

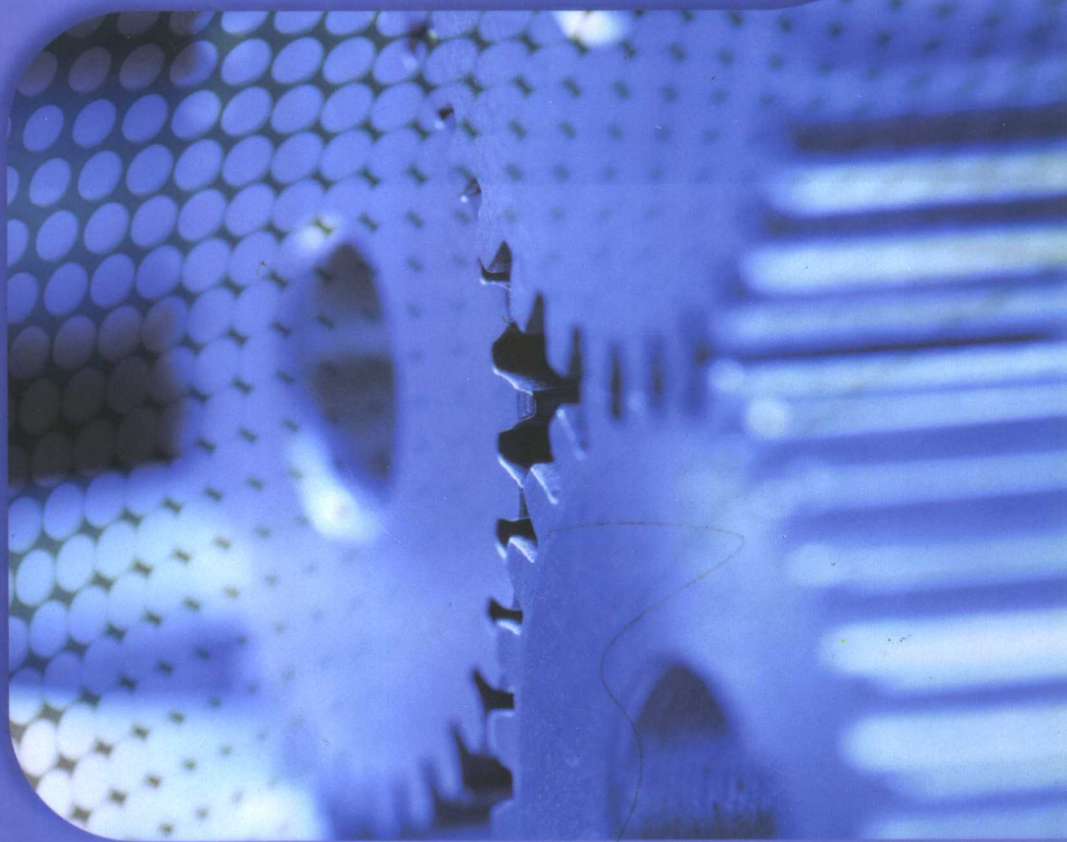


21世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材

机械制造基础

(上册)

- 陈仪先 梅顺齐 主 编
- 王国顺 柳 洁 副主编
- 段正澄 主 审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材

机械制造基础

(上册)

陈仪先	梅顺齐	主 编
王国顺	柳 洁	副主编
	段正澄	主 审

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本教材是 21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材之一。本教材是根据全国专业调整会议的精神,结合全国多所大专院校实施教育部下达的“工程制图和机械基础系列课程教学内容与课程体系改革”的教改内容的实际经验和需求,在原有《金属工艺学》、《机械制造基础》等教材的基础上,大胆创新、勇于改革而写成的,全面贯彻了扩大知识面、扩宽专业口径的思想,是数十位教学和科研第一线教师们多年教学成果的结晶。

本教材注重基础、强调工艺和实践环节。在具体内容上大幅度地增加了近年来在新材料、新工艺、新技术等方面的最新科技成果。根据许多院校专业设置的需要,本教材分为上、下两册,上册主要内容有常见金属材料、非金属材料的改性处理、金属的液态成型工艺、金属的塑性成型工艺、金属的焊接成型工艺、机械零件材料及其成型方法的选用。

本书叙述简明、概念清楚、内容丰富;配有大量精选的习题。特别适合作为高等院校机械设计制造及其自动化专业的教学用书,同时也可以作为机械类其他专业和近机械专业以及从事机械设计制造的工程技术人员参考用书。

本书配有电子教案,此教案用 PowerPoint 制作,可以任意修改。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础. 上册/陈仪先等主编. —北京:中国水利水电出版社,2004

(21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材)

ISBN 7-5084-2420-4

I. 机... II. 陈... III. 机械制造-高等学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 108302 号

书 名	机械制造基础(上册)
主 编	陈仪先 梅顺齐
副 主 编	王国顺 柳 洁
主 审	段正澄
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sale@waterpub.com.cn 电话: (010)63202266(总机)、68331835(营销中心)、82562819(万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 18 印张 441 千字
版 次	2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	25.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化 专业系列教材编委会名单

主 任	段正澄				
副主任	周国柱	张建钢	肖荣清	常治斌	郑 晓
委 员	(按姓氏笔画顺序排列)				
	王国顺	王德洪	叶仲新	李兆铨	华中平
	吴晓光	陈仪先	张仙珍	周星元	周明研
	骆 玲	翁晓红	海 燕	梅顺齐	陶云堂
	曾宪森	戴锦春	朱森酉		

前 言

在 21 世纪,世界机械工业的发展进入了前所未有的高速阶段,与其他行业相比,机械工业的发展具有地位化、规模化、全球化和高技术化的特点。21 世纪初机械制造业的重要特征表现在它的全球化、网络化、虚拟化、智能化以及环保协调的绿色制造等,而柔性化、敏捷化、智能化、信息化便成为 21 世纪初机械制造业发展的总趋势。传统的教材显然已经满足不了机械工业发展的需要。近年来,高等教育的发展也迫切需要对教材进行不断的革新和完善。

武汉地区十多所高校的教师在中国水利水电出版社的组织下,经过三年的共同探讨,编写了“21 世纪高等院校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。系列教材的主要特色是:内容丰富,既保证了较扎实的理论基础知识,又反映了本学科领域的新理论、新技术和新方法,更指明了本学科研究发展的趋向;知识面宽,符合教育法规定的培养有创新能力、宽口径、复合型人才的要求;结构新颖、合理,系统性强,有利于组织教学和自修。

《机械制造基础》是系列教材的第一部,分为上、下两册,本书将传统的工程材料和金属工艺学部分内容进行了综合处理,在原工程材料、金属工艺学内容的基础上去粗取精,部分内容适当地加深与拓宽。本书从开拓学生现代成型新技术发展视野、提高学生的综合素质和对市场经济适应性的目的出发,删除了传统教材的陈旧内容,突出了工艺方法和相关主要设备的基本原理,而淡化了机械设备和工艺装备的详细结构,重点培养学生分析零件结构工艺性和选择工艺方法的能力。

上册以金属材料、金属材料热处理和金属材料的成形方法为主要研究对象。尽管目前在机械制造业中金属材料还占有主导地位,但是非金属材料(塑料、橡胶、陶瓷和复合材料等)以其无可比拟的优越性,必将得到越来越广泛的应用。因此,在本册中也对非金属材料的性能及成形方法进行了讨论。此外,还介绍了机械零件材料及成形方法选用的具体原则,并给出了典型的示例,对各种材料的成形工艺方法进行了归纳和总结,为学生学习后续课程和进行专业课程设计以及今后的实际工作奠定了扎实的基础。

下册主要以金属切削加工过程为主要研究对象,围绕着金属切削加工工艺系统,从金属切削原理、金属切削刀具、金属切削机床、机械制造工艺过程等不同方面来研究零件加工精度与工件材料、刀具、加工方法、工艺过程诸相关因素之间的关系。同时,对零件的工艺性问题进行了讨论。随着新材料的不断涌现,以及人们对高精度、高效率的追求,新的加工方法及设备层出不穷,因此在本册中也对一些精密加工和特种加工方法及设备进行了介绍。主要包括:电火花加工、超声波加工、电解加工和激光加工等。

本书每章都配有精选的习题,教师可以根据具体情况适当布置课后作业。

本书在编写过程中参考了众多工程材料及机械制造基础教材和其他文献资料,结合了

多位作者多年的教学实践经验,在此对他们表示深深的谢意!

本书在编写风格上力求简明扼要,重点突出、语言精练。注重突出基本概念,同时也强调实际应用。在内容的安排和章节次序上尽量满足宽口径教学的需要。然而由于各个高校发展的不平衡和侧重点的不同,教师在选用此教材时可以根据具体需要对授课内容适当进行调整。我们建议使用24学时讲授工程材料部分,24学时讲授成形方法,32学时讲授金属切削加工部分。

机械制造基础是机械类专业学生的必修课程。本课程具有很强的实践性,必须在实践的基础上进行课堂教学。学习课程之前应修完《工程制图》、《金工实习》等先行课程。

本书可供高等学院机械设计制造及其自动化及其相关专业、近机械类专业作为教材选用,也可供有关工程技术人员作为参考读物。

本书由陈仪先、梅顺齐任主编,王国顺、柳洁任副主编。全书由段正澄主审。参加本书大纲讨论和编写工作的还有陶云堂、华中平、张业鹏、郑晓、肖华、戴锦春、翁晓红、周子瑾等。江平、邓聪、庞红丽、谢红等在文字编排和插图处理等方面做了大量工作。在此,对他们表示感谢!中国水利水电出版社计算机编辑室的全体编辑对本书的出版过程给与了很大的帮助,对他们的敬业精神我们非常敬佩。

由于时间仓促,加之作者水平有限,本书一定存在诸多的错误和不足,敬请大家批评指正!

编 者

2004年8月

目 录

前言

绪论	(1)
----------	-----

第1章 金属材料的基本知识	(2)
---------------------	-----

1.1 金属材料的性能	(2)
-------------------	-----

1.1.1 金属材料的力学性能	(2)
-----------------------	-----

1.1.2 金属材料的其他性能简介	(8)
-------------------------	-----

1.2 金属的晶体构造和结晶过程	(9)
------------------------	-----

1.2.1 金属的晶体构造	(9)
---------------------	-----

1.2.2 金属的结晶过程	(15)
---------------------	------

1.2.3 金属的同素异构转变	(18)
-----------------------	------

1.2.4 实际金属的晶体结构	(18)
-----------------------	------

思考题	(21)
-----------	------

第2章 合金的结构和相图	(22)
--------------------	------

2.1 合金中的相结构	(22)
-------------------	------

2.1.1 固溶体	(22)
-----------------	------

2.1.2 金属化合物及其性能	(23)
-----------------------	------

2.1.3 二元合金相图的建立	(25)
-----------------------	------

2.1.4 铁碳合金	(32)
------------------	------

思考题	(41)
-----------	------

第3章 常用金属材料	(42)
------------------	------

3.1 碳素钢	(42)
---------------	------

3.1.1 碳钢的分类	(42)
-------------------	------

3.1.2 碳钢的牌号及应用	(42)
----------------------	------

3.2 合金钢	(47)
---------------	------

3.2.1 合金钢的分类	(47)
--------------------	------

3.2.2 合金元素在钢中的作用	(47)
------------------------	------

3.2.3 合金结构钢	(49)
-------------------	------

3.2.4 合金工具钢	(55)
-------------------	------

3.2.5 特殊性能钢	(60)
-------------------	------

3.3 铸铁	(65)
--------------	------

3.3.1 铸铁的石墨化过程及组织	(65)
-------------------------	------

3.3.2 影响石墨化过程的因素	(66)
------------------------	------

3.3.3 铸铁的分类	(67)
-------------------	------

3.3.4 灰口铸铁	(67)
3.3.5 球墨铸铁	(69)
3.3.6 蠕墨铸铁	(71)
3.3.7 可锻铸铁	(72)
3.3.8 合金铸铁	(73)
3.4 有色金属及其合金	(74)
3.4.1 铝及铝合金	(74)
3.4.2 铜及铜合金	(80)
3.4.3 钛及钛合金	(85)
3.4.4 滑动轴承合金	(87)
思考题	(89)
第4章 非金属材料	(91)
4.1 高分子材料	(91)
4.1.1 工程塑料	(91)
4.1.2 橡胶	(96)
4.1.3 胶粘剂	(98)
4.2 工业陶瓷	(99)
4.2.1 陶瓷材料的分类	(99)
4.2.2 陶瓷材料的性能	(100)
4.2.3 常用工业陶瓷	(101)
4.3 复合材料	(105)
4.3.1 复合材料的性能特点	(105)
4.3.2 复合材料的分类	(106)
思考题	(107)
第5章 金属材料的改性处理	(109)
5.1 金属材料改性处理的理论基础	(109)
5.1.1 钢在加热时的组织转变	(109)
5.1.2 钢在冷却时的组织转变	(111)
5.2 钢的热处理	(118)
5.2.1 退火和正火	(119)
5.2.2 淬火	(120)
5.2.3 回火	(123)
5.3 钢的表面强化处理	(125)
5.3.1 钢的表面热处理	(125)
5.3.2 钢的表面形变强化	(128)
5.3.3 钢的表面覆层强化	(129)
5.4 铸铁的改性处理	(130)
5.4.1 铸铁改性的基本途径	(130)
5.4.2 铸铁热处理方法	(131)

5.4.3 铸铁的合金化	(132)
思考题	(132)
第6章 金属的液态成型	(134)
6.1 合金的液态成型工艺理论基础	(134)
6.1.1 合金的充型能力	(135)
6.1.2 合金的收缩性能	(136)
6.1.3 合金的偏析和吸气性	(141)
6.2 常用液态成型合金及其熔铸	(142)
6.2.1 常用铸铁件及其熔铸工艺	(142)
6.2.2 铸钢件	(145)
6.2.3 有色合金铸件生产	(146)
6.3 砂型铸造方法	(147)
6.3.1 各种造型方法的特点和应用	(147)
6.3.2 铸造工艺设计	(149)
6.4 合金液态成型件的结构工艺设计	(154)
6.4.1 砂型铸造工艺对铸件结构的要求	(154)
6.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求	(157)
6.5 特种铸造及铸造新工艺技术简介	(161)
6.5.1 熔模铸造	(161)
6.5.2 金属型铸造	(163)
6.5.3 压力铸造	(164)
6.5.4 低压铸造	(166)
6.5.5 离心铸造	(167)
6.5.6 连续铸造	(168)
6.5.7 消失模(气化模)铸造技术	(168)
6.5.8 近代化学冷硬砂铸造工艺	(170)
6.5.9 金属液态成型工艺技术发展状况	(170)
思考题	(171)
第7章 金属的塑性成型	(175)
7.1 金属的塑性成型工艺基础	(175)
7.1.1 金属的塑性成型	(175)
7.1.2 加工硬化和再结晶	(176)
7.1.3 塑性变形使金属形成纤维组织	(177)
7.1.4 金属的可锻性	(179)
7.2 金属的锻造	(181)
7.2.1 金属的锻前加热和锻成后冷却	(181)
7.2.2 自由锻造	(182)
7.2.3 模型锻造	(187)
7.2.4 胎模锻造	(194)

7.2.5 锻压零件的结构工艺性	(195)
7.3 板料冲压	(196)
7.3.1 冲压设备	(197)
7.3.2 板料冲压基本工序	(198)
7.3.3 冲模	(201)
7.3.4 冲压件的工艺性要求	(203)
7.4 金属的其他塑性成型方法	(208)
7.4.1 零件的轧制	(208)
7.4.2 零件的挤压	(209)
7.4.3 精密模锻	(212)
7.4.4 多向模锻	(213)
7.4.5 锻压新工艺技术简介	(215)
思考题	(217)
第8章 金属的焊接成型	(220)
8.1 焊接工艺基础	(221)
8.1.1 电弧焊的冶金过程特点	(221)
8.1.2 焊接接头的组织和性能	(222)
8.1.3 焊接变形与应力	(225)
8.2 熔化焊	(228)
8.2.1 手工电弧焊过程及工艺	(228)
8.2.2 其他熔化焊方法	(234)
8.3 其他焊接方法	(240)
8.3.1 电阻焊	(240)
8.3.2 钎焊	(242)
8.3.3 焊接新工艺技术简介	(244)
8.4 常用金属材料的焊接	(246)
8.4.1 金属的焊接性能	(246)
8.4.2 常用金属材料的焊接特点	(247)
8.5 焊接件结构工艺设计	(250)
8.5.1 焊接件材料的选择	(250)
8.5.2 焊接方法的选择	(251)
8.5.3 焊缝布置	(251)
8.5.4 接头型式	(253)
8.5.5 焊接件结构工艺设计示例	(255)
思考题	(257)
第9章 机械零件材料及成型方法选用	(259)
9.1 选材的一般原则	(259)
9.1.1 零件失效的类型、原因及分析方法	(259)
9.1.2 材料的选用	(260)

9.1.3 选材的一般程序	(262)
9.2 典型零件的选材及改性方法示例	(263)
9.2.1 齿轮类零件的选材及改性方法	(263)
9.2.2 轴类零件的选材及改性方法	(265)
9.3 毛坯成型方法选用原则	(268)
9.3.1 毛坯的种类	(268)
9.3.2 毛坯选择的原则	(271)
9.3.3 选择毛坯的依据	(272)
9.4 典型机械零件毛坯成型方法选用示例	(273)
9.4.1 轴杆类零件	(273)
9.4.2 盘套类零件	(274)
9.4.3 箱体类零件	(275)
思考题	(275)
参考文献	(277)

绪 论

随着全球经济一体化进程的加快和中国加入世界贸易组织,我国的工业发展在受到越来越大的竞争压力和严峻挑战的同时也得到难得的发展机会。当前,金属制造业仍然是影响国民经济发展和提高人民生活水平的主要产业。

工程材料及机械制造基础是一门研究工程材料加工工艺方法的综合性技术学科。它是发展国民经济的重要基础学科之一。其发展与产业化对国民经济的发展有很大的影响。

我国是发现和应用金属材料最早的国家。从远在新石器时代的仰韶文化(距今约 6000 年)开始,就已会炼制和应用黄铜。商周时期,青铜冶炼、铸造技术已达到很高的水平。安阳出土的司母戊大方鼎,重 875kg,高 133cm、长 110cm、宽 79cm,造型精致,美观瑰丽,距今已有 3000 多年的历史。战国时已经开始大量使用铁器并广泛应用于辅轳、滑轮、绞车以及各种兵器、战车和战船中。秦汉时期,金属材料的冶铸、锻焊技术已达到相当高的水平,出现了齿轮和链条等传动系统。从秦公一号墓出土的铁铲、铁权,比世界上发现最早的铁器工具要早 1800 多年。与此同时,我国劳动人民在长期的生产实践中,总结出一套较为完整的金属加工工艺经验,例如,在东汉班固的《汉书》、宋代沈括的《梦溪笔谈》、明代宋应星的《天工开物》等著作中,都记载了冶炼、铸造,锻焊和热处理等各种金属加工方法,尤其是《天工开物》,可谓是一部金属材料加工工艺的百科全书,是世界上最早的有关金属加工工艺科学的著作,反映了我国劳动人民在金属制造工艺方面的卓越成就。

近些年来,我国的机械制造技术和材料加工工艺等都有了很大的发展,已经建成了机械制造、冶金、交通运输、石油化工、航空航天、精密仪表等许多现代化的工业生产基地,为工业、农业、科技、国防提供了大量的机械产品和设备,为国民经济的发展奠定了坚实的基础。同时,现代化的机械制造先进技术在我国已得到了广泛的应用。

工程材料及机械制造基础(热加工)的主要内容包括:工程材料、金属材料的改性处理、金属的液态成型、金属的塑性成型、金属的焊接成型 4 部分。学习本课程的主要目的是使学生了解常用工程材料的性能及其加工工艺,并为后续课程的学习和进行课程设计、毕业设计等打下必要的基础,也为今后从事技术工作奠定机械制造方面的加工工艺基础。由于本课程实践性较强,因而在学习前应通过教学实习获得热加工的各种方法及所用设备和工具等的感性知识,掌握初步的实践技能。

本课程的主要任务是使学生掌握以下基本内容:

- (1) 了解常用工程材料的主要性能,应用范围和选用原则。
- (2) 初步掌握各种主要热加工方法的基本原理特点和应用范围。
- (3) 初步掌握零件的结构工艺性和常用工程材料的加工工艺。
- (4) 了解对各种金属进行热加工所用的设备和工具的基本特点。

本课程是一门重要的技术基础课,注意在掌握理论知识的同时做到理论联系实际,重视在实践性教学环节中培养和提高自己的能力,以便为以后从事技术工作打下坚实的基础。

第 1 章 金属材料的基本知识

材料是人类赖以生存与发展、征服和改造自然的物质基础。在人类社会漫长的发展过程中,材料一直被认为是社会发展的标志,每一种新材料的发现和應用都把人类改造自然的能力提高到一个新的水平。材料是现代文明的三大支柱之一。

进入 21 世纪,材料科学蓬勃发展,新材料新技术层出不穷,极大地推动了科学技术和国民经济的发展。对于工科学生,适当了解现代材料的发展方向,具有极其重要的意义。

工程材料可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料等四大类。

金属材料在现代生产及人们的日常生活中占有极其重要的地位。金属材料的品种繁多、性能各异,并能通过适当的工艺改变其性能。金属材料的性能由材料的成分、组织及加工工艺来确定。掌握各种材料的性能对材料的选择、加工、应用,以及新材料的开发都有着非常重要的作用。

1.1 金属材料的性能

金属材料的性能可分为使用性能和工艺性能两大类。使用性能是指材料的力学性能、物理性能和化学性能;工艺性能则是指材料的铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能。

1.1.1 金属材料的力学性能

材料的力学性能是指材料在外力作用下产生变形和破断的特性。材料的力学性能主要有弹性、强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

1. 弹性和刚度

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的性能称为弹性。这种随外力消除而消除的变形,称为弹性变形。

图 1-1 是低碳钢的应力—应变曲线($\sigma - \varepsilon$ 曲线)。图中 A 点对应的应力 σ_e 为不产生永久变形的最大应力,称为弹性极限。OA'段为直线,这部分应力与应变成比例,所以点 A'所对应的应力 σ_p 称为比例极限。

材料在弹性范围内,应力与应变成正比,其比值 $E = \sigma / \varepsilon$ 称为弹性模量,单位为 MPa。弹性模量 E 标志着材料抵抗弹性变形的能力,用以表示材料的刚度。 E 值的大小主要取决于各种材料的本性,一些处理方法(如热处理、冷热加工、合金化等)对它影响很小。需要注

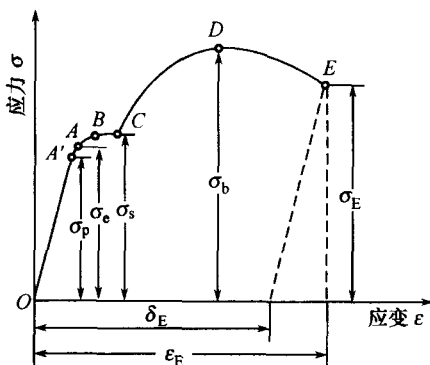


图 1-1 低碳钢拉伸的应力—应变曲线

意的是,材料的刚度不等于零件的刚度,零件的刚度除与材料的刚度有关外,还与零件的结构有关。提高零件刚度的方法有增加横截面面积、改变截面形状及选用弹性模量较大的材料。

2. 强度

在外力作用下,材料抵抗塑性变形和破断的能力称为强度。常用的强度性能指标主要是屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度(σ_s 、 $\sigma_{0.2}$)。

在图1-1上,当曲线超过A点后,若卸去外加载荷,则试样会留下不能恢复的残余变形,这种不能随载荷去除而消失的残余变形称为塑性变形。当曲线达到B点时,曲线出现应变增加而应力不变的现象称为屈服。屈服时的应力称为屈服强度,记为 σ_s ,单位MPa。

对没有明显的屈服现象的材料,国家标准规定用试样标距长度产生0.2%塑性变形时的应力值作为该材料的屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

机械零件在使用时,一般不允许发生塑性变形,所以屈服强度是大多数机械零件设计时选材的主要依据,也是评定金属材料承载能力的重要力学性能指标。

(2) 抗拉强度 σ_b 。

材料在断裂前所承受的最大应力值称为抗拉强度或强度极限,用 σ_b 表示,单位MPa。在图1-1中的D点所对应的应力值即为 σ_b 。屈服强度与抗拉强度的比值 σ_s/σ_b 称为屈强比。屈强比小,工程构件的可靠性高,说明即使外载荷或某些意外因素使金属变形,也不至于立即断裂。但若屈强比过小,则材料强度的有效利用率太低。

一些对变形要求不高的机件,常以 σ_b 作为设计与选材的依据。

3. 塑性

材料在外力作用下,产生永久残余变形而不断裂的能力,称为塑性。工程上常用延伸率和断面收缩率作为材料的塑性指标。

(1) 延伸率 δ 。

试样在拉断后的相对伸长量称为延伸率,用符号 δ 表示,即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度;

L_1 ——试样拉断后的标距长度。

(2) 断面收缩率 ψ 。

试样被拉断后横截面积的相对收缩量称为断面收缩率,用符号 ψ 表示,即

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_1} \times 100\%$$

式中 A_0 ——试样原始的横截面积;

A_1 ——试样拉断处的横截面积。

延伸率和断面收缩率的值越大,表明材料的塑性越好。塑性对材料进行冷塑性变形有重要意义。此外,工件的偶然过载,可因塑性变形而防止突然断裂;工件的应力集中处,也可因塑性变形使应力松弛,从而使工件不至于过早断裂。这就是大多数机械零件除要求一定强度指标外,还要求一定塑性指标的道理。

材料的 δ 和 ψ 值越大,塑性越好。两者相比,用 ψ 表示塑性更接近材料的真实应变。

4. 硬度

硬度是材料抵抗局部塑性变形的能力。硬度也反映材料抵抗其他物体压入的能力。通常材料的强度越高,硬度也越高。工程上常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

(1) 布氏硬度 HBS(W)。

布氏硬度的测量方法如图 1-2 所示。用一定载荷 P ,将直径为 D 的球体(淬火钢球或硬质合金球)压入被测材料的表面,保持一定时间后卸去载荷,测量被测表面上所形成的压痕直径 d ,由此计算压痕的球缺面积 S ,其单位面积所受的载荷称为布氏硬度。布氏硬度值 $HB = P/S$ 。

布氏硬度的单位为 kgf/mm^2 。当测试压头为淬火钢球时,只能测试布氏硬度小于 450 的材料,以 HBS 表示;当测试压头为硬质合金时,可测试布氏硬度为 450 ~ 650 的材料,以 HBW 表示。

在测定材料的布氏硬度时,应根据材料的种类和试样的厚度选择球体材质、球体直径 D 、施加载荷 P 和载荷保持时间等。

布氏硬度试验是由瑞典的布利涅尔(J. B. Brinell)于 1900 年提出来的。

(2) 洛氏硬度 HR。

洛氏硬度的测量方法如图 1-3 所示。将标准压头用规定压力压入被测材料的表面,根据压痕深度来确定硬度值。根据压头的材料及所加的负荷不同又可分为 HRA、HRB、HRC 三种。表 1-1 为洛氏硬度的测试要求及其应用范围。

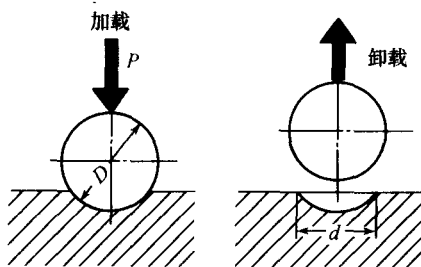


图 1-2 布氏硬度的测量方法

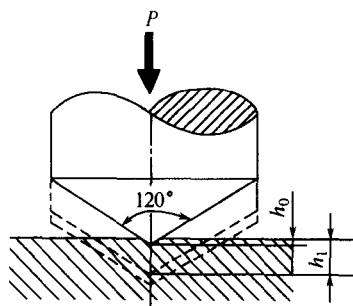


图 1-3 洛氏硬度的测量方法

表 1-1 洛氏硬度的测试要求及其应用范围

洛氏硬度	压 头	总载荷/N(kgf)	测量范围	应 用
HRC	120°金刚石圆锥体	1,470(150)	20 ~ 47HRC	调质钢、淬火钢等
HRA	120°金刚石圆锥体	588(60)	70HRA	硬质合金、表面淬火层或渗碳层等
HRB	Φ1.588mm 钢球	980(100)	25 ~ 100HRB	有色金属和退火钢、正火钢等

洛氏硬度操作简便、迅速,应用范围广,压痕小,硬度值可直接从表盘上读出,所以得到更为广泛的应用。其缺点是:由于压痕小,测量误差稍大,因此常在工件不同部位测量数次取平均值。

洛氏硬度是由美国的洛克威尔(S. P. Rockwell 和 H. M. Rockwell)于 1919 年提出来的。

(3) 维氏硬度 HV。

维氏硬度的测量原理与布氏硬度相同,不同点是压头为一相对面夹角为 136° 金刚石正四方棱锥体,所加负荷为 $5 \sim 120\text{kgf}$ ($49.03 \sim 1176.80\text{N}$)。它所测定的硬度值比布氏、洛氏硬度精确,压入深度浅,适于测定经表面处理零件的表面层的硬度,改变负荷可测定从极软到极硬的各种材料的硬度,但测定过程比较麻烦。图 1-4 为维氏硬度测试示意图。在用规定的压力 P 将金刚石压头压入被测试件表面并保持一定时间后卸去载荷,测量压痕投影的两对角线的平均长度 d ,据此计算出压痕的表面积 S ,最后求出压痕表面积上平均压力 (P/S),以此作为被测材料的维氏硬度值。其计算公式如下:

$$HV = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{d^2}{2\sin 68^\circ}} = 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad (1-1)$$

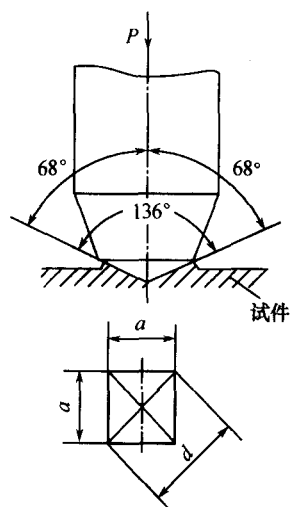


图 1-4 维氏硬度测量示意图

采用维氏硬度测量硬度时,为保证试验的精确性,要求被测表面的粗糙度低,因而测试面的准备工作较麻烦。

维氏硬度试验是由英国的史密斯 (R. L. Smith) 和桑德兰德 (G. E. Sandland) 于 1925 年提出来的。

5. 冲击韧性 a_k

冲击韧性是在冲击载荷作用下,材料抵抗冲击力的作用而不被破坏的能力,通常用冲击吸收功 A_k 和冲击韧性 a_k 指标来度量。

有些机件在工作时要受到高速作用的载荷冲击,如锻压机的锤杆、冲床的冲头、汽车变速齿轮、飞机的起落架等。瞬时冲击引起的应力和应变要比静载荷时引起的应力和应变大得多,因此在选择制造该类机件的材料时,必须考虑材料的抗冲击能力。为了讨论材料的冲击韧性 a_k 值,常采用一次冲击弯曲试验法。由于在冲击载荷作用下材料的塑性变形得不到充分发展,为了能灵敏地反映出材料的冲击韧性,通常采用带缺口的试样进行试验。标准冲击试样有两种,一种是夏比 U 形缺口试样,另一种是夏比 V 形缺口试样。同一条件下同一材料制作的两种试样,其 U 形试样的 a_k 值明显大于 V 形试样的 a_k ,所以这两种试样的值 a_k 不能相互比较。图 1-5、图 1-6 是国家标准规定的一次弯曲冲击试样的尺寸及加工要求。

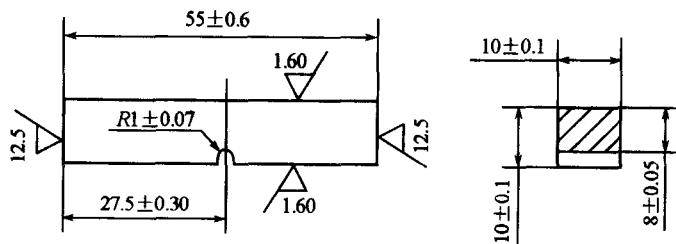


图 1-5 夏比 U 型缺口试样 (梅氏试样)

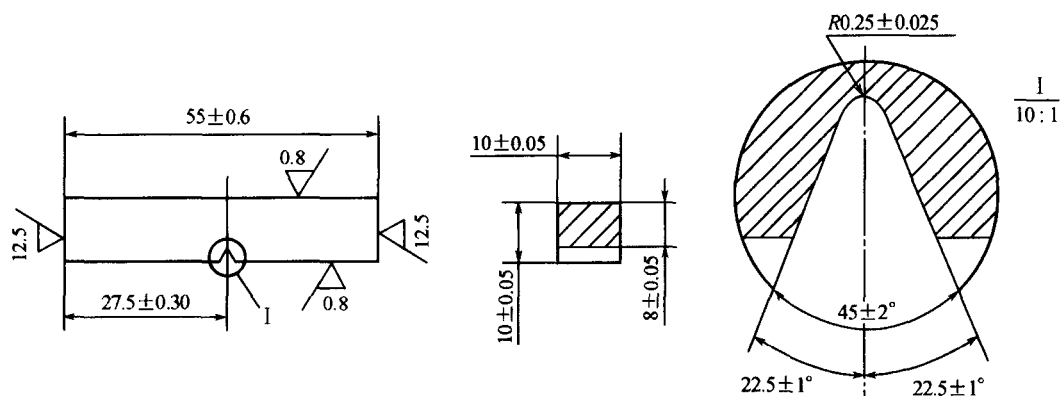


图 1-6 夏比 V 型缺口试样(夏氏试样)

试验时,将试样放在试验机两支座上,如图 1-7 所示。将重量为 G 的摆锤升至一定高度 H_1 ,如图 1-8 所示,使它获得位能 $G \cdot H_1$;再将摆锤释放,使其刀口冲向图 1-7 箭头所指试样缺口的背面;冲断试样后摆锤在另一边的高度为 H_2 ,相应位能为 $G \cdot H_2$,冲断试样前后的能量差即为摆锤冲断试样所消耗的功,或是试样变形和断裂所吸收的能量,称为冲击吸收功 A_k ,即 $A_k = G \cdot H_1 - G \cdot H_2$,单位为 J。试验时,冲击功的数值可从冲击试验机的刻度标盘上直接读出。冲击吸收功除以试样缺口底部处横截面积 S 获得冲击韧性值 a_k ,即 $a_k = A_k / S$,单位为 J/cm^2 。有些国家(如美、英、日等国)直接用冲击吸收功 A_k 作为冲击韧性指标。

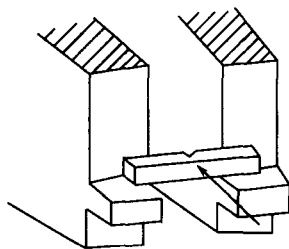


图 1-7 试件在试验机的放置

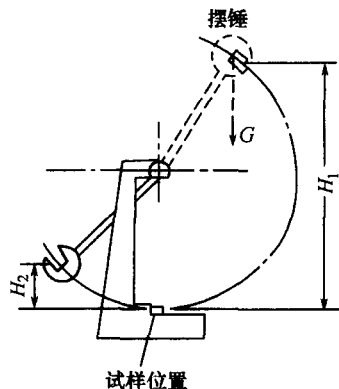


图 1-8 冲击试验过程示意图

材料的 a_k 值愈大,韧性就愈好;材料的 a_k 值愈小,材料的脆性愈大。通常把 a_k 值小的材料称为脆性材料。研究表明,材料的 a_k 值随试验温度的降低而降低。当温度降至某一数值或范围时, a_k 值会急剧下降,材料则由韧性状态转变为脆性状态,这种转变称为冷脆转变,相应温度称为冷脆转变温度。材料的冷脆转变温度越低,说明其低温冲击性能越好,允许使用的温度范围越大。因此对于寒冷地区的桥梁、车辆等机件用材料,必须作低温(一般为 $-40^\circ C$)冲击弯曲试验,以防止低温脆性断裂。

6. 断裂韧性 KI

有的大型转动零件、高压容器、桥梁等,常在其工件应力远低于 σ_s 的情况下突然发生低