



高职高专“十一五”规划教材

机械电子类

新编机械 工程材料

彭宝成 主编



机械工业出版社
www.cmp.cn

高职高专“十一五”规划教材·机械类

新编机械工程材料

主 编	彭宝成		
副主编	陈 斗	熊 江	
	王 泉		
主 审	续永刚		

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2008

内 容 简 介

本书以理论“必需、够用”的原则编写,编写内容以掌握概念、强化应用为教学重点,主要讲解了金属材料的性能、金属的晶体结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、碳素钢(非合金钢)、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金、非金属材料与复合材料、铸造、金属压力加工和焊接等内容。

本书是机械、机电、钢铁冶金、模具、汽车、数控、机修、铸造、锻造和焊接等专业系列教材之一,适合作为高职高专院校机械类相关专业教材使用,亦可作为有关工程技术人员、企业管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新编机械工程材料/彭宝成主编. —北京:冶金工业出版社,
2008.9
ISBN 978-7-5024-4752-6

I. 新… II. 彭… III. 机械制造材料 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 148581 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 刘 源

ISBN 978-7-5024-4752-6

北京天正元印务有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2008 年 9 月第 1 版, 2008 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.5 印张; 403 千字; 256 页; 1-3000 册

29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

为适应高等职业技术教育的发展,本着理论“必需、够用”的原则,编写了《新编机械工程材料》教材。本书是机械、机电、钢铁冶金、模具、汽车、数控、机修、铸造、锻造和焊接等专业系列教材之一,亦可作为有关工程技术人员、企业管理人员的参考用书。

本书在编写过程中以培养生产第一线应用技术型人才为目标,坚持理论与实际的联系,以掌握概念、强化应用为教学重点。着重培养学生分析问题、解决问题的能力,进一步拓宽学生的专业知识面。考虑到高职院校学生的知识特点及培养目标,在编写内容上力求简单实用,对基本内容和重点内容讲明讲细,对非重点内容只作简单介绍。对实践性较强的内容列举生产中的典型事例,力求学生有针对性地学习。本书按照知识点之间的衔接和过渡,循序渐进的原则进行编写。

本书由彭宝成任主编,陈斗、熊江、王泉任副主编,高新欣参加编写。全书由续永刚统稿。

由于编者水平所限,书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目 录

绪论.....	1	2.1.5 3种常见的金属晶格类型.....	19
0.1 机械工程材料.....	1	2.2 金属的同素异构转变.....	21
0.1.1 材料的简要发展过程.....	1	2.2.1 同素异构转变.....	21
0.1.2 工程材料的生产过程.....	1	2.2.2 纯铁的同素异构转变.....	21
0.2 钢铁材料的成形工艺.....	2	2.3 实际金属的晶体结构及其对性能的影响.....	21
0.3 本课程基本内容和任务.....	2	2.3.1 金属的显微组织.....	21
第1章 金属材料的性能.....	3	2.3.2 实际金属的晶体结构.....	22
1.1 金属材料的强度和塑性.....	3	2.4 金属的结晶.....	23
1.1.1 拉伸试验.....	3	2.4.1 金属的结晶.....	23
1.1.2 强度.....	5	2.4.2 晶粒大小对金属力学性能的影响.....	25
1.1.3 塑性.....	5	习题.....	26
1.1.4 金属材料刚度指标.....	7	第3章 金属的塑性变形与再结晶.....	27
1.2 金属材料的硬度.....	7	3.1 金属的塑性变形.....	27
1.2.1 布氏硬度.....	7	3.1.1 单晶体的塑性变形.....	27
1.2.2 洛氏硬度.....	9	3.1.2 多晶体的塑性变形.....	30
1.2.3 维氏硬度.....	10	3.1.3 合金的塑性变形.....	30
1.2.4 肖氏硬度.....	10	3.2 冷塑性变形对金属组织和性能的影响.....	31
1.3 金属材料的韧性.....	11	3.2.1 冷塑性变形对金属组织结构的影响.....	31
1.3.1 金属材料的冲击韧性.....	11	3.2.2 冷塑性变形对金属性能的影响.....	32
1.3.2 金属材料的断裂韧度.....	13	3.2.3 冷塑性变形产生内应力.....	32
1.4 金属的疲劳极限.....	13	3.3 冷塑性变形金属在加热时组织和性能的变化.....	33
1.4.1 疲劳的概念.....	13	3.3.1 冷塑性变形金属在加热时组织和性能的变化.....	33
1.4.2 疲劳破坏的特征.....	13	3.3.2 再结晶温度.....	35
1.4.3 疲劳极限.....	14	3.3.3 再结晶后的晶粒大小.....	35
1.5 金属的物理性能和化学性能.....	14	3.4 热塑性变形对金属组织和性能的影响.....	36
1.5.1 金属材料的物理性能.....	14	3.4.1 冷变形与热变形的区别.....	36
1.5.2 金属材料的化学性能.....	15	3.4.2 热加工对金属组织和性能的影响.....	36
1.6 金属的工艺性能.....	16	3.4.3 热加工中晶粒大小的控制.....	37
1.6.1 铸造性能.....	16	习题.....	38
1.6.2 压力加工性能.....	16	第4章 铁碳合金相图.....	39
1.6.3 焊接性能.....	17	4.1 固态合金的相结构.....	39
1.6.4 切削加工性能.....	17	4.1.1 合金的基本概念.....	39
1.6.5 热处理性能.....	17	4.1.2 合金的相结构.....	39
习题.....	17		
第2章 金属的晶体结构与结晶.....	18		
2.1 金属的晶体结构.....	18		
2.1.1 金属及其特性.....	18		
2.1.2 结合键.....	18		
2.1.3 晶体与非晶体.....	18		
2.1.4 晶体结构的基本概念.....	19		

4.2 二元合金相图..... 40	5.7 其他热处理方法简介..... 82
4.2.1 二元合金相图的建立..... 41	5.8 热处理工艺的应用..... 83
4.2.2 基本相图..... 41	5.8.1 热处理技术条件..... 83
4.3 铁碳合金的基本相与基本组织..... 43	5.8.2 热处理的工序位置..... 86
4.3.1 铁碳合金的基本相..... 43	5.8.3 热处理工艺应用举例..... 86
4.3.2 碳合金的基本组织..... 45	5.8.4 零件的结构对热处理的影响..... 88
4.4 Fe-Fe ₃ C 相图分析..... 46	习题..... 88
4.4.1 铁碳合金相图的组成..... 46	
4.4.2 Fe-Fe ₃ C 相图中点、线 的含义..... 47	第6章 碳素钢 89
4.4.3 铁碳合金的基本相区..... 48	6.1 常存杂质元素对钢性能的影响..... 89
4.4.4 铁碳合金的分类..... 48	6.1.1 硅的影响..... 89
4.4.5 典型铁碳合金的结晶过程..... 48	6.1.2 锰的影响..... 89
4.5 含碳量对铁碳合金组织与性能 的影响..... 53	6.1.3 硫的影响..... 89
4.5.1 含碳量对组织的影响..... 53	6.1.4 磷的影响..... 90
4.5.2 含碳量对性能的影响..... 53	6.1.5 氧的影响..... 90
4.6 铁碳合金相图的应用..... 54	6.1.6 氢的影响..... 90
4.6.1 选材方面的应用..... 54	6.2 碳钢的分类、编号、性能和用途..... 90
4.6.2 在铸造生产方面的应用..... 55	6.2.1 碳钢的分类..... 90
4.6.3 在锻造及轧制生产方面 的应用..... 55	6.2.2 碳钢的编号、性能和用途..... 91
4.6.4 在热处理方面的应用..... 55	6.2.3 钢铁及合金统一数字 代号体系..... 96
习题..... 55	6.3 钢中非金属夹杂物和气体..... 97
第5章 钢的热处理 56	6.3.1 非金属夹杂物..... 97
5.1 钢在加热时的组织转变..... 57	6.3.2 钢中气体..... 97
5.1.1 共析钢的奥氏体化..... 57	6.4 碳素钢钢锭的组织 and 缺陷..... 98
5.1.2 奥氏体晶粒的长大及 影响因素..... 58	6.4.1 镇静钢钢锭的组织 and 缺陷..... 98
5.2 钢在冷却时的组织转变..... 59	6.4.2 沸腾钢钢锭的组织 and 缺陷..... 100
5.2.1 过冷奥氏体的等温转变..... 59	6.4.3 连铸坯的组织 and 缺陷..... 100
5.2.2 过冷奥氏体的连续冷却..... 62	习题..... 101
5.3 钢的退火和正火..... 64	第7章 合金钢 102
5.3.1 钢的退火..... 64	7.1 合金钢的分类..... 102
5.3.2 钢的正火..... 67	7.2 合金元素在钢中的作用..... 102
5.4 钢的淬火..... 68	7.2.1 合金元素对钢中基本相 的影响..... 102
5.4.1 淬火及目的..... 68	7.2.2 合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图 的影响..... 104
5.4.2 淬火工艺..... 68	7.2.3 合金元素对钢热处理的 影响..... 105
5.4.3 钢的淬透性和淬硬性..... 71	7.3 合金结构钢..... 107
5.4.4 淬火缺陷..... 73	7.3.1 工程结构用合金钢..... 107
5.5 钢的回火..... 73	7.3.2 机械结构用合金钢..... 108
5.5.1 淬火钢回火时组织和性能 的变化..... 73	7.3.3 铸造合金钢..... 116
5.5.2 回火的分类..... 75	7.4 合金工具钢..... 117
5.5.3 回火脆性..... 76	7.4.1 合金刀具钢..... 117
5.6 钢的表面热处理..... 77	7.4.2 合金模具钢..... 121
5.6.1 表面淬火..... 77	7.4.3 量具钢..... 123
5.6.2 表面化学热处理..... 79	7.5 特殊性能钢..... 124
	7.5.1 不锈钢耐酸钢..... 124
	7.5.2 耐热钢..... 125

7.5.3 耐磨钢	126	9.4.3 切削加工用硬质合金的 分类和分组代号	153
7.6 金属材料的检验	126	9.4.4 硬质合金的应用	153
7.6.1 钢材的包装、标志及数量 检验	127	习题	154
7.6.2 钢材的成分检验	127	第 10 章 非金属材料与复合材料	155
7.6.3 组织分析	129	10.1 高分子材料	155
习题	130	10.1.1 塑料	156
第 8 章 铸铁	131	10.1.2 合成橡胶	160
8.1 概述	131	10.1.3 胶粘剂	162
8.1.1 铸铁的分类	131	10.2 陶瓷	163
8.1.2 铸铁的石墨化	132	10.2.1 陶瓷的分类	163
8.2 灰铸铁	134	10.2.2 陶瓷的组织结构	163
8.2.1 灰铸铁的成分、组织 与性能	134	10.2.3 陶瓷的性能	164
8.2.2 灰铸铁的孕育处理	134	10.2.4 常用陶瓷材料	164
8.2.3 灰铸铁的牌号及用途	135	10.3 复合材料	165
8.2.4 灰铸铁的热处理	135	10.3.1 复合材料的分类	166
8.3 球墨铸铁	136	10.3.2 复合材料的性能特点	166
8.3.1 球墨铸铁的化学成分、组织 和性能	136	10.3.3 复合材料的制造方法	167
8.3.2 球墨铸铁的牌号及用途	137	10.3.4 常用复合材料	168
8.3.3 球墨铸铁的热处理	138	10.4 纳米材料	169
8.4 蠕墨铸铁	138	10.4.1 纳米材料的结构和 优异性能	169
8.4.1 蠕墨铸铁的化学成分、 组织和性能	139	10.4.2 纳米材料的制备	171
8.4.2 牌号及用途	139	10.5 超导材料	171
8.5 可锻铸铁	140	10.5.1 超导材料的分类及特点	171
8.5.1 可锻铸铁的化学成分、 组织和性能	140	10.5.2 超导材料的应用	173
8.5.2 可锻铸铁的牌号及用途	141	10.6 贮氢合金	173
8.6 合金铸铁	141	10.6.1 贮氢合金分类	173
8.6.1 耐磨铸铁	141	10.6.2 贮氢合金的应用	174
8.6.2 耐热铸铁	142	10.7 形状记忆合金	175
8.6.3 耐蚀铸铁	142	10.7.1 工程应用	175
习题	143	10.7.2 医学应用	176
第 9 章 有色金属及硬质合金	144	10.7.3 智能应用	176
9.1 铝及其合金	144	10.8 非晶态合金	176
9.1.1 纯铝	144	习题	177
9.1.2 铝合金	144	第 11 章 铸造	178
9.2 铜及其合金	147	11.1 概述	178
9.2.1 纯铜	147	11.2 合金的铸造性能	179
9.2.2 铜合金	148	11.2.1 合金的流动性	179
9.3 滑动轴承合金	150	11.2.2 合金的收缩	179
9.3.1 轴承合金的组织特征	150	11.3 砂型铸造	183
9.3.2 常用的轴承合金	151	11.3.1 造型材料	184
9.4 硬质合金	152	11.3.2 造型方法的选择	186
9.4.1 硬质合金的性能特点	152	11.4 铸造工艺设计	187
9.4.2 常用的硬质合金	153	11.4.1 铸件结构设计的原则	187
		11.4.2 铸造工艺方案的选择	194
		11.5 特种铸造	199
		11.5.1 金属型铸造	199

11.5.2	压力铸造	200	13.2.2	气焊、气割的应用设备 及工具	232
11.5.3	低压铸造	201	13.2.3	气焊用材料	233
11.5.4	离心铸造	202	13.2.4	气焊工艺	234
11.5.5	熔模铸造	203	13.3	焊接电弧和弧焊电源	235
习题		205	13.3.1	电弧的一般特点	235
第 12 章 金属压力加工		207	13.3.2	焊接电弧的静特性	235
12.1	概述	207	13.3.3	弧焊电源	236
12.2	锻造加热和冷却	208	13.4	手工电弧焊	238
12.2.1	金属的加热	208	13.4.1	手工电弧焊原理	238
12.2.2	锻造温度范围	208	13.4.2	焊条	238
12.2.3	加热产生的缺陷及其 防止方法	209	13.4.3	手工电弧焊的操作技术及 规范参数的选择	240
12.2.4	加热设备	210	13.5	埋弧焊	241
12.2.5	锻后冷却	210	13.5.1	埋弧焊原理及特点	241
12.3	自由锻	211	13.5.2	埋弧焊设备及材料	242
12.3.1	空气锤	211	13.5.3	埋弧焊工艺	243
12.3.2	自由锻基本工序	212	13.6	气体保护电弧焊	243
12.3.3	自由锻件的结构工艺性	214	13.6.1	熔化极气体保护焊	243
12.3.4	制定锻件的自由锻造 工艺规程	216	13.6.2	非熔化极气体保护焊	244
12.3.5	自由锻的锻造缺陷	216	13.7	电阻焊	246
12.4	模锻	217	13.7.1	点焊	246
12.4.1	锤上模锻	218	13.7.2	缝焊	247
12.4.2	胎模锻	219	13.7.3	凸焊	247
12.4.3	特种模锻	219	13.7.4	对焊	248
12.5	板料冲压	221	13.8	钎焊	248
12.5.1	板料冲压的基本工序	222	13.8.1	钎焊原理	248
12.5.2	冲床及冲模	226	13.8.2	钎焊分类	248
12.6	其他压力加工方法	227	13.8.3	钎焊的接头形式	249
12.6.1	挤压	228	13.8.4	钎焊的应用	249
12.6.2	轧制	229	13.9	常用金属材料的焊接	249
12.6.3	拉拔	229	13.9.1	金属材料的焊接性	249
习题		230	13.9.2	碳素钢和低合金结构钢的 焊接	250
第 13 章 焊接		231	13.9.3	不锈钢的焊接	251
13.1	焊接方法的本质及分类	231	13.9.4	铸铁的焊接	251
13.1.1	焊接的定义	231	13.9.5	非铁金属的焊接	251
13.1.2	焊接过程的本质	231	13.10	焊接接头及焊接结构基础	252
13.1.3	焊接方法的分类	231	13.10.1	焊接接头的组织及性能	252
13.2	气焊及气割	231	13.10.2	焊接应力与变形	253
13.2.1	气焊、气割的基本概念	231	13.10.3	焊接结构设计基础	256
			习题		256

绪 论

机械工程材料课程包括常用的机械工程材料及其毛坯零件热成形工艺两大部分内容。机械工程材料是构成机械设备的基础，也是各种机械加工的对象，它包括金属材料、非金属材料 and 复合材料等。材料热成形工艺包括各种材料的铸造、锻造和焊接等工艺。

0.1 机械工程材料

0.1.1 材料的简要发展过程

材料是人类文明生活的物质基础，它可以直接反映出人类社会的文明程度。纵观人类利用材料的历史，可以清楚地看到，每一次重要新材料的发现和应用都会引起生产技术的革命，并大大加速社会文明发展的进程。在人类发展的历史长河中就有石器时代、青铜器时代和铁器时代等以材料命名的时代。也正是由于材料的发展和使用，才使得人类社会不断发展到现代科学技术高度发达的今天。

在远古时代，人类的祖先是石器为主要工具的。他们在不断改进石器和寻找石料的过程中发现了天然铜块和铜矿石，并在用火烧制陶器的生产过程中发现了冶铜术，后来又发现把锡矿石加到红铜里一起熔炼，制成的物品更加坚韧、耐磨，这就是青铜。公元前 5000 年，人类进入青铜器时代。公元前 1200 年左右，人类进入铁器时代，开始使用铸铁，后来制钢工业迅速发展，成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。所以也有人将 18~19 世纪称为“钢铁时代”。进入 20 世纪后半叶，新材料研制日新月异，出现了所谓高分子材料、半导体材料、先进陶瓷材料、复合材料、纳米材料、高温超导材料、激光材料、磁性材料、电子材料、形状记忆材料和生物材料等一系列新的材料。材料的发展进入了丰富多彩的新时代。材料科学技术的发展和应用，促进了机械制造业的飞跃。

0.1.2 工程材料的生产过程

炼铁：高炉炼铁的主要原料是铁矿石、焦炭和石灰石，主要设备是高炉。把配制好的炉料装入高炉内，同时向炉内吹高温热风，炉料在高温作用下发生反应，进入冶炼过程，铁矿石中的铁不断被还原出来，成为生铁，并以液体状态滴入炉缸。而炉渣则从排渣口排除。

炼钢：炼钢方法是以生铁为主要原料，首先把生铁熔化成液体，将它倾入高温的炼钢炉中，利用氧化作用将碳及其他元素去除到规定范围之内，就得到了钢。现代炼钢方法主要有转炉、电炉和平炉等。炼钢炉的炉衬根据耐火材料的不同，分为碱性炉衬和酸性炉衬两类，其吹氧方式可分为顶吹、底吹和侧吹。

高分子材料由低分子化合物组成，是大量低分子的聚合物，简称高聚物。低分子有机化合物经过加聚或缩聚反应，由单体结合而成高聚物，成为高分子化合物。例如，合成树脂的生产工艺流程包括：原料的制备、催化剂的配制、单体的聚合、分离、回收精制和后处理等。根据聚合方式的不同，合成树脂的生产工艺流程可分为本体聚合流程、悬浮聚合流程、乳液聚合流程、溶液聚合流程和气相聚聚合流程等。

所谓陶瓷，是指以天然硅酸盐或人工合成化合物为原料，经过制粉、配料、成形、高温

烧结而制成的无机非金属材料。陶瓷材料生产的一般工艺流程为：配置好的成分→混合→预烧合成→粉碎→造粒→成形→烧结→冷加工。

粉末冶金材料是用金属粉末或金属与非金属粉末作原料，通过配置、压制成形、烧结和后处理等工艺过程而形成的材料。

随着现代科学技术的快速发展，各种新型材料层出不穷。例如，新型的“生物钢”材料就是应用生物基因技术将蜘蛛丝的基因转接到一种绵羊的体内，然后从绵羊体内挤出的奶中提炼出大量的“蜘蛛丝”，再经过加工制成的网可以拦截美国“F-16”战斗机。

0.2 钢铁材料的成形工艺

把炼好的钢液浇注到锭模中凝固，形成钢锭，这种生产方式称为模铸(目前越来越多的半成品由连铸方式生产)。钢锭脱模后，多数又加热到一定温度，再轧制成棒坯、方坯或板坯等，称为半成品。随后半成品经各种压力加工工序，如热轧、冷轧、锻压、挤压和拉拔等，制成棒、板、钢轨、管材和线材等型材。除上述加工方法以外，还有许多其他加工方法。本书将讲述钢铁材料的铸、锻、焊成形过程。

近年来，机械产品更新换代的速度不断加快，对制造工艺提出了更高、更新的要求；新能源、新材料、微电子和计算机等新技术的不断引入，为新型加工方法的出现提供了技术储备。因此，机械制造新型成形加工方法不断出现和发展。如计算机数值模拟技术和计算机辅助工艺设计(CAPP)在铸造、锻压和焊接等传统工艺中开始得到广泛应用。

0.3 本课程基本内容和任务

通过本课程的学习，使学生获得常用工程材料及其成形工艺的基础知识，建立对材料成分、组织结构、性能、加工使用相互之间关系与规律的认识，掌握常用工程材料的种类、成分、组织、性能、改性方法和用途，具有合理选材和改变材料性能方法的初步能力；具有综合运用工艺知识，选择毛坯种类、成形方法及工艺分析的初步能力，为学习其他有关课程和从事工业生产、技术及管理工作奠定必要的基础。

本课程具有知识面宽、综合性强和实用性强等特点，是一门专业基础课。学习中要注意归纳、总结，要注意理论联系实际，通过实验、实训和生产实践，开拓思路，提高水平和能力。

第 1 章 金属材料的性能

金属材料在工业、农业、国防及科学技术等各个领域得到了广泛应用，它是加快我国社会主义现代化步伐的重要物质基础。

金属材料之所以获得广泛的应用，主要是因为它具备很多可贵的性能。其性能包含使用性能和工艺性能两方面。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能，它包括物理性能、化学性能和力学性能等。工艺性能是指金属在制造加工过程中反映出来的各种性能，它包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能以及热处理性能等。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适用各种加工方法，制成各种形状、尺寸的零件或工具。此外，金属材料还可以通过不同成分配制、不同加工工艺及热处理制度来改变其组织和性能，从而进一步扩大其应用范围。

1.1 金属材料的强度和塑性

金属材料在加工和使用过程中都要受到外力的作用，这种外力称为载荷。当载荷在某一极限范围内时，材料本身一般不发生明显的变形或断裂，说明金属材料对外力具有一定的抵抗能力。但是，当外力超过某一极限时，金属材料就会发生变形，甚至断裂。我们把金属材料在外力作用下所表现出来的抵抗能力称为金属的“力学性能”。常用的力学性能指标有强度、硬度、塑性、韧性及疲劳强度等。

1.1.1 拉伸试验

材料的强度和塑性可由拉伸试验测定。预先将金属材料按 GB228—87 规定制成一定形状和尺寸的试样，常用的试样断面为圆形，称为圆形试样，如图 1-1 所示。图中 d_0 称为试样的直径， L_0 称为标距长度。所谓标距长度，是指试样计算时的有效长度。根据国家标准的规定，拉伸试样有长试样和短试样两种，长试样为 $L_0 = 10d_0$ ，短试样为 $L_0 = 5d_0$ 。在生产检验中采用的 d_0 为 10mm。

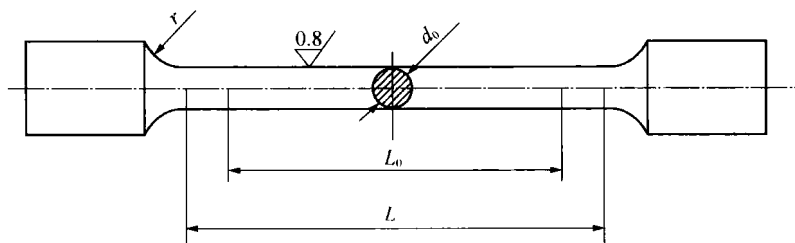


图 1-1 圆形拉伸试样

拉伸试验的过程通常是将加工好的金属试样装夹在拉伸试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷，直至把试样拉断为止。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量之间的关系，可测出该金属的拉伸曲线。根据测得的数据可得出强度和塑性指标。

如图 1-2 所示为低碳钢的拉伸曲线，此曲线明显地表现出下面几个变形阶段。

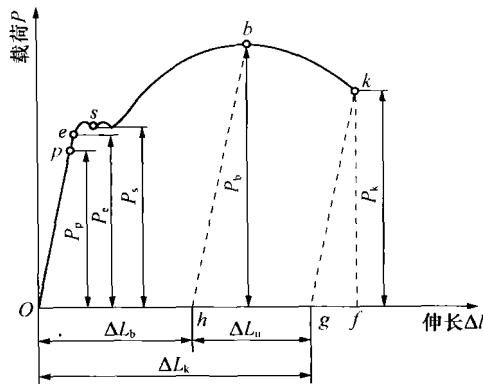


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

1.1.1.1 Oe ——弹性变形阶段

试样变形完全是弹性的，此时如果卸载，试样的变形将消失。这种随着载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。

1.1.1.2 es ——屈服阶段

当载荷增加到 P_s 时，图上出现平台或锯齿状。这种载荷变化不大而变形显著增加的现象称为屈服现象。

1.1.1.3 sb ——强化阶段

在屈服阶段以后，欲使试样继续伸长，必须加载。随着塑性变形的增加，试样变形抗力也逐渐增加，这种现象称为形变强化。

1.1.1.4 bk ——缩颈阶段

此阶段试样的直径发生局部收缩，称为“缩颈”。在 k 点处试样已被拉断。

工程上使用的金属材料，多数没有明显的屈服现象。有些脆性材料，不仅没有屈服现象，而且也不产生“缩颈”，如铸铁和高碳钢等。如图 1-3(a)所示为铸铁的拉伸曲线，如图 1-3(b)所示为中碳钢、高碳钢的拉伸曲线。

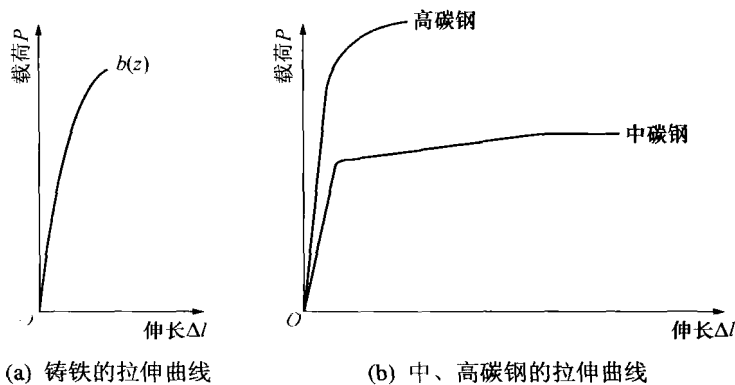


图 1-3 铸铁与中、高碳钢的拉伸曲线

1.1.2 强度

强度是材料在静载荷作用下抵抗破坏的能力。根据载荷作用方式不同,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。其中以拉伸试验所得的强度指标应用最为广泛。在拉伸试验中可测得抗拉强度和屈服强度等指标。

1.1.2.1 抗拉强度

材料在拉断前所能承受的最大应力值称为“抗拉强度”,用符号 σ_b 表示,其计算公式如下:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{S_0}$$

式中 σ_b ——抗拉强度, MPa;

P_b ——试样拉断前承受的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

零件在工作中所承受的应力不允许超过抗拉强度,否则会产生断裂。 σ_b 是机械零件设计和选材的重要依据。

1.1.2.2 屈服强度

在拉伸试验中,屈服阶段所对应的最低应力值称为“屈服强度”,用符号 σ_s 表示。其计算公式如下:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{S_0}$$

式中 σ_s ——屈服点, Mpa;

P_s ——出现屈服现象时的最低载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

对于无明显屈服现象的金属材料,国家标准规定把试样产生的塑性变形量为原标距长度的0.2%时所对应的应力值作为该材料的屈服点,用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示,称为“条件屈服强度”。

屈服强度也是材料强度的重要指标。机械零件在工作时如受力过大,材料将达到屈服阶段,因产生过量的塑性变形而失效, σ_s ($\sigma_{0.2}$)也是机械零件设计和选材的重要依据。

金属材料的屈服强度和抗拉强度的比值叫做屈强比。屈强比越小,构件的安全、可靠性越高,但材料强度的有效利用率越低;屈强比过大,说明材料的屈服强度接近抗拉强度,虽然材料强度的有效利用率高,但使用时容易发生突然断裂,安全、可靠性降低。因此选材时应选择适当的屈强比,以保证工件的安全性。如轴类零件一般选0.65~0.75较为理想。

1.1.3 塑性

金属材料在外力作用下产生永久变形而不被破坏的能力称为“塑性”。塑性指标也是由拉伸试验测得的。常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率。

1.1.3.1 伸长率

试样在拉断后,其标距部分内所增加的长度与原标距长度的百分比称为伸长率。其计算公式如下:

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

式中 l_0 ——试样原标距长度, mm;

l_1 ——拉断后试样标距长度, mm;

δ ——伸长率, %。

标准试样有两种, 长、短试样的伸长率分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示, 通常 δ_{10} 直接写成 δ 即可。同一材料的试样长短不同, 测得的伸长率是不同的, 即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

1.1.3.2 断面收缩率

试样拉断后缩颈处横截面积的缩减量与原横截面积的百分比称为断面收缩率, 用符号 ψ 表示。其计算公式如下:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 ψ ——断面收缩率, %;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ;

S_1 ——试样拉断后缩颈处的横截面积, mm^2 。

一般来说, 金属的伸长率和断面收缩率越大, 其塑性越好。塑性好的金属, 可以采用多种压力加工方法进行加工, 如轧制、锻造和冲压等。塑性差的金属一般不能进行塑性变形。例如工业纯铁的 δ 可以达到 50%, ψ 可以达到 80%, 所以可以拉制细丝和轧制薄板等; 而铸铁的 δ 几乎为零, 所以不能进行塑性变形加工, 只能采用铸造生产。

必须指出, 塑性指标不能直接用于零件的设计计算, 只能根据经验来选定材料的塑性。一般来说, 长试样的伸长率达 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。

拉伸试验是材料力学性能试验中常用的一种试验方法。它能够反映材料的基本属性, 具有简单、快速和可靠的特点。

在工程结构和零部件设计时, 只有知道材料的强度性能和变形性能等才能确定结构形式和零件尺寸; 在材料的应用研究或研制过程中, 最后决定取舍的判据往往就是材料拉伸性能指标。拉伸试验是材料出厂检验和用户验收都要进行的一种试验, 有了拉伸性能指标, 还可以根据经验关系判断该材料的硬度、疲劳极限及断裂韧性等其他力学性能指标。总之, 拉伸试验在机械工程设计、材料生产研究和工艺选择等工作中具有很大的应用价值。

【例 1-1】 某钢厂生产一批 40 钢, 按国标规定, 其力学性能指标不应低于下列数值: $\sigma_s = 340 \text{ Mpa}$ 、 $\sigma_b = 540 \text{ Mpa}$ 、 $\delta_5 = 19\%$ 、 $\psi = 45\%$ 。现制取 $d_0 = 10 \text{ mm}$ 的短试样, 通过拉伸试验测得 $P_s = 28.26 \text{ kN}$ 、 $P_b = 45.53 \text{ kN}$, $l_1 = 60.5 \text{ mm}$ 、 $d_1 = 7 \text{ mm}$ 。试判断这批钢材是否合格。

解 先列出已知条件:

$$d_0 = 10 \text{ mm}, S_0 = \frac{1}{4} \pi d_0^2 = 78.5 \text{ mm}^2, l_0 = 50 \text{ mm}, l_1 = 60.5 \text{ mm}, d_1 = 7 \text{ mm}$$

$$S_1 = \frac{1}{4} \pi d_1^2 = 38.5 \text{ mm}^2, P_s = 28.26 \text{ kN} = 28\,260 \text{ N}, P_b = 45.53 \text{ kN} = 45\,530 \text{ N}$$

计算:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{S_0} = \frac{28\,260}{78.5} = 360 \text{ MPa} > 340 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = \frac{P_b}{S_0} = \frac{45\,530}{78.5} = 580 \text{ MPa} > 540 \text{ MPa}$$

$$\delta_5 = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{60.5 - 50}{50} \times 100\% = 21\% > 19\%$$

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% = \frac{78.5 - 38.5}{78.5} \times 100\% = 51\% > 45\%$$

此批 40 钢的 4 项力学性能指标均大于标准规定值，故合格。

1.1.4 金属材料刚度指标

材料在受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度。材料刚度的大小，通常用弹性模量 E 来评定。

材料在弹性范围内，应力 σ 与应变 ε 的关系符合虎克定律，即 $\sigma = E\varepsilon$ 。由公式中可以看出，材料的弹性模量 E 越大，材料的刚度越大，则弹性变形越难进行。因此在设计机械零件时，要求刚度大的零件，应选用具有高弹性模量的材料。而钢铁材料的弹性模量较大，所以在机械工程等领域通常选择钢铁材料。例如镗床的镗杆应具有足够的刚度，如果刚度不足，当进刀量大时镗杆的弹性变形就会越大，镗出的孔就会偏小且尺寸不准，因而影响加工精度。

要求在弹性范围内对能量有很大吸收能力的零件(如仪表弹簧)，应选择低弹性模量和极高的弹性极限的材料制造，如铍青铜和磷青铜等。

生产中一般不检验弹性模量 E 的大小，基本金属一经确定，其弹性模量值就基本上定了。材料的弹性模量可以查有关手册得到，见表 1-1。

表 1-1 常见金属的弹性模量

金 属	弹性模量 E/MPa
铁	214 000
镍	210 000
钛	118 010
铝	72 000
铜	132 400
镁	45 000

1.2 金属材料的硬度

硬度是材料抵抗局部变形、压痕或划痕的能力。硬度也是金属材料力学性能的一个重要指标。在金属材料制成的半成品或成品的质量检验中，硬度是标志产品质量的重要依据之一。

硬度值又可间接地反映出金属材料在强度、化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异，而与拉伸试验相比，硬度试验简便易行，因而硬度试验应用十分广泛。

常用的硬度试验方法有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和肖氏硬度 4 种。

1.2.1 布氏硬度

1.2.1.1 布氏硬度试验法的原理

原理如图 1-4 所示。它是用规定的载荷，将一个直径为 D 的淬硬钢球或硬质合金球压入被测试件表面并停留一定时间，使塑性变形停留后，再卸除载荷。用读数显微镜测出试样表面

上的压痕直径 d ，然后计算布氏硬度值。

计算公式如下：

$$\text{HBS(W)} = \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 HBS(W) ——用淬火钢球(硬质合金球)试验时的布氏硬度值；

- F ——试验力，N；
- S ——球面压痕表面积， mm^2 ；
- D ——压头球体直径，mm；
- d ——压痕直径，mm。

在实际应用中，布氏硬度值无需计算，直接查表即可得出数据。

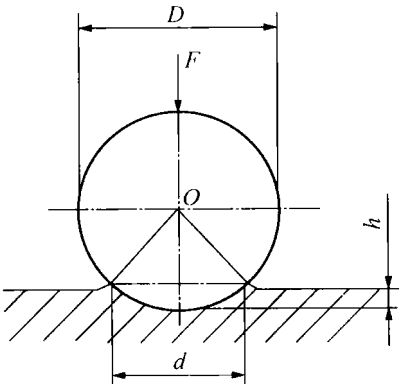


图 1-4 布氏硬度试验原理

1.2.1.2 布氏硬度的表示方法

在布氏硬度的表示方法中，符号 HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值，符号后面依次用相应数值注明压头球体直径(mm)、试验力(kg)、试验力保持时间(s)(10~15s 不标注)。例如，170HBS10/1 000/30 表示直径 10mm 的钢球在 980N(1 000kg)的试验力作用下，保持 30s 时测得的布氏硬度值为 170。

淬火钢球用于测定布氏硬度小于 450 的金属材料，其硬度值符号为 HBS；布氏硬度在 450~650 之间的材料，压头用硬质合金球，其硬度值符号为 HBW。布氏硬度适宜测量灰铸铁、有色金属及退火、正火后的钢材。

在进行布氏硬度试验时，应根据测试金属材料的种类、性质和试样厚度，选用不同大小的球体直径、施加载荷和载荷保持时间。具体选择方法见表 1-2。

表 1-2 布氏硬度试验规范

金属种类	布氏硬度值范围 HBS(HBW)	试样厚度 /mm	$K=0.102F/D^2$	球直径 D /mm	试验力 /kN (kgf)	试验力保持时间/s
黑色金属	>140	6~3	30	10.0	29.42(3 000)	10~15
		4~2		5.0	7.355(750)	
		<2		2.5	1.839(187.5)	
有色金属	<140	>6	10	10.0	9.807(1 000)	10~15
		6~3		5.0	2.452(250)	
		<3		2.5	1.839(187.5)	
有色金属	>130	6~3	30	10.0	29.42(3 000)	30
		4~2		5.0	7.355(750)	
		<2		2.5	1.839(187.5)	
有色金属	36~130	9~3	10	10.0	9.807(1 000)	30
		6~3		5.0	2.452(250)	
		<3		2.5	1.839(187.5)	
有色金属	8~35	>6	2.5	10.0	2.452(250)	60
		4~2		5.0	7.355(750)	
		<2		2.5	1.839(187.5)	

按 GB231—84 规定，载荷的保持时间为：黑色金属 10~15s，有色金属 30s，布氏硬度值小于 35 时为 60s；当条件允许时，压头应尽量选用 10 mm 球；载荷选择原则为 $P=KD^2$ 。

布氏硬度实验法的优点是：测定的数据准确、稳定。因其采用的试验力大，球体直径大，因而压痕直径也大，能较准确地反映金属材料的平均硬度。其缺点是：压痕较大，不宜测成品或薄片金属的硬度。此外，由于操作较缓慢，对大量逐件检验的产品不适用。在进行高硬度材料试验时，由于球体本身的变形会使测量结果不准确，因此，布氏硬度主要用于测定硬

度不是很高的材料。但由于布氏硬度与其他力学性能(如抗拉强度)之间存在一定的经验关系,因而得到了广泛的应用。

1.2.2 洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用最广泛的硬度试验方法。

洛氏硬度的测试原理是采用金刚石圆锥体或淬火钢球为压头,选择一定的载荷压入金属表面,按规定保持时间后卸除试验力,测量压痕深度,计算洛氏硬度值。

如图 1-5 所示是洛氏硬度测试过程示意图。测量时,先加初试验力 F_0 ,压入深度为 h_1 ,然后再加主试验力 F_1 ,在总试验力 $(F_1 + F_0)$ 的作用下,压头深入深度为 h_2 。卸除试验力,由于金属弹性变形的恢复,使压头回升到 h_3 的位置。其值按下列公式计算:

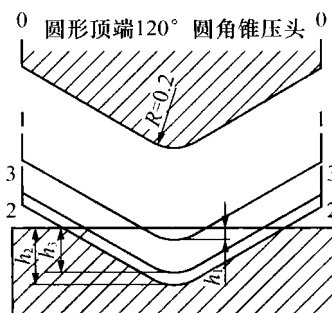


图 1-5 洛氏硬度试验原理

$$HR = \frac{K - h}{0.002}$$

式中 HR——洛氏硬度值;

K ——常数,用金刚石为压头时选 0.2,用钢球为压头时选 0.26;

h ——压痕深度, mm。

在实际应用中,洛氏硬度值无需计算,试验时硬度值直接从硬度计的表盘上读出。

根据金属材料的软硬程度,可选用不同的压头和载荷配合使用,测得的硬度值分别用不同的符号表示。国家标准规定有 15 种,下面将 3 种常用的洛氏硬度符号和试验条件列于表 1-3。

表 1-3 常用洛氏硬度试验规范

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}$ /kgf(N)	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	60(588.4)	60~88	硬质合金、表面淬火和高硬度较薄件等
HRB	ϕ 1.588mm 淬火钢球	100(980.7)	20~100	有色金属、退火和正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	150(1 471.1)	20~70	淬火钢和调质钢等

以上 3 种常用洛氏硬度值中,以 HRC 应用最广,一般经过淬火处理的钢零件或工具都用它。各种不同标尺的洛氏硬度值不能直接比较,但可用试验测定的换算表相互比较。

洛氏硬度值表示方法如下:符号 HR 前面的数字表示硬度值,HR 后面的字母表示不同洛氏硬度的标尺。例如 45HRC 表示用 C 标尺测量的洛氏硬度值为 45。

洛氏硬度实验法的优点是:操作简单迅速,能直接从刻度盘上读出硬度值;压痕较小,可以测定成品及较薄工件;测试的硬度值范围大,适于各种硬度的材料。但是,因为压痕小,对于内部组织和硬度不均匀的材料,硬度值波动较大,一般同一试件应测试 3 点以上,取平均值。常见工具及钢材的洛氏硬度值见表 1-4。

表 1-4 常用工具和钢材的洛氏硬度值

名称	一般硬度(HRC)	名称	一般硬度(HRC)
切削金属的刀具(如锉刀、钻头 and 钢车刀等)	60~65	菜刀、剪刀和斧头等的刀口部分	50~55