



机械制造基础 (第2版)

Jixie Zhizao Jichu

■ 主 编 京玉海 董永武
副主编 朱建渠 周国芳



重庆大学出版社

机械制造基础

(第2版)

主 编 京玉海 董永武
副主编 朱建渠 周国芳

重庆大学出版社

内容提要

本书是根据教育部基础课程教学指导委员会颁发的“机械制造基础教学基本要求”,经结构优化、整合而成的一本强调应用基础知识的机械类专业基础课程教材,同时突出了高等职业教育注重实践能力和创业能力培养的特点,着重培养既能动脑又能动手的应用型技术人才。全书共分5篇18章,主要内容包括工程材料、铸造、锻压、焊接和金属切削加工等,每章后面都附有复习思考题,便于学生巩固所学内容。本书是以“基础—方法—结构”为课程主线,系统而简明地阐述了热处理的原理和方法、工程材料的种类及其选择、毛坯成形方法和零件加工方法的基本理论和基本工艺。

本书适用于高等工科院校机械类、近机械类各专业的“机械制造基础”课程的通用教材,还可供有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础 / 京玉海,董永武主编. 2版. --重庆:
重庆大学出版社,2018.7
ISBN 978-7-5689-0795-8

I.①机… II.①京…②董… III.①机械制造—高等学校—
教材 IV.①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第217247号

机械制造基础

(第2版)

主 编 京玉海 董永武

副主编 朱建渠 周国芳

策划编辑:周 立

责任编辑:李定群 版式设计:周 立

责任校对:贾 梅 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆俊蒲印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21.75 字数:517千

2018年7月第2版 2018年7月第14次印刷

印数:32 501—35 500

ISBN 978-7-5689-0795-8 定价:48.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

第2版 前言

本书是工程材料及机械制造基础课程教学用书,是高等工科院校机械类专业必修的技术基础课程教材。

本书自第1版问世以来,承蒙广大读者的支持和厚爱,提出了中肯的意见,同时为了进一步贯彻近年发布的国家新标准,特对原教材进行修改。本次修订主要有以下特点:

◆坚持“少而精”的原则,做到内容够用,重点突出。本次修订将原来的20章缩减为18章,尽量减少与其他教材内容的重复。

◆进一步完善了“基础—方法—结构设计”的主线,系统而简明地阐述了本课程所需要掌握的内容。

◆全面贯彻国家最新标准,如制图标准、名词术语、符号等。

本书可作为本科院校、高职高专院校机械类和近机械类专业教材,也可作为自学考试、函授大学等相关专业的教材,还可供相关工程技术人员参考。

本次修订由南昌大学京玉海(第1篇、第2篇)、董永武(第3篇)、宜春学院周国芳(第5篇)、重庆科技学院朱建渠(第4篇)负责。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏与不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2018年3月

第1版 前言

本书是根据教育部基础课程教学指导委员会颁发的“机械制造基础教学基本要求”，经结构优化、整合而成的一本强调应用基础知识的机械类专业基础课程教材，同时注重实践能力和创业能力培养的特点，着重培养既能动脑又能动手的应用型技术人才。

全书共分5篇20章。第1篇为“工程材料”，主要阐述了工程材料的性能、金属的内部结构与结晶、热处理方法和常用工程材料的种类及其选择；第2、3、4篇分别为“铸造、锻压和焊接”，主要阐述毛坯成形方法的工艺基础、成形方法和结构设计；第5篇为“金属切削加工”，主要阐述零件加工方法的基础知识、常用加工方法综述和零件的结构设计。

本书的编写主要有以下特点：

◆本书以加工方法为主线，分别阐述了各自的基本理论和基本工艺，着重分析各种加工方法的原理、过程和结构工艺性。

◆坚持“少而精”的原则，做到内容够用，重点突出。

◆充实了新材料、新工艺和新方法的“三新”内容，试图培养学生“大材料、大机械、大制造”的观念。

◆全面贯彻国家最新标准，如材料的标准、名词术语、符号及单位等。

◆在各章的后面都附有复习思考题，以加强学生对基本概念的理解，培养学生分析问题和解决问题的能力。

◆鉴于各院校实习条件不同，本书在编写过程中，是以课堂教学为主，适当增加了部分实习内容，把讲课教材与实习教材融为一体。这样不仅有助于体系完整，又可以根据实习条件灵活组织教学。对实习过的内容，在课堂上便于分析对比，对缺乏实习条件的内容，也便于在课堂教学中加以弥补。

本书主要适用于高等工科院校机械类、近机械类各专业的《机械制造基础》课程的通用教材，也可供有关工程技术人员参考使用。

全书由南昌大学京玉海负责全书的统稿工作,并编写了绪论、第1篇、第2篇、第5篇;江西科技师范学院专科院杨文编写了第17章、第19章;江西应用技术职业学院宋志良编写了第4篇、第18章、第20章;南昌大学科技学院施冬秀编写了第3篇。

由于编者水平有限,书中难免出现错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2005年6月

目 录

第 1 篇 工程材料

第 1 章 材料的种类与性能	2
1.1 材料的种类	2
1.2 材料的性能	4
复习思考题	11
第 2 章 金属与合金的晶体结构和结晶	13
2.1 金属的晶体构造	13
2.2 金属的结晶过程	16
2.3 金属的同素异晶转变	18
2.4 实际晶体的构造	19
2.5 合金的结构和相图	21
复习思考题	27
第 3 章 铁碳合金相图	28
3.1 铁碳合金的基本组织	28
3.2 铁碳合金相图分析	30
3.3 钢的成分、组织与性能之间的关系	35
3.4 铁碳合金相图应用简介	37
复习思考题	38
第 4 章 钢的热处理	39
4.1 钢在加热时的组织转变	40
4.2 钢在冷却时的组织转变	42
4.3 钢的热处理工艺	47
复习思考题	59
第 5 章 常用金属材料	61
5.1 钢	61
5.2 铸铁	77
5.3 有色金属	87
复习思考题	95

第 2 篇 铸 造

第 6 章 铸造工艺基础	98
6.1 液态合金的充型能力	98

6.2 合金的收缩	100
6.3 铸件常见缺陷	106
复习思考题	108
第7章 铸造方法	109
7.1 砂型铸造	109
7.2 特种铸造	118
7.3 常用铸造方法比较	128
复习思考题	129
第8章 铸件结构设计	130
8.1 铸造工艺对铸件结构的要求	130
8.2 合金铸造性能对铸件结构的要求	133
复习思考题	137

第3篇 金属压力加工

第9章 金属压力加工工艺基础	139
9.1 金属塑性变形的实质	139
9.2 加工硬化与再结晶	141
9.3 金属的可锻性	144
复习思考题	146
第10章 金属压力加工方法	147
10.1 锻造	147
10.2 板料冲压	158
10.3 零件的轧制、挤压和拉拔	167
10.4 压力加工新工艺简介	171
复习思考题	174
第11章 锻压件结构设计	176
11.1 自由锻件结构工艺性	176
11.2 模锻件结构工艺性	177
11.3 板料冲压结构工艺性	178
复习思考题	181

第4篇 焊 接

第12章 焊接工艺基础	185
复习思考题	195
第13章 焊接方法	196
13.1 焊条电弧焊	196
13.2 埋弧自动焊	201
13.3 气体保护焊	202

13.4	电渣焊	204
13.5	气焊与气割	205
13.6	电阻焊	207
13.7	摩擦焊	208
13.8	钎焊	209
13.9	其他焊接方法简介	210
	复习思考题	212
第 14 章	焊接结构设计	213
14.1	焊接结构材料的选择	213
14.2	焊缝的布置	214
14.3	焊接接头设计	216
	复习思考题	218

第 5 篇 金属切削加工

第 15 章	金属切削加工基础知识	220
15.1	切削运动及切削要素	220
15.2	刀具材料与刀具几何形状	223
15.3	金属切削过程的一般规律	232
15.4	切削加工技术经济简析	241
	复习思考题	246
第 16 章	金属切削基础知识	248
16.1	金属切削机床概述	248
16.2	机床的传动	253
16.3	普通车床传动系统分析	263
	复习思考题	267
第 17 章	常用加工方法综述	269
17.1	车削加工	269
17.2	钻、镗加工	281
17.3	刨、插、拉削加工	291
17.4	铣削加工	297
17.5	磨削加工	308
17.6	零件表面加工方法选择	324
	复习思考题	327
第 18 章	金属切削加工基础知识	329
18.1	概述	329
18.2	一般原则及实例分析	330
	复习思考题	335
	参考文献	336

第 1 篇

工程材料

本篇主要介绍常用工程材料的性能以及为改善其性能所采用的热处理方法,使读者掌握工程材料的成分、组织和性能之间的关系,为合理选材和制订铸造、锻造和焊接等加工工艺打下基础。

第 1 章

材料的种类与性能

1.1 材料的种类

工程上所用的各种金属材料、非金属材料和复合材料,统称为工程材料。迄今为止,人类发现和使用的材料种类繁多。为了便于材料的生产、应用与管理,也为了便于材料的研究与开发,有必要对材料进行分类。

1.1.1 金属材料

金属材料是指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称。它包括纯金属、合金、金属材料金属间化合物和特种金属材料等。金属材料因具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能,故成为机器零件最常用的材料。金属材料的分类如图 1.1 所示。



图 1.1 金属材料的分类

1.1.2 高分子材料

高分子材料是指分子量很大的化合物,它们的分子量可达几千甚至几百万以上。高分子材料因其原料丰富、成本低、加工方便等优点,发展极其迅速。目前,在工业上得到广泛应用,并将越来越多地被采用。高分子材料的分类如图 1.2 所示。

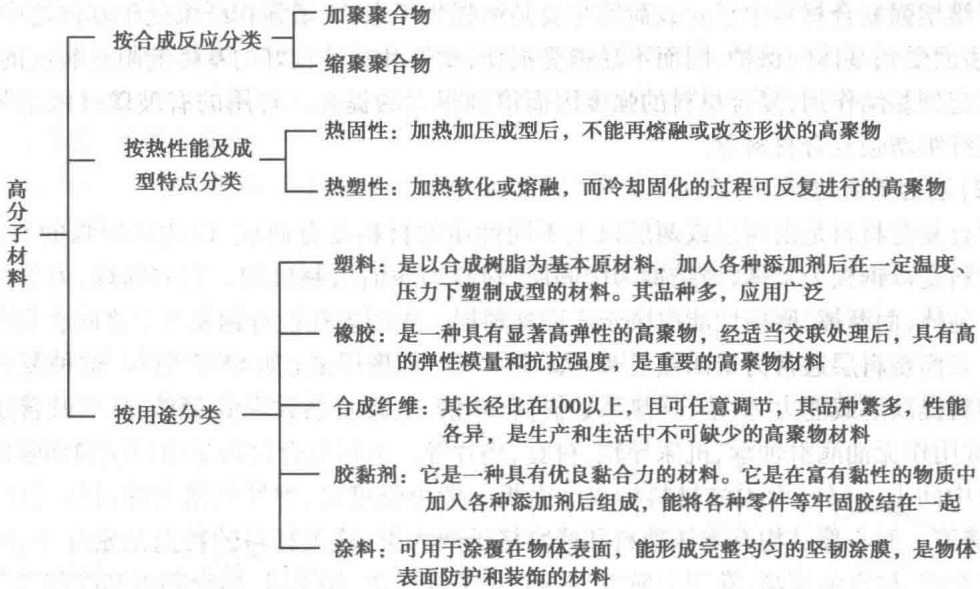


图 1.2 高分子材料分类

1.1.3 陶瓷材料

陶瓷是各种无机非金属材料的总称,是现代工业中很有发展前途的一类材料。今后将是陶瓷材料、高分子材料和金属材料三足鼎立的时代,构成固体材料的 3 大支柱。

陶瓷的种类繁多,工业陶瓷大致可分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类。

(1) 普通陶瓷(传统陶瓷)

除陶、瓷器之外,玻璃、水泥、石灰、砖瓦、搪瓷、耐火材料都属于陶瓷材料。一般人们所说陶瓷常指日用陶瓷、建筑瓷、卫生瓷、电工瓷、化工瓷等。普通陶瓷以天然硅酸盐矿物如黏土(多种含水的铝硅酸盐混合物)、长石(碱金属或碱土金属的铝硅酸盐)、石英、高岭土等为原料烧结而成的。

(2) 特种陶瓷

它是人工化合物为原料(如氧化物、氮化物、碳化物、硅化物、膨化无机氟化物等)制成的陶瓷,它具有独特的力学、物理、化学、电、磁、光学等性能,主要用于化工、冶金、机械、电子、能源和一些新技术中。

1.1.4 复合材料

由两种或两种以上化学成分不同或组织结构不同经人工合成获得的多相材料,称为复合材料。它不仅具有各组成材料的优点,而且还具有单一材料无法具备的优越的综合性能。因此,复合材料发展迅速,在各个领域都得到广泛应用。如先进的 B-2 隐形战斗轰炸机的机身和

机翼大量使用了石墨和碳纤维复合材料,这种材料不仅比强度高,而且具有雷达反射波小的特点。

复合材料依照增强相的性质和形态,可分为纤维增强复合材料、层合复合材料和颗粒增强复合材料 3 类。

(1) 纤维增强复合材料

纤维增强复合材料中承受载荷的主要是增强相纤维,而增强相纤维处于基体之中,彼此隔离,其表面受到基体的保护,因而不易遭受损伤;塑性和韧性较好的基体能阻止裂纹的扩展,并对纤维起到黏结作用,复合材料的强度因而得到很大的提高。常用的有玻璃纤维增强复合材料和碳纤维增强复合材料等。

(2) 层合复合材料

层合复合材料是由两层或两层以上不同性质的材料复合而成,以达到增强的目的。3 层复合材料是以钢板为基体,烧结铜为中间层,塑料为表面层制成的。它的物理、力学性能主要取决于基体,而摩擦、磨损性能取决于表面塑料层。中间多孔性青铜使 3 层之间获得可靠的结合力。表面塑料层通常为聚四氟乙烯(如 SF-1 型)和聚甲醛(如 SF-2 型)。这种复合材料比单一塑料提高承载能力 20 倍,导热系数提高 50 倍,热膨胀系数降低 75%,从而改善了尺寸稳定性,常用作无油润滑轴承、机床导轨、衬套、垫片等。夹层复合材料是由两层薄而强的面板或蒙皮与中间夹一层轻而柔的材料构成。面板一般由强度高、弹性模量大的材料组成,如金属板、玻璃等。而心部结构有泡沫塑料和蜂窝格子两大类,这类材料的特点是密度小、刚性和抗压稳定性好、抗弯强度高,常用于航空、船舶、化工等工业,如飞机、船舱隔板和冷却塔等。

(3) 颗粒增强复合材料

颗粒增强复合材料中承受载荷的主要是基体。颗粒增强的作用在于阻碍基体中位错或分子链的运动,从而达到增强的效果。增强效果与颗粒的体积含量、分布、粒径、粒间距有关,粒径为 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 时的增强效果最好。粒径小于 $0.1 \mu\text{m}$ 时,位错容易绕过,难以对位错运动起阻碍作用;粒径大于 $0.1 \mu\text{m}$ 时,会造成附近基体中应力集中,或者使颗粒本身破碎,反而导致材料强度降低。常见的颗粒复合材料有两类:一类是颗粒增强树脂复合材料,如塑料中添加颗粒状填料,橡胶用炭黑增强等;另一类是颗粒增强金属复合材料,如陶瓷颗粒增强金属复合材料。

1.2 材料的性能

了解和熟悉材料的性能可为合理选材、充分发挥工程材料内在性能潜力提供主要依据。

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中反映出来的特性,包括力学性能、物理性能和化学性能等,它决定金属材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命。工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力,它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能及热处理工艺性能等。

在选用金属和制造机械零件时,主要考虑力学性能和工艺性能。在某些特定条件下工作的零件,还要考虑物理性能和化学性能。

1.2.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能又称机械性能。它是金属材料在外力作用下所反映出来的性能。

机器零件或构件等在使用时都要受到载荷的作用,如果材料的力学性能不能满足要求,则会导致零件或构件在受载时失去应有的效能,即“失效”。载荷的基本形式有拉伸、压缩、扭转、剪切及弯曲等,实际载荷也可能是其中基本形式的组合。此外,根据载荷随时间的变化规律不同,又可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷。金属材料在不同载荷作用下表现出来的力学性能是不一样的,因此,需用相应的试验方法来测定材料的各项力学性能指标。

(1) 强度、弹性与塑性

金属材料的强度、弹性与塑性一般可通过材料拉伸试验来测定。

1) 拉伸曲线

拉伸试验是测定零件在静载荷作用下力学性能指标的常用方法。它是将被测金属材料制成如图 1.3 所示的标准试样($d_0 = 10 \text{ mm}$, $l_0 = 50 \text{ mm}$ 或 100 mm),然后在试样的两端逐渐施加轴向载荷,直到试样被拉断为止。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,即可测出该金属的拉伸曲线,并由此测定该金属的强度、弹性与塑性等性能指标。

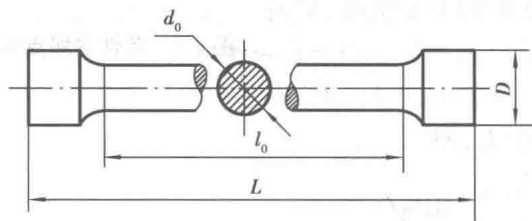


图 1.3 拉伸试样

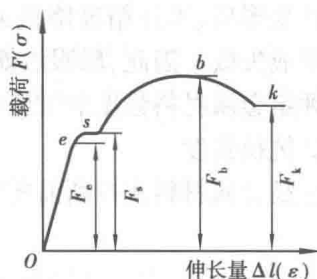


图 1.4 低碳钢的拉伸曲线

如图 1.4 所示为低碳钢的拉伸曲线。它反映了金属材料在拉伸过程中经历了弹性变形、塑性变形和断裂 3 个阶段。

为使曲线能够直接反映出材料的力学性能,可用应力(试样单位横截面上的拉力, $4F/\pi d_0^2$)代替载荷 F ,以应变 ε (试样单位长度上的伸长量, $\Delta l/l$) 取代伸长量 Δl 。由此绘成的曲线,称作应力-应变曲线。 σ - ε 曲线和 F - Δl 曲线形状相同,仅是坐标的含义不同。

2) 弹性极限

弹性极限是指金属材料在外力作用下不产生塑性变形时所能承受的最大应力值,即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad \text{MPa}$$

式中 F_e ——试样在不产生塑性变形时的最大载荷, N;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

在弹性变形范围内,应力与应变的比值称为材料的弹性模量 E 。弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标,工程上常把它称为材料的刚度。 E 值越大,则材料的刚度越大,说明材料抵抗产生弹性变形的能力越强,越不容易产生弹性变形。

由于弹性极限是表示金属材料不产生塑性变形时所能承受的最大应力值,因此,它是工作

中不允许有微量塑性变形零件(如精密的弹性元件、炮筒等)在设计选材时的重要依据。

3) 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力。由于载荷的作用方式不同,因此,强度有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度及抗剪强度等。工程上以屈服点和抗拉强度最为常用。

① 屈服点

它是拉伸试样产生屈服现象时的应力,即

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

式中 F_s ——试样产生屈服时所承受的最大载荷,N;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

对于许多没有明显屈服现象的金属材料,工程上规定以试样产生 0.2% 塑性变形时的应力,作为该材料的屈服点,称为条件屈服点,用 $\sigma_{r0.2}$ 表示,如图 1.5 所示。

一般机器零件不仅是在断裂时形成失效,而往往是在发生少量塑性变形后,零件精度降低或与其他零件的相对配合受到影响时就形成失效。因此,屈服点就成为零件设计时的主要依据,同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

② 抗拉强度

它是金属材料在拉断前所能承受的最大应力,即

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

式中 F_b ——试样在拉断前所承受的最大载荷,N;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

由图 1.4 可知,抗拉强度是表示塑性材料抵抗大量塑性变形的能力。脆性材料在拉伸过程中一般不产生颈缩现象,因此,抗拉强度就是材料的断裂强度。它是表示材料抵抗断裂的能力。抗拉强度是零件设计时的主要依据,同时它也是评定金属材料强度的重要指标之一。

4) 塑性

塑性是指金属材料在静载荷作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。通常用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示材料塑性的好坏。

① 伸长率

伸长率是指试样拉断后标距增长量与原始标距之比,即

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

式中 l_k ——试样断裂后的标距;

l_0 ——试样原始标距。

必须指出,伸长率的数值与试样尺寸有关,因此,用长试样($l_0/d_0 = 10$ 的试样)和短试样($l_0/d_0 = 5$ 的试样)求得的伸长率分别以 δ_{10} (或 δ) 和 δ_5 表示。

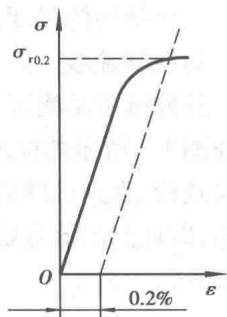


图 1.5 条件屈服点示意图

②断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比,即

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

式中 A_k ——试样断裂处的最小横截面积;

A_0 ——试样的原始横截面积。

ψ 值的大小与试样尺寸无关,能更可靠地反映金属材料的塑性。

δ 和 ψ 值越大,材料的塑性越好。良好的塑性不仅是金属材料进行塑性变形的必要条件,而且可增加机器零件工作时的可靠性,因为材料具有一定的塑性,可在偶然过载时产生塑性变形,从而避免突然断裂。

(2) 硬度

硬度是指金属材料抵抗更硬的物体压入其内的能力,也即金属材料在局部体积范围内抵抗塑性变形的一个综合物理量。它是衡量材料软硬的一个指标。

金属材料的硬度是在硬度计上测定的。常用的有布氏硬度法和洛氏硬度法,有时还用维氏硬度法。

1) 布氏硬度

布氏硬度的测试原理如图 1.6 所示。用一定直径的淬火钢球或硬质合金球,在一定压力下压入试样表面,并保持压力至规定时间后卸载,然后测得压痕直径 d ,计算出压痕表面积,进而得到所承受的平均应力值,即为布氏硬度值 HB,则

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

具体试验时,HB 的值一般不需计算,而用带有刻度的放大镜测出 d 按已知的 F, D 值查表求得。当压头为淬火钢球时用 HBS 表示;当压头为硬质合金球时用 HBW 表示。

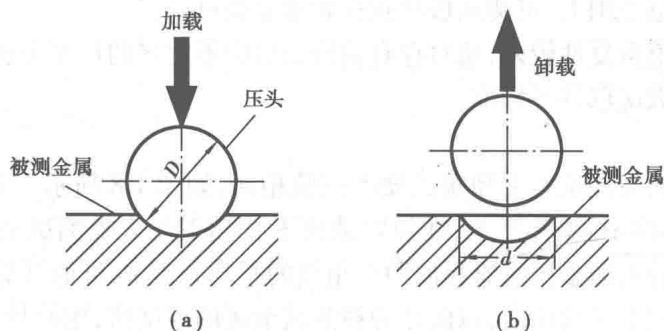


图 1.6 布氏硬度试验原理

布氏硬度法的特点如下:

- ①因压痕面积大,故测试数据重复性好,且与强度之间有良好的对应关系。
- ②不适宜于测定成品及薄而小的零件。
- ③不能测太硬的零件,因为测试过硬的材料可能会导致压头变形。当选用淬火钢球时,适宜于布氏硬度低于 450 以下的零件;当选用硬质合金球时,适宜于布氏硬度为 450~650 的零件。

此外,还因测试过程相对较费时,故也不适合于大批量生产的零件检验。

2) 洛氏硬度

洛氏硬度的测试原理如图 1.7 所示。用一个锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或一定直径的钢球为压头,在规定载荷作用下压入被测金属表面,卸载后根据压痕深度来确定其硬度值,用符号 HR 表示,即

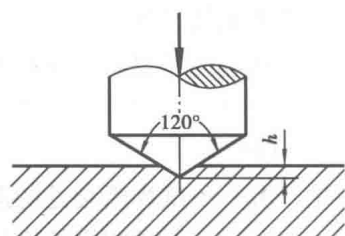


图 1.7 洛氏硬度试验原理

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

为了能用同一硬度计测定从极软到极硬材料的硬度,可采用不同的压头和载荷,组成了不同的洛氏硬度标尺。其中,最常用的是 A, B, C 3 种标尺。表 1.1 为这 3 种标尺的试验条件和应用范围。

表 1.1 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

洛氏硬度	压头类型	总载荷/N	测量范围	应用范围
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4	70~85HRA	高硬度表面、硬质合金
HRB	$\phi 1.588$ mm 淬火钢球	980.7	20~100HRB	软钢、灰铸铁、有色金属
HRC	120° 金刚石圆锥体	1 471	20~67HRC	一般淬火钢件

洛氏硬度的特点如下:

- ①测试过程简单、迅速,能直接从刻度盘上读出硬度值。
- ②因压痕小,可用于成品及薄件的硬度检验。
- ③测试的硬度值范围大,可测从极软到极硬的金属材料。
- ④测得的硬度值重复性较差,这对存有偏析或组织不均匀的被测金属尤为明显。因此,必须在不同部位测量数次取其平均值。

3) 维氏硬度

维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度试验相同,如图 1.8 所示。它是用一个相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头,在规定载荷 F 作用下压入被测试金属表面,保持一定时间后卸除载荷。然后再测量压痕投影的两对角线的平均长度 d ,进而计算出压痕的表面积 A ,最后求出压痕表面积上平均压力,以此作为被测试金属的硬度值,用符号 HV 表示,即

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}} = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

维氏硬度的特点如下:

- ①试验时所加载荷小,压入深度浅,故适用于测试零件表面淬硬层及化学热处理的表面层(如渗碳层、渗氮层等)。
- ②维氏硬度是一个连续一致的标尺,试验时可任意选择,而不影响其硬度值的大小。因