

前 摇 摇 言

为实现高等教育发展的大众化,近十年来,我国高等职业技术教育发展速度迅猛,并随着我国与国际接轨步伐的加快,培养大批具有高级技能的高职人才成为当务之急。高职人才教育是培养综合能力很强的银领型人才,即培养直接在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备调试等的高级技能人才。这类人才要求具备扎实的理论基础与较强的实际动手能力。

为了适应职业教育发展的需要,1999年我们编写了《机械基础》一书,几年来,使用效果反映很好。考虑到读者在使用过程中反映的问题和提出的建议,为了使教材内容更加完善,作者征求了各方面的意见,对第一版的部分内容做了修订。

本次修订的宗旨是使原版教材系统性更强,逻辑更严密,理论知识的介绍更加准确和科学。为此,我们对原版教材的结构稍做了调整,将原来的“极限与配合基础”一章由第 1 章调到了第 9 章;对一些理论知识的介绍及其相关例题进行了完善,更正了原版教材中存在的一些错误;另外,对部分章节增加了习题量,使读者能够通过更多的应用更好地掌握理论知识。本教材适用于高职高专院校电类、近机械类专业“机械基础”课程的教学,也适用于工商管理、自动控制、外语翻译等专业人才对机械基础知识的补充与学习。

本书由武汉职业技术学院周家泽副教授主编,并对全书重新做了修订和统稿;参加编写的有武汉职业技术学院吴爱群副教授、艾小玲副教授;全书由郑州工业高等专科学校孟逵副教授主审。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,欢迎同行及广大读者提出批评和改进意见,以期共同推进高职教材的改革。

编 摇 者

1999年 源月

第一版前言

为适应现代科学技术和社会经济发展的需求,我国近几年高等技术教育的发展方兴未艾,速度迅猛。高职人才是培养实际能力很强的应用型人才,培养直接在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备的调试与应用的高级技术应用型人才。这类人才要求有较强的理论应用能力与实际动手能力,有较宽较广的知识面,具有机、电的基础知识,而老教材已经不适应当今高职人才培养的需求。

为适应这种形势发展的需要,培养更多更好的学科交叉型人才成为当务之急。我们的这本《机械基础》教材,正是为适应这种形势发展的需要而编写的,它适用于近机械类、非机械类、电类、自动控制、数控加工等专业的高职高专人才对机械基础知识的补充与学习。

根据国家教材规划对职业教育的少学时、宽内容的要求,全书总学时数定在 120~140 学时。本书内容广泛、通俗易懂、好教好学。基本知识点的选取以机械方面必需的常识为主,一改过去教科书理论过强、内容较深的传统,使学生掌握必需的知识群。

本书有如下特点:

- 重组体系。本书对机械类各学科教材中各章、节进行了分离与综合,把相似相关的内容并在一起,章节既独立又紧密联系,便于教学中取舍。内容包括极限与配合、工程材料、工程力学、机械设计基础等知识。

- 注重应用。本书着重基本知识的应用与实践,尽量减少理论推导与计算部分的内容,列举的工程图例、实例多,便于理解与学习。

- 更新内容。按照国家职教司对高职生宽、专、多、能的要求,对基本知识点进行了扩充,加进机电一体化和工业机器人等内容,使之与平面机构等章节内容紧密配合,便于学习与应用。

- 实用性好。本书收编了较多的与机械基础有关的图表、标准、实用图例,以便查找应用。

本书由武汉职业技术学院周家泽副教授主编,由郑州工业高等专科学校孟遼副教授主审。参加编写的有武汉职业技术学院吴爱群老师(第 1 章~第 4 章部分)、艾小玲老师(第 5 章)、全沅生老师(第 6 章)、周家泽副教授(绪论、第 7 章~第 10 章部分;全书统稿)。

作为高等教育改革教材的尝试,本书难免存在不足之处,欢迎广大同行及读者提出批评和改进意见。本人愿与同行共同推进教材改革。

编 者

2008 年 1 月

目 录

绪论	员
第 员章 工程材料及热处理	猿
金属材料力学性能	猿
强度和塑性	猿
硬度	远
冲击韧性	愿
疲劳强度	怨
铁碳合金相图	园
纯铁、铁碳合金相结构	园
铁碳合金相图	猿
云藻云藻相图的应用	愿
钢的热处理	怨
钢的普通热处理	园
钢的表面热处理	猿
碳钢与合金钢	缘
碳钢	缘
合金钢的分类及编号	苑
合金结构钢	愿
合金工具钢	猿
特殊性能钢	猿
铸铁	猿
* 非金属及新型材料	猿
工程塑料	猿
陶瓷材料	猿
复合材料	猿
纳米材料	源
习题	源
第 圆章 构件的外力和平衡计算	猿
基本概念	猿
基本理论及定理	源
构件的受力图	源
约束及约束反作用力	源
受力图	源
构件的平衡计算	缘

圆缘章 摩擦及考虑摩擦时的平衡问题	缘
圆缘章 静滑动摩擦	缘
圆缘章 动滑动摩擦	缘
圆缘章 考虑摩擦时的平衡问题	缘
圆缘章 习题	缘
第 猿章 构件的内力和强度计算	猿
猿猿章 强度计算的基本概念	猿
猿猿章 内力与截面法	猿
猿猿章 截面法的概念	猿
猿猿章 截面法的应用	猿
猿猿章 杆件的内力图	猿
猿猿章 杆件的应力及强度计算	猿
猿猿章 杆件应力的概念	猿
猿猿章 杆件的强度计算	猿
猿猿章 习题	猿
第 源章 极限与配合基础	源
源源章 极限的基本概念	源
源源章 互换性及其标准化	源
源源章 极限的基本术语和定义	源
源源章 配合的基本概念	源
源源章 配合的基本术语和定义	源
源源章 配合公差	源
源源章 孔与轴	源
源源章 极限与配合应用简介	源
源源章 形位公差与表面粗糙度简介	源
源源章 形位公差	源
源源章 表面粗糙度	源
源源章 习题	源
第 缘章 平面机构运动	缘
缘缘章 机构的组成	缘
缘缘章 运动副及机构运动简图	缘
缘缘章 平面机构的运动副	缘
缘缘章 机构运动简图	缘
缘缘章 平面机构的自由度	缘
缘缘章 构件的自由度及其约束	缘
缘缘章 平面机构自由度的计算	缘
缘缘章 计算平面机构自由度时应注意的问题	缘
缘缘章 平面机构具有确定运动的条件	缘
缘缘章 习题	缘

第 3 章 摇平面连杆机构	页
摇 3.1 摇铰链四杆机构	页
摇 3.1.1 摇铰链四杆机构的组成	页
摇 3.1.2 摇铰链四杆机构的基本类型及应用	页
摇 3.1.3 摇铰链四杆机构有曲柄的条件	页
摇 3.2 摇含有一个移动副的平面四杆机构	页
摇 3.2.1 摇曲柄滑块机构	页
摇 3.2.2 摇偏心轮机构	页
摇 3.2.3 摇导杆机构	页
摇 3.2.4 摇摇块机构和定块机构	页
摇 3.3 摇平面四杆机构的工作特性	页
摇 3.3.1 摇急回特性	页
摇 3.3.2 摇压力角和传动角	页
摇 3.3.3 摇死点位置	页
* 摇 3.4 摇平面四杆机构设计简介	页
摇 3.4.1 摇按给定的行程速比系数设计四杆机构	页
摇 3.4.2 摇按给定连杆的两个或三个位置设计四杆机构	页
摇习题 3	页
第 4 章 摇凸轮机构和齿轮机构	页
摇 4.1 摇概述	页
摇 4.1.1 摇凸轮机构的组成	页
摇 4.1.2 摇凸轮机构的分类	页
摇 4.2 摇从动件的常用运动规律	页
摇 4.2.1 摇等速运动规律	页
摇 * 4.2.2 摇等加速等减速运动规律	页
摇 4.3 摇凸轮轮廓曲线的设计	页
摇 4.3.1 摇尖顶对心直动从动件盘形凸轮	页
摇 4.3.2 摇对心滚子移动从动件盘形凸轮	页
摇 4.3.3 摇摆动从动件盘形凸轮	页
摇 4.3.4 摇凸轮机构设计中的几个问题	页
摇 4.3.5 摇凸轮的材料、加工及固定	页
* 摇 4.3.6 摇用图解方法在凸轮轮廓曲线设计中的应用	页
摇 4.3.6.1 摇建立平面凸轮轮廓曲线的方程	页
摇 4.3.6.2 摇程序运行及框图	页
摇 4.4 摇齿轮机构简介	页
摇 4.4.1 摇齿轮机构的特点及分类	页
摇 4.4.2 摇渐开线齿轮齿廓的形成	页
摇 4.4.3 摇渐开线齿轮的几何尺寸	页
摇 4.4.4 摇渐开线齿轮的传动特点	页
* 摇 4.4.5 摇其他常用齿轮机构	页
摇 4.4.5.1 摇斜齿圆柱齿轮机构	页
摇 4.4.5.2 摇圆锥齿轮机构	页

怨园缘	滚动轴承支承的轴系结构	怨园猿
怨园缘	滚动轴承轴向间隙及其组合位置的调整	怨园源
怨园缘	滚动轴承的游隙和预紧	怨园缘
怨园缘	滚动轴承的配合	怨园苑
怨园缘	滚动轴承的装拆和润滑	怨园苑
摇习题 怨	怨园愿
第 员园章	机电一体化	怨园园
摇员园.1	机电一体化概述	怨园园
员园.1.1	机电一体化系统的结构要素	怨园园
员园.1.2	机电一体化系统的组成	怨园园
摇员园.2	机电一体化系统分析	怨园猿
员园.2.1	机电一体化对机械传动的要求	怨园猿
员园.2.2	机电一体化机械系统分析	怨园源
员园.2.3	机电一体化机械系统设计	怨园缘
摇员园.3	机电一体化典型传动装置及机器	怨园苑
员园.3.1	精密传动零件	怨园苑
员园.3.2	谐波齿轮减速器	怨园怨
员园.3.3	机电一体化的典型机器	怨园员
摇员园.4	工业机器人	怨园源
员园.4.1	工业机器人概述	怨园源
员园.4.2	机器人的组成	怨园苑
员园.4.3	工业机器人的类型	怨园愿
员园.4.4	工业机器人的应用	怨园园
摇习题 员园	怨园园
参考文献	怨园猿

绪摇摇论

摇摇一、机械基础课程的研究对象和内容

随着以信息科技为重要标志的高新技术的飞速发展,新技术正在改变着世界的面貌,推动着知识经济时代的到来,也对当今的高等教育提出了挑战,即要求人才知识结构的交融性和教学内容的实践性,要求教材降低专业重心,拓宽学科基础。机械基础正是一门这样的应用型学科。它对教学内容进行了整合,涉及实际工作的各个领域,如机械、运输、电子、航空等等,为这些领域的产品开发、设计、制造、维护及运行提供了必要的基础知识,适应现代经济社会发展的需要。

本课程主要研究的是非机械类专业中所必需的机械常识,即非机械类专业的学生应掌握的常用的机械基本理论知识,包括常用的工程材料、力学基础、极限与配合、机构的组成和工作原理及运动的简单特性、常用机械零件、机电一体化、工业机器人等知识。

摇摇二、机械基础课程的性质和作用

本课程要求学生的形象思维、感知感觉、实践、空间想象等能力都较好,所以学习者要注重培养自己的这些能力,才能学好本课程。

本书为非机械类专业的学生学习专业课程提供了必要、实用的机械理论知识,使从事设计、工艺、翻译、现场管理的非机械类工程师及工程技术人员获得在创新设计、设备使用和维护、营销等方面必要的机械专业基础知识。

机械基础课程可为当今各类人材如电子工程师、外企翻译、经济管理人员等提供必需、够用的机械基础常识,使其拓宽学科知识,提高就业能力,更好地为社会服务。

摇摇三、机械基础课程的学习方法和目的

非机械类学生学习本课程应注意各章节的独立性和发散性,还要注意各章节的内在联系和逻辑性。学习本课程时应加强各方面知识的融会贯通。

本课程由工程材料、力学基础、极限与配合、机械原理、机电一体化等几方面内容组成,其基本学习要求如下。

(员) 工程材料方面:了解材料的强度、刚度、塑性、硬度等常用概念;了解钢铁材料热处理工艺在零部件加工过程中的地位和作用;掌握常用工程材料(碳钢、合金钢、不锈钢、铸铁)、非金属及新型材料的分类、牌号、性能和用途,以便认知常用的金属材料。

(圆) 力学基础方面:建立力的概念,认识力在我们周围的环境中无处不在,无处不有。例如,人天天要坐在板凳上,构成了人与板凳之间的作用力与反作用力。力学的理论性、应用性较强,特别要注重实践。学习时应在观察工程实际的基础上,了解杆件的外力与内

力,了解力的分析方法,掌握力的基本规律及简单的计算方法。

(獭) 极限与配合方面:建立标准与互换性的理念;了解产品规范化的概念;了解尺寸公差、公差带;了解尺寸配合、表面粗糙度、极限与配合的国家标准等基本理论的应用。

(源) 机械原理方面:了解与掌握常用机器和机构(如平面连杆机构、凸轮机构和齿轮机构)的组成形式、运动方式、工作原理、选用原则及在实际中的应用。

(缘) 机电一体化方面:了解机电一体化的概念;了解现代工业机器人的发生、发展及在现代化工业生产中的应用。

第 1 章 工程材料及热处理

提要

本章的内容主要包括金属材料的力学性能(机械性能)、金属学的基本知识、钢的热处理、金属材料的性能及应用等。要求学生通过学习掌握常用机械工程材料的性能与应用,具备合理选择材料和选定一般零件热处理工艺及方法的能力。

1.1 金属材料的力学性能

为了更好地选用工程材料,应充分了解材料的性能。材料的性能包括使用性能和工艺性能。材料的使用性能是指材料在保证机械零件或工具正常使用状态下应具备的性能,它包括力学性能、物理性能和化学性能等;材料的工艺性能是指材料在机械零件或工具制造中应具备的性能,它包括切削加工性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能以及热处理性能等。

材料的力学性能是指材料抵御载荷(即外力)作用的能力,它包括强度、刚度、硬度、塑性、韧性和疲劳强度等。力学性能是设计和制造零件最重要的指标,也是控制材料质量的主要参数。制造各类构件的原料都要满足规定的性能指标。

1.1.1 强度和塑性

1.1.1.1 强度

材料在受载荷过程中一般会出现三个过程,即弹性变形、塑性变形和断裂。弹性变形是指材料在载荷卸除后能恢复到原形的变形,而塑性变形是指材料在载荷卸除后不能恢复到原形的变形。对于不同类型的载荷,这三个过程的发生和发展是不同的。使用中一般多用静拉伸试验法来测定金属材料的强度和塑性指标。低碳钢试棒的拉伸过程具有典型意义。将拉伸试棒按 GB/T 228.1-2010 的规定,制成如图 1-1 所示的形状,在拉伸试验机上缓慢增加载荷,记录载荷与变形量的数值,直至试样被拉断为止,便可获得如图 1-2 所示的载荷与变形量之间的关系曲线,即拉伸曲线。

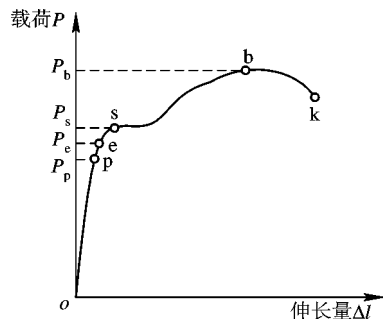
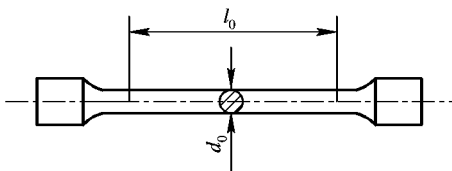


图 1-1 钢的拉伸试棒

图 1-2 退火低碳钢拉伸曲线

摇摇当载荷不超过 $F_{\text{弹}}$ 时,若除去载荷,则试棒恢复到原来形状,我们称这一阶段的变形为弹性变形。在此阶段载荷与伸长量成正比关系,载荷 $F_{\text{弹}}$ 是使试棒只产生弹性变形的最大载荷。此时若卸除载荷,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。

当载荷超过 $F_{\text{弹}}$ 时,卸除载荷后,试棒不能恢复到原来的状态,即产生了塑性变形。当载荷增加到 $F_{\text{弹}}$ 时,曲线出现一个小平台,此平台表明不增加载荷试棒仍继续变形,好像材料已经失去抵御外力的能力了,这种现象称为屈服。继续增加载荷,材料继续伸长,此时试样已产生很大的塑性变形,直到增至最大载荷 $F_{\text{断}}$ 时为止。在这一阶段,试棒沿整个长度均匀伸长。当载荷达到 $F_{\text{断}}$ 后,试棒就在某个薄弱部分出现“颈缩”。由于试棒局部截面积的逐步减小,试棒所能承受的载荷也逐渐降低,直到最终断裂。

强度是指材料在载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。

无论何种材料,其内部原子之间都具有平衡的原子力相互作用,以使其保持固定的形状。材料在外力作用下,其内部会产生相应的作用力以抵抗变形,这种作用力称为内力。材料单位截面上承受的内力称为应力,用 σ 表示。

$$\sigma \text{ 越 } \frac{F_{\text{弹}}}{F_{\text{原}}}$$

式中: σ ——应力(应);

$F_{\text{弹}}$ ——载荷(晕);

$F_{\text{原}}$ ——试样的原始截面面积(皂皂)。

金属材料的强度是用应力来表示的。常用的强度指标有弹性极限、屈服强度和抗拉强度。

员) 弹性极限

弹性极限是试样在弹性变形范围内所能承受的最大拉应力,用符号 $\sigma_{\text{弹}}$ 表示,即

$$\sigma_{\text{弹}} \text{ 越 } \frac{F_{\text{弹}}}{F_{\text{原}}}$$

式中: $\sigma_{\text{弹}}$ ——弹性极限(应);

$F_{\text{弹}}$ ——试样只产生弹性变形的最大载荷(晕);

$F_{\text{原}}$ ——试样的原始截面面积(皂皂)。

圆) 屈服强度

试棒屈服时的应力为材料的屈服点,称为屈服强度,用 $\sigma_{\text{泽}}$ 表示。 $\sigma_{\text{泽}}$ 表示金属抵抗小量塑性变形的应力,即

$$\sigma_{\text{泽}} \text{ 越 } \frac{F_{\text{泽}}}{F_{\text{原}}}$$

式中: $\sigma_{\text{泽}}$ ——屈服强度(应);

$F_{\text{泽}}$ ——试样屈服时的载荷(晕);

$F_{\text{原}}$ ——试样的原始截面面积(皂皂)。

很多金属材料,如大多数合金钢、高碳钢、铸铁等的拉伸曲线不出现平台,即没有明显的屈服现象,因此工程上规定以试样发生某一微量塑性变形(园园)时的应力作为这类材料的屈服强度,称为材料的条件屈服强度,用 $\sigma_{\text{园园}}$ 表示。屈服强度是评定材料质量的重

力学性能指标。

1) 抗拉强度

抗拉强度是指试样在被拉断前所承受的最大拉应力，即

$$\sigma_{\text{拉}} = \frac{F_{\text{拉}}}{S_0}$$

式中： $\sigma_{\text{拉}}$ ——抗拉强度 (MPa)；

$F_{\text{拉}}$ ——试样在断裂前的最大载荷 (N)；

S_0 ——试样的原始截面面积 (mm²)。

$\sigma_{\text{拉}}$ 代表金属材料抵抗大量塑性变形的能力，也是零件设计的主要依据之一。

一般情况下，机器构件都是在弹性状态下工作的，不允许发生微小的塑性变形，所以在机械设计时应采用 $\sigma_{\text{弹}}$ 或 $\sigma_{\text{屈服}}$ 强度指标，并加上适当的安全系数。

$\sigma_{\text{屈服}}$ 称为屈服强度，是一个很有意义的指标。一般情况下要求屈服强度稍高些为好。屈服强度比值越大，越能发挥材料的潜力，减少结构的自重。但为了安全起见，其值亦不宜过大，适合的比值在 1.5~2.0 之间。

2) 弹性模量

在外力作用下，材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。衡量刚度大小的指标是弹性模量。弹性模量是材料在弹性变形范围内，应力与应变 (即试样的相对伸长量 $\Delta L/L_0$) 的比值，即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{\text{弹}}}$$

式中： E ——弹性模量 (MPa)；

σ ——在弹性范围内的应力 (MPa)；

$\varepsilon_{\text{弹}}$ ——在弹性范围内的应变 (无量纲)。

弹性模量 E 是表征在拉伸力作用下，金属抵抗弹性伸长的能力。金属的 E 愈大，金属抵抗弹性伸长的能力就愈强。

3) 塑性

金属材料在载荷作用下，在断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 两种。

1) 伸长率

伸长率是试样被拉断时的标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比，用符号 δ 表示，即

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

式中： L_0 ——试样原始标距长度 (mm)；

L ——试样拉断时的标距长度 (mm)。

在材料手册中常常可以看到 $\delta_{\text{标距}}$ 和 $\delta_{\text{直径}}$ 两种符号，它分别表示用 $\delta_{\text{标距}}$ 和 $\delta_{\text{直径}}$ (单位为试样直径) 两种不同长度试样测定的伸长率。对同一种材料所测得的 $\delta_{\text{标距}}$ 和 $\delta_{\text{直径}}$ 的值是不同的， $\delta_{\text{标距}}$ 要大于 $\delta_{\text{直径}}$ ，如钢材的 $\delta_{\text{标距}}$ 大约为 $\delta_{\text{直径}}$ 的 1.5 倍，所以相同符号的伸长率才能进行比较。 $\delta_{\text{直径}}$ 常用 δ 来表示。

圆) 断面收缩率

断面收缩率是指试样被拉断时，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，即

$$\psi = \frac{S_0 - S_n}{S_0} \times 100\%$$

式中： S_n ——试样被拉断时缩颈处最小横截面积(皂皂)；

S_0 ——原始截面面积(皂皂)。

断面收缩率不受试样标距长度的影响，因此能更可靠地反映材料的塑性。对必需承受强烈变形的材料，塑性指标具有重要意义。塑性优良的材料冷压成形性好。重要的受力零件都要求具有一定塑性，以防止超载时发生断裂。

伸长率和断面收缩率也表明材料在静态或缓慢增加的拉伸应力下的韧性。

塑性指标不能直接用于零件的设计计算，只能根据经验来选定材料的塑性，一般来说，伸长率达 缘缘或断面收缩率达 员缘缘的材料，即可满足绝大多数零件的要求。

员缘 硬度

硬度是材料表面抵抗局部塑性变形的能力，是反映材料软硬程度的力学性能指标。硬度是材料的一个重要指标，其测试方法简便、迅速，不需要专门的试样，也不损坏试样，设备也很简单，而且大多数金属材料可以从硬度值估算出其抗拉强度。硬度值是通过试验测得的。目前，应用最广的测试硬度的方法是布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等试验。

员缘 布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 员-猿所示。用一规定直径(阅为 员缘皂皂或 圆缘皂皂)的淬火钢球或硬质合金球以一定的试验力压入所测表面，保持一定时间后卸除试验力，随即在金属表面出现一个压坑(压痕)。以压痕单位面积上所承受的试验力的大小确定被测材料的硬度值，用符号 匀杂(淬火钢球压头)或 匀粹(硬质合金钢球压头)表示，如 缘钢调质后其硬度为 圆缘-圆缘 匀杂

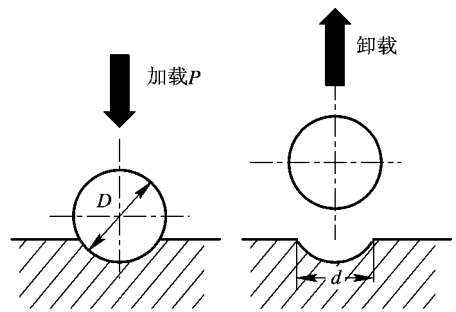


图 员-猿 布氏硬度试验原理示意图

$$匀杂 = \frac{P}{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{D-d}}$$

式中： P ——试验力(晕)；

S ——表面积(皂皂)；

d ——压痕深度(皂皂)；

D ——压头直径(皂皂)。

由于压痕深度 d 的测量比较困难，而测量压痕直径 d 比较方便，因此上式中 d 可换算成压痕直径 d ，即

$$匀杂 = \frac{P}{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{D-d}}$$

式中： d_0 ——压痕直径(单位)。

试验时用刻度放大镜测出压痕直径后，就可以通过计算或查布氏硬度表得出相应的硬度值。布氏硬度习惯上不标注单位。

由于金属材料有软有硬，工件有薄有厚、有大有小，如果仅采用一种标准的试验力和钢球直径，就会出现如下现象：如果对硬的材料适合，对软的材料就会出现钢球陷入金属内部的情况；若对厚的材料适合，对薄的材料就会出现压透现象等等。因此在生产中进行布氏硬度试验时，要求使用不同大小的试验力和不同直径的钢球或硬质合金球。在进行布氏硬度试验时，钢球直径、试验力与力保持时间应根据所测试金属的种类和试样厚度，按表 1-1 所示的布氏硬度试验规范，进行正确选择。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料	硬度范围	试样厚度范围	球直径	球边缘圆角	试验力 / 保持时间	载荷保持时间
钢铁材料	100~150	远~猿 源~圆 约圆	猿	缘 缘 圆缘	1000N / 10s 500N / 10s 100N / 10s	10s
	150~200	远 远~猿 约猿	5	缘 缘 圆缘	3000N / 10s 1500N / 10s 750N / 10s	10s
铜合金及镁合金	猿~100	远 远~猿 约猿	5	缘 缘 圆缘	3000N / 10s 1500N / 10s 750N / 10s	10s
铝合金及轴承合金	愿~猿	远 远~猿 约猿	5	缘 缘 圆缘	1000N / 10s 500N / 10s 100N / 10s	10s

布氏硬度由于硬度和强度都以不同形式反映了材料在外力作用下抵抗塑性变形的能力，因而硬度和强度之间有一定的关系。如低碳钢 $HBS \approx \sigma_{\text{抗拉}} / 3.5$ ，高碳钢 $HBS \approx \sigma_{\text{抗拉}} / 3.5$ ，调质钢 $HBS \approx \sigma_{\text{抗拉}} / 3.5$ 等。

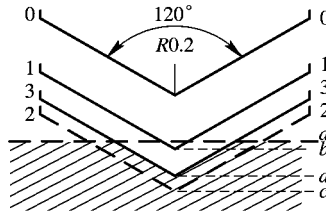
布氏硬度压痕面积较大，能反映较大范围内金属各组成部分的平均性能，因此试验结果较准确。但由于布氏硬度试验留下的压痕较大，因此不适宜用来检验薄件和成品件，也不宜检测太硬的材料。 HBS 适于测量布氏硬度值小于 650 的材料， HWN 适于测量硬度值大于 650 小于 850 的材料。

洛氏硬度

洛氏硬度试验法采用金刚石圆锥体或淬火钢球压入金属表面，如图 1-9 所示。用一定直径(单位)的淬火钢球或硬质合金球在初载荷与初、主载荷的先后作用下，将压头压入试件表面。经规定的保持时间后卸除主载荷，根据压痕深度确定金属硬度值。

根据所用压头种类和所加试验力，洛氏硬度分为 HRA 、 HRC 及 $HR15N$ 等。

表 1-2 所列有关洛氏硬度指标的规定。



图员-源 洛氏硬度试验原理

表员-圆 洛氏硬度及其应用范围

硬度符号	压头类型	总载荷 $F_{\text{总}}$ (牛顿)	硬度值有效范围	应用举例
HRC	金刚石圆锥体	1471 N	20~70	硬质合金、表面淬火、渗碳钢
HR15N	φ1.5875mm 淬火钢球	147.1 N	10~100	非金属、退火钢、铜合金等
HRA	金刚石圆锥体	58.84 N	70~85	淬火钢、调质钢

图员-源所示为洛氏硬度试验原理示意图，试验时图中园-园为金刚石压头没有与试件表面接触时的位置；员-员为加上初载荷后并压入试件深度遭处的位置，遭处为测量压痕深度的起点；猿-猿为压头受到初载荷和主载荷共同作用后使压头压入试件深度至糟处的位置；猿-猿为卸除主载荷后在初载荷作用下，由于试件弹性变形的恢复，使压头向上回升到逮处的位置。压头受主载荷作用实际压入试件表面产生塑性变形的压痕深度为澡(遭 逮间的垂直距离)，可用澡的大小来衡量材料的软硬程度：压痕深度愈小，材料愈硬；压痕深度愈大，材料愈软。由于人们习惯上认为数值愈大，硬度愈高，因而采用一常数减去压痕深度后的数值表示洛氏硬度。按员-圆规定的规定，以压头每压入园-园深度作为一个硬度单位。这样洛氏硬度计算公式为：

$$H_{\text{洛}} = \frac{F_{\text{总}}}{F_{\text{初}}} - \frac{d}{0.002}$$

式中：运——常数(金刚石作压头，运为员-圆；淬火钢球作压头，运为员-圆)。

洛氏硬度的数值可直接从硬度计上读出，不需要查表和换算，非常方便。洛氏硬度没有单位，测量范围大，试件表面压痕小，可直接测量成品或较薄工件的硬度；但也由于压痕小，因此洛氏硬度对组织硬度不均匀的材料测量结果不准确，故需在试件不同部位测定三点，取其算术平均值。洛氏硬度与布氏硬度之间以及与其他硬度之间没有理论上的相应关系，不能直接比较。

员-圆 冲击韧性

前面所讲述的力学性能如强度、塑性、硬度都是在静载荷作用下测得的力学性能指标。而实际上有许多工件是在冲击载荷作用下工作的，如冷冲模上的冲头、锻锤的锤杆、飞机的起落架、变速箱的齿轮等。对于这些承受冲击载荷的工件，不仅要有高的强度和一定的塑性，还必需有足够的冲击韧性。

金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧性。目前,测量冲击韧性最常用的方法是一次摆锤弯曲冲击试验。将材料制成带缺口的标准试样,如图 1-23 所示,其中图 (a) 为主视图,图 (b) 为剖视图。将其放在冲击试验机的机座上,让一重量为 G 的摆锤自高度为 H 处自由下摆,摆锤冲断试样后又升至高度为 h 处,如图 1-24 所示。摆锤冲断试样所失去的能量即为试样在被冲断过程中吸收的功,用 A_k 表示。断口处单位面积上所消耗的冲击吸收功(A_{k0})即为材料的冲击韧性,用 A_{k0} 表示,即

$$A_{k0} = \frac{A_k}{F}$$

- 式中: A_{k0} ——冲击韧性(允 A_{k0});
 F ——试样缺口处的横截面积(F);
 A_k ——冲击吸收功(允);
 G ——摆锤重力(晕);
 H ——摆锤初始高度(皂);
 h ——摆锤冲断试样后上升的高度(皂)。

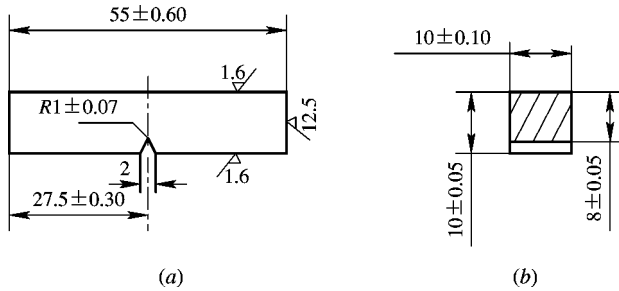
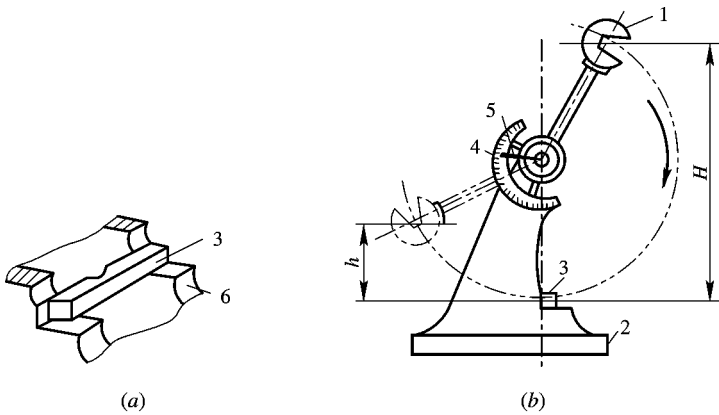


图 1-23 摆锤冲击试样



1—摆锤; 2—机架; 3—试样; 4—表盘; 5—指针; 6—机座

图 1-24 摆锤式冲击试验原理图

由于这种方法的冲击速度较大,试样又开有缺口,能灵敏地反映材料脆性断裂的趋势,因而能较灵敏地反映金属材料在冶金和热处理等方面的质量问题。