



中等职业教育改革与创新规划教材
ZHONGDENG ZHIYE JIAOYU GAIGE YU CHUANGXIN GUIHUA JIAOCAI

模具材料及热处理

王英杰◎主编

- ▶ 体现做学一体
- ▶ 对接职业标准
- ▶ 优化内容结构
- ▶ 创新呈现形式



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件

中等职业教育改革与创新规划教材

模具材料及 热处理

主 编 王英杰

副主编 金 升 段荣寿

参 编 王雪婷 李 振 谢子翼

主 审 郭晓平



机械工业出版社

本书是为了适应中等职业教育教学改革的需要,并结合中等职业教育的特点,从“以学生为主体,以能力为本位,以就业为导向”的教育理念出发,按照从易到难,从简单到复杂的原则编写的。全书共6章,主要内容包括金属材料的基础知识、热处理、模具材料、冷作模具材料及热处理、热作模具材料及热处理和塑料模具材料及热处理。为了方便教学,本书配有电子版的课件、复习思考题答案及模拟试卷与标准答案,使用本书的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com,免费注册并下载使用。

本书可作为中等职业学校模具制造技术专业教材,也可作为技工院校模具及相关专业教材,还可作为企业培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料及热处理/王英杰主编. —北京:机械工业出版社,2013.7

中等职业教育改革与创新规划教材

ISBN 978-7-111-43062-9

I. ①模… II. ①王… III. ①模具钢—热处理—中等专业学校—教材
IV. ①TG162.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第136501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:张云鹏 责任编辑:张云鹏 责任校对:陈越

封面设计:鞠扬 责任印制:张楠

北京振兴源印务有限公司印刷

2013年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·13印张·321千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43062-9

定价:29.00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

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前言

本书是为了适应中等职业教育教学改革的需要,并结合中等职业教育的特点,从“以学生为主体,以能力为本位,以就业为导向”的教育理念出发,按照从易到难,从简单到复杂的原则编写的。在编写过程中,编者认真分析了“模具材料及热处理”课程的特点及教学目标,借鉴了各参编学校所使用多年的校本教材,并进行了多次专题交流与研讨。

本课程的教学目标是:

1. 介绍常用金属材料的分类、牌号、性能及用途,培养学生正确选用金属材料的能力。
2. 介绍部分冷加工和热加工基础知识,强化实践教学环节,提高学生的动手能力和实践技能,让学生熟悉典型模具的加工工艺路线与热处理工序。
3. 较系统地介绍各种模具材料的性能、热处理工艺方法及其应用知识。
4. 鼓励开放式教学方式,引导学生深入社会,了解现代企业生产状况;培养学生善于发现、探讨和解决生产中相关实际问题的能力;培养学生不断创新和积极进取的探索精神。
5. 适应学习型社会的发展需要,培养学生掌握正确的学习方法,引导学生学会应用所学知识解决实际问题。
6. 创造研究型学习环境,培养学生团结合作、相互交流、相互学习、勇于探讨问题的学风。
7. 适应信息社会的发展需要,培养学生的信息收集能力,引导学生利用工具书、现代信息技术等渠道拓宽知识面,了解更多的相关知识,提高适应职业变化的能力。
8. 培养学生遵守职业道德和职业规范的习惯,为学生树立安全生产、节能环保和产品质量等职业意识,以使成为素质高、知识面宽的应用型人才,满足他们未来的职业生涯需要。

为了完成上述教学目标,本书在内容选择上尽量做到布局合理、丰富、新颖;在文字介绍方面做到精炼、准确和通俗易懂;在插图选择方面尽量做到准确、形象、生动;在内容组织上注意逻辑性、系统性和层次分明,突出实践性;在时代性上尽量反映模具材料及热处理方面的新材料、新技术和新工艺,使师生的认识能跟上时代发展与职业教育的新要求。本书每章均配备了复习思考题,供学生复习、巩固和深入理解所学知识。此外,为了方便教师教学和学生自学,本书还配套有电子版的课件、复习思考题答案及模拟试卷与标准答案,凡使用本书的教师,可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com,免费注册并下载使用。



本课程建议课时（总课时 64 学时）分配如下：

章序	教 学 内 容	课时	章序	教 学 内 容	课时
第一章	金属材料的基础知识	20	第四章	冷作模具材料及热处理	10
第二章	热处理	14	第五章	热作模具材料及热处理	10
第三章	模具材料	4	第六章	塑料模具材料及热处理	6
合计	64				

本书由王英杰任主编，金升、段荣寿任副主编。参与编写的还有王雪婷、李振和谢子翼。其中，王英杰负责撰写编写提纲及第一章，谢子翼编写第二章，段荣寿编写第三章，金升编写第四章，王雪婷编写第五章，李振编写第六章。本书由高级工程师郭晓平担任主审。在本书的编写过程中，郭晓平高级工程师对本书提出了许多宝贵意见和建议，在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。同时，本书在编写过程中参考了大量的文献资料，在此向文献资料的作者致以诚挚的谢意。

编 者

目 录

前言

第一章 金属材料的基础知识	1
第一节 金属材料的概念及分类	1
第二节 金属材料的性能	2
第三节 金属材料的晶体结构	15
第四节 金属材料的结晶	18
第五节 金属材料的塑性变形与再结晶	25
第六节 铁碳合金组织与铁碳合金相图	29
第七节 钢铁材料	35
第八节 非铁金属及其合金	52
【复习思考题】	60
第二章 热处理	68
第一节 钢在加热时的组织转变	69
第二节 钢在冷却时的组织转变	72
第三节 退火与正火	75
第四节 淬火	79
第五节 回火	84
第六节 金属的时效	85
第七节 表面热处理与化学热处理	87
第八节 热处理新技术简介	92
第九节 热处理工艺的应用	94
【复习思考题】	100
第三章 模具材料	103
第一节 模具及模具材料的分类	103
第二节 模具的失效形式和影响因素	108
第三节 模具材料的性能要求和模具寿命	111
第四节 模具材料的选用	115
【复习思考题】	119
第四章 冷作模具材料及热处理	121
第一节 碳素工具钢的性能、热处理工艺及应用	121



第二节	油淬冷作模具钢的性能、热处理工艺及应用	125
第三节	空冷冷作模具钢的性能、热处理工艺及应用	128
第四节	高碳高铬冷作模具钢的性能、热处理工艺及应用	131
第五节	低碳高速钢的性能、热处理工艺及应用	136
第六节	基体钢的性能、热处理工艺及应用	142
第七节	高耐磨高强韧冷作模具钢的性能、热处理工艺及应用	146
第八节	其他类型冷作模具材料的性能、热处理工艺及应用	149
【复习思考题】		159
第五章	热作模具材料及热处理	162
第一节	低耐热高韧性热作模具钢的性能、热处理工艺及应用	162
第二节	中耐热韧性热作模具钢的性能、热处理工艺及应用	167
第三节	高耐热性热作模具钢的性能、热处理工艺及应用	171
第四节	特殊用途热作模具材料的性能、热处理工艺及应用	176
【复习思考题】		179
第六章	塑料模具材料及热处理	180
第一节	碳素塑料模具钢的性能、热处理工艺及应用	180
第二节	渗碳型塑料模具钢的性能、热处理工艺及应用	184
第三节	预硬型塑料模具钢的性能、热处理工艺及应用	186
第四节	整体淬硬型塑料模具钢的性能、热处理工艺及应用	189
第五节	耐蚀型塑料模具钢的性能、热处理工艺及应用	191
第六节	时效硬化型塑料模具钢的性能、热处理工艺及应用	194
第七节	其他塑料模具材料的性能、热处理工艺及应用	196
【复习思考题】		197
附录	常用模具钢中外牌号对照表	199
参考文献		202

第一章

金属材料的基础知识



【学习目标】

本章主要介绍金属材料的分类, 金属材料的常用性能指标和应用范围, 金属材料的晶体结构、结晶过程、同素异构转变、铸锭组织、塑性变形与再结晶等知识, 铁碳合金的基本组织、相图及其应用等内容, 钢铁材料简介, 非铁金属简介等。

本章重点是基本概念、性能测试指标及其应用、微观结构和组织特征、铁碳合金基本组织及铁碳合金相图、钢铁材料分类及牌号表示方法。

本章学完之后, 应达到以下目标:

1. 要准确理解有关概念。
2. 了解常用性能指标和应用范围。
3. 理解微观结构与微观组织特征, 对金属宏观性能的影响。
4. 了解典型金属材料的性能、牌号及应用实例, 增加感性认识。
5. 本章涉及的知识面广, 为了巩固所学的知识, 要学会对所学的知识进行分类、归纳和整理, 提高学习效率。

金属材料由于具有比其他材料优越的性能, 如物理性能、化学性能、力学性能及工艺性能等, 广泛应用于机械制造、工程建设、交通运输、石油化工、农业、国防等领域, 因此, 了解金属材料的分类、性能、微观结构、组织特点以及成形加工过程等知识具有重要意义。

第一节

金属材料的概念及分类

一、金属材料的基本概念

金属材料是由金属元素或以金属元素为主, 其他金属或非金属为辅构成的并具有金属特性的工程材料。金属材料包括纯金属和合金两类。

纯金属在工业生产中虽然具有一定的用途, 但是, 由于它的强度、硬度一般都较低, 而且冶炼技术复杂, 价格较高。因此, 在使用上受到很大的限制。目前在工农业生产、建筑、化工、交通运输、国防建设中广泛使用的是合金状态的金属材料。



合金是指两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素组成的金属材料。例如，普通黄铜是由铜和锌两种金属元素组成的合金，普通白铜是由铜和镍两种金属元素组成的合金，碳素钢是由金属元素铁和非金属元素碳组成的合金。与组成合金材料的纯金属相比，合金除具有较好的力学性能外，还可以通过调整组成元素之间的比例，获得一系列性能各不相同的合金，从而满足工农业生产、建筑及国防建设上不同的性能要求。



【想一想】

纯金的纯度是 99.99%，用 24K 表示；12K 金的含金量是 49.99%。那么，18K 的含金量是多少呢？12K 金和 18K 金是合金吗？查一查资料，它们主要含有什么元素？

二、金属材料的分类

金属材料通常分为钢铁材料（黑色金属）和非铁金属（有色金属）两大类，见表 1-1。

表 1-1 金属材料分类

钢铁材料				非铁金属				
非合金钢	低合金钢	合金钢	铸铁	铜及铜合金	铝及铝合金	滑动轴承合金	钛及钛合金	其他非铁合金

钢铁材料是以铁或以铁为主形成的金属材料，如各种类型的钢材和铸铁等。非铁金属是指除钢铁材料以外的其他金属材料，如金、银、铜、铝、镁、钛、锌、锡、铅等及其合金。

除此之外，在国民经济建设中，还出现了许多新型金属材料，如高温合金、粉末冶金材料、非晶态金属材料、纳米金属材料、单晶合金以及新型的金属功能材料（永磁合金、形状记忆合金、超细金属隐身材料）等。

第二节 金属材料的性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料为保证机械零件或工具正常工作应具备的性能，即在使用过程中所表现出的特性。使用性能包括力学性能、物理性能和化学性能等。工艺性能是指金属材料在制造机械零件或工具的过程中，适应各种冷、热加工的性能，也就是金属材料采用某种成形加工方法制成成品的难易程度。工艺性能包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能及可加工性等。例如，某种金属材料采用焊接方法容易得到合格的焊件，就说明该金属材料的焊接工艺性能好。

在机械制造过程中，为了设计制造具有较强竞争力的产品，必须了解和掌握金属材料的各种性能，以便使机械产品在设计、选材和制造等方面体现出最优化。

一、金属材料的力学性能

1. 金属材料的力学性能概念



金属材料的力学性能是指金属在力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,如弹性、强度、硬度、塑性、韧性等。弹性是指物体在外力作用下改变其形状和尺寸,当外力卸除后物体又回复到其原始形状和尺寸的特性。

物体受外力作用后导致物体内部之间相互作用的力称为内力,而单位面积上的内力则称为应力 R 或 σ (N/mm^2 或 MPa)。应变 ε 是指由外力所引起的物体原始尺寸或形状的相对变化 (%)。

金属材料力学性能是评定金属材料质量的主要判据,也是金属构件设计时选材和进行强度计算的主要依据。金属力学性能指标主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

2. 金属材料拉伸试验

金属材料进行拉伸试验时,通常采用比例圆柱形拉伸试样,试样尺寸按国家标准中金属拉伸试验试样中的有关规定进行制作。比例圆柱形拉伸试样分为短拉伸试样 ($L_0 = 5d_0$) 和长拉伸试样 ($L_0 = 10d_0$),工程上一般采用短试样。拉伸试样如图 1-1 所示,其中图 1-1a 所示为标准拉伸试样拉断前的状态,图 1-1b 所示为标准拉伸试样拉断后的状态。 d_0 为标准拉伸试样的原始直径, d_u 为标准拉伸试样断裂后缩颈处的直径。 L_0 为标准拉伸试样的原始标距, L_u 为拉断标准拉伸试样对接后测出的标距长度。

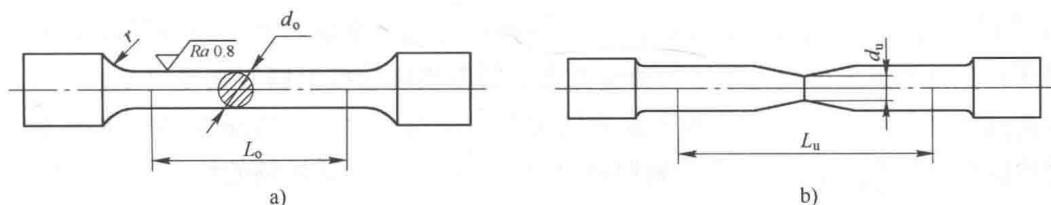


图 1-1 比例圆柱形拉伸试样

a) 拉断前 b) 拉断后

通过拉伸试验,可以获得拉伸力 F 和试样伸长量 ΔL 之间的关系曲线,即力—伸长曲线,如图 1-2 所示。

从完整的力—伸长曲线中可以看出,试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形阶段、屈服阶段、变形强化阶段和缩颈与断裂四个阶段。

弹性变形阶段对应图 1-2 所示力—伸长曲线中的直线 Op 。在此阶段中,当拉伸力增加时,试样伸长量 ΔL 也呈正比地增加。当去除拉伸力后试样伸长变形消失,恢复其原来形状,其变形表现为弹性变形。图中 F_p 是试样保持弹性变形的最大拉伸力。

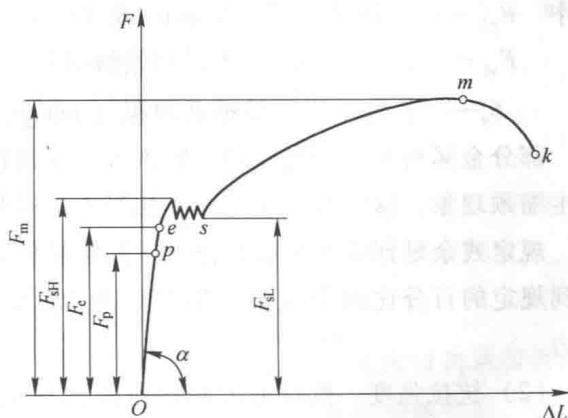


图 1-2 退火低碳钢的力—伸长曲线

屈服阶段对应图 1-2 所示力—伸长曲线中的锯齿线 es 。在此阶段中,当拉伸力超过 F_p



时, 试样将产生塑性变形, 去除拉伸力后, 变形不能完全恢复, 塑性伸长将被永久保留下来。当拉伸力继续增加到 F_s 之前, 力—伸长曲线会出现一个锯齿形平台, 即在拉伸力不再增加的情况下, 试样也会明显地伸长, 这种现象称为屈服现象。拉伸力 F_s 称为屈服拉伸力 (包括上屈服拉伸力 F_{sH} 和下屈服拉伸力 F_{sL})。

变形强化阶段对应图 1-2 所示力—伸长曲线中的 sm 。在此阶段中, 当拉伸力超过屈服拉伸力 F_s 后, 试样抵抗变形的能力将会增加, 即变形力增加现象, 此现象为冷变形强化。在力—伸长曲线上表现为一段上升曲线, 即随着变形的增大, 试样变形力也逐渐增大。

缩颈与断裂阶段对应图 1-2 所示力—伸长曲线中的 mk 。在此阶段中, 当拉伸力超过 F_m 时, 试样的局部截面开始收缩, 产生缩颈现象。由于缩颈使试样局部截面迅速缩小, 最终导致试样被拉断。缩颈现象在力—伸长曲线上表现为一段下降的曲线。 F_m 是试样拉断前能承受的最大拉伸力, 称为极限拉伸力。

3. 强度

强度是金属材料抵抗永久变形和断裂的能力。金属材料的强度指标可以通过拉伸试验进行测定。金属材料抵抗拉伸力的强度指标主要有屈服强度、规定残余延伸强度和抗拉强度等。

(1) 屈服强度和规定残余延伸强度 屈服强度是指当金属材料呈现屈服现象时, 在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点。屈服强度包括上屈服强度 (R_{eH}) 和下屈服强度 (R_{eL})。屈服强度是工程技术上重要的力学性能指标之一, 也是大多数机械零件选材和设计的依据。屈服强度一般以下屈服强度 (R_{eL}) 作为金属材料的性能指标, 其计算公式为

$$R_{eL} = \frac{F_{sL}}{S_0}$$

式中 R_{eL} ——下屈服强度 (N/mm^2 或 MPa);

F_{sL} ——在屈服期间, 不计初始瞬时效应时的最低拉力 (N);

S_0 ——拉伸试样原始横截面积 (mm^2)。

部分金属材料, 如高碳钢、铸铁等, 在进行拉伸试验时, 没有明显的屈服现象, 也不会产生缩颈现象, 这就需要规定一个相当于屈服强度的强度指标, 即规定残余延伸强度。

规定残余延伸强度是指拉伸试样卸除拉伸力后, 其标距部分的残余伸长与原始标距比值达到规定的百分比时的应力, 用符号 R_r 表示, 如 $R_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

(2) 抗拉强度 抗拉强度是指拉伸试样相应最大力 F_m 对应的应力, 用符号 R_m 表示。 R_m 可用下式计算, 即

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

式中 R_m ——抗拉强度 (N/mm^2 或 MPa);



F_m ——拉伸试样承受的最大力 (N);

S_0 ——拉伸试样原始横截面积 (mm^2)。

R_m 是表征金属材料由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值,也是表征金属材料在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属材料来说,拉伸试样在承受最大拉应力 R_m 之前,变形是均匀一致的。但超过 R_m 后,金属材料开始出现缩颈现象,即产生集中塑性变形。

4. 塑性

塑性是金属材料在断裂前发生不可逆永久变形的能力。永久变形是物体在力的作用下产生的形状和尺寸的改变,当外力去除后,永久变形不能恢复到原来的形状和尺寸。金属材料的塑性可以用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示,如拉伸后的断后伸长率和断面收缩率。它们是表示材料塑性优劣的主要力学性能指标。

(1) 断后伸长率 拉伸试样断后标距的残余伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率,用符号 A 或 $A_{11.3}$ 表示。 A 或 $A_{11.3}$ 可用下式计算,即

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 A ——断后伸长率 (%);

L_u ——拉断拉伸试样对接后测出的标距长度 (mm);

L_0 ——拉伸试样原始标距 (mm)。

由于比例圆柱形拉伸试样分为长拉伸试样和短拉伸试样,因此,使用长拉伸试样测定的断后伸长率用符号 $A_{11.3}$ 表示,使用短拉伸试样测定的断后伸长率用符号 A 表示。同一种金属材料的断后伸长率 $A_{11.3}$ 和 A 的数值是不相等的,因而不能直接用 $A_{11.3}$ 或 A 进行比较。一般短拉伸试样的 A 值大于长拉伸试样的 $A_{11.3}$ 值。

(2) 断面收缩率 断面收缩率是指拉伸试样断裂后试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率。断面收缩率用符号 Z 表示。 Z 值可用下式计算,即

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中 Z ——断面收缩率 (%);

S_0 ——拉伸试样原始横截面积 (mm^2);

S_u ——拉伸试样断口处的横截面积 (mm^2)。

金属材料塑性的好坏对零件的加工和使用具有重要意义。塑性好的金属材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成型加工,而且在使用时万一超载,由于金属材料的塑性变形,可以避免金属材料突然断裂。所以,大多数机械零件除要求具有较高的强度外,还须有一定的塑性。

目前金属材料室温拉伸试验方法采用 GB/T 228.1—2010,关于金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照见表 1-2。



表 1-2 金属材料的强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照表

GB/T 228—2010		GB/T 228—1987	
名词	符号	名词	符号
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ
断后伸长率	A 和 $A_{11.3}$	断后伸长率	δ_5 和 δ_{10}
屈服强度	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}
规定残余延伸强度	R_r (如 $R_{r0.2}$)	规定残余延伸应力	σ_r (如 $\sigma_{r0.2}$)
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b



【小知识】

金属材料的断后伸长率通常不超过 90%，而具有超塑性的金属材料的最大断后伸长率可高达 1000% ~ 2000%，个别的甚至超过 6000%。金属材料只有在特定条件下才显示出超塑性，如在一定的变形温度范围内进行低速加工时可能出现超塑性。

5. 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的性能指标，也是指金属材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。由于硬度试验过程中基本上不损伤试样，试验操作简便、迅速，不需要制作专门试样，而且可直接在工件上进行测试，因此，在生产中被广泛地应用。同时，硬度是一项综合的力学性能指标，从金属表面的局部压痕也可以反映出金属材料的强度和塑性。因此，在零件图上常常标注出各种硬度指标作为技术要求。硬度值的高低，对于机械零件的耐磨性也有直接影响，金属材料的硬度值越高，其耐磨性也越高。

硬度测定方法有压入法、划痕法和回弹高度法等。其中，压入法的应用最为普遍，即在规定的静态试验力作用下，将一定的压头压入金属材料表面层，然后根据压痕的面积或深度标定其硬度值。这种评定方法称为压痕硬度。在压入法中，根据载荷、压头和表示方法的不同，常用的硬度测试方法有布氏硬度（HBW）、洛氏硬度（HRA、HRB、HRC 等）和维氏硬度（HV）。

(1) 布氏硬度 布氏硬度的试验原理是用一定直径的硬质合金球，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，测量试样表面的压痕直径 d ，然后根据压痕直径 d 计算其硬度值的方法，如图 1-3 所示。布氏硬度值是用球面压痕单位表面积上所承受的平均压力表示的。目前，金属布氏硬度试验方法执行 GB/T 231.1—2009 标准，用符号 HBW

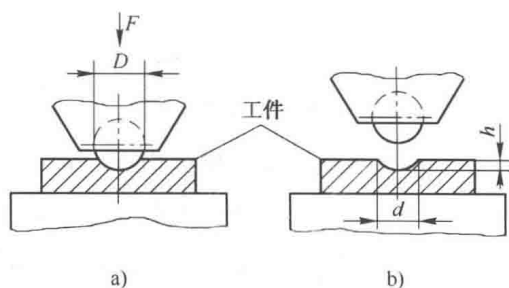


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

a) 压头压入试样 b) 卸载后残留压痕

表示。本标准规定的布氏硬度试验范围上限是 650HBW。布氏硬度值可用下列公式进行计算，即



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

式中 F ——试验力 (N);

D ——压头直径 (mm);

d ——压痕直径 (mm)。

由于只有 d 是变量, 因此, 试验时只要测量出压痕直径 d (mm), 即可通过计算或查布氏硬度表得出 HBW 值。布氏硬度计算值一般都不标出单位, 只需写明硬度的数值即可。

布氏硬度的标注方法是, 测定的硬度值应标注在硬度符号“HBW”的前面。除了保持时间是 10~15s 的试验条件外, 在其他条件下测得的硬度值, 均应在硬度符号“HBW”的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。

例如, 175HBW10/1000/30 表示用压头直径 D 是 10mm 的硬质合金球, 在 1000kgf (9.807kN) 试验力作用下, 保持 30s 测得的布氏硬度值是 175。

450HBW5/750 表示用压头直径 D 是 5mm 的硬质合金球, 在 750kgf (7.355kN) 试验力作用下保持 10~15s 测得的布氏硬度值是 450。一般试验力保持时间是 10~15s 时可不标明。

布氏硬度的特点是, 试验时金属材料表面压痕大, 能在较大范围内反映被测材料的平均硬度, 测得的硬度值比较准确, 数据重复性强。但由于压痕较大, 对金属表面的损伤较大, 不宜测定太小或太薄的试样。布氏硬度试验主要用于测定如铸铁、非铁金属、经退火处理、正火处理和调质处理的钢铁材料及其半成品的硬度。

(2) 洛氏硬度 目前, 金属洛氏硬度试验方法执行 GB/T 230.1—2009 标准。洛氏硬度是以锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 $\phi 1.5875\text{mm}$ 的球 (淬火钢球或硬质合金球), 压入试样表面, 如图 1-4 所示。试验时, 先加初试验力, 然后加主试验力, 压入试样表面之后, 去除主试验力, 在保留初试验力的情况下, 根据试样残余压痕深度增量来衡量试样的硬度大小。残余压痕深度 h 增量越小, 则金属材料的硬度越高。

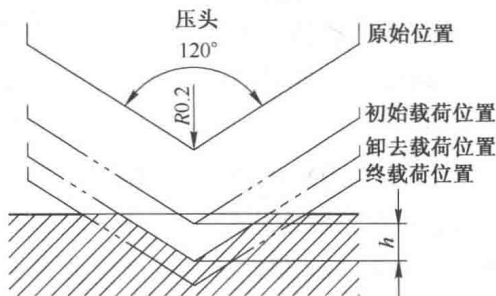


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

洛氏硬度计采用不同的压头和载荷, 并对应不同的硬度标尺, 每种标尺由一个专用字母表示, 标注在符号“HR”后面, 如 HRA、HRB、HRC 等 (见表 1-3)。不同标尺的洛氏硬度值, 彼此之间没有直接的换算关系。测定的硬度数值写在符号“HR”的前面, 符号“HR”后面写使用的标尺。例如, 45HRC 表示用“C”标尺测定的洛氏硬度值是 45。

洛氏硬度试验操作简便, 压痕小, 对试样表面损伤小, 硬度值可以直接从试验机上显示出。但是, 由于压痕小, 硬度值的准确性不如布氏硬度高, 数据的重复性较差。因此, 在测试洛氏硬度时, 需要至少测取三个不同位置的硬度值, 然后计算这三点硬度的平均值作为被测材料的硬度值。洛氏硬度主要用于直接检验成品或半成品的硬度, 特别适合检验经过淬火的零件。



表 1-3 常用洛氏硬度的试验条件、硬度测试范围和应用举例

硬度符号	压头材料	总试验力 F /(N/kgf)	硬度测试范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥	588.4/60	20 ~ 88	硬质合金、碳化物、浅层表面硬化钢
HRB	φ1.5875mm 的淬火钢球或硬 质合金球	980.7/100	20 ~ 100	非铁金属、铸铁、经退火或正火的钢
HRC	120°金刚石圆锥	1471.0/150	20 ~ 70	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

注：采用淬火钢球压头测定的硬度值，需在硬度符号 HRB 后面加“S”；采用硬质合金球压头测定的硬度值，需在硬度符号 HRB 后面加“W”。

(3) 维氏硬度 维氏硬度测定原理与布氏硬度相似，如图 1-5 所示。将相对面夹角为 136°的正四棱锥体金刚石作为压头，试验时在规定的试验力 F (49.03 ~ 980.7N) 作用下，压入试样表面，经规定保持时间后，卸除试验力，则试样表面上压出一个四方锥形压痕，测量压痕两对角线 d 的平均长度，可计算出试样的维氏硬度值。维氏硬度用符号“HV”表示，计算式为

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中 HV——维氏硬度；

F ——试验力 (N)；

d ——压痕中两条对角线长度的算术平均值 (mm)。

试验时用测微仪器测出压痕的对角线长度，算出两对角线长度的平均值后，查 GB 4340.4—2009 附表就可得出维氏硬度值。

维氏硬度的测量范围为 5 ~ 1000HV，其标注方法与布氏硬度基本相同。硬度数值写在符号“HV”的前面，试验条件写在符号“HV”的后面。对于钢和铸铁若试验力保持时间是 10 ~ 15s 时，可以不标出。

例如，540HV30 表示用 30kgf (294.2N) 试验力，保持 10 ~ 15s 测定的维氏硬度值是 540。540HV30/20 表示用 30kgf (294.2N) 试验力，保持 20s 测定的维氏硬度值是 540。

维氏硬度适用范围宽，从很软的材料到很硬的材料都可以测量，尤其适用于测量零件表面层的硬度，如化学热处理的渗层硬度测量，其测量结果精确可靠。但进行维氏硬度测试时，对试样表面的质量要求高，测量效率较低，因此，维氏硬度没有洛氏硬度使用方便。

6. 韧性

部分零件工作时受到的力是冲击载荷，如锻锤锤杆、钢钎、冲压模具、曲轴和冲床连杆等，这些零件除要求具备足够的强度、塑性、硬度外，还应具有足够的韧性。韧性是金属材料在断裂前吸收变形能量的能力。冲击载荷比静载荷的破坏性要大得多，因此，对于承受冲击载荷的金属零件，需要对金属材料制订冲击载荷下的性能指标。金属材料的韧性大小通常采用吸收能量 K (单位是焦耳 J) 指标来衡量。测定金属材料的吸收能量 K 采用 GB/T 229—2007 金属材料夏比摆锤冲击试验方法来测定。

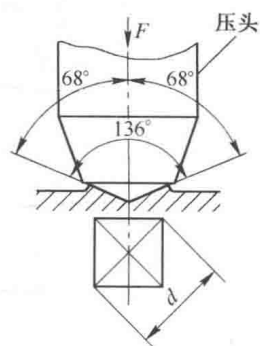


图 1-5 维氏硬度试验原理示意图



(1) 夏比摆锤冲击试样 夏比摆锤冲击试样有 V 型缺口试样和 U 型缺口试样两种, 如图 1-6 所示。带 V 型缺口的试样称为夏比 V 型缺口试样, 带 U 型缺口的试样称为夏比 U 型缺口试样。

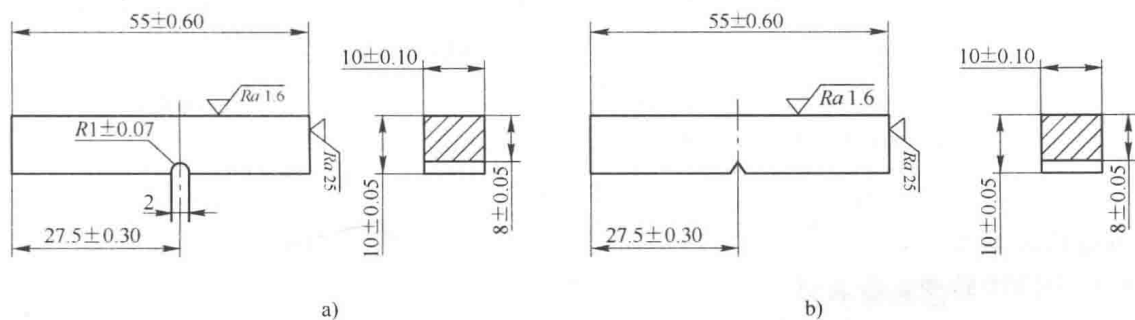


图 1-6 夏比摆锤冲击试样

a) 夏比 U 型缺口 b) 夏比 V 型缺口

在试样上开缺口是为了在缺口附近造成应力集中, 使塑性变形局限在缺口附近, 并保证在缺口处发生破断, 以便正确测定材料承受冲击载荷的能力。同一种金属材料的试样缺口越深、越尖锐, 冲击吸收功越小, 金属材料表现脆性越显著。V 型缺口试样比 U 型缺口试样更容易冲断, 因而其冲击吸收功也较小。因此, 不同类型的冲击试样, 测定出的冲击吸收功不能直接比较。

(2) 夏比摆锤冲击试验方法 夏比摆锤冲击试验方法是在摆锤式冲击试验机上进行的, 如图 1-7 所示。试验时, 将带有缺口的标准试样安置在冲击试验机的机架上, 使试样的缺口位于两支座中间, 并背向摆锤的冲击方向。将一定质量的摆锤升高到规定高度 H_1 , 则摆锤具有势能 A_{KV1} (V 型缺口试样) 或 A_{KU1} (U 型缺口试样)。当摆锤落下将试样冲断后, 摆锤继续向前升高到 H_2 , 此时摆锤的剩余势能是 A_{KV2} 或 A_{KU2} 。则冲击试样的吸收能量 K 就等于摆锤冲断试样过程中所失去的势能。

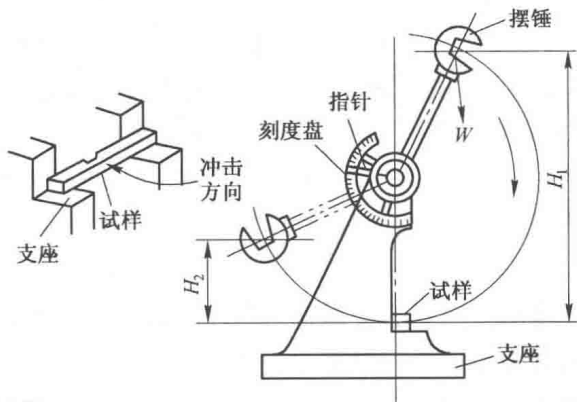


图 1-7 夏比冲击试验原理

V 型缺口试样: KV_2 或 $KV_8 = A_{KV1} - A_{KV2}$ (J)

U 型缺口试样: KU_2 或 $KU_8 = A_{KU1} - A_{KU2}$ (J)

KV_2 或 KU_2 表示用刀刃半径 $R2\text{mm}$ 的摆锤测定的吸收能量。

KV_8 或 KU_8 表示用刀刃半径 $R8\text{mm}$ 的摆锤测定的吸收能量。

吸收能量 KV_2 或 KV_8 (KU_2 或 KU_8) 可以从试验机的刻度盘上直接读出。它是表征金属材料韧性的重要指标。显然, 吸收能量大, 表示金属材料抵抗冲击试验力而不破坏的能力越强。

吸收能量 K 对组织缺陷非常敏感, 它可灵敏地反映出金属材料的质量、宏观缺口和显微组织的差异, 能有效地检验金属材料在冶炼、成形加工、热处理工艺等方面的质量。



(3) 冲击吸收能量与温度的关系 冲击吸收能量对温度非常敏感。有些金属材料在室温时可能并不显示脆性，但在较低温度下，则可能发生脆断。如图 1-8 所示，在进行不同温度的一系列冲击试验时，随试验温度的降低，冲击吸收能量总的变化趋势是随着温度的降低而降低。当温度降至某一数值时，冲击吸收能量急剧下降，金属材料由韧性断裂变为脆性断裂，这种现象称为冷脆转变。金属材料在一系列不同温度的冲击试验中，冲击吸收能量急剧变化或断口韧性急剧转变的温度区域，称为韧脆转变温度。金属材料的韧脆转变温度越低，说明金属材料的低温抗冲击性越好。非合金钢的韧脆转变温度约为 -20°C ，因此，在非常寒冷（低于 -20°C ）的地区使用非合金钢构件（如钢轨、车辆、桥梁、输运管道、电力铁塔等）时，易发生脆断现象。所以，在选用金属材料时，一定要考虑金属材料服役条件的最低温度必须高于金属材料的韧脆转变温度。

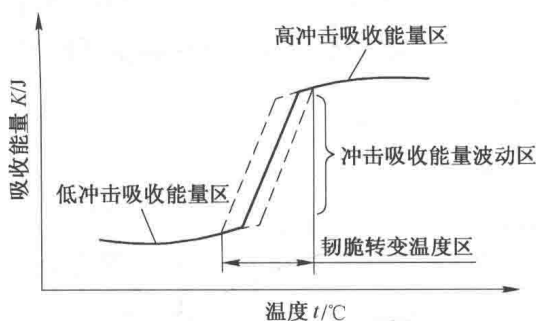


图 1-8 吸收能量—温度曲线



【史海探析】

20 世纪初期，由于当时的炼钢技术不够先进，不能采取有效的办法降低钢材中硫和磷的含量。对于泰坦尼克号来说，其船体钢板的韧性较低，而且当时泰坦尼克号又在冰冷的海水中航行，因此，泰坦尼克号撞上冰山后，船体很容易发生断裂，即便泰坦尼克号是双层船体，船体钢板再厚，也难逃厄运。

7. 多次冲击试验

金属材料在实际服役过程中，经过一次冲击断裂的情况很少。许多金属材料或零件的服役条件是经受小能量多次冲击。由于在一次冲击条件下测得的冲击吸收能不能完全反映这些零件或金属材料的性能指标，因此，材料专家提出了小能量多次冲击试验。

金属材料在多次冲击下的破坏过程是由裂纹产生、裂纹扩张和瞬时断裂三个阶段组成的。其破坏是每次冲击损伤累积发展的结果，不同于一次冲击的破坏过程。

多次冲击弯曲试验如图 1-9 所示。试验时将试样放在试验机支座上，使试样受到试验机锤头的小能量多次冲击，测定被测金属材料在一定冲击能量下，开始出现裂纹和最后破裂的冲击次数，并依此作为多次冲击抗力的指标。

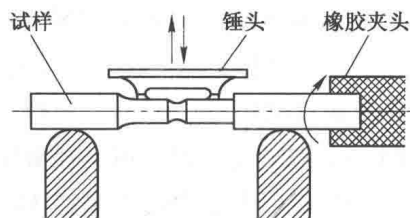


图 1-9 多次冲击弯曲试验示意图

可以说，多次冲击弯曲试验在一定程度上可以模拟零件的实际服役过程，为零件设计和选材提供了理论依据，也为估计零件的使用寿命提供