

# 铁基合金中铝元素可见光谱数字化分析技术

刘平<sup>1</sup> 杨军红<sup>2</sup>

(1 北京航空材料研究院,北京 100095)

(2 北京莱特锐科技发展有限公司,北京 100022)

**文 摘** 使用数字技术解决了 Al 元素两条灵敏谱线的观测问题,研究了铁基合金中 Al 元素的数字化分析技术,对铁基合金中 Al 元素的 Al 396.15 nm 分析谱线组进行了分析测定。测定结果可用于铁基合金中 Al 元素的定性、定量分析和牌号鉴别。

**关键词** 数字化分析,铝,铁基合金,可见光谱

## Digital Visible Spectrum Analysis of Al in Ferroalloy

Liu Ping<sup>1</sup> Yang Junhong<sup>2</sup>

(1 Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

(2 Beijing Light-ray-Tech Co., Ltd., Beijing 100022)

**Abstract** The problem about the observation of characteristic spectral line of aluminium was solved by digital analysis system. The digital analysis method was developed for visible spectrum of aluminium in ferroalloy. The researches were carried on the character of Al 396.15 nm line groups in ferroalloy. The results can be applied qualitative analysis and the quantitative analysis on aluminium in ferroalloy, which also can be used to exactly examine alloy and avoid the commixing of material on spot

**Key words** Digital analysis, Aluminium, Ferroalloy, Visible spectrum

### 1 前言

Al 在铁基合金中是金属间化合物形成元素又是铁素体形成元素,其含量对合金的力学和工艺性能影响较大,准确控制 Al 含量对保证铁合金整体性能非常重要。材料可见光谱分析技术<sup>[1]</sup>具有分析速度快、成本低、样品损伤小、现场使用<sup>[2]</sup>等优点,可用于铁基合金中 Al 含量的快速分析。

Al 元素的两条灵敏谱线在近紫外光区域<sup>[3]</sup>,由于该波长范围内人眼视觉敏感度非常低<sup>[4]</sup>,两条灵敏谱线一直未能用于 Al 元素的可见光谱分析,进行 Al 元素分析时一直使用火花激发谱线进行<sup>[5]</sup>。火花激发谱线的灵敏度较低,需要使用稳定度不好的氮元素谱线作为对比线,观测难度大且重复性和稳定性较差。

本文探索了铁基合金中 Al 元素的可见光谱的数字化转换和计算机处理技术,使用数字化分析技术实现了 Al 元素的两条灵敏谱线的观测记录及定性定量

分析。通过对部分典型牌号合金进行定量分析和牌号鉴别,得到理想结果。

### 2 实验

#### 2.1 仪器

WKT-04 型台式棱镜看谱镜、WKT-10A 型便携式棱镜看谱镜,天津谱析光学仪器厂生产;光谱范围:390~700 nm;光源使用电弧放电光源。

LTR2.0 可见光谱数字化处理系统,北京莱特锐科技发展有限公司生产。

#### 2.2 试样和试验条件

采用块状或棒状光谱试样,表面经细砂纸打磨处理。分析间隙 0.5~2 mm;电弧电流 6 A;预燃时间 15 s;电极采用铜对电极。

#### 2.3 可见光谱的数字化

使用 LTR2.0 可见光谱数字化处理系统将看谱镜输出的可见光谱线转变成数字化的电子谱图,经计算机处理后在屏幕上显示<sup>[6]</sup>。Al 元素两条灵敏谱线

收稿日期:2008-01-08

作者简介:刘平,1961 出生,研究员,主要从事航空材料及性能的研究

所在波长范围虽然人眼视觉很弱,但在数字处理系统探头的工作波长区域内,可在显示屏幕上清楚的看到Al元素两条灵敏谱线及视场内的其他谱线。

在使用数字分析系统时,可以对观测区的图谱进行显示锁定,然后关闭电弧光源进行分析观测,避免电弧的不稳定和元素的燃烧特性对测试图谱的影响。

本文采用的实际样品数字谱图均为棱镜看谱镜谱图,棱镜看谱镜与光栅看谱镜色散率不同<sup>[7]</sup>,文中谱图可在光栅看谱镜上参照使用。

## 2.4 视场定位及谱线辨别

视场定位及谱线辨别一直是可见光谱分析工作的技术难点,利用可见光谱数字化技术可以解决该问题。图1为数字系统铁基合金中Al396.15 nm谱线组视场定位和谱线辨别示意图。在屏幕下半部分的对比标定区给出了铁基合金中Al396.15 nm谱线组的典型谱图,并对主要谱线进行了标定。在选定进行Al396.15 nm谱线组分析后,根据系统指示调节看谱镜鼓轮到指定读数。点燃光源后,屏幕上半部分观测区中出现的Al396.15 nm谱线组视场谱图与对比区的图谱完全对应,定位完毕后的视场如图1所示。利用对比区标定的谱线可对观测区的分析谱线和比较谱线进行辨别,观测Al396.15 nm等Al元素谱线位置处有无谱线出现,判定样品中是否含有Al元素。如果有谱线出现,可使用数字化定量分析功能进行Al元素含量的测定。

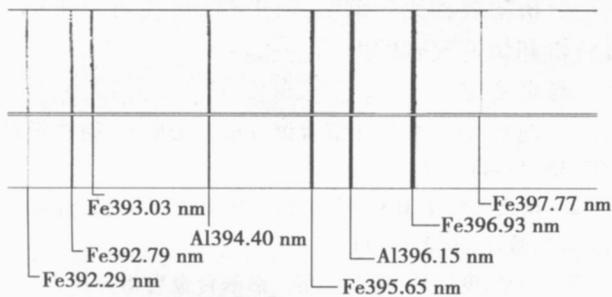


图1 Al396.15 nm谱线组的视场定位及谱线辨别

Fig 1 Visible-field localization and spectral line discrimination of Al396.15 nm spectral line group

## 3 分析及讨论

### 3.1 铁基合金中Al元素可见光谱特征

在电弧激发下,Al元素可见光范围内视觉强度最高的两条谱线是位于接近紫外光区的Al396.15和Al394.40 nm<sup>[8]</sup>。图2为Al元素两条谱线的谱图。由图可见,两条谱线的强度非常高,可观察到明显的自蚀现象

该波长区域,人眼视觉系数非常低,难以用人眼宇航材料工艺 2008年 第4期

直接观测。由于Al元素其他的电弧激发谱线强度都在两条灵敏线强度的1%以下,传统的看谱分析只有采用火花光源激发Al的两条火花线Al569.65和Al572.27 nm进行Al元素的分析。两条火花线灵敏度较低,在Al569.65和Al572.27 nm谱线视场中没有低压火花激发的基体铁元素谱线,必须使用大气中被火花激发的氮元素谱线作为比较线。氮元素谱线的线性和稳定性都较差,使得铁基合金中Al元素的快速准确分析一直是难点问题。数字技术可有效解决人眼视觉观测存在的问题。图3为铁基合金中Al396.15 nm谱线组经数字化处理后的数字化谱图,Al396.15和Al394.40 nm两条谱线都有较高的强度,可以很方便的进行观测,检出限可达到0.1%以下。

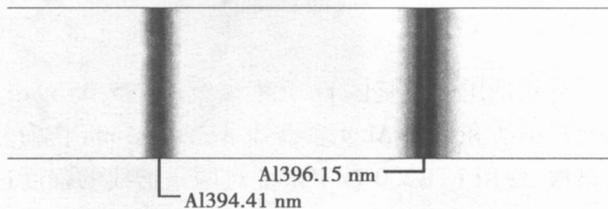


图2 Al396.15和Al394.41 nm谱线谱图

Fig 2 Spectrogram of Al396.15 and Al394.41 nm

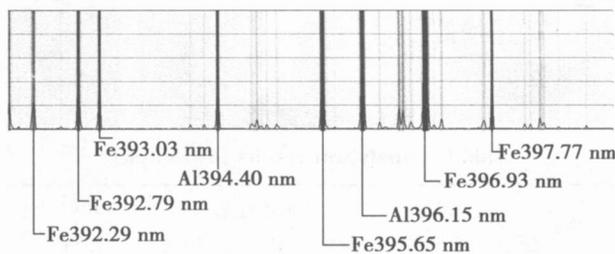


图3 Al396.15 nm谱线组的数字化分析谱图

Fig 3 Digital spectroscopic analysis of Al396.15 nm spectral line group

### 3.2 数字化分析

数字系统对材料可见光谱图进行处理,可得到视场中所有谱线的相对强度数据,并直观地在谱图中以折线的形式显示出来。Al396.15 nm谱线组视场经处理后的定量分析谱图如图3所示。由计算机给出了各谱线的相对强度,谱线间的强度比较以客观量化的方式表示且不受谱线间相对位置限制,有效避免了人为因素对结果造成的影响。

### 3.3 定量分析

由于数字化分析可以给出分析谱线和比较谱线间较为精确的比值,因此可以进行定量分析。

图4为使用数字系统对6种牌号的铁基合金样品Al396.15 nm谱线组谱图进行数字化处理后的对

比情况。

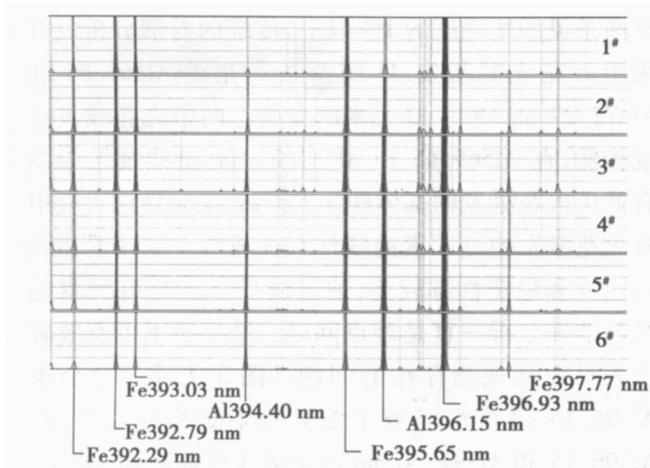


图 4 定量分析

Fig 4 Quantitative analysis

分别选用一条基体 Fe 元素谱线 Fe395.65 nm 作为比较谱线和一条 Al 元素谱线 Al394.40 nm 作为分析谱线,使用 LTR2.0 数字系统对两条谱线的强度进行量化比较,数字系统给出的 6 种牌号铁基合金样品分析谱线 Al394.40 nm 和比较谱线 Fe395.65 nm 的强度比值如表 1 所示。表中数据为每一试样连续测定 9 次的平均值。

表 1 样品测定结果

Tab 1 Analytical results for samples

样品	Al/% (质量分数)	温度比值 (Al394.40/ Fe395.65)	RSD $s_r$ /%
1#	0.237	0.1786	2.67
2#	0.326	0.4552	4.58
3#	0.331	0.6196	2.75
4#	0.410	0.8083	4.06
5#	0.736	1.045	5.56
6#	1.04	1.273	8.36

当进行实际材料测定时,可由 Al394.40 nm 和比较谱线 Fe395.65 nm 的强度比值得到铁基合金样品的 Al 元素含量。进行定量分析时,也可以选用其他相对强度高、线性好的分析谱线和其他相对稳定的比较谱线。

如果将铁基合金 Al 元素成分含量工作曲线内置在数字系统中,可由系统根据需要自动分析铁基合金中 Al 元素的成分含量。

### 3.4 牌号鉴别

可见光谱分析的另一个主要工作内容是进行牌

号鉴别,这也是在生产现场使用可见光谱分析的主要目的。系统可根据客户需求设置待测牌号合金的谱图及元素成分技术指标,进行牌号鉴别时可直接对系统已设置的牌号进行鉴别。如果测定样品牌号不在设置范围内,可使用系统的记录功能将观测区的视场即时记录成电子谱图,后期再进行分析处理。

铁基合金的牌号可以利用 Al 元素的定量分析结果进行鉴别。例如,需要鉴别图 4 中的 6 种牌号铁基合金,且已知 6 种牌号的分析谱线 Al394.40 nm 和比较谱线 Fe395.65 nm 的强度比值(表 1)。进行实际牌号鉴别时,由数字系统利用这组量化比值与实际测量值进行比对,很容易将这 6 种牌号的铁基合金鉴别开。

## 4 结论

(1)使用数字化可见光谱分析技术可以有效解决人眼视觉存在的灵敏度问题,进行铁基合金中 Al 元素分析时可以使用 Al396.15 和 Al394.40 nm 两条 Al 元素的灵敏谱线。

(2)数字化技术可对铁基合金中 Al 元素的可见光谱实时记录,为可见光谱分析技术提供了更大应用空间。

(3)数字化技术有效解决了视场定位及谱线辨别等问题,明显降低了可见光谱分析工作的技术门槛,为人员培训和技术交流提供了有利条件。

(4)数字技术可得到准确的谱线相对强度数据,利用分析谱线和比较谱线间的强度比值可以进行定量分析和快速准确的牌号鉴别。

## 参考文献

- 1 刘平.合金可见光谱看谱分析方法研究.钢铁研究,2007;35(2):44~47
- 2 斯文齐茨基 H C 周鸿吉,韦雅文译.看谱镜.北京:中国工业出版社,1963:8~11
- 3 刘平,庞晓辉,杨军红等.铝基合金看谱分析方法研究.理化检验-化学分册,2008;44(3):271~274
- 4 李国华,徐秋心.金属材料看谱分析手册.成都:四川大学出版社,2000:84~85
- 5 刘平,庞晓辉,杨军红等.钛合金中铝元素看谱分析方法研究.钛工业进展,2007;24(2):30~33
- 6 刘平,杨军红,张福来.材料可见光谱计算机辅助分析系统应用研究.现代科学仪器,2007;(4):46~48
- 7 刘平,庞晓辉,杨军红等.棱镜看谱镜线色散率及应用研究.材料工程,2006;(1):27~31
- 8 冶金工业部情报产品标准研究所编译.光谱线波长表.北京:中国工业出版社,1971

(编辑 任涛)