



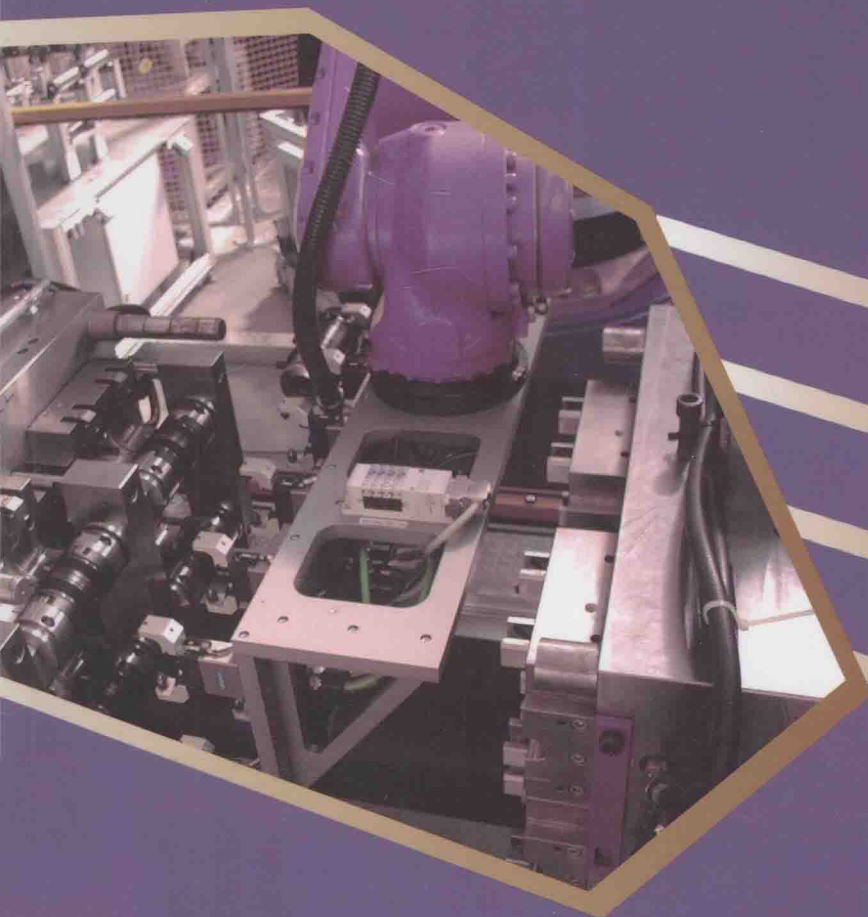
全国高职高专教育“十一五”规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

金属工艺学

第二版

王孝达 主 编
颜 伟 张维平 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材
机械制造系列

金属工艺学

Jinshu Gongyixue

(第二版)

王孝达 主 编
颜 伟 张维平 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书第一版根据教育部《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求》编写并通过审查,被推荐作为高等学校工程专科金属工艺学课程教材。经过多年使用后,随着高职高专教育的发展及相关科技的进步,在第一版的基础上作了修订。

全书共十章,包括金属材料基本知识、钢的热处理、金属材料、非金属材料和新材料、铸造、锻压、焊接、金属切削加工、零件加工工艺和机械装配等内容。

为加强本课程的实践性、针对性和应用性,本书除在每章后附有理论联系实际的复习思考题外,还在附录中增添“参观和见习要求”、“金属工艺学常用名词中英文对照表”、“中、俄、美、日、德钢铁牌号对照表”和“中国、美国钢号表示方法简介”供教学参考。另外,为适应不同专业的要求,本版内容有所扩展,扩展部分用“*”号标记,可根据需要选择使用。

本书可作为高等职业学院、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机械类、近机类专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学 / 王孝达主编. —2 版. —北京:高等教育出版社,2011.2

ISBN 978-7-04-031524-0

I. ①金… II. ①王… III. ①金属加工-工艺学-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 262003 号

策划编辑	查成东	责任编辑	项 杨	封面设计	张雨微	责任绘图	尹 莉
版式设计	王艳红	责任校对	王 雨	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市京南印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 17.5
字 数 420 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 1997 年 7 月第 1 版
2011 年 2 月第 2 版
印 次 2011 年 2 月第 1 次印刷
定 价 26.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 31524-00

第二版前言

本书第一版根据教育部《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求》编写并通过审查,被推荐作为高等学校工程专科金属工艺学课程教材,适用于高等职业学院、高等专科学校金属工艺学课程教学,也适用于成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机械类、近机类专业的教学,还可供有关工程技术人员参考。

随着高职高专教育的发展以及相关的科技进步,有必要对本书第一版进行修订和补充,使之适应发展的需要和更具高职高专教育的特色。

本书第二版在保持第一版优点的基础上,在以下几方面进行了修订补充:

1. 根据最新国家技术标准,对全书进行修订校核,考虑到实际应用,保留部分旧标准;
2. 对全书文、图、表全面校核修订;
3. 增补有关现代新工艺、新材料内容;
4. 增补附录“常用国内外钢号对照表”。

参加本书修订编写、校核工作的有:成都大学王孝达、温慧芸、张维平,四川交通职业技术学院颜伟,四川信息职业技术学院杨华明、卢晋。王孝达任主编,颜伟、张维平任副主编,成都纺织高等专科学校机械系曹荣主审。四川专用汽车厂颌立生、成都量刃集团林震和成都铁路局大西南铁路监理公司袁增庆等为本书编修增补提出了宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

我们热诚欢迎广大读者对本书欠缺、不当之处批评赐教。

编 者
2010年10月

目 录

绪论	1
第一章 金属材料基本知识	4
§ 1.1 金属材料的主要性能	4
一、金属材料的使用性能	4
二、金属材料的工艺性能	8
§ 1.2 金属与合金的结构和结晶	9
一、金属材料的性能与结构	9
二、金属与合金的结晶	13
§ 1.3 铁碳合金相图	18
一、铁碳合金的基本组织	18
二、铁碳合金相图	19
三、Fe-Fe ₃ C 相图的应用	23
* § 1.4 金属的腐蚀与防护	24
一、金属腐蚀原理	24
二、金属腐蚀的防护	25
复习思考题	27
第二章 钢的热处理	28
§ 2.1 钢的热处理基本原理	28
一、钢在加热时的组织转变	28
二、钢在冷却时的组织转变	30
§ 2.2 钢的普通热处理	32
一、退火和正火	32
二、淬火	33
三、回火	35
§ 2.3 钢的表面热处理	36
一、表面淬火	36
二、化学热处理	37
§ 2.4 其他热处理工艺简介	38
一、形变热处理	38
二、真空热处理	39
三、激光热处理	39

复习思考题	39
第三章 金属材料	41
§ 3.1 碳素钢	41
一、碳素钢中的常存杂质元素及其作用	41
二、碳素钢的分类、牌号和用途	41
§ 3.2 合金钢	44
一、合金元素在钢中的作用	45
二、合金钢的分类	45
三、合金钢的牌号、性能和主要用途	46
§ 3.3 铸铁	48
一、铸铁的石墨化	49
二、铸铁的分类、牌号和用途	49
§ 3.4 非铁金属及其合金	51
一、铜及铜合金	51
二、铝及铝合金	53
三、滑动轴承合金	55
§ 3.5 粉末冶金材料	56
一、粉末冶金及其特点	56
二、常用粉末冶金材料	57
复习思考题	59
* 第四章 非金属材料和新材料	61
§ 4.1 高分子材料	61
一、工程塑料	61
二、橡胶	65
§ 4.2 陶瓷材料	67
一、陶瓷的性能	68
二、常用陶瓷材料及其应用	68
§ 4.3 复合材料	69
一、复合材料的组成和分类	70
二、常用复合材料的性能特点和应用	70
§ 4.4 新材料	72
一、电子信息材料	73

二、新能源材料	73	一、概述	119
三、生态环境材料和生物医用材料	75	二、冲压设备	119
四、纳米材料	75	三、冲压基本工序	120
五、纺织新材料	77	四、冲压模具	122
复习思考题	82	五、冲压工艺要点	122
第五章 铸造	83	§ 6.4 其他塑性变形加工方法简介 ..	124
§ 5.1 砂型铸造工艺	83	一、轧制	124
一、造型材料	83	二、拉拔	125
二、模样及芯盒的制造	84	三、挤压	125
三、造型与造芯工艺	85	四、金属塑性变形加工新工艺	126
§ 5.2 铸造工艺图	89	复习思考题	127
一、浇注位置的确定	90	第七章 焊接	128
二、分型面的选择	90	§ 7.1 手弧焊与气焊	129
三、工艺参数的确定	90	一、手弧焊	129
§ 5.3 合金的熔炼与浇注	91	二、气焊	137
一、合金的铸造性能	91	§ 7.2 其他焊接方法	139
二、铸铁的熔炼与浇注	93	一、埋弧焊	139
三、铸钢的熔炼与浇注简介	95	二、气体保护电弧焊	140
四、非铁金属铸造合金的熔炼与浇注简介	95	三、电渣焊	141
五、铸件的落砂、清理及常见缺陷	97	四、等离子弧焊	141
§ 5.4 特种铸造	100	五、电子束焊	141
一、熔模铸造	100	六、激光焊	142
二、金属型铸造	101	七、电阻焊	142
三、压力铸造	102	八、钎焊	143
四、离心铸造	103	§ 7.3 常用金属材料的焊接	143
复习思考题	104	一、金属材料的焊接性	143
第六章 锻压	106	二、钢的焊接	145
§ 6.1 金属的塑性变形	106	三、铸铁的焊补	145
一、金属塑性变形的实质	106	四、非铁金属及其合金的焊接	146
二、塑性变形对金属组织与性能的影响 ..	107	五、焊接变形及焊接质量检验	146
三、回复与再结晶	107	§ 7.4 金属的切割	149
四、塑性变形加工的分类	108	一、热切割	149
§ 6.2 锻造	108	二、冷切割	150
一、金属的锻造性能及其影响因素	108	复习思考题	150
二、自由锻	109	第八章 金属切削加工	152
三、模锻	116	§ 8.1 零件的加工质量	152
§ 6.3 板料冲压	119	一、加工精度	152
		二、表面粗糙度	153

§ 8.2 金属切削加工基本知识	155	五、零件的结构工艺性	212
一、切削运动与切削要素	155	§ 9.2 典型零件的选材及工艺路线 ...	216
二、切削刀具	157	一、轴的特征及选材	216
三、金属切削过程	159	二、轴的机械加工工艺	217
§ 8.3 车削加工	162	三、轴的加工工艺过程举例	218
一、车床	162	§ 9.3 数控加工工艺概述	220
二、车削基本工艺	163	一、数控加工工艺的概念	220
§ 8.4 铣削、刨(插)削、拉削加工	169	二、数控加工工艺的特点	220
一、铣削加工	169	三、数控加工工艺路线的设计	221
二、刨削、插削加工	172	四、数控加工工序的设计	221
三、拉削加工	174	五、数控加工工艺设计实例	222
§ 8.5 钻削、镗削	175	§ 9.4 成组技术与计算机辅助工艺	
一、钻削	175	规程设计简介	225
二、镗削	178	一、成组技术	225
§ 8.6 磨削	179	二、计算机辅助工艺规程设计(CAPP)	
一、砂轮	180	简介	227
二、磨床及其工作	182	§ 9.5 机械加工技术经济分析	228
§ 8.7 齿轮加工	184	一、时间定额	228
一、齿轮的基本知识	184	二、工艺成本的计算	229
二、圆柱齿轮加工	185	三、工艺方案的技术经济分析方法	230
§ 8.8 特种加工	187	复习思考题	231
一、电火花加工	187	* 第十章 机械装配	232
二、电解加工	189	§ 10.1 机械装配基本知识	232
三、超声波加工	190	一、装配单元及装配阶段	232
四、高能束加工	193	二、装配工作的进程	233
五、快速成形技术	197	三、装配工艺流程图	233
§ 8.9 数控加工技术概述	198	§ 10.2 装配精度及装配方法	234
一、数控机床及其特点	198	一、装配精度	234
二、数控机床的组成	199	二、装配方法	235
三、数控机床的分类	200	§ 10.3 装配生产的组织形式	237
四、常用数控机床简介	201	一、固定式装配	237
复习思考题	204	二、移动式装配	238
第九章 零件加工工艺	205	复习思考题	238
§ 9.1 零件加工工艺和结构工艺性 ...	205	附录一 参观和见习要求	239
一、基本概念	205	附录二 金属工艺学常用名词	
二、工件的定位与夹紧	208	中英文对照表	241
三、基准	209	附录三 中、俄、美、日、德钢铁	
四、零件加工工艺规程的制订	210		

附录三	牌号对照表	249
-----	-------------	-----

附录四	中国、美国钢铁牌号表示	
-----	-------------	--

附录五	方法简介	258
-----	------------	-----

附录六	主要参考文献	268
-----	--------------	-----

绪 论

一、金属材料与社会进步

人类使用金属材料的历史可以追溯到五千多年以前,青铜器、铁器的出现曾作为社会生产力和文明历史辉煌进步的标志。“青铜时代”、“钢铁新时代”是人类文明、社会进步的光辉里程碑。长期以来,钢铁材料一直是社会经济建设的主要基础材料。从新技术革命广泛深入开展的 20 世纪 90 年代开始,特别是进入 21 世纪以后,钢铁金属材料面临合成高分子材料、新型陶瓷材料和复合材料等新型工程材料的挑战。但是,钢铁材料在现代工业、农业、国防和科学技术等领域,仍然是重要的基础材料。近年来,高性能的金属结构材料发展很快,同时性能优异的金属功能材料亦有迅猛发展,非晶体金属、金属晶须、超塑性金属、记忆合金、贮氢合金、超导合金等金属新材料更是异军突起,使历史悠久的金属材料在当代材料世界中依然占有重要地位。

金属材料及其加工工艺的应用和发展直接影响着经济建设的发展,直接关系到社会生产、生活的方方面面。可以说,现代的任何产品都直接或间接地使用金属材料。即使像激光、核能、超导、航天、生物工程、信息技术和新能源等高新技术,也离不开金属材料。而有些金属新材料,已成为高新技术发展突破的“关键材料”。

金属材料包括钢铁材料和非铁金属及其合金两大类。钢铁材料通常指铁和以铁为主的合金,有碳素钢、铸铁、合金钢和铁合金等。非铁金属及其合金指钢铁材料以外的所有金属及其合金,常用的有铜、铝、锡、铅、锌及其合金等。以前,钢铁材料被称为黑色金属,非铁金属及其合金被称为有色金属。

在金属材料的生产应用和发展上,我国有着光辉的历史。在四千多年前的夏代,已有红铜的冷锻和铸造技术,到殷商时期已有了高度发达的青铜冶铸技术。例如:1939 年在河南安阳出土的商代巨鼎“司母戊大鼎”,高 133 cm、长 110 cm、宽 78 cm,重达 832 kg,造型宏伟庄重、花纹细致精美,是举世罕见的古青铜珍品。春秋末期至秦汉年间,表面有含铬防锈层的青铜兵器以及铁锤、铁铲、铁锄等工具和农具,不仅铸锻技艺成熟,还经过专门的热处理。而同类的铁器,欧洲在一千四五百年后才出现。又如:被誉为“世界第一大古钟”的北京大钟寺大铜钟,直径 3.7 m、高 6.75 m,重达 46.5 t,内外铸有 230 184 个字的经文,字迹清晰、排列精巧,其悠扬的钟声可传至 50 km 以外。这座明代永乐年间铸造的大铜钟,无论从技术上还是艺术上,均可称为具有世界文明历史意义的古钟。春秋末期《考工记》中“六齐”总结了我国古代青铜(铜锡合金)的成分配方、性能和用途,被认为是世界上最早的关于合金理论的记载,具有重大的科学价值和社会历史意义。明代宋应星编著的《天工开物》一书,是世界上最早的金属加工工艺科技文献,书中记载的炼铁、炼钢、铸造、锻造和淬火热处理等金属加工方法充分反映了我国在金属工艺科技领域的卓越成就。

我国古代在金属材料及其加工工艺方面的光辉历史,只说明了我国以前对世界文明和社会

进步所作的贡献。而从 19 世纪末期至 20 世纪 40 年代,由于国家社会封建体制的腐败和外国的侵略等原因,我国的社会经济、工农业生产和科学技术停滞落后,金属材料的生产和技术发展亦徘徊不前,远远落在西方发达国家之后。

新中国成立之后,社会经济和生产建设开始了新的发展,金属材料及其加工工艺也有了新的发展。特别是贯彻实施“改革开放”、“科教兴国”和“科学发展观”的发展战略以来,我国的社会生产力和经济建设进入了前所未有的历史发展新时期,金属材料和金属加工工艺的发展更是突飞猛进。目前,我国钢铁年生产能力已高达六亿吨,名列世界钢铁大国前茅;非铁金属的生产和加工技术也有了大幅度的提高,铜、铝等十种主要非铁金属年产量已突破 2 000 万吨,跃居世界之首,在全球非铁金属市场上已有举足轻重的影响。2008 年北京奥运会的“鸟巢”等大型体育场馆和奥运村的建设、2010 年上海世博会的展馆建设,都是我国建筑技术、建筑材料和高层、大跨度金属结构建筑高水平发展的标志。近年来,我国成功铸造 500 t 大钢锭、制造 1 200 t 水压机、建造 30 万吨超级油轮、长达 36 km 的杭州湾跨海大桥、大型“粒子”加速器的成功运行、“一箭多星”的卫星发射和中国核潜艇的巡航等举世瞩目的成就中,金属材料及其加工工艺都发挥了不可替代的重要作用。

在当前的生产工作中,对于工业生产、管理和科研部门,金属材料及其加工工艺直接关系到产品研究设计、材料选用、生产工艺安排、质量检测、组织管理和经济效益等诸多环节;而从事设备维修保养、技术改造和劳动保护安全等工作的人员,金属材料及其加工工艺更是必须掌握的最基本的知识。作为应用型的工程技术人员,必须熟悉金属材料及其加工工艺的基本概念,了解常用的其他工程材料以及有关的加工工艺知识,才能具有分析处理生产工作中必然涉及的有关材料和工艺方面的各种实际问题的能力。这是经济建设和科学技术发展非常现实和基本的要求。

二、金属工艺学的任务

金属工艺学是高职、高专以及工科院校的一门重要技术基础课,是一门实践性、应用性和综合性很强的课程。学习本课程,应具备一定的工业生产感性知识,应在完成金工实习后或结合实习进行教学,以期达到本课程的要求和目的。

金属工艺学课程,期望通过教学使未来的应用型工程技术人员和管理人员熟悉现代工业生产中常用的金属材料及其加工工艺的基本知识,并为学习有关专业课程及今后从事工业生产技术、管理和有关工作打下必要的基础。

金属材料品种繁多,工业生产中常用的金属材料主要有钢铁(包括碳素钢、合金钢、铸铁等铁碳合金)和铜、铝等非铁金属及合金。金属材料的主要加工工艺有铸造、锻压、焊接、切割和机械切削加工(车、铣、刨、磨、钳……)等。非金属材料 and 新型工程材料已在现代工业生产中被广泛应用,主要有高分子材料(塑料、橡胶)、陶瓷材料和复合材料等。因此,本课程的任务是:

- (1) 熟悉常用金属材料的组织、性能和应用;
- (2) 了解毛坯制造和零件加工的主要方法、工艺特点和应用;
- (3) 熟悉制造毛坯、加工零件所使用的主要设备和附件的种类、型号、规格和特性;
- (4) 了解常用非金属材料 and 新型工程材料的性能、加工工艺和应用。

本课程的教学内容强调理论联系实际,注重应用理论和实践性技术,注重各种能力的培养。因此,在课程教学中,应注意教学形式和方法的改革,注意与专业学科和课程建设的联系和配合,

考虑不同专业的适应性,对教材的内容可适当选择取舍。每章的复习思考题是本课程教学的重要环节,既是复习、巩固所学知识的手段,又是理论联系实际、调动学生的学习主动性和培养灵活运用知识能力的途径,应予以充分重视。本课程可采用理实一体化教学、多媒体教学和企业参观见习、现场教学等教学形式,开展生动活泼的教学活动。

第一章 金属材料基本知识

§ 1.1 金属材料的主要性能

金属材料的性能直接关系到金属制品和金属结构的质量、使用寿命和加工成本,是产品选材和拟订加工工艺方案的重要依据。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,包括力学性能、物理性能(导电性、热导性等)、化学性能(耐蚀性、抗氧化性等)。

工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

一、金属材料的使用性能

金属材料作为结构材料使用时,选材的依据主要为力学性能指标。力学性能又称机械性能,是指金属材料在外力(载荷)作用下所表现出的抵抗变形和破坏的能力。常用的力学性能有强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

(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。按载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度、抗弯强度、抗压强度和抗剪强度等,通常以抗拉强度为基本的强度指标。金属材料的抗拉强度以标准试样在万能材料试验机上进行拉伸试验测定。

图 1.1 为拉伸用标准试样,通常分为长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)两种。 l_0 和 d_0 值有规定的标准值,一般 l_0 为 100 mm 或 50 mm。

试验时,标准试样装夹在万能材料试验机上,缓慢加载拉伸。随着载荷增加,试样逐渐伸长,直至试样拉断。载荷(F)与相应的试样伸长量(Δl)可由试验机或人工绘成拉伸曲线图。

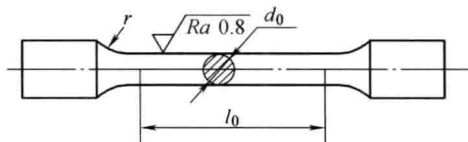


图 1.1 标准拉伸试样

图 1.2 为低碳钢(退火状态)的力-伸长曲线。由图可知, $F=0$ 时 $\Delta l=0$,载荷增大到 F_p 时, Δl 成比例增加。在此范围内卸除载荷,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸,即试样处于弹性变形阶段。当 F 超过 F_p 时,试样不再成比例伸长,卸载后试样不能完全恢复到原来的形状和尺寸,此时试样除产生弹性变形外,还出现塑性变形(永久变形)。载荷增至 F_s ,曲线出现水平或锯齿形线段,表示试样继续伸长而不再增加承载,这种现象称为“屈服”。载荷超过 F_s ,试样随载荷增加而继续伸长,此时试样已产生较大的塑性变形,当载荷增至最大值 F_b 时,试样伸长量迅速增大而截面迅速减小,形成“缩颈”。由于缩颈处截面的急剧缩小,单位面积承载大大增加,变形更

集中于缩颈区,最后到 k 点试样断裂。

金属材料受外力作用时,其内部产生与外力相抗衡的内部抗力,这种内部抗力称“内力”。单位面积上的内力称为“应力”,用 σ 表示。金属材料的强度指标就用应力来度量。常用的强度指标有弹性极限 σ_e 、屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 等。

金属材料产生按比例是完全弹性变形所能承受的最大应力值称比例极限 σ_p 。但比例极限不易精确测定,通常用开始产生微量塑性变形时的最大应力值 σ_e 作为完全弹性变形的强度指标,称弹性极限。

弹性极限 $\sigma_e = F_e / S_0$ (MPa)。式中, F_e 为弹性变形时的最大载荷 (N), S_0 为试样原始横截面面积 (mm^2)。

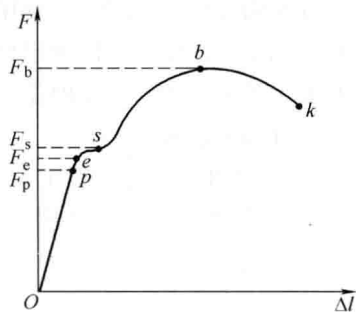


图 1.2 退火低碳钢的力-伸长曲线

试样在试验过程中力不增加 (保持恒定) 仍能继续伸长 (变形) 时的应力值称屈服点 σ_s 。由于一些金属材料的屈服现象不明显,如铸铁、高碳钢等,测定很困难。因此,国家标准规定,此类材料以产生 0.2% 塑性变形量时的应力值为屈服点,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服点 $\sigma_s = F_s / S_0$ (MPa), $\sigma_{0.2} = F_{0.2} / S_0$ (MPa)。式中, F_s 为材料屈服时的最小载荷 (N), $F_{0.2}$ 为产生 0.2% 塑性变形量时的载荷 (N), S_0 为原始横截面面积 (mm^2)。

试样拉断前所能承受的最大应力值称抗拉强度 σ_b 。 $\sigma_b = F_b / S_0$ (MPa)。式中, F_b 为断裂前的最大载荷 (N), S_0 为原始横截面面积 (mm^2)。

金属零件和结构在工作中一般不允许产生塑性变形,因此设计零件、结构时,屈服点 σ_s 是重要设计依据。抗拉强度 σ_b 表示材料抵抗塑性变形和破坏的最大能力,测试数据较准确,因此有关手册和资料提供的设计、选材的强度指标往往是抗拉强度 σ_b 。

(二) 塑性

塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。常用的塑性指标是断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ ,一般通过拉伸试验来测定。

断后伸长率 δ 又称延伸率,是试样被拉断时,标距长度的伸长量 Δl 与原始标距 l_0 的百分比,即

$$\delta = (\Delta l / l_0) \times 100\%$$

由于标准试样有长、短和定标距之分,所以同一材料用不同标准试样测定会有不同值;而不同材料进行比较时,必须是相同标准试样测定的数值才有意义。

断面收缩率 ψ 为试样被拉断时,缩颈处横截面的最大缩减量 ΔS 与原始横截面面积的百分比,即:

$$\psi = (\Delta S / S_0) \times 100\%$$

断面收缩率不受试样尺寸影响,可以较可靠地反映材料的塑性,但必须严格控制测量和计算的误差。

断后伸长率和断面收缩率的数值大,表示金属材料的塑性变形能力强、塑性好。金属制品进行压力加工,应选择 δ 与 ψ 值大的金属材料。因为,当机械零件工作突然超载时,如果材料塑性好,就能先产生塑性变形而不会突然断裂破坏。因此,大多数机械零件,除满足强度要求外,还必须有一定的塑性要求,才能保证工作安全可靠。但是,铸铁、陶瓷等脆性材料,塑性极低,拉伸时几乎不产生明显的塑性变形,超载时会突然断裂,使用时必须注意。

(三) 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

测定硬度的方法很多,最常用的是压入法。硬度测定的设备较简单,操作方便,不需做专门的试样,可以在工件上直接测定而不损坏工件,是生产工作中广泛应用的力学性能指标。常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等几种。

1. 布氏硬度 HB

布氏硬度测试原理如图 1.3 所示。压头为淬火钢球或硬质合金球,在布氏硬度计上压头以规定的试验力和时间压入被测金属表面,卸除载荷后计算金属压痕单位面积承受的压力,即可确定被测金属材料的布氏硬度 HB。

$$\begin{aligned} \text{HB} &= \frac{F}{S_{\text{压}}} \\ &= \frac{F}{\pi D h} \quad (\text{kgf/mm}^2) \\ \text{HB} &= 0.102 \frac{F}{\pi D h} \quad (\text{MPa}) \end{aligned}$$

式中, F 为试验力, kgf 、 N ; $S_{\text{压}}$ 为压痕表面面积, mm^2 ; h 为压痕深度, mm ; D 为压头直径, mm 。

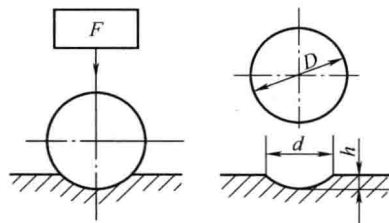


图 1.3 布氏硬度试验原理

压痕深度 h 不易测量,可由压痕直径 d 来换算:

$$h = (D/2) - (\sqrt{D^2 - d^2}/2) \quad (\text{mm})$$

在实际测定时,一般并不进行计算,而是用放大镜测量出压痕直径后,查表即可直接读出布氏硬度值。

由于金属材料软硬不同,工件大小厚薄也不一样,只用同一种压力和压头,会产生压头陷入或压穿工件等情形,影响硬度测定。因此,GB/T 231.1—2009《金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法》规定,有六种 F/D^2 的比值,可选用不同的压力和压头。

国家标准规定,用淬火钢球压头测定的布氏硬度值用 HBS 表示,用硬质合金球压头测定的布氏硬度值用 HBW 表示。符号后面的数字依次表示压头球体直径 D 、试验力 F 和试验力保持时间 t (当 t 为 10 ~ 15 s 时不标注)。

由于布氏硬度测定的压痕面积较大,可不受金属内部组成相细微不均匀性的影响,测试结果较准确。一般材料布氏硬度值小于 450 时宜用 HBS,布氏硬度值在 450 ~ 650 之间时宜用 HBW。硬度高的材料、薄壁工件和表面要求高的工件,不宜用布氏硬度测定。通常布氏硬度测定适用于非铁金属、低碳钢、灰铸铁和退火、正火、调质处理的中碳结构钢。

表 1.1 为不同金属材料根据硬度选用的 F/D^2 值。

2. 洛氏硬度 HR

洛氏硬度也是用压入法测定的,但不是测量压痕面积,而是通过测量压痕深度大小来衡量材料硬度高低。硬度高的材料压入深度小,直接以深度来表示硬度值与习惯认识的硬度高低不一致,因此实际使用的硬度值是用一常数 K 减去测定的深度值,把余数作为硬度值,数值大表示硬度高。

由于测量深度可直接得出数值,所以洛氏硬度计不用计算,可从表盘上直接读出硬度值。为适应不同材料的不同硬度,洛氏硬度计采用不同的压头和载荷对应不同的硬度标尺。每种标尺由一

个专用字母表示,标注在 HR 后面,分别为 HRA、HRB、HRC。洛氏硬度的试验条件和应用范围见表 1.2。应注意的是,这三种不同标尺都是洛氏硬度值,但彼此之间没有直接的换算关系。

表 1.1 按材料和布氏硬度选择 F/D^2 值

材 料	布氏硬度值	F/D^2
钢和铸铁	<140	10
	≥ 140	30
铜及其合金	<35	5
	35 ~ 130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(1.25)
	35 ~ 80	10(5;15)
	>80	10
铅、锡		1.25(1)

注:1. 应尽量选用 $\phi 10\text{ mm}$ 球压头。
2. 应尽量选用无括号的 F/D^2 值。

表 1.2 常用的洛氏硬度试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	总载荷 $F/\text{kgf(N)}$	硬度值	应 用
HRA	120°金刚石圆锥体	60(588.4)	70 ~ 85	硬质合金、渗碳钢
HRB	$\phi 1.588\text{ mm}$ 钢球	100(980.7)	25 ~ 100	有色金属,退火、正火钢
HRC	120°金刚石圆锥体	150(1 471.7)	20 ~ 67	淬火钢、调质钢

注:总载荷 $F=F_{\text{初}}+F_{\text{主}}$, $F_{\text{初}}=10\text{ kgf}(98.1\text{ N})$ 。

洛氏硬度测定操作简便、可直接读数、测量范围大、压痕小,可广泛用于各种材料以及薄、小和表面要求高的工件测定硬度。但因为洛氏硬度测定压痕小,对内部组织和性能不均匀的材料,测量结果可能不够准确典型,所以要求测量不同部位三个点,取其算术平均值作为测定的硬度值。

3. 维氏硬度 HV

维氏硬度测定方法的基本原理与布氏硬度相同,也是根据压痕单位面积承受的压力大小来测量的,不同的是维氏硬度压头是锥面夹角为 136°的金刚石正四棱锥体。测试时,按选定的试验压力 F ,将压头压入并保持一定时间,卸载后测量压痕对角线长度 d ,用以计算压痕表面积 S 。

$$\begin{aligned} HV &= F/S \\ &= 1.854\,4F/d^2 \quad (\text{kgf/mm}^2) \\ HV &= 0.189\,1F/d^2 \quad (\text{MPa}) \end{aligned}$$

由于维氏硬度测试的压痕为轮廓分明的正方形,便于测量、误差小、精度高、测量范围大,所以适用于各种软、硬金属,尤其适用于极薄零件和渗碳、渗氮工件的硬度测定。但其操作不如洛

氏硬度测定法方便,效率不高,因此不宜用于大批量生产工件的常规测定。

(四) 冲击韧度

冲击试样缺口底部单位横截面面积上的冲击吸收功称为冲击韧度。

材料的强度、塑性、硬度等指标,都是在缓慢加载或静载时测定的力学性能指标。工件在实际工作时,经常承受短时突然加载的冲击载荷,如切削加工开始吃刀、汽车启动和刹车等,因此对于要承受冲击载荷的零件、结构,除应保证足够的静载力学性能外,还必须有足够的承受冲击动载的力学性能——冲击韧度。

冲击韧度的测定,目前普遍采用摆锤式一次冲击试验方法,以带缺口(U形或V形缺口)的标准试样,在摆锤式冲击试验机上进行测试,以试样受冲击破坏时单位面积消耗的功 A 来计算冲击韧度 a_K 的数值,即 $a_K = A/S (\text{J}/\text{cm}^2)$ 。

a_K 值大,表示材料韧性好、耐冲击。有些材料在一般室温时测定的 a_K 值不低,而在低温时,稍受冲击即产生脆性断裂,说明不同温度范围材料的冲击韧度不同。因此,对于一些金属材料,特别是低温工作的金属材料,应测定其不同温度的冲击韧度值,给出温度-冲击韧度曲线,供设计、选材时参考。

冲击韧度主要取决于材料的内部组织结构,同时还受表面粗糙度和形状等因素影响。

分析实际生产工作中工件破坏的情况,很多并非因一次性大能量冲击而破坏,而是小能量多次冲击载荷作用下的断裂破坏。因此,一次性冲击测定的冲击韧度 a_K 不能表示材料抵抗多次冲击的能力,在此类工件的设计和选材时必须注意。

(五) 疲劳强度

很多工件是在交变循环载荷作用下工作的,如齿轮、轴、弹簧等,往往在工作时并不产生明显的塑性变形而突然发生断裂,具有很大的危险性。材料在循环应力和应变作用下,在一处或几处产生局部永久性累积损伤,经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程称为疲劳。据统计,工作中破坏的机械零件,大部分是疲劳破坏失效。因此,研究和预防材料疲劳破坏具有极重要的现实意义。

工程规定,材料在指定循环基数下不产生疲劳断裂所能承受的最大应力称为疲劳强度(疲劳极限)。通常由疲劳试验机来测定,GB/T 4337—2008《金属材料 疲劳试验 旋转弯曲方法》规定了具体的测试方法。测定的疲劳强度值以 σ_{-1} 表示。

实际的疲劳强度值,规定钢进行 $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$ 次、有色金属进行 $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8$ 次交变循环而不发生疲劳破坏时的最大应力值,即为该材料的疲劳强度 σ_{-1} 。总结试验结果,发现金属材料的疲劳强度 σ_{-1} 与抗拉强度 σ_b 之间存在一定的近似关系,如碳素钢 $\sigma_{-1} \approx (0.4 \sim 0.55) \sigma_b$,灰铸铁 $\sigma_{-1} \approx 0.4 \sigma_b$,非铁金属 $\sigma_{-1} \approx (0.3 \sim 0.4) \sigma_b$ 。

疲劳断裂破坏的原因一般认为是:由于材料内部有气孔、疏松、夹杂等组织缺陷,表面有划痕、缺口等引起应力集中的缺陷,导致微裂纹产生,随着循环次数的增加微裂纹逐渐扩展,最后造成工件突然断裂破坏。因此,提高材料、工件疲劳强度的途径除改善内部组织、外部形状和表面状态,减小和避免应力集中外,还可通过表面强化处理和减小表面粗糙度值,如表面滚压、喷丸处理等,进一步提高疲劳强度。

二、金属材料的工艺性能

金属零件、结构都是将金属坯料进行一系列加工处理而制成的。工艺性能是反映金属材料

接受各种加工和处理时的难易适应程度,对产品质量、加工生产率和生产成本等都有很大影响。不同的成形、加工和处理方法,对材料有不同的工艺性能要求。如浇注成形要求材料易熔化、流动性好、充型能力好、凝固成形性好、收缩和偏析小等,塑性变形成形要求材料塑性变形能力强而变形抗力小,切削加工成形要求材料具有良好的切削加工性能等。进行焊接、胶接、切割、热处理等加工处理,材料也应具有相应的工艺性能。

金属材料的工艺性能通常是指铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工性能等,在以后的有关章节中将作专门的介绍。

§ 1.2 金属与合金的结构和结晶

一、金属材料的性能与结构

科学研究表明,材料的性能取决于材料的组织结构,而材料的组织结构由它的化学组成和加工工艺决定。也就是说,材料的性能是其内部组织结构的宏观表现,化学组成是决定组织结构的内因,而加工工艺是决定组织结构的外部条件。因此,化学组成相同的金属材料,由于加工或热处理不同,强度、硬度、塑性等性能会有很大的差异。如 T8 碳素工具钢($w_c = 0.8\%$),在退火状态硬度仅为 20 HRC,而淬火热处理后,硬度可高达 60 HRC 以上。

材料的组织是指可直接借助仪器观察到的材料内部组成形貌,如各组成部分的大小、形态、分布状况和相对数量等。

材料的结构是指材料各组成部分质点(原子、分子、离子等)之间的结合方式及其在空间的排列分布规律,即物质的结合键和晶体结构类型。

固态物质按组成质点在空间的排列情况可分为晶体和非晶体两大类。晶体是指内部原子在空间按一定规则排列的物质,如金刚石、石墨及固态的金属、合金等。晶体具有固定的熔点和各向异性等特征。非晶体是指内部原子排列无一定规则的物质,如玻璃、石蜡、松香等。非晶体物质没有固定的熔点,而且性能无方向性。

固态物质内部质点之间的结合称为结合键,通常分为化学键和物理键两大类。结合键对物质的性能有重大的影响。化学键的本质是原子间的静电力作用。由于原子结构及核外电子分布的不同,化学键又分离子键、共价键和金属键三种。金属材料内部原子的结合键主要为金属键,特点是原子结合后形成共有的“电子云”结构,因而金属材料具有优良的电导性、热导性,良好的塑性和特殊的金属光泽等“金属性”。

(一) 金属晶体结构基本知识

1. 晶格

为了便于描述晶体内部原子排列的规则,假设将原子抽象为一个点,称之为结点;再用假想的直线连接结点,形成空间格架,这种假想的空间格架称为结晶格子,简称晶格。

2. 晶胞

晶体的晶格在空间排列有周期性重复的特点。通常把晶格中具有空间排列规则特征的最小几何单元称为晶胞。晶格就是由许多形状、大小和位向相同的晶胞在空间重复叠堆而成的。

晶胞三个棱边的长度称为晶格常数,用 a 、 b 、 c 表示,棱边夹角用 α 、 β 、 γ 表示。当 $a = b = c$ 和