

高职高专

模具设计与制造专业 规划教材

模具材料及 表面处理

MUJU CAILIAO JI BIAOMIAN CHULI

邱葭菲 主编

湖南大学出版社

TG76
7744

高职高专模具设计与制造专业规划教材

模具材料及表面处理

主 编 邱葭菲

副主编 高作武 梁合意

主 审 刘海渔

湖南大学出版社

2008年·长沙

内 容 简 介

本书根据我国模具制造业发展现状,在整合重组传统的“金属材料及热处理”和“模具材料”两课程的基础上编写而成。不仅介绍了我国模具材料、热处理及表面处理知识,还介绍了我国目前常见的国外模具材料相关知识。

本书采用模块式、任务驱动型教学方式编写,力求适应高职教育教改特点和发展方向。使学生易学、乐学,教师易教、乐教。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料及表面处理/邱葭菲主编.

—长沙:湖南大学出版社,2008.3

ISBN 978-7-81113-313-4

I. 模... II. 邱... III. ①模具—工程材料 ②模具—金属表面处理

IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 041865 号

模具材料及表面处理

Muju Cailiao ji Biaomian Chuli

主 编:邱葭菲

责任编辑:张建平

封面设计:张 毅

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山

邮 编:410082

电 话:0731-8821691(发行部),8820006(编辑室),8821006(出版部)

传 真:0731-8649312(发行部),8822264(总编室)

电子邮箱:presszhangjp@hnu.cn

网 址: <http://press.hnu.cn>

印 装:湖南省地质测绘印刷厂

开本:787×1092 16 开 印张:14.25

字数:365 千

版次:2008 年 4 月第 1 版 印次:2008 年 4 月第 1 次印刷

印数:1~4 000 册

书号:ISBN 978-7-81113-313-4/TH·19

定价:28.00 元

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

高职高专模具设计与制造专业规划教材

编写委员会

主 任:叶久新

总主编:汤猷则

副主任(以姓氏笔画为序):

马洪儒	邓子林	米久贵	汤长清	朱江峰	刘茂福
刘 胜	刘海渔	苏庆勇	李名望	李佳民	张君伟
李灶福	李建跃	陈 勇	张 勇	陈厚德	肖调生
张海筹	邱葭菲	张群生	吴解奇	欧阳中和	
钟 波	徐友良	徐政坤	梁旭坤	董建国	曾谊晖
蔡超强					

委 员(以姓氏笔画为序):

万远厚	王立新	刘卫东	许孔联	朱爱元	杨友才
陈元华	邱玉平	张秀玲	沈言锦	李 奇	邵建华
张建卿	邵家云	杨晓红	陈艳辉	吴 敏	肖露云
范 云	罗永新	罗正斌	周 钢	周 虹	周春华
林章辉	林黄耀	徐石交	高作武	钱 萍	梁合意
黄朗宁	曾霞文	雷云进	谭赞良		

序

当今,高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的最重要标志之一。面对这一深刻的变化和严峻的形势,我们必须转变教育观念,坚持以邓小平同志提出的“三个面向”和胡锦涛同志提出的“构建和谐社会”的思想为指导,以持续发展为主题,以结构优化升级为主线,以改革开放为动力,以全面推进素质教育和改革人才培养模式为重点,以构建新的教学内容和课程体系为核心,努力培养素质高、应用能力与实践能力强、富有创新精神和特色的应用型复合人才。

教书育人,教材先行,教育离不开教材。为了认真贯彻中共中央、国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总体要求,根据高职高专的教学计划,湖南省模具设计与制造学会、湖南大学出版社组织部分教学经验丰富的普通高等学校、高职高专学校的老师编写了这套系列教材。

本套教材的编写以培养高职高专技能型人才为目标,在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论内容以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点。专业内容加强了针对性和实用性,强化了实践教学。为了扩大使用面,在内容的取舍上也考虑到了电大、职大、业大、函大等教育的教学及自学需要。

这套教材具有以下特点:

科学定位。本套教材以高职高专技术教育教学中的实际技能要求为主旨,内容简明扼要,突出重点,主要适用于高职高专应用性人才培养。

突出特色。体现高职高专院校的教学特点。教材中编写有大量实例,符合一般高职高专学校的实际教学要求。注重技能性、实用性,内容覆盖了实验、实训、实习等实践环节。

强调适用。充分体现“浅、宽、精、新、用”。所谓“浅”,就是深浅适度;所谓“宽”,就是知识面宽;所谓“精”,就是少而精,不繁琐;所谓“新”,就是紧跟应用学科前沿,跟踪先进技术前沿,推陈出新,反映时代要求,反映新理论、新思想、新材料、新技术;所谓“用”,就是理论联系实际,学以致用。

以学生为本。本套教材尽量体现以学生为本、以学生为中心的教育思想,不为教而教。要有利于培养学生自学能力和知识扩展能力,为学生今后持续创造性学习打好基础;也要有利于学生在获得学历证书的同时,顺利获得相应的职业技能资格证书,以增强学生的就业竞争能力。

为了提高本系列教材的质量,在组织编写队伍时,采取了高职高专院校与普通高等院校相互协作编写并交叉审稿的方法,以利于实践教学和理论教学的相互渗透。

这套系列教材,以新体系、新面孔呈现在读者面前,不但能够满足当前高职高专教学的需要,而且将对高等职业技术教育的发展起到推动作用,为培养新世纪的高质量人才作出新的贡献。

叶久新

2007年8月于岳麓山

(序作者为湖南大学教授,湖南省模具设计与制造学会理事长,湖南省模具设计职业鉴定专家委员会主任)

前 言

本书是高职高专院校模具设计与制造专业技能型紧缺人才学习和培训系列教材之一,是根据教育部“关于加强高职高专教育教材建设的若干意见”和“模具材料及表面处理”课程教学大纲编写而成。教材体现了教育部、人力资源和社会保障部、工业和信息化部、交通运输部和卫生部联合启动的《职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程》的精神。本书主要供高职高专院校模具设计与制造专业、金属材料热处理专业学生使用,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

本书在编写过程中力求体现以下特点:

(1)本书是由长期在教学、科研及生产一线的,经验丰富的双师、双教(教学、教研)型教师,在总结多年高职高专教学、教研、教改的基础上编写而成。力求教学内容与生产实际实现“零距离”,具有较强的实用性和针对性。

(2)本书是在整合重组传统的“金属材料及热处理”和“模具材料”两课程的基础上编写而成。力求适应高职教育教改特点和发展方向。

(3)本书采用模块式、任务驱动型教学方式编写,力求适应高职课程改革特点。使学生易学、乐学,教师易教、乐教。

(4)本书根据我国模具制造业发展现状,力求体现新标准、新技术、新工艺,不仅详细介绍了我国模具材料、热处理及表面处理知识,而且还介绍了我国目前常见的国外模具材料相关知识。

本书由衡阳财经工业职业技术学院邱葭菲任主编,岳阳职业技术学院高作武、潇湘职业学院梁合意任副主编。其中绪论、模块三、模块九由邱葭菲编写,模块一由长沙航空职业技术学院肖弦编写,模块二由衡阳财经工业职业技术学院阳益贵编写,模块四由梁合意编写,模块五由高作武编写,模块六、模块七、模块八由株洲职业技术学院彭广威编写。株洲职业技术学院刘海渔担任主审。

本书在编写过程中,充分吸收了国内多所高职高专院校近年来的教学改革经验,得到了许多教授、专家的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2008年2月

目次

绪论

模块一 金属材料基础知识

任务一 金属材料的性能	4
知识点一 金属的力学性能	4
知识点二 金属的物理、化学性能	11
任务二 金属的晶体结构与结晶	11
知识点一 金属的晶体结构	12
知识点二 金属的实际晶体结构	14
知识点三 纯金属的结晶	16
知识点四 合金的相结构	18
任务三 铁碳合金相图	21
知识点一 铁碳合金的组元与基本相	21
知识点二 Fe-Fe ₃ C 相图分析	22
知识点三 典型合金的结晶过程及组织	25
知识点四 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	28
任务四 钢的分类及牌号	31
知识点一 钢的分类	31
知识点二 工业用钢的牌号	34
知识点三 合金元素在钢中的作用	35
思考题	37

模块二 钢的热处理基础知识

任务一 钢在加热时的组织转变	39
知识点一 钢的奥氏体化	39
知识点二 奥氏体晶粒的长大	40
任务二 钢在冷却时的转变	41
知识点一 过冷奥氏体的等温转变	41
知识点二 过冷奥氏体在连续冷却条件下的转变	46
任务三 钢的退火与正火	46
知识点一 退火	46
知识点二 正火	48
任务四 钢的淬火	49
知识点一 淬火的加热及保温	49
知识点二 淬火冷却介质	50
知识点三 淬火方法	51

	知识点四 钢的淬透性和淬硬性	52
任务五	钢的回火	54
	知识点一 钢在回火时的组织转变	54
	知识点二 回火方法及说明	55
	知识点三 回火脆性	56
任务六	钢的表面淬火	56
	知识点一 火焰加热表面淬火	56
	知识点二 感应加热表面淬火	57
	知识点三 激光和电子束加热淬火	58
思考题		58

模块三 冷作模具材料

任务一	冷作模具材料的性能要求	59
	知识点一 冷作模具材料的使用性能要求	59
	知识点二 冷作模具材料的工艺性能要求	60
任务二	冷作模具材料及热处理	61
	知识点一 低淬透性冷作模具钢	61
	知识点二 低变形冷作模具钢	63
	知识点三 高耐磨、微变形冷作模具钢	65
	知识点四 高强度、高耐磨冷作模具钢	67
	知识点五 高强韧性冷作模具钢	70
	知识点六 抗冲击冷作模具钢	75
	知识点七 高耐磨高强韧性冷作模具钢	76
	知识点八 特殊用途冷作模具钢	78
	知识点九 其他冷作模具材料	80
任务三	冷作模具材料及热处理选用	81
	知识点一 冷作模具材料的选用	81
	知识点二 冷作模具材料的热处理选用	87
思考题		91

模块四 热作模具材料

任务一	热作模具材料的性能要求	92
	知识点一 热作模具材料的使用性能要求	92
	知识点二 热作模具材料的工艺性能要求	93
任务二	热作模具材料及热处理	94
	知识点一 低耐热高韧性热作模具钢及热处理	94
	知识点二 高强韧性热作模具钢及热处理	98
	知识点三 高热强热作模具钢及热处理	103
	知识点四 其他热作模具材料	108
任务三	热作模具材料及热处理选用	111
	知识点一 热作模具材料的选用	111

知识点二 热作模具材料的热处理·····	116
思考题·····	126
模块五 塑料模具材料	
任务一 塑料模具材料的性能要求·····	127
知识点一 塑料模具材料的使用性能要求·····	127
知识点二 塑料模具材料的工艺性能要求·····	127
任务二 塑料模具材料及热处理·····	128
知识点一 渗碳型塑料模具钢及热处理·····	129
知识点二 常用淬硬型塑料模具钢·····	132
知识点三 预硬型塑料模具钢·····	133
知识点四 时效硬化型塑料模具钢·····	140
知识点五 耐蚀塑料模具钢·····	143
知识点六 其他塑料模具材料·····	145
任务三 塑料模具材料及热处理选用·····	146
知识点一 塑料模具材料的选用·····	146
知识点二 塑料模具的热处理选用·····	150
思考题·····	153
模块六 其他模具材料	
任务一 玻璃模具材料及热处理·····	154
知识点一 玻璃模具材料的性能要求和分类·····	154
知识点二 玻璃模具材料的热处理及表面强化·····	156
知识点三 玻璃模具材料及热处理工艺选用实例·····	157
任务二 陶瓷模具材料及热处理·····	159
知识点一 陶瓷模具的工作条件及性能要求·····	159
知识点二 陶瓷模具材料的类型及热处理工艺·····	159
知识点三 陶瓷墙地砖压力成型模具材料的选用实例·····	160
思考题·····	162
模块七 模具表面处理技术	
任务一 表面化学热处理技术·····	164
知识点一 渗碳技术·····	164
知识点二 渗氮技术·····	165
知识点三 碳氮共渗技术·····	168
知识点四 氮碳共渗技术(软氮化)·····	168
知识点五 渗硼技术·····	169
知识点六 其他多元共渗技术·····	171
任务二 表面涂镀技术·····	171
知识点一 电镀·····	171
知识点二 电刷镀·····	172

知识点三	化学镀	173
知识点四	热浸镀	173
任务三	表面气相沉积技术	174
知识点一	化学气相沉积(CVD)	174
知识点二	物理气相沉积(PVD)	176
知识点三	等离子化学气相沉积(PCVD)	177
任务四	其他表面处理技术	177
知识点一	热喷涂	177
知识点二	激光表面强化处理	178
知识点三	离子注入表面强化	180
知识点四	电子束表面强化	181
思考题		181

模块八 模具的失效与使用寿命

任务一	模具的失效	182
知识点一	冷作模具的工作条件及失效形式	182
知识点二	热作模具的工作条件及失效形式	185
知识点三	塑料模具的工作条件及主要失效形式	188
知识点四	玻璃模具的工作条件及失效形式	189
知识点五	模具的失效分析	189
知识点六	模具失效原因及预防措施	190
任务二	模具的使用寿命	192
知识点一	影响模具使用寿命的主要因素	192
知识点二	提高模具使用寿命的方法	195
思考题		196

模块九 进口模具钢及选用

任务一	美国模具钢	197
知识点一	美国钢铁材料编号方法	197
知识点二	美国模具钢的分类及选用	199
知识点三	国内市场常见的美国模具钢	200
任务二	日本模具钢	202
知识点一	日本钢铁材料编号方法	202
知识点二	国内市场常见的日本模具钢	205
任务三	其他国家模具钢	208
知识点一	德国模具钢介绍	208
知识点二	瑞典模具钢介绍	211
知识点三	奥地利模具钢介绍	212

参考文献	214
------	-----

绪 论

1. 模具材料及表面处理在模具工业中的作用和地位

随着科学技术的迅猛发展,目前国内外制造业广泛地采用了无切削、少切削加工工艺,如精密冲压、精密锻造、压力铸造、冷挤压、热挤压及等温超塑成型等新工艺,来代替传统的切削加工工艺。因此作为主要成型工具的模具,已成为一种重要的加工装备。而模具工业则已成为国民经济各工业部门发展的重要基础,是衡量一个国家工业水平高低的重要标志之一。德国把模具称为“金属加工中的帝王”,把模具工业视为“关键工业”;美国把模具称为“美国工业的基石”,把模具工业视为“不可估量其力量的工业”;日本把模具说成是“促进社会富裕繁荣的动力”,把模具工业视为“整个工业发展的秘密”。

现代模具工业发展的特点,一是量大面广、品种繁多。家用电器行业约 80% 的零部件、机电行业约 70% 的零部件均采用模具成型,80%~90% 的塑料、橡胶、陶瓷、建材等制品都由模具生产。一种中型载重汽车的改型,需要 4 000 套模具,重达 2 000 多 t。生产一种型号的照相机,需要 500 套模具。二是制模周期缩短、制模成本降低。由于人们对工业品的品种、数量和质量要求越来越高,产品更新换代速度越来越快,而且多品种小批量生产较多,这就要求快速、经济地制模。三是模具成本已占产品成本的 20% 左右,因此模具的制造质量、使用寿命等决定着产品成本。四是模具向大型化、复杂化、精密化和自动化发展。

模具材料的性能及模具的表面处理技术将直接影响模具的质量、使用寿命、生产成本等。因此合理选用模具材料,制定合理的热处理工艺,采用先进的表面处理工艺及大力推广新材料、新工艺、新技术等是现代模具工业中十分重要的一个问题,必须加以重视。

2. 模具及模具材料的分类

(1) 模具的分类

模具的分类方法很多,为了模具材料的选用,通常根据工作条件将模具分为冷作模具、热作模具和成型模具三大类。

①冷作模具。根据工艺特点,冷作模具分为冷冲裁模具和冷变形模具。冷冲裁模具包括薄板冷冲裁模具和厚板冷冲裁模具。冷变形模具主要包括冷挤压模具、冷镦模具、冷拉深模具和冷弯曲模具等。

②热作模具。热作模具包括热锻模、热精锻模、热挤压模、压铸模、热冲裁模等。

③成型模具。根据成型材料,成型模具包括塑料模、橡胶模、陶瓷模、玻璃模、粉末冶金模等。

(2) 模具材料的分类

模具材料的种类繁多,各种模具所用的材料各异,根据模具的工作条件及所使用的材料,模具材料的分类如表 0.1 所示。

表 0.1 模具材料的分类

模具材料						
模具钢			其他模具材料			
冷作模具钢	热作模具钢	塑料模具钢	铸铁	有色金属及合金	硬质合金	非金属材料

由于钢的力学性能优良,价格适中,能满足一般模具要求,故目前模具材料主要采用的是模具钢,根据模具制作工艺不同,模具钢的分类如表 0.2 所示。

表 0.2 模具钢的分类

冷作模具钢				热作模具钢				塑料模具钢			
冷冲 裁模 具钢	冷挤 压模 具钢	冷镦 模具 钢	冷拉 深模 具钢	热锻 模用 钢	热挤 压模 用钢	压铸 模用 钢	热冲 裁模 用钢	渗碳 型模 用钢	调质 型模 用钢	淬硬 型模 用钢	预硬 型模 用钢

3. 模具材料及表面处理的应用与发展

模具是从锤、斧、凿等手工工具逐步发展而来的,早期的工具材料属于简单的普通碳素工具钢。自从 18 世纪中期欧洲进入蒸汽机时代后,工业品由手工制作变为机器制造,对工具材料的性能要求越来越高,普通碳素工具钢已无法满足需要。19 世纪末英国的一些工厂研制出了一些具有良好性能的合金钢,如 1895 年泰勒发现有些合金工具钢提高淬火温度可提高红硬性,使工具能在较高的切削速度下使用,成为现在 W18Cr4V 高速钢的原型。20 世纪 20 年代研制出了冷作模具钢和热作模具钢等合金模具钢,并进行了易切削模具钢的研究。20 世纪 50 年代后,随着石化工业的快速发展,塑料迅速成为一种重要的工业材料,为满足塑料制品成型模具需要,研究发展了专用的塑料模具钢,目前先进工业国家已经形成专用的钢种系列。

新中国建立以来,我国模具钢的生产发展很快,从无到有,从仿制到自行开发,在短短的 50 多年时间里,特别是 1989 年国务院在《当前产业政策要点的决定》中将模具列为“机械工业技术改造序列的第一位”以来,在模具的研制开发、热处理及表面处理技术等方面取得了巨大成就。我国的模具钢产量已跃居世界前列(1996 年 12 万 t,与日本接近),且基本上形成了具有我国特色的模具用材体系。总的来看,我国模具钢系列比较完整,既包括了国内外通用的性能较好的模具钢,也纳入了一些国内研制的生产应用中取得良好效果的新钢种,基本上满足了模具制造业的需要。

在冷作模具钢方面开发了 6Cr4W3Mo2VNb(65Nb)、6CrNiMnSiMoV(GD)、7Cr7Mo2V2Si(LD)、9Cr6W3Mo2V2(GM)、Cr8MoWV3Si(ER5)等钢,这些钢具有较高的强韧性、较高的耐磨性及良好的综合工艺性能,其使用寿命成倍提高。

在热作模具钢方面,结合我国资源开发了 5Cr4W5Mo2V(RM2)、3Cr3Mo3W2V(HM1)、3Cr3Mo3VNb(HM3)、4Cr3Mo3W4VNb(GR)、4Cr5MoSiV1(H13)、4Cr3Mo2rNiVNbB(HD)、4CrMnSiMoV 等十几种新钢种,这些钢具有高的热稳定性、高的高温强度和良好的耐疲劳抗力,其使用寿命比 5CrMnMo、5CrNiMo 钢大幅提高。

在塑料模具钢方面,开发和引进了 Y55CrNiMnMoV(SM1)、5NiSCa、0Cr16Ni4Cu3Nb(PCR)、10Ni3CuAlMoS(PMS)、25CrNi3MoAl 等,这些钢强韧性适当,热处理工艺较简单,变形小,易于切削加工。

用于制造模具的普通硬质合金和钢结硬质合金材料日趋成熟。与传统模具材料相比,其使用寿命大幅提高,如用钢结硬质合金制造的 M12 冷镦模其寿命已超 100 万次。

20 世纪 70 年代以来,表面处理技术得到了迅速发展,采用不同的表面处理技术可提高模具的表面性能,使模具具有强韧的心部、耐磨耐蚀的表面,成倍提高了其使用寿命。

模具的表面处理技术除了传统的渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗硼、渗金属等工艺被广泛使用以外,还发展了各种涂镀技术。如热锻模应用 Ni-Co-ZrO₂ 复合电刷镀,可提高模具使用寿命

50%~200%；气相沉积技术，如采用 CVD 在模具上化学沉积 TiC、TiN 等有效改善模具表面的抗粘着性和抗咬合性，延长模具使用寿命；激光表面处理技术；离子注入技术等。这些技术都有效地提高了模具的性能和使用寿命。

虽然我国的模具材料和模具表面处理技术有了很大的发展，但与发达国家相比仍有一定的差距，主要体现在系列化程度低、品种规格少、模具钢冶金质量不高、生产工艺和装备相对落后、不重视新材料及新工艺应用等方面。根据我国模具材料及表面处理技术现状，今后我国模具材料及表面处理技术的发展及应用主要在以下几方面：一是积极引进和开发高性能的新型模具材料，增加钢材品种、规格，形成符合我国资源情况的系列化、标准化的模具材料；二是重视模具的设计、选材、加工、处理、检验等全过程控制，降低成本，提高效益；三是大力发展、应用模具的强韧化处理技术和表面处理技术，发展模具成套加工精密设备，提高模具生产整体水平。

4. 本课程的性质和要求

模具材料及表面处理是模具设计与制造专业的一门主干课程，是一门专业课，该课程的理论性和实践性都很强，在学习时特别应注意理论联系实际，如尽可能参观一些模具生产和使用厂家，增加专业感性认识。同时将该课程与其他专业课结合起来，认真分析模具的生产工艺、设计方法、失效形式及原因等。通过本课程的学习，希望学生能达到如下基本要求：

- ①了解模具材料及表面处理技术现状及发展趋势。
- ②掌握金属材料及热处理基础知识。
- ③掌握常用的冷作模具材料、热作模材料、塑料模具材料等的特性、用途、热处理工艺特点，能正确选择模具材料及热处理方法。
- ④熟悉各类常见的模具表面处理方法，并能合理选用。
- ⑤了解各类模具失效形式及其与使用寿命之间的关系。

模块一 金属材料基础知识

材料是人类文明生活的物质基础,材料的使用和发展总是同生产力和科学技术的发展水平密切相关的。材料的发展水平是人类历史发展的标志。从古代的石器时代、青铜器时代、铁器时代到现代的人工合成材料时代,材料对生活、生产、机械、矿冶、能源、交通、建筑、化工、轻工、宇航、信息等各领域的发展都起着举足轻重的作用。

任务一 金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中反映出来的性能,它决定材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命。使用性能又包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指材料在制造过程中反映出来的各种性能,是决定它是否容易加工和如何进行加工的重要因素。

工程技术人员选用材料时首先要掌握材料的使用性能,同时要考虑材料的工艺性能和经济性。

知识点一 金属的力学性能

材料的力学性能是指在力的作用下,所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能,常用的有强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳极限和断裂韧度等。

1. 强度和塑性

金属材料在外力的作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度。按外力作用的方式不同,可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗扭强度等。一般所说的强度是指抗拉强度,它是用静载拉伸实验方法测定。

静载拉伸实验是指用缓慢增加的拉力对标准拉伸试样进行轴向拉伸,直至拉断的一种试验方法。试验前,将材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样(见 GB6397-86)。图 1.1 为标准拉伸试样。若将试样从开始加载直到断裂前所受的拉力 F ,与其所对应的试样原始标距长度 L_0 的伸长量 ΔL 绘成曲线,便得到拉伸曲线。图 1.2 所示为退火低碳钢的拉伸曲线。用试样原始截面积去除拉力 F 得到应力 σ ,以试样原始标距 L_0 去除绝对伸长量 ΔL 得到应变 ϵ ,即 $\sigma = F/S_0$, $\epsilon = \Delta L/L_0$,则力-伸长(F - ΔL)曲线就成了工程上的应力-应变(σ - ϵ)曲线。

由图 1.2 可看出,低碳钢在拉伸过程中明显地表现出不同的变形阶段,通常将低碳钢的 σ - ϵ 曲线当作典型情况来说明材料的力学性能。整个拉伸过程可分为弹性变形阶段、屈服阶段、均匀塑性变形、局部塑性变形及断裂几个阶段。曲线的 oe 段近乎一条斜线,表示受力不大时试样处于弹性变形阶段,若卸除试验力,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸。其中在 op 阶段,应力与应变成正比关系即符合虎克定律。当拉伸继续增加时,试样将产生塑性变形,当应力超过 σ_e ,进入屈服阶段(es),并且在 s 点附近曲线上出现平台或锯齿状线段,这时应力不增加或只有微小增加,试样却继续伸长。屈服之后材料进入均匀塑性变形阶段(sb),均匀变形的原因是冷变形强化(加工硬化)所致,变形与硬化交替进行,变形量越大,为使材料变形所需的应力越大。当试样变形达到最高点 b 时,形变强化跟不上变形的变化,不能再使变形转移,

致使某处截面开始减小。在局部塑性变形阶段(bk),应力增加,变形加剧,形成缩颈,此时施加于试样的力减小,而变形继续增加,直至断裂(k 点)。

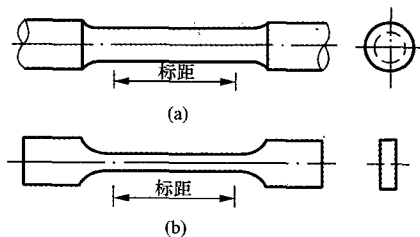


图 1.1 标准拉伸试样

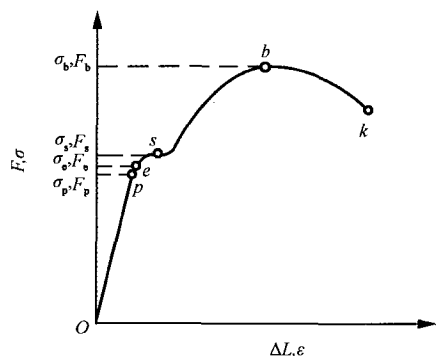


图 1.2 低碳钢的拉伸曲线

(1) 强度指标

强度的大小通常用应力表示。应力是指实验过程中的力除以试样原始横截面积的商,即试样单位横截面积上所受到的力,用符号 σ 表示,单位为 MPa(兆帕)。工程上常用的静载拉伸强度指标主要有规定非比例伸长应力、屈服点或规定残余伸长应力、抗拉强度等。

① 规定非比例伸长应力。

金属材料符合虎克定律的最大应力称为比例极限(比例伸长应力),用 σ_p 表示,由于不能用实验直接测定比例极限,故在拉伸实验方法(GB228—87)中采用“规定非比例伸长应力”代替。规定非比例伸长应力是指试样标距部分的非比例伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。

$$\sigma_p = F_p / S_0 \quad (1.1)$$

式中: F_p ——试样非比例伸长为规定量时的拉力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

规定非比例伸长应力是一些重要零件设计的力学依据。表示符号应附以角标说明,例如: $\sigma_{p0.01}$ 、 $\sigma_{p0.05}$ 、 $\sigma_{p0.2}$ 分别表示规定非比例伸长率为 0.01%、0.05%、0.2% 时的应力。

在弹性阶段内,卸力后而不产生塑性变形的最大应力为材料的弹性伸长应力,通常称为弹性极限,用 σ_e 表示。弹性极限是理论上的概念,和比例极限一样,也难以用实验直接测定,实际工程中以屈服点或规定残余伸长应力代替。

② 屈服点与条件屈服强度。

屈服点是指试样开始产生屈服现象时的最低应力,即试验过程中力不增加(保持恒定)试样仍能继续伸长时的应力,用符号 σ_s 表示。其计算公式为:

$$\sigma_s = F_s / S_0 \quad (1.2)$$

式中: F_s ——试样屈服时所承受的拉伸力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

屈服点是具有屈服现象的材料特有的强度指标,除退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服点外,大多数合金都没有明显的屈服现象,难以测出屈服点。为了获得这一重要性指标,国家标准规定:试样产生 0.2% 的残余伸长变形时所对应的应力称为条件屈服强度,简称屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示,如图 1.3 所示。

条件屈服强度是指材料在外力作用下产生 0.2% 塑性变形时的应力值。当材料的实际工

作应力大于其条件屈服强度时,就有可能产生过量塑性变形而失效。因此 $\sigma_{0.2}$ 是大多数机械零件设计时的重要参数,是材料最关键的力学性能指标之一。

③抗拉强度。

拉伸过程中最大力 F_b 所对应的应力称为抗拉强度(或称强度极限)。

$$\sigma_b = F_b / S_0 \quad (1.3)$$

抗拉强度的物理意义在于它反映了材料最大均匀变形的抗力,表明了材料在拉伸条件下,单位截面积上所能承受的最大应力。显然,机器零件工作时,其所承受的拉应力不允许超过 σ_b ,否则就会产生断裂。所以,它也是机械设计和选材的主要依据。特别是对于脆性材料来说,拉伸过程中几乎不发生塑性变形即突然断裂, $\sigma_{0.2}$ 也常常难以测出,所以,脆性材料没有屈服强度指标,只有抗拉强度指标用于零件的设计计算。

在工程上,把 σ_s / σ_b 的值称为屈强比。其值越高,材料强度的有效利用率越高,但会使零件的安全可靠性降低。不过在性能允许的情况下,还是屈强比大一点好,一般在 0.75 左右。

(2)塑性指标

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

①断后伸长率。

试样拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率,以 δ 表示。

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (1.4)$$

式中: L_0 ——试样原始标距长度(mm);

L_1 ——试样拉断后对接的标距长度(mm)。

拉伸试样按长径比分为长试样($L_0 = 10d_0$)和短试样($L_0 = 5d_0$)两种,长试样的断后伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示,短试样的断后伸长率以 δ_5 表示,对同一材料 $\delta_5 > \delta_{10}$,通常试验优先选取短的比例试样。一般把 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料, $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料。

②断面收缩率。

断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号 ψ 表示。其数值按下式计算:

$$\psi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\% \quad (1.5)$$

式中: S_0 ——试样原始横截面积(mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处最小横截面积(mm^2)。

δ 和 ψ 数值越大,则材料的塑性越好。塑性好的材料,不仅能顺利地进行轧制、锻压等成型工艺,而且在使用中万一超载,由于塑性好,能避免突然断裂。所以大多数机械零件除要求有较高的强度外,还必须有一定的塑性。一般情况下,断后伸长率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料,即可满足大多数零件的使用要求。

2. 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,它是衡量材料软硬的

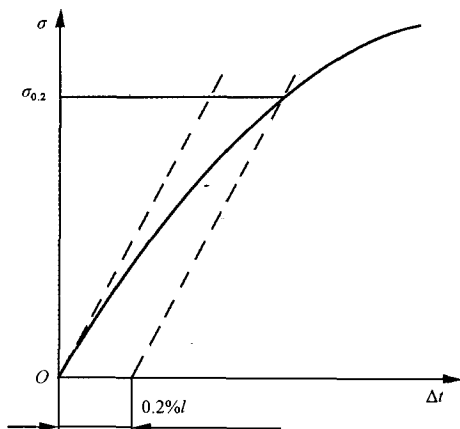


图 1.3 条件屈服强度示意图

指标。硬度能够反映出金属材料在化学成分、金相组织和热处理状态上的差异,是检验产品质量、研制新材料和确定合理的加工工艺所不可缺少的检测性能之一。同时硬度试验是金属力学性能实验中最简便、最迅速的一种方法。

硬度实验方法很多,一般可分为三类:有压入法,如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、显微硬度;有划痕法,如莫氏硬度;有回跳法,如肖氏硬度等。目前机械制造生产中应用最广泛的硬度是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(1) 布氏硬度

布氏硬度的测定原理是用一定大小的试验力 $F(N)$,把直径为 $D(mm)$ 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属的表面(如图 1.4),保持规定时间后卸除试验力,用读数显微镜测出压痕平均直径 $d(mm)$,然后按公式求出布氏硬度 HB 值,或者根据 d 从已备好的布氏硬度表中查出 HB 值。布氏硬度值是试验力除以压痕球形表面积所得的商。使用淬火钢球压头时用符号 HBS,使用硬质合金球压头时用符号 HBW,计算公式如下:

$$HBS(HBW) = 0.012F/\pi D h \quad (1.6)$$

式中: F ——试验力(N);

D ——球体直径(mm)。

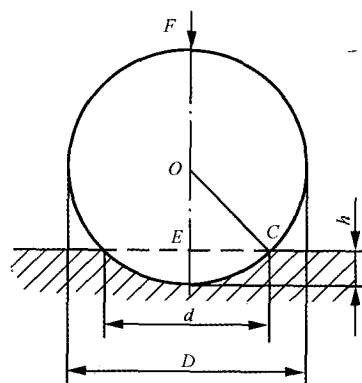


图 1.4 布氏硬度试验原理示意图

由于金属材料有硬有软,被测工件有厚有薄,有大有小,如果只采用一种标准的试验力 F 和压头直径 D ,就会出现对某些材料和工件不适应的现象。因此,在生产中进行布氏硬度试验时,要求能使用不同大小的试验力和压头直径,对同一种材料采用不同的 F 和 D 进行试验时,能否得到同一的布氏硬度值,关键在于压痕几何形状的相似,即可建立 F 和 D 的某种选配关系,以保证布氏硬度的不变性。根据被测材料种类和试样厚度,可按照表 1.1 所示的布氏硬度试验规范正确地选择压头直径 D 、试验力 F 和保持时间 t 。

表 1.1 布氏硬度试验规范(GB/T231—1984)

材料种类	布氏硬度使用范围(HBS)	球直径 D/mm	$0.102F/D^2$	试验力 F/N	试验力保持 时间/s	注
钢铸铁	≥ 140	10	30	29 420	10	(1)压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的2.5倍。 (2)两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的4倍。 (3)试样厚度至少应为压痕深度的10倍。试验后,试样支撑面应无可见变形痕迹
		5		7 355		
		2.5		1 839		
	< 140	10	10	9 807	10-15	
		5		2 452		
		2.5		613		
非铁金属材料	≥ 130	10	30	29 420	30	
		5		7 355		
		2.5		1 839		
	35~40	10	10	9 807	30	
		5		2 452		
		2.5		613		
	< 35	10	2.5	2 452	60	
		5		613		
		2.5		153		

布氏硬度习惯上只写出硬度值而不必注明单位,其标注方法是,符号 HBS 或 HBW 之前