



普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

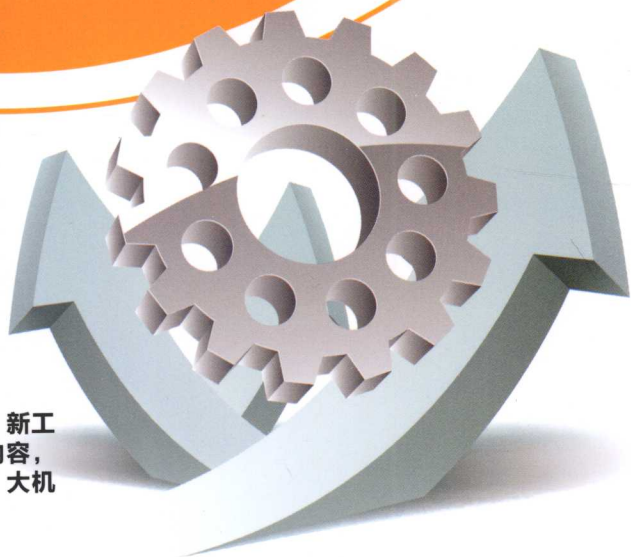
机械制造 基础

◎ 关跃奇 主 编

本书以加工方法为主线，
着重分析各种加工方法的原理、
过程和结构工艺性

本书充实了新材料、新工艺和新方法的“三新”内容，
试图培养学生“大材料、大机械、大制造”的观念

全书采用国家最新标准；
在各章后均附有思考与练习题；
配有PPT课件，方便老师备课



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

014055899

TH16-43
211

内容简介

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

机械制造基础

主 编 关跃奇

副主编 白 泉 陈国强
蒋俊香 刘军安 茅 健



北航

C1741390

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了机械制造基础的基本知识。全书共分3篇10章。第1篇为“工程材料基础”，主要阐述了金属材料的性能，金属的内部结构与结晶，热处理方法和常用工程的种类及其选择；第2篇为“材料成形工艺基础”，主要阐述毛坯成形方法的工艺基础，成形方法和结构设计；第3篇为“机械制造工艺基础”，主要阐述零件加工方法的基础知识，常用加工方法综述和零件的结构设计，同时介绍现代制造技术。全书按照宽而不散、少而精，兼顾课堂教学和自学需要的原则进行选材，对传统机械制造基础的内容进行优化整合，注重实用。每章附有思考与练习题，便于学生复习掌握各章知识点。

本书可满足应用型本科、高职高专、成人高校机电类及近机类专业的教学需要，也可供机械制造工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/关跃奇主编. —北京: 电子工业出版社, 2014.7

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

ISBN 978-7-121-23091-2

I. ①机… II. ①关… III. ①机械制造—高等学校—教材 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第084789号

策划编辑: 李 洁 (lijie@phei.com.cn)

责任编辑: 谭丽莎

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订: 北京季蜂印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 441千字

版 次: 2014年7月第1版

印 次: 2014年7月第1次印刷

定 价: 39.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

专 家 编 审 委 员 会

主 任 委 员 黄传真

副主任委员 许崇海 张德勤 魏绍亮 朱林森

委 员（排名不分先后）

李养良	高 荣	刘良文	郭宏亮	刘 军
史岩彬	张玉伟	王 毅	杨玉璋	赵润平
张建国	张 静	张永清	包春江	于文强
李西兵	刘元朋	褚 忠	庄宿涛	惠鸿忠
康宝来	宫建红	李西兵	宁淑荣	许树勤
马言召	沈洪雷	陈 原	安虎平	赵建琴
高 进	王国星	张铁军	马明亮	张丽丽
楚晓华	魏列江	关跃奇	沈 浩	鲁 杰
胡启国	陈树海	王宗彦	刘占军	

前 言

制造技术是将制造资源（物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等），按照市场要求，通过制造过程，转化为可供人们使用和利用的工业品与生活消费品的应用技术，它既是科学技术走向实际应用的接口和桥梁，又是推动科学向前发展的基础。先进的制造技术对于创造物质财富和发展科学技术具有十分重要的意义。

制造业已成为各工业发达国家基本的支柱产业，所制造的物质财富达到整个国民经济总量的一半以上；要使国家和民族繁荣富强，必须大力创新制造技术，大力发展现代制造业。先进制造技术与现代科学技术密不可分，因此，制造技术教育必须适应科学技术的发展，必须适应现代制造业的需要，教育观念、教学内容、教学方法与手段都必须更新。

本书是根据教育部基础课程教学指导委员会颁布的“机械制造基础教学基本要求”，认真总结国内各兄弟院校关于本课程教学内容与课程体系教学改革的经验，并结合编者的教学实践，经结构优化、整合而成的一本强调应用基础知识的机械类专业基础课程教材，同时注重实践能力和创业能力培养的特点，着重培养既能动脑又能动手的应用型技术人才。

本书的编写主要有以下特点：

- ◆ 本书以加工方法为主线，着重分析各种加工方法的原理、过程和结构工艺性；
- ◆ 坚持“少而精”的原则，做到内容够用，重点突出；
- ◆ 充实了新材料、新工艺和新方法的“三新”内容，试图培养学生“大材料、大机械、大制造”的观念；
- ◆ 全书采用法定计量单位，材料牌号、工艺术语等全面贯彻国家最新标准；
- ◆ 在各章的后面都附有思考与练习题，以加强学生对基本概念的理解，培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等工科院校机械类、近机械类各专业的《机械制造基础》课程的通用教材，也可供有关工程技术人员参考使用。本书配有 PPT 课件，可登录电子工业出版社华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）注册后免费下载。

全书由湖南工程学院关跃奇负责全书的统稿工作，并编写了前言、篇序、第 2 章、第 10 章；吉林农业科技学院蒋俊香编写了第 1 章、第 9 章；湖南工程学院刘军安编写了第 3 章；上海工程技术大学茅健编写了第 4 章；湖南工程学院陈国强编写了第 5 章、第 6 章；湖南工程学院白泉编写了第 7 章、第 8 章。

由于编者水平有限，书中难免出现错误与不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 2 月

目 录

第1篇 工程材料基础

第1章 金属材料	(2)
1.1 金属材料的结构	(2)
1.1.1 金属的晶体结构	(2)
1.1.2 合金的晶体结构	(3)
1.1.3 金属的结晶	(5)
1.2 金属材料的性能	(6)
1.2.1 金属材料的力学性能	(6)
1.2.2 金属材料的物理性能和化学性能	(11)
1.2.3 金属材料的工艺性能	(12)
1.3 铁碳合金	(12)
1.3.1 铁碳合金的基本组织和性能	(12)
1.3.2 铁碳合金相图	(13)
1.3.3 铁碳合金的组织转变	(14)
1.3.4 铁碳合金相图的应用	(15)
1.4 常用金属材料	(16)
1.4.1 碳素钢分类和牌号	(16)
1.4.2 合金钢及其牌号	(18)
1.4.3 铸铁和铸钢	(19)
1.4.4 有色金属	(21)
1.5 钢的热处理	(23)
1.5.1 热处理过程中的组织转变	(23)
1.5.2 钢的热处理工艺	(25)
思考与练习题	(27)
第2章 非金属材料与新型材料	(29)
2.1 非金属材料	(29)
2.1.1 非金属材料的性能	(29)
2.1.2 高分子材料	(31)
2.1.3 陶瓷材料	(35)
2.2 新型材料	(37)
2.2.1 复合材料	(37)
2.2.2 磁性材料	(38)
2.2.3 超导材料	(39)
2.2.4 形状记忆合金	(39)
2.2.5 纳米材料	(40)
思考与练习题	(42)

第2篇 材料成形工艺基础

第3章 铸造成形	(44)
3.1 概述	(44)
3.2 铸造成形基础	(44)
3.2.1 金属的流动性	(44)
3.2.2 金属的收缩性	(46)
3.3 砂型铸造	(47)
3.3.1 砂型铸造生产过程	(47)
3.3.2 造型材料	(47)
3.3.3 造型方法	(48)
3.3.4 合金的熔炼和浇注	(50)
3.3.5 落砂、清理与检验	(53)
3.3.6 铸造生产常见缺陷	(53)
3.4 铸造工艺设计	(55)
3.4.1 浇注位置的确定	(55)
3.4.2 分型面的选择	(56)
3.4.3 铸造工艺参数	(57)
3.5 铸造结构的工艺性	(58)
3.5.1 铸造工艺对铸件结构的要求	(58)
3.5.2 铸造性能对铸件结构的要求	(59)
3.6 特种铸造方法	(60)
3.6.1 熔模铸造	(60)
3.6.2 金属型铸造	(62)
3.6.3 离心铸造	(63)
3.6.4 压力铸造	(65)
思考与练习题	(66)
第4章 锻压成形	(68)
4.1 概述	(68)
4.2 锻压成形基础	(69)
4.2.1 金属塑性变形的实质	(69)
4.2.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	(70)
4.2.3 金属的锻造性能	(72)
4.3 自由锻	(73)
4.3.1 自由锻的特点及应用	(73)
4.3.2 自由锻的基本工序	(73)

4.3.3 自由锻设备·····	(75)	第6章 粉末冶金和非金属材料成形工艺···	(119)
4.3.4 自由锻的结构工艺性·····	(76)	6.1 粉末冶金工艺·····	(119)
4.4 模锻·····	(77)	6.1.1 概述·····	(119)
4.4.1 模锻的特点及应用·····	(77)	6.1.2 粉末冶金工艺过程·····	(119)
4.4.2 模锻的种类·····	(78)	6.2 非金属材料成形工艺·····	(122)
4.4.3 模锻的结构工艺性·····	(82)	6.2.1 高分子材料成形·····	(122)
4.5 板料冲压·····	(83)	6.2.2 工业陶瓷成形·····	(128)
4.5.1 板料冲压的特点及应用·····	(83)	6.2.3 复合材料成形·····	(128)
4.5.2 板料冲压的基本工序·····	(84)	思考与练习题·····	(130)
4.5.3 板料冲压的结构工艺性·····	(87)	第3篇 机械制造工艺基础	
4.6 锻压成形新工艺·····	(89)	第7章 金属切削加工基础·····	(132)
4.6.1 精密模锻·····	(89)	7.1 金属切削加工的基础知识·····	(132)
4.6.2 轧制成形·····	(90)	7.1.1 切削加工概述·····	(132)
4.6.3 挤压成形·····	(91)	7.1.2 切削运动与切削要素·····	(132)
4.6.4 拉拔成形·····	(91)	7.1.3 切削刀具材料·····	(134)
4.6.5 爆炸成形·····	(92)	7.1.4 刀具切削部分的几何角度···	(136)
4.6.6 电磁冲压成形·····	(92)	7.1.5 切削过程的一般规律·····	(140)
4.6.7 超塑性成形·····	(93)	7.2 金属切削机床·····	(150)
思考与练习题·····	(93)	7.2.1 金属切削机床的基础知识···	(150)
第5章 焊接成形·····	(94)	7.2.2 零件表面的切削加工成形 方法和机床的运动·····	(155)
5.1 概述·····	(94)	7.2.3 机床的传动·····	(157)
5.2 焊接成形基础·····	(95)	7.2.4 数控机床简介·····	(160)
5.2.1 焊接电弧·····	(95)	思考与练习题·····	(165)
5.2.2 焊接过程·····	(95)	第8章 常用零件表面的加工方法·····	(166)
5.2.3 焊接接头的组织与性能·····	(96)	8.1 外圆表面加工·····	(166)
5.2.4 金属材料的焊接性·····	(97)	8.1.1 外圆表面的加工方法·····	(166)
5.2.5 常见的焊接缺陷及检验·····	(97)	8.1.2 外圆表面的车削加工·····	(167)
5.3 常用焊接方法·····	(99)	8.1.3 外圆表面的磨削加工·····	(173)
5.3.1 焊条电弧焊·····	(99)	8.2 内圆表面加工·····	(179)
5.3.2 埋弧焊·····	(101)	8.2.1 内圆表面的加工方法·····	(179)
5.3.3 气体保护电弧焊·····	(101)	8.2.2 钻削加工·····	(180)
5.3.4 气焊与气割·····	(104)	8.2.3 镗削加工·····	(185)
5.3.5 压焊·····	(106)	8.2.4 拉削加工·····	(188)
5.3.6 钎焊·····	(109)	8.2.5 内圆磨削·····	(191)
5.3.7 特种焊接方法·····	(110)	8.3 平面加工·····	(193)
5.4 焊接结构工艺设计·····	(113)	8.3.1 平面加工方法·····	(193)
5.4.1 焊接件材料的选择·····	(113)	8.3.2 刨削与插削加工·····	(194)
5.4.2 焊接方法的选择·····	(114)	8.3.3 铣削加工·····	(197)
5.4.3 焊接接头及坡口形式的 选择·····	(114)	8.3.4 平面磨削加工·····	(204)
5.4.4 焊缝的合理布置·····	(116)	思考与练习题·····	(206)
思考与练习题·····	(117)		

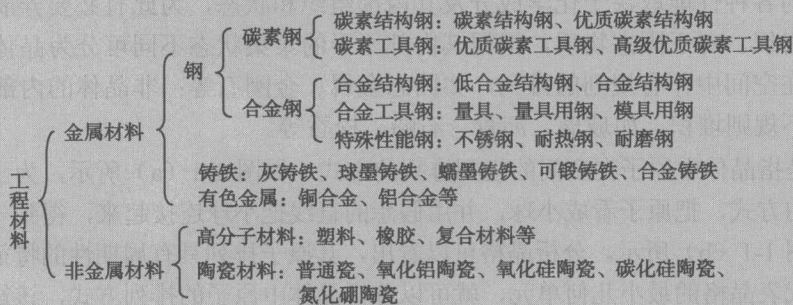
第9章 机械加工工艺过程的基础知识·····	(207)	10.2.2 超精密加工环境·····	(229)
9.1 机械加工工艺过程·····	(207)	10.3 快速成形·····	(230)
9.1.1 概述·····	(207)	10.3.1 快速成形的工艺过程·····	(230)
9.1.2 机械加工工艺过程的组成·····	(207)	10.3.2 典型的快速成形工艺方法·····	(231)
9.1.3 工件工艺规程的制定·····	(210)	10.4 再制造·····	(234)
9.2 零件的机械加工工艺性·····	(214)	10.4.1 再制造概述·····	(234)
9.2.1 切削加工对零件结构的要求·····	(214)	10.4.2 再制造工程的关键技术·····	(234)
9.2.2 机械零件加工工艺性典型实例·····	(214)	10.4.3 应急快速维修技术·····	(236)
思考与练习题·····	(216)	10.5 先进制造生产模式·····	(237)
第10章 现代制造技术·····	(218)	10.5.1 并行工程·····	(237)
10.1 特种加工·····	(219)	10.5.2 精益生产·····	(239)
10.1.1 特种加工方法概述·····	(219)	10.5.3 虚拟制造·····	(240)
10.1.2 典型的特种加工方法·····	(220)	10.5.4 敏捷制造·····	(242)
10.2 精密和超精密加工·····	(227)	10.5.5 绿色制造·····	(242)
10.2.1 精密加工和超精密加工概述·····	(228)	思考与练习题·····	(244)
		参考文献·····	(246)

第1篇

工程材料基础

材料是人类用来制作各种产品的物质。人类生活与生产都离不开材料，它的品种、数量和质量是衡量一个国家现代化程度的重要指标。现代材料种类繁多，据粗略统计，目前世界上的材料总和已达 50 余万种。材料有许多不同的分类方法，机械工程中使用的材料常按化学组成分成金属材料、非金属材料两大类。

常用工程材料主要分为以下类型：



机械制造业中的各种产品都是由种类繁多、性能各异的工程材料通过各种加工方法制成的零件构成的。

工程材料是指固体材料领域中与工程（结构、零件、工具等）有关的材料，包括金属材料和非金属材料等。金属材料因具有良好的力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能而成为机器零件最常用的材料。

本篇主要介绍金属材料的结构、分类，常用金属材料的性能及改善性能所采用的热处理方法，使读者掌握金属材料的成分、组织和性能之间的关系，为合理选择材料和制订加工工艺打下基础。

第 1 章 金属材料

目前机械工业生产中应用最广的仍是金属材料，在各种机器设备所用的材料中，金属材料约占 90%以上。这是由于金属材料不仅来源丰富，而且还具有优良的力学性能、物理性能、化学性能和易于用各种加工方法成形的工艺性能。其优良的使用性能可满足生产和生活上的各种需要；优良的工艺性能则可使金属材料易于采用各种加工方法，制成各种形状、尺寸的零件和工具。金属材料还可通过不同的成分配制、不同的加工和热处理来改变组织和性能，从而进一步扩大使用范围。

1.1 金属材料的结构

1.1.1 金属的晶体结构

金属材料的各种性能取决于化学成分及其内部组织和状态，为此有必要弄清楚金属原子的聚集状态及其组织。对于固态物质，根据其内部原子的聚集状态不同可分为晶体和非晶体。晶体的内部原子在空间中作有规则的排列，如固态金属、金刚石等；非晶体的内部原子在空间中作杂乱无章的不规则堆积，如玻璃、沥青、石蜡、松香等。

晶体结构是指晶体中原子在空间的规则排列的方式，如图 1-1 (a) 所示，为了便于描述晶体内部原子排列的方式，把原子看成小球，并用假想的直线把小球连接起来，得到一个空间格架，称为晶格，如图 1-1 (b) 所示。分析晶格可以看出，其原子排列具有周期性的特征，因此只要取出一个能完全代表晶格的最小几何单元，就可以分析晶体中原子的排列方式，该最小几何单元称为晶胞，如图 1-1 (c) 所示。晶胞的各个棱边的长度称为晶格常数，单位为埃 ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$)。

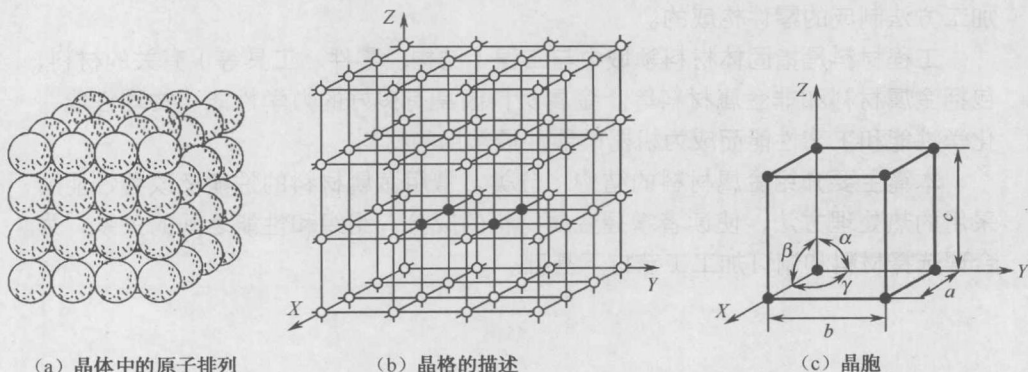


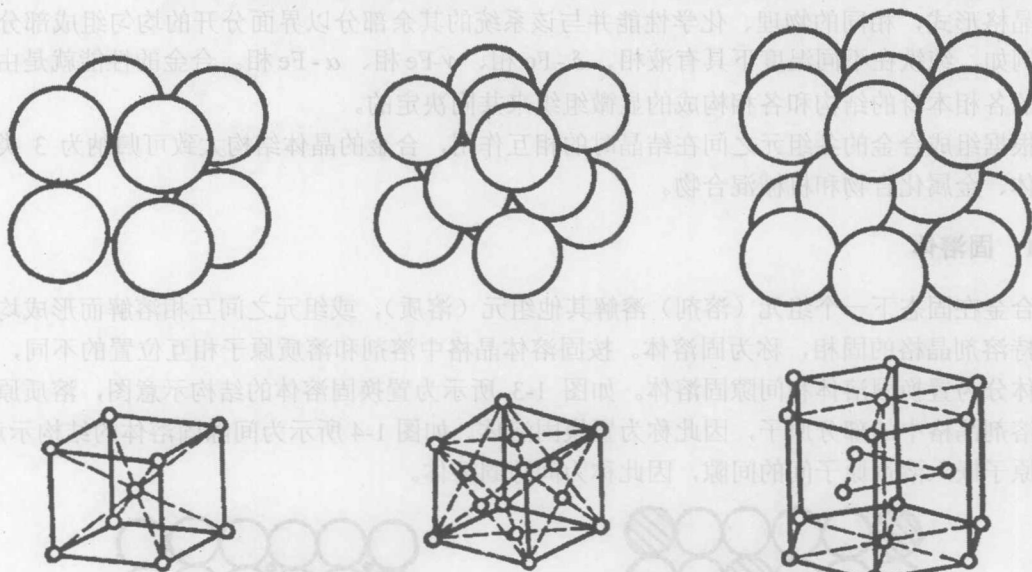
图 1-1 晶体结构示意图

不同种金属的晶体结构是不同的，但工业上常用的金属绝大多数具有比较简单的晶体结构，最常见的有体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。

1. 体心立方晶格

如图 1-2 (a) 所示, 体心立方晶格的晶胞是一个正六方体, 在该立方体的八个角上和中心各排列着一个原子。体心立方晶胞每个角上的原子为相邻的八个晶胞所共有, 因此每个晶胞包含的实际原子数为 $1/8 \times 8 + 1 = 2$ 个。

属于体心立方晶格的金属有 α -Fe, Cr, Mo, W, V 等。它们都有较大的强度和较好的塑性。



(a) 体心立方晶胞

(b) 面心立方晶胞

(c) 密排立方晶胞

图 1-2 常见金属晶格的晶胞

2. 面心立方晶格

如图 1-2 (b) 所示, 面心立方晶格的晶胞也是一个正六方体, 在该立方体的八个角上和六个面的中心各排列着一个原子。面心立方晶胞每个角上的原子为相邻的八个晶胞所共有, 每个面心上的原子为两个晶胞所共有, 因此每个晶胞包含的实际原子数为 $1/8 \times 8 + 1/2 \times 6 = 4$ 个。

属于面心立方晶格的金属有 γ -Fe, Cu, Al, Ni, Ag 等。它们都有较好的塑性。

3. 密排六方晶格

如图 1-2 (c) 所示, 密排六方晶格的晶胞是一个六方柱体, 在该六方柱体的十二个角上和上、下底面的中心各排列着一个原子, 在上、下底面之间还均匀分布着三个原子。密排六方晶胞每个角上的原子为相邻的六个晶胞所共有, 上、下底面中心上的原子为两个晶胞所共有, 晶胞内部的三个原子为该晶胞所独有, 因此每个晶胞包含的实际原子数为 $1/6 \times 12 + 1/2 \times 2 + 3 = 6$ 个。属于密排六方晶格的金属有 Mg, Zn, Be, Cd 等。

由于各种金属的晶格结构和晶格常数不同, 所以它们的性能也不相同。

1.1.2 合金的晶体结构

纯金属一般具有良好的导电性和导热性, 但机械性能较差, 如强度、硬度低, 而且价格贵,

因此在工业生产中应用的大多是合金。

合金是指由两种或两种以上的金属元素或金属元素和非金属元素,通过熔化或其他方法结合而成的具有金属特性的物质。例如,碳素钢和铸铁就是由铁和碳两个元素为主组成的合金,黄铜是由铜和锌组成的合金。

组成合金的独立的、最基本的单元称为组元,组元可以是金属、非金属元素或稳定的化合物。按照组元的数目,合金可分为二元合金、三元合金和多元合金。合金中具有同一化学成分,同一晶格形式,相同的物理、化学性能并与该系统的其余部分以界面分开的均匀组成部分称为相。例如,纯铁在不同温度下具有液相、 δ -Fe相、 γ -Fe相、 α -Fe相。合金的性能就是由组成合金的各相本身的结构和各相构成的显微组织来共同决定的。

根据组成合金的各组元之间在结晶时的相互作用,合金的晶体结构大致可归纳为3类,即固溶体、金属化合物和机械混合物。

1. 固溶体

合金在固态下一个组元(溶剂)溶解其他组元(溶质),或组元之间互相溶解而形成均匀的并保持溶剂晶格的固相,称为固溶体。按固溶体晶格中溶剂和溶质原子相互位置的不同,可将固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体。如图1-3所示为置换固溶体的结构示意图,溶质原子替换了溶剂晶格中的部分原子,因此称为置换固溶体。如图1-4所示为间隙固溶体的结构示意图,溶质原子嵌入溶剂原子间的间隙,因此称为间隙固溶体。

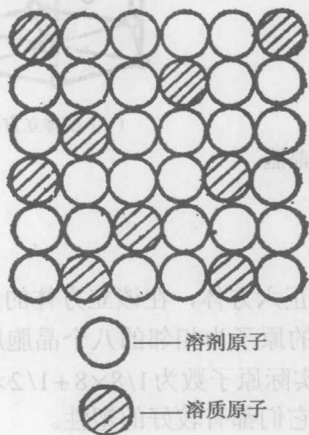


图 1-3 置换固溶体的结构示意图

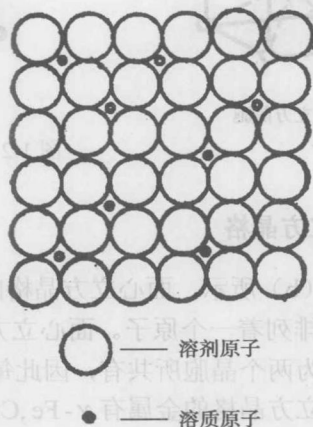


图 1-4 间隙固溶体的结构示意图

当溶质原子溶解在溶剂晶体中时,由于置换固溶体中的溶质原子和溶剂原子的尺寸不同,以及间隙固溶体中的溶质原子一般均比溶剂晶格的间隙尺寸大,所以溶剂的晶格将发生畸变,晶格常数发生变化,如图1-5所示。晶格畸变将使合金的强度、硬度和电阻值升高,塑性、韧性下降,这种现象称为固溶强化。

2. 金属化合物

金属化合物是组成合金的元素相互化合形成一种新的具有金属特性的物质,其晶体结构与性能和原组元均不相同。这种化合物可用分子式来表示。如铁碳合金中铁和碳组成晶格复杂的碳化物渗碳体(Fe_3C)。金属化合物一般具有熔点高、硬度高和脆性大的特点。

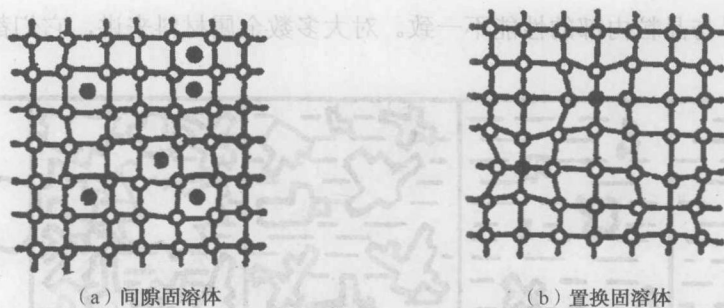


图 1-5 固溶体的晶格畸变

3. 机械混合物

由两种或两种以上的组元、固溶体或金属化合物按一定质量比例组成的均匀物质称为机械混合物。其中各组成部分仍保持各自的晶格类型，在显微镜下可以明显分辨出不同的组成部分。例如，铁碳合金中的珠光体由铁素体和渗碳体组成，在显微镜下可明显区分铁素体和渗碳体。机械混合物的性能取决于各自组成部分的性能和相对数量，还取决于它们的大小、形状和分布。

1.1.3 金属的结晶

金属的结晶是指金属的原子由近程有序状态（液态）转变成远程有序状态（晶态）的过程。这一过程对金属的凝固组织和性能有很大影响。

金属的结晶过程可以用热分析法来研究，如图 1-6 所示为纯金属在非常缓慢地冷却时，温度随时间变化的曲线。该冷却曲线上有一水平段，表明该金属在此温度下由液体状态转变为固体状态，此温度称为结晶温度。在实际结晶过程中，金属液只有冷却到理论结晶温度 T_0 （熔点）以下的某个温度 T_n 时才结晶，这称为过冷。理论结晶温度 T_0 和实际结晶温度 T_n 之差 ΔT 称为过冷度。过冷度和冷却速度有关，冷却速度越大，过冷度越大，金属液的实际结晶温度越低；反之，冷却速度越慢，过冷度越小，实际结晶温度越接近理论结晶温度。

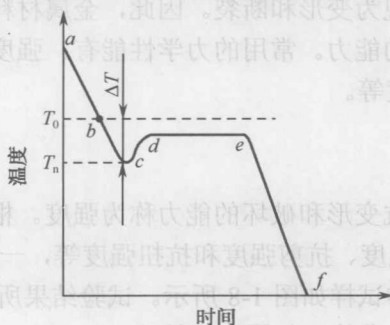


图 1-6 纯金属的冷却曲线

根据实验观察，金属的结晶过程是一个晶体形核和成长的过程。如图 1-7 所示，在液体金属开始结晶时，在液体中某些区域形成一些排列规则的原子团，成为结晶的核心，即晶核。随着凝固过程的继续，原子按一定规律向这些晶核聚集长大，同时，在未凝固区域又形成一些新的晶核，直至各晶核长大后相互接触，液体完全消失。每个晶核成长为一个晶粒，由于各个晶粒成长时的方向不一，大小不等，所以在晶粒和晶粒之间形成界面，称为晶界。晶界上的原子排

列不规则,使晶界与晶粒内部的性能不一致。对大多数金属材料来讲,它们都是由许多晶粒组成的多晶体。

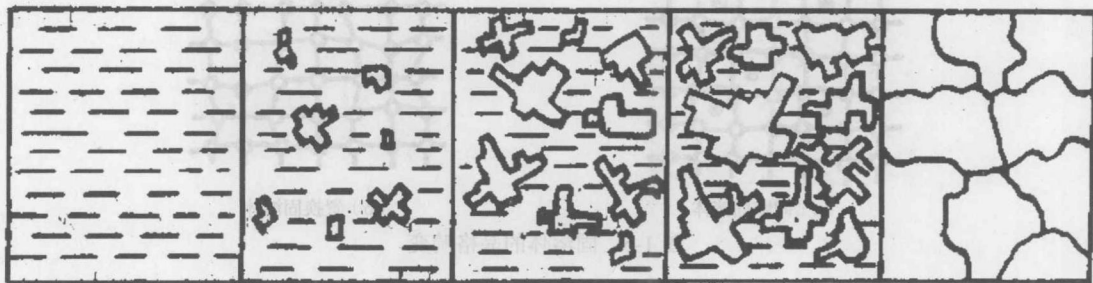


图 1-7 结晶过程示意图

金属凝固后的晶粒大小取决于凝固过程中形核的速度和晶核长大的速度,形核速度越快并且晶核长大速度越慢,晶粒越细。金属的晶粒大小对材料的机械性能有很大影响。晶粒越细,材料的强度和硬度越高,塑性和韧性越好。因为晶粒细小,所以晶界就多,而晶界上的原子排列极不规则,界面犬牙交错,加强了金属原子间的结合力。为此,在工业生产中,人们常用细化晶粒的方法来提高金属材料的机械性能,这称为细晶强化。

1.2 金属材料的性能

由于金属材料的品种很多,并具有各种不同的性能,能满足各种机械的使用和加工要求,故在生产上得到广泛应用。

1.2.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属在不同环境因素(温度、介质)下,承受外加载荷作用时所表现的行为,这种行为通常表现为变形和断裂。因此,金属材料的力学性能可以理解金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。常用的力学性能有:强度、塑性、刚度、弹性、硬度、冲击韧度、断裂韧度和疲劳强度等。

1. 强度

金属材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力称为强度。根据受力形式的不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等,一般以测定材料的抗拉强度为主。

圆形低碳钢抗拉强度的拉伸试样如图 1-8 所示。试验结果所测得的载荷 P 和伸长量 Δl 之间的关系曲线,称为低碳钢的拉伸曲线,如图 1-9 所示。

当材料受外加载荷作用但未引起断裂时,其内部产生与外加载荷相平衡的内力。单位面积上的内力,称为应力。材料强度的高低通常是用应力 σ (单位为 MPa) 表示的,即

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

式中 P ——试验时的外加载荷,单位为 N;

A ——试样的横截面积,单位为 mm^2 。

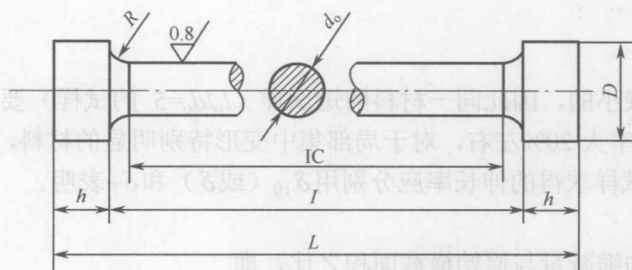


图 1-8 圆形拉伸试样

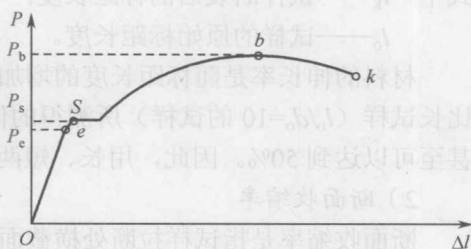


图 1-9 低碳钢的拉伸曲线

应力单位 MPa（兆帕）和 Pa（帕）为国际单位制，目前我国材料手册有的还是应用的工程单位制，即 kgf/mm^2 （公斤力/毫米²），两者的换算关系为 $1\text{kgf/mm}^2 \approx 10\text{MPa} = 10^7\text{Pa}$ 。

1) 弹性极限

弹性极限是材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力值，即

$$\sigma_e = \frac{P_e}{A_0}$$

式中 P_e ——试样发生完全弹性变形的最大载荷；

A_0 ——试样的原始横截面积。

由于弹性极限是表示金属材料在不产生塑性变形时所能承受的最大应力值，故它是工作中不允许有微量塑性变形零件的设计与选材的重要依据。

2) 抗拉强度

抗拉强度是材料在断裂前所能承受的最大应力，用符号 σ_b （单位为 MPa）表示：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0}$$

式中 P_b ——试样被拉断前所承受的最大拉力，单位为 N；

A_0 ——试样原来的横截面积，单位为 mm^2 。

3) 屈服点

试样刚开始产生塑性变形时的最小应力，或试样在拉伸过程中外力不增加但仍能继续伸长时的应力，叫作屈服点，用符号 σ_s （单位为 MPa）表示：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_0}$$

式中， P_s 为试样屈服时所承受的拉力。由于许多金属材料没有明显的屈服现象，屈服点测定比较困难，所以工程上规定试样产生 0.2% 残余塑性变形时的应力作为材料的条件屈服点，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

2. 塑性

塑性是指金属材料在静载荷作用下，产生塑性变形而不破坏的能力。伸长率 δ 和断面收缩率是表示材料塑性好坏的指标。

1) 伸长率（延伸率）

伸长率是指试样拉断后标距增长量与原始标距长度之比，即

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_k ——试样断裂后的标距长度；

l_0 ——试样的原始标距长度。

材料的伸长率是随标距长度的增加而减小的，因此同一材料的短试样 ($l_0/d_0=5$ 的试样) 要比长试样 ($l_0/d_0=10$ 的试样) 所测得的伸长率大 20% 左右，对于局部集中变形特别明显的材料，甚至可以达到 50%。因此，用长、短两种试样求得的伸长率应分别用 δ_{10} (或 δ) 和 δ_5 表明。

2) 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比，即

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_k ——试样断裂处的最小横截面积；

A_0 ——试样的原始横截面积。

虽然塑性指标通常不直接用于工程设计计算，但任何零件都要求材料具有一定塑性，这是因为在零件使用过程中，偶然过载时，能发生一定的塑性变形而不至于突然脆断。同时，塑性变形还有缓和应力集中、削减应力峰的作用，在一定程度上保证了零件的工件安全。此外，各种成形加工（如锻压、轧制、冷冲压等）都要求材料具有一定的塑性。

3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力，也可以看作材料对局部塑性变形的抗力。工程上常用的硬度指标有布氏硬度 (HBS 或 HBW) 和洛氏硬度 (HRC)。

1) 布氏硬度

将直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球，在外力 F 的作用下压入被测金属表面，停留一定时间后将外力去除，然后根据压痕直径 d 的大小，见图 1-10，可通过查表（表上已有硬度值的计算结果）确定材料的硬度值。硬度值的单位习惯上不加标注。根据 GB231—84 规定，布氏硬度符号分别用 HBS 或 HBW 表示，符号前为硬度值，符号后为试验条件。例如，120HBS10/1000/30 表示用直径为 10mm 的钢球在 1000kgf (9.807kN) 试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 120；500HBW5/750 表示用直径为 5mm 的硬质合金球在 750kgf (7.355kN) 试验力作用下保持 10~15s (可以不标注) 测得的布氏硬度值为 500。

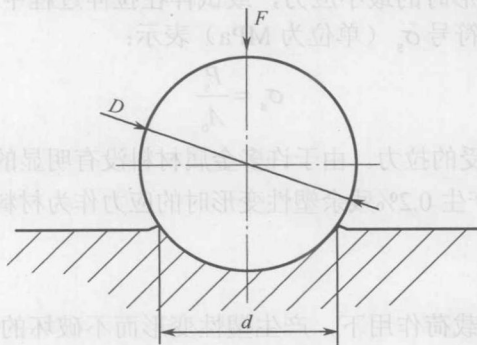


图 1-10 布氏硬度实验原理图

这种方法测定的硬度值准确。HBS 主要用于测定硬度不高的金属材料 ($HBS > 450$)，如灰铸铁、有色金属，以及一般经退火、正火和调质处理的钢材；HBW 适用于测定硬度较高的金属材料 ($HBW \leq 650$)。

2) 洛氏硬度

将顶角为 120° 的金刚石圆锥（压头），施加 150kgf (1.471kN) 的试验力压入工件表面，卸载后根据压痕的深度 $h=h_1-h_0$ (其中 h_1 为总载荷 150kgf 作用下压头的压入深度, h_0 为预载荷 10kgf 作用下压头的压入深度), 便可在硬度计刻度盘上 ($\text{HRC}=100-\frac{h}{0.002}$) 直接读出硬度值, 见图 1-11。其硬度符号为 HRC, 符号前为硬度值, 常用硬度值范围为 $20\sim 67\text{HRC}$ 。它主要适用于调质钢和淬火钢等较硬材料的测定。与布氏硬度比较, 此法操作简单迅速, 可直接读数, 但由于压痕小, 使得测量误差稍大, 通常可在零件的不同部位测量数次, 取其平均值。

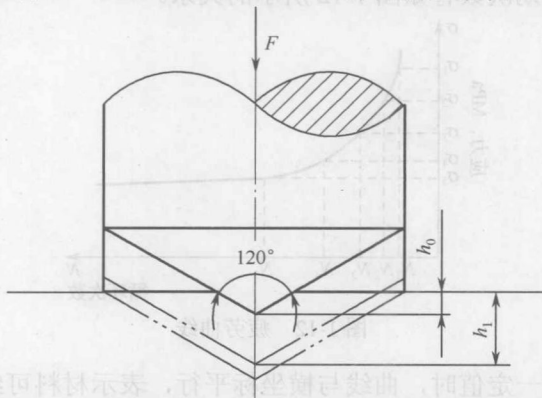


图 1-11 洛氏硬度实验原理

若需测量工件的高硬度薄层（如渗碳层、氮化层），则改用外加载荷为 60kgf (0.588kN)，其硬度符号为 HRA, 常用硬度值范围为 $70\sim 85\text{HRA}$ ；若用于测量硬度较低的材料，可改用外加载荷为 100kgf (0.981kN)，压头为 $\phi 1.588\text{mm}$ 的钢球，其硬度符号为 HRB, 常用硬度值范围为 $25\sim 100\text{HRB}$ 。

洛氏硬度和布氏硬度在数值上有以下近似关系： $\text{HRC}\approx\frac{1}{10}\text{HBS}$ 。另外，硬度和强度间也存在一定的近似关系，如低碳钢 $\sigma_b\approx 3.6\text{HBS}$ 等。

3) 维氏硬度

洛氏硬度试验虽可采用不同的标尺来测定由极软到极硬金属材料的硬度，但不同标尺的硬度值间没有简单的换算关系，使用上很不方便。为了能在同一种硬度标尺上测定由极软到极硬金属材料的硬度值，特制定了维氏硬度试验。

维氏硬度试验的原理基本上和布氏硬度试验相同。它是用一个相对面间夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头，在规定载荷 P 作用下压入被测试金属表面，保持一定时间后卸除载荷，然后再测量压痕投影的两对角线的平均长度 d ，进而计算出压痕的表面积 F ，最后求出压痕表面积上的平均压力 (P/F)，以此作为被测试金属的硬度值，称为维氏硬度，用符号 HV 表示。

与布氏硬度值一样，习惯上也只写出其硬度数值而不标出单位。在硬度符号 HV 之前的数值为硬度值，HV 后面的数值依次表示载荷和载荷保持时间（保持时间为 $10\sim 15\text{s}$ 时不标注）。例如， $640\text{HV}30$ 表示在 30kgf 载荷作用下，保持 $10\sim 15\text{s}$ 测得的维氏硬度值为 640。

维氏硬度试验的优点是试验时所加载荷小，压入深度浅，因此适用于测试零件表面的淬硬层及化学热处理的表面层。同时，维氏硬度是一个连续一致的标尺，试验时载荷可任意选择，而不影响其硬度值的大小，因此它可用于测定由极软到极硬的各种金属材料的硬度。维氏硬度试验的缺点是其硬度值的测定较麻烦，工作效率不如洛氏硬度试验高。