冷至 S 点 (727°C) 时发生共析转变生成珠光体(图 1.16)。

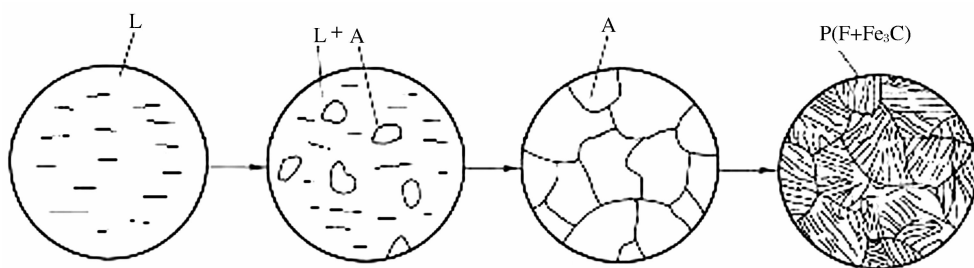


图 1.16 共析钢结晶过程组织转变示意图

(2) 亚共析钢的结晶: 如图 1.15 中 II 线所示, 液态合金结晶结束得到奥氏体。冷至 GS 线时铁素体析出, 称为先共析铁素体。至共析温度 (727°C) 时, 剩余的奥氏体发生共析转变生成珠光体(图 1.17)。

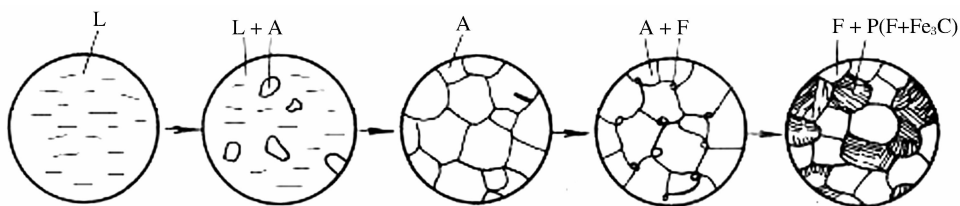


图 1.17 亚共析钢结晶过程组织转变示意图

(3) 过共析钢的结晶: 图 1.15 中 III 线所示合金在 ES 线以上的结晶与共析钢相似。冷至 ES 线 Fe_3C_{II} 开始析出, 奥氏体含碳量不断降低。当冷却到共析线时, 奥氏体含碳量降至 0.77%, 发生共析转变生成珠光体(图 1.18)。

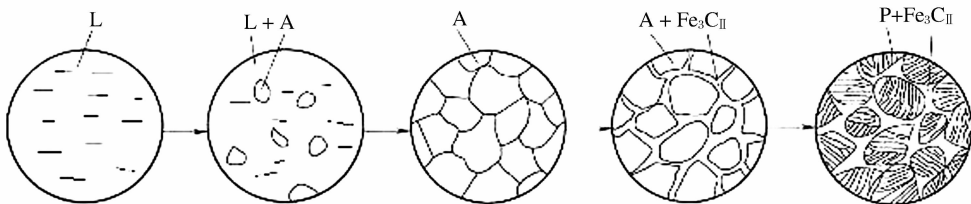


图 1.18 过共析钢结晶过程组织转变示意图

3. 含碳量与铁碳合金组织及性能的关系

如图 1.19 所示, 当 $\omega_c < 0.9\%$ 时, 随含碳量增加, 钢的强度、硬度呈直线上升, 而塑性、韧性随之降低。原因是钢组织中渗碳体的相对量增多, 铁素体的相对量减少; 当碳的质量分数 $\omega_c > 0.9\%$ 时, 随含碳量继续增加, 硬度仍然增加, 而强度开始明显下降, 塑性、韧性继续降低, 原因是钢中二次渗碳体沿晶界析出并形成完整的网络, 导致钢的脆性增加。

4. 铁碳合金相图的应用

(1) 选材: 可以按照零件的性能要求根据铁碳相图来选择合适的材料。例如, 若需要塑性好、韧性高的材料, 可选用低碳钢; 若需要强度、硬度、塑性等都较高的材料, 可选用中碳钢; 若需要硬度高、耐磨性好的材料可选用高碳钢; 若需要耐磨性高, 不受冲击的零件所用的材料, 可选用白口铸铁。

(2) 铸造工艺: 共晶成分的铁碳合金熔点低, 铸造性好, 故常用铸铁成分接近共晶成分。根据液相线的位置可确定铸钢和铸铁的浇注温度(图 1.20)。

(3) 锻压工艺: 奥氏体的强度较低, 塑性较好, 便于塑性变形。因此, 钢材的锻造、轧制均选择在单相奥氏体区适当温度范围进行(图 1.20)。

(4) 焊接工艺: 由铁碳相图可知, 焊接时, 焊缝附近各区域受热温度不同, 各区域在随后的冷却中可能会出现不同的组织与性能。根据需要可在焊接后采用热处理加以改善。

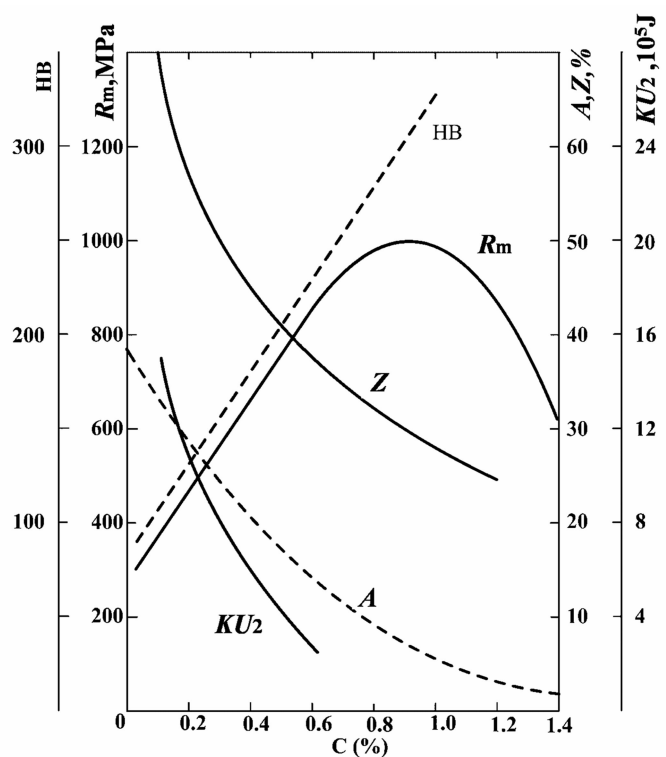


图 1.19 ω_c 对缓冷钢力学性能的影响

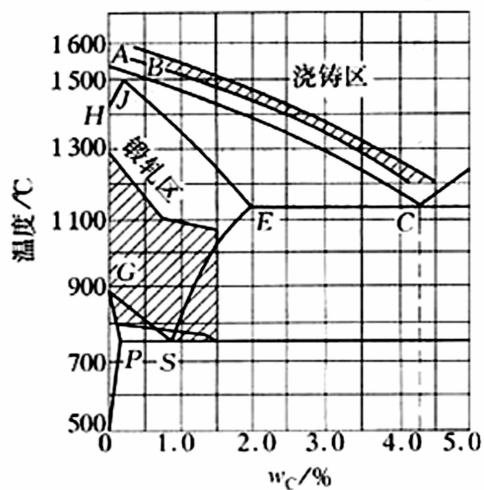


图 1.20 铁碳相图与热加工工艺的关系

铁碳相图对制定热处理工艺有着特别重要的意义,后面详述。



任务检查与评价

本任务实施质量的检查与评价可参考表 1.4 进行。

表 1.4 工程材料基础认知任务检查内容与评价标准

序号	检查项目	评价标准	评价方式	比重/%
1	材料分类、钢铁生产过程及常用钢材认知	能举例多种常用工程材料;简述钢铁生产过程;掌握棒、线、工、角、槽、H、螺纹、管、板、条、带、卷材的特征。	课堂讨论、作业与项目测验相结合	10
2	力学性能指标的含义	掌握 R_m 、 R_{eH} 、 R_{eL} 、 A 、 Z 、 KU_2 的含义		20
3	材料晶体结构,结晶过程	理解成分、结构、性能关系原理;熟知常见金属的原子结构类型;了解步冷曲线特征,理解过冷度、合金、金属化合物、固溶体、细晶强韧化等术语的含义。		20
4	Fe—Fe ₃ C 相图	掌握 F、A、Fe ₃ C、P、L _d 的结构组成和性能特点;识读 Fe—Fe ₃ C 相图并能分析典型钢铁的凝固过程;掌握钢的成分、组织、性能关系规律。		30
5	创业创新与学习力	通过材料发展史学习,能提出一种简单生活用品的创业方案;提出一种日常用品的创新思路;能参考教材拓展 Al—Si、Cu—Zn、Zn—Al 等相图知识和应用能力。	课堂讨论、课下研讨相结合	20
6	安全文明守纪	课堂迟到、早退、违纪扣 2 分/次;实习实训违反安全文明规定扣 2 分/次。扣分累计上限 20 分。	—	

巩固与拓展

一、巩固自测

1. 手铰、黄铜轴套、非合金钢、渗碳齿轮应分别采用何种硬度指标测定其硬度值?
2. 下列情况分别是因为哪一个力学性能指标达不到要求?
 - (1) 紧固螺栓使用后发生塑性变形。
 - (2) 齿轮正常负荷条件下工作中发生断裂。
 - (3) 汽车紧急刹车时,发动机曲轴发生断裂。
 - (4) 不锈钢圆板冲压加工成圆柱杯的过程中发生裂纹。



(5) 齿轮工作在寿命期内发生严重磨损。

3. 金属晶粒大小对力学性能有何影响? 有哪些细化晶粒的措施?

4. 根据 Fe—Fe₃C 相图解释下列现象:

(1) 在室温下 $\omega_{\text{C}}=0.8\%$ 的碳钢比 $\omega_{\text{C}}=0.4\%$ 碳钢硬度高, 比 $\omega_{\text{C}}=1.2\%$ 的碳钢强度高。

(2) 钢铆钉一般用低碳钢制造。

(3) 绑扎物件一般用铁丝(低碳钢丝), 而起重机吊重物时都用钢丝绳(用 60 钢、65 钢等制成, ω_{C} 分别为 0.6%、0.65%)。

(4) 锯割 T8、T10 退火钢(ω_{C} 分别为 0.8%、1.0%)比锯割 20 钢(ω_{C} 为 0.2%)费力且锯条易磨钝。

二、素质拓展

1. 学习能力训练

(1) 参照教材, 查阅相关资料, 写出抗弯强度、扭转强度、断裂韧性、抗压强度、剪切强度、抗撕裂强度、肖氏硬度、显微硬度的含义及测试方法。

知识链接: 以性能名称搜国家标准(GB)或词条。

(2) 查阅资料, 说说空位、间隙原子、位错等晶格缺陷的特征及其对材料理化及力学性能的影响。

知识链接: 以晶格缺陷名称搜有关知识或词条。

(3) 查阅铝硅相图, 找出铸铝锅(约 12%Si)的位置, 描述其结晶过程。

知识链接: 以相图名称搜有关知识或词条。

2. 国际职场竞争能力训练

(1) 拓展教材中英文对照专业术语表。

(2) 自查自选, 读一篇金属制品的英文说明书。

3. 创新创业素质训练

(1) 想想榔头、锉、铁茶筒各需何性能, 试选合适钢种。自选一种日常用品, 提出创业思路。

(2) 动手, 用泥巴球或小红果作原子串起体心立方、面心立方、密排六方结构, 看看由体心立方变面心立方结构总体积的变化。

(3) 观察水的结冰过程, 并用水银温度计测绘温度—时间曲线。

(4) 走访一家机电产品制造企业, 了解其创业史。



任务二 材料热处理和表面改性

任务目标

- 掌握钢的奥氏体化和 TTT 转变、CCT 转变的一般规律。
- 掌握正火、退火、淬火、回火的工艺要点和用途。
- 了解表面淬火和化学热处理的原理、用途。了解热处理工艺制定方法和零件结构工艺性。
- 了解表面处理技术与用途以及高分子材料的改性强化方法。

任务描述

● 任务内容

- 2.1 钢的热处理
- 2.2 改性强化和表面处理

● 实施条件

1. 校内或校外热处理生产职业环境、仿真软件,供学生认知实习。
2. 典型钢种的 TTT 图、CCT 图、热处理工艺卡等有关动画和挂图。
3. 隔热工作服、手套等劳动防护用品。

● 安全提示

1. 开展热处理生产安全教育,严防生产安全事故。
2. 严防校外训练交通安全事故。
3. 针对烧伤等安全事故,要有应急预案。

任务实施

【案例 1-2 性能悬殊的 45 钢】

由下表可以看出,同种钢加热后用不同的冷却方式,可得到相差悬殊的性能。慢冷获得低硬度,利于切削加工;获得高塑性,可抗冲击。快冷可获得高强度、高硬度,可承重载、耐磨损。热处理是调整材料组织进而调整材料性能的重要而廉价的手段。



45 钢 840℃ 加热后 不同条件冷却后的力学性能

冷却方法	R_m /MPa	R_{el} /MPa	$A/\%$	$Z/\%$	HRC
随炉冷却	519	272	32.5	49	15~18
空气冷却	657~706	333	15~18	45~50	18~24
油中冷却	882	608	18~20	48	40~50
水中冷却	1078	706	7~8	12~14	52~60

2.1 钢的热处理

2.1.1 钢的热处理原理

1. 概述

热处理是采用适当的方式对金属材料或工件进行加热、保温和冷却以获得预期的组织结构与性能的工艺。热处理是强化金属材料、提高产品性能和寿命的主要途径之一,也是降低材料强度和硬度,提高材料机械加工性能的主要途径。GB/T 7232 规定了金属热处理术语,GB/T 12603 规定了金属热处理的工艺分类及代号。

(1)热处理工艺分类:根据加热、保温和冷却工艺方法,热处理工艺可分为若干种。整体热处理、表面热处理、化学热处理特点见表 2.1。

表 2.1 钢的热处理分类一览表(摘自 GB/T 7232—2012)

分 类	特 点	常 用 方 法
整体热处理	对工件整体进行穿透加热	退火、正火、淬火+回火、调质等
表面热处理	仅对工件的表面进行的热处理工艺	表面淬火和回火、气相沉积等
化学热处理	改变工件表层化学成分、组织和性能	渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗金属、多元共渗等

(2)热处理的基本工艺过程:尽管热处理种类繁多,但其基本过程都由加热、保温和冷却三个阶段组成(图 2.1)。

(3)非合金钢的固态转变临界点:如图 2.2 所示,钢在固态下进行加热、保温和冷却时将发生组织转变,转变临界点根据 Fe—Fe₃C 相图确定。平衡状态下,当钢在缓慢加热或冷却时,其固态下的临界点分别用 Fe—Fe₃C 相图中的平衡线 A_1 (PSK 线)、 A_3 (GS 线)、 A_{cm} (ES 线)表示。实际加热和冷却时,发生组织转变的临界点都偏离平衡临界点,并且加热和冷却速度越快,其偏离程度越大。实际加热时,临界点分别用 A_{cl} 、 A_{c3} 、 A_{cm} 表示。实际冷却时,临界点分别用 A_{r1} 、 A_{r3} 、 A_{rcm} 表示。