



云南省普通高等学校“十二五”规划教材

工程材料与热处理

主 编 何人葵

副主编 刘 树



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



云南省普通高等学校“十二五”规划教材

工程材料与热处理

主 编 何人葵

副主编 刘 树

北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

本书根据新形势下高等院校教学的实际情况,结合新时期高等院校“工程材料与热处理”课程教学大纲的基本要求编写而成。全书共分为十章,主要内容包金属的力学性能、金属的结构与结晶、铁碳合金相图、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、常用钢、铸铁、非金属材料等。

本书适合于高等院校机械、材料专业的师生使用,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热处理/何人葵主编. —北京:冶金工业出版社,
2015.7

云南省普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6927-6

I. ①工… II. ①何… III. ①工程材料—高等学校—教材
②热处理—高等学校—教材 IV. ①TB3 ②TG15

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第149322号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6927-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2015年7月第1版,2015年7月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;11.75印张;283千字;177页

31.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

本书是根据教育部制定的高等学校工科“工程材料与热处理”课程教学的基本要求,在充分总结各院校工程材料与热处理课程教学改革研究与实践的经验和成果的基础上编写而成的,是面向21世纪的课程教材,适合于机械、材料等专业的师生使用,考虑到这类专业的教学内容和学时数不断压缩的实际情况,在广泛征求高等院校教学一线教师的意见后,决定以“简明、精练”作为本书的编写宗旨。

本书主要具有以下特点:

(1) 编写体例新颖:借鉴优秀教材特别是国外精品教材的写作思路和方法,图文并茂,活泼新颖。书中配有大量实物图和实景图,并辅以示意图进行介绍,增强教材的可读性,激发学生的学习兴趣。

(2) 知识内容新颖:充分反映学科新理论、新技术、新材料和新工艺,体现最新教学改革成果,并将学科发展趋势和前沿研究内容以阅读材料的方式介绍给学生,增强教材内容的延展性,有效拓展学生的知识面。

(3) 突出对学生技能的培养:教材的内容根据冶金技术专业定位及人才培养目标的要求,对照就业岗位群中各个职业岗位必需的知识、能力和素质要求,并以高技能技术岗位的能力要求为主线,参照国家职业资格标准、行业技术标准和行业技术规范,结合技能鉴定考核等要求进行编写,让学生在学中完整体验各岗位工作的设备、内容和方法,有助于提高学生解决具体问题的能力。

(4) 知识体系实用:以学生就业所需专业知识和操作技能为着眼点,着重讲解应用型人才培养所需的技能。理论讲解简单实用,重视实践环节,强化实际操作训练,培养学生的职业意识和职业能力。让学生学有所用,学而能用。

(5) 内容编排实用:以学生为本,紧紧抓住学生专业学习的动力点,并充分考虑学生的认知过程,结合不同的工程实例深入浅出地进行讲解,案例分析和习题设置注重启发性,强调锻炼学生的思维能力和运用知识解决问题的能力。

能力。

在编写过程中特别注意“工程材料”国家标准的更新，采用截止本书出版前正式发布的最新标准。

本书由云锡职业技术学院何人葵主编，刘树副主编，参加本书编写的还有刘超平等。具体分工是：第一、二章由刘树编写，第三、四章由吴道懿编写，第五、六章由刘超平编写，第七、八章由何人葵编写，第九、十章由赖楠编写。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中缺点、错误恳请广大读者批评和指正。

编 者

2015 年 4 月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
材料成形计算机模拟 (第2版)	辛啟斌 王琳琳 编著	28.00
材料成型过程传热原理与设备	井玉安 宋仁伯 编	22.00
材料成型与控制工程专业英语教程	徐 光 等编著	26.00
材料热工基础	张美杰 主编	40.00
当代铝熔体处理技术	柯东杰 王祝堂 编著	69.00
镀锌无铬钝化技术	张英杰 董 鹏 著	46.00
粉末冶金工艺及材料	陈文革 王发展 编著	33.00
粉末增塑近净成形技术及致密化基础理论	范景莲 著	66.00
工程材料与成型工艺	徐萃萍 赵树国 主编	32.00
金属材料成型自动控制基础	余万华 郑申白 李亚奇 编著	26.00
金属材料工程概论	刘宗昌 任慧平 郝少祥 编著	26.00
金属材料及热处理	王悦祥 任汉恩 主编	35.00
金属材料学	齐锦刚 等编著	36.00
金属材料学 (第2版)	吴承建 等编著	52.00
金属材料液态成型实验教程	徐 瑞 严青松 主编	32.00
金属材料与成形工艺基础	李庆峰 主编	30.00
金属硅化物	易丹青 刘会群 王 斌 著	99.00
金属压力加工概论 (第3版)	李生智 李隆旭 主编	32.00
快速凝固粉末铝合金	陈振华 陈 鼎 编著	89.00
难熔金属材料与工程应用	殷为宏 汤慧萍 编著	99.00
人造金刚石工具手册	宋月清 刘一波 主编	260.00
铁素体不锈钢	康喜范 编著	79.00
硬质合金生产原理和质量控制	周书助 编著	39.00

目 录

第一章 金属材料的力学性能	1
第一节 强度和塑性	1
一、强度	1
二、塑性	4
第二节 金属材料的硬度	5
一、布氏硬度 (HB)	6
二、洛氏硬度 (HR)	7
三、维氏硬度 (HV)	9
第三节 冲击韧性	10
一、加载速率与变形速率	10
二、冲击载荷对力学性能的影响	10
三、缺口冲击弯曲试验方法	11
四、关于 A_k 的说明	12
第四节 疲劳	14
一、疲劳的概念	14
二、疲劳曲线和疲劳极限	14
三、疲劳断裂的特征	15
四、影响疲劳性能的因素	15
习题与思考题	16
第二章 金属的结构与结晶	17
第一节 金属的晶体结构	17
一、金属键	17
二、晶体与非晶体	17
三、金属的晶体结构	18
四、金属晶体中晶面与晶向表示法	20
第二节 实际金属的晶体结构	23
一、单晶体与多晶体	23
二、实际金属中的晶体缺陷	24
第三节 金属的结晶	26
一、金属结晶的条件	27
二、金属的结晶过程	28
第四节 金属的同素异构转变	30
习题与思考题	31

第三章 合金相结构与二元相图	32
第一节 合金的相结构	32
一、合金的概念	32
二、合金的相结构	32
第二节 二元合金相图	34
一、二元相图的表示方法	34
二、二元合金相图的建立	35
三、二元匀晶相图	36
四、二元共晶相图	38
五、合金性能与相图的关系	43
习题与思考题	45
第四章 铁碳合金相图	46
第一节 铁碳合金的基本相	46
一、铁素体 (F 或 α)	46
二、奥氏体 (A 或 γ)	46
三、渗碳体 (Fe_3C)	47
第二节 Fe- Fe_3C 合金相图分析	47
一、Fe- Fe_3C 相图中各主要特性点	47
二、Fe- Fe_3C 相图中主要特性线	49
三、Fe- Fe_3C 相图中的相区	49
第三节 典型铁碳合金的结晶过程分析	50
一、铁碳合金分类	50
二、典型铁碳合金的结晶过程分析	50
第四节 铁碳合金的成分、组织和性能的关系	56
一、含碳量与平衡组织的关系	57
二、含碳量与对铁碳合金力学性能的影响	58
第五节 Fe- Fe_3C 相图的应用	59
一、在选材方面的应用	59
二、在铸造生产方面的应用	60
三、在压力加工工艺方面的应用	60
四、在焊接工艺方面的应用	60
五、在热处理方面的应用	60
习题与思考题	61
第五章 金属的塑性变形与再结晶	62
第一节 金属的塑性变形	62
一、单晶体的塑性变形	62

二、多晶体的塑性变形	64
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	64
一、塑性变形对金属组织的影响	64
二、塑性变形产生残余应力	65
第三节 冷变形金属在加热时的变化	65
一、回复	65
二、再结晶	66
三、晶粒长大	67
四、影响再结晶后晶粒度的因素	67
第四节 金属的热变形加工	69
一、热变形加工与冷变形加工的区别	69
二、金属的热变形加工对组织和性能的影响	69
习题与思考题	70
第六章 钢的热处理	71
第一节 钢在加热时的组织转变	71
一、转变温度	71
二、奥氏体化	71
三、影响奥氏体化的因素	73
第二节 钢在冷却时的转变	73
一、共析钢过冷奥氏体 C 曲线	73
二、共析钢过冷奥氏体等温转变产物的组织形态	74
三、影响 C 曲线的因素	77
四、过冷奥氏体连续冷却转变曲线	78
五、CCT 曲线和 C 曲线的比较与应用	78
第三节 钢的退火与正火	79
一、退火	79
二、正火	81
第四节 钢的淬火	82
一、钢的淬火工艺	82
二、钢的淬透性与淬硬性	85
第五节 钢的回火	85
一、钢的回火组织转变	86
二、回火的分类与应用	86
三、回火脆性	87
第六节 钢的表面热处理	87
一、感应加热表面淬火	87
二、火焰加热表面淬火	88
三、激光加热表面淬火	89

第七节 钢的化学热处理	89
一、渗碳	90
二、氮化	92
三、氰化	93
第八节 钢的热处理新技术	93
一、可控气氛热处理	93
二、真空热处理	94
三、形变热处理	95
四、表面气相沉积	96
习题与思考题	96
第七章 常用钢	97
第一节 钢的分类与牌号	97
一、钢的分类方法	97
二、钢的牌号	98
第二节 各种元素对钢性能的影响	100
一、钢中杂质元素的影响	100
二、合金元素在钢中的作用	101
第三节 结构钢	107
一、碳素结构钢	107
二、低合金高强度结构钢	109
三、机械结构用钢	112
四、弹簧结构钢	121
五、冷冲压用钢	123
六、滚动轴承钢	124
第四节 工具钢	125
一、刃具钢	126
二、模具钢	129
三、量具钢	132
第五节 特殊性能钢	133
一、不锈钢	133
二、耐热钢	137
习题与思考题	141
第八章 铸铁	143
第一节 铸铁的石墨化过程	143
一、概述	143
二、铸铁的石墨化	143
三、铸铁的组织特征和分类	144

四、铸铁的性能特点·····	145
第二节 常用铸铁·····	145
一、灰铸铁·····	145
二、球墨铸铁·····	147
三、蠕墨铸铁·····	149
四、可锻铸铁·····	150
五、特殊性能铸铁·····	151
习题与思考题·····	153
第九章 有色金属材料·····	154
第一节 铝及其合金·····	154
一、工业纯铝·····	154
二、铝合金的分类与时效强化·····	154
三、变形铝合金·····	157
四、铸造铝合金·····	159
第二节 铜及铜合金·····	161
一、纯铜(紫铜)·····	161
二、黄铜·····	162
三、青铜·····	164
习题与思考题·····	166
第十章 非金属材料·····	167
第一节 高分子材料·····	167
一、塑料·····	167
二、橡胶·····	169
三、合成胶黏剂·····	170
第二节 陶瓷材料·····	170
一、陶瓷材料的分类·····	170
二、传统陶瓷(普通陶瓷)·····	171
三、特种陶瓷·····	171
第三节 复合材料·····	172
一、复合材料的基本类型与组成·····	173
二、复合材料的特点·····	173
三、复合理论简介·····	174
四、纤维增强材料·····	175
五、玻璃纤维增强塑料·····	176
习题与思考题·····	176
参考文献·····	177

第一章 金属材料的力学性能

金属材料是现代机械制造业最基本的基料，广泛应用于制造生产和生活用品。金属材料之所以能够广泛地应用，关键在于它具有良好的力学性能。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两个方面，使用性能是指金属材料在使用过程中表现出来的性能，包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀、磁性等物理性能；耐腐蚀性、抗氧化性等化学性能和力学性能。而工艺性能是指金属在制造和加工过程中反映出来的各种性能。在机械设备的设计、制造及选用金属材料时，大多以其力学性能为主要依据，因此，掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

所谓力学性能是指金属在外力作用下表现出来的性能。常用的力学性能指标有：强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称之为载荷。根据载荷作用性质的不同，可以分为静载荷、冲击载荷和交变载荷三种。

(1) 静载荷：是指大小不变或变化过程缓慢的载荷。

(2) 冲击载荷：在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。

(3) 交变载荷：是指大小、方向或大小和方向随时间做周期性变化的交变载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等。

根据作用形式的不同，载荷又可以分为拉伸载荷、压缩载荷等。

金属材料的力学性能是零件设计和材料选择的主要依据。本章主要讨论各种力学性能指标的宏观物理现象及其测定方法。

金属材料受到载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形两种。

金属材料受外力作用时，为保持其不变形，在材料内部作用着与外力相对抗的力，这种力称为内力。单位面积上的内力称为应力。金属材料受拉伸或压缩载荷作用时，其横截面上的应力可以按下式计算：

$$\sigma = F/S$$

式中 σ ——应力，Pa；

F ——外力，N；

S ——横截面积， m^2 。

第一节 强度和塑性

一、强度

金属材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。强度的大小用应力表

示。按外力作用的性质不同,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,一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的指标。

由于金属材料在外力作用下从变形到破坏都是有一定规律的,因而,通常采用静载拉伸试验来进行测定,即把金属材料制成一定规格的试样,把试样放置在拉伸试验机上进行拉伸,静拉伸试验通常是在室温和轴向加载条件下进行的,其特点是试验机加载轴线与试样轴线重合,缓慢施加载荷,应变与应力同步。在静拉伸试验中得到的应力-应变曲线上,记载着材料力学的基本特征,因此,应力-应变曲线成为理解材料基本力学性能的基础和信息源。

(一) 拉伸试样

拉伸试样的形状一般做成圆形和矩形两类。如图 1-1 所示为圆形试样,如图 1-2 所示为矩形试样。国家标准 (GB/T 397—1986) 中,对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。

图 1-1 中, d 是试样的直径, L_0 为标距长度,根据标距长度和直径的不同,试样可以分为长试样 ($L_0 = 10d$) 和短试样 ($L_0 = 5d$) 两种。

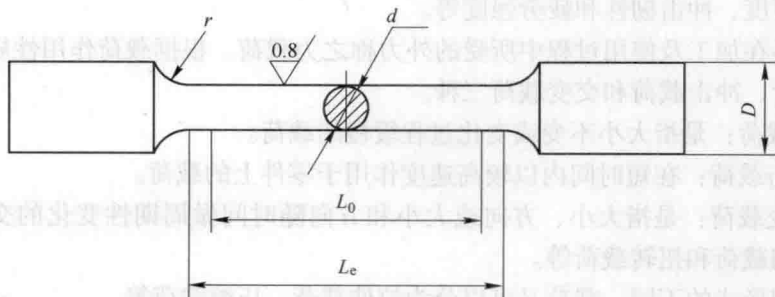


图 1-1 圆形试样

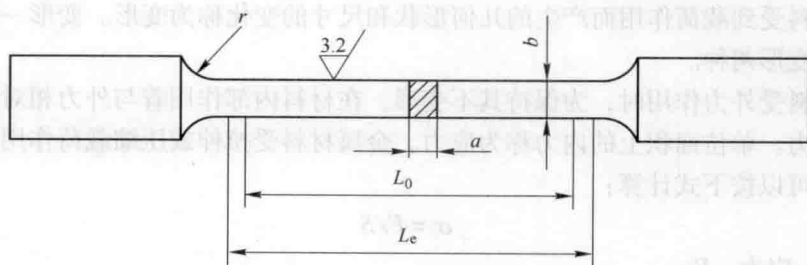


图 1-2 矩形试样

(二) 应力-应变曲线

拉伸试验中得到的应力与应变之间的关系曲线,叫做应力-应变曲线。也称为拉伸曲线图。如图 1-3 所示,为低碳钢在拉伸时的应力-应变曲线。图中纵坐标表示应力 σ 的大小,横坐标表示应变 ϵ ,图中明显地表示出下面几个变形阶段:

1. 弹性阶段

从图 1-3 中可以看出, Oa 段成直线,表明在这一阶段内应力与应变成正比,材料服

从胡克定律, a 点是应力与应变成正比的最高点, 与 a 点对应的应力称为比例极限。比例极限是弹性阶段中的最大应力。超过比例极限后, 从 a 点到 b 点应力和应变之间的关系不再是直线, 但当解除外力以后, 变形也就随之消失, 这种变形称为弹性变形。材料受外力后变形, 卸去外力后变形完全消失的这种性质称为弹性。 b 点对应的应力是材料出现弹性变形的极限值, 称为弹性极限, 事实上工程中对弹性极限与比例极限并不作严格的区分。

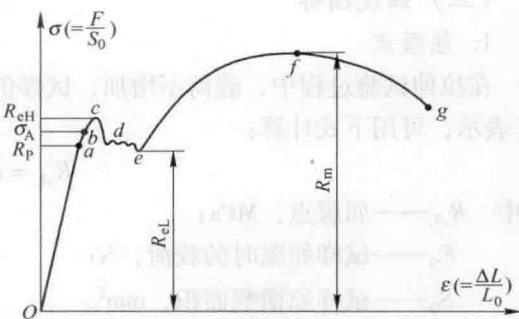


图 1-3 低碳钢拉伸时的应力-应变曲线

2. 屈服阶段

当应力超过弹性极限后, 应力-应变曲线上出现一段沿水平上下波动的锯齿形线段, 如图 1-3 所示中的 ce 段, 在这一阶段中金属材料试样承受的外力超过材料的弹性极限时, 虽然应力不再增加, 但是试样仍发生明显的塑性变形, 这种现象称之为屈服, 即材料承受外力到一定程度时, 其变形不再与外力成正比, 而产生明显的塑性变形。产生屈服时的应力称为屈服强度极限, 用 R_{eL} 表示。对于塑性高的材料, 在拉伸曲线上会出现明显的屈服点, 而对于低塑性材料则没有明显的屈服点, 从而难以根据屈服点的外力求出屈服极限。因此, 在拉伸试验方法中, 通常规定试样上的标距长度产生 0.2% 塑性变形时的应力作为条件屈服极限, 用 $R_{p0.2}$ 表示。屈服极限指标可用于要求零件在工作中不产生明显塑性变形的的设计依据。但是对于一些重要零件还考虑要求屈强比 (即 R_{eL}/R_m) 要小, 以提高其安全可靠性, 不过此时材料的利用率也较低。

3. 强化阶段

经过屈服阶段后, 从 e 点开始曲线又逐渐上升, 材料又恢复了抵抗变形的能力, 这是材料产生变形硬化的缘故。图形为向上凸起的曲线 ef , 表明若要试件继续变形, 必须增加外力, 这种现象称为材料的强化。强化的最高点 f 对应的应力是试件拉断前承受的最大应力值, 称为强度极限, 用 R_m 表示。强度极限是衡量材料强度的一个很重要的指标。常用单位为兆帕 (MPa), 换算关系有: $1\text{MPa} = 1 \times 10^6\text{Pa}$ 。

4. 缩颈阶段

当载荷达到最大值后, 试验材料的应变硬化与几何形状导致的软化达到平衡, 此时力不再增加, 试样最薄弱截面的中心部分开始出现微小空洞, 然后扩展连接成小裂纹, 试样的受力状态由两向变为三向受力状态, 裂纹扩展的同时, 试样的直径发生局部收缩, 称为“缩颈”, 在试样表面可以看到产生的缩颈变形, 由于试样缩颈处横截面面积的减小, 试样变形所需的载荷也随之降低, 这时伸长主要集中于缩颈部位, 直到断裂。

工程上使用的金属材料, 多数没有明显的屈服现象, 有的脆性材料, 不仅没有屈服现象, 而且也不产生“缩颈”, 如铸铁等。图 1-4 为铸铁拉伸时的应力-应变曲线。

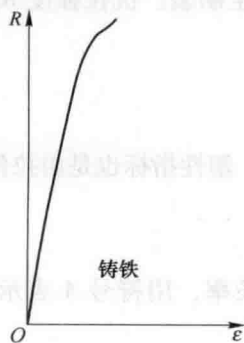


图 1-4 铸铁拉伸时的应力-应变曲线

(三) 强度指标

1. 屈服点

在拉伸试验过程中, 载荷不增加, 试样仍能继续伸长时的应力称之为屈服点, 用符号 R_{eL} 表示, 可用下式计算:

$$R_{eL} = F_S / S_0$$

式中 R_{eL} ——屈服点, MPa;

F_S ——试样屈服时的载荷, N;

S_0 ——试样原横截面积, mm^2 。

对于无明显屈服现象的金属材料, 按国标 GB/T 228—2002 规定可用规定残余伸长应力 $R_{p0.2}$ 表示。 $R_{p0.2}$ 表示试样卸除载荷后, 其标距部分残余伸长率达到 0.2% 时的应力, 也称为屈服强度。可用下式计算:

$$R_{p0.2} = F_{0.2} / S_0$$

式中 $R_{p0.2}$ ——规定残余伸长应力, MPa;

$F_{0.2}$ ——残余伸长率达 0.2% 时的载荷, N;

S_0 ——试样原横截面积, mm^2 。

屈服点 R_{eL} 和规定残余伸长应力 $R_{p0.2}$ 都是衡量金属材料塑性变形抗力的指标。机械零件在工作时如果受力过大, 会导致过量的塑性变形而失效。若零件工作时所受的应力, 低于材料的屈服点或规定残余伸长应力, 则不会产生过量的塑性变形。材料的屈服点 R_{eL} 和规定残余伸长应力 $R_{p0.2}$ 越高, 允许的工作应力也就越高, 则零件的截面尺寸及自身质量就可以适当减小。因此材料的屈服点 R_{eL} 和规定残余伸长应力 $R_{p0.2}$ 是机械零件设计的主要依据, 也是评定金属材料性能的重要指标。

2. 抗拉强度

材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度, 用符号 R_m 表示, 可用下式计算:

$$R_m = F_b / S_0$$

式中 R_m ——抗拉强度, MPa;

F_b ——试样拉断前承受的最大应力, N;

S_0 ——试样原横截面积, mm^2 。

零件在工作中所承受的应力, 不允许超过抗拉强度, 否则会发生断裂。抗拉强度 R_m 也是机械零件设计和选材的重要依据和指标。

二、塑性

金属材料在外力作用下产生永久变形而不破坏的能力称为塑性, 塑性指标也是由拉伸试验测得, 常用伸长率和断面收缩率来表示。

(一) 伸长率 A

试样拉断后, 标距的伸长量与原始标距长度的百分比称为伸长率, 用符号 A 表示。其公式表示为:

$$A = [(L_1 - L_0) / L_0] \times 100\%$$

式中 A ——伸长率, %;

L_1 ——试样拉断后的长度, mm;

L_0 ——试样原始的标距, mm。

必须说明, 在实际试验时, 同一材料但是不同规格 (直径、截面形状, 例如方形、圆形、矩形以及标距长度) 的拉伸试样测得的伸长率也不同, 因此, 一般需要特别加注。例如最常用的圆截面试样, 其初始标距长度为试样直径 5 倍时测得的伸长率表示为 A , 而初始标距长度为试样直径 10 倍时测得的伸长率则表示为 $A_{11.3}$ 。

(二) 断面收缩率 Z

拉伸试验时试样拉断后原横截面积 S_0 与断口细颈处最小截面积 S_1 之差与原横截面积 S_0 之比, 称为断面收缩率, 用符号 Z 表示。其公式表示为:

$$Z = [(S_0 - S_1) / S_0] \times 100\%$$

式中 Z ——断面收缩率, %;

S_0 ——试样原横截面积, mm^2 ;

S_1 ——试样拉断后缩颈处的横截面积, mm^2 。

金属材料的伸长率 (A) 和断面收缩率 (Z) 数值越大, 表示金属材料的塑性就越好。塑性好的金属可以发生大的塑性变形而不被破坏, 易通过塑性变形加工制成形状复杂的零件。例如, 工业纯铁的 A 可达 50%, Z 可达 80%, 可以拉制细丝, 轧制薄板等。而铸铁的 A 几乎为零, 所以, 铸铁不可以进行塑性变形加工。塑性好的材料, 在受力过大时, 首先产生塑性变形而不致发生突然断裂, 因此比较安全。

下面举例说明强度、塑性的计算方法:

【例 1-1】有一个直径 $d_0 = 10\text{mm}$, $L_0 = 100\text{mm}$ 的低碳钢试样, 拉伸试验时测得 $F_s = 21\text{kN}$, $F_b = 29\text{kN}$, $d_1 = 5.65\text{mm}$, $L_1 = 138\text{mm}$, 试求此试样的 R_{eL} 、 R_m 、 A 、 Z 。

解: 计算 S_0 、 S_1

$$S_0 = \pi d_0^2 / 4 = 3.14 \times 10^2 / 4 = 78.5\text{mm}^2$$

$$S_1 = \pi d_1^2 / 4 = 3.14 \times 5.65^2 / 4 = 25\text{mm}^2$$

(1) 计算 R_{eL} 、 R_m

$$R_{eL} = F_s / S_0 = 21000 / 78.5 = 267.5\text{MPa}$$

$$R_m = F_b / S_0 = 29000 / 78.5 = 369.4\text{MPa}$$

(2) 计算 A 、 Z

$$A = [(L_1 - L_0) / L_0] \times 100\% = [(138 - 100) / 100] \times 100\% = 38\%$$

$$Z = [(S_0 - S_1) / S_0] \times 100\% = [(78.5 - 25) / 78.5] \times 100\% = 68\%$$

第二节 金属材料的硬度

硬度是指金属材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度是各种零件及工具必须具备的性能指标。机械制造业所用的刀具、量具、模具等, 都应具备足够的硬度, 才能保证它的使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮等, 也要求有一定的硬度, 以保证它有足够的耐磨性和使用寿命。因此, 硬度是金属材料重要的力学性能之一。

硬度又是一项综合力学性能指标,从金属表面的局部压痕可以反映出金属材料的强度和塑性。在零件图上经常标注出各种硬度指标作为技术要求。金属材料的硬度值愈高,其耐磨性也就越好。硬度值又可以间接地反映金属的强度及金属的化学成分、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。

硬度测定方法有压入法、划痕法、回弹高度法等,其中压入法的应用最为普遍。

在压入法中,常用的硬度测试方法有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC等)和维氏硬度(HV)三种。

一、布氏硬度(HB)

(一) 布氏硬度的测试原理

布氏硬度的试验原理是用一定直径的硬质合金球,以匹配的试验力压入试样表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,测量试样表面的压痕直径 d ,然后根据压痕直径 d 计算其硬度值的方法,如图1-5所示。

布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示。用符号HB来表示。

如已知所加载荷 F ,压头直径 D ,只要测出试样表面上的压痕直径 d 或压痕深度 h ,即可用下式求出其布氏硬度值,当力的单位用 10^7Pa ($1\text{kgf}/\text{mm}^2 = 10^7\text{Pa}$)时,布氏硬度值可按下式计算:

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

当力的单位用N时,布氏硬度值可按下式计算:

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

式中 HB——用钢球(或硬质合金球)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 ——球体的直径,mm;

d ——压痕平均直径,mm。

从上式可以看出,当试验力 F 、压头球体直径 D 一定时,布氏硬度值只与压痕直径 d 的大小有关。 d 值越小,布氏硬度值越大,钢硬度越高。相反, d 值越大,布氏硬度值越小,硬度也就越低。

通常布氏硬度值是不标注单位的。在实际应用中,布氏硬度一般不用计算,而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径 d ,根据压痕直径 d 的大小,再从专门的硬度表中查出相应的布氏硬度值。

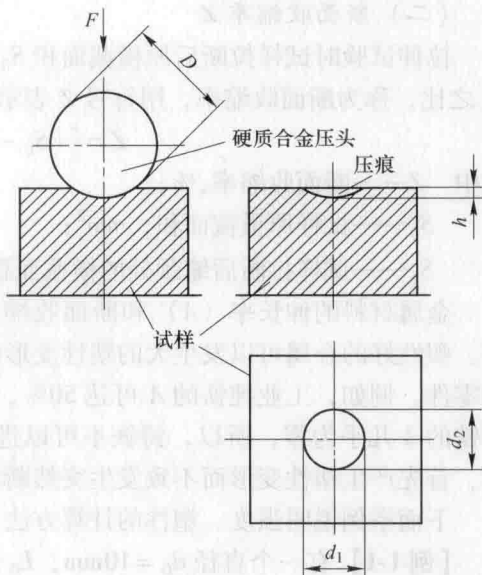


图1-5 布氏硬度试验原理示意图