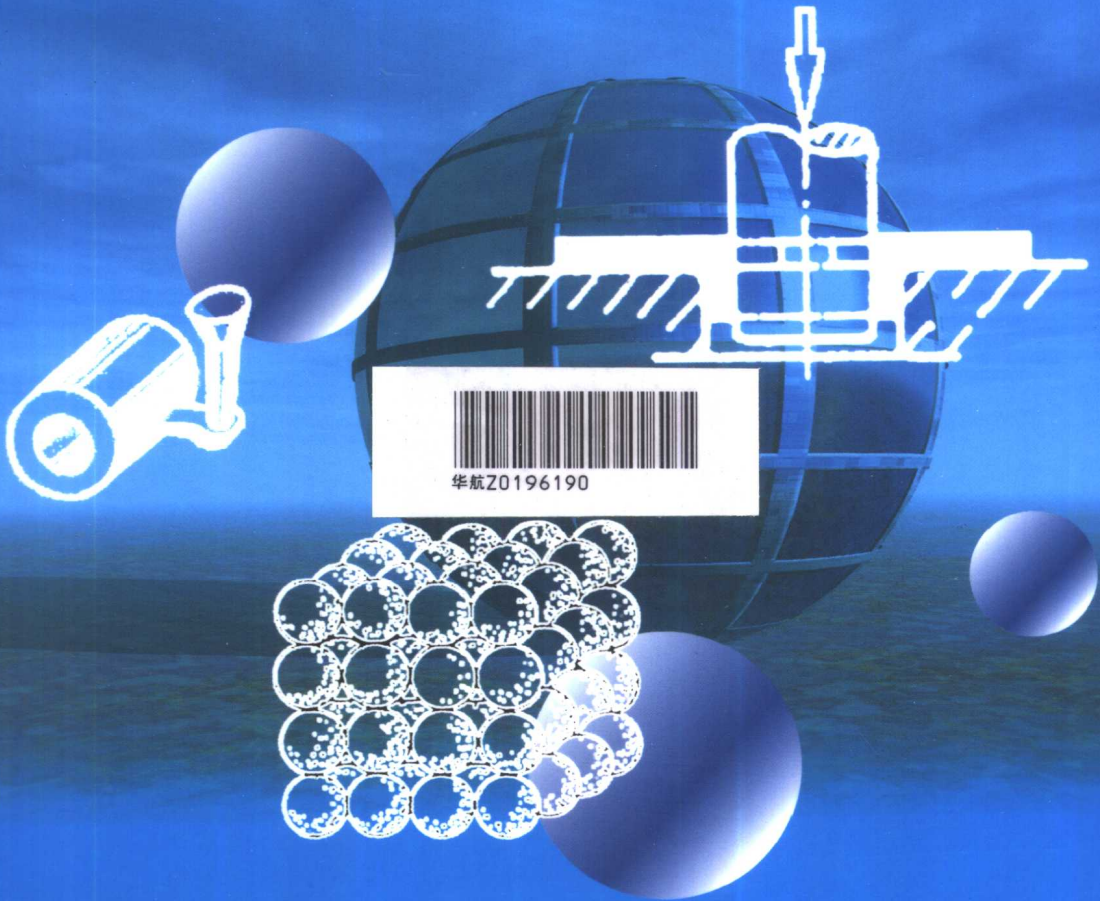


高等学校教材

金工实习

(非机械类用)

合肥工业大学 高正一 主编



华航Z0196190



机械工业出版社
China Machine Press

高等学校教材

金 工 实 习

·非机械类用·

主 编 高正一

副主编 陶 治 郑红梅

参 编 (按章顺序排列)

潘昌实 杨明璟 杨 沁

丁 涛 金绵芳

主 审 刘烈元



机械工业出版社

本书是根据国家教育部新颁布的非机械类“金工实习教学基本要求”以及在认真总结多年来金工实习教改的经验基础上编写的。全书包括机械工程材料及热处理、铸造、锻压、焊接、机械加工、钳工以及数控加工和特种加工等七章，并有复习思考题和实验。

书中内容和插图力求科学、系统、先进、实用，并有很强的针对性和一定的灵活性。

本书可作为高等工业院校非机械类各专业的金工实习教材，也可供高专、中专、职业技术学校、技校等教学人员和有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

金工实习/高正一主编. —北京: 机械工业出版社,
2000.12

高等学校教材. 非机械类用

ISBN 7-111-08560-4

I. 金… II. 高… III. 金属加工-实习-高等学校-
教材 IV. TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 81647 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 余茂祚 版式设计: 霍永明 责任校对: 余茂祚

封面设计: 方 芬 责任印制: 郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·10 印张·246 千字

0 001—6 000 册

定价: 15.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677—2527

前 言

《金工实习》是一门综合性和实践性很强的技术基础课。随着我国经济的发展和教学改革的深入，对它的要求也越来越高。我们在认真总结多年来的教学改革经验的基础上，根据国家教育部新颁布的非机械类“金工实习教学基本要求”以及结合我国工业发展现状和当前高校教改的实际情况编写了这本教材。

非机械类专业由于数量多，差异大，因而在教材内容上既有一定的覆盖面，能满足金工实习课的基本要求，又尽可能突出重点，做到主次分明；既介绍工程材料和机械制造的基本知识，又适当兼顾本学科的基本理论和最新发展，力求科学、系统、先进、实用，为培养高素质人才作出贡献。

书中采用法定计量单位；名词术语和工艺数据尽量采用最新标准。

本书由合肥工业大学高正一主编，陶冶和郑红梅任副主编。全书由高正一和陶冶统稿及定稿。各章编写分工如下：绪论和第一章由高正一编写；第二章由陶冶编写；第三章由潘昌实编写；第四章由杨明璟编写；第五章的第一、二、七、八节由郑红梅编写；第三、四、五、六节由杨沁编写；第六章由丁涛编写；第七章由金绵芳编写。

本书由东华大学刘烈元教授主审，在审阅中提出了很多宝贵意见。该书在编写过程中，特邀杨明璟和张崇高两位教授作了预审，并得到合肥工业大学教务处高玉华副教授的支持和指导以及校机电厂范晓晶和王志平的热情帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，而且时间仓促，书中难免有不妥或错误之处，恳请广大读者批评指正。

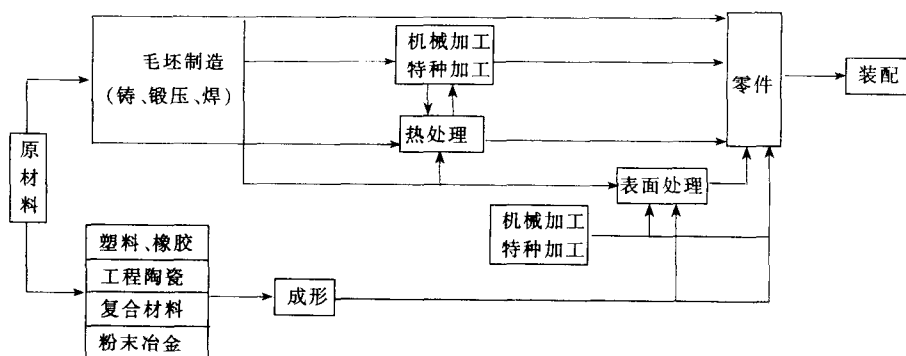
目 录

前言		第四章 焊接	71
绪论	1	第一节 概述	71
第一章 机械工程材料	3	第二节 焊条电弧焊	72
第一节 概述	3	第三节 气焊与气割	77
第二节 金属材料的性能	4	第四节 其它常用焊接方法	79
第三节 钢与铸铁	8	第五节 焊接质量	82
第四节 钢的热处理	19	第六节 常用金属材料的焊接	84
第五节 非铁材料	22	第七节 焊接和切割技术的新发展	85
第六节 非金属材料 and 复合材料	24	第八节 粘接	88
第七节 工程材料的发展趋势	30	第九节 磁粉探伤实验	89
第八节 钢铁材料的火花鉴别	32	复习思考题	92
复习思考题	34	第五章 机械加工	94
第二章 铸造	36	第一节 机械加工的基础知识	94
第一节 概述	36	第二节 车削加工	98
第二节 手工造型和制芯	39	第三节 刨削加工与拉削加工	107
第三节 机器造型	43	第四节 铣削加工	111
第四节 浇注系统	46	第五节 插齿与滚齿加工	116
第五节 金属的熔炼	47	第六节 磨削加工	117
第六节 常见的铸造缺陷	48	第七节 典型零件机械加工工艺过程 的制定	120
第七节 特种铸造	50	第八节 切削加工技术的新发展	122
第八节 常用铸造方法的综合比较	54	复习思考题	124
第九节 铸造技术现状和发展趋势	54	第六章 钳工	126
复习思考题	56	第一节 概述	126
第三章 锻压	57	第二节 钳工的基本操作	126
第一节 概述	57	第三节 装配与拆卸	137
第二节 金属的加热和锻件的冷却	58	复习思考题	142
第三节 自由锻	60	第七章 数控加工及特种加工	143
第四节 模锻和胎模锻	62	第一节 数控加工	143
第五节 冲压	64	第二节 特种加工	148
第六节 锻压技术发展概况	67	复习思考题	155
第七节 粉末冶金及粉末锻造工艺	69	主要参考文献	156
复习思考题	69		

绪 论

机械制造包括制造工艺技术和制造工艺管理。其中，制造工艺技术就是利用现代科技成就，采用先进、合理的工艺设备、工程装备、工艺材料、操作技能和检测控制等，制造出符合要求的产品。

机械制造过程从工艺准备开始，将原材料经过成形制造阶段变成毛坯；然后将毛坯经过机械加工（或插入必要的热处理、表面处理）成为零件；零件再经过清洗，检验和装配成为部件或机器；最后进行调试、验收、涂装和包装等成为产品，可用下图表示。



机械制造工艺方法与流程示意图

金属工艺学，又称工程材料及机械制造基础（包括金工实习），顾名思义是属于机械制造工艺技术，是研究制造过程中的设备、装备、材料、操作和检测控制的，即包括通常所说的机械制造基础 I、II、III（即工程材料、热加工工艺基础和机械加工工艺基础）。理工科的非机械类专业由于不单独设置工程材料课，也没有金工课堂教学学时，因而本门《金工实习》课实际上就涵盖了机械制造基础 I、II、III，即工程材料、热加工和冷加工。

本教材基本上包括机械制造基础 I、II、III 并按照上述机械制造工艺过程和方法编写的。

机械工程材料是机械制造的重要基础，它包括金属材料、非金属材料和复合材料的分类、牌号、性能、改性技术及选用。

铸造是熔炼金属，制造铸型，并将熔融金属浇入铸型，凝固后获得具有一定形状、尺寸和性能金属零件毛坯的成形方法。

锻压包括锻造和冲压，属于压力加工。锻造是在加压设备及工（模）具的作用下使坯料、铸锭产生局部或全部的塑性变形，以获得一定几何尺寸、形状和质量的锻件的加工方法；冲压是使板料经分离或成形而得到制件的工艺的统称。

焊接是通过加热或加压或两者并用，并且用或不用填充材料，使焊件达到原子结合的一种方法。

热处理是将固态金属或合金在一定介质中加热、保温和冷却以改变其整体或表面组织，从而获得所需要性能的加工方法。它只改变材料的组织和性能，并不改变形状和大小。

表面处理是改善工件表面层的力学、物理或化学性能的加工方法，包括电镀、化学镀、热喷涂等等。

机械加工是利用机械力对各种工件进行加工的方法，包括车削、刨削、铣削、钻削、磨削和钳工等。

钳工是一般在钳台上以手工工具为主，对工件进行的各种加工方法，包括划线、锉削、锯削、攻螺纹、套螺纹、刮削和研磨等。

特种加工是指传统的切削加工以外的加工方法，包括电火花加工、电解加工、激光加工和超声波加工等。

装配是按规定的技术要求，将零件或部件进行配合和连接，使之成为半成品或成品的工艺过程。

粉末冶金是将金属粉末（或与非金属粉末的混合物）压制成形和烧结等形成各种制品的方法。

非金属材料成形包括高分子材料和陶瓷材料成形等，因此就有相应的材料制备和成形方法，在本书中也作了扼要介绍。

数控加工不是独立的机械制造方法，但它是机械制造系统的一种发展方向，因而也作了简要论述。

根据上述可知，本书结合生产实际和专业需要，力争使学生在初步掌握工程材料和机械制造的基本理论、基本知识和基本技能的基础上提高分析、综合能力和实践能力，同时尽量反映新材料、新技术和新工艺，因而突出了科学性、系统性、实用性和新颖性。

根据需求和可能，建议在实习中开设安全生产、防火、防爆、环境保护和生产管理等专题讲座或讨论，以扩大知识面。

第一章 机械工程材料

目的和要求

1. 了解常用金属材料的牌号、性能及应用。
2. 了解非金属材料 and 复合材料的类型及应用。
3. 了解普通热处理工艺（即退火、正火、淬火及回火）。

第一节 概 述

用以制造各种机电产品的材料，统称为机械工程材料。机械工程材料在产品设计和制造中起着举足轻重的作用。因而凡与机械设计与制造有关的人员，一定要掌握各种机械工程材料的性能，合理地选用材料，以便正确地制订制造工艺。

机械工程材料一般分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类，并可细分为若干小类。

一、金属材料

金属材料包括钢铁材料（黑色金属）和非铁材料（有色金属）两种。由于金属材料来源丰富，性能优良，可满足生产和生活上的各种需要，所以约占各种机器设备用材量的 90% 以上，是最重要的机械工程材料。

（一）钢铁材料（黑色金属）

铁或以铁为基体，含有不同碳的质量分数的合金称为钢铁材料（黑色金属），其资源丰富，价格便宜，应用最为广泛，约占各种金属材料应用量的 90% 以上。

1. 钢 指碳的质量分数小于 2.11% 的铁碳合金，分为碳素钢、合金钢 and 复合钢等。

2. 铸铁 指碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金，包括灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁 and 可锻铸铁等。

（二）非铁材料（有色金属）

钢铁材料（黑色金属）以外的所有金属及其合金称为非铁材料（有色金属），包括轻金属、易熔金属、难熔金属、贵金属、稀土金属及碱土金属等。

二、非金属材料

非金属材料包括高分子材料和陶瓷材料。高分子材料和陶瓷材料虽然某些力学性能不如金属材料，但它们具有金属材料所不具备的某些特性，如耐腐蚀、隔声、减振 and 耐热等，而且价廉、易成形。

（一）高分子材料

高分子材料为有机合成材料，包括塑料、橡胶、胶粘剂 and 合成纤维等。

（二）陶瓷材料

陶瓷是无机非金属材料，包括普通陶瓷（主要为硅酸盐材料） and 特种陶瓷（氧化物、碳

化物、硅化物等的烧结材料)等。

三、复合材料

复合材料是由两种或两种以上性质不同的材料合成的新材料。不同的非金属材料可以相互复合,非金属材料与金属材料可以复合,不同的金属材料之间也可以相互复合。几种不同材料复合之后,保留了各自的优点,得到单一材料无法比拟的综合性能。常见的有纤维增强复合材料、颗粒复合材料和层状复合材料等。

材料是科学理论和创造发明的物质基础,有时甚至成为解决问题的关键,尤其当代社会的重大问题,如能源开发、海洋工程、航空航天、环境保护、计算机技术和信息技术乃至日常生产、生活无不需要有适用的材料,因而材料科学的研究和发展,世界各国都非常重视。机械产品正朝着大型、成套、精密、高效、高运行参数等方向发展,因而对机械工程材料要求越来越高。目前非铁材料(有色金属)的使用在金属材料的比重中正逐年上升;微晶和非晶态金属、特种陶瓷、高分子材料和复合材料等新材料正蓬勃发展,各种新型功能材料和器件不断翻新,已从追求数量转向提高质量,从使用传统材料转向使用新材料的轨道。金属材料目前虽仍占主导地位,但非金属材料和复合材料的发展也十分迅速,几乎与金属材料并驾齐驱,交相辉映,相互渗透,相互结合,形成了规模宏大的材料体系。因此与机械工程有关的人员,不仅要了解传统的金属材料,也要懂得各种非金属材料和复合材料的基本知识。

第二节 金属材料的性能

机械零件在使用过程中,要受到诸如拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切、摩擦、冲击以及温度和化学介质等作用,并且还要传递力或能。因此,作为构成机械零件的金属材料,应具备良好的物理、化学性能和力学性能,以防零件早期失效(即在限定时间内和规定条件下,不能完成正常的功能),同时还要有良好的工艺性能。

一、力学性能

金属材料的力学性能是指在外加载荷作用下所表现出的抵抗变形和断裂的能力。它是设计零件以及选用、鉴定和验收材料的重要依据。常用的力学性能有:强度、硬度、塑性、冲击韧性、疲劳极限(强度)以及刚度、弹性和断裂韧度等。以下仅讨论前面五种。

(一) 强度

强度是指抵抗永久变形和断裂的能力。它是按照 GB/T228 - 1987 的规定,将金属材料制成如图 1-1 所示的标准拉伸试样,通过拉伸试验,若将试样从开始直到断裂所受的拉力 F (或应力 σ),与其所对应的伸长 ΔL (或应变 ϵ) 绘成曲线,可得拉伸图 1-2。

机械工程中常用的强度指标有屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。屈服强度是指材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值,即

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

式中 σ_s —— 屈服强度(Pa);
 F_s —— 试样产生屈服现象时所承受的最大外力(N);
 A_0 —— 试样原来的横截面积(m^2)。

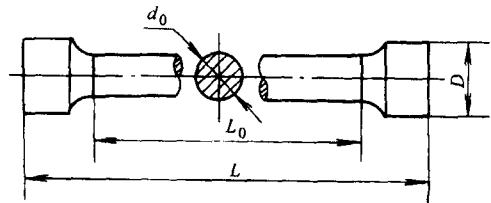


图 1-1 拉伸试样

抗拉强度是指材料在拉断前所能承受的最大应力值，即

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

式中 σ_b ——抗拉强度(Pa)；
 F_b ——试样在断裂前的最大外力(N)；
 A_0 ——试样原来的横截面积(m²)。

σ_s 和 σ_b 是零件设计时的主要强度依据，也是评定金属材料强度的重要指标。材料除了承受拉伸载荷外，还有可能受到压缩、弯曲和剪切等载荷作用，因而分别有抗压强度，抗弯强度和抗剪强度等。

(二) 塑性

塑性是指断裂前材料产生不可逆永久变形的能力，常用的塑性判据是断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 和 L ——分别为试样原长度和试样受拉伸断裂后的长度(mm)。

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

式中 A_0 和 A ——分别为试样原来和断裂后的横截面积(mm²)。

材料的 δ 和 ψ 值越大，则其塑性越好，但强度、硬度一般较低；反之，塑性差，则脆性大，强度、硬度一般较高。机械工程用的金属材料，希望有强韧的综合性能，既有高的强度和硬度，又有良好的塑性和韧性。塑性指标虽然一般不直接用于工程设计计算，但良好的塑性是加工成形（如锻压、轧制、冷冲压等）不可缺少的条件及可以缓和应力集中和防止突然脆断。

(三) 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力，是衡量金属软硬的判据，也是力学性能的一项综合指标。

常用的硬度指标有：布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度，可采用不同的硬度试验计测定，见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 布氏硬度的测试原理及方法

<p>测 试 原 理</p> <p>如右图所示，用直径为 D 的钢球（或硬质合金球）为压头，以载荷 F 压入被测材料的表面，数秒钟后卸去载荷，以压痕面积所承受的平均负荷作为布氏硬度值，然后按公式求出 HBS 或 HBW 值</p>	
---	--

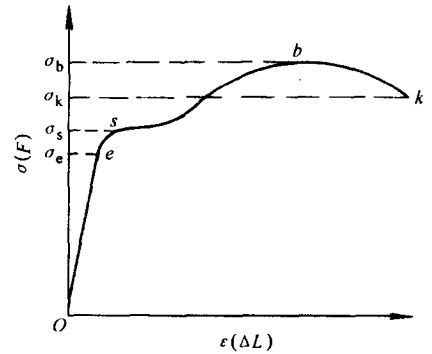
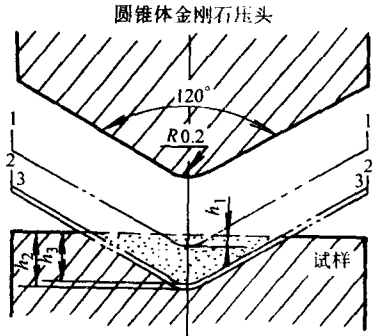


图 1-2 普通低碳钢拉伸图

(续)

计算公式	$\text{HBS}(\text{HBW}) = \frac{\text{压入载荷}(\text{N})}{\text{压痕的表面积}(\text{mm}^2)} \quad (\text{HBS 一般只用于布氏硬度值小于或等于 450 的材料})$	
	$= 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	

表 1-2 洛氏硬度的测试原理及方法

测试原理	用金刚石圆锥或钢球为压头,在规定的预载荷和总载荷下,压入被测材料的表面,如右图所示。卸载荷后,测定压入的深度 h ,根据公式计算求出 HR 值 根据压头形式和载荷不同分为 HRA、HRB、HRC 等几种标度					
	计算公式	$\text{HRC} = 100 - \frac{h_3 - h_1}{0.002} \quad (\text{在试验机上测试时,HR 值可由机上的刻度为 0.002mm 的百分表中直接读出})$				
测试规范	标度	压头	预载荷 / N	总载荷 / N	应用范围	适用的材料
	HRA	120° 金刚石圆锥	98.07(或 10kgf)	60 × 9.807(或 60kgf)	20 ~ 88	硬质合金、表面淬火钢等
	HRB	φ1.588mm 钢球	98.07(或 10kgf)	100 × 9.807(或 100kgf)	20 ~ 100	软钢、退火钢,铜合金等
HRC	120° 金刚石圆锥	98.07(或 10kgf)	150 × 9.807(或 150kgf)	20 ~ 70	淬火钢、调质钢等	

布氏、维氏硬度是以压痕面积大小为计算依据,而洛氏硬度是用压痕深度来计算。三种硬度值可通过硬度换算表换算成同一当量值后进行比较。洛氏硬度 HRC 与布氏硬度 HBS 或 HBW 大约为 1 : 10 的关系。例如 40HRC 相当于 400HBS;25HRC 相当于 250HBS 左右。

由于硬度反映金属材料在局部范围内抵抗塑性变形及破断的能力,因而布氏硬度值 HBS 和强度 σ_b 有如下粗略换算关系:

碳素钢	$\sigma_b = 0.35\text{HBS}$	黄铜及青铜	$\sigma_b = 0.4\text{HBS}(\text{冷变形})$
调质合金钢	$\sigma_b = 0.325\text{HBS}$	硬铝	$\sigma_b = 0.37\text{HBS}$
灰铸铁	$\sigma_b = 0.1\text{HBS}$	铸铝件	$\sigma_b = 0.26\text{HBS}$

硬度试验设备简单,操作方便,可直接在工件或工具上测试而不破坏工件,并可根据测得的硬度值估算出材料近似的强度值,从而了解材料的力学性能和工艺性能,因而硬度值是零件设计的一项主要技术指标,硬度试验是生产中常用的检验手段。

(四) 冲击韧度

冲击韧度是指冲击试样缺口底部单位截面积上承受的冲击吸收功。

锻锤锤头、冲床冲头以及风动工具等,在外载荷的冲击作用下所引起的变形与应力,比受静载荷时大得多,而且分布不均匀。因此对受冲击载荷作用的零件,不能仅考虑静载荷强度指

标,必须考虑材料的冲击韧度。

评定材料冲击韧度的方法很多,通常在摆锤冲击试验机上,用一次冲击弯曲试验来测定金属材料的冲击韧度。即

$$a_k = \frac{W}{A}$$

式中 a_k ——冲击韧度(J/cm²);

W ——试样冲断时所消耗的冲击吸收功(J);

A ——试样缺口处原始横截面积(cm²)。

一般将冲击韧度(a_k)低的材料称为脆性材料,冲击韧度高的材料称为韧性材料。前者在断裂前无明显的塑性变形,断口较平整,呈晶状或瓷状,有金属光泽。后者在断裂前有明显的塑性变形,断口呈纤维状,无光泽。

a_k 对材料的缺陷(如回火脆性、时效不充分、夹杂形态、纤维方向等)十分敏感,因此常用来检验冶炼、热处理和热加工的工艺质量,也用以检验材料的冷脆性,来确定材料的韧脆转变温度。

(五) 疲劳极限(强度)

轴、连杆和齿轮等,在重复应力或交变应力(即应力大小或大小与方向随时间作周期变化)的作用下发生断裂时的应力,通常都远远低于材料的屈服强度。金属材料在这种无数次重复或交变载荷作用下而不发生断裂时的最大应力称为疲劳极限(强度)。一般规定,钢在经受应力循环 10^7 次、非铁材料(有色金属) 10^8 次时,不产生断裂的最大应力,作为疲劳极限指标,以符号 σ_{-1} 表示。

金属材料的疲劳极限与抗拉强度 σ_b 有如下近似关系:

碳素钢 $\sigma_{-1} \approx (0.40 \sim 0.55) \sigma_b$

灰铸铁 $\sigma_{-1} \approx 0.4 \sigma_b$

非铁材料(有色金属) $\sigma_{-1} \approx (0.3 \sim 0.4) \sigma_b$

金属材料的疲劳极限与材料的强度、塑性、组织结构及表面加工质量等有关。为了提高零件的疲劳极限,除改善其结构形状,避免应力集中外,可采取表面强化处理。

二、物理、化学性能

金属材料的物理、化学性能有:密度、熔点、导电性、导热性、磁性、热膨胀性、耐热性和耐蚀性等。机械零件的用途不同,对材料的物理、化学性能要求也不同。例如航空航天所用的零、部件,要选用密度小、熔点高的铝合金或钛合金来制造;在腐蚀介质中工作的零件,要选用耐腐蚀性好的材料,如不锈钢等来制造;电器零件要求具有好的导电性、磁性;内燃机活塞要求材料具有小的热胀系数;高温下工作的零件要求材料具有好的耐热性等。

金属材料的物理、化学性能对制造工艺也有影响。例如凡是导热性差的材料,对其进行切削加工时,刀具的使用寿命降低;而在进行锻压或热处理时,加热速度应慢些,以免产生裂纹。又如钢和铝合金的熔点不同,其熔炼工艺就有较大的差别。

三、工艺性能

金属材料对某种制造工艺所表现的适应性称为工艺性能,金属材料主要是通过铸造、压力加工、焊接、切削加工等工艺形成零件,因而金属材料的工艺性能主要有:铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

第三节 钢与铸铁

一、铁碳合金

钢、铸铁是现代工业中应用最广泛的金属材料,它们是以铁为基体,含有不同碳的质量分数的合金,故统称为铁碳合金。为了合理使用钢、铸铁,必须了解铁碳合金的组织结构及相图。

(一) 金属的晶体结构

固体物质按其原子排列的特征,分为晶体和非晶体两种。晶体内部的原子按一定次序作有规则的排列。固态金属及合金通常都属于晶体。为了便于理解和描述晶体中原子排列的规律,可以近似地把晶体中每一个原子看成是一个点,并用假想的线条连接起来,就得到一个空间格架,简称“晶格”。晶格中最小的几何单元称为“晶胞”。晶胞中各棱边的长度叫“晶格常数”。整个晶格就是由许多晶胞在空间重复堆积而成的,如图 1-3 所示。

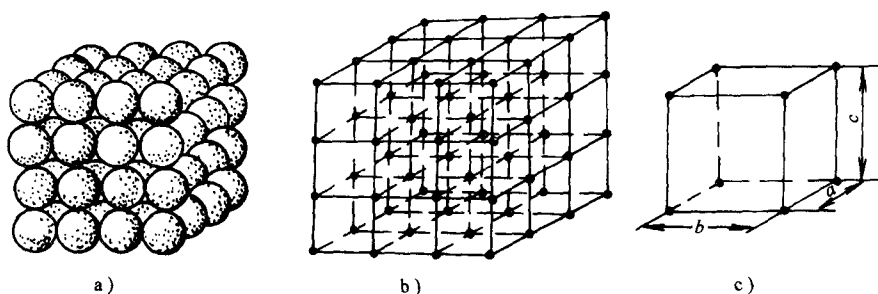


图 1-3 晶体结构示意图

a) 晶体结构 b) 晶格 c) 晶胞

最常见金属晶格结构有以下两种类型。

1. 体心立方晶格 体心立方晶格的晶胞是一个立方体,如图 1-4a 所示。立方体的中心和八个角上各有一个原子。属于这一类晶格的金属有 α -Fe、Cr、W 和 V 等。

2. 面心立方晶格 面心立方晶格的晶胞也是一个立方体,如图 1-4b 所示。立方体的六个面的中心和八个角上各有一个原子。属于这一类晶格的金属有 γ -Fe、Cu、Al 和 Ni 等。

(二) 纯铁的同素异构转变

大多数金属在结晶后的晶格类型都保持不变,但有些金属(如 Fe、Sn、Ti 和 Mn 等)的晶格类型在固态下因温度的变化,可由一种晶格转变成另一种晶格。金属在固态下随着温度变化改变其晶格类型的过程叫做金属的同素异构转变。纯铁的同素异构转变如图 1-5 所示。

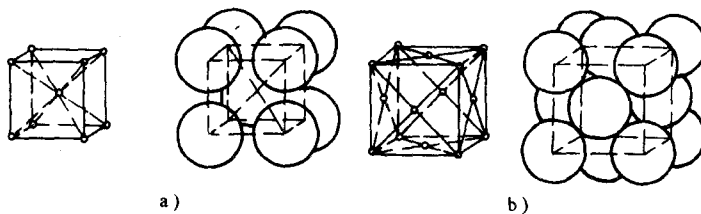
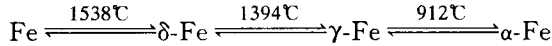


图 1-4 常见金属晶格的晶胞

a) 体心立方晶胞 b) 面心立方晶胞

液态纯铁冷却到 1538°C 时结晶成体心立方晶格的 δ -Fe, 继续冷却到 1394°C 时变成面心立方晶格的 γ -Fe, 再继续冷却到 912°C 时又变成体心立方晶格的 α -Fe。如果再继续冷却时,晶格类型不再发生变化。纯铁的同素异构转变如下:



(液体) (体心立方晶格) (面心立方晶格) (体心立方晶格)

纯铁的同素异构转变性质是钢能够进行热处理的重要依据。

(三) 合金的晶体结构

合金是由一种金属元素与其它金属或非金属元素组成的具有金属特性的物质。组成合金的最基本的、独立的单元称为组元，简称元。合金的晶体结构比纯金属复杂，可以形成固溶体、化合物和混合物。

1. 固溶体 固溶体就是合金的组元在固态下互相溶解形成单一均匀的物质。固溶体的晶体结构与溶剂相同。

2. 化合物 它是由两组元的原子按一定的数量之比相互化合而形成的一种新的具有金属特性的物质。它的晶体结构具有与原有各组元完全不同的复杂晶格结构。

3. 机械混合物 即由两种以上纯金属、固溶体或化合物按一定的重量比组成的均匀物质。各组元仍按自己原来的晶格形式结合成晶体，在显微镜下可明显区别出各组元的晶粒。

(四) 铁碳合金的基本组织

在铁碳合金中，由于铁和碳之间相互作用不同，在固态时可形成固溶体、化合物和机械混合物。

1. 铁素体 铁素体是碳（溶质）溶解于 $\alpha\text{-Fe}$ （溶剂）中的间隙固溶体，用符号 F 表示。它仍保持溶剂 $\alpha\text{-Fe}$ 的体心立方晶格结构。铁素体的力学性能与纯铁相近，强度、硬度低，塑性、韧性好。

2. 奥氏体 奥氏体是碳溶解于 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体，用符号 A 表示。它仍保持 $\gamma\text{-Fe}$ 的面心立方晶格结构。奥氏体具有一定的强度，塑性很好，易锻压成形。

3. 渗碳体 渗碳体是碳的质量分数为 6.69% 的铁与碳的金属化合物，其分子式为 Fe_3C ，常用符号 Fe_3C 表示。渗碳体具有与铁和碳完全不同的复杂晶格结构。其硬度很高，塑性极差，是一种硬而脆的组织，不单独使用。

4. 珠光体 珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物，用符号 P 表示。珠光体的塑性、韧性和硬度介于渗碳体和铁素体之间，强度较好。

5. 莱氏体 莱氏体是奥氏体和渗碳体的机械混合物，用符号 Ld 表示。因奥氏体在 727°C 时将转变为珠光体，所以莱氏体在室温下是由珠光体和渗碳体组成，称为低温莱氏体，用 $L'd$ 表示。莱氏体的力学性能与渗碳体相似，硬度很高，塑性极差。

铁碳合金的组织 and 性能，随碳的质量分数和温度的变化而变化，其规律反映在铁碳合金相图上。

(五) 铁碳合金相图

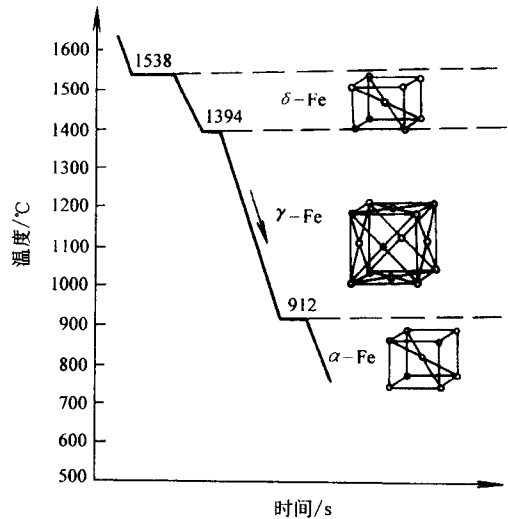


图 1-5 纯铁的同素异构转变曲线

铁碳合金相图是用实验方法作出的，其简化图如图 1-6 所示。图中纵坐标表示温度，横坐标表示碳的质量分数。

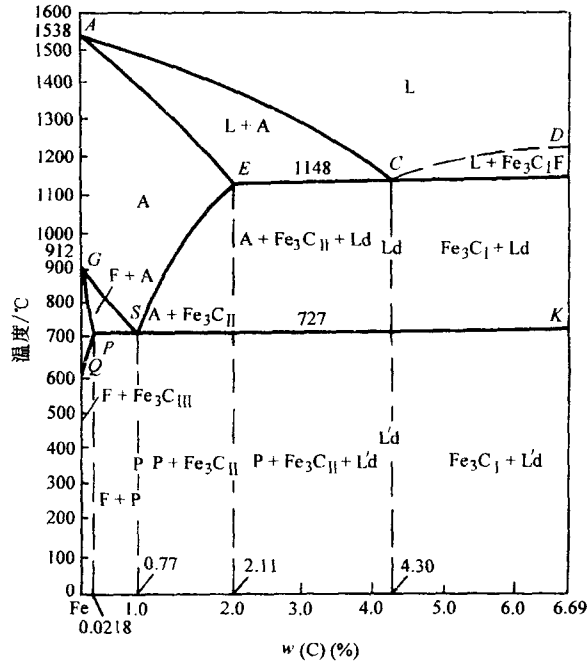


图 1-6 Fe—Fe₃C 相图

1. 主要特性点的含义 在铁碳合金相图中用字母标出的点都表示一定的特性，所以称作特性点。主要特性点的含义见表 1-3。

表 1-3 Fe—Fe₃C 相图中特性点的温度、碳的质量分数及含义

符 号	温度/℃	碳的质量分数 (%)	说 明
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.30	共晶点 $L \rightleftharpoons Ld (A + Fe_3C)$
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 γ -Fe 中最大溶解度
G	912	0	纯铁的同素异构转变点 α -Fe \rightleftharpoons γ -Fe
P	727	0.0218	碳在 α -Fe 中最大溶解度
S	727	0.77	共析点 $A \rightleftharpoons P (F + Fe_3C)$
Q	600	0.006	600℃ 时碳在 α -Fe 中的溶解度

2. 主要线的含义

- (1) ACD 线—液相线，当合金冷却到此线时开始结晶。在此线以上的区域为液相。
- (2) AECF 线—固相线，即在此线以下的合金为固态。
- (3) ECF 线—共晶线，即合金冷却到此线时发生共晶反应，从液体中同时结晶出奥氏体和渗碳体的机械混合物（莱氏体）。
- (4) GS 线—从奥氏体中析出铁素体的开始线，又称 A₃ 线。
- (5) ES 线—从奥氏体中析出二次渗碳体的开始线，又称 Acm 线。
- (6) PSK 线—共析线，即当奥氏体冷却到此线时发生共析反应，同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物（珠光体），又称 A₁ 线。

3. 铁碳合金的分类及室温组织 根据碳质量分数及相图中 S 点和 C 点的位置, 将铁碳合金分为工业纯铁、钢和白口铸铁三类。

(1) 工业纯铁是指 $w(C) \leq 0.04\%$ 的铁碳合金。室温组织为铁素体。

(2) 钢是指 $0.04\% < w(C) < 2.11\%$ 的铁碳合金。钢又可分为共析钢、亚共析钢和过共析钢三种。

1) 共析钢的成分为 S 点的合金, 即 $w(C) = 0.77\%$, 室温组织为珠光体。

2) 亚共析钢的成分为 S 点以左的合金, 即 $0.04\% < w(C) < 0.77\%$, 室温组织为铁素体和珠光体。

3) 过共析钢的成分为 S 点以右的合金。即 $0.77\% < w(C) < 2.11\%$, 室温组织为珠光体和二次渗碳体。

(3) 白口铸铁是指 $2.11\% < w(C) < 6.69\%$ 的铁碳合金。白口铸铁又可分为共晶白口铸铁、亚共晶白口铸铁和过共晶白口铸铁三种。

1) 共晶白口铸铁的成分为 C 点的合金, 即 $w(C) = 4.3\%$, 室温组织为低温莱氏体。

2) 亚共晶白口铸铁的成分为 C 点以左的合金, 即 $2.11\% < w(C) < 4.3\%$, 室温组织为低温莱氏体、珠光体和二次渗碳体。

3) 过共晶白口铸铁的成分为 C 点以右的合金, 即 $4.3\% < w(C) < 6.69\%$, 室温组织为低温莱氏体和一次渗碳体。

铁碳合金相图除用于研究钢和铸铁的组织转变及作为材料选择的依据外, 也是制定铸造、锻造、焊接、热处理加工工艺的依据。

二、钢

(一) 钢的分类

钢的分类方法很多, 常用的有以下三种。

1. 按化学成分分类 可分为碳素钢和合金钢两类。

(1) 碳素钢, 按碳质量分数大小又可分为低碳钢 ($w(C) \leq 0.25\%$)、中碳钢 ($0.25\% < w(C) \leq 0.6\%$) 和高碳钢 ($w(C) > 0.6\%$) 三种。

(2) 合金钢, 按合金元素含量多少可分为低合金钢 (合金元素总的质量分数小于或等于 5%)、中合金钢 (合金元素总的质量分数为 5%~10%) 和高合金钢 (合金元素总的质量分数大于 10%) 三种。

2. 按品质分类

(1) 普通钢, $w(P) \leq 0.045\%$, $w(S) \leq 0.05\%$ 。

(2) 优质钢, $w(S, P) \leq 0.035\%$ 。

(3) 高级优质钢, $w(P) \leq 0.03\% \sim 0.035\%$, $w(S) \leq 0.02\% \sim 0.03\%$ 。

3. 按用途分类

(1) 结构钢, 用于制造工程构件及机器零件。

(2) 工具钢, 用于制造刀具、量具和模具等。

(3) 特殊性能钢, 如不锈钢、耐热钢和耐磨钢等。

(4) 专业用钢, 如桥梁用钢、航空用钢、焊条用钢、船用钢和锅炉用钢等。

(二) 钢的牌号及用途

1. 碳素钢

(1) 碳素结构钢, 它的牌号是由屈服点的“屈”字汉语拼音首位字母“Q”、屈服点数

值、质量等级符号和脱氧方法符号按顺序组成。如 Q235-AF，“Q”表示屈服点，“235”表示屈服点值为 235MPa，“A”表示质量等级，“F”表示脱氧方法（沸腾钢）。碳素结构钢 $w(C)=0.06\% \sim 0.38\%$ ，钢中的有害杂质和非金属夹杂物较多。主要用来制造一般工程结构和普通机械零件，通常轧制成各种型材，如圆钢、钢板、角钢和工字钢等。表 1-4 为碳素结构钢的牌号、成分与力学性能。

表 1-4 碳素结构钢的牌号、成分与力学性能 (GB/T700—1988)

牌 号	等 级	化学成分 (质量分数, %)					脱氧方法	拉伸试验			相当于 GB/T 700—1979 牌号
		C	Mn	Si	S	P		σ_s / MPa	σ_b / MPa	δ (%)	
Q195	-	0.06 ~0.12	0.25 ~0.50	0.30	0.050	0.045	F. b. Z	(195)	315 ~390	33	A1、B1
Q215	A	0.09 ~0.15	0.25 ~0.55	0.30	0.050	0.045	F. b. Z	215	335 ~410	31	A2
	B				0.045						C2
Q235	A	0.14 ~0.22	0.30 ~0.65	0.30	0.050	0.045	F. b. Z	235	375 ~460	26	A3
	B	0.12 ~0.20	0.30 ~0.70		0.045						C3
	C	≤ 0.18	0.35 ~0.80	0.30	0.040	0.040	Z				-
	D	≤ 0.17			0.035	0.035	TZ				-
Q255	A	0.18 ~0.28	0.40 ~0.70	0.30	0.050	0.045	Z	255	410 ~510	24	A4
	B				0.045						C4
Q275	-	0.28 ~0.38	0.50 ~0.80	0.35	0.050	0.045	Z	275	490 ~610	20	C5

注：表中符号：A、B、C、D—质量等级；F—沸腾钢；b—半镇静钢；Z—镇静钢；TZ—特殊镇静钢；在牌号中 Z、TZ 符号予以省略。

(2) 优质碳素结构钢，它的牌号是用二位数字表示，这二位数字以名义万分数表示钢中碳的平均质量分数。如 45 钢和 08 钢分别表示平均 $w(C) = 0.45\%$ 和 $w(C) = 0.08\%$ 的优质碳素结构钢。若为沸腾钢，则在牌号后加“F”符号，如 08F。若较高含锰量的优质碳素结构钢 ($w(Mn) = 0.7\% \sim 1.2\%$)，则在数字后加“Mn”符号，如 15Mn、45Mn 等。优质碳素结构钢主要用来制造比较重要的机器零件，如轴、连杆、弹簧等。优质碳素结构钢的牌号、成分、性能和应用见表 1-5。

表 1-5 优质碳素结构钢的牌号、成分、力学性能及应用举例 (GB/T699—1988)

牌 号	化学成分 (质量分数, %)			力学性能 \geq					应用 举 例
	C	Si	Mn	σ_s / MPa	σ_b / MPa	δ (%)	ψ (%)	HBS (热轧)	
08F	0.05~0.11	≤ 0.03	0.25~0.50	295	175	35	60	131	各种形状的冲压件、拉杆、垫片等
08	0.05~0.12	0.17~0.37	0.35~0.65	325	195	33	60	131	
10	0.07~0.14	0.17~0.37	0.35~0.65	335	205	31	55	137	
20	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	410	245	25	55	156	杠杆、吊环、吊钩等
35	0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	530	315	20	45	197	轴、螺母、螺栓等
40	0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	570	335	19	45	217	齿轮、曲轴、连杆、联轴器、轴等
45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	600	355	16	40	229	
60	0.57~0.65	0.17~0.37	0.50~0.80	675	400	12	35	255	弹簧、弹簧垫圈等
65	0.62~0.70	0.17~0.37	0.50~0.80	695	410	10	30	255	