

中等专业学校教材

金属工艺学

(工科非机械类专业通用)

第二版

罗会昌 主编

高等教育出版社

86
TG
19=2
3

中等专业学校教材

金属工艺学

(工科非机械类专业通用)

第二版

罗会昌 主编

高等教育出版社

B

289417

内 容 简 介

本书是在第一版的基础上根据一九八二年十二月教育部审定的中等专业学校工科非机械类专业通用《金属工艺学教学大纲》(试行草案)修订的,讲授 90 学时。全书包括金属材料及热处理;铸造,压力加工和焊接;金属切削加工;零件材料和毛坯选择及加工工艺路线示例。

本书供工科非机械类专业作为教材,亦可供机械维修类专业和有关工程技术人员参考。

本书责任编辑 李肇荣

中等专业学校教材

金 属 工 艺 学

(工科非机械类专业通用)

第 二 版

罗 会 昌 主 编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

中 华 印 刷 厂 印 装

*

开本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 383,000

1979 年 7 月第 1 版

1985 年 10 月第 2 版 1985 年 10 月第 1 次印刷

印数 00,001—20,500

书号 15010·0671 定价 2.55 元

第二版序

本书第一版于1979年7月由人民教育出版社出版,作为化工中等专业学校化工机械专业试用教材,为满足当时的教学需要提供了条件。但由于编写时间仓促、实践经验不足,书中存在一些缺点和错误。加之,近几年来,与本教材内容有关的标准变化较大。因此,有重新修订的必要。本版就是在第一版的基础上,根据教育部审定的工科非机械类专业通用的《金属工艺学教学大纲》(试行草案)而进行修订的。

本版与第一版比较,基本保持了原来的体系,为满足非机械类专业的通用性,增删了一部分内容,更新了一部分插图。特别是增加了第四篇的内容,它是把前三篇内容纵向连贯起来,叙述机械零件材料和毛坯选择及加工工艺路线示例,使学生对机械制造工艺有整体概念,这是本版特点之一。为便于学生复习,在各章末均附有复习思考题。书中打“*”号的部分是选学内容,可根据不同专业、不同对象、不同学制的教学需要加以选择。

编入本书的有关国家标准和部颁标准资料、数据都是1984年6月底颁布使用的。本书采用了国际单位制。书中常用单位的换算一般采用近似值,如 $1\text{ kg f}\approx 10\text{ N}$, $1\text{ kg f/mm}^2\approx 10\text{ MPa}$, $1\text{ kg f}\cdot\text{m}\approx 10\text{ J}$ 等。

本书由南京化工学校罗会昌(绪论、第五、六、七、十章、附录二)、泸州化工学校欧阳熙(第一、二、三、四、八、十一章、附录一)、淮南化工建筑安装学校韦德刚(第九、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九章、附录三)三位同志编写,由罗会昌主编。本书承杭州化工学校林志廷主审。并承株洲铁路机械学校郭炯凡、西安航空工业学校屠信康、长沙冶金工业学校邹石坚、太原工业学校程宝泉、华北石油学校齐作楫、西北建筑工程学院中专部王素芬审阅。在编写过程中,还得到兄弟院校和工厂的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

与本书相配套的《金属工艺学实验指导书》不另编写,建议借用中等专业学校机械制造专业用《金属工艺学实验指导书》(潘楚琛主编,高等教育出版社出版)。

由于我们水平有限,实践经验不足,加之编写时间仓促,书中一定存在不少缺点和错误,希望读者批评指正。

编 者

1984年10月

第一版序

本书是根据 1978 年 6 月在南京召开的化工中等专业学校化工机械专业教材编写会议讨论的金属工艺学教材编写大纲编写的。

全书分为金属材料及热处理, 铸造、压力加工和焊接, 金属切削加工三篇, 共十九章。本书采用了国际单位制, 但有些表格内容和某些数据引自有关标准和规范, 这些标准和规范用的是公制单位, 本书未予换算。

本书由南京化学工业公司化工学校罗会昌(绪言、第一、四、九章)、陈象曾(第五章)、王亚美(第六、七章)、化学工业部第三化工建设公司机械学校韦德刚(第十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九章)、吴进之(第八章)、陈文祥(第十章)、泸州化工专科学校欧阳熙(第二、三章)编写。由罗会昌主编。本书承湖南省化工学校朱伯龙、石家庄化工学校张望、上海市化工学校伍启源、陕西省石油化工学校许昌审阅。在编写过程中, 还得到了兄弟院校和工厂的大力支持和帮助, 在此一并表示感谢。

由于我们的水平有限, 实践经验较少, 加之编写时间仓促, 书中一定存在不少缺点和错误, 希望读者批评指正。

编 者

1978 年 12 月

主要符号表

A ——奥氏体; 试样截面积, 切削面积	F_{nv} ——刀具前面上的正压力
$\text{\AA}$ ——长度单位, 埃, $\text{\AA}=10^{-8}\text{cm}$	F_p ——吃刀抗力, 径向切削分力; 比例极限载荷
A_{cm} ——加热时 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \rightarrow A$ 的转变温度	F_r ——总切削力(切削力)
A_{cm} —— $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \rightleftharpoons A$ 转变的临界温度	f_r ——径向进给量
A_{c_1} ——加热时 $P \rightarrow A$ 的转变温度	F_s ——试样发生屈服现象时的载荷
A_{c_3} ——加热时 $F \rightarrow A$ 的转变温度	F_t —— F_f, F_p 的合力, 水平方向的切削力
a_e ——周铣时的吃刀(切削)深度, 端铣时的铣削宽度	f_t ——横向进给量
A_{KU} ——冲断试样消耗的功(用U型缺口试样测定的)	G ——石墨
a_{KU} ——冲击韧性值(用U型缺口试样测定的)	HBS——布氏硬度(用钢球测定的)
a_0 ——切削厚度	HBW——布氏硬度(用硬质合金球测定的)
a_j ——端铣时的铣削深度; 周铣时的铣削宽度	HRC——洛氏硬度(C 标度)
	HV——维氏硬度
Ar_{cm} ——冷却时 $A \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 的转变温度	K_r ——相对加工性
Ar_1 ——冷却时 $A \rightarrow P$ 的转变温度	KT——刀具前面月牙洼磨损深度
Ar_s ——冷却时 $A \rightarrow F$ 的转变温度	L ——液体, 液相; 长度
A_0 ——试样原截面积	l ——长度
A_1 —— $A \rightleftharpoons P$ 转变的临界温度	l_0 ——试样标距长度
A_3 —— $A \rightleftharpoons F$ 转变的临界温度	Le ——莱氏体
B, b ——宽度	Le' ——低温莱氏体
b_0 ——切削宽度	M_f ——马氏体转变终了温度
C ——渗碳体	M_s ——马氏体转变开始温度
D, d ——直径	n ——转速
d_0 ——试样原始直径	P ——珠光体
F ——铁素体; 试验载荷, 试验力	R, r ——半径
f ——走刀量(进给量)	T ——绝对温度
F_b ——试样在拉断前的最大载荷	t ——时间; 刀具耐用度
F_c ——主切削力, 垂直切削分力	v ——切削速度; 冷却速度
F_e ——弹性极限载荷	VB——刀具后面磨损量
F_f ——走刀抗力, 轴向切削分力	v_c ——合成切削速度
F_{fa} ——刀具后面上的摩擦力	v_f ——进给速度
F_{fa} ——刀具副后面上的摩擦力	v_s ——砂轮圆周速度
F_{fr} ——刀具前面上的摩擦力	v_t ——当刀具耐用度为 t 时的切削速度
F_{na} ——刀具后面上的正压力	v_w ——工件圆周速度
F'_{na} ——刀具副后面上的正压力	α_0 ——后角
	α'_0 ——副后角
	β_0 ——楔角

γ_0 ——前角
 γ'_0 ——副前角
 γ_{0s} ——工作前角
 δ ——延伸率;厚度;切削角
 δ_5 ——短试样($l_0=5 d_0$)延伸率
 δ_{10} ——长试样($l_0=10 d_0$)延伸率
 ε_r ——刀尖角
 κ_r ——主偏角
 κ'_r ——副偏角

λ ——导热系数
 λ_s ——刃倾角
 σ_b ——抗拉强度
 σ_{bb} ——抗弯强度
 σ_s ——屈服强度
 $\sigma_{0.2}$ ——条件屈服强度
 σ_{-1} ——疲劳强度
 τ ——时间
 ψ ——截面收缩率

目 录

绪论

第一篇 金属材料及热处理

第一章 金属的机械性能	3	第四节 退火与正火	52
第一节 强度和塑性	3	第五节 淬火	55
第二节 硬度	6	第六节 回火	57
第三节 冲击韧性	10	第七节 钢的淬透性概念	60
第四节 疲劳	11	第八节 表面热处理	61
*第五节 金属的蠕变及松弛现象	12	复习思考题	64
复习思考题	12	第六章 合金钢	65
第二章 金属的晶体结构和结晶过程	13	第一节 概述	65
第一节 金属的晶体结构	13	第二节 低合金结构钢和合金结构钢	69
第二节 实际金属的晶体结构	15	第三节 弹簧钢和滚动轴承钢	75
第三节 金属的结晶	18	第四节 合金工具钢和高速工具钢	78
第四节 金属的同素异晶转变	21	第五节 不锈钢、耐热钢和耐磨钢	85
复习思考题	22	复习思考题	92
第三章 二元合金	22	第七章 铸铁	93
第一节 基本概念	22	第一节 概述	93
第二节 固态合金的基本结构	23	第二节 灰铸铁	95
第三节 二元合金状态图	26	第三节 球墨铸铁	98
复习思考题	29	*第四节 可锻铸铁	101
第四章 铁碳合金	29	*第五节 合金铸铁简介	102
第一节 铁碳合金的基本组织	30	复习思考题	104
第二节 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 状态图	31	第八章 有色金属及其合金	105
第三节 碳钢	37	第一节 铝及铝合金	105
复习思考题	43	第二节 铜及铜合金	109
第五章 钢的热处理	43	*第三节 钛及钛合金	112
第一节 概述	43	第四节 轴承合金	113
第二节 钢在加热时的转变	44	第五节 粉末冶金与硬质合金	115
第三节 钢在冷却时的转变	46	复习思考题	117

第二篇 铸造、压力加工和焊接

第九章 铸造	118	第三节 砂型铸造的造型工艺	122
第一节 概述	118	*第四节 手工双箱模型造型的造型过程与	
第二节 造型材料	120	机器造型简介	127

第五节 铸铁的熔炼、浇注与铸件的出箱和清理.....	128	*第四节 板料冲压.....	157
第六节 铸钢件的铸造工艺特点.....	131	复习思考题.....	160
第七节 铸件的结构工艺性.....	132	第十一章 焊接与切割	160
*第八节 特种铸造简介.....	137	第一节 概述.....	160
复习思考题.....	143	第二节 手工电弧焊.....	162
第十章 压力加工	144	第三节 气焊与气割.....	167
第一节 概述.....	144	*第四节 其它焊接与切割方法简介.....	173
第二节 压力加工原理.....	146	第五节 常用金属材料焊接的特点.....	177
第三节 锻造.....	150	第六节 常见的焊接缺陷.....	179
		复习思考题.....	181

第三篇 金属切削加工

第十二章 金属切削加工的基础知识 ...	182	第二节 插削加工.....	222
第一节 金属切削机床型号编制方法简介...	182	复习思考题.....	223
第二节 机床运动和切削要素.....	185	第十六章 铣削加工	223
第三节 刀具材料与刀具角度.....	187	第一节 铣床.....	223
第四节 金属切削过程中的物理现象.....	194	*第二节 铣床附件.....	225
第五节 工件材料的切削加工性.....	200	第三节 铣床的工艺范围.....	229
复习思考题.....	201	第四节 铣削.....	230
第十三章 车削加工	201	第五节 铣削加工的特点.....	233
第一节 普通车床的组成.....	201	复习思考题.....	233
第二节 车床附件.....	203	第十七章 磨削加工	234
第三节 普通车床的工艺范围.....	206	第一节 砂轮的基本知识.....	234
第四节 车刀的种类和选用.....	208	第二节 磨床的分类及其所能完成的工作...	237
第五节 车削加工的特点.....	210	第三节 磨削加工的特点.....	239
复习思考题.....	211	复习思考题.....	240
第十四章 钻削和镗削加工	212	*第十八章 特种加工简介	240
第一节 钻削加工.....	212	第一节 电火花加工.....	240
第二节 镗削加工.....	215	第二节 电解加工.....	242
复习思考题.....	218	第三节 电子束加工.....	244
第十五章 刨削和插削加工	219	第四节 激光加工.....	245
第一节 刨削加工.....	219		

第四篇 零件材料和毛坯选择及加工工艺路线示例

第十九章 零件材料和毛坯选择及加工工艺路线示例	247	第三节 轴类零件加工工艺路线示例.....	250
第一节 零件材料的选择原则.....	247	第四节 箱体类零件加工工艺路线示例.....	252
第二节 零件的毛坯选择.....	249	复习思考题.....	254
附录一 钢铁生产简介	255	对照表	257
附录二 常用的部分钢种国内外牌号		附录三 金属切削机床类组型划分表 ...	259

绪 论

金属工艺学是研究金属性能和加工工艺的一门重要的综合性课程。对于工科非机械类专业主要讲授下列内容:

1. 金属材料及其热处理 讲述金属材料的成分、性能与内部组织间的关系, 钢的热处理基础知识, 常用金属材料的主要性能和用途。

2. 铸造、压力加工和焊接 这些是获得毛坯或零件的基本方法, 主要讲述它们的基本原理、工艺特点和应用范围。

3. 金属切削加工 讲述金属切削加工的基础知识, 简要介绍车、钻、镗、刨、插、铣、磨等加工方法的特点及所能完成的工作。

4. 零件材料及加工方法的选择 这是本课程的总结。主要以轴和箱体为例, 介绍其选材和加工方法的选择。

在工业生产中, 例如冶金矿山、机器制造、交通运输、化工、建筑、轻纺、电子仪表以及国防工业等, 都是离不开金属材料及其加工工艺的。它们已成为现代工业和科学技术的基础, 在国民经济发展中占有极其重要的地位。可以这样说, 只有金属材料及其加工工艺的发展, 才会促进工业的发展和科学技术的进步, 才会加快国民经济建设的步伐。因而, 研究金属材料及其加工工艺是非常重要的。

金属工艺学是在生产实践中发展起来的。我国远在四千多年前就开始使用铜, 1939 年在河南省安阳武官村出土的司母戊大方鼎, 相传是商王文丁为祭祀他的母亲所铸的祭器, 鼎重 875 千克, 其上有精美的花纹。

早在公元前 513 年, 晋国就已铸成了有刑书的大铁鼎, 称为铸刑鼎, 这是关于我国铸铁技术现在所知的最早记载。与铸刑鼎仅差数十年, 出现了可锻铸铁铲, 这是迄今发现的世界上最早的可锻铸铁件。而在欧洲, 直至公元十三世纪末至十四世纪初才出现生铁, 这比我国要晚一千九百多年。

在战国时, 有“以冶铁致富而富甲全国者”。那时制出的名剑, “用之切玉, 如切泥焉”。说明那时已掌握了炼钢、锻造和热处理等技术。

在唐朝(约公元七世纪)时, 我国已应用锡焊和银焊, 而欧洲直到十七世纪才有这种钎焊方法。

公元 1668 年(明朝), 我国切削加工已发展到使用直径近 2 丈的镶片铣刀, 由牲畜带动旋转, 来铣制天文仪上的铜环了。为了精确, 又进行了磨削。

明朝宋应星所著《天工开物》一书, 内载冶铁、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法, 它是世界上有关金属工艺最早的著作之一, 这充分反映了我国劳动人民在金属工艺方面辉煌的成就。

以上事实, 不胜枚举, 这说明了我国古代的科学技术在很多方面, 占据过遥遥领先的地位,

远远超过同时代的欧洲。我们的国家不愧为伟大的国家,我国人民不愧为伟大的人民,我们的民族不愧为伟大的民族。只是由于长期的封建制度,特别是近百年来外国的侵略和国内统治阶级的愚昧反动,造成了我国在科学技术上落后的局面。

解放以后,我国人民在党中央的领导下,团结一致,自力更生,艰苦奋斗,我国的科学技术得到了迅猛的发展。不但建立了机械制造、冶金矿山、交通运输、石油化工、电子仪表、轻纺等许多现代化工业,而且研制和成功地发射了人造地球卫星和洲际弹道导弹等。所有这些,都是与金属材料及其加工工艺有着不可分割的联系。

我国在金属材料及其加工工艺方面的某些技术已接近或达到了世界先进水平。例如,我国对安装于现场的高 33 米立式容器成功地采用了整体退火方法;我国制造了 52 万吨尿素合成塔($\phi 2800\text{ mm}$),使我国跨入了当代世界上少数几个能制造这种设备的国家行列;我国某厂同联邦德国某公司合作制造出具有当代国际先进水平的 TND 微电脑控制万能车床等等。

在解放以后短短的三十五年中,我国取得的成就是巨大的。但与世界上先进的国家相比,在生产水平和科学技术方面还存在着一定的差距,这就激发我们在自力更生的基础上要发奋图强,为加快我国生产技术的发展速度,为在科学技术方面赶超世界先进水平,贡献出我们全部智慧和力量。

金属工艺学是一门技术基础课,目的是使学生具有选择常用金属材料的基本知识以及确定一般零件的基本加工方法的初步能力,为后续课程的学习和从事技术工作打下必要的基础。

学习本课程的基本要求是:

1. 初步掌握常用金属材料的牌号、性能、用途和一般选用原则, 以及了解常用的热处理工艺。
2. 了解各种主要加工方法的基本原理和工艺特点,并具有选择毛坯和零件加工方法的基本知识。
3. 了解零件结构工艺性。

本课程的实践性和应用性均较强,要学好这门课程,首先是认真地进行金工实习,通过实习,获得必要的感性知识和一定的基本操作技能,以加深对课程内容的理解。在学习中还须注意与其它课程的联系,温故而知新。要充分利用实验室设施和图书资料,以扩大知识面和动手能力。这样,才能达到本课程预期的目的和要求。

第一篇 金属材料及热处理

金属材料在工业、农业、国防以及科学技术各个领域中都得到了广泛的应用。预计到本世纪末钢产量将达 17.5 亿吨，而需经热处理的钢材将达 5.6 亿吨（1970 年世界钢产量约 6 亿吨）。目前，工业用材料约有 20 多万种。随着材料科学与热处理工艺的迅猛发展，新材料、新的热处理工艺将不断涌现，材料的使用性能和使用寿命将不断提高。

本篇讨论常用金属材料的牌号、成分、组织与性能的关系以及用热处理的方法来改善金属及合金的性能，从而满足多种用途的不同要求。

第一章 金属的机械性能

金属材料之所以得到如此广泛的应用，是因为各种金属材料具备有许多可贵的性能。这些性能可分为两类：一类叫使用性能，它反映金属材料在使用过程中所表现出来的特性，如机械性能（强度、硬度、塑性、韧性等）；物理性能（导电性、导热性、热膨胀性等）；化学性能（如抗氧化性、耐腐蚀性）等。另一类叫工艺性能，它反映金属材料在加工制造过程中所表现出来的特性，即铸造性能、塑性成形性、焊接性和切削加工性等。只有在全面地了解金属材料的各种性能后，才可能做到正确、经济、合理地选用金属材料。

任何一部机器都是由零、部件所组成，而零、部件在使用时都承受外力作用。因此，金属材料在外力作用下所表现出来的特性就显得格外重要。这种性能叫做机械性能或称力学性能。所以，我们应首先学习金属材料的机械性能。

第一节 强度和塑性

金属材料受到外力的作用时，会引起其尺寸与形状的改变。这个外力叫载荷（或称负荷），而这种尺寸与形状的改变则叫变形。载荷与变形的关系可由拉伸试验测定。拉伸试验就是把制成规定形状和尺寸的试样（见图 1-1）装在拉伸试验机上，对试样（以低碳钢为例）缓慢施加拉力（即静载荷），使之不断产生变形，直到拉断试样为止。再根据拉伸试验过程中的载荷大小

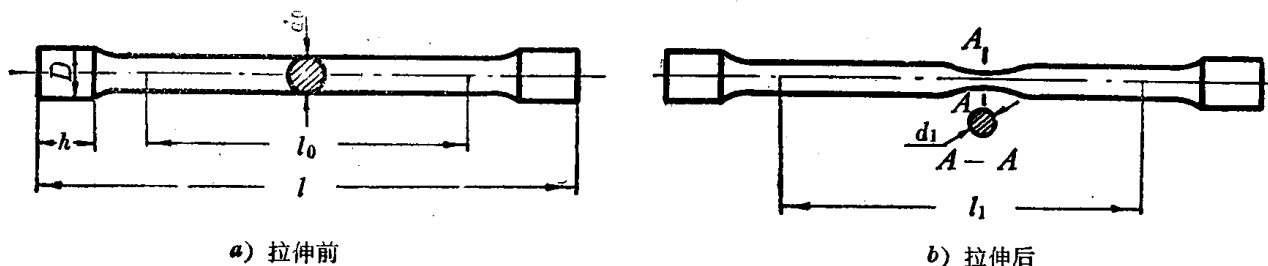


图 1-1 拉伸试样

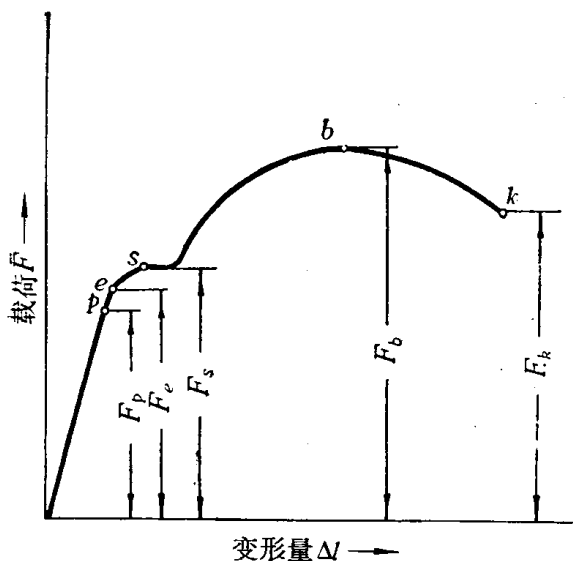


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

和对应的变形量关系，便可画出材料的拉伸曲线来。图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。图中的纵轴表示载荷，横轴表示变形量。

由图 1-2 可以看出，在拉伸试验的起始阶段，由于所加的外力较小，试样的伸长与施加的外力成正比关系，试样发生均匀的变形，此时若除去外力，则试样能恢复原状。当载荷超过 F_p 后，拉伸曲线开始偏离直线，这时保持直线关系的最大载荷，是比例极限 F_p 。当载荷大于 F_e 后卸荷时，试样的伸长只能部分地恢复，而保留一部分残余变形。当载荷增加到 F_s 时，如不再继续增加载荷，则试样仍能继续伸长，这种现象叫屈服。在屈服阶段之后，再增加载荷，这时试样

将发生明显的塑性变形（卸荷后，试样不能恢复原状）。当载荷增加到 F_b 后，试样的某一部分截面便开始急剧缩小，从而出现“缩颈”。由于试样截面缩小，载荷逐渐降低，当到达 k 点时，试样就在颈缩处被拉断。因此， F_b 是试验过程中的最大载荷。

一、强度

金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和抗拒破坏的能力称为强度。常用来衡量金属强度的指标有屈服强度和抗拉强度。

材料受外力作用会发生变形，同时在材料内部产生一个抵抗变形的力（又称内力），其大小和外力相等，方向相反。材料单位面积上的抵抗力称为应力。强度的大小，就是用应力来度量的。常用作强度指标的数值可由拉伸曲线求出。

1. 屈服强度（屈服极限）

将开始发生屈服现象时的应力，也即开始出现塑性变形时的应力，叫做屈服强度，以符号 σ_s 表示。 σ_s 可由下式计算

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_s ——试样发生屈服现象时的载荷，单位为 N；

A_0 ——试样的原截面面积，单位为 mm^2 。

屈服强度代表材料抵抗微量塑性变形的能力。它是设计零件时选用材料的依据。例如，为了保证气缸盖和气缸体的密封性，缸盖螺栓是不允许发生塑性变形的。所以，设计缸盖螺栓时就以屈服强度作为计算依据。

有些材料，如退火状态下的低碳钢，它有明显的屈服现象，这时屈服强度的测定是比较容易的。但是，有的材料，如高碳钢，它没有明显的屈服现象，如要测定其屈服强度是很困难的。所以人为地规定：将试样的残余变形量相当于试样原标距长的 0.2% 时的应力，称做条件屈服强度，并以符号 $\sigma_{0.2}$ 来表示。

2. 抗拉强度(强度极限)

材料在受拉力过程中, 在发生断裂以前所能承受的最大应力值叫抗拉强度, 以符号 σ_b 表示。 σ_b 可由下式计算

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大拉力, 单位为 N;

A_0 ——试样原截面面积, 单位为 mm^2 。

低碳钢的 σ_s 约为 240 MPa, σ_b 约为 400 MPa。屈服强度和抗拉强度是衡量材料强度的两个重要指标。

工程上所用的金属材料, 不仅希望具有较高的 σ_s , 还希望具有一定的屈强比 (σ_s 与 σ_b 的比值)。屈强比愈小, 结构零件的可靠性愈高, 万一超载, 也能由于塑性变形而使金属的强度提高, 不致立刻断裂。但如果屈强比太小, 则材料强度的有效利用率就太低了, 因此, 一般希望屈强比高些。不同的金属材料有不同的屈强比, 例如碳素钢一般为 0.6 左右, 低合金钢一般为 0.65~0.75, 合金结构钢一般为 0.85。

二、塑性

金属材料在外力作用下发生塑性变形而不致破坏的能力叫塑性。常用的塑性指标是延伸率和截面收缩率。

1. 延伸率

试样在拉伸断裂后的总伸长长度与原来长度比值的百分率, 称为延伸率, 以符号 δ 表示。 δ 可按下式计算

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原标距长度, 单位为 mm;

l_1 ——试样拉断后的标距长度, 单位为 mm。

2. 截面收缩率

试样受拉伸断裂后, 试样截面的缩减量与原截面面积比值的百分率, 称为截面收缩率, 用符号 ψ 表示。 ψ 可按下式计算

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_0 ——试样原截面面积, 单位为 mm^2 ;

A_1 ——试样断口处的截面积, 单位为 mm^2 。

塑性指标中, 延伸率的大小与试样尺寸有关, 因为总伸长量 ($\Delta l = l_1 - l_0$) 是均匀伸长量与产生局部颈缩后的伸长量之和, 它随试样尺寸的增加而减小。根据国家标准 (GB 228—76) 规定, 拉伸试样分为长试样 ($l_0 = 10 d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5 d_0$) 两种, 延伸率分别以 δ_{10} 和 δ_5 表示。对同一材料而言, 短试样所测得的延伸率 (δ_5) 要比长试样测得的延伸率 (δ_{10}) 大一些, 两值不能进行比较。

延伸率与截面收缩率也是材料的重要性能指标。它们的数值越大，材料的塑性越好。金属材料塑性的好坏，对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。例如，低碳钢的塑性较好，故可进行压力加工；普通铸铁的塑性很差，因而不能进行压力加工，但能进行铸造。同时，由于材料具有一定的塑性，故能保证不致因稍有超载而突然破断，这就增加了材料使用的安全可靠。因此，对于机械零件的塑性指标是有一定要求的。

第二节 硬 度

硬度值的物理意义随着试验方法的不同而不同。一般可以认为，硬度是指金属表面上一定体积内抵抗塑性变形或抵抗破坏的能力。由于测定硬度的试验设备比较简单，操作方便、迅速，又属无损检验，所以，无论在生产上和科研中应用十分广泛。

测定材料硬度的方法较多，其中常用的硬度测定法是压入法，它用一定的静载荷(压力)把一定的压头压在金属表面上，然后通过测定压痕的面积或深度来确定其硬度。当压头和压力一定时，压痕面积愈大或压痕愈深，则硬度愈低。按照压头和压力的不同，常用的硬度试验指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

一、布氏硬度

用一定直径的钢球或硬质合金球，以相应的载荷压入试样表面，经规定保持时间后，卸除试验力，测量试样表面的压痕直径，见图 1-3。

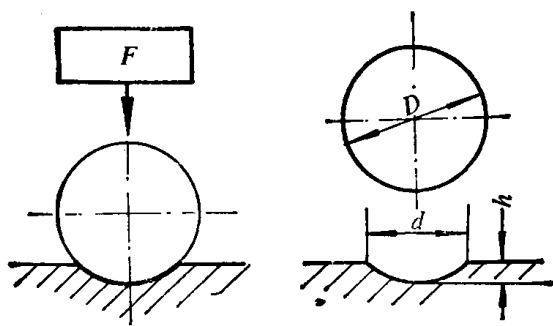


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度值是试验力 (kgf) 除以压痕球形表面积 (mm²) 所得的商。

$$\text{布氏硬度值} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 D ——球体直径(mm);

F ——试验力(kgf);

d ——压痕平均直径(mm)。

当试验力的单位为N时，则

$$\text{布氏硬度值} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

试验时测量出压痕平均直径 d , 经计算或查金属布氏硬度数值表即可求得布氏硬度值。

布氏硬度的符号是, 当压头为钢球时用 HBS, 适于布氏硬度值在 450 以下的材料; 当压头为硬质合金球时用 HBW, 适于布氏硬度值为 450~650 的材料。符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值, 符号后面按球体直径、试验力及试验力保持时间(10~15 s 不标注)的顺序用数值表示试验条件。

例如:

150 HBS_{10/1000/30} 表示用直径 10 mm 钢球在 1000 kgf (9.807 kN) 试验力作用下保持 30 秒测得的布氏硬度值为 150。

500 HBW_{5/750} 表示用直径 5 mm 硬质合金球在 750 kgf (7.355 kN) 试验力作用下保持 10~15 秒测得的布氏硬度值为 500。

布氏硬度试验应选用规定的试验力, 见表 1-1。

表 1-1 布氏硬度试验的试验力

硬 度 符 号	球的直径 (mm)	F/D^2 ($0.102F/D^2$)	试 验 力 kgf (N)
HBS(HBW) _{10/3000}	10	30	3000(29.42 kN)
HBS(HBW) _{10/1500}	10	15	1500(14.71 kN)
HBS(HBW) _{10/1000}	10	10	1000(9.807 kN)
HBS(HBW) _{10/500}	10	5	500(4.903 kN)
HBS(HBW) _{10/250}	10	2.5	250(2.452 kN)
HBS(HBW) _{10/125}	10	1.25	125(1.226 kN)
HBS(HBW) _{10/100}	10	1	100(980.7 N)
HBS(HBW) _{5/750}	5	30	750(7.355 kN)
HBS(HBW) _{5/250}	5	10	250(2.452 kN)
HBS(HBW) _{5/125}	5	5	125(1.226 kN)
HBS(HBW) _{5/62.5}	5	2.5	62.5(612.9 N)
HBS(HBW) _{5/31.25}	5	1.25	31.25(306.5 N)
HBS(HBW) _{5/25}	5	1	25(245.2 N)
HBS(HBW) _{2.5/187.5}	2.5	30	187.5(1.839 kN)
HBS(HBW) _{2.5/62.5}	2.5	10	62.5(612.9 N)
HBS(HBW) _{2.5/31.25}	2.5	5	31.25(306.5 N)
HBS(HBW) _{2.5/15.625}	2.5	2.5	15.625(153.2 N)
HBS(HBW) _{2.5/7.8125}	2.5	1.25	7.8125(76.61 N)
HBS(HBW) _{2.5/6.25}	2.5	1	6.25(61.29 N)

注: 本表列出一部分试验力, 详见 GB 231—84 «金属布氏硬度试验方法»。

根据材料和布氏硬度范围选择 F/D^2 值, 见表 1-2。

表 1-2 F/D^2 值的选择

材 料	布 氏 硬 度 值	F/D^2
钢及铸铁	<140	10
	≥ 140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及合金	<35	2.5(1.25)
	35~80	10(5 或 15)
	>80	10(15)
铅、锡		1.25(1)

注: 1. 当试验条件允许时, 应尽量选用 10 mm 的球;

2. 当有关标准中没有明确规定时, 应使用无括号的 F/D^2 值。

施加试验力时间为 2~8 秒, 黑色金属的试验力保持时间为 10~15 秒; 有色金属为 30 秒 ± 2 秒; 布氏硬度等于 35 时为 60 秒 ± 2 秒。

布氏硬度试验的优点是测定的数据准确、稳定, 数据重复性强, 常用于测定退火、正火、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。其缺点是压痕较大易损坏成品的表面, 不能测定太薄的试样。

应尽量避免将布氏硬度换算成其它硬度或抗拉强度。当必须进行换算时, 应按有关规定换算。

二、洛氏硬度

当材料硬度较高或者试样过小时, 需改用洛氏硬度计来进行硬度的测定。

洛氏硬度试验, 是用顶角为 120° 的金刚石圆锥压头或直径为 1.588 mm 的淬火钢球压头, 在先后施加两个载荷(初载荷和总载荷)的作用下压入金属表面来进行的(详见 GB 230—83)。总载荷 F 为初载荷 F_0 和主载荷 F_1 之和, 即 $F = F_0 + F_1$ 。

洛氏硬度值是施加总载荷并卸除主载荷 F_1 后, 在初载荷下用测量的 e 值来计算(见图 1-4)的。但在实际测量时, 可从洛氏硬度计的刻度盘中直接读出硬度值(无单位), 不必查表, 也不用计算。若压痕愈深, 则刻度盘的硬度示值愈小, 即材料愈软。反之, 压痕愈浅, 刻度盘的硬度示值愈大, 即材料愈硬。

常用的洛氏硬度有三种表示符号: HRA、HRB、HRC。HRA 与 HRC 值的测定是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体作为压头, 而 HRB 值的测定则采用直径 1.588 mm 的钢球作为压头。其硬度试验范围如表 1-3。