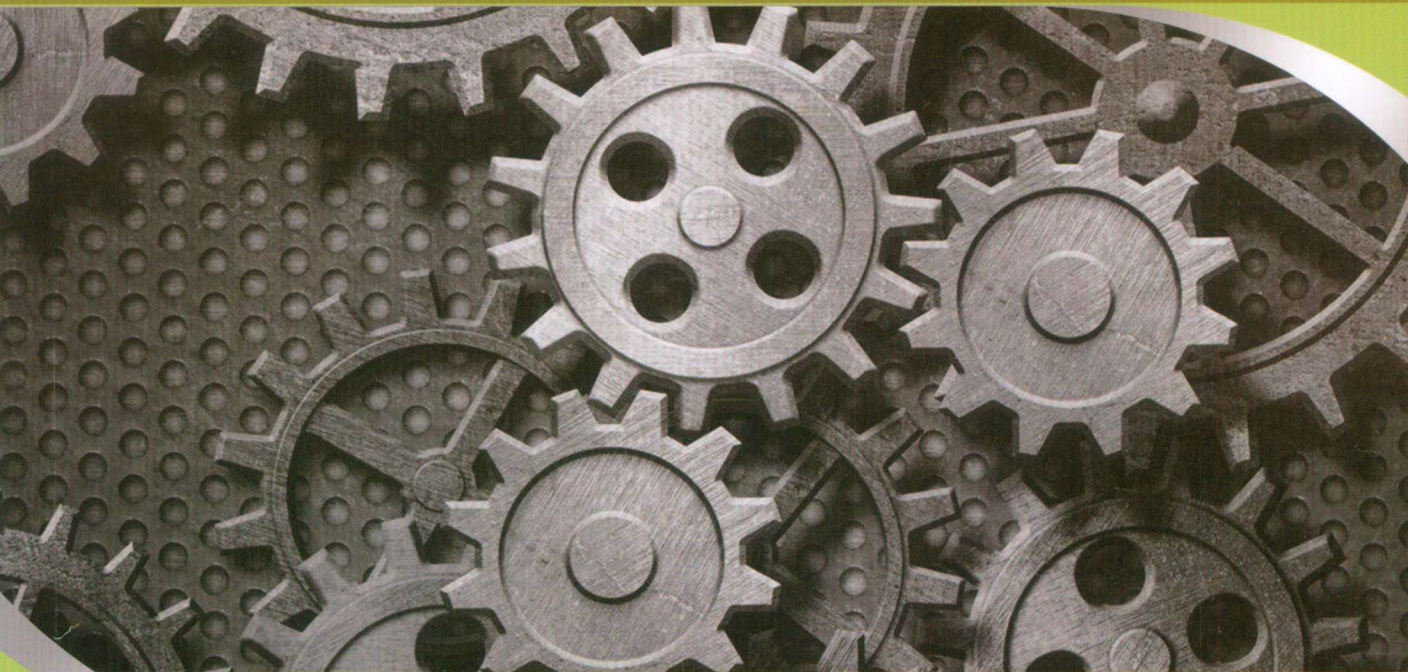




高等院校“十三五”规划教材

GAODENG YUANXIAO SHISANWU GUIHUA JIAOCAI



主 编 李玉平

副主编 黄小英 陈 萍 张水香 肖 斌

JIXIE ZHIZAO JICHU

机械制造基础



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

内容提要

全书共分9章,主要包括:工程材料,铸造,锻压,焊接,金属切削加工基础知识,机械零件表面加工,特种加工,先进制造技术及机械加工工艺流程等。考虑到后续课程安排,教材内容处理上有所区别。“工程材料”部分以剖析铁碳合金的金相组织为基础,以介绍工程材料的性质和合理选材为重点。“铸造”“锻压”“焊接”各占一定的篇幅,因为这方面知识是必不可少的,而且本课程前后均未安排与此有关的课程。“金属切削加工的基础知识”“机械零件表面加工”和“机械加工工艺流程”部分,则着重在“机加工实训”的基础上,把感性知识上升到理论高度,进而归纳成系统性基础知识,为后续课程打好基础。而“特种加工”和“先进制造技术”部分,则着眼于拓展知识面、提高人才培养的专业适应性。

本书适合作为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/李玉平主编. —重庆:重庆大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5689-0109-3

I. ①机… II. ①李… 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(2016)第201315号

机械制造基础

主 编 李玉平

副主编 黄小英 陈 萍

张水香 肖 斌

策划编辑:曾显跃

责任编辑:文 鹏 姜 凤 版式设计:曾显跃

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

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

重庆学林建达印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:23.25 字数:551千

2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5689-0109-3 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

前言

本书是根据教育部基础课程教学指导委员会颁发的《高等学校工科工程材料及机械制造基础教学基本要求》的精神,经结构优化、整合,并结合作者多年来的教学实践而编写的一本强调应用基础知识的机械专业基础课程教材,在编写过程中注重实践能力和创新能力培养,着重培养既动脑又动手的应用型技术人才。

全书共分9章,主要内容包括工程材料、铸造、锻造、焊接、金属切削加工基础知识、机械零件表面加工、特种加工、先进制造技术及机械加工工艺规程等,每章后均附有复习思考题。

本书具有以下特点:

1.在保证基本内容的基础上,尽量多用图、表来表达叙述性的内容,直观明了。

2.减少了一些理论性较强的计算与公式推导,使教材内容深入浅出、重点突出、层次分明。

3.在编写过程中理论联系实际,注重多用典型案例分析,以培养学生的综合实践能力。

4.每章后均附有复习思考题,以加强、巩固学习内容,掌握基本内容与要点。

本书主要适用于高等工科院校机械类、近机械类专业本科和专科及成人高教的通用教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

本书由新余学院李玉平教授担任主编;新余学院黄小英、陈萍;宜春学院张水香、江西理工大学南昌校区肖斌担任副主编;新余学院朱双霞、胡淑兰、张国军担任参编。

具体编写分工如下:新余学院李玉平编写了第1章、第2章、第3章,新余学院黄小英编写了第4章,新余学院胡淑兰编写了第5章,新余学院朱双霞编写了第6章,江西理工大学南昌校区肖斌、宜春学院张水香编写了第7章,新余学院张国军编写了第8章,新余学院陈萍编写了第9章。由李玉平负责全书统稿。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免会出现错误与不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者
2016年6月

目 录

绪论	1
第 1 章 工程材料	4
1.1 金属材料的力学性能	4
1.2 铁碳合金	12
1.3 钢的热处理	26
1.4 碳钢与合金钢	44
1.5 铸铁	68
1.6 有色金属	77
1.7 其他材料	82
复习思考题	89
第 2 章 铸造	92
2.1 概述	92
2.2 铸造工艺基础	93
2.3 铸造方法	104
2.4 铸造工艺设计	111
2.5 铸件结构工艺性	123
复习思考题	129
第 3 章 锻压	131
3.1 概述	131
3.2 锻压工艺基础	132
3.3 自由锻	137
3.4 模锻	147
3.5 板料冲压	156
3.6 锻压件结构设计	160
复习思考题	165
第 4 章 焊接	166
4.1 概述	166

4.2	焊条电弧焊	168
4.3	其他焊接方法	178
4.4	常用金属材料的焊接	187
4.5	焊接结构工艺设计	192
	复习思考题	197
第5章 金属切削加工基础知识		198
5.1	加工质量	198
5.2	切削运动	199
5.3	刀具材料	202
5.4	刀具切削部分的几何角度	205
5.5	金属切削过程	212
5.6	切削力	215
5.7	切削热和切削温度	218
5.8	刀具磨损和刀具寿命	220
5.9	工件材料的切削加工性	223
5.10	金属切削条件的选择	224
	复习思考题	230
第6章 机械零件表面加工		231
6.1	金属切削机床的基础知识	231
6.2	外圆表面加工	240
6.3	内圆表面加工	257
6.4	平面加工方法	272
6.5	齿轮的齿形加工	285
	复习思考题	295
第7章 特种加工		298
7.1	概述	298
7.2	电火花加工	299
7.3	电解加工	305
7.4	超声波加工	306
7.5	激光加工	308
7.6	电子束加工	309
7.7	离子束加工	310
	复习思考题	311

第 8 章 先进制造技术	312
8.1 数控加工技术.....	312
8.2 快速成型技术.....	319
8.3 超精密与纳米加工技术.....	324
8.4 工业机器人.....	329
8.5 柔性制造技术.....	332
复习思考题	337
第 9 章 机械加工工艺流程	338
9.1 工艺过程与工艺规程.....	338
9.2 典型零件机械加工工艺流程.....	351
复习思考题	361
参考文献	362

绪 论

1) 机械制造业在国民经济中的作用

机械制造业是国民经济的基础,是向其他各行业提供工具、仪器和各种机械设备的技术装备的行业。据西方工业国家统计,制造业创造了 60% 的社会财富;45% 的国民经济收入是由制造业完成的。如果没有机械制造业提供质量优良、技术先进的技术装备,那么信息技术、新材料技术、海洋工程技术、生物工程技术以及空间技术等新技术群的发展将会受到严重的制约。可以说,机械制造业的发展水平是衡量一个国家经济实力和科学技术水平的重要标志之一。

机械制造业是一个古老的产业,它自 18 世纪初工业革命形成以来,经历了一个漫长的发展过程。然而,随着现代科学技术的进步,特别是微电子技术和计算机技术的发展,使机械制造这个传统工业焕发了新的活力,增加了新的内涵。如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、成组技术(GT)、计算机数字控制(CNC)、计算机直接控制和分布式控制(DNC)、柔性制造系统(FMS)、工业机器人(ROBOT)、计算机集成制造系统(CIMS)等新技术已广泛地被人们了解、熟悉和应用。这些新技术的引进和使用,使机械制造业无论在加工自动化方面,还是在声场组织、制造精度、制造工艺方法方面都发生了令人瞩目的变化。其特点如下:

①伴随着机械制造自动化程度的提高,制造装备和测试手段的改善,机械制造精度也得到了极大的提高。从工业革命初期到现在,机械制造精度提高了几个数量级。在 18 世纪初蒸汽机发明时代,机械制造精度仅为 1 mm;19 世纪初机械制造精度也仅为 0.1 mm;19 世纪末达到 0.05 mm;到了 20 世纪 60 年代,加工精度很快提高到 0.1 μm 。目前由于测试水平的提高和市场的需要,人们正积极从事超精密加工和超微细加工的研究,其精度可达 0.005 ~ 0.01 μm ,如德国阿亨工业大学已研制出 0.01 ~ 0.02 μm 精度级的驱动系统。不少的工业国家已开始向纳米级(1 nm = 0.001 μm)加工精度冲刺,可望在不久的将来机械制造业将能实现分子级或原子级的加工精度。

②随着刀具材料的发展和变革,在近一个世纪内,切削加工速度提高了上百倍。20 世纪前,以碳素钢作为刀具材料,由于其耐热温度低于 200 $^{\circ}\text{C}$,所允许的切削速度不超过 10 m/min。20 世纪初,出现了高速钢,耐热温度为 500 ~ 600 $^{\circ}\text{C}$,可允许的切削速度为 30 ~

40 m/min。到了 20 世纪 30 年代,硬质合金开始使用,其耐热温度达到 800~1 000 ℃,切削速度很快提高到每分钟一百至数百米。随后,相继使用了陶瓷刀具、金刚石、立方氮化硼刀具,其耐热温度都在 1 000 ℃ 以上,切削速度可高达每分钟 1 000 多米。可见,现在机械制造业正沿着高速切削轨道发展。

③随着科技的发展,新的工程材料不断出现。有着工程材料切削加工性能超出了常规机械加工范围,如果仍然依靠传统用的切削加工方法是很难完成加工过程的。这就迫使人们去探索、研究新的加工方法和先进制造技术。自 20 世纪 50 年代以来人们研制出一系列的特种加工方法,如电火花加工、电解加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工、激光加工、高速水射流切割加工等。近年来,人们还对精密成形技术和快速成形技术进行了研究和探索,并成功研制出精密成形和快速成形系统及其工艺,并投入了实际应用。这些新的加工方法和成形技术的出现,突破了几百年来所沿用的传统金属切削加工局限,使机械制造业增添了新的加工方法和手段。

我国的机械制造业是在 1949 年以后才逐步建立和发展起来的,60 多年来,我国的机械制造业发展十分迅速,已成为一个规模宏大、门类齐全和具有一定技术基础的产业部门,为我国国民经济的发展作出了巨大的贡献。然而,由于我国的机械制造工业长期在计划经济体制下运行,与工业发达国家相比,还存在着阶段性的差距,主要表现在机械产品品种少、档次低、制造工艺落后、装备陈旧,专业生产水平低,技术开发能力不够强,科技投入少,管理水平落后等。特别是相对其他产业来说,对机械制造工业的作用认识不够,甚至有相当一段时间不够重视。近些年来,随着世界各国都把提高产业竞争力和发展高技术、抢占未来经济制高点作为科技工作的方向,对机械制造工业的重要性和作用有了进一步的认识。我国也明确提出要振兴机械工业,使之成为国民经济的支柱产业。我国机械制造工业今后的发展,除了不断提高常规机械生产的工艺装备和工艺水平外,还必须研究开发优质高效精密装备与工艺,为高新技术产品的生产提供新工艺、新装备;同时加强基础技术研究,消化和掌握引进技术,提高自主开发能力,形成常规制造技术与先进制造技术并进的机械制造工业结构。

2) 本课程的性质和研究内容

本课程是机械类及近机械类专业的一门专业基础课。

本课程研究的内容是工程材料和机械加工过程中的基础知识,具体包括工程材料,铸造、锻压、焊接、金属切削加工基础知识,机械零件表面加工、特种加工、先进制造技术及机械加工工艺规程等。考虑到后续课程安排,在教材内容处理上有所区别。“工程材料”部分以剖析铁碳合金的金相组织为基础,以介绍工程材料的性质和合理选材为重点。“铸造”“锻压”“焊接”各占有一定的篇幅,因为这方面知识是必不可少的,而且本课程前后均未安排与此有关的课程。“金属切削加工的基础知识”“机械零件表面加工”和“机械加工工艺规程”部分,则着重在“机加工实训”的基础上,把感性知识上升到理论高度,进而归纳成系统性基础知识,为后续课程打好基础。而“特种加工”和“先进制造技术”部分,则着眼于拓展知识面、提高人才培养的专业适应性。

3) 本课程的任务和要求

本课程的任务在于使学生获得机械制造过程中所必须具备的应用型基础知识和技能。

学生学习本课程后,应熟悉各种工程材料性能,并具有合理选用所需材料的能力;初步掌握和选用毛坯或零件的成型方法及机械零件表面加工方法,了解工艺规程制订的原则及特种加工、先进制造技术的概念和应用场合。

本课程实践性强,涉及知识面广。学习本课程时,除要重视基本概念、基本知识外,一定要注意理论与实践的结合,只有在实践中加深对课程内容的理解,才能将所学的知识转为技术应用能力。

第 1 章

工程材料

机械制造业中的各种产品都是由种类繁多、性能各异的工程材料通过各种加工方法制成的零件构成的。

工程材料是指固体材料领域中与工程(结构、零件、工具等)有关的材料,包括金属材料和非金属材料等,其中金属材料因具有良好的力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能,成为工程中应用广泛的材料。

本章主要介绍常用金属材料的性能以及改善其性能所采用的热处理方法,使读者掌握金属材料的成分、组织和性能之间的关系,为合理选材和制定加工工艺打下基础。

1.1 金属材料的力学性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。

①使用性能:指材料在使用过程中所表现的性能,主要包括力学性能、物理性能和化学性能。

②工艺性能:指在制造机械零件的过程中,材料适应各种冷、热加工和热处理的性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、冲压性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

金属材料的力学性能是指材料在外力作用下表现出来的性能,主要有强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

1.1.1 金属材料强度

强度是指材料在静载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。根据加载方式不同,强度指标可分为弹性极限、屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度、抗扭强度等。一般情况下,多以抗拉强度作为判别金属材料强度高低的指标。

金属材料的强度、塑性一般可以通过拉伸试验来测定。

1) 拉伸试样

拉伸试样的形状通常有圆柱形和板状两类。图 1.1 所示为圆柱形拉伸试样。在圆柱形拉伸试样中 d_0 为试样直径, l_0 为试样的标距长度,根据标距长度和直径之间的关系,试样可分为

长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)。

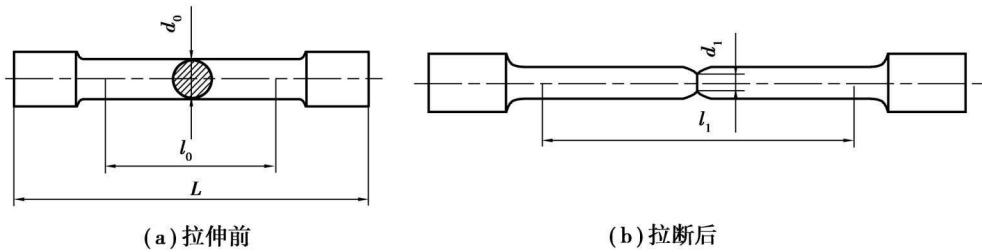


图 1.1 圆形拉伸试样

2) 拉伸曲线

试验时,将试样两端装夹在试验机的上下夹头上,随后缓慢地增加载荷,随着载荷的增加,试样逐步变形而伸长,直到被拉断为止。在实验过程中,试验机自动记录了每一瞬间载荷 F 和变形量 ΔL ,并给出了它们之间的关系曲线,故称为拉伸曲线(或拉伸图)。拉伸曲线反映了材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形和直到拉断时的力学特性。

图 1.2 为低碳钢的拉伸曲线($F-\Delta L$ 曲线)。由图可知,低碳钢试样在拉伸过程中,可分为弹性变形、塑性变形和断裂 3 个阶段。

当载荷不超过 F_p 时,拉伸曲线 OP 为一直线,即试样的伸长量与载荷成正比增加,如果卸除载荷,试样立即恢复到原来的尺寸,即试样处于弹性变形阶段。载荷在 F_p-F_e 间,试样的伸长量与载荷已不再成正比关系,但若卸除载荷,试样仍然恢复到原来的尺寸,故仍处于弹性变形阶段。

当载荷超过 F_e 后,试样将进一步伸长,但此时若卸除载荷,弹性变形消失,而有一部分变形却不能消失,即试样不能恢复到原来的长度,称为塑性变形或永久变形。

当载荷增加到 F_s 时,试样开始明显的塑性变形,在拉伸曲线上出现了水平的锯齿形的线段,这种现象称为屈服。

当载荷继续增加到某一最大值是 F_b 时,试样的局部截面缩小,产生了颈缩现象。由于试样局部截面的逐渐减少,故载荷也逐渐降低,当达到拉伸曲线上的 k 点时,试样就被拉断。

为了使曲线能够直接反映出材料的力学性能,可用应力 σ 代替载荷 F ,以应变 ε 代替伸长量 ΔL 。由此绘制成的曲线,称为应力-应变曲线($\sigma-\varepsilon$)。 $\sigma-\varepsilon$ 曲线和 $F-\Delta L$ 曲线形状相似,仅是坐标含义不同。

3) 强度

强度是指金属材料在静载荷的作用下,抵抗变形和断裂的能力。

(1) 弹性极限

金属材料在载荷作用下产生弹性变形时所能承受的最大应力称为弹性极限,用符号 σ_e 表示为

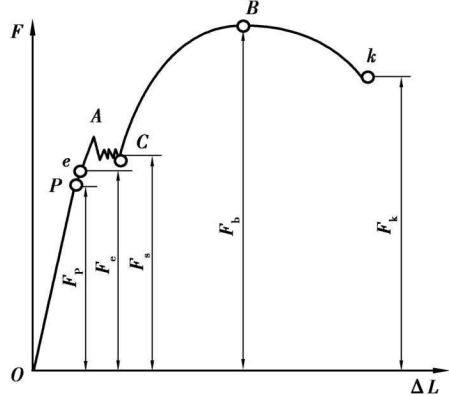


图 1.2 低碳钢拉伸曲线

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中 F_e ——试样产生弹性变形时所承受的最大载荷, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

(2) 屈服强度

金属材料开始明显塑性变形时的最低应力称为屈服强度, 用符号 σ_s 表示为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——试样屈服时的载荷, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

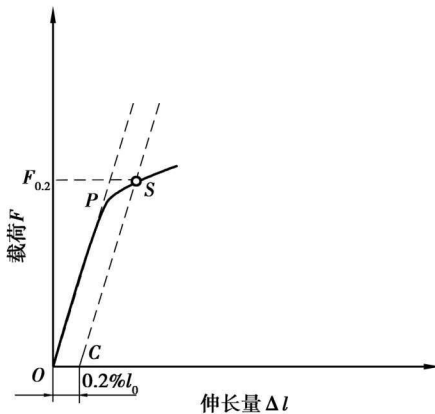


图 1.3 屈服强度测定

生产中使用的某些金属材料, 在拉伸试验中不出现明显的屈服现象, 无法确定其屈服点。因此, 国标中规定以试样塑性变形量为试样标距长度的 0.2% 时, 材料承受的应力称为“条件屈服强度”, 并以符号 $\sigma_{r0.2}$ 表示, $\sigma_{r0.2}$ 的确定方法如图 1.3 所示, 在拉伸曲线横坐标上截取 C 点, 使 $OC=0.2\%l_0$, 过 C 点作 OP 斜线的平行线, 交曲线于 S 点, 则可找出相应的载荷 $F_{0.2}$, 从而计算出 $\sigma_{r0.2}$ 。

一般情况下, 绝大多数零件(如紧固螺栓、连杆等)在使用过程中不允许发生明显的塑性变形, 否则将丧失其自身精度或与其他零件的相对配合受影响, 因此, 屈服强度是防止材料因过量塑性变

形而导致机件失效的设计和选材依据。

(3) 抗拉强度

金属材料在断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度(又称强度极限), 用符号 σ_b 表示为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大载荷, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

抗拉强度是工程上最重要的力学性能指标之一。对塑性较好的材料, σ_b 表示了材料对最大均匀变形的抗力; 而对塑性较差的材料, 一旦达到最大载荷, 材料迅速发生断裂, 故 σ_b 也是其断裂抗力(断裂强度)指标。

当零件在工作时所受应力 $\sigma < \sigma_e$ 时, 材料只产生弹性变形; 当 $\sigma_e < \sigma < \sigma_s$ 时, 材料除了产生弹性变形外, 还产生微量塑性变形; 当 $\sigma_s < \sigma < \sigma_b$ 时, 材料除了产生弹性变形外, 还产生明显的塑性变形; 当 $\sigma > \sigma_b$ 时, 零件产生裂纹, 甚至断裂。因此, 在选择、评定金属材料及设计机械零件时, 应根据零件所受的载荷不同选择不同强度极限为依据。工作中不允许有微量塑性变形的零件(如汽车板簧、仪表弹簧等), 弹性极限 σ_e 是其设计选材的主要依据。而机器零件或构件工作时, 通常不允许发生明显塑性变形, 因此多以 σ_s 作为强度设计依据。对于脆性材料,

因断裂前基本不发生塑性变形,故无屈服点而言,在强度设计时,则以 σ_b 为依据。

1.1.2 金属材料塑性

金属材料在载荷作用下,产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。常用的塑性指标有断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

1) 断后伸长率

试样拉断后,标距长度的增加量与原标距长度的百分比称为伸长率,用 δ 表示为

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原标距长度,mm;

l_1 ——试样拉断后标距长度,mm。

金属材料的断后伸长率与试样原始标距 l_0 和原始截面积 A_0 密切相关,在 A_0 相同的情况下, l_0 越长则 δ 越小,反之亦然。因此,对于同一材料而具有不同长度或截面积的试样要得到比较一致的 δ 值,或者对于不同材料的试样要得到可比较的 δ 值,必须使 $l_0/\sqrt{A_0}$ 为一常数。国家标准规定,此值为 11.3 的长试样(相当于 $l_0 = 10d_0$ 的试样)或 5.65 的短试样(相当于 $l_0 = 5d_0$ 的试样),所得的伸长率以 δ_{10} (δ_{10} 省去脚注 10)或 δ_5 表示。同种材料的 δ_5 为 δ 的 1.2~1.5 倍,所以,对于不同材料,只有 δ_5 与 δ_5 比较或 δ 与 δ 比较才是正确的。

2) 断面收缩率

试样拉断后,标距横截面积的缩减量与原横截面积的百分比称为断面收缩率,用 ψ 表示为

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

式中 A_0 ——试样原横截面积,mm²;

A_1 ——试样拉断后最小横截面积,mm²。

其中, 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, ψ 是衡量材料塑性变形能力大小的指标, δ, ψ 越大,表示材料塑性就越好。一般把 $\delta > 5\%$ 的金属材料称为塑性材料(如低碳钢等),而把 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料(如灰口铸铁等)。塑性好的材料,它能在较大的宏观范围内产生塑性变形,并在塑性变形的同时使金属材料因塑性变形而强化,从而提高材料的强度,保证了零件的安全使用。此外,塑性好的材料可以顺利地进行某些成形工艺加工,如冲压、冷弯、冷拔、校直、焊接等。因此,选择金属材料作机械零件时,必须满足一定的塑性指标。对于金属材料,塑性指标还能反映材料冶金质量的好坏,是材料生产与加工质量的标志之一。

必须指出的是图 1.2 所示的退火低碳钢拉伸曲线,是一种最典型的情形,而并非所有的材料或同一材料在不同条件下都具有相同类型的拉伸曲线。

1.1.3 金属材料硬度

硬度是指材料在表面上不大体积内抵抗局部塑性变形或破坏的能力,是表征材料性能的一个综合参数,能够反映金属材料在化学成分、金相组织和热处理状态上的变化,是检验产品质量、研制新材料和确定合理加工工艺不可缺少的检测性能方法之一。同时硬度试验是金属

力学性能试验中最简便、迅速的一种方法。

材料的硬度越高,耐磨性能越好。硬度是工具、导轨等零件选材的主要依据。硬度试验方法很多,一般可分为3类,即压入法、划痕法和回跳法。目前生产上应用最广的是静载荷压入法。在一定的载荷下,用一定几何形状的压头压入被测试的金属材料表面,根据被压入后变形程度来测试其硬度值。测定硬度的方法很多,常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度测试法。

1) 布氏硬度

布氏硬度测试原理如图 1.4 所示。它是用一定直径的钢球或硬质合金球,以相应的试验力压入试样表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,用读数显微镜测量试样表面的压痕直径。布氏硬度值 HBS 或 HBW 是试验力 F 除以压痕球形表面积 A 所得的商,即

$$\text{HBS}(\text{HBW}) = \frac{F}{A} = \frac{0.102 \times 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——压入载荷, N;

A ——压痕表面积, mm^2 ;

d ——压痕直径, mm;

D ——淬火钢球(或硬质合金球)直径, mm。

布氏硬度值的单位为 N/mm^2 ,一般情况下可不标出。

压头为淬火钢球时,布氏硬度用符号 HBS 表示,适用于布氏硬度值在 450 以下的材料;压头为硬质合金球时,用 HBW 表示,适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值,符号后面按以下顺序用数值表示试验条件:

- ①球体直径;
- ②试验力;
- ③试验力保持时间(10~15 s 不标注)。

例如,125 HBS10/1000/30 表示用直径 10 mm 淬火钢球在 $1\,000 \times 9.8$ N 试验力作用下保持 30 s 测得的布氏硬度值为 125;500 HBW5/750 表示用直径 5 mm 硬质合金球在 750×9.8 N 试验力作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 500。

目前布氏硬度主要用于铸铁、非铁金属以及经退火、正火和调质处理的钢材。

布氏硬度试验是在布氏硬度试验机上进行。当 F/D^2 的比值保持一定时,能使同一材料所得的布氏硬度值相同,不同材料的硬度值可以比较。试验后用读数显微镜在两个垂直方向测出压痕直径,根据测得的 d 值查表求出布氏硬度值。布氏硬度试验规范见表 1.1。

布氏硬度试验的优点是:测出的硬度值准确可靠,因压痕面积大,能消除因组织不均匀引起的测量误差;布氏硬度值与抗拉强度之间有近似的正比关系。

布氏硬度试验的缺点是:当用淬火钢球时不能用来测量大于 450 HBS 的材料;用硬质合金球时,也不宜超过 650 HBW;压痕大,不适宜测量成品件硬度,也不宜测量薄件硬度;测量速度慢,测得压痕直径后还需计算或查表,不适合大批量生产的零件检验。

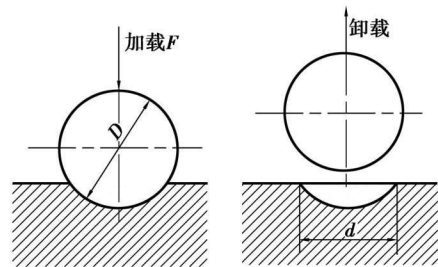


图 1.4 布氏硬度试验原理图

表 1.1 布氏硬度试验规范

材 料	硬度 HBS	试样厚度 /mm	F/D^2	D/mm	F/N	载荷保持时间/s
钢铁材料	140~450	6~3	30	10	29 400	10
		4~2		5	7 350	
		<2		2.5	1 837.5	
	<140	>6	10	10	9 800	10
		6~3		5	2 450	
		<3		2.5	612.5	
铜合金及镁合金	36~130	>6	10	10	9 800	30
		6~3		5	2 450	
		<3		2.5	612.5	
铝合金及轴承合金	8~35	>6	10	10	2 450	60
		6~3		5	612.5	
		<3		2.5	152.88	

2) 洛氏硬度

以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或一定直径的淬火钢球作压头,以规定的试验力使其压入试样表面,根据压痕的深度确定被测金属的硬度值。如图 1.5 所示,当载荷和压头一定时,所测得的压痕深度 $h = h_3 - h_1$ 越大,表示材料硬度越低,一般来说,人们习惯数值越大硬度越高。为此,用一个常数 K (对 HRC, K 为 0.2; HRB, K 为 0.26) 减去 h ,并规定每 0.002 mm 深为一个硬度单位,因此,洛氏硬度计算公式为

$$\text{HRC}(\text{HRA}) = 0.2 - h = 100 - \frac{h}{0.002}$$

$$\text{HRB} = 0.26 - h = 130 - \frac{h}{0.002}$$

根据所加的载荷和压头不同,洛氏硬度值常用的有 3 种标度,即 HRA、HRB、HRC,其中以 HRC 应用最广。表 1.2 为这 3 种标尺的试验条件和应用范围。

洛氏硬度是在洛氏硬度试验机上进行的,其硬度值可直接从表盘上读出。洛氏硬度符号 HR 前面的数字为硬度值,后面的字母表示级数。如 60 HRC 表示 C 标尺测定的洛氏硬度值为 60。

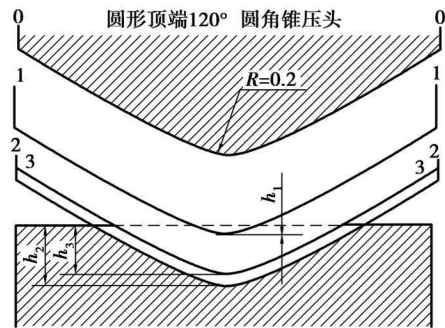


图 1.5 洛氏硬度试验原理图

表 1.2 常用洛氏硬度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	70~85 HRA	高硬度表面、硬质合金
HRB	φ1.588 mm 淬火钢球	980.7	20~100 HRB	软钢、灰铸铁、有色金属
HRC	120°金刚石圆锥体	1 471	20~67 HRC	一般淬火钢件

洛氏硬度试验操作简便、迅速,效率高,可以测定软、硬金属的硬度;压痕小,可用于成品检验。但压痕小,测量组织不均匀的金属硬度时,重复性差,通常在被测量金属不同部位测量数点,取其平均值,而且不同的标尺测得硬度值既不能直接进行比较,又不能彼此互换。

3) 维氏硬度

维氏硬度试验原理与布氏硬度相同,同样是根据压痕单位面积上所受的平均载荷计量硬度值,不同的是维氏硬度的压头采用金刚石制成的锥面夹角 α 为 136° 的正四棱锥体,如图 1.6 所示。

维氏硬度试验是在维氏硬度试验机上进行的。试验时,根据试样大小、厚薄选用 $(5 \sim 120) \times 9.8 \text{ N}$ 载荷压入试样表面,保持一定时间后去除载荷,用附在试验机上测微计测量压痕对角线长度 d ,然后通过查表或根据下式计算维氏硬度值:

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{1.854 4 \times 0.102 \times F}{d^2}$$

式中 A ——压痕的面积, mm^2 ;
 d ——压痕对角线的长度, mm ;
 F ——试验载荷, N 。

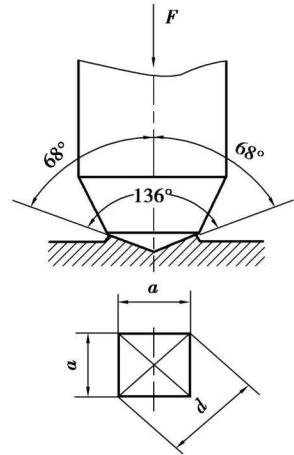


图 1.6 维氏硬度试验原理图

维氏硬度符号 HV 前是硬度值,符号 HV 后附以试验载荷。如 640 HV30/20 表示在 $30 \times 9.8 \text{ N}$ 作用下保持 20 s 后测得的维氏硬度值为 640。维氏硬度的优点是试验时加载小,压痕深度浅,可测量零件表面淬硬层,测量对角线长度 d 的误差小,其缺点是生产率比洛氏硬度试验低,不宜于成批生产检验。

不同方法在不同条件下测量的硬度值,因含义不同,其数据也不同,相互间无理论换算关系。但通过实践发现,在一定条件下存在着某种粗略的经验换算关系。如在 $200 \sim 600 \text{ HBS}$

(HBW)内, $1 \text{ HRC} \approx \frac{1}{10} \text{ HBS(HBW)}$; 在小于 450 HBS 时, $\text{HBS} \approx \text{HV}$ 。

同时,硬度和强度间有一定换算关系,由于硬度试验设备简单,操作迅速方便,又可直接在零件或工具上进行试验而不破坏工件,故可根据测得的硬度值近似估计材料的抗拉强度和耐磨性。如:

轧制钢材或锻钢件	$\sigma_b \approx (0.34 \sim 0.36) \text{ HBS}$
铸钢件	$\sigma_b \approx (0.3 \sim 0.4) \text{ HBS}$
灰口铸铁件	$\sigma_b \approx 0.1 \text{ HBS}$
铸铝件	$\sigma_b \approx 0.26 \text{ HBS}$

1.1.4 金属材料冲击韧度

生产中许多机器零件,都是在冲击载荷(载荷以很快的速度作用于机件)下工作。试验表明,载荷速度增加,材料的塑性、韧性下降,脆性增加,易发生突然性破断。因此,使用的材料就不能用静载荷下的性能来衡量,而必须用抵抗冲击载荷的作用而不破坏的能力,即冲击韧度来衡量。

目前应用最普遍的是一次摆锤弯曲冲击试验。将开缺口的标准试样放在冲击试验机的两支座上,使试样缺口背向摆锤冲击方向(见图 1.7),然后把质量为 m 的摆锤提升到 h_1 的高度,摆锤由此高度下落时将试样冲断,并升到 h_2 的高度。因此,冲断试样所消耗的功为 $A_k = mg(h_1 - h_2)$ 。金属的冲击韧度 $a_k (\text{J}/\text{cm}^2)$ 就是冲断试样时在缺口处单位面积所消耗的功,即

$$a_k = \frac{A_k}{A}$$

式中 a_k ——冲击韧度, J/cm^2 ;

A ——试样缺口处原始截面积, cm^2 ;

A_k ——冲断试样所消耗的功, J 。

冲击吸收功 A_k 值可从试验机的刻度盘上直接读出。对于一般常用钢材来说, A_k 值的大小,代表了材料的冲击韧度的高低, A_k 值越低,表示材料的冲击韧度越差。冲击韧度值也是一个十分重要的力学性能指标。

对于脆性材料(如铸铁)的冲击试验,试样一般不开缺口,因为开缺口的试样冲击值过低,难于比较不同材料冲击性能的差异。

由于测出的冲击吸收功的组成比较复杂,冲击韧度值的大小与很多因素有关。它不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织的影响,还与实验时的环境温度有关,因此有时测得的值及计算的值不能真正反映材料的韧脆性质。因此,冲击值一般作为材料选择的参考,不直接用于强度计算。

材料的冲击韧度与塑性之间有一定的联系, A_k 值高的材料,一般都具有较高的塑性指标,但塑性好的材料其 A_k 值不一定高,这是因为在静载荷作用下能充分变形的材料,在冲击载荷下不一定能迅速地进行塑性变形。

1.1.5 金属材料疲劳强度

许多机械零件是在交变应力作用下工作的,如轴类、弹簧、齿轮、滚动轴承等。虽然零件所承受的交变应力数值小于材料的屈服强度,但在长时间运转后也会发生断裂,这种现象称

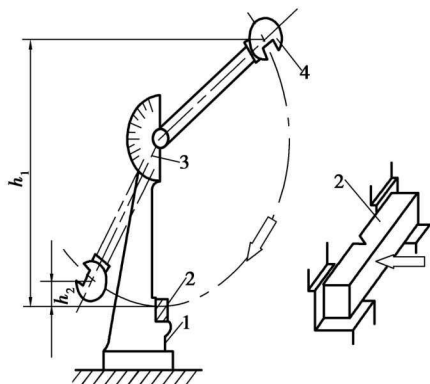


图 1.7 冲击试验原理

1—支座;2—试样;3—指针;4—摆锤