

直读光谱仪对金属材料化学分析准确度的影响

张文清

内蒙古自治区产品质量检验研究院 内蒙古 呼和浩特 010070

摘要:金属材料化学分析中,准确度至关重要。直读光谱仪作为常用分析工具,其基于原子发射光谱分析原理,具备多元素同步检测、高灵敏度等优势。然而,仪器参数、样品制备、环境与操作等因素会影响分析准确度。随着技术发展,新型激发光源技术、智能校准算法优化以及多技术联用分析等,正为提升金属材料化学分析准确度带来新方向。

关键词:直读光谱仪;金属材料;化学分析准确度

引言:直读光谱仪基于原子发射光谱分析原理,有同步检测多元素、高灵敏度与低检测限、非破坏性分析等优势。影响金属材料化学分析准确度的因素包括仪器参数、样品制备、环境与操作。技术发展对准确度提升方向有:新型激发光源技术,如复合激发和低温等离子体激发技术;智能校准算法优化,如机器学习算法和实时基线漂移补偿技术;多技术联用分析,如互补分析和联用验证技术,推动分析准确度提升。

1 直读光谱仪技术原理与核心优势

1.1 原子发射光谱分析原理

激发光源产生的能量作用于样品,促使样品中的原子从稳定的基态跃迁至高能态。处于高能态的原子极不稳定,会快速向基态跃迁,在退激过程中释放出具有专属特性的特征光谱。光栅分光系统对释放的复合光谱进行精准分解,将其转化为单一波长的单色光谱,再通过光信号转换器件完成光信号到电信号的转化,最终由计算机系统借助校准曲线或数据库对电信号进行分析处理,计算得出样品中各元素的含量。

1.2 技术优势对准确度的支撑

(1)多元素同步检测能力:凭借优化的激发结构与分光设计,实现单次激发即可同步开展多种元素的检测工作,能够同时测定二十余种元素,在大幅提升检测效率的基础上,有效规避了多次检测过程中可能产生的系统偏差,为检测结果的准确度筑牢基础,降低重复操作带来的误差影响。(2)高灵敏度与低检测限:通过对激发光源能量的精准调控和分光系统分辨率的优化提升,显著增强了对各类元素的检测灵敏度。针对短波区域的元素,能够实现极低含量水平的精准捕捉,检测限达到低含量级别,可稳定识别微量元素的特征信号,保障低含量元素检测结果的可靠性,满足高精度检测需求^[1]。(3)非破坏性分析:采用无需化学处理的检测模式,样品在整个检测流程中无需经过复杂的化学处理环节。这种检测方

式从源头减少了人为操作过程中可能引入的误差,同时避免了化学试剂对样品的干扰以及样品本身的损耗,确保样品保持原始状态,进一步提升检测结果的准确度。

2 影响金属材料化学分析准确度的关键因素

2.1 仪器参数对准确度的直接影响

(1)激发电压与电流的精准控制是保障激发效率与检测稳定性的核心前提,电压波动会直接改变激发光源的能量输出强度与分布,进而影响金属材料中原子激发的充分性、均匀性以及激发过程的稳定性,而电流稳定性则与激发点的形态、大小及能量密度的一致性密切相关,直接决定检测信号的重复性与可靠性。氩气纯度与流量需进行严格精细化把控,高纯度氩气能够有效隔绝空气干扰,降低光谱背景噪声,减少杂散信号对特征光谱的干扰,为精准检测创造洁净稳定的光谱环境,流量波动则会破坏激发区域的惰性保护氛围,导致激发点成型质量不佳、能量传导效率不稳定,影响检测信号的强度与稳定性。电极状态管理同样至关重要,钝化电极需按时更换以保证能量传输效率与激发稳定性,电极端部与分析面的距离需精准控制,避免因距离偏差导致能量损耗过大或能量分布不均,确保激发能量能够精准作用于样品检测区域^[2]。(2)光栅刻线密度的合理选择对光谱分离效果起着决定性作用,高密度光栅凭借更精细的刻线分布,能显著提升对短波区域元素谱线的分离能力,可有效区分波长相近的特征谱线,最大程度避免谱线重叠带来的信号干扰,保障特征光谱的纯净性。狭缝宽度的匹配设计需在光通量与分辨率之间寻求最佳平衡,合适的狭缝组合可在保证获取足够光信号强度、提升检测灵敏度的同时,有效抑制谱线重叠干扰,精准筛选目标特征光谱,保障特征光谱的精准识别。探测器性能参数直接影响弱信号检测效果与检测精度,充足的动态范围能够完整捕捉不同强度等级的光谱信号,避免强信号饱和或弱信号丢失,较高的信噪比则可有效降低背景噪声对

弱信号的掩盖作用,提升微弱特征信号的识别精度与可信度,从而保障低含量元素检测结果的准确性与可靠性。(3)标准样品溯源体系的完善是保证检测量值准确可靠的核心基础,需严格遵循科学的选用原则,结合检测样品的基体类型、元素含量范围选择适配的标准样品,构建完整规范的量值传递路径,确保校准标准的计量溯源性与可靠性,为检测结果的准确性提供坚实的基准支撑。校准曲线拟合算法的优化是补偿检测过程中非线性响应的关键手段,不同检测体系下非线性响应特征存在差异,算法的适配性直接影响校准曲线与实际检测信号的贴合度,通过合理选择并优化拟合算法,可有效降低非线性响应带来的系统误差,提升校准精度。单标样标准化技术需配套完善且高效的温度漂移补偿与基线偏移校正功能,通过精准的算法模型实时校正环境温度变化与仪器长期运行产生的基线波动,显著降低这类因素对检测结果的影响,进一步提升检测数据的长期稳定性与一致性。

2.2 样品制备对分析结果的制约作用

(1)磨削工艺作为样品表面处理的核心环节,需严格把控不同阶段的工艺参数与操作规范。粗磨阶段需保证足够的去除深度,确保彻底清除样品表面的氧化层、锈蚀层及外部污染物,避免这些杂质对检测信号产生干扰,确保激发能量能够直接作用于样品基体,保障检测的真实性。细磨阶段则需精准控制表面粗糙度,通过精细化研磨保证分析面平整、光滑且均匀,提升激发能量作用的一致性,减少表面凹凸不平导致的能量分布差异与激发点不规整问题。清洁度保障是样品制备过程中不可或缺的关键环节,需采用适配的清洗方法彻底去除表面残留的油污、研磨碎屑等污染物,防止污染物引入额外杂质信号,影响检测结果的准确性。交叉污染防控需落实严格的基体样品处理隔离措施,及时更换处理工具,避免前序样品残留附着在研磨工具等设备上,对后续检测样品造成污染,进而干扰检测结果。(2)针对成分分布不均的非均质样品,需制定科学合理的多点测试策略,通过在样品不同代表性区域进行多次重复检测并取平均值,有效降低样品本身成分不均带来的偶然误差与系统误差,显著提升检测结果的代表性与公正性^[9]。样品的尺寸与厚度必须严格满足检测技术要求,激发深度与样品最小厚度需进行合理匹配,避免因样品过薄导致激发能量穿透样品,造成能量损耗与激发效果不佳,进而影响检测信号的强度与稳定性。需保证样品具有足够的激发面直径,确保激发区域能够代表样品的整体成分状态,避免因激发面积过小导致检测结果受局部成分不均的影响,最大限度保障检测数据的可靠性与有效性。(3)对

于成分或结构特殊的样品,需采用针对性的预处理工艺,通过精准控制冷却速率等关键参数,实现碳化物形态的优化与均匀化,确保样品成分分布符合检测要求,提升检测结果的准确性。针对外形不规则的异形件,需制定专用的适配方案,通过精准的机械加工保证样品检测面的平整度、垂直度等参数符合激发台的安装要求,或通过定制专用夹具实现样品的稳定固定与定位,确保激发过程中样品位置不发生偏移,保障激发能量精准作用于检测区域。同时,需严格控制机械加工的余量与夹具的压缩量,避免对样品基体造成过度损伤或引入额外应力,防止样品成分与结构发生改变,保障检测结果能够真实反映样品本身的原始成分状态。

2.3 环境与操作因素的控制要点

(1)温湿度控制是实验室环境管理的核心内容,适宜且稳定的温度与湿度范围能够有效降低环境因素对光电倍增管等精密光电元件性能的影响,减少暗电流波动与信号漂移,显著提升检测信号的稳定性与重复性。防震措施必须落实到位,通过为光学系统设置独立地基、安装减震装置等方式,有效降低外界振动对光学系统的干扰,避免光栅、透镜等光学元件发生微小位移,防止其影响光谱分离效果与光信号传输效率。空气洁净度控制是保障光学系统长期稳定运行的重要措施,可有效防控光栅、光学窗口等精密光学元件的污染,减少灰尘、油污等污染物对光信号的散射与吸收,保障光学系统的透光性能与检测精度,为准确检测提供稳定可靠的环境基础。(2)稳压电源的合理配置是保障仪器各组件稳定运行的关键前提,通过高精度稳压设备精准控制输入电压与频率的波动范围,为激发系统、光学系统、检测系统等各组件提供稳定均衡的电力供应,避免因电压波动导致能量输出不稳定、信号检测失真等问题。良好的接地设计能够有效形成电磁屏蔽,减少外界电磁干扰对仪器电子元件的影响,保障电子系统的正常工作秩序与信号传输质量^[4]。电源滤波处理方案与不间断电源的配备,能够有效抑制电网谐波干扰,净化电力供应环境,同时可应对突发停电情况,确保检测过程不中断,避免检测数据丢失或检测结果异常,全面保障检测过程的连续性、稳定性与完整性。(3)标准化操作流程的严格执行是保障检测结果准确可靠的重要环节,需根据仪器特性与检测要求优化激发次数与激发位置间隔,严格避免重复激发同一区域导致样品表面状态改变、成分烧蚀流失,进而影响后续检测结果的真实性。定期维护保养需严格按预设周期落实,每日细致检查冷却水流量、真空泵油位等关键组件运行参数,及时发现参数异常并处理;每周按

时完成光学窗口擦拭等清洁任务,清除仪器内部与外部的污染物,有效预防仪器故障发生。操作人员需具备专业资质与扎实的专业知识,通过系统的专业培训熟练掌握仪器校准、日常维护及故障诊断技能,确保整个操作过程规范有序,最大限度减少人为操作失误带来的检测误差。

3 技术发展对准确度的提升方向

3.1 新型激发光源技术

复合激发技术通过深度整合两种不同激发光源的核心优势,实现激发能量的精准调控与动态优化分配,有效提升激发过程的稳定性、均匀性与充分性,显著增强对复杂基体、多元素共存样品的适配能力,减少因单一光源激发不足或能量分布不均导致的检测偏差,进而大幅提升整体检测准确度。低温等离子体激发技术凭借其独特的温和能量作用方式,可有效降低难激发元素的激发阈值,显著强化这类元素的激发效率与特征信号强度,实现对难激发元素的高效增敏,最大限度减少因激发不充分带来的检测误差,为低含量难激发元素的精准定量检测提供坚实的技术支撑。

3.2 智能校准算法优化

机器学习算法凭借其强大的数据挖掘、特征提取与非线性拟合能力,能够精准捕捉检测过程中因基体效应、元素相互作用等因素引发的非线性响应特征,构建出更贴合实际检测场景的高精度校准曲线模型,可有效补偿非线性响应带来的系统误差,显著提升校准精度与检测数据的可靠性^[5]。实时基线漂移补偿技术通过动态调整关键参数,能够实时追踪并快速校正仪器运行过程中因环境温度湿度变化、元件老化等因素产生的基线波动,及时消除各类干扰因素对检测信号的影响,持续保障检测信号的稳定性,进一步提升检测结果的准确性与长期一致性。

3.3 多技术联用分析

互补分析技术通过科学整合两种不同检测技术的核心检测优势,实现检测范围的互补覆盖与检测数据的交叉验证,有效弥补单一技术在特定元素检测灵敏度、基体适配性等方面的局限性,显著提升对复杂成分、特殊基体样品检测的适应性与综合准确度。联用验证技术借助两种高精度检测技术的协同作用,通过严格的交叉验证方式对检测结果进行全面复核,能够有效过滤单一技术检测过程中可能产生的系统误差与偶然误差,大幅强化检测结果的可信度与权威性,推动金属材料化学分析准确度向更高水平提升。

结束语:直读光谱仪凭借其独特的技术原理与显著优势,在金属材料化学分析领域发挥着重要作用。然而,诸多因素影响着分析的准确度,不容忽视。值得欣喜的是,新型激发光源技术、智能校准算法优化以及多技术联用分析等发展方向,为提升分析准确度带来了新的契机与希望。未来,随着技术的持续进步与创新,直读光谱仪必将在金属材料分析领域取得更为卓越的成果,助力行业高质量发展。

参考文献:

- [1]张瑶.直读光谱仪对金属材料化学分析准确度的影响[J].机械工程与自动化,2020(3):123-125.
- [2]殷海艳,陈连芳.直读光谱仪对金属材料化学分析准确度的影响[J].中国金属通报,2021(2):236-237.
- [3]陈庆.直读光谱仪对金属材料化学分析准确度的影响[J].中国金属通报,2020(13):205-206.
- [4]王洁.直读光谱仪对金属材料化学分析准确度的影响[J].魅力中国,2021(3):415-416.
- [5]谢宝和,李啊龙.直读光谱仪对金属材料化学分析准确度的影响研究[J].百科论坛电子杂志,2021(20):1953.