

高 职 高 专 系 列 教 材

机械工程材料 工艺学

杨 晶 主编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

机械工程材料 工艺学

— — —



机械工业出版社

高职高专系列教材

机械工程材料工艺学

杨 晶 主编

康爱军 尹爱东 副主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书从材料基础出发,着重介绍各种冷热加工成形技术的应用及特点。全书内容分为工程材料及热处理知识、热加工基本知识和冷加工基本知识三篇。分别讲述了机械工程材料知识、热处理工艺基础、金属的液态成形、金属的塑性成形、材料的连接成形、金属切削加工基本知识等,根据先进技术发展趋势,介绍了目前正在推广应用的新材料、新技术及某些冷热加工新工艺等内容,以拓宽学生的知识面。本书采用我国新的钢分类标准和法定计量单位及冷热加工有关新工艺标准,同时,在相应章节后增加了实验环节,每章后附有适量的复习思考题。

本书内容简明扼要,突出实用性,并注重理论联系实际,可作为高职高专院校机械类和非机械类专业的教材,也可供有关工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料工艺学/杨晶主编. —北京:中国石化出版社,2008

ISBN 978 - 7 - 80229 - 606 - 0

I. 机… II. 杨… III. 机械制造材料 - 工艺学 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 128401 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 18.5 印张 451 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

本书是根据国家教育部制定的高职高专教育专业技术基础课程教学基本要求,并参考各高职院校教学改革及职业技能需求的有益经验编写的;是高职院校数控、模具、机电、机电设备维修等机械类及钻井、汽修、采矿等机械工程类专业的通用教材。可供高职院校、成人教育、技能培训学校师生及有关工程技术人员、企业管理人员选用或参考。

为适应高职院校以应用与技能为主的培养目标,本书将机械工程材料及热处理工艺基础、热加工工艺基础和冷加工工艺基础等三部分知识有机结合,坚持理论教学以应用为目的,以必需够用为度,以掌握概念、强化应用为教学重点,着重增加实践环节。在相应章节后安排有实验及指导,既深化教学实践又相对独立,自成体系。在保证知识结构的系统性和完整性的基础上,精选了部分生产第一线广泛使用及近期能够推广使用的新技术。尽力贯彻最新国家标准技术术语、符号和法定计量单位等,积极采用近年颁布的一系列新标准。同时兼顾由旧标准向新标准的过渡。由于各院校各专业的专业性质、培养目标不同,讲授时可有所侧重或取舍。

另外,为适应教学改革与教学安排要求,根据各校经验,对原有课程理论内容进行精简,避免重复,计划60~80学时,辅之以热加工实习、冷加工实训、实验等实践环节,旨在提高学生应用能力。

本教材由天津石油职业技术学院杨晶担任主编并负责统稿,康爱军、尹爱东任副主编,天津大学罗延生教授担任主审。具体编写章节:杨晶(第十、十一、十二、十三、十四章及全部实验章节、习题),康爱军(第四、六、七、八、九章),尹爱东(第一、二、三章),纪素先(第五章),李玉书、崔立辉、韩志民(第十五、十六章),路民兴(绪论)。

本教材是编者集多年教学经验,借鉴、总结相关资料、教材、数据等基础上编写而成,期间得到各兄弟院校领导、教师的支持与帮助,特别是天津大学罗延生教授百忙中的指导和大力协助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点错误难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	(2)
----------	-------

第一篇 工程材料及热处理知识

第一章 金属的力学性能	(4)
-------------------	-------

第一节 强度与塑性	(4)
-----------------	-------

第二节 硬度及其测定	(6)
------------------	-------

第三节 冲击韧性	(9)
----------------	-------

第四节 疲劳强度与疲劳	(11)
-------------------	--------

复习思考题	(11)
-------------	--------

实验一 金属材料的机械性能测定	(12)
-----------------------	--------

第二章 金属的晶体结构与结晶 ..	(17)
-------------------	--------

第一节 金属的晶体结构	(17)
-------------------	--------

第二节 实际金属的晶体结构 ..	(19)
------------------	--------

第三节 金属的结晶	(21)
-----------------	--------

第四节 晶粒的大小	(24)
-----------------	--------

第五节 铸锭的组织	(26)
-----------------	--------

第六节 金属的同素异晶转变 ..	(27)
------------------	--------

复习思考题	(27)
-------------	--------

第三章 铁碳合金状态图	(29)
-------------------	--------

第一节 合金的基本概念	(29)
-------------------	--------

第二节 铁碳合金的基本组织 ..	(31)
------------------	--------

第三节 铁碳合金状态图	(32)
-------------------	--------

复习思考题	(40)
-------------	--------

实验二 金相显微镜原理及基本操作	(40)
------------------------	--------

实验三 金相试样的制备	(45)
-------------------	--------

实验四 铁碳合金组织观察	(47)
--------------------	--------

第四章 钢的热处理	(50)
-----------------	--------

第一节 热处理的基本原理	(50)
--------------------	--------

第二节 钢的退火与正火	(57)
-------------------	--------

第三节 钢的淬火	(58)
----------------	--------

第四节 钢的回火	(62)
----------------	--------

第五节 钢的表面热处理	(64)
-------------------	--------

复习思考题	(67)
-------------	--------

实验五 钢的热处理	(68)
-----------------	--------

第五章 热处理新技术及其他技术简介	(73)
-------------------------	--------

第一节 热处理新技术	(73)
------------------	--------

第二节 表面技术	(75)
----------------	--------

复习思考题	(79)
-------------	--------

第六章 黑色金属材料	(80)
------------------	--------

第一节 碳素钢	(80)
---------------	--------

第二节 合金钢	(83)
---------------	--------

第三节 铸铁	(93)
--------------	--------

复习思考题	(99)
-------------	--------

第七章 有色金属及其合金	(100)
--------------------	---------

第一节 铝及铝合金	(100)
-----------------	---------

第二节 铜及铜合金	(101)
-----------------	---------

第三节 钛及钛合金	(105)
-----------------	---------

第四节 轴承合金	(106)
----------------	---------

复习思考题	(107)
-------------	---------

实验六 合金钢、铸铁、有色金属显微组织观察	(107)
-----------------------------	---------

第八章 非金属材料	(112)
-----------------	---------

第一节 高分子材料	(112)
-----------------	---------

第二节 陶瓷	(114)
--------------	---------

第三节 复合材料	(115)
----------------	---------

复习思考题	(117)
-------------	---------

第九章 粉末冶金与硬质合金	(118)
---------------------	---------

第一节 粉末冶金的应用和生产	(118)
----------------------	---------

第二节 粉末冶金技术的发展 ..	(119)
------------------	---------

第三节 金属陶瓷硬质合金	(119)
--------------------	---------

复习思考题	(120)
-------------	---------

第十章 机械零件的失效及热处理工艺的应用	(121)
第一节 机械零件的失效分析 ...	(121)
第二节 机械零件的选材原则及方法	(125)
第三节 零件毛坯的选择	(127)
第四节 热处理工艺的应用	(128)
复习思考题	(129)

第二篇 热加工基本知识

第十一章 金属的液态成形	(132)
第一节 液态成形铸造理论基础	(133)
第二节 砂型铸造工艺	(143)
第三节 液态金属成形件的工艺设计	(149)
第四节 液态金属成形件的结构工艺设计	(152)
第五节 特种铸造成形	(155)
复习思考题	(158)
第十二章 金属的塑性成形	(160)
第一节 金属塑性成形的工艺基础	(160)
第二节 金属热锻成形工艺	(167)
第三节 板料冲压成形工艺	(179)
第四节 特种塑性成形技术简介	(183)
复习思考题	(187)
实验七 金属的塑性变形与再结晶	(188)
第十三章 金属的连接成形	(191)
第一节 焊接成形工艺基础	(191)

第二节 常用焊接方法及工艺 ...	(203)
第三节 焊接技术发展简介	(212)
第四节 常用金属材料的焊接性 ...	(217)
第五节 材料的其他连接成形方法	(223)
复习思考题	(226)

第三篇 冷加工基本知识

第十四章 金属切削加工基本知识	(229)
第一节 刀具材料	(229)
第二节 切削运动与切削要素 ...	(234)
第三节 刀具几何形状及角度 ...	(238)
第四节 刀具形式	(241)
第五节 金属的切削过程	(248)
复习思考题	(254)
第十五章 金属切削机床概论	(255)
第一节 机床的分类及型号编制	(255)
第二节 金属切削机床简介	(257)
复习思考题	(266)
第十六章 金属切削加工工艺基础	(267)
第一节 车削加工	(267)
第二节 铣削与刨削加工	(271)
第三节 钻削与镗削加工	(274)
第四节 磨削加工	(276)
第五节 切削液的选择	(278)
第六节 机械加工工艺过程的基本知识	(281)
复习思考题	(288)
参考文献	(290)

前言

第一篇 工程材料及热处理知识

绪 论

工程材料是人类社会发展重要的物质基础,同人类社会的发展密切相关。人类利用材料制作了生产、生活使用的工具、设备及设施,不断改善了自身的生存环境与空间,创造了丰富的物质文明和精神文明。同时,历史学家为了科学地划分人类在各个社会发展阶段的文明程度,亦以材料的生产和使用作为人类文明进步的尺度和标志。人类社会已经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代等,目前正进入人工合成材料和新型金属时代。

回顾历史,我国曾经是使用金属材料最早的国家之一。我国使用铜的历史约有 5000 余年。大量出土的上古时代青铜器,说明在商代(公元前 1562 年~公元前 1066 年)就有了高度发达的青铜加工技术。例如,河南安阳出土的司母戊大方鼎,带耳高 1.37m,横 3.1m,宽 0.77m,重达 875kg。这是殷商时代的祭器,体积庞大,花纹精巧,造型精美。要制造这么精美的青铜器,需要经过雕塑、制造模样与铸型、冶炼等工序,可以说司母戊大方鼎是古代雕塑艺术与金属冶炼技术的完美结合。同时,在当时的条件下要浇铸这样庞大的器物,如果没有大规模严密的劳动分工和精湛的雕塑与铸造技术,是不可能完美地制造成功的。

早在公元前 6 世纪即春秋末期,我国就已出现了人工冶炼的铁器,比欧洲出现生铁早 1900 多年,如 1953 年在河北兴隆地区发掘出的用来铸造农具的铁模子,说明铁制农具已大量地应用于农业生产中;早在西汉晚期,铸铁中就出现了球状石墨,1978 年河南巩县出土的西汉铁铤中石墨球化良好,球化率相当于原一机部部颁标准一类 A 级;现河北沧州的五代时期大铁狮,高 5m 多,长近 6m,重十万多斤,是公元 10 世纪五代后周铸造的;我国古代还创造了三种炼钢方法:第一种是从矿石中直接炼出的自然钢,用这种钢制作的刀剑在东方各国享有盛誉,后来在东汉时期传入欧洲;第二种是西汉期间经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;第三种是南北朝时期的先炼铁、后炼钢的两步炼钢技术,这比其他国家早 1 千多年,可以说,直到明朝之前,我国在钢铁生产技术方面一直是遥遥领先于世界。

1965 年在湖北省出土的越王勾践青铜剑,虽然在地下深埋了 2400 多年,出土时却没有一点锈斑,完好如初,说明当时不仅已掌握了金属冶炼、锻造术,而且还掌握了金属材料的防腐蚀技术。

在唐朝(约公元 7 世纪)时期,我国已应用锡焊和银焊技术,而此项技术欧洲直到公元 17 世纪才出现。根据文字记载,公元 1668 年我国已使用直径 6.6mm 的镶片铣刀,该铣刀由牲畜带动旋转,用来加工天文仪上的铜环。

明朝宋应星所著《天工开物》一书中详细记载了古代冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等多种金属材料的加工工艺方法。书中介绍的锉刀、针等工具的制造过程与现代制作工艺几乎一致,可以说《天工开物》一书是世界上有关金属加工工艺方法最早的科学著作之一。

历史充分说明,我国古代劳动人民在金属材料及其加工工艺方面取得了辉煌的成就,为人类文明做出了巨大的贡献。新中国成立后,我国在金属材料、非金属材料及其加工工艺理论研究方面有了很大的提高。钢铁生产已成为国际钢铁市场上举足轻重的“第一力量”,有力地推动了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油、电子仪表、宇宙航行等现代化工业的发

展。原子弹、氢弹、导弹的试验成功,人造地球卫星的发射,纳米材料和功能材料的研究与开发等,标志着我国在机械工程材料及其加工工艺方面都达到了新的水平。

到20世纪中叶随着科技的发展、社会环保意识的加强,以及生产的特殊需求,出现了越来越多的非金属材料。非金属材料的使用,不仅满足了机械工程用户的特殊需求,而且还大大简化了机械制造的工艺过程,降低了机械制造成本,提高了机械产品的使用性能。其中比较突出的非金属材料是:塑料、陶瓷与复合材料等。目前它们所具有的特殊性能不断地得到广大工程技术人员认可,而且其应用范围在不断地扩大,正在逐步地改变金属材料占绝对主导地位的格局。

同时,随着科学技术的发展,在机械零件的加工工艺方面也出现了日新月异的发展。例如,激光技术与计算机技术在机械零件加工过程中的应用,使得机械零件加工设备不断创新,零件的加工质量和效率不断提高,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和生产管理信息系统(MIS)的综合应用,突破了传统的机械零件加工方法,产生了巨大的变革。由此,作为一名工程技术人员或管理人员,了解金属材料和非金属材料的性能、应用、加工过程以及与之相关的先进加工技术是非常重要的。掌握这方面的知识不仅可以使机械工程设计更合理、更具有先进性,而且还会培养机械零件生产的质量、经济、环保、创新意识,做到机械生产过程高质、高效、清洁和安全,并合理地降低生产成本。同时,对于从事现代机械制造行业的技术及操作人员来讲,学习本课程的有关知识对于提高自身素质,更好地适应现代化生产以及知识经济社会也具有很好的指导意义和必要性。

本教材比较系统地介绍了金属材料与非金属材料的种类、加工过程、性能和应用方面的基础知识。本课程融汇多种专业基础知识为一体,是培养从事机械制造行业应用型、管理型、操作型与复合型人才的专业技术基础必修课程。

在学习本课程时,要多联系自己在金属材料和非金属材料方面的感性知识和生活经验,多讨论、多交流、多分析和多研究,特别是在实习中要多观察,勤于实践,做到理论联系实际,这样才能更好地学习教材中的基础知识,做到全面发展。

学习本课程的基本要求是:

- 1) 了解常用材料的牌号、性能、用途和一般选用原则;
- 2) 了解常用热处理工艺的特点及应用,熟悉典型零件的热处理方法;
- 3) 了解零件的各种冷热加工方法的基本原理和工艺特点,并初步具有选择零件加工工艺规程的基本能力;
- 4) 了解各种主要加工方法所用设备(工具)的工作原理和使用范围,设备(工具)的基本操作和使用方法;
- 5) 了解各种加工工艺对零件结构工艺性的一般要求,做到灵活应用;
- 6) 了解各种加工的新技术与新工艺,重视零件制造成本的经济性和生产过程的合理性,树立环境保护意识,贯彻清洁生产思想,使零件制造最大限度地体现社会效益。

本课程主要介绍用以改变金属材料性能的热处理及用以获得毛坯或零件的铸造、锻压、焊接等工艺的性质、特点和应用。在切削加工方面,主要介绍各种加工方法和通用切削机床与工具的基础知识。本书还简要介绍工程材料的质量检验方法。它涵盖了金属材料及热处理、铸造、金属压力加工、焊接、金属切削加工等多个学科的基本知识。机械加工生产的过程,就是机械工程材料工艺学的应用过程,因此,机械工程材料工艺学是工程技术人员必修的技术基础课。

第一章 金属的力学性能

材料就是人类用来制作各种产品的物质,是先于人类产生的,为人类生产和生活的物质基础。工程材料及其加工工艺与人类的进步有着密切的联系。工程材料的名字象征着人类文明,如石器时代、青铜器时代和铁器时代。一切工业生产,例如:冶金、矿山、机器制造、交通运输、化工、煤炭、石油为现代工业和科学技术的基础。只有工程材料及其工艺的发展,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。可以这样说,它们不仅在人们的日常生活中,而且在国家的昌盛和安全中都起着举足轻重的作用。因而,研究工程材料及其加工工艺是非常重要的。

目前,在材料方面的成就和材料的使用,已很难用某一种类的材料来概括了,材料的种类日新月异,变化万千。材料已成为现代科学技术和生产的基础。根据工程材料本性或其结合键的性质,工程材料分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料四大类,但最主要、最基本的仍是金属材料。

金属材料的性能直接关系到金属产品的质量、使用寿命和加工成本,以及生产工人的劳动强度和劳动安全,是产品选材和制订加工工艺方案、生产组织管理的重要依据。

众多的工程材料之所以得到广泛的应用,是因为它们具备有许多可贵的性能。金属材料的性能包括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所表现出来的性能,它包括金属材料的力学性能、物理性能(熔点、导电性、导热性、磁性等)、化学性能(耐腐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是指金属材料在各种加工工艺过程中所表现出来的性能,它包括金属材料的铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理工艺性能和切削加工性能等。

金属材料的力学性能又称机械性能,它是指金属材料在外力(即载荷)作用下所表现出来的抵抗变形和破坏的能力。常见的金属材料的机械性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等,它们是机械零件和构件设计、选材的主要依据。它可通过各种不同的实验来测定。只有了解材料的性能,才能正确经济合理地选择材料。

第一节 强度与塑性

为了了解材料的机械性能,我们通过拉伸试验可以测定载荷与变形的关系。材料受到外力作用时,会引起其尺寸与形状的改变,这种外力叫载荷(或称负荷),而这种尺寸与形状的改变则叫变形。

拉伸试验就是把制成规定形状和尺寸的试样,装在拉伸试验机上,对试样缓慢施加拉力(即静载荷)使之不断产生变形,直到拉断试样为止(试验方法详见 GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》),根据拉伸试验过程中的载荷大小和对应的变形量关系,便可画出材料的拉伸曲线来。

以低碳钢为例,作拉伸试验,分析拉伸过程如图 1-1 所示,从图上可以确定出材料的一些常规机械性能指标。

曲线中各点、线含义：

e 点——试样不产生永久变形时所能承受的最大载荷；

op 段——载荷与变形成正比关系，即线性阶段；

p 点——比例极限；

s 点——屈服点；

b 点——最大承载极限；

ope 段——弹性变形阶段；

F_e ——弹性变形最大负荷；

F_p ——比例变形最大负荷；

F_s ——屈服载荷；

F_b ——拉伸最大载荷；

F_k ——断裂载荷。

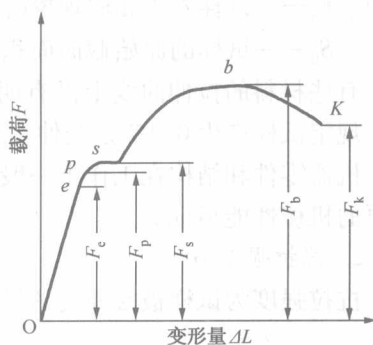


图 1-1 低碳钢拉伸曲线

一、塑性

塑性是指金属材料当受到外力作用时，产生永久的尺寸与形状改变即变形，而不至于引起破坏的性能。

常用延伸率和断面收缩率作为塑性大小的指标。

1) 延伸率：用“ δ ”表示，试样在拉伸断裂后总伸长量与原来长度比值的百分率。

$$\delta = [(L_1 - L_0)/L_0] \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 L_0 ——试样原长度，m；

L_1 ——拉伸后长度，m。

2) 断面收缩率：用“ Ψ ”表示，试样在拉伸断裂后，试样截面的缩减量与原始截面面积比值的百分率。

$$\Psi = [(S_0 - S_1)/S_0] \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 S_0 ——试样原始截面面积， mm^2 ；

S_1 ——试样断口处的截面面积， mm^2 。

δ 、 Ψ 越大，材料塑性越好，一般 $\delta > 5\%$ 为塑性材料， $\delta < 5\%$ 为脆性材料。材料塑性好坏，对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。如：低碳钢塑性好，可进行压力加工；普通铸铁塑性差，不能进行压力加工。同时，由于材料具有一定的塑性，能保证不致因稍有超载而突然断裂。这就增加了材料使用的安全可靠。

二、强度

强度指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。

强度特性的指标主要是屈服强度和抗拉强度。

1. 屈服强度 σ_s (屈服点 s)

由图 1-1 可知，当载荷增加到 F_s 时，拉伸曲线在 s 处出现一水平线段。这表明拉力虽然不再增加，但变形仍在继续进行，这种现象叫屈服。这时若卸去载荷，则试样的变形不能全部恢复，将保留一部分残余变形。这种不能恢复的残余变形，叫做塑性变形。 s 点就是材料从弹性状态到塑性状态的临界点，我们将开始发生屈服现象时的应力值，即开始出现塑性变形时的应力叫屈服极限或称屈服强度。

$$\sigma_s = F_s/S_0 \text{ (MPa)} \quad (1-3)$$

式中 F_s ——试样发生屈服现象时的载荷, N;

S_0 ——试样的原始截面面积, mm^2 。

有些材料的拉伸曲线上没有明显的屈服点, 无法确定开始塑性变形的最低应力值, 因此, 规定试样产生 0.2% 残余伸长时的应力值为该材料的条件屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

机器零件和结构在工作中一般不允许发生塑性变形, 所以, 屈服强度是评定材料质量的重要的机械性能指标。

2. 抗拉强度 σ_b

抗拉强度为试样被拉断前的最大承载应力, 对应于图 1-1 上的 b 点应力, 用 σ_b 表示。

$$\sigma_b = F_b / S_0 \text{ (MPa)} \quad (1-4)$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大拉力, N;

S_0 ——试样原始截面面积, mm^2 。

抗拉强度的物理意义在于, 它反应了材料最大均匀变形的抗力, 表征材料在拉伸条件下所能承受的最大载荷的应力值, 它是设计和选材的重要依据之一。

屈服强度与抗拉强度的比值, 在工程中叫做屈强比。屈强比愈小, 工程构件的可靠性愈高, 万一超载也不至于马上断裂。但此值太小, 则材料强度的有效利用率太低。

第二节 硬度及其测定

硬度是指材料表面抵抗塑性变形或断裂的能力。硬度值的物理意义随试验方法的不同而不一样, 在应用最广泛的压入法硬度试验中, 硬度为材料抵抗更硬的物体压入其表面的能力。工程中常用的有布氏硬度和洛氏硬度等。

一、布氏硬度

布氏硬度试验是, 用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球, 在一定压力 P 下, 将钢球垂直地压入金属表面, 图 1-2 所示, 并保持压力到规定的时间后卸荷, 以载荷与压痕表面积 F 的比值, 作为布氏硬度值, 用 HB 表示。

$$\text{HB} = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D h} \quad (1-5)$$

在实际试验中, 压痕深度 h 的测量比较困难, 而测量压痕直径 d 比较方便, 因此将上式中的 h 换成 d , 由图 1-3 中 h 和 d 的直角三角形关系可求出:

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2} \quad (1-6)$$

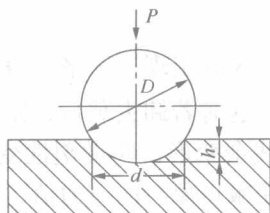


图 1-2 布氏硬度试验原理图

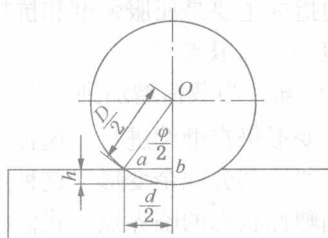


图 1-3 h 和 d 的关系

所以, HB 值的计算式变为:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-7)$$

式中只有 d 为变量, 只要试验后测出压痕直径 d , 就可求得 HB 值。通常 P 以 kg 计, D 与 d 以 mm 计, 所以布氏硬度单位为 kg/mm^2 。布氏硬度值越高, 表明材料越硬。

布氏硬度试验中, 当压头为淬火钢球时, 用 HBS 表示, 适于 HB < 450 以下材料。当压头为硬质合金球时, 用 HBW 表示, 适用于 HB 在 450 ~ 650 之间的材料。

布氏硬度试验的优点是, 压痕面积较大, 不受微小不均匀硬度的影响, 测量数据准确、稳定, 数据重复性强。其缺点是压痕较大, 易损坏成品的表面, 也不能检验薄板材料。

二、洛氏硬度 HR(HRA、HRB、HRC)

洛氏硬度也是一种压入硬度试验方法。但其原理不是通过测压痕面积求得硬度值, 而是以测量压痕深度值大小确定材料的硬度值。洛氏硬度试验所用的压头为圆锥角 $\alpha = 120^\circ$ 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm、3.175mm 的淬火钢球。载荷分先后两次施加, 先加初载荷 F_1 , 再加主载荷 F_2 , 其总载荷为 $F(F = F_1 + F_2)$ 。

图 1-4 中 0-0 为金刚石压头没有和试样接触时的位置; 1-1 为压头受到初载荷 F_1 后压入试样深度为 h_1 的位置; 2-2 为压头受到主载荷 F_2 后压入试样深度为 h_2 的位置; 3-3 为压头卸除主载荷 F_2 , 且只保留初载荷 F_1 时的位置。由于试样弹性变形的恢复, 压头位置提高了 h_3 。此时压头在主载荷作用下实际压入深度为 h 。显然, h 值越小, 材料则越硬; h 值越大, 材料则越软。

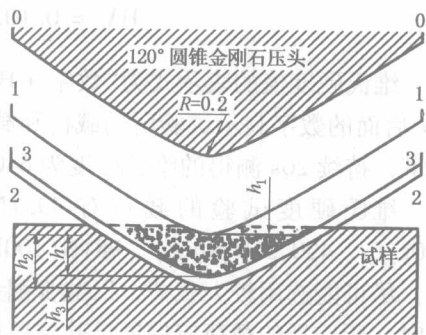


图 1-4 洛氏硬度试验原理

洛氏硬度值是在施加总载荷并卸除主载荷后, 在初载荷下, 从洛氏硬度计的刻度盘上直接读出的 (无单位)。

洛氏硬度用 HR 表示。为了便于用洛氏硬度计测量从软到硬较大范围的材料硬度, 可采用不同的压头和载荷, 组成各种不同的洛氏硬度标尺, 每种标尺用一字母在 HR 字样后加以注明, 以作区别。如 HRA、HRB、HRC 等, 其中 HRA 与 HRC 是用顶尖为 120° 的金刚石圆锥体作为压头, 采用总载荷分别为 600N 与 1500N。而 HRB 值的测定, 则采用直径 1.588mm 的钢球作为压头, 总载荷为 1000N。

洛氏硬度试验方法的优点是操作迅速, 简便, 压痕小, 不损伤试样表面, 硬度值测量范围也较大, 故使用范围很广。缺点是由于洛氏硬度试验压痕小, 其准确性不如布氏硬度高, 所测值重复性差, 也易受试样微小区域不均匀的影响。

金属材料的硬度是由起始塑性变形抗力和继续塑性变形抗力决定的, 所以, 硬度值和强度值之间应有某种近似的对应关系。以下经验关系可作工程参考:

低碳钢 $\sigma_b = 0.36HB$, 高碳钢 $\sigma_b = 0.34HB$, 调质合金钢 $\sigma_b = 0.325HB$, 灰口铸铁 $\sigma_b = 0.1HB$ 。

三、维氏硬度与显微硬度

布氏硬度试验只能测定硬度值小于 450HB (或 650HB) 的材料。洛氏硬度虽可测定各种

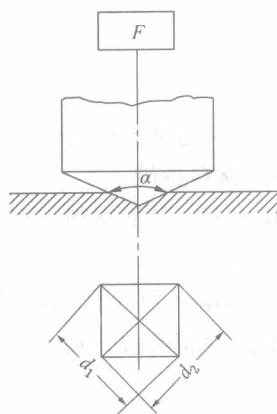


图 1-5 维氏硬度试验原理

材料的硬度,但由于在不同的硬度范围所使用的标尺不同,所测硬度值不能直接换算。因此为了使软硬不同的各种材料有一个连续一致的硬度指标,制定了维氏硬度试验法(如图 1-5 所示)。

维氏硬度的试验原理与布氏硬度基本相似,也是根据压痕单位面积所承受的载荷来计算硬度值的,所不同的是维氏硬度试验所用的压头是两相对面夹角 $\alpha = 136^\circ$ 的金刚石四棱锥体。试验时,在载荷 F 的作用下,试样表面被压出一个四方锥形压痕,测量压痕的对角线长度分别为 d_1 和 d_2 ,取其平均值 d ,用以计算压痕的表面积 S , F/S 为试样的硬度值,用符号 HV 表示。

当载荷单位为 kgf,压痕对角线长度单位为 mm 时,其计算公式为

$$HV = \frac{2F \sin 136^\circ / 2}{d^2} = 1.8544 F / d^2 \quad (1-8)$$

当载荷的单位为 N 时,其计算公式为

$$HV = 0.102 \frac{2F \sin 136^\circ / 2}{d^2} = 0.1891 F / d^2 \quad (1-9)$$

维氏硬度值的表示式为“数字 + HV + 数字/数字”的形式。HV 前面的数字表示硬度值, HV 后面的数字表示试验所用载荷和载荷持续时间。例如, 640HV30/20 表明在 30kg 载荷作用下,持续 20s 测得的维氏硬度为 640。若载荷持续时间为 10~15s,则可不标出持续时间。

维氏硬度试验的载荷有 49.1N (5kgf)、98.1N (10kgf)、196.2N (20kgf)、294.3N (30kgf)、490.5N (50kgf)、981N (100kgf) 共六种。根据硬化层深度、材料的厚度和预期的硬度,尽可能选用较大载荷,以减少测量压痕对角线长度的误差。当测定薄件或表面硬化层硬度时,所选择的载荷应保证试验层厚度大于 $1.5d$ 。

显微维氏硬度的试验原理与维氏硬度试验一样,所不同的是负荷以 gf 计量,压痕对角线长度以 μm 计量。主要用来测定各种组成相的硬度以及研究金属化学成分、组织状态与性能的关系。显微维氏硬度符号仍用 HV 表示。

$$HV = 1854.4 F / d^2 \text{ (gf/mm}^2\text{)} \quad (1-10)$$

式中 F ——负荷, gf;

d ——压痕对角线平均长度, μm 。

显微硬度试验一般使用的负荷为 2gf、5gf、10gf、50gf、100gf、200gf,由于压痕微小,试样必须制成金相样品,在磨制与抛光试样时应注意不能产生较厚的金属扰乱层和表面形变硬化层,以免影响试验结果。在可能范围内,尽量选用较大的负荷,以减少因磨制试样时所产生的表面硬化层的影响,从而提高测量的精确度。维氏硬度及显微硬度的试验规范参考 GB 4340—84 和 GB 4342—84。

维氏硬度具有很多优点。由于角锥压痕清晰,采用对角线长度计量,精确可靠;压头为四棱锥体,当载荷改变时,压入角恒定不变,因此可以任意选择载荷,而不存在布氏硬度那种载荷 F 与压球直径 D 之间的关系约束。此外,维氏硬度也不存在洛氏硬度那种不同标尺的硬度无法统一的问题,而且比洛氏硬度所测试件厚度更薄。维氏硬度试验的缺点是其测定方法较麻烦,工作效率低,压痕面积小,代表性差,所以不宜用于成

批生产的常规检验。

四、其他硬度

1. 努氏硬度试验

努氏硬度也是一种显微硬度试验方法，与显微维氏硬度的区别有两点：

1) 压头形状不同(见图 1-6)，努氏硬度使用的是不等的四棱锥金刚石压头(其对面角分别为 172.5° 和 130°)，因此，在试样上得到的是长、短对角线长度比为 7.11 的棱形压痕；

2) 硬度值不是试验力除以压痕表面积之商值，而是除以压痕投影面积之商值。故测量出压痕长对角线的长度 $l(\mu\text{m})$ ，就可按下式计算努氏硬度值(HK)：

$$\text{HK} = 0.102 \times 14.23F/l^2 = 1.451F/l^2 \quad (1-11)$$

式中 F ——试验力，其值在 0.4903 ~ 19.61N 范围内。

努氏硬度压痕细长，且只测量长对角线长度，故精确度较高。适于测定表面渗层、镀层及表面淬硬层的硬度，还可以测定渗层截面上的硬度分布等。

2. 肖氏硬度试验

肖氏硬度试验是一种动载试验法，其原理是将具有一定质量的带有金刚石或合金钢球的重锤从一定高度落向试样表面，根据重锤回跳的高度来表征材料硬度值，肖氏硬度的符号用 KS 表示。

锤从一定高度落下，以一定的动能冲击试样表面，使其产生弹性变形与塑性变形，其中一部分冲击能转变为塑性变形功被试样吸收，另一部分以弹性变形功形式储存在试样中，当弹性变形回复时能量被释放，使重锤回跳至一定高度。材料的屈服强度越高，塑性变形越小，则存储的弹性能越高，重锤回跳得也越高，表明材料越硬。因此，肖氏硬度试验只有在弹性模量相同时才可进行比较。

肖氏硬度计一般为手提式，使用方便，便于携带。可测现场大型工件的硬度。其缺点是试验结果的准确性受人为因素影响较大，测量精度较低。

第三节 冲击韧性

机床、发动机在启动、加速、换挡、刹车时，齿轮箱中的传动齿轮会受到冲击载荷的作用，火车停车时各车厢挂钩间也受到冲击，发动机活塞、连杆、曲轴以及汽锤锤头、冲床滑块、各种风动工具等也无时不受冲击载荷的作用。对于这些在动载荷条件下工作的零件或工具，若单纯用静载荷下的指标来衡量其性能，显然是不全面的。因为在冲击载荷作用时，外力是瞬时起作用的，材料的应力增加速度快，变形速度也快，这使原采用一些强度较高的材料或静拉伸时表现为塑性较好的材料，也往往会发生脆断。所以，材料还要求具有一定的冲击韧性。

金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧性。测量冲击韧性最普通的方法是摆锤一次冲击试验。将材料制成带缺口的标准试样，如图 1-7 所示。将其放在冲击试验机的机座上，让一重量为 P 的摆锤自高度为 H 处自由下摆，摆锤冲断试样后又升至高度为 h

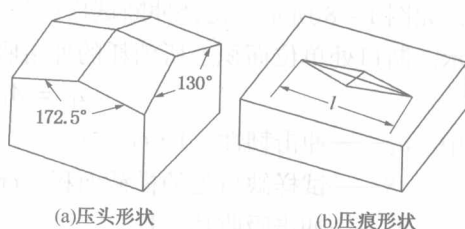


图 1-6 努氏硬度压头与压痕示意图

处,如图 1-8 所示。摆锤冲断试样所失去的能量即为试样在被冲断过程中吸收的功,用 A_k 表示。断口处单位面积上所消耗的冲击吸收功(A_k)即为材料的冲击韧性,用 a_k 表示,即

$$a_k = A_k/S = G(H-h)/S \quad (1-12)$$

式中 a_k ——冲击韧性, $J \cdot cm^{-2}$;

S ——试样缺口处的横截面积, cm^2 ;

A_k ——冲击吸收功, J ;

P ——摆锤重力, N ;

H ——摆锤初始高度, m ;

h ——摆锤冲断试样后上升的高度, m 。

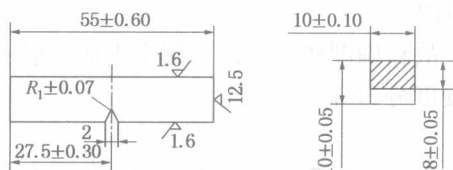


图 1-7 冲击试样

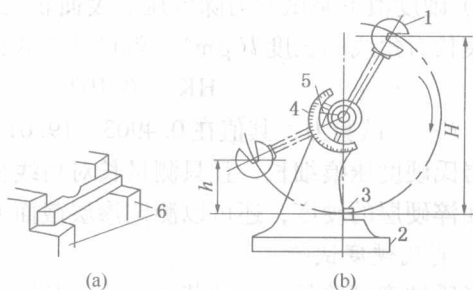


图 1-8 摆锤一次冲击试验原理图

1—摆锤; 2—机架; 3—试样;

4—表盘; 5—指针; 6—支座

这种方法的冲击速度较大,试样又开有缺口,能灵敏地反映材料脆性断裂的趋势,因而能较灵敏地反映金属材料在冶金和热处理等方面的质量问题。

工程上,机械零件很少是受一次冲击就破坏的,大多数情况下是承受小能量、多次重复的冲击载荷。在这种情况下,以冲击韧性作为性能指标来选择材料就不合适了。研究表明:小能量多次冲击抗力取决于材料的强度和塑性的综合性能指标。当冲击能量较大时,材料的多次冲击抗力主要取决于塑性;当冲击能量较小时,主要取决于强度。冲击韧性值越大,材料的韧性越好;反之,韧性越差,则脆性越大。试验表明,冲击韧性值的大小与试验的温度有关。有些材料在室温 $20^{\circ}C$ 左右试验时并不显示脆性,而在低温下则可能发生脆断。为了测定金属材料开始发生这种冷脆现象的温度,可在不同温度下进行一系列冲击试验,测出材料的冲击韧性值与温度的关系。将试验结果绘制成冲击韧性值—温度曲线,如图 1-9 所示。由图可知,冲击韧性值随温度的降低而减小,在某一温度范围内,冲击韧性值显著降低,使

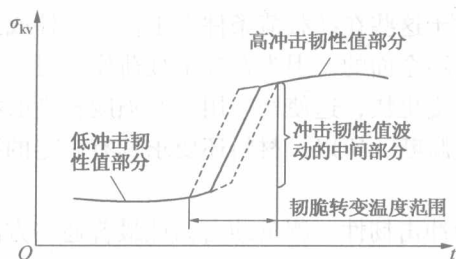


图 1-9 温度对冲击韧性值的影响

试样呈现脆性,这个温度范围称为韧脆转变温度范围。韧脆转变温度越低,材料的低温冲击韧性越好。另外,冲击韧性值的大小还受试样的形状、表面粗糙度和内部组织等因素的影响。

冲击韧性由于试验时加载速度大,试样又带有缺口,故能较灵敏地反映金属在冶金和热处理等方面的质量问题,是鉴定材料质量和设计选材时不可缺少的性能依据之一。