

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

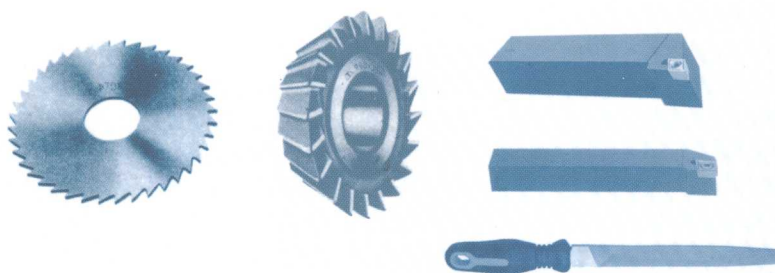
机械加工常识

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

刘治伟 主编



“工学结合”新理念
“校企合作”新模式
赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



JIXIE
JIA
GONG
CHANG
SHI

本教材是为适应“工学结合、校企合作”培养模式的要求,根据中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的中等职业教育教学计划大纲编写的。本教材主要内容包括:金属的力学性能及常用材料,钢的热处理,金属切削原理,刀具,常用的机械切削加工方法,钳工加工方法,机械加工工艺过程,典型零件的加工,先进制造技术简介等。

本教材可供中等职业技术学校、技工学校、职业高中的相关专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械加工常识/刘治伟主编. —北京:机械工业出版社,
2010.1

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-29288-3

I. 机… II. 刘… III. 机械加工—专业学校—教材 IV. TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 231636 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:荆宏智 邓振飞 责任编辑:宋亚东 版式设计:张世琴

封面设计:马精明 责任校对:纪敬 责任印制:李妍

北京汇林印务有限公司印刷厂印刷

2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.75 印张·290 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29288-3

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材 编审委员会

主 任 郝广发 季连海

副主任 刘亚琴 周学奎 何阳春 林爱平 李长江 李晓庆
徐 彤 刘大力 张跃英 董桂桥

委 员 (按姓氏笔画排序)

于 平 王 军 王兆山 王沪均 王德意 方院生
付志达 许炳鑫 杜德胜 李 涛 杨柳青 (常务)
杨耀双 何秉戌 谷希成 张 莉 张正明 周庆礼
孟广斌 赵杰士 郝晶卉 荆宏智 (常务) 姜方辉
贾恒旦 奚 蒙 徐卫东 章振周 梁文侠 喻勋良
曾燕燕 蒙俊健 戴成增

策划组 荆宏智 徐 彤 何月秋 王英杰

《机械加工常识》编审人员

主 编 刘治伟

编 者 徐晓萍 罗瑞林 黄礼周

审 者 王 巍

序

为贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神，落实文件中提出的中等职业学校实行“工学结合、校企合作”的新教学模式，满足中等职业学校、技工学校和职业高中技能型人才培养的要求，更好地适应企业的需要，为振兴装备制造业提供服务，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会共同聘请有关行业专家制定了中等职业学校6个专业10个工种新的教学计划大纲，并据此组织编写了这6个专业的“十一五”规划教材。

这套新模式的教材共近70个品种。为体现行业领先的策略，编出特色，扩大本套教材的影响，方便教师和学生使用，并逐步形成品牌效应，我们在进行了充分调研后，才会同行业专家制定了这6个专业的教学计划，提出了教材的编写思路和要求。共有22个省（市、自治区）的近40所学校的专家参加了教学计划大纲的制定和教材的编写工作。

本套教材的编写贯彻了“以学生为根本，以就业为导向，以标准为尺度，以技能为核心”的理念，以及“实用、够用、好用”的原则。本套教材具有以下特色：

1. 教学计划大纲、教材、电子教案（或课件）齐全，大部分教材还有配套的习题集和习题解答。

2. 从公共基础课、专业基础课，到专业课、技能课全面规划，配套进行编写。

3. 按“工学结合、校企合作”的新教学模式重新制定了教学计划大纲，在专业技能课教材的编写时也进行了充分考虑，还编写了第三学年使用的《企业生产实习指导》。

4. 为满足不同地区、不同模式的教学需求，本套教材的部分科目采用了“任务驱动”形式和传统编写方式分别进行编写，以方便大家选择使用；考虑到不同学校对软件的不同要求，对于《模具CAD/CAM》课程，我们选用三种常用软件各编写了一本教材，以供大家选择使用。

5. 贯彻了“实用、够用、好用”的原则，突出“实用”，满足“够用”，一切为了“好用”。教材每单元中均有教学目标、本章小结、复习思考题或技能练习题，对内容不做过高的难度要求，关键是使学生学到干活的真本领。

本套教材的编写工作得到了许多学校领导的重视和大力支持以及各位老师的热烈响应，许多学校对教学计划大纲提出了很多建设性的意见和建议，并主动推荐教学骨干承担教材的编写任务，为编好教材提供了良好的技术保证，在此对各个学校的支持表示感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在某些缺点或不足，敬请读者批评指正。

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组编

前 言

《机械加工常识》是中等职业学校机电类专业的主要专业基础课教材。内容有：金属的力学性能及常用材料；钢的热处理；金属切削原理，刀具；常用的机械切削加工方法；钳工加工方法；机械加工工艺流程；典型零件的加工；先进制造技术简介。

本教材是根据社会对机电类专业人才的需要，结合我们的教学实践，按照中等职业教育教学改革的形势和任务，为贯彻“素质教育为基础，能力为本位”的教学指导思想编写的。

国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定给职业教育的改革发展带来新的机遇，也对职业学校的教材编写提出了更严格的要求，本着突出应用性及实践性原则，我们编写了此书。编写的指导思想有以下几方面：教材体系结构和内容方面的适应性、科学性、实用性、创新性和先进性。

1) 在每章节内容的编写体系上，一切从学习培养目标出发，在每章开始前提出了“教学目标、重点、难点”，每章结尾归纳出“本章小结”，并附有“复习思考题”，便于学生把握重点和掌握所学的知识。

2) 在教材内容的处理上，注重应用，拓宽知识面，紧密结合生产实践，由浅入深，依次介绍，力求条理清晰，删除不必要的理论和推导，便于组织教学和自学。

3) 本书既可作为中等职业学校的教材，又可作为在职职工岗位培训和自学用书，也可作为各级各类学校机电类专业教学的参考用书，兼顾不同学员和不同地区，有很好的适应性。

本书由广西机械高级技工学校的刘治伟主编，该校的徐晓萍、黄礼周、罗瑞林参加编写，具体分工如下：徐晓萍编写第一、二章，黄礼周编写第三、四章，刘治伟编写第六、九章，罗瑞林编写第五、七、八章。全书由武汉技师学院王巍审阅。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳切希望有关专家和读者批评指正。

编 者

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一章 金属的力学性能及常用材料	2
第一节 金属的力学性能	2
第二节 碳素钢	11
第三节 合金钢	15
第四节 铸铁	19
第五节 非金属材料简介	23
本章小结	25
复习思考题	26
第二章 钢的热处理	27
第一节 热处理的概念	27
第二节 钢的退火和正火	32
第三节 钢的淬火	33
第四节 钢的回火	36
第五节 钢的表面热处理	37
本章小结	40
复习思考题	40
第三章 金属切削原理	41
第一节 金属切削过程	41
第二节 切削用量及其选择	44
第三节 切削力	45
第四节 切削热	47
第五节 切削液	49
本章小结	53
复习思考题	53
第四章 刀具	54
第一节 刀具材料应具备的性能及种类	54
第二节 刀具的切削角度	55
第三节 金属切削刀具	58
本章小结	73
复习思考题	73
第五章 常用的机械切削加工方法	75
第一节 车削	75
第二节 铣削	82
第三节 刨削、插削、拉削	89
第四节 磨削	93
本章小结	98
复习思考题	98
第六章 钳工加工方法	100
第一节 钳工的概念及工作内容	100
第二节 划线工具及划线方法	100
第三节 錾削工具及錾削方法	102
第四节 锯削工具及锯削方法	106
第五节 锉削工具及锉削方法	108
第六节 钻孔、铰孔方法	111
第七节 螺纹加工	116
第八节 装配基础知识	118
本章小结	120
复习思考题	120
第七章 机械加工工艺过程	122
第一节 概述	122
第二节 定位基准的选择	125
第三节 工艺路线的拟定	129
第四节 毛坯选择	133
第五节 加工余量和工序尺寸 及其公差确定	134
第六节 制定工艺规程的技术 依据和步骤	140
本章小结	144
复习思考题	144
第八章 典型零件的加工	145
第一节 轴类零件的加工	145
第二节 套类零件的加工	150
第三节 箱体类零件的加工	154
本章小结	160
复习思考题	161
第九章 先进制造技术简介	163
第一节 先进制造技术概述	163
第二节 先进加工技术简介	167
第三节 柔性制造系统技术简介	177
本章小结	181
复习思考题	181
参考文献	182

绪 论

一、学习本课程的目的

机械产品从定货、设计、制定工艺文件到生产计划，从原材料投入到成品制出，要经历一个复杂的生产过程，其中的基本过程就是工艺过程。它直接用来改变生产对象的性质、形状和尺寸。产品的生产过程是连续的、完整的。工人要提高工作效率，保证产品质量，就必须全面了解产品的生产过程及加工常识，深刻认识某工种与相邻工种以及其他相关工种之间的联系和区别，明确同一工艺过程中各加工工序的加工特点、加工范围和加工方法，不断提高技术水平。

二、本课程的基本内容

本课程主要由以下九个部分组成。

(1) 金属的力学性能及常用材料 介绍金属材料常用的力学性能指标及其测定方法，以及机械零件最常用的材料碳素钢、合金钢、铸铁的种类、牌号、性能及用途。

(2) 钢的热处理 介绍钢在加热和冷却时的转变，转变产物的组织形态和性能，以及常用热处理方法（退火、正火、淬火、回火）的目的、工艺特点和应用。

(3) 金属切削原理 介绍金属切削加工的基本概念、切削用量、切削力、切削热、常用切削刀具及寿命等基础知识。

(4) 刀具 介绍刀具材料应具备的性能及种类，刀具的切削角度和常用车刀、钻头的结构等。

(5) 常用的机械切削加工方法 介绍常用的车、铣、刨、拉、插、磨等机械切削加工所使用的设备、刀具及加工方法、工艺特点。

(6) 钳工加工方法 介绍钳工加工的基本操作和设备装配的基础知识。

(7) 机械加工工艺过程 介绍机械加工工艺过程的基本知识、机械加工工艺规程编制步骤。

(8) 典型零件的加工 介绍轴类、套类、箱体类等典型零件的加工方法及特点。

(9) 先进制造技术简介 介绍先进制造技术的概念、常用的几种先进加工技术及柔性制造系统技术。

三、本课程的特点及学习方法

本课程针对产品生产的工艺过程，比较全面而简略地介绍了有关知识和方法。学习本课程时，在内容上既要注意理解基本概念和基本原理，又要注意掌握工艺特点，逐步熟悉常用技术名词、符号、技术术语。对于有些工艺知识，尚需在有关后续课程和技能训练中加深和提高。每章后的复习思考题有些是学习阅读教材的引伸，有些是综合应用，有些就是生产实际问题的内容。因此，要及时、认真地完成，逐步培养学生灵活运用所学知识分析和解决问题以及独立工作的能力。

第一章 金属的力学性能及常用材料

- 教学目标**
1. 了解常用金属材料在机械制造中的作用。
 2. 了解力学性能是选用金属材料的主要依据。
 3. 了解常用非金属材料的分类、性能及用途。
 4. 熟练掌握金属材料的力学性能。
 5. 掌握碳素钢的牌号、性能和用途。
 6. 掌握合金钢的牌号、性能、主要用途及常用的热处理方法。
 7. 掌握铸铁的组织、分类、牌号、性能及主要用途。

- 教学重点**
1. 金属力学性能的基本概念。
 2. 强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度的基本概念以及各种力学性能的测量方法和衡量指标。
 3. 常用金属材料（碳素钢、合金钢、铸铁）的分类、牌号、性能、热处理及用途。
 4. 常用非金属材料的分类、性能及用途。

- 教学难点**
1. 对拉伸曲线各阶段的分析。
 2. 钢中存在的合金元素对其性能的影响。
 3. 铸铁的石墨化及影响因素等。

第一节 金属的力学性能

在机械设备及工具的设计制造中，选用金属材料时，大多以力学性能为主要依据，故熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

所谓力学性能是指金属材料在外载荷作用下所表现出来的性能。材料在不同的载荷状态下会呈现不同的特性，常用的力学性能有：强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同，分为：

- 1) 静载荷——是指大小不变或变化过程缓慢的载荷。
- 2) 冲击载荷——是指在短时间内以较高的速度作用于零件上的载荷。
- 3) 交变载荷——是指大小和方向随时间发生周期性变化的载荷。

根据作用形式不同，载荷又可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等。

金属材料受载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形两种。弹性变形是随载荷的去除而消失的变形；塑性变形是不能随载荷的去除而消失的变形，也称为永久变形或残余变形。

金属材料在受外力作用时，为了保持其不变形，在材料内部会作用着与外力相对抗的力，称为内力。而单位面积上的内力称为应力，用 σ_s 表示

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 σ_s ——应力 (Pa), $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$, 当面积单位是 mm^2 时, 则应力可用 MPa 为单位, $1\text{MPa}=1\text{N}/\text{mm}^2=10^6\text{Pa}$;

F_s ——外力 (N);

S_0 ——受载横截面积 (m^2)。

一、强度

金属在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。强度的大小通常用应力来表示。根据外力作用方式不同, 可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等。当承受拉力时, 强度特性指标主要是屈服强度和抗拉强度, 通常采用拉伸试验测定。

1. 拉伸试样

拉伸试样的形状一般分为圆形和矩形两类。试验前, 将被测金属材料按国标 GB/T 228—2002 规定制成一定形状和尺寸的拉伸试样。图 1-1 所示为标准拉伸试样, 其中 d_0 为试样的原始直径 (mm), L_0 为试样的原始标距长度 (mm)。拉伸试样分为长试样 ($L_0=10d_0$) 和短试样 ($L_0=5d_0$) 两种。

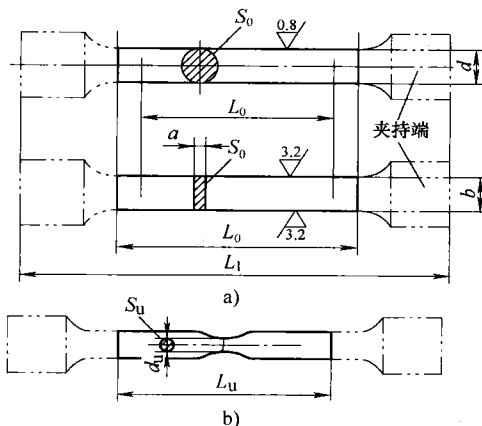


图 1-1 圆形拉伸试样图

a) 拉伸前 b) 拉伸后

2. 拉伸曲线

拉伸试验时, 将标准试样装夹在拉伸试验机上, 缓缓加载 (静载荷), 随着载荷的不断增加, 试样的伸长量也逐渐增加, 直至试样被拉断为止。根据拉伸试验过程中的载荷大小和对应的伸长量关系, 可给出金属材料的拉伸曲线图。图 1-2 所示是低碳钢的拉伸曲线, 图中纵坐标表示力 F , 单位为 N; 横坐标表示伸长量 Δl , 单位为 mm。图中明确地表示出了下面几个变形阶段。

(1) Oe ——弹性变形阶段 试样的伸长量与外加载荷成比例增加, e 点是弹性变形的极限点。此时如果卸除载荷, 试样能恢复到原来的形状和尺寸。在弹性变形阶段, 试样的变形量 Δl 与载荷 F 成正比。

(2) es ——屈服阶段 当载荷超过 F_e 时, 试样除了产生弹性变形外, 还开始出现塑性变形 (或称永久变形), 即卸除载荷后, 试样不能恢复到原来的形状和尺寸。当载荷增加到

F_s 时, 在曲线上开始出现水平线段, 即表示虽然载荷没有增加, 试样却继续伸长, 这种现象称为屈服。 s 点称为屈服点。

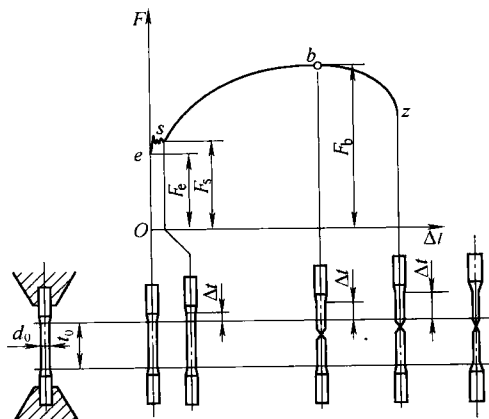


图 1-2 低碳钢的拉伸图

(3) sb ——强化阶段 屈服后, 材料开始出现明显的塑性变形。随塑性变形增大, 试样变形抗力也逐渐增加 (形变强化)。此阶段试样的变形是均匀发生的。 F_b 为试样拉伸试验时的最大载荷。

(4) bz ——缩颈阶段 当载荷继续增加到最大值 F_b 时, 试样的局部直径变小, 通常称为“缩颈”现象。此时载荷也就逐渐降低 (由于试样缩颈处横截面积减小的缘故)。

3. 强度指标

(1) 屈服强度 金属材料产生屈服现象时的最小应力值称为屈服强度, 用符号 σ_s (MPa) 表示:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_s ——试样屈服时的最小载荷 (N);

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

屈服强度是表示金属材料抵抗微量塑性变形的能力。当材料所受应力低于屈服强度时, 仅有微量塑性变形产生; 超过屈服强度时, 将产生明显的塑性变形。

有些金属材料 (如高碳钢、铸铁等) 在拉伸试验中没有明显的屈服现象, 若要测定其屈服强度是很困难的。在这种情况下, 工程上规定此试样的塑性变形量为试样原始标距长度的 0.2% 时的应力值, 称为条件屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ (MPa) 表示:

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样塑性变形量为试样原始标距长度的 0.2% 时的载荷 (N)。

屈服强度 σ_s 和条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 都是衡量金属材料塑性变形抵抗力的指标。屈服强度 σ_s 和条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 值越大, 允许的工作应力也越大, 则零件的截面尺寸及自身质量就可以减小。因此, 材料的屈服强度是机械设计的主要依据, 也是评定金属材料力学性能的重要指标。

(2) 抗拉强度 材料被拉断前所能承受的最大载荷的应力值称为抗拉强度, 用符号 σ_b

(MPa) 表示。计算公式如下：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-4)$$

式中 F_b ——试样拉断前所承受的最大载荷 (N)。

抗拉强度是表示金属材料抵抗最大均匀塑性变形或断裂的能力。有些材料在达到抗拉强度时已产生了大量的塑性变形，这种情况在实际使用时是不允许的。故在设计和选材时不宜用抗拉强度作为直接的计算依据。因抗拉强度较容易测定，且它还与其他性能（硬度、疲劳强度等）之间存在着一定的关系，所以 σ_b 仍作为衡量材料强度的重要指标。

在工程中不仅要求金属材料具有高的 σ_b ，并且具有一定的屈强比 σ_s/σ_b 。屈强比越小，零件的可靠性越高，万一超载，也能由于塑性变形而不致突然破坏。但是如果比值太小，则材料强度的有效利用率过低。因此，一般仍希望屈强比高一些。

二、塑性

金属材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的性能称为塑性。在断裂之前，材料的塑性变形越大，表示它的塑性越好；反之则表示其塑性差。塑性的大小用断后伸长率和断面收缩率来表示，它们也是通过对试样进行拉伸试验来测量的。

1. 断后伸长率

试样断后标距伸长量与原始标距长度的百分比称为断后伸长率，用符号 δ 表示，即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 L_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm)；

L_0 ——试样原始标距长度 (mm)。

必须指出，断后伸长率的大小与试样的尺寸有关。短试样的断后伸长率用符号 δ_5 表示，长试样的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示，也常写成 δ 。但对不同材料的断后伸长率进行比较时，必须制成尺寸相同的标准试样。

2. 断面收缩率

试样拉断后，其横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率，用符号 ψ 表示，即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 S_0 ——试样的原始截面积 (mm²)；

S_1 ——试样断口处的横截面积 (mm²)。

断后伸长率和断面收缩率都是材料的重要性能指标。它们的数值越大，材料的塑性越好。金属材料塑性的好坏，对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。塑性好的材料可通过塑性变形加工成复杂形状的零件。例如工业纯铁的 δ 可达到 50%， ψ 可达到 80%，可以拉制细丝、轧制薄板等。而铸铁的 δ 几乎为零，所以不能进行塑性变形加工。

三、硬度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力，即抵抗局部塑性变形的能力。一般来说，硬度越高，耐磨性越好，强度也越高。

硬度是各种零件和工具必须具备的性能指标，机械制造业所用的刀具、量具、模具等，

都应具备足够的硬度，才能保证使用性能和寿命。因此，硬度是金属材料重要的力学性能之一。在目前生产中，测量硬度最常用的是压入硬度法。它是用一定几何形状的压头，在一定载荷下，压入被测试的金属材料表面，根据被测金属被压入后的变形程度来测定其硬度值的。最常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度试验法。

1. 布氏硬度

(1) 布氏硬度的测试原理 布氏硬度的测试原理是用一定直径 D 的压头（硬质合金球体），在规定的载荷作用下压入被测金属表面，如图 1-3 所示。经规定保持时间后卸除载荷，即得到一直径为 d 的压痕，用载荷除以压痕表面积所得之值即为布氏硬度值，用符号 HBW（用硬质合金球作压头）表示。

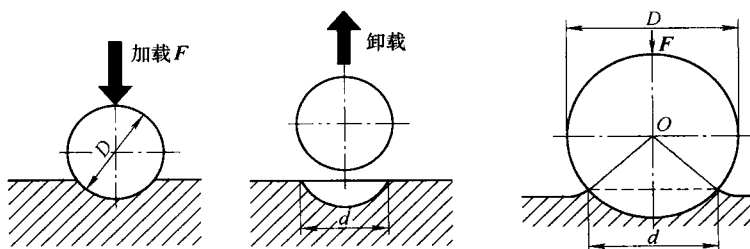


图 1-3 布氏硬度试验原理图

计算公式如下

$$\text{HBW} = \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-7)$$

式中 F ——施加载荷 (N)；

S ——球面压痕表面积 (mm^2)；

D ——球体直径 (mm)；

d ——压痕平均直径 (mm)。

由上式可知，当载荷和压头球体直径 D 一定时，布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关。 d 越小，布氏硬度值越大，也就是硬度越高。反之 d 越大，布氏硬度值越小，硬度也越低。

在实际应用中，通常布氏硬度值是不标注单位的，也不需要计算，直接采用查表法。试验时用刻度放大镜测出压痕直径 d 后，通过计算和查布氏硬度表得出相应的硬度值。

(2) 布氏硬度的表示方法 布氏硬度的表示方法由硬度数值、硬度符号、试验条件（球体直径、载荷大小和载荷保持时间）组成。例如：530HBW5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球，在 7.355kN 的试验力作用下，保持 10~15s（可省略不标）时测得的布氏硬度值为 530。

(3) 应用范围及优缺点 布氏硬度主要适用于测定灰铸铁、有色金属、各种低碳钢等硬度不是很高的材料。

布氏硬度的优点是具有很高的测量精度，因球体直径大，压痕直径也大，能较真实地反映出金属材料的平均性能，故试验结果稳定、准确。另外，由于布氏硬度与抗拉强度之间存在着一定的近似关系，故在工程上得到广泛应用。

布氏硬度的缺点是操作时间长，测量不同材料的硬度时需要不同压头和试验力，压痕测量较费时；当测量高硬度材料时，因球体变形会使测量结果不准确。又因其压痕较大，不宜

测量成品及薄件。

2. 洛氏硬度

(1) 洛氏硬度测试原理 采用顶角为 120° 金刚石圆锥体压头或直径为 1.588mm 的淬火钢球压头，在初载荷与初、主载荷先后作用下，将压头压入被测金属表面，经保持规定的时间后卸除主载荷，根据残留压痕深度来确定金属的洛氏硬度值。压痕越深，硬度越低。

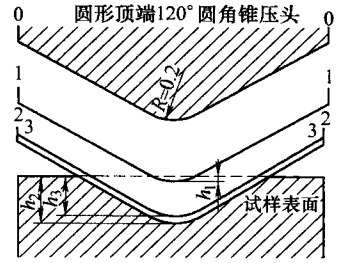


图 1-4 洛氏硬度试验原理

图 1-4 是用金刚石压头进行洛氏硬度试验的示意图。0-0 为金刚石圆锥体压头的初始位置，即压头没有与被测金属表面接触时的位置；1-1 是在初载荷 98.07N 作用下，压头压入深度为 h_1 处的位置；2-2 为加入主载荷后，压头压入深度为 h_2 ；3-3 为卸除主载荷后，被测金属弹性变形恢复，使得压头向上回升至深度为 h_3 的位置，故 $h = h_3 - h_1$ 。洛氏硬度值就由 h 的大小来确定，压入深度 h 越大，硬度越低；反之，则硬度越高。为适应习惯上数值越大，硬度越高的概念，采用一个常数 K 减去 $h/0.002$ 作为硬度值。洛氏硬度用符号 HR 表示，可以直接从硬度计的表盘上读出，无单位。

$$\text{HR} = K - \frac{h}{0.002} \quad (1-8)$$

式中 K ——常数，用金刚石圆锥体压头试验时 K 为 0.2mm ，用钢球压头试验时 K 为 0.26mm ；

h ——压痕深度 (mm)。

(2) 洛氏硬度的分类及适用范围 常用的洛氏硬度标尺分 A、B、C 这三种，每一种标尺用一个字母在 HR 后面加以注明。表 1-1 即为这三种标尺的试验条件和适用范围。

表 1-1 常用洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围

硬度标尺	压头类型	总载荷 F/N	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120° 金刚石圆锥体	1471.0	20~67HRC	淬火钢、调质钢等
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 钢球	980.7	25~100HRB	低碳钢、退火、正火钢、有色金属等
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4	60~85HRA	硬质合金、表面淬火、渗碳等

各种不同标尺的洛氏硬度值不能直接进行比较，但可用试验测定的换算表相互比较。

洛氏硬度表示的方法是在符号 HR 前面写出硬度值。HR 后面的字母表示不同洛氏硬度的标尺，如 45HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 45。

(3) 优缺点 洛氏硬度试验的优点是操作简单迅速，能直接从刻度盘上读出硬度值；压痕较小，可测成品件及较薄工件的硬度；测试的硬度值范围大，可测从很软到很硬的金属材料。其缺点是压痕小，当材料的内部组织不均匀时，硬度数据波动较大，测量值的代表性差，通常需要在被测金属的不同部位测量数点，取其平均值作为金属材料的硬度。

3. 维氏硬度

维氏硬度试验原理基本上和布氏硬度试验相同。将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，用测量压痕对角线的长度来计算硬度，如图 1-5 所示。维氏硬度用符号 HV 表示。计算公式如下

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1-9)$$

式中 F ——试验力 (N);

d ——压痕两对角线长度算术平均值 (mm)。

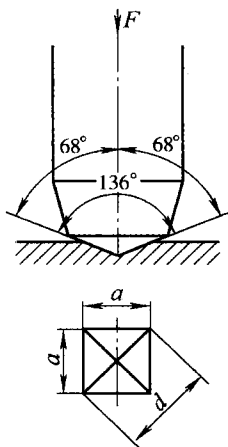


图 1-5 维氏硬度试验原理图

在实际工作中, 维氏硬度值同布氏硬度值一样, 不用计算, 而是根据压痕对角线长度从表中直接查出。维氏硬度值表示方法与布氏硬度值相同, 如 640HV30 表示用 294.2N 试验力, 保持 10~15s (可省略不标), 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度值因试验时所加的力小, 压入深度较浅, 故可测量较薄的材料; 也可测量表面渗碳、渗氮层的硬度。因维氏硬度值具有连续性 (10~1000HV), 故可测定很软到很硬的各种金属材料的硬度, 且准确性高。其缺点是测量压痕对角线的长度较复杂; 压痕小, 对试件表面质量要求较高。

四、冲击韧度和疲劳

1. 冲击韧度

许多机械零件和工具常常都是在冲击载荷作用下工作的, 如活塞销、锤杆、冲模和锻模等。由于冲击载荷的加载速度快, 作用时间短, 使用金属在承受冲击时, 应力分布与变形很不均匀。故在设计承受冲击载荷的零件时, 除了需要满足静载荷作用下的强度、塑性和硬度外, 还必须使之具有足够的抵抗冲击载荷的能力。

金属材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力称为冲击韧度。目前, 常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料的冲击韧度。

(1) 冲击试样 冲击试样的类型很多, 必须采用标准试样, 可根据国家标准有关规定来选择。常用的试样有 10mm×10mm×55mm 的 U 型缺口和 V 型缺口试样, 其尺寸如图 1-6 和图 1-7 所示。

(2) 冲击试验原理及方法 冲击试验是利用能量守恒原理, 试样被冲断过程中吸收的能量等于摆锤冲击试样前后的势能差。

冲击试验过程如下。

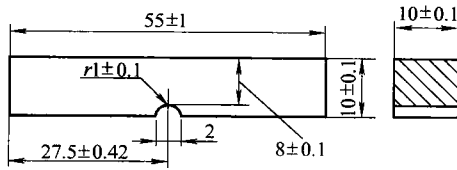


图 1-6 U 型缺口试样

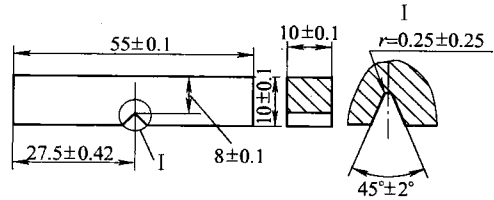


图 1-7 V 型缺口试样

将带有缺口的试样安放在试验机的机架上，放置时试样缺口应背向摆锤的冲击方向，如图 1-8a 所示；再将具有一定重力 G 的摆锤举至一定的高度 H_1 ，如图 1-8b 所示，使其获得一定的势能 GH_1 ，随后使摆锤自由落下将试样冲断。摆锤的剩余势能为 GH_2 。试样破断所吸收的能量即是摆锤冲击试样所做的功，称为冲击吸收功，用符号 A_k 表示，单位为 J。其计算公式如下

$$A_k = GH_1 - GH_2 = G(H_1 - H_2) \quad (1-10)$$

式中 A_k ——冲击吸收功 (J)；

G ——摆锤的重量 (N)；

H_1 ——摆锤举起的高度 (m)；

H_2 ——冲断试样后，摆锤回升的高度 (m)。

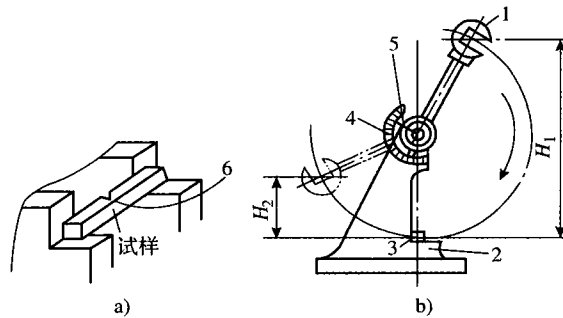


图 1-8 冲击试验示意图

a) 试样 b) 冲击仪器

1—摆锤 2—机架 3—试样 4—刻度盘 5—指针 6—冲击方向

冲击吸收功 A_k 除以试样缺口处截面积 S_0 ，即可得到材料的冲击韧度值，用符号 a_k 表示，其计算公式如下

$$a_k = \frac{A_k}{S_0} \quad (1-11)$$

式中 a_k ——冲击韧度 (J/cm^2)；

A_k ——冲击吸收功 (J)；

S_0 ——试样缺口处截面积 (cm^2)。

由上式可知：冲击吸收功越大，表示材料的冲击韧度越大，反之亦然。

(3) 小能量多次冲击试验 承受冲击载荷的机械零件，很少因一次大能量冲击而遭破

坏，如凿岩机风镐上的活塞、冲模的冲头等。它们的破坏是由于多次冲击损伤的积累，导致裂纹的产生与扩展，完全不同于一次冲击的破坏过程。

一次冲击韧度高的材料，小能量多次冲击抗力不一定高，反之也一样。如大功率柴油机曲轴是用孕育铸铁制成的，它的冲击韧度接近于零，而在长期使用中未发生断裂。故需要采用小能量多次冲击试验来检验这类金属的抗冲击性能。

金属材料受大能量的冲击载荷作用时，其冲击抗力主要取决于冲击韧度 a_K 的大小，而在小能量多次冲击条件下，其冲击抗力主要取决于材料的强度和塑性。

2. 疲劳强度

(1) 疲劳的概念 许多机械零件，如发动机曲轴、齿轮、轴承、弹簧等，经常会受到大小和方向作周期性变化的载荷作用。这种随时间作周期性变化的应力称为交变应力（也称循环应力）。在交变应力作用下，虽然零件所承受的应力低于材料的屈服点，但经较长时间的工作后产生裂纹或突然发生完全断裂的现象称为金属的疲劳。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计，有 80% 以上的机械零件失效属于疲劳破坏，而且在疲劳破坏前没有明显的变形，所以疲劳破坏经常造成重大事故。

(2) 疲劳破坏的特征 尽管疲劳载荷有各种不同的类型，但疲劳破坏有以下共同特点：

- 1) 疲劳断裂时并没有明显的宏观塑性变形，断裂前没有预兆，而是突然地破坏；
- 2) 引起疲劳断裂的应力很低，常低于材料的屈服点；
- 3) 疲劳破坏的宏观断口是由疲劳裂纹的发源地及扩展区和最后断裂区组成的。

机械零件之所以产生疲劳断裂，是由于材料表面或内部有缺陷（夹杂、划痕、尖角等）。这些地方的局部应力大于屈服点，从而产生局部塑性变形而导致开裂。

(3) 疲劳曲线和疲劳极限 疲劳曲线是指交变应力与循环次数的关系曲线，如图 1-9 所示。曲线表明，金属承受的交变应力越小，则断裂前的应力循环次数 N 越多，反之 N 越少。

由图 1-9 可以看出，当应力达到 σ_s 时，曲线与横坐标平行，表示应力低于此值时，试样可以经受无数周期循环而不被破坏，此应力值称为材料的疲劳强度。疲劳强度是金属材料在无限多次交变应力作用下而不被破坏的最大应力。显然疲劳强度的数值越大，材料抵抗疲劳破坏的能力越强。当应力为对称循环时，如图 1-10 所示，疲劳强度用符号 σ_{-1} 表示。

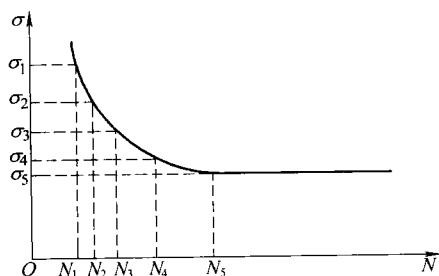


图 1-9 疲劳曲线示意图

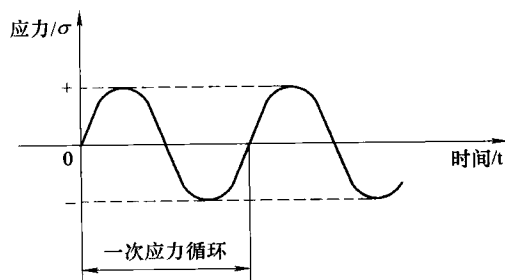


图 1-10 对称循环应力图

金属的疲劳强度受到很多因素的影响，如工作条件、表面状态、材料成分、组织及残留内应力等。改善零件的结构形式，降低零件表面粗糙度值及采取各种表面强化的方法，都能提高零件的疲劳极限。

常用力学性能指标及其含义见表 1-2。

表 1-2 常用的力学性能指标及其含义

力学性能	性能指标			含 义
	符 号	名 称	单 位	
强度	$\sigma_b^{\text{①}}$	抗拉强度	MPa	试样拉断前所能承受的最大应力
	$\sigma_s^{\text{①}}$	屈服强度	MPa	拉伸过程中，试样产生屈服时的应力
	$\sigma_{0.2}^{\text{①}}$	条件屈服强度	MPa	规定残留断后伸长率达 0.2% 时的应力
塑性	$\delta^{\text{①}}$	伸长率	%	标距的伸长与原始标距的百分比
	ψ	断面收缩率	%	缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比
硬度	HBW	布氏硬度值		球形压痕单位面积上所承受的平均压力
	HRC	C 标尺洛氏硬度值		用洛氏硬度相应标尺刻度满程与压痕深度之差计算的硬度值
	HRB	B 标尺洛氏硬度值		
	HRA	A 标尺洛氏硬度值		正四棱锥形压痕单位表面积上所承受的平均压力
	HV	维氏硬度值		
韧性	$\alpha_K^{\text{①}}$	冲击韧度	J/cm ²	冲击试样缺口处单位横截面积上的冲击吸收功
疲劳强度	$\sigma_{-1}^{\text{①}}$	疲劳极限	MPa	试样随无数次对称循环应力仍不断裂的最大应力

①考虑到 GB/T 228—2002 新标准不是整个力学量的标准，易造成力学量的符号、名称体系上的不一致，故本书暂时执行旧标准 GB/T 228—1987。

第二节 碳 素 钢

碳的质量分数小于 2.11% 的，且不含有特意加入合金元素的铁碳合金称为碳素钢，简称碳钢。碳素钢具有良好的力学性能和工艺性能，且冶炼方便，价格便宜，故在机械制造、建筑、交通运输等许多工业部门中得到广泛应用。

一、常存元素对钢性能的影响

碳素钢中除铁和碳两种元素外，还含有少量硫、磷、锰、硅等元素，它们的存在会对钢的性能产生影响。

(1) 硅 是炼钢时以硅铁作脱氧剂加入钢中的。硅能溶于铁素体，提高钢的强度和硬度，故硅在钢中是有益元素。

(2) 锰 是炼钢时作为脱氧剂加入钢中的。锰也可溶于铁素体和渗碳体中，使钢的强度和硬度提高。此外，锰能与硫形成 MnS，减轻硫对钢的危害，故锰也是钢中的有益元素。

(3) 硫 是由铁矿石带入钢中的。它在钢中与铁生成化合物 FeS，造成热脆现象，故硫是钢中的有害元素。

(4) 磷 是由铁矿石带入钢中的。磷部分溶解在铁素体中形成固溶体，部分在结晶时形成脆性很大的化合物 (Fe₃P)，使钢产生冷脆性，故磷在钢中是有害元素。

钢中的硫和磷是有害元素，应严格控制它们的含量。但在易切削钢中，适当地提高硫、磷的含量，增加钢的脆性，对切削时形成断裂切屑有利，能提高切削效率和延长刀具寿命。

二、碳素钢分类

1. 按钢中碳的质量分数分类

(1) 低碳钢 $w_{(C)} \leq 0.25\%$