

全国高等农业院校教材

机械制造基础

上册

(第二版)

北京农业工程大学主编

农业出版社

第一版编写者

主 编 北京农业工程大学 束维钧 张政兴 黄 钦 尹长贵

副主编 西北农业大学 侯介仁

福建农学院 林伟业

编写人 北京农业工程大学 蒋弘彬 陈继武 周世康

西北农业大学 房 武 樊相印 仇农学

东北农学院 叶次珊 李亦榕 王冠群

河南农业大学 江受训

湖南农学院 杨忠汉

西南农业大学 范会儒 陈有珊

华南农业大学 苏国麟

广西农学院 黄时招

青海工农学院 边维国

第二版修订者

- 主 编** 张政兴 (北京农业工程大学)
副主编 林伟业 (福建农学院)
黄 钦 (北京农业工程大学)
编写者 林伟业 (福建农学院)
江受训 (河南农业大学)
吴 忠 (东北农学院)
房 武 (西北农业大学)
尹长贵 (北京农业工程大学)
黄 钦 (北京农业工程大学)
张政兴 (北京农业工程大学)
审稿者 龙如昌 (河北农业大学)
杨忠汉 (湖南农学院)
尚士友 (内蒙古农牧学院)
谭忠诚 (吉林农业大学)
魏亚璋 (浙江农业大学)
龙德根 (江西农业大学)
阳东升 (广西农学院)
刘光华 (华南农业大学)
肖树屏 (山西农业大学)

第二版前言

本书是1981年由农业出版社出版的全国高等农业院校试用教材《金属工艺学》的修订本，适用于农业机械化专业，也可用于农业机械、汽车与拖拉机、内燃机、畜牧机械、农副产品加工机械、水利机械和工业经济管理等专业使用。

这次修订工作是根据1984年10月全国高等农业院校制订的《金属工艺学教学大纲》和1986年9月国家教委高等学校课程教学指导小组制订的《材料及机械制造基础》课程教学基本要求进行的，教材的体系和内容均作了较大的改动。

1. 为了使新教材能够适应于教学方式的要求，作到教学内容和教学方式的统一，以及为了能比较确切地反映课程内容，这次修订按《机械制造基础》和《金属工艺实习》分别编写。

编写时注意到课堂教学内容与实习内容的相互配合与衔接，力求分工明确，重点突出，精选教材内容。

《机械制造基础》着重阐述常用金属材料及其主要加工方法的基本原理和工艺特点，对机械零件常用材料的选用、毛坯的选择、机械零件的加工方法和工艺路线的拟定等内容也作了比较全面的介绍。

2. 新编写了“机械工程材料”一篇，共七章，并对某些章节的内容进行了增删和调整，完善了课程体系，体现了课程的基本要求。

3. 《机械制造基础》分上、下两册出版。上册包括机械工程材料和零件毛坯的成形方法两篇，下册为金属切削加工。

4. 为加深学生对课程基本内容的理解，掌握和巩固所学的基本知识，在分析问题和独立解决问题的能力方面得到应有的训练，还编写了《机械制造基础习题集和实验指导书》以及《金属工艺简明手册》，作为配套教材使用。

由于编者的水平所限，缺点和错误在所难免，恳请读者批评、指正。

编者

1988年1月

目 录

第二版前言

绪言	1
----	---

第一篇 机械工程材料

第一章 金属学的基础知识	2
第一节 零件的失效和对材料的性能要求	2
一、零件失效的基本形式	2
二、金属材料的机械性能	3
三、金属的物理、化学和工艺性能	3
第二节 纯金属的结晶构造	8
一、金属晶格的基本类型	8
二、晶格的紧密度和晶体的各向异性	9
第三节 纯金属的结晶过程	10
一、冷却曲线和过冷度	10
二、金属的结晶过程	10
三、控制晶粒大小的措施	11
四、实际金属的晶体结构	12
第四节 二元合金	14
一、合金的概念	14
二、合金的基本相	15
三、二元合金相图的建立	17
四、匀晶相图	18
五、共晶相图	20
六、包晶相图	22
七、其它相图	23
八、合金性能与相图的关系	23
第二章 铁碳合金	24
第一节 纯铁的同素异构转变	24
第二节 铁碳合金的基本组织	25
一、铁素体	25
二、奥氏体	25
三、渗碳体	25
四、珠光体	25
五、莱氏体	27
第三节 铁碳合金相图	27

一、Fe—Fe ₃ C相图分析	28
二、铁碳合金的分类	30
三、典型合金的结晶过程	30
四、组织组成物相对重量的计算	32
第四节 碳钢	33
一、化学成分对钢性能的影响	33
二、碳钢的分类、编号和用途	34
第三章 钢的热处理	33
第一节 钢在加热过程的组织转变	39
一、奥氏体的形成过程	39
二、奥氏体的晶粒大小	40
第二节 钢在冷却过程的组织转变	42
一、过冷奥氏体的等温转变	42
二、过冷奥氏体的连续冷却转变	49
第三节 热处理工艺	50
一、退火和正火	50
二、淬火	52
三、回火	54
四、表面淬火	56
五、化学热处理	57
第四章 合金钢	61
第一节 合金钢概述	61
一、合金元素在钢中的作用	61
二、合金钢的分类和编号	64
第二节 合金结构钢	65
一、普通低合金钢	66
二、合金渗碳钢	67
三、合金调质钢	68
四、合金弹簧钢	69
五、滚动轴承钢	70
第三节 合金工具钢	71
一、合金刀具钢	71
二、合金模具钢	73
三、合金量具钢	74
第四节 特殊性能钢	74
一、耐磨钢	74
二、不锈钢	75
三、耐热钢	76
第五章 有色金属及其合金	77
第一节 铝及其合金	77
一、工业纯铝	77
二、铝合金	78

三、铸造铝合金	79
四、变形铝合金	82
第二节 铜及其合金	84
一、紫铜(工业纯铜)	84
二、黄铜	84
三、青铜	87
四、白铜	90
第三节 轴承合金	90
一、锡基轴承合金	91
二、铅基轴承合金	91
三、铜基轴承合金	91
四、铝基轴承合金	92
第六章 工程塑料和复合材料	92
第一节 高分子材料概述	93
一、高分子的组成和形状	93
二、高分子材料的人工合成	94
三、高聚物的结构和性能特点	95
第二节 工程塑料	97
一、塑料的组成和分类	98
二、塑料的性能	100
三、热塑性工程塑料	102
四、热固性工程塑料	106
第三节 复合材料	108
一、增强塑料	108
二、三层复合材料	110
三、夹层结构材料	110
第七章 工程材料的选用	111
第一节 选材的一般原则	111
一、材料的使用性能	111
二、材料的工艺性能	117
三、材料的经济性	118
第二节 典型零件的选材分析	119
一、齿轮类零件	119
二、轴类零件	120

第二篇 零件的成形方法

第八章 铸造	123
第一节 合金的铸造性能	124
一、合金的流动性	124
二、合金的收缩	125
第二节 砂型铸造工艺	128

一、造型方法的选用	128
二、浇注系统的设计	131
三、铸造工艺图的制定	133
第三节 特种铸造	138
一、熔模铸造	138
二、金属型铸造	139
三、压力铸造	140
四、低压铸造	141
五、离心铸造	142
六、陶瓷型铸造	142
七、各种铸造方法的比较	143
第四节 铸铁件的生产	144
一、铸铁的石墨化过程	144
二、石墨对铸铁性能的影响	146
三、灰口铸铁的生产	147
四、可锻铸铁的生产	150
五、球墨铸铁的生产	152
六、蠕墨铸铁的生产	156
七、特殊性能铸铁	157
第五节 钢及有色合金的铸造	158
一、铸钢件的生产	158
二、铝合金铸件的生产	159
三、铜合金铸件的生产	160
第六节 铸件结构的工艺性	161
一、合金铸造性能对铸件结构的要求	161
二、造型工艺对铸件结构的要求	165
三、铸造方法对铸件结构的要求	168
第九章 锻造	169
第一节 金属的塑性变形与再结晶	170
一、金属单晶体的塑性变形	170
二、实际金属的塑性变形	172
三、塑性变形对金属组织和性能的影响	172
四、变形金属在加热时组织和性能的变化	173
五、影响金属可锻性的因素	177
第二节 自由锻造工艺	178
一、自由锻件的结构工艺性	179
二、绘制锻件图	180
三、确定坯料的质量和尺寸	181
四、选择锻造工序	182
五、选择锻锤的吨位	183
六、自由锻造工艺举例	184
七、合金钢的锻造特点	186

第三节 模型锻造	187
一、锤上模锻	188
二、其它设备上的模锻	193
三、模锻件结构的工艺性	195
第四节 锻造新工艺简介	196
一、精密模锻	196
二、高速锤锻造	197
三、辗锻	198
四、径向锻造	199
第十章 少无切削的成形方法	200
第一节 冷冲压	200
一、冷冲压的基本工序	200
二、冲模的分类和构造	208
三、冲压件的结构工艺性	209
第二节 冷挤压	212
一、冷挤压的生产特点与分类	212
二、冷挤压工艺	213
三、冷挤压件的结构工艺性	215
四、静液挤压	216
第三节 零件的轧制	216
一、纵轧	216
二、横轧	217
三、斜轧	217
第四节 粉末冶金	218
一、粉末冶金工艺概述	218
二、粉末锻造	220
三、多孔含油轴承	221
四、硬质合金	222
第十一章 焊接	223
第一节 手工电弧焊	224
一、焊接电弧的静特性	225
二、电焊机的选择	225
三、电弧焊的冶金特点	227
四、电焊条	228
五、焊接接头的金属组织与性能	231
六、焊接的应力与变形	232
第二节 其它焊接方法	234
一、埋弧自动焊	235
二、气体保护焊	236
三、等离子弧焊接与切割	238
四、激光焊接	239
五、电阻焊	240

六、钎焊	242
第三节 常用金属材料的焊接	242
一、合金的可焊性	242
二、钢的焊接	243
三、铸铁件的焊补	245
四、有色金属的焊接	246
第四节 焊接结构的工艺性	247
一、焊接位置应便于操作	247
二、有利于减少焊接应力与变形的措施	248
第十二章 塑料的成形与加工	250
第一节 塑料的工艺性能	250
第二节 塑料的成形	251
一、注射成形	251
二、挤压成形	252
三、压制成形	253
四、浇铸成形	253
五、吹塑成形	254
六、缠绕成形	254
七、真空成形	254
第三节 塑料的加工	255
一、机械加工	255
二、塑料的连接	255
三、金属涂塑料或塑料镀金属	256
第四节 塑料零件的结构工艺性	257

绪 论

《机械制造基础》是研究常用机械零件的制造方法，即包括选择材料、制造毛坯和加工成零件的综合性技术基础课程。主要研究对象是金属材料和零件的加工工艺。

零件的制造过程，通常是用铸造、锻造或焊接等方法制成毛坯，再经切削加工制造成零件；对某些零件也可不经切削加工直接铸成或锻成；有时在零件的制造过程中，还要安排几道热处理工序，用以改变材料的机械性能和工艺性能。

我国在金属的应用上有着悠久的历史。早在公元前1700年的商殷时代，铸铜技术已有很高的水平，战国时代铁器的应用已相当普遍，这要比欧洲早一千多年。明朝宋应星所著的《天工开物》一书详细地记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火、退火以及渗碳等各种金属加工工艺，是世界上有关金属工艺最早的科学著作之一。它反映了我国劳动人民在金属工艺方面的卓越贡献和聪明才智。

建国三十年来，机械工业得到迅速的发展。机械工业产品，如机床、汽车、拖拉机、轴承和仪表等具有相当的生产规模，已形成了产品门类基本齐全、布置比较合理的机械制造工业体系。到目前为止，不但能自行设计和制造像飞机、远洋轮船等大型机具，而且能够生产像炼钢厂、发电厂等重型的成套设备，为生产部门提供了必要的设备，其中有些产品已开始投入国际市场。

随着机械工业的发展，新材料、新工艺不断涌现。以铸代锻，少无切屑加工的精密锻造、挤压、精铸，电渣焊，等离子焊接，特种加工以及软氮化、三元和多元共渗等工艺的应用，不但提高了生产率而且使产品的性能显著地提高；非金属材料性能的不断提高，尤其是复合材料的出现和应用，使非金属材料的应用范围愈来愈广。陶瓷、塑料已相当普遍地应用于机械工业和其他行业。非金属材料的应用使产品的性能、结构和制造工艺有很大的提高和改善，从而推动了机械工业的发展。

《机械制造基础》是农业机械化、农业机械、畜牧机械、农副产品加工机械、水利机械和工业经济管理等机械类和近机械类各专业必修的技术基础课程，它为培养工程技术人员和为学习有关的后继课程，在机械工程材料，零件的加工方法、结构工艺性和制造过程提供必要的工艺基础知识。

本课程的基本要求是：

1. 熟悉常用的机械工程材料的组织、性能、应用和选用原则；
2. 掌握各种主要加工方法的基本原理和工艺特点，具有选择毛坯、零件加工方法、设备和工具以及工艺分析的初步能力；
3. 熟悉机械零件设计的结构工艺性要求。

《机械制造基础》是一门实践性很强的课程。学生在学习本课程之前必须到工厂进行金工教学实习，通过实际动手操作，对铸造、锻造、焊接、热处理、钳工和切削加工等工种所用的设备、工具及其主要的加工方法获得必要的感性知识，搞好金工教学实习是学好本课程的重要条件和前题。

第一篇 机械工程材料

用于制作工程结构、机械零件和工具等的固体材料,统称为工程材料。

为了保证产品的制造工艺简便、生产成本低廉、使用安全可靠和经久耐用,工程材料应具有良好的使用性能和工艺性能。所谓使用性能是指工程材料在使用条件下所表现出来的物理、化学和机械性能;工艺性能则是材料在加工成机械零件过程中所表现出来的特性,如铸造性能、可锻性、可焊性、切削加工性等。材料的性能取决于内部结构,而内部结构则由材料的化学成分和加工工艺所决定。因此,揭示材料性能与成分、组织和工艺之间的关系,使学生具有正确选择和合理使用材料的初步能力是本篇的主要教学目的。

工程材料包括金属材料和非金属材料两大类。由于金属材料具有优良的使用性能和工艺性能,所以它不仅是传统的工程材料,而且目前仍然是最重要的工程材料。非金属材料包括陶瓷材料、高分子材料和复合材料等。随着科学技术的进步,非金属材料的发展异常迅速,尤其是塑料工业更引人注目,它不仅每4—5年产量便可翻一番,而且品种发展也极快,已在国民经济各部门中代替部分金属,特别是代替有色金属和其它贵重金属制造各种零、部件。科学家们预言:人类未来的时代将是人工合成材料的新时代。所以,本篇在着重介绍金属材料基本知识的同时,也对工程用的高分子材料作一些介绍,以求对它有所认识和了解。

第一章 金属学的基础知识

第一节 零件的失效和对材料的性能要求

一、零件失效的基本形式

失效是指零件失去正常工作应具有的功效。它包括以下三种情况:零件完全破坏,不能继续工作;严重损伤,继续工作很不安全;虽能安全工作,但已不能满意地达到预定的效果。

机械零件失效的形式是多种多样的,常见的主要形式有变形、断裂和磨损三种。

1. 变形失效 零件受载后产生的变形失效,分弹性变形失效和塑性变形失效两类。

弹性变形失效是由于零件发生过大的弹性变形,导致零件与其它零件相互位置的变更,引起零件相撞而破坏。为防止零件发生弹性变形失效,要求零件应具有较大的刚度,即应具有较大的抵抗弹性变形的能力。

塑性变形是一种永久性变形,它使零件的形状和尺寸发生变化。过大的塑性变形将使

其断面明显缩小，进而使零件产生断裂。零件工作过程一般不允许发生塑性变形，因此应具有一定的强度，即应具有较大的抵抗塑性变形的能力。

2. 断裂失效 零件断裂的形式有塑性断裂、脆性断裂和疲劳断裂等形式。

塑性断裂是由于零件发生大量的塑性变形而引起的断裂。断裂前已有明显的塑性变形，即已发生了塑性变形失效。因此这种失效形式在工程上的实际意义不大。

脆性断裂常发生在承受冲击载荷或在低温环境工作的零件。此时零件的工作应力远远低于进入塑性状态时的应力，没有明显的塑性变形。断裂是突然发生，因而常常带来灾难性的后果，如飞机坠毁，轮船沉没等。为防止零件发生脆断，要求材料具有一定的韧性。研究材料低应力脆性断裂的问题越来越被重视，并已发展成一门新学科——断裂力学。

疲劳断裂是零件在交变载荷（作用于零件上的外力，其大小及方向随时间而作周期性的变化）作用下产生的断裂。例如弯曲一根铁丝，一次弯曲并不能将铁丝折断，若将铁丝多次反复弯曲，则能将铁丝折断，这种现象称为疲劳现象。由于疲劳引起的断裂称为疲劳断裂。在实际生产中有许多零件，如传动轴、齿轮、弹簧等是承受交变载荷的，故要求材料应具有一定的疲劳强度，即具有一定的抗疲劳能力。

3. 磨损失效 磨损主要是在机械力的作用下，相对运动的接触表面的材料被逐渐磨耗，从而使零件尺寸不断变小的一种失效形式。影响磨损的因素很多，但从材料的角度考虑，要求材料应具有良好的耐磨性。一般认为硬度越高，材料越耐磨。

除了以上几种常见的失效形式外，由于零件的具体工作条件不同，尚有其它的失效形式，例如：在腐蚀介质中工作的零件将发生腐蚀失效；在高温环境工作的零件可能发生蠕变断裂失效，等等。但大多数机械零件是在常温、常压和非腐蚀介质中使用的，因此，上述为防止零件失效的几种性能要求成为零件设计和选材的重要依据，它们也是材料机械性能常用的性能指标。

二、金属材料的机械性能

金属材料的机械性能是指材料抵抗外力作用的能力。金属材料在加工成零件的过程以及机械零件在使用过程中，都要承受外力的作用，这种外力称为载荷。

载荷分静载荷、动载荷和交变载荷。当载荷的大小和作用方向不随时间而改变时，这种载荷称为静载荷；当载荷是突然加载或卸载时，称为动载荷；当载荷的大小或方向随时间而作周期性变化时，则称为交变载荷。

金属材料承受载荷时，其内部相应产生与外力相平衡的抵抗力，使材料具有抵抗变形和断裂的能力。这种产生于金属内部并与外力相平衡的力称为内力。单位横截面积上所产生的内力称为应力，其表示方法为：

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ MPa}$$

式中， σ ——应力（MPa）

P ——外力（N）

F ——材料受力的横截面积（ mm^2 ）

金属材料机械性能的各项指标通常是通过各种试验方法进行测试。例如，生产上应用

最普遍的材料拉伸试验，不仅可以获得金属材料静载荷的各项机械性能指标，而且有助于我们全面弄清楚各项性能指标的涵义以及它们之间的相互关系。拉伸试验是按国家标准（GB228-63）规定的形状和尺寸制作试样，如图1—1a。在拉伸试验机上对试样两端施加轴向静拉力 P ，试样即产生拉伸变形 Δl 。继续增加拉力 P ，变形量 Δl 也相应增加，直至试样拉断。以拉力（ P ）为纵坐标，变形量（ Δl ）为横坐标绘制的曲线，称为拉伸曲线或拉伸图，如图1—2。

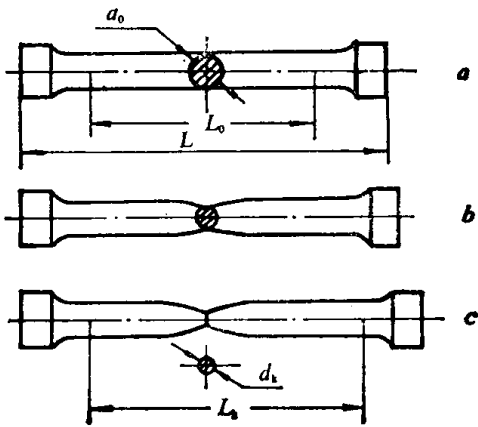


图1—1 拉伸试样

a. 标准拉伸试样 b. 产生缩颈 c. 拉断

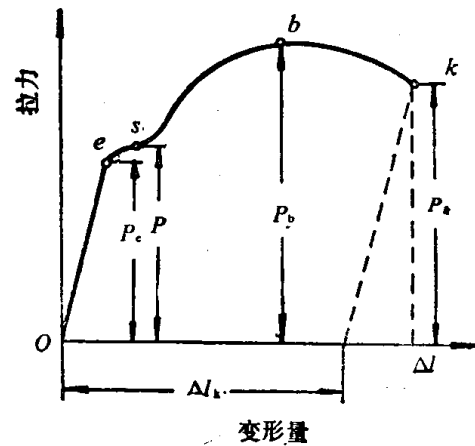


图1—2 低碳钢的拉伸曲线

由图1—2可见，当载荷小于 P_e 时，拉伸曲线 Oe 段是一直线，即变形与外力成正比。在此阶段，试样受力后只发生弹性变形，当载荷超过 P_e 时，即使将外力去掉，试样也不能恢复到原始长度，而保留着部分残余变形，即试样产生了塑性变形。所以 P_e 称为弹性极限载荷。当载荷继续增大到 P_s 时，拉伸曲线出现了平台，即载荷虽然保持不变，而试样继续伸长，这种现象称为屈服。引起试样产生屈服的最小载荷 P_s 称为屈服极限载荷。屈服以后，金属开始产生明显的塑性变形。载荷再继续增加时，变形量急剧增加，当载荷增加到最大值 P_b 后，试样的某一横截面开始急剧缩小，出现了“缩颈”，如图1—1b。由于缩颈处试样横截面减小，继续变形所需的载荷下降，但变形仍迅速增加，试样很快被拉断，如图1—1c。最大载荷 P_b 称为强度极限载荷。综上所述，金属材料在外力作用下的变形过程一般可分为三个阶段：即弹性变形、弹—塑性变形和断裂。对应于试样在各阶段所受的载荷，就能求得各阶段试样内部的应力和变形，因而可获得金属材料的强度和塑性等指标。

金属材料的主要机械性能指标有弹性、塑性、强度、硬度和韧性等。

（一）弹性和刚度

1. 弹性 金属材料受外力作用时产生变形，当外力去掉后能恢复其原来形状而不产生永久变形的能力，称为弹性，其大小用弹性极限 σ_e 表示。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \text{ MPa}$$

式中： P_e ——弹性极限载荷(N)

F_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)

弹性极限是金属材料不产生塑性变形时所能承受的最大应力。对于在工作中不允许产生任何塑性变形的零件，设计时，弹性极限就成为该类零件选材的重要依据，如弹簧就必须选用弹性极限高的材料。

2. 刚度 如果把拉伸曲线的纵坐标 P （外力）除以试样的原始横截面积 F_0 ，横坐标 Δl （变形量）除以试样的标距长度（ l_0 ），便得到以 σ — ϵ 为坐标的应力应变曲线，其图形与拉伸曲线相同。在弹性变形阶段， σ 和 ϵ 是直线关系，其斜率为

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon} = E$$

即

$$\sigma = E \epsilon$$

E 称为弹性模数，它表示引起单位变形所需的应力，是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标。

大多数机械零件在工作过程中是处于弹性状态，为防止发生弹性变形失效，不允许零件有过多的弹性变形。零件抵抗弹性变形的能力称为刚度。工程上常用弹性模数 E 作为衡量材料刚度的指标。 E 愈大，刚度愈好。

根据

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P/F}{\Delta l/l}$$

则

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}$$

式中： E ——弹性模数（MPa）

P ——外加载荷（N）

Δl ——轴向变形量（mm）

l ——零件的长度（mm）

F ——零件的横截面积（mm²）

由上式可见，当 P 和 l 一定时，零件产生的弹性变形量取决于 E 、 F 值的大小； E 、 F 值越大，则 Δl 越小，零件的刚度越好。因此，为提高零件的刚度，必须选取 E 值较大的材料或增加零件的横截面积。

（二）塑性 金属材料在外力作用下，产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性。金属试样承受拉力作用后，其塑性变形表现为：试样长度伸长、断面缩小、局部产生缩颈，直至断裂。因此，常用延伸率（ δ ）和断面收缩率（ ψ ）作为金属材料的塑性指标。

1. 延伸率 δ 延伸率 δ 是试样拉断后的总伸长量与原始长度之比值的百分率，即

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

式中： L_0 ——试样的原始长度（mm）

L_k ——试样拉断后的长度（mm）

δ 值的大小与试样尺寸有关。为了便于比较，在实用中作了统一规定：当试样的计算长度为其直径的5倍时，所测得的延伸率用 δ_5 表示；当试样的计算长度为其直径的10倍时，所测得的延伸率用 δ_{10} 表示，通常只写成 δ 。

2. 断面收缩率 ψ 断面收缩率 ψ 是试样拉断时, 断口横截面积的缩减量与原始截面积之比值的百分率, 即

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中: F_0 ——试样的原始截面积 (mm^2)

F_k ——试样断裂处的截面积 (mm^2)

δ 和 ψ 越大, 表示材料的塑性越好。金属材料的塑性, 对零件的加工和使用都具有重要的意义。塑性好的金属材料容易进行锻压、焊接, 能够采用冷变形, 如冷冲压等。塑性好的金属零件在使用时, 万一超载, 也能由于塑性变形而避免突然断裂, 提高零件的可靠性。但塑性高的材料, 其强度常常比较低。因此, 过高追求塑性, 将导致降低材料的强度水平。

(三) 强度 强度是金属材料在外力作用下, 抵抗产生塑性变形或断裂的能力, 常用的强度指标有屈服强度(σ_s)和抗拉强度(σ_b)。

1. 屈服强度 金属材料在载荷作用下开始出现塑性变形时的应力称为屈服强度(σ_s), 即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ MPa}$$

对于某些材料(如合金钢、球墨铸铁等), 因难以测定其开始产生塑性变形的应力, 故常规定以产生塑性变形0.2%时的应力值作为“条件屈服强度”, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度代表金属材料抵抗微量塑性变形的能力, 它是选用金属材料的重要依据之一。例如汽车、拖拉机的缸盖螺栓, 为了保证气缸体与缸盖之间的密封性, 不允许出现塑性变形, 因此, 设计时选用材料的屈服强度 σ_s 应不小于其最大工作应力。

2. 抗拉强度 金属材料在外力作用下, 从开始加载到断裂时所能达到的最大应力值称为强度极限, 简称强度。当金属材料承受拉力作用时, 其强度极限称为抗拉强度(σ_b), 即

$$\sigma_b = \frac{Pb}{F_0} \text{ MPa}$$

抗拉强度也是设计零件或构件时选材的重要依据。设计时必须保证零(构)件的最大工作应力不得超过材料的抗拉强度 σ_b , 以免发生断裂。

(四) 硬度 硬度是金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力, 也可以说是金属材料对局部塑性变形的抗力。在一般情况下, 金属材料的硬度越高, 耐磨性能就越好, 而且硬度与强度之间有一定的关系, 根据硬度的大小可以大致估算材料的抗拉强度。因此, 硬度是金属材料最重要的机械性能之一。

常用的硬度指标有布氏硬度(HB)和洛氏硬度(HRC、HRB、HRA)。

布氏硬度是用一定的载荷 P , 将一定直径的淬火钢球压入被测金属材料的表面, 然后测量压痕的表面积 F 。根据所用载荷和所测得的压痕表面积计算出单位球面积上的压力, 则得布氏硬度值, 用符号HB表示。

根据经验，布氏硬度与抗拉强度有如下近似关系：

低碳钢 $\sigma_b \approx 3.6\text{HB}$

高碳钢 $\sigma_b \approx 3.4\text{HB}$

调质合金钢 $\sigma_b \approx 3.25\text{HB}$

布氏硬度试验由于受淬火钢球硬度的限制，只能测量硬度不太高 ($\text{HB} < 450$) 的材料，常用测定退火、正火及调质处理的零件。

洛氏硬度是用一定载荷，将顶角为 120° 的金刚石圆锥体压头 (HRA, HRC) 或淬火钢球 (HRB) 压入零件表面，然后测量压痕深度。金属材料越硬，则压痕深度越小，由此可根据压痕深度计算洛氏硬度值。当用 150kg 载荷、锥顶角为 120° 的金刚石压头测量硬度时，其测得的洛氏硬度值以 HRC 表示。HRC 可测量硬度较高的零件，如淬火或淬火后低温回火的零件，其有效范围为 $\text{HRC} = 20 - 67$ 。

HRC 与 HB 可以通过查表互相换算。

由于测定硬度的方法简便易行，可在产品上直接进行测试而又不损坏被测零件。因此，在零件技术条件中常标注硬度；在生产现场常用硬度试验来检查和控制热处理质量。

(五) 冲击韧性 有的机械零件在工作过程中所承受的载荷是瞬时作用即突然加上去的，这种载荷称为冲击载荷。例如内燃机中的活塞、连杆、曲轴等零件和锻锤的锤杆，均在冲击载荷作用下工作。

金属材料抵抗冲击载荷而不被破坏的能力，称为冲击韧性 (α_k)，其值为

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F} \text{ J/cm}^2$$

式中： A_k —— 击断试样所消耗的冲击功 (J)

F —— 试样断口处的截面积 (cm^2)

金属韧性也可用 A_k 表示，单位为焦耳 (J)。

上述 α_k 值仅表示材料承受一次大能量冲击载荷的能力。但实际上，在冲击载荷作用下工作的零件，很少是受大能量一次冲击而破坏的，大多数是承受小能量多次重复冲击，因此，用 α_k 值来判别材料承受冲击的能力是不合适的，一般只作为选择材料的参考，而不用干强度计算。例如，采用球墨铸铁制造柴油机的曲轴，其 α_k 值虽然只有 15J/cm^2 ，但在小能量多次冲击下，运转结果却很满意。根据研究的结果表明，在冲击能量不太大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力，主要决定于强度，此时若选用强度较高而冲击韧性较低的材料制造零件，可使零件获得较高的使用寿命。

(六) 疲劳强度 金属材料在无数次重复交变载荷作用下不发生断裂的最大应力，称为疲劳强度。对称弯曲疲劳强度以 σ_{-1} 表示。实际上不可能进行无数次试验，故工程上采用的疲劳强度是指材料在一定的应力循环次数下不发生断裂的最大应力。对钢材而言，如应力循环次数达 10^7 次仍不发生疲劳断裂，就认为不会再发生疲劳断裂。有色金属和某些超高强度钢的应力循环基数则常取 10^8 次。

材料发生疲劳破坏的原因，目前认为是由于材料内部存在夹杂、表面有划痕等缺陷，引起零件在工作过程中产生应力集中，导致微裂纹的产生。这些微裂纹随应力循环次数的增