

中南大学出版社“十一五”规划重点图书

HANDBOOK FOR TECHNOLOGY OF
HARDNESS DETERMINATION OF METALS

金属硬度 检测技术手册

(第 2 版)

韩德伟 编写
田荣璋 审定

中南大学出版社“十一五”规划重点图书

HANDBOOK FOR TECHNOLOGY OF
HARDNESS DETERMINATION OF METALS

金属硬度 检测技术手册

(第2版)

韩德伟 编写
田荣璋 审定

图书在版编目(CIP)数据

金属硬度检测技术手册/韩德伟编写.—2版—长沙:中南大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-81105-582-5

I. 金... II. 韩... III. 金属-硬度试验-技术手册

IV. TG115.5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 118387 号

金属硬度检测技术手册

(第2版)

韩德伟 编写 田荣璋 审定

☐责任编辑 程 滨

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 湖南省地质测绘印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 28.5 ☐字数 700 千字

☐版 次 2007 年 6 月第 2 版 ☐2007 年 6 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-582-5

☐定 价 75.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

序

金属硬度是金属材料力学性能重要指标之一。其检测设备简便，数据容易取得，有重要的代表性，金属硬度检测成为常用的方法，深受广大科技、生产、教学、管理和贸易人员重视。国家在相应部门专门设立了对金属硬度检测方法的研究和相关标准的制订机构。我国改革开放以来，特别是加入WTO以后，加强了与世界各国的往来，金属硬度检测方法的研究和相关标准的制订更引起重视，有了长足的发展。与国际比对结果说明，我国的金属硬度检测技术、检测设备和检测标准已达到了国际水平。

关于金属硬度检测技术方面的图书（专著），近20年来出版甚少，书中介绍金属硬度检测方法不多，实用技术很少涉及。韩德伟同志在长期的工作实践和理论探讨的基础上，曾编写出版过《金属的硬度及其试验方法》一书（湖南科学技术出版社，1983年），深受读者青睐。

我和韩德伟同志是老搭档老朋友，在一个教研室时，我是教研室主任，他是实验室主任，经常一起研究实验技术，一起去参加学术活动和学会活动。我俩先后曾参加过5次全国大型金属硬度-强度换算鉴定会，如“铝合金硬度-强度换算鉴定会”、“铜合金硬度-强度换算鉴定会”和“舰艇用钢硬度-强度换算鉴定会”，等等。有幸，这几个鉴定会我均为鉴定技术负责人。因此，对金属硬度检测情有独钟，也就愿意多加关心。

我和韩德伟同志都已退休。我提议让他编写一本《金属硬度检测技术手册》，对有关企事业单位和从事硬度检测工作人员是个技术支持和技术服务，也是对改革开放、经济建设和贸易交流的贡献。他欣然地同意了，并日夜兼程，寒暑不顾，在一年时间内完成了初稿，经我俩商榷修改，定稿，付梓。

《金属硬度检测技术手册》主要是针对现场第一线从事金属力学性能检测工作的技术人员、技术工人、管理人员编写的；也可供各种类型机械、冶金及金属加工企业，需理化检验及产品品质检验的研究设计单位，金属管理及贸易部门，科研院所及理工科高等院校、中等专业学校科研人员、教师、

研究生和高年级学生使用和参考。

该书可以用“新”、“全”和“实用”来概括其全貌。所谓新，是书中所用的标准和推荐使用标准都是现行的，对国内外金属硬度检测技术现状及其发展给予了评说，因此，该书内容是新的，也是先进的。所谓全，是该书所介绍的金属硬度检测方法，应有尽有，是同类书中最多的。除过去早已使用的布氏、洛氏、维氏等硬度检测方法之外，改革开放以后引进的里氏、韦氏、巴氏等硬度检测技术，甚至最新的“纳米压痕（硬度）”也有介绍。各种金属材料的硬度表、硬度之间换算表、硬度与强度之间换算表，一应俱全。所谓实用，是该书专门开辟金属检测实践（应用）部分，对现场遇到的各种不同状态的金属材料、不同形状的零件（产品）、各种处理的表面层……工作中所遇到的各种难题，均给予了正确的指导和解说。应该说，这是一本不可多得的，关于金属硬度检测技术的专著，是专门技术性的一本好书。

田荣璋

2003年5月于中南大学

前 言

作者在长期的工作实践中,深切体会到硬度检测方法应用的广泛性和重要性。20世纪80年代初作者曾编写出版过《金属的硬度及其试验方法》一书,此后近20年来,有关硬度检测方法、硬度计的检定等国家标准均已重新修订(当时只有少数标准),后又新颁布了如维氏、里氏、努普及肖氏等硬度试验方法国家标准。但经上网查寻,发现介绍有关这方面内容的编著甚少,这是促使作者下决心编写此书供读者方便使用的原因。

因标准的修订和新颁布,本书有全新的内容。书中除分章介绍了常用硬度检测方法的检测原理、公式来源、应用及其特点,检测方法及注意事项外,还新介绍了韦氏和巴克尔硬度检测方法。书中对试验方法中因为力值单位的改变(公式均相应改变)及洛氏法中九个标尺的应用等都作了详细介绍。还编写了有关硬度检测应用,根据不同金属材料的工艺特点,介绍了合理选用检测方法、检测技术条件等内容。在检测应用章节中介绍了如钢铁零件氮化、表面淬火后的硬度检测及层深确定等内容。其他如金属覆盖层、轧辊、轧制钢球、粉末冶金制品、铝板及包铝合金板等的硬度检测方法也都作了专门的介绍。书中部分内容反映了作者多年从事理化研究和教学工作的一些体会和见解。

中国计量科学研究院力学处硬度室原主任杨辉其高级工程师应约请特为本书撰写了硬度计发展现状、现代硬度计量测试的发展趋势和国际间硬度比对;中南大学周善初副教授应约请为本书撰写了硬度与强度关系及各种硬度值比较和换算章节。

本书附录较全面地汇集了常用金属材料和合金的硬度值、合金中组成相的显微硬度数据及各种硬度间的查对表、硬度与强度换算表等,有较强的实用性。

本书适于大、中、小型机械、冶金及金属材料加工厂理化室,热处理厂、车间的检验及工程技术人员,理工科大专院校和科研院所力学性能试验室的试验人员及教师、研究人员使用;也可供机械、金属材料专业大学、大中专的高年级学生、研究生在学习和进行论文工作中参考。

本书的编写和出版,要特别感谢中南大学出版社原社长兼总编辑田荣璋教授,编写的全过程都得到他的鼓励、指导和帮助并蒙亲自审定。

中国计量科学研究院杨辉其、李芷娟高级工程师,成都中国测试技术研究院林巨才高级计量工程师,中南大学周善初副教授、李松瑞教授,原吴忠材料试验机总厂姜云高级工程师对本书编写给予了关心和具体帮助,沈阳天星测控技术研究所张凤林所长提供了有关韦伯特、巴克尔仪器资料,中南大学材料科学与工程学院对本书编写给予的热情支持。编者以上述专家和单位及编写本手册时所用参考资料的原作者,标准的起草人和出版者,一并表示感谢。

由于编者水平所限,谬误和不当之处祈请赐教和指正。

韩德伟

2003年1月于长沙中南大学

第二版前言

感谢读者的垂青和中南大学出版社的支持,此书出版仅两年多时间,即有修订再版的机会。令编写人特别高兴的是,能趁再版之机向读者介绍布氏、洛氏两个新修订的硬度试验方法国家标准。至此,本书中所介绍的布、洛、维、肖、里、努普六个硬度试验方法内容均已与国家标准、ISO 标准和发达国家标准趋于一致。

此外,书中内容在硬度试验方法中,新介绍了便携式硬度计测定金属材料压痕硬度的试验方法《ASTM E 110—82 (1997)》和仪器。在检测实践内容中增加了铝及其合金、铜及其合金和球磨机用磨球的硬度检测方法。在检验内容中增加已有国家标准的布、洛、维等六种硬度计的间接检验,给出了示值允许误差和示值重复性要求等内容。其他内容也有少数修订和增补。

在再版过程中,要特别感谢布、洛、维、里、努普五个硬度试验方法国家标准的第一起草人、北京钢铁研究总院李久林高级工程师的关心和帮助,他特意寄来的 ISO 和部分发达国家有关硬度试验最新的标准号等资料,在书的修订中还参考了李久林编著的《金属硬度试验方法国家标准 (HB、HV、HR、HL、HK、HS) 实施指南》一书,并引用了相关资料。

还应感谢中南大学田荣璋教授为此书再版付出的辛劳,周善初教授在再版中应约为再版撰写了淬透性曲线、半马氏体组织硬度与临界淬透直径等内容。

蹉跎岁月后,尚能为读者提供一些技术支持和查阅方便服务,令编写人感到非常欣慰。但差误和不尽完善之处必会存在,祈请指正。愿有机会能再作努力,将力求修正、进步。

韩德伟

2006 年 4 月于长沙中南大学

目 录

第一部分 金属硬度检测方法

1 概 述	(3)
1.1 金属材料硬度的定义	(3)
1.2 硬度试验的作用和特点	(3)
1.3 常用硬度试验方法的分类	(5)
2 布氏硬度检测方法	(7)
2.1 原理	(7)
2.2 计算公式	(7)
2.3 相似原理及其应用	(8)
2.4 金属布氏硬度试验国标的演变	(11)
2.5 符号说明及 K 常数的选用	(11)
2.6 应用范围及其优缺点	(13)
2.7 检测方法和技术条件	(13)
3 洛氏及表面洛氏硬度检测方法	(39)
3.1 洛氏硬度检测方法	(39)
3.2 表面洛氏硬度检测方法	(47)
4 维氏硬度检测方法	(54)
4.1 原理	(54)
4.2 范围、符号及说明	(55)
4.3 计算公式	(55)
4.4 相似原理	(57)
4.5 应用及其特点	(58)
4.6 检测方法和注意事项	(111)
4.7 试样最小厚度与检测力间关系	(115)
5 肖氏硬度检测方法	(119)
5.1 原理	(119)
5.2 计算公式	(119)
5.3 肖氏硬度计刻度 (C 型和 D 型)	(120)

5.4	应用范围及其优缺点	(121)
5.5	硬度计技术参数及构造	(121)
5.6	影响示值准确性的因素	(125)
5.7	检测方法和技术条件	(126)
6	里氏硬度检测方法	(129)
6.1	原理	(129)
6.2	计算公式	(130)
6.3	应用范围及其特点	(131)
6.4	里氏硬度计冲击装置	(131)
6.5	试样及其要求	(131)
6.6	仪器要求	(132)
6.7	检测	(133)
7	努普硬度检测方法	(145)
7.1	原理	(145)
7.2	计算公式	(145)
7.3	努普压头的应用与特点	(152)
7.4	检测方法和注意事项	(156)
7.5	试样最小厚度与检测力间关系	(158)
8	韦氏硬度检测方法	(160)
8.1	原理	(160)
8.2	计算公式	(160)
8.3	硬度计结构	(160)
8.4	硬度计校准	(162)
8.5	检测方法	(162)
9	巴氏硬度检测方法	(164)
9.1	原理	(164)
9.2	应用及其特点	(164)
9.3	硬度计结构	(166)
9.4	试样准备	(168)
9.5	检测	(168)
10	便携式硬度计金属硬度检测方法	(169)
10.1	原理及仪器	(169)
10.2	检测操作	(169)
10.3	仪器校准	(171)
11	锤击和弹簧加力式布氏硬度检测方法	(172)
11.1	锤击式布氏硬度检测方法	(172)

11.2	弹簧加力式布氏硬度检测方法	(178)
12	锉刀和测试笔检测硬度方法	(179)
12.1	锉刀检测硬度方法	(179)
12.2	测试笔检测硬度方法	(182)
13	划痕硬度检测方法	(183)
13.1	原理	(183)
13.2	划痕产生过程的应力分析	(185)
13.3	划痕硬度与金属破坏性质的关系	(186)
14	高温和低温硬度检测方法	(187)
14.1	高温硬度检测方法	(187)
14.2	高温硬度检测用压头	(190)
14.3	低温硬度检测方法	(191)
15	金属硬度的无损检测方法	(193)
15.1	剩余磁感应方法	(193)
15.2	磁矫顽力方法	(194)
15.3	磁导率方法	(195)
15.4	动态磁损耗方法	(195)
15.5	涡流方法及涡流检测仪	(196)
15.6	超声波方法	(197)
15.7	纳米压痕技术简介	(198)

第二部分 金属硬度检测实践

16	方法选用及表示方法	(203)
16.1	硬度检测方法的选用	(203)
16.2	硬度标注及图纸上的表示方法	(208)
17	钢铁零件表面处理后的硬度检测方法	(212)
17.1	钢铁零件渗氮(氮化)后的硬度检测方法	(212)
17.2	钢铁零件表面淬火后的硬度检测方法	(216)
17.3	渗碳及碳氮共渗零件硬化层深度及表面硬度检测方法	(220)
17.4	钢的脱碳层深度检测方法	(222)
18	轧辊的硬度检测方法	(224)
18.1	轧辊硬度检测方法	(224)
18.2	铸钢、铸铁、锻钢轧辊的牌号及硬度要求	(226)

19	球磨机用磨球的硬度检测方法	(235)
19.1	锻、轧钢球的硬度检测方法	(235)
19.2	铸铁磨球的硬度检测方法	(236)
20	滚动轴承零件硬度检测方法	(238)
20.1	滚动轴承零件硬度要求	(238)
20.2	硬度检测基本要求	(239)
21	钢的淬透性硬度检测方法	(242)
21.1	钢的淬透性硬度检测方法	(242)
21.2	淬透性曲线、半马氏体组织硬度与临界淬透直径	(246)
22	铸铁的硬度及灰铸铁的相对硬度检测方法	(252)
22.1	铸铁的硬度检测方法	(252)
22.2	灰铸铁的相对硬度检测方法	(256)
22.3	铸铁力学性能	(261)
23	齿轮、弹簧、活塞环及焊接接头的硬度检测方法	(266)
23.1	齿轮的硬度检测方法	(266)
23.2	弹簧的硬度检测方法	(266)
23.3	活塞环的硬度检测方法	(266)
23.4	焊接接头的硬度检测方法	(267)
24	金属覆盖层和热喷涂层的硬度检测方法	(268)
24.1	金属覆盖层硬度的检测方法	(268)
24.2	热喷层表面硬度检测	(274)
25	硬质合金和粉末冶金制品的硬度检测方法	(280)
25.1	硬质合金的硬度检测方法	(280)
25.2	烧结金属材料的硬度检测方法	(284)
25.3	烧结金属摩擦材料的硬度检测方法	(288)
26	滑动轴承轴瓦的硬度检测方法	(290)
26.1	复合材料轴瓦的硬度检测方法	(290)
26.2	轴承合金的硬度检测方法	(291)
27	铝及铝合金的硬度检测方法	(293)
27.1	使用固定仪器检测方法	(293)
27.2	里氏硬度检测及换算	(295)
27.3	铝合金韦氏硬度检测方法	(296)
27.4	铝合金板材的硬度检测方法	(299)

27.5	铝材织构的判定	(302)
28	铜及铜合金的硬度检测方法	(303)
28.1	使用固定仪器检测方法	(303)
28.2	铜合金韦氏硬度检测方法	(303)
28.3	铜及铜合金里氏硬度换算表	(306)
28.4	铜及铜合金锤击式硬度查对表	(310)
28.5	铍青铜条、带材硬度检测方法	(318)
28.6	铍青铜棒材的硬度检测方法	(319)
29	硬度检测用载样台	(321)
29.1	钢体支承	(321)
29.2	镶嵌支承	(324)

第三部分 金属硬度检测技术现状及其展望

30	硬度计和压头	(329)
30.1	硬度计的结构	(329)
30.2	硬度计发展现状	(331)
30.3	现代硬度计量测试的发展趋势	(332)
31	我国硬度基准、计量器具检定系统	(335)
31.1	布氏硬度国家基准及检定系统	(335)
31.2	洛氏硬度国家基准及检定系统	(336)
31.3	维氏硬度国家基准及检定系统	(338)
31.4	肖氏硬度国家基准及检定系统	(339)
32	工作硬度计的检验	(341)
32.1	直接检验和间接检验	(341)
32.2	布氏硬度计示值误差与重复性要求	(342)
32.3	洛氏硬度计示值误差与重复性要求	(342)
32.4	维氏硬度计示值误差与重复性要求	(346)
32.5	肖氏硬度计示值误差与重复性要求	(347)
32.6	里氏硬度计示值误差与重复性要求	(348)
32.7	努氏硬度计示值误差与重复性要求	(348)
32.8	国内硬度试验方法标准号	(350)
33	国际间标准硬度计比对	(352)
33.1	国际比对	(352)

33.2	展望	(355)
33.3	部分发达国家有关硬度试验方法标准号 (不是全部)	(355)
34	硬度与强度的关系以及各种硬度值的比较换算	(360)
34.1	硬度与强度的关系	(360)
34.2	各种硬度值的换算	(364)
34.3	我国金属材料硬度与硬度、硬度与强度换算关系	(365)
34.4	硬度与其他力学性能的关系	(365)
34.5	硬度试验及硬度与其他性能换算关系的局限性	(366)

第四部分 附 录

附录 1	常用黑色金属材料的硬度	(371)
附录 2	常用有色金属材料的硬度	(389)
附录 3	黑色金属硬度与强度换算值 (GB/T 1172—1999)	(400)
附录 4	铝合金硬度与强度换算 (GBn 166—82)	(408)
附录 5	铜合金硬度与强度换算 (GB 3771—83)	(424)
附录 6	软钢及有色金属材料硬度对照表	(436)
主要参考文献		(439)

第一部分

金属硬度检测方法

1 概述

1.1 金属材料硬度的定义

硬度是金属材料力学性能中最常用的一个性能指标。硬度检测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试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:材料对压入塑性变形、划痕、磨损或切削等的抗力。对压入法来讲,也被认为是: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”本身不是一个简单物理常数。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),而且也决定于测试的特征和条件量。可以这样说,对于被检测的材料而言,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、相同材质的压头以同样大小的试验力分别压在铁和铜的表面上,去掉试验力后看到铁被压入的压痕深度浅,而铜被压入的压痕深度深,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、塑性变形能力和形变强化率等因素在内。

另外,试验方法不同,硬度值的物理含义也不相同。例如布氏硬度试验,是比较不同材料单位面积上所受抗力的大小,而洛氏硬度没有量纲,只是在使用同一标尺条件下,以数值的大小来比较硬度值的高低。

因此,用更准确的定义去更科学地反映出硬度的客观实质,还有待于人们从试验中和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、判定产品品质以及在科学实验中均有重大的实际意义。

1.2 硬度试验的作用和特点

硬度检测能成为力学性能试验中最常用的一种方法,是因为硬度检测的结果在一定条件下能敏感地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、监督热处理工艺正确性以及研究固态相变过程和研究新材料、新合金中被广泛地加以利用。

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,从而显著降低了塑性变形能力。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。金属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。如可强化铝合金的处理工艺与硬度的关系见图 1-2。

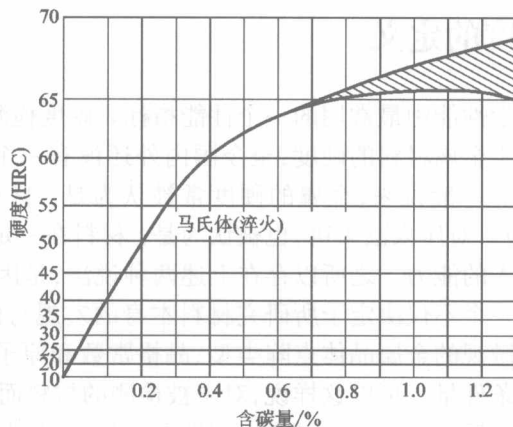


图 1-1 淬火钢的最大硬度与含碳量的关系

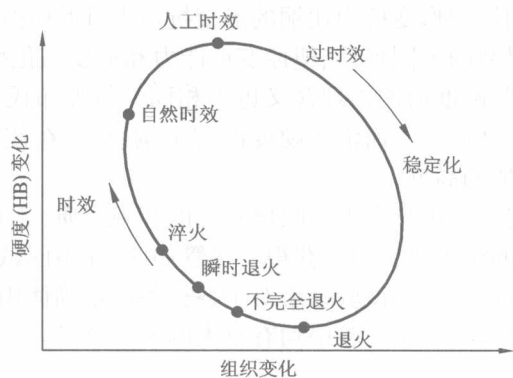


图 1-2 可强化铝合金的处理工艺与硬度关系

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。如图 1-3 所示,以 3A21(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,这是由于铸锭中锰在晶内偏析所造成的,采取合适的均匀化处理温度可以得到改善。通过图 1-3 可以看出,采用 610℃ 均匀化退火,可以消除枝晶偏析,得到均匀的硬度,从而保证产品品质。温度过高如用 640℃ 均匀化退火,由于从 $\alpha(\text{Al})$ 中析出的 MnAl_6 等化合物又重新溶解,晶内成分不均匀再度出现,显微硬度的分布又不均匀。