

Study on the stability of Rockwell hardness tester in metal hardness testing

Yingjie Wu

Xuchang Product Quality Inspection and Testing Center, Xuchang, Henan, 461000, China

Abstract

As a crucial tool for metal hardness measurement, the Rockwell hardness tester is widely used in industrial production and scientific research due to its convenience, speed, and broad applicability. However, hardness values obtained during experimental testing are influenced by various uncertain factors such as sample surface condition, thickness, support stiffness, indenter type, and test force application. These factors exhibit complex interrelationships under different material conditions, processing states, and experimental environments, directly affecting the repeatability and accuracy of test results. This paper analyzes key factors influencing the stability of Rockwell hardness testing based on its working principles and applications, and proposes effective strategies to enhance testing stability for reference.

Keywords

Rockwell hardness tester; metal hardness testing; stability; influencing factors; countermeasures

洛氏硬度计在金属硬度检测中的稳定性探讨

吴莹杰

许昌市产品质量检验检测与研究中心, 中国 · 河南 许昌 461000

摘 要

作为金属硬度测量的重要工具, 洛氏硬度计以其方便快捷的优点以及适用范围广的特点被广泛应用于工业生产以及科学研究当中。但是在实验环节检测所得的硬度值会受到许多不确定的因素影响, 如试样表层状态、厚度、支撑刚度、压头类型和试验力加载等。在不同材料、加工状况以及试验条件下, 以上各种因素之间存在错综复杂的相互关系, 直接影响测试结果的可重复性与准确度。为此, 下文将基于洛氏硬度计的工作原理与应用, 分析影响洛氏硬度检测稳定性的主要因素, 并提出提高检测稳定性的有效应对策略, 以供参考。

关键词

洛氏硬度计; 金属硬度检测; 稳定性; 影响因素; 对策

1 引言

硬度是表征金属材料力学性能的一个重要指标, 可以用来评定材料的耐腐蚀性、强度以及可加工性。使用洛氏硬度计的测量性能优点包括方便易用、测量速度快、读数直接等, 因此被广泛应用到了冶金、机械制造及质量检测等领域。但是在长时间使用与多批次检测后, 其数值偏差、重复性不足等稳定性问题逐步凸显, 影响到金属硬度检测的实际效果, 所以探索提高洛氏硬度计在金属硬度检测的稳定性策略迫在眉睫。

2 洛氏硬度计的工作原理与应用概述

洛氏硬度计主要是以压痕深度法为基础, 在试样表面

利用压头形成永久性压痕, 将其中的深度差详细记录后转化为硬度值。在具体操作环节, 首先在规定时间内给定初试验力将表面氧化层和机械间隙对测量的影响消除, 随后施加总试验力完成压入, 最终将附加荷载撤销, 只维持初始试验力, 在此试验过程中得到的压痕深度就是测量值, 测试值减去初始试验力对应的压痕深度差即为硬度值。通常情况下使用的压头是 120° 金刚石圆锥或是不同直径的硬质钢球, 具体需要根据试样的强度大小及材质进行确定^[1]。相较于布氏硬度计, 维氏硬度计而言, 由于不需要借助于光学系统, 洛氏硬度检测可以直接读取结果, 可以较好地满足批量生产线的检测要求。

3 影响洛氏硬度检测稳定性的主要因素

3.1 试样表面状态的影响

试样的表面状态是洛氏硬度试验稳定的基础, 它的平整度、粗糙度以及硬化层的分布都会直接影响试验结果的稳

【作者简介】吴莹杰 (1977-), 女, 中国河南许昌人, 本科, 工程师, 从事力值、硬度、转速、质量研究。

定性。如果试样表面有划痕、氧化皮和加工残留等缺陷,那么试样表面与压头之间存在微小不平,这样会导致压痕深度值与理论值不符。对于热处理、喷涂类零件而言,表面存在着较厚的硬化层,在加载过程中易使压头穿过硬化层压入基体,出现硬度值忽高忽低的现象;另外,如果表面过于粗糙,将使压头受力点集中,从而使压痕偏离正常的深度位置,导致测试的重复性、稳定性偏差^[2]。

3.2 试样厚度与支撑刚度的影响

洛氏硬度计试验时试样厚度及试样背面的支撑刚度也是影响试验时压痕是否能稳定形成的因素之一。如果试样厚度不够,在加载的过程中容易发生弹性变形,产生局部翘曲或者下陷,这样压痕深度就会偏大,所以导致硬度值偏低。另外像薄板类以及小零件,如果没有选择合适的衬垫或者是没有进行良好的固定措施,在受力时就会达不到足够的刚性支撑,此时硬度值就会比较分散。此外,试样的几何尺寸和装夹方式决定了整个试验过程中力的传递路径以及试样的变形模式,如果装夹不牢固或夹具不合适,那么压头试验力就不能完全被试样接收,从而使硬度值不稳定。

3.3 压头性能与磨损状况的影响

压头是进行洛氏硬度测试的部件,压头的几何形状和表面质量好坏直接关系到试验结果的可靠性和准确性。如果试样的几何尺寸发生偏差,将会对受力接触面产生影响,对压痕深度造成影响;并且长期使用的金刚石圆锥压头易在其尖端以及棱角部分出现微裂纹或者产生磨损现象,通常肉眼无法直接察觉,而一旦加载就会导致加载受力的分布不均匀,使得硬度值发生随机性的变化。与此同时钢球压头在多次使用后的表面硬化层磨损也会影响被测样品的承载能力。所以为了保证测试的复现性需要时刻保持压头状态良好,并且要对其的状态进行定期的检测。

3.4 试验力加载与保持的稳定性

试验力加载方法、加载速度和保持时间是影响压痕形成以及检测结果一致性的主要因素。硬度测试中如果加载过快,会产生瞬时冲击,使得压头进入试样的瞬间压力过大,导致压痕过深而出现硬度偏小的情况;如果加载速度过慢,则材料会因加载速度缓慢产生的延时加载力而产生较大的塑性变形,且加大了加载时间的影响程度。除此之外,保持时间过短,就会在压痕没有彻底稳定的情况下读取数值,从而出现硬度数值分散的情况;如果保持时间过长,材料将产生蠕变导致硬度值偏小。尤其是对于半自动,或者比较陈旧的硬度计来说,加载机构不够精确,力值波动以及保持时间不易控制,很容易造成硬度测试结果不稳定。所以,试验力控制系统的好坏将直接影响硬度测量的可靠性。

3.5 操作人员的技能水平对测量结果的影响。

操作人员若缺乏系统培训或经验不足,易在试样制备、加载过程、读数判断等环节引入人为误差。例如,试样表面未充分抛光或存在油污、氧化层,将导致压痕不规则,影响

测量精度;加载速度过快或保载时间不足,则可能使压痕深度偏小,测得硬度值偏高。规范性操作是确保测试结果可靠的前提。操作人员需严格按照规程执行:校准设备、选择合适标尺、确保试样平稳放置、控制加载速率与保载时间。此外,压痕间距及边缘距离若不符合标准要求,易受材料加工硬化或边界效应干扰,造成数据失真。操作人员若忽视环境温度湿度控制或设备日常维护,亦可能引入系统偏差。经验丰富的操作人员能够敏锐识别异常压痕,及时排查设备故障或试样问题,提升测试重复性与再现性。相反,非规范操作如频繁更换压头、手动施加冲击载荷、读数时视角偏差等,均会显著降低数据一致性。因此,定期开展人员培训、实施操作考核、建立标准化作业流程,是保障硬度测试质量的关键措施。

4 提高洛氏硬度计在金属硬度检测稳定性的策略

4.1 优化试样表面处理工艺

为了保证洛氏硬度计的再现性和准确性,试样的表面准备工艺必须做到制度化、标准化。一是利用精密机械方法去除表面加工余量和显见的加工刀痕,并对切削形成的应力区做适当去除应力处理,防止出现局部硬化的现象或发生有危害性的微观裂纹;二是严格控制表面粗糙度,利用多级抛光法,逐级减小其微观粗糙度,使压头能均匀压入金属基体,并保持测量时压痕形状的一致性;对于经过热处理或表面强化的金属材料而言,还应当注意均匀程度和厚度的稳定性,在特殊情况下还可以对其进行微观测量和光学检测,以判断硬化的局部硬度分布是否均匀一致^[3];三是对表面进行全面彻底的清洁,用适合的有机溶剂或超声清洗,清除掉加工剩下的油脂、氧化物和微粒等杂质,避免它们压入压头造成局部硬化的产生。处理完的试样切勿暴露过长时间在空气中,这样易使试样生成氧化膜和吸附一些杂质等污染物质,不利下一步的操作,如特殊材料也可结合使用化学腐蚀和微抛光的方法来提高表面的微观平滑度,并确保被测工件表面的本身实体结构不受损伤。四是根据实际情况在工艺流程中设定加工速度、抛光颗粒度、清洗剂类别以及处理时间等相关工艺参数,并建立完善的检测可追溯的操作标准。

4.2 增强试样厚度与支撑刚度控制措施

在洛氏硬度试验过程中,试样的厚度以及背面支撑刚度都会影响到压痕的形成稳定,为了保障试验结果的准确性需要做好相关的控制工作。第一,对于一些比较薄的试样或者是较小的微型零件、局部加工件来说,我们可以用一些适配性的衬垫或者加大底板的方式让试样在整个加载过程中受力可以尽量做到平均,这样才不会造成弹性形变或者产生局部翘曲等问题。其中所使用的衬垫需要选用硬而且变形小的材料,并且要求底面平整方便力传入,从而达到减小压痕偏差的目的。第二,根据试样的几何尺寸、形状和材质性能

的不同设计出合理的装夹方法,在保证装夹方式对试样能起到牢固夹持作用的基础上,避免出现夹持不够导致的压痕不均匀或者是压痕出现测量波动的现象。对于一些几何形状比较复杂的试样来讲,可以通过合理地调节夹具的压力分布或者是使用可调支撑件等办法使得试样的加载方向达到最理想的刚度状态。第三,合理处理试样底面与夹具支撑面的接触条件,采取精密平整或微调支撑面位置来对接触不均匀局部间隙进行消除,保证力能够顺利地进行传递。而对于一些重要件或者是精密测量的时候还可以借助于有限元进行模拟分析,以得到不同的厚度以及支撑方式的应力分布和变形情况数据^[4]。

4.3 压头性能维护与磨损控制措施

由于压头是洛氏硬度测量时最重要的受力元件,所以压头的几何精度和表面粗糙度等都将直接影响洛氏硬度测试数据一致。首先,对于金刚石圆锥压头和钢球压头应建立一套完善的使用寿命管理体系。对于长期用于检测高硬度材料的压头要定期对其进行微观检查,采取显微观察、轮廓测量或三维扫描等方式来检测压头尖端角度是否发生了偏移,棱角是否完整,表面是否存在划伤或者轻微磨损及是否存在裂纹等缺陷,以作后期维护或更换压头的参考。其次,针对不同的使用条件来确定合理的更换周期。比如在硬质合金件的高频率测量中可以适当缩短压头的更换周期,以有效降低洛氏硬度测量的误差,避免因压头磨损带来的随机性硬度值波动。同时检测时要尽量避免将压头接触到硬杂质或者尖锐的异物上,以减少压头表面被划伤以及被污染的概率。再者,建立压头校准与性能验证的流程,利用标准硬度块定期校准,比较测量值和理论值的差异,判断压头的承载能力以及压头几何形状是否有改变;针对钢球压头,可以用表面回火处理或硬化处理的方法延长使用寿命,保持钢球压头表面硬化层稳定性以及保持钢球压头几何尺寸稳定。通过进行上述的维护、监控与校准工作可以对压头的磨损以及性能的变化进行有效的控制,保证压头的长期使用具有较高的精度与重复性,为洛氏硬度试验的测定提供良好的试验条件。

4.4 试验力加载与保持的控制策略

测试过程中试样上的试验力加载的平稳性以及保持时间的精确度是决定压痕形成的均匀性是否良好的两大因素。

首先,试验的加载速率必须按照国家标准,合理使用电子或者机械减速装置控制加载速率,不得因瞬时加载而出现冲击压入的现象。对于半自动或老式硬度计,可通过调整及维护弹簧、油压系统或是电机驱动装置来调整其加载力曲线的平滑性,避免在加载过程出现波动或者超调的情况。其次,根据试验材料的塑性和蠕变的特点来设置保持时间,并且必须保证压痕在全试验力作用下处于相对稳定状态以后才能够读取数据。在此过程中,可以利用数字化力控系统实现实时监控压头的负载以及位移的变化,微调控制保持时间,防止有效避免了由于时间不够造成的压痕不稳定或者时间太长所引起的蠕变效应。对高硬度、高弹性的试样在程序上可考虑加入分阶段加载和缓停的过程,从而消除瞬时变形对硬度值的影响。最后,制定系统的校准及维护制度,对其加载机构、力传感器、控制单元等要进行周期性的检定,通过对力觉传感器精度、执行机构的磨损程度、控制系统的响应特性等进行综合评定后及时调整加载参数,保证力值波动在允许范围内。

5 结语

分析研究了洛氏硬度测量中影响测量稳定的因素,得知试样的制备处理、试样支撑条件、压头的状态和加载方式等均会对测量的结果产生影响。通过对试样表面作标准化处理、提高试样支撑刚度、维护好压头性能、严格控制试验力对以上各个环节进行优化改善,可以使测量的结果降低波动,提高数据的一致性。这对试验室检测的操作具有很好的技术参考意义,并且能作为工业上材料硬度检测评定精度的基础保障,从而更好地推进金属硬度测试方法的科学化和规范化发展进程。

参考文献

- [1] 周丽萍.浅析洛氏硬度测量不确定度的评定方法[J].梅山科技, 2024(3):37-38.
- [2] 陈洋卓,徐玲林,李泽贤,等.全自动布氏,洛氏,维氏硬度计设计[J].实验室研究与探索, 2023, 42(3):63-66.
- [3] 钟金德.紫铜管洛氏硬度测量不确定度的评定[J].理化检验(物理分册), 2025(4).
- [4] 马超超,王建军,马响,等.气浮技术在标准洛氏硬度计智能化改造中的应用[J].计量与测试技术, 2024, 51(1):69-72.