

韩德伟编写 田荣璋审定

金属的硬度及其试验方法



金属的硬度及其试验方法

韩德伟编写

田荣璋审定

湖南科学技术出版社

内 容 提 要

本书从应用的角度出发,较全面地介绍了国内外常用的各种硬度试验方法和所涉及的工具(包括试验原理、公式来源、硬度计构造、应用范围、操作程序和技术条件),对硬度计和压头的技术要求以及我国硬度基准和量值传递情况也作了简要介绍。本书的附录篇幅较大,较全面地汇集了常用金属材料 and 合金的硬度值、合金中组成相的显微硬度数据、各种硬度计量时的查对表、不同硬度间的换算及硬度与强度的换算表等,可作为小型手册使用。

本书适合于从事金属材料及金相热处理工作的工程技术人员和工人阅读使用,也可供大学和中专有关专业的师生参考。

金属的硬度及其试验方法

韩德伟编写 田荣璋审定

责任编辑:李遂平

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1983年10月第1版第1次印刷

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 8.875 字数: 199,000

印数: 1—5,100

统一书号: 15204·111 定价: 1.20元

前 言

本人在二十多年的工作实践中，深切体会到硬度试验方法应用的广泛性和重要性。鉴于较全面地论述这一内容的书籍尚少，这本书的出版可能会给有关人员带来很大的方便。

本书资料来源多选自各种手册、有关杂志和有关力学性能试验的各种著作；同时，由于本人的工作条件，也从省、市计量部门和国家计量科学研究院以及国外有关试验方法标准中搜集了一些资料；另外，本人还与某些硬度仪器生产的工厂建立了一些联系，从而得知各种硬度计的一些改进和发展情况。在本书中也有少部分内容反映了本人多年工作中的一些体会和见解。

本书从应用的角度出发，对国内外常用的硬度试验方法以及所涉及的工具进行了较全面的介绍。这包括从不同金属材料的特点出发，介绍合理地选择硬度试验方法的原则，分章介绍了常用方法的试验原理、公式的来源、操作程序及使用时注意的事项。在各章“应用范围”内容中还介绍了一些较新的应用实例。此外，对硬度计和压头的技术要求、我国硬度基准和量值传递情况也作了简要介绍。本书的附录较全面地汇集了常用金属材料 and 合金的硬度值、合金中组成相的显微硬度数据及各种硬度的查对表、不同硬度间的换算及硬度与强度的换算表等。附录的实用性也是很强的。

本书适合于从事金属材料生产和研究的工程技术人员、大学和科研单位金属性能试验室的试验人员、有关工厂理化检验

室及热处理车间的工程技术人员和工人阅读使用。也可供高等院校和中专金属材料及金相热处理专业的师生参考。

本书承中南矿冶学院吴惕言副教授审阅了原稿；田荣璋副教授给予了具体指导，并进行了最后的审定工作。书中插图由颜伟华、韩晓路同志绘制。

在编写过程中，曾得到长沙市和湖南省机械工程学会邓泽致高级工程师、朱旭仁、何锦燕工程师的支持和帮助。书中十三、十四两章内容中引用了中国计量科学研究院等单位组成的“金属材料硬度与强度换算研制”课题组的部分成果。该课题组主要成员李玉智、李玉书、李芷娟、郭振兴，计量院力学处杨辉其，172厂李志明等工程师对本书还给予了大力帮助。此外，中南矿冶学院材料系为本书的编写给予了热情支持。特此向他们表示衷心的感谢。

韩德伟

1983年4月于长沙中南矿冶学院材料科学与工程系

目 录

第一章 概述	(1)
一、金属材料硬度的定义.....	(2)
二、硬度试验的作用和特点.....	(3)
三、常用硬度试验方法的分类.....	(6)
四、试验方法的正确选用.....	(7)
第二章 布氏硬度	(12)
一、试验原理.....	(12)
二、计算公式.....	(12)
三、相似原理的应用.....	(14)
四、应用范围及其优缺点.....	(17)
五、硬度计及其构造.....	(17)
六、试验方法和技术条件.....	(18)
第三章 洛氏硬度及表面洛氏硬度	(24)
第一节 洛氏硬度	(24)
一、试验原理.....	(24)
二、试验过程及其示意图.....	(25)
三、计算公式和两点解释.....	(26)
四、应用范围及其优缺点.....	(28)
五、硬度计及其构造.....	(28)
六、试验方法和技术条件.....	(30)
第二节 表面洛氏硬度试验	(40)
一、硬度值与压入深度的关系.....	(40)
二、标尺和试验条件.....	(41)

三、应用范围·····	(43)
四、硬度计的构造及试验程序·····	(47)
第四章 维氏硬度和轻负荷维氏硬度 ·····	(49)
第一节 维氏硬度 ·····	(49)
一、试验原理·····	(49)
二、计算公式·····	(49)
三、维氏硬度的相似原理·····	(51)
四、应用及优缺点·····	(52)
五、硬度计及其构造·····	(53)
六、试验方法和技术条件·····	(55)
第二节 轻负荷维氏硬度 ·····	(63)
一、试验原理·····	(63)
二、轻负荷维氏硬度的应用·····	(63)
三、硬度计及其构造 (以国产HV-1型为例) ·····	(67)
四、试验方法·····	(69)
五、试样的准备·····	(70)
第五章 肖氏硬度 ·····	(71)
一、试验原理·····	(71)
二、计算公式及分析·····	(71)
三、应用范围及优缺点·····	(73)
四、硬度计及其构造·····	(74)
五、影响示值准确性的因素·····	(76)
六、试验条件与注意事项·····	(77)
第六章 锤击式布氏硬度 ·····	(81)
一、试验原理·····	(81)
二、计算公式及换算表·····	(81)
三、应用范围及优缺点·····	(84)
四、锤击式布氏硬度计结构及标准杆·····	(85)
五、试验方法和注意事项·····	(86)

六、弹簧加力式布氏硬度计	(88)
第七章 划痕硬度	(89)
一、试验原理和计算公式	(89)
二、划痕产生过程的应力分析	(92)
三、划痕硬度和真实断裂强度以及划痕硬度和断面收缩率 ψ 的关系	(93)
第八章 洛氏硬度测试笔及锉刀硬度试验	(95)
一、洛氏硬度测试笔	(95)
二、锉刀试验硬度	(96)
第九章 显微硬度	(98)
一、显微硬度试验原理	(100)
二、计算公式	(100)
三、克努普氏压头的特点	(102)
四、应用范围	(105)
五、硬度计及其构造	(107)
六、加荷机构及压痕中心的调整	(109)
七、显微硬度计的操作及注意事项	(114)
八、哈纳门 (Hanemann) 型显微硬度计简介	(115)
九、影响显微硬度值准确性的主要因素	(118)
第十章 高温和低温硬度	(122)
一、高温硬度试验原理和方法	(122)
二、高温硬度试验用压头	(126)
三、低温硬度试验	(128)
第十一章 硬度的其它测量方法	(129)
一、剩余磁感应法	(130)
二、磁矫顽力法	(131)
三、磁导率法	(132)
四、动态磁损耗法	(133)
五、涡流法	(133)

六、超声波法	(135)
第十二章 硬度计和压头	(137)
第十三章 我国硬度基准、量值传递及检定规程	
简介	(146)
一、洛氏及表面洛氏硬度基准	(147)
二、布氏硬度基准	(147)
三、维氏硬度基准	(149)
四、显微硬度基准	(149)
五、硬度量值传递及传递系统	(149)
六、硬度计量检定规程及规程号简介	(150)
第十四章 金属硬度与强度间的换算关系简介	(162)
第十五章 国外有关硬度试验方法、硬度计量标准及编号简介	(167)
一、世界硬度计量测试现状简介	(168)
二、国际硬度计量发展趋势	(168)
三、国外硬度计量和试验法标准号简介	(169)
附 录	(174)
1. 常用纯金属的硬度	(174)
2. 常用黑色及有色金属材料的硬度	(175)
3. 常用硬质合金的硬度	(197)
4. 金属及合金中一些组成相的显微硬度	(200)
5. 几种纯金属的显微硬度	(203)
6. 压痕直径与布氏硬度值对照表	(204)
7. 压痕对角线长度与维氏硬度值 HV 的对照表	(210)
8. 压痕对角线长度与显微硬度值 Hm 的对照表	(239)
9. 压痕长对角线长度 L 与克努普氏硬度值 HK 的对照表	(250)
10. 黑色金属硬度及强度换算表	(252)
11. 常用铜合金硬度与强度换算简表	(263)
12. 米制长度单位换算系数表	(268)

13.米制面积单位换算系数表	(269)
14.米制力单位换算系数表	(270)
15.常用硬度试验的负荷单位“(公斤力)与(牛顿)”换算表.....	(271)
主要参考资料	(272)

第一章 概 述

金属材料是发展工业、农业、国防、科学技术和提高人民生活水平所必需的物质。金属材料的品种、数量和质量已成为衡量一个国家经济和科学技术发展水平的重要标志之一。在历史上,人类发现了铜和锡,用青铜(铜锡合金)制造工具,从而把劳动生产率大大提高,人类社会就由石器时代跨进了铜器时代。在两千多年前出现炼铁术以后,人类进入了用铁和钢(铁碳合金)的铁器时代。后来,随着科学技术的发展,冶炼出了多种金属元素,迄今已发现的一百多种元素中,有近90种是金属或半金属。依照习惯可分成以下几类:

1. 黑色金属 如铁、铬、锰。

2. 有色金属

(1) 常用有色金属

1) 有色轻金属 如铝、镁、钠、钙、锶和钡等。

2) 有色重金属 如钴、镍、铜、铅、锌、锡、铋、镉、铟和汞等。

(2) 稀有金属:

1) 稀有轻金属 如锂、铍、铷和铯等。

2) 稀有难熔金属 如钛、钒、锆、铌、钼、钨和钽等。

3) 稀土金属 如钪、钇和镧系元素。

4) 稀有分散金属 如镱和铷系元素。

(3) 贵金属 如钨、铼、钼、钽、铌、铂、金和银等。

3. 半金属 如硅、硒、碲、砷和硼等。

金属虽然仅有九十余种，但用这些不同金属配制的金属材料却千变万化，性能各异，构成了现代工业和科学技术所需要的各种材料，如结构材料、建筑材料、耐磨材料、耐酸材料、电工材料、高温和低温材料等等。

评价金属材料的好坏，可从其物理性能、化学性能和机械性能以及各种性能之间配合情况来判断，而机械性能中的硬度是经常被测定的一种指标。鉴于硬度试验方法的特点，金属的硬度日益受到重视，其试验方法得到了广泛的应用。

一、金属材料硬度的定义

硬度是金属材料力学性能试验中最常用的一个性能指标。硬度试验又是最迅速最经济的一种试验方法。但是对于金属材料的硬度，至今国内外还没有一个包括所有实验方法在内的统一而明确的定义。一般说来，金属的硬度常被认为是：材料对压入塑性形变、划痕、磨损或切削等的抗力。也有认为是：材料在一定条件下抵抗另一本身不发生残余变形物体压入的能力。之所以存在上述两种说法，是因为“硬度”本身不是一个物理常数。它是一个不仅决定于所研究材料本身的宏观与微观条件（如宏观的变形程度，冷热加工条件，微观的金属晶体点阵类型、晶格常数和原子间的结合力等），而且也决定于测量条件的量。可以这样说，对于被试的材料而言，硬度是代表着在一定的压头和力的作用下所反映出的弹性、塑性、塑性形变强化率、强度、韧性以及抗摩擦性能等一系列不同物理量的综合性能指标。例如，将同样尺寸、相同材质的物体以同样大小的负荷分别压在铁和铜的表面上，去掉负荷后看到铁被压入的浅，而铜被压入的深，这表明铁的形变抗力比铜的形变抗力大，即

铁比铜硬。而实质上在这一比较中，还包括了两种材料的不同弹性、塑变能力和形变强化率等因素在内。

另外，测试方法不同，硬度值的物理含义也不相同。例如布氏硬度，是单位凹印面积上所受的抗力大小(公斤力/毫米²)。而洛氏硬度没有量纲，只是在使用同一标尺的条件下，以数值的大小来比较硬度的高低。

因此，用更准确的定义去更真实地反映出硬度的客观实质，有待于从试验中和人们对金属宏观和微观结构的深入研究中去获得。尽管如此，在不同试验方法的基础上，正确运用试验原理和试验条件，得出的硬度试验结果对于各行各业正确使用金属材料、监视工艺的正确性以及科学实验中均有重大的实际意义。

二、硬度试验的作用和特点

硬度试验能成为力学性能试验中最常用的一种方法，是因为硬度试验的结果能敏感的反映出材料在化学成分、组织结构和处理工艺上的差异。这种方法在检查原材料、监督热处理工艺质量以及在研究固态相变过程和研制新合金、新材料中被广泛的加以应用。

例如，在钢铁材料中，当马氏体形成时，由于溶入过饱和的碳原子而增大了晶格畸变，增加了位错密度，从而显著的降低了塑变能力。这就是马氏体具有高硬度的主要原因。显然，含碳量愈高，这种畸变程度愈大，则硬度也愈高。不同含碳量的钢在淬火后，硬度值与马氏体量及其含碳量间在很大范围内有良好的对应关系（见图1—1）。淬火钢回火后的硬度取决于回火温度及保温时间。回火温度愈高，保温时间愈长，硬度愈低。因此可以利用硬度试验研究钢的相变和作为检验钢铁热处理效应的手段。

合金的硬度随冷加工变形程度的增大而提高，又随退火而使材料发生恢复再结晶的程度的增加而降低。时效强化型合

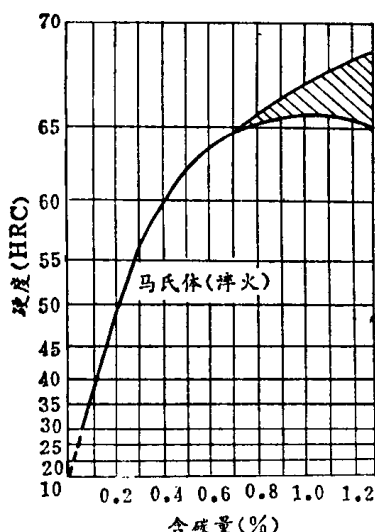


图1—1 淬火钢的最大硬度与含碳量的关系

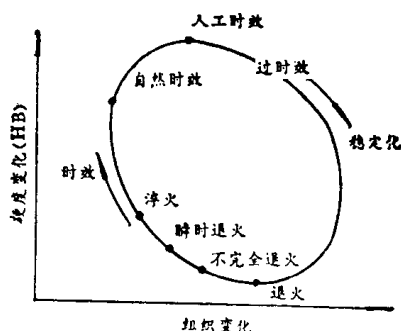


图1—2 可强化铝合金热处理工艺与硬度关系

金的硬度与采用的各种热处理工艺所引起的组织变化有关。如可强化铝合金的热处理工艺与硬度的关系见图1—2。对某一种具体工艺方法，可通过硬度试验，研究其工艺参数的改变引起组织与性能变化的规律。图1—3是以LF21防锈铝合金为例。该种合金制品退火时，极易产生粗大晶粒，致使合金半制品在深冲或成型时，表面粗糙或出现裂纹。实验证明，这是由于铸锭偏析所造成，采取合适的均匀化温度处理可以得到改善。通过图可以看出，采用610℃均匀化退火，可消除枝晶偏析，得到均匀的硬度，从而保证产品质量。温度过高如用640℃均匀化退火，由于从 $\alpha(\text{Al})$ 中析出的 MnAl_3 等化合物又重溶解，晶内偏析现象再度出现，显微硬度的分布又不均匀。

在研究金属焊接结构时，可利用硬度试验确定焊缝区产生

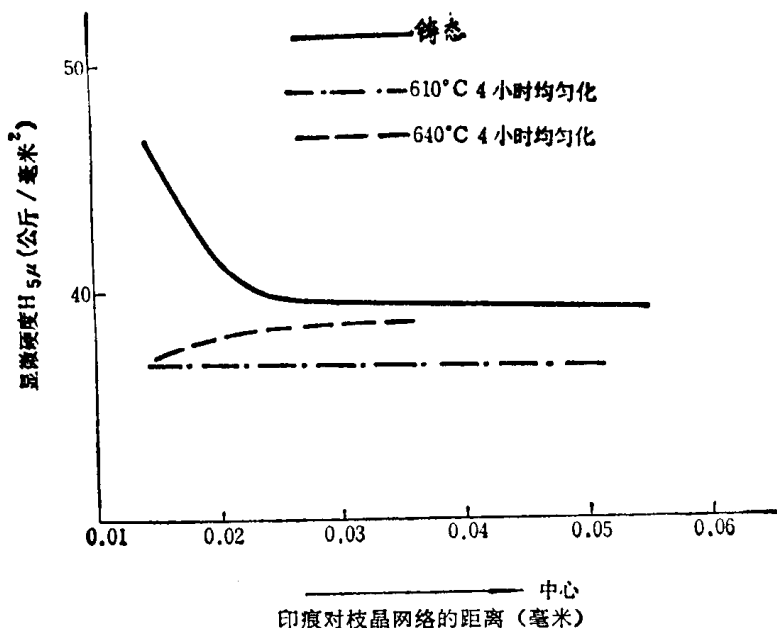


图1—3 均匀化温度对晶内偏析显微硬度的影响

淬硬的倾向以及测定热影响区域的范围。利用表面洛氏和轻负荷维氏硬度等试验法，可测定表面热处理强化效果及其硬度梯度，表面强化层或渗层的深度。观察印痕的形态和压印边缘出现裂纹等情况，可以评定表面强化层或材料的相对脆性等级。显微硬度试验法是金相分析方法的补充，除开用作测定显微组织中相的硬度外，还有广泛的其它用途。除此之外，材料有时在高温或低温下使用，可以通过高温硬度的测定来判断其适用性。总之，硬度试验法的应用是非常广泛的，如在汽车制造工业中，就有400多种零件要测定硬度，而在一架大型喷气客机上，仅发动机就有数以千计的零件要测试硬度。

硬度试验方法的特点是经试验后的制件不被破坏，留在制

件表面上的试验痕迹很小，在大多数情况下对于制件使用无影响，可视为无损检验。对于重要的产品可以逐个进行检查。

硬度试验所用设备简单，易于掌握。不仅可以在固定的仪器上进行，而且还有可携式小型硬度计，在生产线或特大件上均可进行试验。

硬度试验有很高的工作效率，如洛氏硬度试验在相同的试件上一小时可测得120个以上数据。

科学、合理的使用硬度试验方法，对监督产品质量、加强生产管理、提高经济效益是很重要的。例如，在我国机械制造业中，硬度试验法常用于最终热处理效应检查，而一些工业国家的企业在工艺管理和质量控制中将硬度试验法作为非常重要的一种手段，如对未经热处理的一些制件，为避免混料，错料，规定进行硬度检查。在加工过程中，为避免切削或磨加工量过大而引起退火造成性能改变，也规定用硬度检查加以监督。因此，正确合理地应用这一试验方法，很值得重视。

由于金属硬度与强度之间有一定的对应关系，使硬度试验具有更广泛的实用意义。

三、常用硬度试验方法的分类

自1722年雷奥姆尔 (Reaumur)首次应用了矿物对金属进行刻划的初始硬度试验以来，人们提出过几百种测量金属硬度的方法。除开常用的布氏、洛氏、维氏等外，还有钻孔法、磨料法以及摇摆硬度试验法等。通过在工业生产、科学实验中的应用考验，有些方法逐渐被淘汰，有些则应用较少；而有些方法因为使用方便、测试准确而得到了广泛的应用。

常用硬度试验方法一般有如下分类：

1. 按负荷施加速度分类

(1) 静力试验法 硬度的测定主要取决于被测试样表面压

痕的状况,即印痕深度、印痕投影或印痕凹印面积的大小。这包括所有的静力压入法,如常用的布氏、洛氏、维氏、克努普氏与显微硬度等。其加荷特点是压头在负荷作用下缓慢加于试样表面。

(2) 动力试验法 加荷特点是动态和具有冲击性的,包括肖氏、锤击硬度等。

2.按负荷的大小分类

宏观硬度试验 负荷大于10公斤力

轻负荷硬度试验 负荷在0.2~10公斤力

显微硬度试验 负荷在0.5~200克力

超显微硬度试验 负荷在0.1~5克力

3.按试验时温度分类

常温硬度试验 在室温下进行

低温硬度试验 在0℃以下进行

高温硬度试验 在高于室温以上特定温度下进行。

4.按试验原理分类 有布氏、洛氏、维氏、克努普氏、肖氏、显微、磁力硬度及超声、划痕硬度等。

四、试验方法的正确选用

从硬度试验方法分类中可以看出,仅常用的硬度试验就有好多种。这些方法不仅在原理上有区别,而且在同一种方法中,还有不同的负荷、压头和标尺。如何根据待测试材料的种类、工艺状态、几何尺寸等特点来选择一种合适的硬度试验方法和试验条件,是进行硬度试验时首先应予以认真考虑的。选择时可参考表1—1和图1—4。

硬度试验方法的正确选用,一般来讲应注意以下原则:

1.根据对试样硬度范围的估计来选用较合适的试验方法,当不能作出大致的估计时,应按较高的硬度来选择试验方法。