

中等职业学校教学用书

金属工艺学 教学参考书

主编 郁兆昌



高等教育出版社

中等职业学校教学用书

金属工艺学教学参考书

主编 郁兆昌

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材郁兆昌主编《金属工艺学》(工程技术类)的配套教学参考书。

全书内容紧密联系主教材,按章介绍教学要求、重点与难点、基本内容和教学建议。书后附有课堂讨论、习题课、综合作业说明书,光盘内容目录。附配的光盘播放时间约一个半小时,包括金属工艺学知识点约 170 条目,其中视频 38 条目,为学生提供了形象直观的生产感性认识和实录资料,可提高金属工艺学课程的学习效率和教学质量。

本书可作为中等职业学校工程技术类相关专业的“金属工艺学”课程教学参考书,也可作为有关技术人员、管理人员和技术工人的参考书和培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学教学参考书 / 郁兆昌主编. —北京:高等教育出版社,2005.7

ISBN 7-04-016844-8

I. 金... II. 郁... III. 金属加工-工艺学-专业学校-教学参考资料 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 051709 号

策划编辑	王瑞丽	责任编辑	王瑞丽	封面设计	于涛	责任绘图	朱静
版式设计	胡志萍	责任校对	金辉	责任印制	韩刚		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 10
字 数 230 000

版 次 2005 年 7 月第 1 版
印 次 2005 年 7 月第 1 次印刷
定 价 20.70 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 16844-00

前 言

本书是中等职业教育国家规划教材郁兆昌主编《金属工艺学》(工程技术类)和郁兆昌、潘展、高楷模研编制作的《机械制造技术基础——金属工艺学网络课程》的配套教学用书。旨在为教师开展金工教学提供一些帮助,为学生学习金工课程提供学习指导。

编写说明:

1. 本书以教育部颁发的《中等职业学校金属工艺学教学大纲(试行)》为指导、配套的金工教材为依据、金工网络课程为参考编写而成的。编写中贯彻以素质教育为基础、以能力为本位的教学指导思想,注意与教材的紧密联系,突出应用性、实践性的特色,注重创新精神和实践能力的培养。

2. 本书注重助教、导学的功能和实用性。本书以章为单元,提出教学要求,对教材的基本内容作进一步阐述和归纳;提出重点与难点,介绍教材编写意图和内在联系,理清思路;提出教学建议,介绍网络课程的部分内容、生产场景和实践知识,供教师选用,供学生学习。

3. 本书由绪论和三篇共二十章组成,分章介绍教学要求、重点与难点、基本内容和教学建议等内容。书后附有课堂讨论、习题课、综合作业说明书,助学光盘内容目录、主要参考文献等。

4. 本书介绍了教材出版后新颁布的有关国家标准,对部分名词术语、图表资料等进行了补充和更新、比较或说明,既扩大了学生视野,又适应当前生产的需要。

5. 本书注意吸收金工教学改革的新成果,介绍多种教学形式和多媒体课件的应用;适当介绍了新工艺、新技术、新设备,以培养创新精神,提高教学质量。

6. 根据教育部颁发的金工教学大纲的要求和很多学校多年来的教改经验,增编了“课堂讨论、习题课、综合作业说明书”,作为教学上的多种形式和较高要求,供教师选用,学生选学。

7. 本书附配一张光盘,作为本书内容的补充和实践知识的充实,其内容目录附于书后。

本书由郁兆昌主编,参加编写的还有潘展、高楷模等。

本书可供中等职业学校工程技术类各专业教学使用,也可作为工程技术人员和技术工人教学参考书、自学用书或培训教材。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 4 月

目 录

绪论	1	三、基本内容	1
一、教学要求	1	四、教学建议	2
二、重点与难点	1		

第一篇 机械工程材料

第一章 金属的力学性能	3	第七章 铸铁	40
一、教学要求	3	一、教学要求	40
二、重点与难点	3	二、重点与难点	40
三、基本内容	3	三、基本内容	40
四、教学建议	7	四、教学建议	43
第二章 金属的结构与结晶	8	第八章 有色金属及其合金	44
一、教学要求	8	一、教学要求	44
二、重点与难点	8	二、重点与难点	44
三、基本内容	8	三、基本内容	44
四、教学建议	11	四、教学建议	48
第三章 铁碳合金状态图	12	第九章 粉末冶金材料	49
一、教学要求	12	一、教学要求	49
二、重点与难点	12	二、重点与难点	49
三、基本内容	12	三、基本内容	49
四、教学建议	17	四、教学建议	51
第四章 非合金钢(碳钢)	18	第十章 非金属材料	52
一、教学要求	18	一、教学要求	52
二、重点与难点	18	二、重点与难点	52
三、基本内容	18	三、基本内容	52
四、教学建议	21	四、教学建议	55
第五章 钢的热处理	22	第十一章 金属表面处理技术简介	56
一、教学要求	22	一、教学要求	56
二、重点与难点	22	二、重点与难点	56
三、基本内容	22	三、基本内容	56
四、教学建议	33	四、教学建议	59
第六章 低合金钢和合金钢	34	第十二章 零件材料的选用及热处理	60
一、教学要求	34	一、教学要求	60
二、重点与难点	34	二、重点与难点	60
三、基本内容	34	三、基本内容	60
四、教学建议	39	四、教学建议	65

第二篇 金属热加工基础

第十三章 铸造	66	第十五章 焊接	92
一、教学要求	66	一、教学要求	92
二、重点与难点	66	二、重点与难点	92
三、基本内容	66	三、基本内容	92
四、教学建议	81	四、教学建议	100
第十四章 锻压	82	第十六章 毛坯生产方法的选择	101
一、教学要求	82	一、教学要求	101
二、重点与难点	82	二、重点与难点	101
三、基本内容	82	三、基本内容	101
四、教学建议	91	四、教学建议	105

第三篇 金属切削加工基础

第十七章 金属切削基础知识	106	一、教学要求	125
一、教学要求	106	二、重点与难点	125
二、重点与难点	106	三、基本内容	125
三、基本内容	106	四、教学建议	128
四、教学建议	113	第二十章 零件生产工艺过程的基本知识	129
第十八章 金属切削机床及其加工	114	一、教学要求	129
一、教学要求	114	二、重点与难点	129
二、重点与难点	114	三、基本内容	129
三、基本内容	114	四、教学建议	139
四、教学建议	123		
第十九章 精密加工与特殊加工	125		

附 录

附录 1 课堂讨论、习题课、综合作业说明书	140	附录 2 《金属工艺学》教学参考助学光盘目录	146
主要参考文献	150		

绪 论

一、教学要求

初步了解本课程的性质和任务及本课程的教学目标和方法。

二、重点与难点

重点是本课程的教学目标和方法,机械制造过程。难点是机械产品的制造过程。

三、基本内容

金属工艺学是一门以机械制造工艺为主的综合性技术基础课。其任务是使学生通过理论和实践教学,获得常用机械工程材料、金属冷(热)加工的基础知识,初步具有金属加工的操作技能,为学习后续课程及形成综合职业能力打下必要的基础。

机械制造业是在长期生产实践中发展起来的,我国古代在金属加工方面取得的卓越成就就是对世界文明的巨大贡献。我国是世界上使用铜、铁最早的国家,早在4 000年前就开始使用铜。1939年河南安阳出土的商代司母戊大鼎,重875 kg,造型精美,花纹精巧,是迄今世界上最古老的大型青铜器。春秋时期我国开始用铸铁作农具,比欧洲国家早1 800多年。战国时期我国制剑技术已相当高明。出土的秦代铜车马,以它神奇的工艺技巧让世人惊叹不已。西汉时期制作的金缕玉衣举世无双。汉代的长信宫灯、青铜奔马有很高的工艺水平。北宋沈括的《梦溪笔谈》是关于金属制取和加工的重要历史文献。明朝宋应星的《天工开物》是世界上最早的金属工艺科学著作之一。北京大钟寺明代永乐大钟重46.5 t,铸有佛经铭文23万字,钟声悠扬悦耳,是中外有名的古代佛钟王。1958年明十三陵定陵发掘出的万历皇帝金冠、孝端皇后凤冠工艺精湛,反映我国古代劳动人民高度的金属工艺水平和艺术创造才能。

机械制造工业在国民经济中占有非常重要的地位,是国民经济的技术装备部。新中国成立以来,我国已建成产品门类比较齐全,布局比较合理的机械工业体系,为国民经济和国防建设提供了大量自行研制和生产的机械设备。例如,研制生产世界上首台 12.5×10^4 kW双水内冷汽轮发电机组、自行设计制造 1.2×10^4 t自由锻水压机、 3×10^4 t模锻水压机、年产量 20×10^6 t级露天矿开采大型成套设备、载重 30×10^4 t的出口油轮。我国原子弹、氢弹、洲际弹道导弹的制造成功,核动力潜艇的研制与生产,人造地球卫星发射与准确回收,杨利伟乘坐“神舟”五号飞船实现我国首次载人航天飞行。所有这些都与金属加工的发展密切相关。

世界上科学技术日新月异,金属加工技术不断发展,金属和非金属新材料不断涌现。现代精密铸造、精密锻造和粉末冶金技术,使零件加工可以无切削,少切削。热加工毛坯生产向优质、精化、高效、低耗、无害等技术方向发展。随着计算机技术的发展,各种特种加工、计算机数控技术(CNC)、柔性加工系统(FMS)、计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD/CAM)、计算机集成制造系统(CIMS)应运而生,创造着人类文明新的辉煌。

机械零件的制造方法主要有铸造、锻压、焊接、热处理、切削加工和特种加工等。机械制造的一般过程,由原材料到零件,再由零件装配成机器的整个过程可用框图表示,如图 0-1 所示。

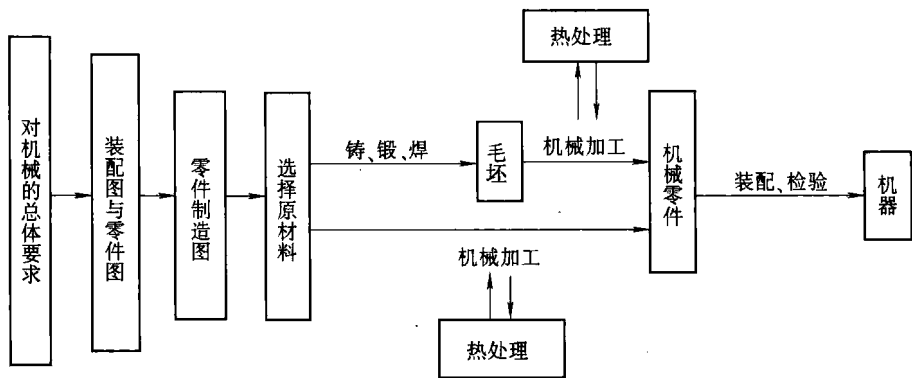


图 0-1 机器制造一般过程框图

本课程的教学目标是：

- (1) 了解常用机械工程材料的类别和用途,初步具有正确使用常用金属材料的能力。
- (2) 了解金属的常用热处理,主要冷、热加工方法的基本原理,工艺特点和应用范围,金属毛坯和零件的常用加工方法,初步具有选用热处理、使用毛坯和确定机械加工工艺路线的能力。
- (3) 了解机械产品制造过程、加工设备及工艺过程。
- (4) 了解与本课程有关的新材料、新工艺、新技术、新设备及其发展趋势。

金属工艺学是实践性和应用性很强的课程,一般应结合实习进行有关理论教学。教学中应把课堂教学、实验、金工实习结合起来,紧密联系生产实践,突出重点与应用。如工程材料的教学,要了解材料宏观性能与材料成分、内部组织结构的关系,突出材料的类别和用途,学会正确使用材料。加工工艺的教学,要了解加工方法与工件材料、结构形状、使用性能、生产批量、加工难易及成本的关系,既能分析技术问题,又会分析经济成本,加深对金属加工工艺特点和应用范围的了解。教学中应安排一定的现场参观、电化教学、课堂讨论、习题课等教学环节,特别是采用有大量实物、生产场景的多媒体教学课件,增强直观性,以利启发思维,培养学生理论联系实际、分析问题和解决问题的能力。

四、教学建议

金属工艺学课程特点是内容丰富,知识面广,实践性、应用性强,名词概念多。由于学生缺少机械生产的感性认识,在学习中不重视或有畏难情绪。因此,上好绪论课尤其重要。借助网络课程和光盘丰富的音像资料,引导学生了解机械制造业的作用、地位与发展;通过我国古代在金属加工方面的卓越成就和新中国成立以来的巨大进步,激发学生爱国主义精神和学习热情;通过机械制造生产场景的介绍,加深学生对课程内容和重要性的认识;如能启发来自各地的学生介绍自己了解或熟悉的中国古代和现代金工成就,组织学生到校内外工厂参观机械产品制造的全过程,定会增加学生学习金属工艺学的兴趣,树立勤奋学习、刻苦钻研,学好本门课程的信心和决心。

第一篇 机械工程材料

第一章 金属的力学性能

一、教学要求

较深入地认识强度、塑性、硬度、韧性的概念及其意义,有一定的分析和运用能力;一般地认识疲劳;进行硬度试验,演示拉伸试验和冲击试验。

二、重点与难点

重点是准确理解常用力学性能的有关名词术语和使用范围;强度、塑性、硬度、韧性指标的表示方法和实际应用;通过实验初步掌握布氏、洛氏硬度的测定方法。难点是小能量多次冲击试验、疲劳强度。

三、基本内容

金属材料因有优良的性能而获得广泛的应用。力学性能是机械制造中最重要的使用性能,它是材料在力作用下所显示的性能,常用的有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

(一) 强度、塑性及其测定

1. 强度

(1) 定义 强度是指金属抵抗永久变形(塑性变形)和断裂的能力。

(2) 判据 常用的是屈服点和抗拉强度。

(3) 测定方法 测定方法为拉伸试验。拉伸试样有规定的形状(圆形、板形)和尺寸(长试样、短试样)。拉伸试验时,试验机自动记录拉伸力与伸长量,得到力-伸长曲线(拉伸曲线),拉伸曲线如图 1-1 所示。其中,

OE ——斜直线,弹性变形阶段。

F_e ——试样完全弹性变形时最大拉应力。

F_s ——试样产生屈服现象(拉伸力不增加,变形量继续增加的现象)时的拉伸力。

F_b ——试样拉断前的最大拉伸力。

(4) 表示方法

① 弹性极限 $\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$, 其中, A_0 为试样原始横截面积, 单位为 mm^2 。

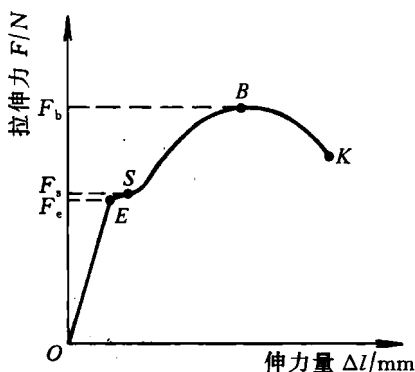


图 1-1 低碳钢的力 - 伸长曲线

② 屈服点 $\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$ 。脆性材料拉伸时没有明显的屈服现象,用条件屈服强度 $\sigma_{r.0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$ 。

③ 抗拉强度 $\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$ 。

(5) 屈强比 σ_s/σ_b 工程用材料还希望有一定屈强比。屈强比小,零件可靠性高;但太小,则强度利用率低。

2. 塑性

(1) 定义 塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。

(2) 判据 是断后伸长率(旧称伸长率、延伸率)和断面收缩率(旧称截面收缩率)。

① 断后伸长率

定义:是指试样拉断后标距的伸长与原始标距的百分比,用 δ 表示。

表示方法: $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$, 其中, l_0 为试样原始标距长度,单位为 mm; l_k 为试样拉断后标距长度,单位为 mm。

δ 大小与试样尺寸有关,同一材料,短试样 $\delta_5 >$ 长试样 δ_{10} (或用 δ 表示)。

② 断面收缩率

定义:是指试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。

表示方法: $\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\%$, 其中, A_0 为试样原始横截面积,单位为 mm^2 ; A_k 为试样拉断后缩颈处最小横截面积,单位为 mm^2 。

(3) δ, ψ 作用 δ, ψ 越大,材料塑性越好,可压力加工成形。若零件使用中稍有超载,不致突然断裂,增加了使用可靠性。

3. 说明

(1) 强度是最重要的力学性能指标,在机械设计和故障分析时,常根据机械零件承载和失效分析,定量计算零件的许用应力,作为零件结构设计、选用材料、判断失效原因的重要依据。

(2) 强度和塑性测定时,试样的截取位置、尺寸大小、热处理工艺、铸件的铸造条件等都与测

定结果(数值)大小有关。另外,实际零件的截面尺寸往往大于试样厚度(或直径)尺寸,零件工作时实际强度数据可能低于手册上数据,使用时也要留意。

(3) GB/T 228—2002 国标于 2002 年 7 月 1 日实施。该国标对原标准的定义、符号、试样、试验要求、性能测定方法等进行了较大的修改和补充。如规定试验一般在室温 10~35℃ 范围内进行;断面收缩率 ψ 改为 Z ;断后伸长率 δ_5 改为 A 、 δ_{10} 改为 $A_{11.3}$;抗拉强度 σ_b 改为 R_m ;屈服点 σ_s 已没有对应的屈服强度等等。详细内容见 GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》。

(二) 硬度及其测定

1. 硬度

(1) 定义 硬度是材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。是衡量材料软硬判据。

(2) 特点与应用 试验设备简单、操作方便、迅速、不损坏被测工件,应用很广。

(3) 常用试验方法 布氏、洛氏、维氏硬度试验法。

① 布氏硬度

原理:用直径 D 的淬火钢球或硬质合金球作压头,以相应的试验力 F 压入试件表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,得到一直径为 d 的压痕。用试验力除以压痕表面积,即得布氏硬度值。

$$\text{公式: HBS (HBW)} = \frac{F}{A_{\text{压}}} = \begin{cases} \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \\ 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \end{cases}$$

试验时只要测出 d 值,通过计算(不常用)或查布氏硬度数值表(常用)即可求得布氏硬度值。

表示方法:不标单位,在 HBS(淬火钢球压头)或 HBW(硬质合金球压头)之前写出硬度值,符号后用数字依次表示压头直径、试验力及保持时间(10~15 s 不标),例如 140HBS 10/1 000/30;500HBW 5/7 500。在零件图或工艺文件上,一般只标出硬度范围和硬度符号,例如 200~230HBS。

优点:试验数据准确、稳定。

缺点:测试较麻烦;压痕大,不宜测薄件或成品件;球形压头会变形或损坏,不宜硬度高的材料。

应用:HBS 测试硬度值小于 450 的材料;HBW 测试硬度值在 450~650 范围的材料。布氏硬度常用来测定铸铁、有色金属、经退火、正火和调质处理的钢材等硬度,如半成品和原材料。

② 洛氏硬度

原理:在初试验力和总试验力的先后作用下,将压头(顶角 120°的金刚石圆锥或 $\phi 1.588 \text{ mm}$ 的淬火钢球)压入试样表面,保持规定时间后,卸除主试验力,测量出残余压痕深度增量,用以计算硬度。

$$\text{公式: HR} = k - \frac{\text{残余压痕深度增量 } h}{0.002}$$

当压头为金刚石圆锥时, k 为 100(读 C 刻度);当压头为淬火钢球时, k 为 130(读 B 刻度)。

HR 没有单位,HR 越大,硬度越高。数值从表盘上直接读出。

常用试验规范:见表 1-1(详见 GB/T 230.1—2004)。

表 1-1 常用洛氏硬度试验规范

硬度符号	压头类型	初试验力 F_0 /N	主试验力 F_1 /N	总试验力 F /N	适用范围
HRA	金刚石圆锥	98.07	490.3	588.4	20 HRA ~ 88 HRA
HRB	直径 1.587 5 mm 球	98.07	882.6	980.7	20 HRB ~ 100 HRB
HRC	金刚石圆锥	98.07	1 373	1 471	20 HRC ~ 70 HRC

优点:操作简便,迅速、压痕小,可测试成品表面及较硬、较薄的工件。

缺点:因压痕小,对组织、硬度不均匀的材料,硬度值波动较大,准确性不如布氏硬度高。

应用:主要应用于测定钢铁、有色金属、硬质合金等的硬度。

③ 维氏硬度

原理:与布氏硬度相似,根据压痕单位面积上的试验力来计量硬度值。不同的是压头采用相对两面间夹角为 136°的正四棱锥金刚石。

公式: $H_v = 0.102 \frac{F}{A_0} = 0.189 \frac{F}{d^2}$ 。测出压痕对角线平均长度 d ,查表得出硬度值。

优点:试验力小,压痕浅,轮廓清晰,数值准确,试验力范围大,可测很软到很硬材料的硬度,且硬度值能直接进行比较。

缺点:测试较麻烦,不宜用于成批生产的常规检验。

应用:主要应用于测试薄片材料,金属镀层及零件表面硬化层的硬度。

2. 说明

(1) 硬度试验设备简单、操作方便、迅速、适应软硬材料范围广,不损坏被测工件。根据测得的硬度值,还能近似地估计金属的强度值。材料的硬度与耐磨性关系密切,一般硬度越高,耐磨性越好,因而被广泛地应用。

(2) 黑色金属硬度及强度换算值参阅 GB/T 1172—1999;铜合金硬度及强度换算值参阅 GB/T 3771—1983(适用于黄铜和铍青铜);铝合金硬度与强度换算值参阅 GB/T 166—1982。

(3) 零件图上力学性能判据,一般只标出硬度值,标定值允许有一定的波动范围,布氏硬度为 30~40,洛氏硬度值为 5。例如,调质 220~250HBS,淬火、回火 40~45HRC。

(4) 各种硬度试验法测得的硬度值不能进行直接比较,必须通过硬度换算表换算成同一种硬度值后(例 H_v),方能比较硬度高低。

(5) 布氏硬度试验方法发布了新国标,修改内容举例如下:

取消了用钢球压头进行试验的规定;试样厚度至少应为压痕深度的“10”倍,改为“8”倍;两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的“4”倍改为“3”倍等。详见 GB/T 231.1—2002。

(6) 洛氏硬度试验方法新国标修改内容举例如下:

洛氏硬度试验标尺把洛氏表面硬度 N 和 T 标尺合在一起,改为十一种。增加硬质合金球压头,使用钢球压头,硬度符号后面加“S”;使用硬质合金压头,硬度符号后面加“W”,例如 60 HRBW,表示用硬质合金压头在 B 标尺上测得的硬度值为 60。试样或试验层厚度应不小于残余

压痕深度的“10”倍,改为用球压头试验时为“15”倍,用金刚石圆锥压头试验时仍为“10”倍。两相邻压痕中心之间的距离不得小于1 mm,改为不应小于2 mm等。详见 GB/T 230.1—2004。

(7) 维氏硬度试验方法发布了新国标,修改内容举例如下:

将原先按三个试验力范围测定维氏硬度的计算表合并在一个计算表中。压痕中心距试样边缘的距离由有色金属 $\geq$ 压痕对角线平均值的5倍改为轻金属、铅、锡及合金 ≥ 3 倍。两相邻压痕中心间距,由有色金属 ≥ 5 倍,改为轻金属、铅、锡及合金 ≥ 6 倍。平面上压痕两对角线长度之差 $\leq$ 短对角线长度的2%,改为 $\leq$ 对角线平均值的5%,如超过了,应在试验报告中注明等。详见 GB/T 4340.1—1999。

(三) 韧性、疲劳强度及其测定

1. 韧性

(1) 定义 韧性是指金属在断裂前吸收变形能量的能力。

(2) 判据 通过冲击试验来测定,国标已规定 A_k 为韧性判据。

(3) 摆锤式一次冲击试验

① 冲击吸收功 A_k 是指试样在冲击试验力一次作用下折断时所吸收的功。 $A_k = mg(h_1 - h_2)$ 。 A_k 值可从试验机刻度盘上直接读出。

② 冲击韧度 $a_k = \frac{A_k}{A}$ 是指冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功。

③ 韧脆转变温度 A_k 随温度降低而减小,在某一温度区域, A_k 急剧变化。此温度区域称为韧脆转变温度。

(4) 小能量多次冲击试验

① 多冲抗力是指金属材料抵抗小能量多次冲击的能力。

② 多冲抗力表示方法为用一定冲击能量下冲断周次 N 表示。

③ 影响多冲抗力因素,当冲击能量高时,主要决定于材料的韧性;当冲击能量低时,主要决定于强度。

2. 疲劳强度

(1) 金属疲劳定义是指零件在循环应力作用下,在一处或几处产生局部永久性累积损伤,经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程,称为金属疲劳。

(2) 金属疲劳判据为疲劳强度。试验证明,当交变应力 σ 低于某一数值时,材料可经无数次循环应力作用而不断裂,这一应力称为疲劳强度。光滑试样对称弯曲疲劳强度用 σ_{-1} 表示。在工程上,是指在一定的应力循环次数下不发生断裂的最大应力。一般规定钢铁材料的应力循环次数取 10^7 ;有色金属取 10^8 。

(3) 影响疲劳强度因素为零件外形、表面质量、受力状态、周围介质等。提高疲劳强度方法为合理设计零件结构、避免应力集中、降低表面粗糙度值、进行表面滚压、喷丸处理、表面热处理等。

四、教学建议

对力学性能的测定原理只作一般了解,重点在表示方法和实际应用上;本章内容的实践性、应用性很强,应组织好硬度试验、演示好拉伸及冲击试验;利用网络课程和光盘对各种力学性能试验的现场实录资料,在课堂教学中或实验前进行播放,增加学生感性认识,加深理解。

第二章 金属的结构与结晶

一、教学要求

初步认识纯金属的晶体结构与结晶;一般认识合金的晶体结构与结晶。

二、重点与难点

重点是常见的金属晶格类型、金属的同素异晶转变、合金的结构。难点是合金的结晶。

三、基本内容

(一) 金属的晶体结构

1. 晶体结构基本知识

(1) 晶体 是原子按一定几何形状作有规律排列的固体。如金刚石、石墨、金属与合金等。

(2) 非晶体 是原子无规律杂乱地堆积的固体。如松香、玻璃、沥青等。

(3) 晶格 用于描述原子在晶体中规律排列方式的空间格子称为结晶格子,简称晶格。晶格中直线交点称为结点。

(4) 晶胞 是晶格中能代表原子排列规律的基本几何单元。

(5) 单晶体 是晶体内部原子排列方向(称晶格位向)完全一致的晶体。

(6) 多晶体 由许多小晶体(单晶体)组成的晶体。

(7) 晶粒 多晶体材料内以晶界分开、晶格排列方向基本相同的小晶体,称为晶粒。

(8) 晶界 多晶体材料中相邻晶粒的界面称为晶界。

(9) 各向异性 性能随方向而不同称为各向异性。

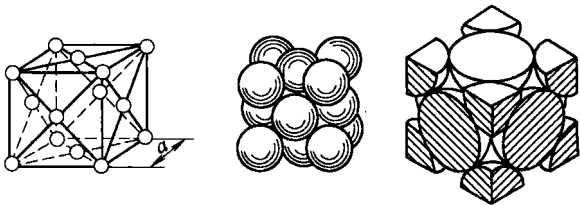
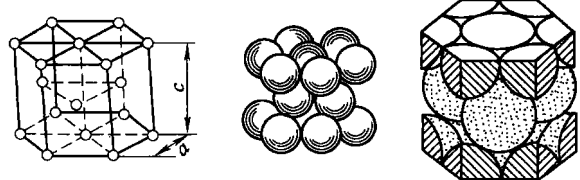
(10) 各向同性 不同方向上的性能相同称为各向同性。

常见的金属晶格类型见表 2-1。

表 2-1 常见的金属晶格类型

名称	示意图	原子排列	常见金属
体心立方晶格		晶胞是一个立方体,在立方体的八个顶角和立方体的中心各有一个原子	铬(Cr)、钨(W)、钼(Mo)、钒(V)、铌(Nb)和 α -铁(α -Fe)等

续表

名称	示意图	原子排列	常见金属
面心立方晶格		晶胞是一个立方体,在立方体的八个顶角和立方体的六个面的中心各有一个原子	铝(Al)、铜(Cu)、镍(Ni)、铅(Pb)和 γ -铁(γ -Fe)等
密排六方晶格		晶胞是一个六方柱体,六方柱体的各个角和上下底面中心各有一个原子,在顶面和底面间还有三个原子	镁(Mg)、锌(Zn)、铍(Be)、镉(Cd)和 α -钛(α -Ti)等

2. 金属的实际晶体结构

(1) 多晶体结构,表现为各向同性。

(2) 存在晶体缺陷。

① 原因 原子热运动、结晶和加工等影响。

② 定义 晶体中原子规律排列受到破坏的区域称为晶体缺陷。

③ 种类 点缺陷(晶格空位、间隙原子)、线缺陷(位错)和面缺陷(晶界)。

④ 影响 通常,造成晶格畸变,使强度、硬度有所提高。

(二) 纯金属的结晶

1. 纯金属冷却曲线

纯金属的冷却曲线如图 2-1 所示。

(1) 定义 液态金属在缓慢冷却过程中,记录温度、时间,作出温度-时间曲线,称为冷却曲线。

(2) 测绘方法 热分析法。

(3) 图形及分析

① 斜线表示液态(固态)金属向周围散热,使温度随时间而降低。

② 水平线表示液态金属结晶时有结晶潜热放出,补偿了金属散热,即结晶过程中温度不变。

③ t_0 对应理论结晶温度。

④ t_1 为生产中实际结晶温度。

⑤ 过冷现象:实际结晶温度低于理论结晶温度的现象。

2. 过冷度

(1) 定义 t_0 与 t_1 之差($t_0 - t_1$)称为过冷度 Δt 。

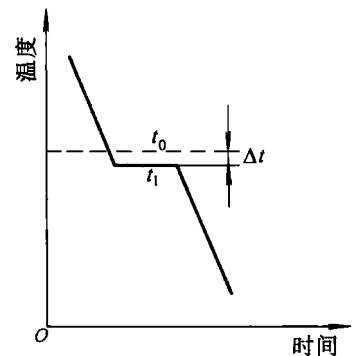


图 2-1 纯金属的冷却曲线

(2) 影响因素 冷却速度、金属性质及纯度。冷速越快, Δt 越大, 结晶越滞后。

(3) 作用 过冷是金属结晶的必要条件。

3. 晶粒大小及细化方法

金属结晶过程是一个不断形成晶核和晶核不断长大的过程。

(1) 晶粒大小原因 由于金属性质和结晶条件的不同, 金属凝固后, 晶粒有粗有细。

(2) 晶粒大小作用 通常, 细晶粒金属的强度比粗晶粒高, 塑性、韧性也好。

(3) 晶粒大小表示方法 常用晶粒平均直径或单位横截面上晶粒数目来表示。

(4) 细化晶粒方法

① 增加过冷度 形核率增加快, 晶核数显著增加, 使晶粒细化。

② 变质处理 加入变质剂, 充当人工晶核, 使晶粒细化。

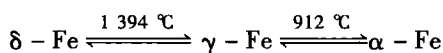
③ 附加振动 液态金属结晶时, 采用机械、超声波、电磁等振动, 破碎晶粒, 增多晶核, 从而细化晶粒。

4. 金属同素异晶转变

金属同素异晶转变举例如图 2-2 所示。

(1) 定义 在固态下, 金属晶格类型随温度而发生变化的现象称为同素异晶(或同素异构)转变。

(2) 存在的证据 纯铁丝通电加热实验, 纯铁的冷却曲线为



体心立方晶格 面心立方晶格 体心立方晶格

(3) 特点 发生在固态, 经历生核—长大的结晶过程, 有结晶潜热产生, 在恒温下进行。又称为重结晶。

(4) 作用 铁的同素异晶转变是钢铁能热处理强化的基础, 也是钢铁材料品种多样、应用广泛的重要原因。

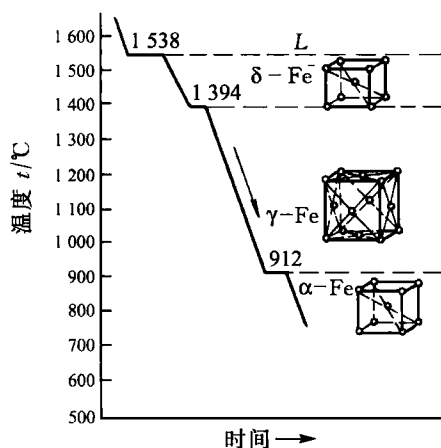


图 2-2 纯铁的冷却曲线

(三) 合金的结构与结晶

1. 合金的基本概念

(1) 合金 是指两种或两种以上的金属元素, 或金属与非金属元素组成的具有金属特性的物质。

(2) 组元 组成合金最基本的、独立的物质称为组元(元)。

(3) 合金系 由若干给定组元可配制成一系列成分不同的合金, 构成一个合金系统, 简称合金系。

(4) 相 指金属组织中化学成分、晶体结构和物理性能相同的组分。

(5) 组织 指用金相法看到的形态、尺寸和分布方式不同的一种或多种相构成的总体。

(6) 显微组织 用光学显微镜或电子显微镜观察到的组织称为显微组织。

(7) 固溶体 是指合金在固态下, 组元间能互相溶解而形成的均匀相。

- (8) 置换固溶体 指溶质原子占据部分溶剂晶格结点位置而形成的固溶体。
- (9) 间隙固溶体 指溶质原子分布在溶剂晶格间隙处而形成的固溶体。
- (10) 金属化合物 是指合金组元间相互作用而生成的具有金属特性的一种新相。
- (11) 机械混合物 由两相或多相按固定比例构成的组织称为机械混合物。

2. 合金的结构

(1) 固溶体

① 组成 溶剂(各组元中,与固溶体晶格类型相同的组元,含量较多)和溶质(其他组元,含量较少)。

② 种类 置换固溶体(无限固溶体和有限固溶体)和间隙固溶体(都是有限固溶体)。

③ 作用 溶质原子溶入溶剂晶格中导致固溶体晶格畸变,使合金强度、硬度升高,称“固溶强化”。

(2) 金属化合物

① 特点 有一定的化学成分,可用分子式(例 Fe_3C 、 VC)表示;晶格类型不同于它的任一组元;性能也与组元不同,一般熔点高、硬而脆。

② 作用 细小均匀分布在固溶体基体上时,能提高合金的强度、硬度和耐磨性,称弥散强化。金属化合物越稳定、越硬、越细小、分布越均匀,强化效果越好。

(3) 合金的基本相 包括纯金属、固溶体、金属化合物。基本相可构成机械混合物组织。

(4) 机械混合物

① 特点 各组成相仍保持各自的晶格和性能。机械混合物性能介于各组成相性能之间,并由它们的大小、形状、分布及数量而定。

② 应用 工业上大多数合金属于机械混合物,如钢、生铁、铝合金等。

(5) 合金的结晶

① 特点 遵循生核与长大的规律,结晶过程有潜热放出;结晶在某一温度范围内进行,且各相成分还发生变化;结晶过程复杂,要用合金状态图来表示。

② 合金状态图 是在十分缓慢的冷却条件(平衡条件)下,合金组织、成分与温度之间关系的图解,又称合金相图或合金平衡图。在下章中结合实际进行介绍。

四、教学建议

本章概念多、名词术语多,应重视基本术语的学习,加深理解和分析各概念之间的区别和联系。要准确认识金属的晶体结构、微观组织特征、及其与材料宏观性能的关系;要准确理解和认识同素异晶现象,它是钢铁材料进行热处理强化的基础。教学中要充分运用网络课程和光盘提供的资料,增加直观性,加深理解。