

表面质量控制及检测

表面显微硬度国内外检测标准探析

陈亚军, 周姝, 魏鹏宇

(中国民航大学 中欧航空工程师学院, 天津 300300)

摘要: 目的 为制定一个更适合我国民航行业的航空材料显微硬度检测标准提供参考。方法 显微硬度检测是测试金属涂层硬度的重要方法,国内外对显微硬度的检测都有相应的标准规范,从试验方法(适用范围、试验原理、试验设备、试验程序、试样制备、精度和误差)、硬度计的检验(直接检验、间接检验、周检)以及标准块的标定(标准块的制造、标准机、标定方法)3个方面,对比分析 GB/T 4340—1999 金属维氏硬度试验标准与 ASTM E384—2011 在内容上的主要异同。结果 ASTM E384—2011 规定的试验力、对角线长度范围更广,试验程序更加具体细致,对误差来源的分析更加全面,但操作较 GB/T 4340—1999 繁琐;GB/T 4340—1999 规定的操作程序简单易懂,且对曲面硬度值也适用,但在试样制备、试验程序、硬度计检验以及标准块标定上不及 ASTM E384—2011 具体规范。结论 在制定我国民航行业显微硬度检测标准时,与 GB/T 4340—1999 相比,ASTM E384—2011 的主要特点是更加精确、规范,实用性强,更符合我国民航行业行情。

关键词: 金属涂层; 标准; 民航; 显微硬度

中图分类号: TG113.25

文献标识码: A

文章编号: 1001-3660(2015)06-0098-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.06.019

Introduction of Domestic and Foreign Standards on Microindentation Hardness Testing

CHEN YA-jun, ZHOU Shu, WEI Peng-yu

(Sino-european Institute of Aviation Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

ABSTRACT: **Objective** To provide a reference for China's civil aviation industry to establish a suitable aeronautical material microindentation hardness testing standard system. **Methods** Microindentation hardness testing has been used as an important method to test the metal coating hardness, and corresponding domestic and foreign standards have been established. Comparative analysis of China's national standard GB/T 4340—1999 Metallic Materials Vickers Hardness Test and ASTM E384—2011 was conducted in this paper to reveal the main similarities and differences from three domains: test methods (scope, apparatus, test specimen, procedure, precision and bias), verification of testing machines (direct verification, indirect verification, weekly verification) and

收稿日期: 2015-01-25; 修订日期: 2015-03-03

Received: 2015-01-25; Revised: 2015-03-03

基金项目: 国家自然科学基金(51301198); 中央高校基本科研业务费中国民航大学专项(3122013H002)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (51301198) and Civil Aviation University of China Special Funding of Central Universities Fundamental Research(3122013H002)

作者简介: 陈亚军(1976—), 男, 吉林人, 博士, 副教授, 主要从事表面工程和焊接技术及标准方面的科研和教学。

Biography: CHEN Ya-jun (1976—), Male, from Jilin, Doctor, Associate professor, Research focus: surface engineering, welding technology and standards.

calibration of standardized hardness test blocks (test block manufacture, marking). **Results** ASTM E384—2011 standard has a wider range of test force and indentation diagonal, more detailed test procedures and a more comprehensive analysis of sources of error, but the operation is relatively tedious as compared to GB/T 4340—1999. GB/T 4340—1999 operating procedures are simple, and also applicable for the surface hardness values, but are less normal than the specifications of ASTM E384—2011 in specimen preparation, test procedures, hardness testing and calibration of the standard block. **Conclusion** For establishing the micro-hardness testing standards in the China's civil aviation industry, compared to the country GB/T 4340—1999, the main features of the standard ASTM E384—2011 is more accurate and standardized with high availability, which more conforms to the market of China's civil aviation industry.

KEY WORDS: metal coating; standards; civil aviation; microindentation hardness

我国是民航大国,飞机维修业发展很快,涉及到的各种检测技术工艺繁多。飞机表面涂层主要起到了防止蒙皮金属腐蚀、增加表面的光滑度、提高空气动力学性能、减少摩擦等重要作用,因此检测涂层性能在飞机维修中具有重要意义。涂层硬度值的检测是评价涂层性能的一种重要方法。由于涂层的厚度通常只有十几个微米,用普通的方法很难检测并获得准确的涂层硬度值,因此通常使用显微硬度测试法检测涂层的硬度^[1-4]。我国的 GB/T 4340—1999《金属维氏硬度试验》标准并非针对于我国民航行业制定。目前国际民航行业遵循的通用标准为 ASTM (American Society for Testing and Materials) 制定的标准,并以此来规范各种航空维修检测。文中详细比较分析了国内外对于显微硬度检验标准主要的异同点,这对建立一个适合我国民航业的航空材料显微硬度检测标准体系具有一定的参考价值。

1 国内外相关标准

GB/T 是指推荐性国家标准,即指在生产、交换、使用等环节,通过经济手段或市场调节而自愿采用的国家标准。GB/T 4340—1999《金属维氏硬度试验》自 1999 年发布并经过 2009 及 2012 年修订,最终形成如今现行的《金属维氏硬度试验》中的 3 个部分:GB/T 4340. 1—2009, GB/T 4340. 2—2012 以及 GB/T 4340. 3—2012,分别对应了试验方法、硬度计的检验以及标准硬度块的标定。3 个部分共同规定了试验力范围为 $9.8\times10^{-2} \sim 1.961\text{ N}$ 的显微维氏硬度检测方法。

ASTM 即“美国试验与材料协会”,是世界上最早的团体标准化组织,是全球性的标准化机构,每年编制 11 000 项标准在世界上广泛使用,代表着世界先进的技术水平,并不断修订完善^[5-7]。ASTM E384—2011^[8]主要适用于材料显微硬度的测定、硬度计的检验以及标准硬度块的标定。该检测标准规定了试验力范围在

$9.8\times10^3 \sim 9.8\text{ N}$ 之间的显微维氏硬度的测量方法。

国内外两种标准都分析了在测试过程中可能产生误差的来源以及这些因素对测试结果的准确性、可重复性和再现性所带来的影响。

2 国内外标准检测方法的比较

2.1 试验方法

对 ASTM E384—2011 和 GB/T 4340. 1—2009^[9]从试验方法的方面进行对比,见表 1。

差异性对比分析方面,GB/T 4340. 1—2009 规定显微维氏硬度试验的范围为 $0.09807\text{ N} \leq F \leq 1.961\text{ N}$,其压痕对角线长度不低于 $20\text{ }\mu\text{m}$ 。但实际上大部分使用的显微硬度试验力上限为 9.807 N ,与小力值维氏硬度试验有所交叉^[10],该交叉影响了测试结果的分散性。ASTM 规定的试验力范围为 $9.8\times10^3 \sim 9.8\text{ N}$,对角线长度在 $1 \sim 200\text{ }\mu\text{m}$ 之间。我们可以看到 ASTM 规定的试验力的范围更广。试验力太小,产生的压痕也很小。但一般试验中要求压痕对角线的长度不宜小于 $20\text{ }\mu\text{m}$ ^[11]。但压痕测量装置的精度一般不高于 $\pm 1\text{ }\mu\text{m}$,压痕过小,会引起测量相对误差的增大。压痕对角线的测量精度又是影响试验准确度的重要因素,硬度示值的偏差会增大。所以在选取试验力时,一方面要考虑材料的硬度范围;另一反面,要在厚度允许的范围内,尽量选取较大试验力,以获取较大压痕,这样可以提高测量的精确度。 $10\text{ }\mu\text{m}$ 相当于一般晶体断层的平均距离,所以如果可能应尽量使压痕对角线大于 $20\text{ }\mu\text{m}$ ^[10]。ASTM 所规定的试验力范围大,从而可选用较大的试验力来获取加大的压痕,提高测量的精确度,对于测量更薄、更小、更精密的材料和零件更为适合。

原理及计算公式方面,国标公式中的常数 0. 102 是为了将试验力换算为以千克力为单位的值,所以经

表 1 两个标准对试验方法的规定
Tab.1 Specifications of test method in two standards

主要研究方面	GB/T 4340. 1—2009	ASTM E384—2011
试验力范围	0. 098 07 N≤F≤1. 961 N	0. 009 807 N≤F≤9. 807 N
硬度符号	HV0. 01 ~ <HV0. 2	HV0. 001 ~ <HV1
对角线长度	0. 020 ~ 1. 400 mm	1 ~ 200 μm
计算公式	$HV = \text{常数} \times \frac{F}{S} = 0. 102 \times \frac{2F \sin \frac{126^\circ}{2}}{d^2} \approx 0. 1891 \times \frac{F}{d^2}$ <p>式中: F 为试验力, N; d 为两压痕对角线长度 d_1 和 d_2 的算术平均值, mm; 常数为 0. 102。</p>	$HV = 1. 000 \times 10^3 \times P / A_s = 2. 000 \times 10^3 \times P \sin(\alpha / 2) / d^2$ <p>或 $HV = 1854. 4 \times P / d^2$ 式中: P 为试验力, $P = 9. 8 \times 10^{-3}$ N; A_s 为压痕表面积, μm^2; d 为对角线长度平均值, μm; α 为压头面夹角, $\alpha = 136^\circ 0'$。</p>
加力时间	2 ~ 8 s, 不超过 10 s	不超过 10 s
压头下降速度	15 ~ 70 μm/s	15 ~ 70 μm/s
试验力保持时间	10 ~ 15 s; 对于特殊材料, 试验力保持时间可以延长, 直至试样不在发生塑性变形, 但应在试验结果中注明, 且误差在 2 s 以内 ^[9] 。	10 ~ 15 s; 对于特殊材料试样, 试验力保持时间可以延长。但误差应在 2 s 以内。
压痕与试样边缘间距	任一压痕中心到试样边缘距离, 对于钢、铜及铜合金至少应为压痕对角线长度的 2. 5 倍, 对于轻金属、铅、锡及其合金至少应为压痕对角线的 3 倍 ^[9] 。	大于压痕对角线长度的 2. 5 倍
压痕间距	两压痕中心之间的距离, 对于钢、铜及铜合金至少应为压痕对角线长度的 3 倍, 对于轻金属、铅、锡及其合金至少应为压痕对角线的 6 倍, 如果相邻压痕大小不同, 以较大压痕为准 ^[9] 。	大于压痕对角线长度的 2. 5 倍
试样最小厚度-试验力-硬度关系	试样或试验层厚度至少应为压痕对角线长度的 1. 5 倍。	无相关说明
在曲面上进行试验时的修正	相同条件下, 在曲面上压出的压痕对角线长度比平面时短, 硬度值大, 所以要进行修正。	ASTM 只针对在平面上进行的显微硬度测试。
硬度范围	低硬度≤225HV 中硬度 400 ~ 600HV 高硬度>700HV	低硬度≤240HV 中硬度 240 ~ 600HV 高硬度>600HV

此公式算得的硬度的最后单位为 kgf/mm²。在 ASTM 中, 单位为 kgf/μm²。如果以 kgf/mm² 做单位的话, 那么最后的公式为: $HV = 1. 8544 \times \frac{P}{d^2}$ 。之所以与国标中的公式在系数上有区别, 是因为两者在试验力的单位选取上不同, 国标中用的是 N 做单位, 而 ASTM 中则直接用 kgf 做单位。

试验操作规范方面, 显微硬度试验中施加试验力的速度及试验力保持时间对试验结果也有影响。试验力要缓慢平稳施加, 过快会导致硬度值降低^[12]。通过以上对比, 可以看到两者对于加力时间、压头下降速度以及试验力保持时间的规定是相同的。国标对于压痕间距及压痕与试样边缘间距要求更大, 其目的是保证了压痕之间不会相互影响, 提高测量结果的准确度。

试样最小厚度-试验力-硬度的关系方面, ASTM E384 没有对试样的最小厚度做出规定。实际上, 试样的厚度过小会对试验结果产生影响。试样的厚度要保证在试样的背面看不到明显的压痕。就这一点来说, GB/T 4340—1999 考虑的更加全面。

在曲面上进行试验时的修正方面, 实际当中, 不仅有平面材料, 还有曲面材料。GB/T 4340—1999 规定了这一修正系数意味着可以在曲面材料上进行显微硬度试验。而 ASTM E384 标准只适用于平面硬度试验。所以 GB/T 4340—1999 的应用范围更广。

2.2 硬度计的检验

对 ASTM E384—2011 和 GB/T 4340. 2—2012^[13] 从硬度计检验的方面进行对比, 如表 2 所示。

表 2 两个标准对硬度计检验方面的规定

Tab.2 Specifications of verification of hardness testers in two standards

主要研究方面	GB/T 4340. 2—2012	ASTM E384—2011
检验方法及检验周期	1. 直接检验:a) 安装后首次工作之前;b) 经拆卸并重新装配后,如果影响到力、测量装置或试验循环;c) 间接检验不合格;d) 间接检验超过 14 个月。 2. 间接检验:应在直接检验后进行间接检验,其周期不超过 12 个月。 3. 周检验:无	1. 直接检验:a) 新的仪器或者进行了可能影响试验力施压或测量装置的调整、修改或维修时,根据制造厂的建议进行;b) 硬度计间接检验不合格。 2. 间接检验:a) 周期不应超过 18 个月;b) 推荐周期为每 12 个月检验一次;c) 硬度计重新安装或改变位置时建议进行检验。 3. 周检验:正在使用的试验机要求每周检验一次。更换压头或试验力时建议进行检验。
试验力的检验	1) 对于硬度计工作范围内所使用的每一个试验力均应进行测量,只要适合,应选择在试验过程中主轴的整个移动范围内至少 3 个间隔相等的位置上对每个试验力进行测量。 2) 应在主轴的每一位置上,对每个试验力进行 3 次测量。每次读数瞬间,主轴与试验时移动的方向一致。 3) 试验力允差为 $\pm 1.5\%$ ^[13] 。	对于硬度计工作范围内所使用的每一个试验力均应进行测量每个试验力测量三次。 施加的试验力精度为: $P\geq 200$ gf 时,精度 1.0% ; $P<200$ gf 时,精度 1.5%
压头的检验	1) 金刚石棱锥体锥顶两相对面夹角应为 $136^{\circ}\pm 0.5^{\circ}$ 。 2) 金刚石棱锥体轴线与压头柄轴线(垂直于安装面)的夹角应小于 0.50° 。4 个面相交于一点。 3) 相对面间交线的最大允许长度为 0.0005 mm ^[13] 。	1) 压头的两面之间的夹角应为 $136^{\circ}0'\pm 30'$ 。 2) 金刚石压头的四个面与轴线方向夹角相同,误差不得超过 $\pm 30'$ 3) 两相对面间的交线长度不得超过 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 。
测量装置检验	最大允许误差: $d\leq 0.040\text{ mm}$ 时, $\pm 0.0004\text{ mm}$ $0.040<d\leq 0.200\text{ mm}$ 时, $\pm 1.0\% d$ $d>0.200\text{ mm}$ 时, $\pm 0.002\text{ mm}$	最大允许误差: 在整个测量范围内,装置读数偏差不应超过 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 或 0.5% ,取最大值。
试验循环时间的检验	试验循环时间的最大允许误差为 $\pm 0.5\text{ s}$,并应与 GB/T 4340—1999 规定的循环时间一致。	应符合 2.1 中的规定
间接检验	1) 间接检验宜在 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,使用按 GB/T 4340. 3—2012 标定的标准硬度块进行 ^[14] 。 2) 应通过测量每一个标准硬度块上的标准压痕,可间接检验压痕测量装置 ^[13] 。 3) 应在每一个所使用的试验力下对硬度计进行检验。对于每一试验力,应从规定的不同硬度范围中选择两个标准硬度块。应合理选择标准硬度块,应使每一硬度范围中至少有一块标准块用于检验 ^[13] 。 4) 当所检验的硬度计仅使用一个试验力时,应使用 3 块标准块进行检验并应在规定的每个硬度范围中各选用一块 ^[13] 。 5) 对于特殊情况,硬度计可以仅在一个硬度值下进行检验,检验的硬度值要近似等于待做试验的那一硬度值 ^[13] 。	硬度计要使用常用压头进行检验。至少要选择两个标准硬度块。标准的硬度值的选取应满足以下要求。 1) 每个试验力都必须进行检验。每一个待检验的试验力应至少选择一块标准块用于检验。 2) 选取的硬度块中至少是取自两个不同的硬度范围,两个硬度块之间的硬度差距至少在 100 点。 3) 应在硬度范围较低硬的标准块上使用最大试验力来压出最大的压痕,而在高硬度范围的标准块上用最小试验力压出最小压痕。压痕尺寸的两个极值会测定测量装置的测量能力。
示值重复性误差与示值误差	见表 3	见表 3

硬度计检验方面,两者对于直接检验和间接检验检验周期的要求相同。但 ASTM E384—2011 多规定了一类周检验。周检验是用于在间接检验之间检验

硬度计性能的方法。对于每一个试验力,都要进行周检测。周检验最好建立在日常检验的基础上。更换压头或试验力时应进行周检验。选取硬度水平尽量

表 3 间接检验示值重复性误差和示值误差的对比

Tab.3 Comparison of repeatability error and indication error of indirect inspection

标准块的硬度	试验 载荷/g	示值重复性误差的最大允许值/%		示值误差的最大允许值/%	
		GB/T 4340—1999	ASTM E384—2011	GB/T 4340—1999	ASTM E384—2011
HV>0	$1 \leq P < 100$	6	13	8	3
HV<100	$100 \leq P < 1000$	6	13	4	3
$100 \leq HV \leq 240$	$100 \leq P < 500$	6	13	6	2
$240 < HV \leq 600$		5	5	9	2
HV>600		5	4	10	2
$100 \leq HV \leq 240$	$500 \leq P \leq 1000$	6	8	4	2
$240 < HV \leq 600$		4	4	5	2
HV>600		4	3	7	2

与待测材料接近的标准块,用于周检验的压头应为常用压头,示值重复性误差应满足间接检验的规定。周检验的好处是可以更好的监测硬度计的性能。

直接检验,试验力检验方面,ASTM E384—2011 对于 200 gf 以上的力将精度由 1.5% 调至 1.0%;压头检验方面,两标准对压头尺寸的规定是相同的;测量装置检验方面,由于 ASTM 对对角线长度的规定值较小,故该标准对测量装置读数偏差要求更严格,确保了测量结果的准确性。

间接检验,通过对比可以看到在试验力的检验上,国标要求选取两个力检验即可,而 ASTM 则要求硬度计使用的每一个试验力都进行检验,从而 ASTM 标准能够得到更为精确的结果。在硬度块的选取上,国标

要求每个试验力至少要选取不同硬度范围内的两块标准块^[15]。对比可知,在硬度块的选取上,国标完全满足 ASTM 的要求。两者对于硬度范围的划分稍有不同。

示值重复性误差、示值误差方面:示值重复性误差反应的是硬度计测量结果的分散度。示值误差反应的是硬度计测量结果与标准块的偏差。通过上表的对比可以看出,在示值重复性误差方面,国标的规定完全符合 ASTM 的要求;相反,在示值误差方面,国标的误差较大。

2.3 标准块的标定

对 ASTM E384—2011 和 GB/T 4340.3—2012 从标准块的标定方面进行对比,见表 4。

表 4 两个标准对标准块的标定方面的规定

Tab.4 Specifications of calibration of hardness reference blocks in two standards

GB/T 4340.3—2012	ASTM E384—2011
1) 标准块的厚度不应小于 5 mm;	1) 标准块的厚度至少为使用合格试验力压出的压痕深度的 20 倍;
2) 标准块的试验面与支承面平面度为 0.005 mm;平行度为 0.010 mm/50 mm;	2) 标准块的支撑面应经过细磨处理。支撑面与试验平面度的最大偏差不应超过 5 μm;平行度的最误差在 30 表面粗糙度内不超过 15 μm。
3) 标准块的试验面不应有影响压痕测量的刮伤、划痕等缺陷。试验面表面粗糙度不应超过 0.00005 mm;支撑面表面粗糙度的最大值为 0.0008 mm。取样长度 l 应为 0.80 mm;金刚石压头正四棱锥体的四个面影高度抛光,且无表面缺陷,其平面度为 0.0003 mm;	3) 标准块的表面应进行抛光,无影响压痕成型或压痕对角线测量的划痕。试验面表面粗糙度的算术平均值不超过 0.1 μm;
4) 金刚石四棱锥锥顶的两相对面夹角为 136°±0.11°;金刚石棱锥体轴线与压头柄轴线(垂直于安装面)之间的夹角小于 0.3°;	4) 金刚石压头四棱锥锥顶的两相对面之间夹角为 136°0′±6′;两面夹角对压头的轴线应具有相同的倾斜度(误差不超过±15′);
5) 金刚石压头的两相对面交线长度的最大允许长度为 0.00025 mm;	5) 压头两相对面交线长度不超过 0.3 μm;
6) 施加试验力的持续时间应为 13~15 s。	6) 试验力施加时间在 5~7 s 之间。试验力保持时间在 13~15 s 之间;
7) 在每一标准块的整个试验面上应均匀分布地压出五个压痕;为减小测量结果的不确定度,建议在标准块的 5 个区域压出 10 个、15 个或 25 个压痕。	7) 压 5 组压痕,每组包括 5 个压痕,其中一组位于标准块四个分区的中心,第 5 组位于标准块的中心;
8) 标准块硬度均匀度的最大允取值 4% 或 0.001 mm(以较大者为准)。	8) 标准块硬度均匀度 8%。

硬度块的标定:标准块的厚度方面,国标直接给出了最小值,而 ASTM 则是根据压痕深度来确定硬度块的最小厚度的。在标准块工艺方面,国标对标准块的要求更高。压头的尺寸方面,两者要求接近。标准块的均匀度方面,国标的要求更高一些。

3 结论

通过国内外显微硬度检测标准比较分析得到如下结论:

ASTM E384—2011 标准规定的试验力、对角线长度范围更广,试验程序更加具体细致,对误差来源的分析更加全面,但操作较 GB/T 4340—1999 繁琐;GB/T 4340—1999 的操作程序简单易懂,且对曲面硬度值也适用,但在试样制备、试验程序、硬度计检验以及标准块标定上不及 ASTM E384—2011 具体规范。与 GB/T 4340—1999 相比,ASTM E384—2011 的主要特点是更加精确、规范,实用性高,适合我国国情。

基于以上研究,在制定我国民航行业显微硬度检测标准时,可以参考本文的对比结果,将会给标准制定工作带来便利。

参考文献

- [1] 杨辉其. 新编金属硬度试验[M]. 北京:中国计量出版社,2005.
YANG Hui-qi. New Hardness Test of Materials[M]. Beijing: China Metrology Press,2005.
- [2] 徐立鹏,包春江. 电刷镀工艺对 Ni-Mo 合金镀层表面形貌与硬度的影响[J]. 表面技术,2014,43(4):106—109.
XU Li-peng, BAO Chun-jiang. Effect of Brush Plating Technology on the Coating Surface Morphology and Microhardness of Ni-Mo Alloys[J]. Surface Technology, 2014, 43(4):106—109.
- [3] 杨光,葛志宏. 几种薄膜涂层硬度测试方法的比较[J]. 表面技术,2008,37(2):85—87.
YANG Guang, GE Zhi-hong. The Canparison and Evaluation for Several Testing Methods of Film Coating Hardness[J]. Surface Technology, 2008, 37(2):85—87.
- [4] JONSSON B. Hardness Measurements of Thin Films[J]. Thin Solid films, 1984, 114(3):257—269.
- [5] 李风云. 美国标准化调研报告[J]. 冶金标准化与质量, 2004(3):292—297.
LI Feng-yu. Standardization Research Paper in the USA [J]. Metallurgical Standardization & Quality, 2004(3):292—297.
- [6] 谭福友. 标准和标准化的概念[J]. 信息技术与标准化, 2005(3):56—60.
TAN Fu-you. Concepts of Standards and Standardization [J]. Information Technology & Standardization, 2005(3):56—60.
- [7] 袁文明,刘颖. 航空材料标准化现状与发展对策[J]. 航空标准化与质量,2010(237):27—29.
YUAN Wen-ming, LIU Ying. Standardization Situation and Development Strategy of Aeronautical Materials[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2010(237):27—29.
- [8] ASTM E384—2011, Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials[S].
- [9] GB/T 4340. 1—2009, 金属维氏硬度试验 第一部分:试验方法[S].
GB/T 4340. 1—2009, Metallic materials—Vickers Hardness Test—Part 1: Test method[S].
- [10] 白新房,张小明,陈绍楷. 试验力选择对维氏硬度值的影响[J]. 理化试验(物理分册),2007,43(11):560—562.
BAI Xin-fang, ZHANG Xiao-ming, CHEN Shao-kai. Influence of Test Loading on Vickers Hardness Test[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Physical Testing), 2007, 43(11):560—562.
- [11] ASLANYAN E G. National Primary Special Standard for the Vickers Metal Hardness Scale [J]. Measurement Techniques, 2012, 55(5):489—496.
- [12] 何力,叶明. 标准维氏硬度块检定规程中的不确定度评估[J]. 计量技术,2007(11):59—62.
HE Li, YE Ming. Uncertainty Assessment in Procedure of Standard Vickers Hardness Block Verification [J]. Measurement Technique, 2007(11):59—62.
- [13] GB/T 4340. 2—2012, 金属维氏硬度试验 第二部分:硬度计的检验[S].
GB/T 4340. 2—2012, Metallic Vickers Hardness Test—Part 2: Verification of Hardness Testers[S].
- [14] GB/T 4340. 3—2012, 金属维氏硬度试验 第三部分:标准硬度块的标定[S].
GB/T 4340. 3—2012, Metallic Vickers Hardness Test—Part 3: Calibration of Hardness Reference Blocks[S].
- [15] 刘松. 中美维氏硬度块均匀度的对比评估[J]. 理化试验(物理分册),2009,45(10):599—601.
LIU Song. Comparison and Evaluation the Evenness Degree of Vickers Hardness Test Blocks of China and USA [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Physical Testing), 2009, 45(10):599—601.