

钛合金烧伤机理及检测方法研究

吴德新, 谢小荣

(空军第一航空学院, 信阳 464000)

摘要:研究了飞机用 BT20 和 OT4 钛合金材料烧伤后力学性能和电导率随烧伤温度及烧伤时间的变化关系。分析了使用电导率法和硬度法检测钛合金烧伤程度的特点。试验结果表明, 钛合金的电导率、硬度和强度均与烧伤温度和烧伤时间呈一定关系, 因此可通过测定电导率和硬度的方法确定钛合金的烧伤程度。

关键词:钛合金材料; 电导率; 硬度; 强度; 烧伤机理

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)06-0345-03

Research of Burn Mechanism and Testing Method of Titanium Alloy

WU De-xin, XIE Xiao-rong

(The First Aviation College of PLA, Xinyang 464000, China)

Abstract: The relationships between mechanical property and conductivity of titanium materials used in a plane varied with burning temperature and time were researched. The characteristics of burning extent with conductivity testing method and hardness testing method were analyzed. Testing result showed that there were some certain relationship between the conductivity and hardness with the burning temperature and burning time, so it was possible to identify the burning extent with conductivity testing method and hardness testing method.

Keywords: Titanium materials; Conductivity; Hardness; Strength; Burn mechanism

飞机烧伤事故是飞机在使用和维护过程中发生较多的事故之一。对结构烧伤飞机进行原位检测和评估是制订修理工艺、实施快速抢修的前提。通常烧伤飞机结构修理中关心的是结构的力学性能指标, 而力学性能指标的变化往往难以直接测量。笔者采用某飞机残骸上的钛合金材质 OT4 和 BT20 试块进行模拟烧伤, 研究其常用力学性能(硬度、强度)及电导率随烧伤温度、烧伤时间的变化规律, 从而找出相应的检测方法^[1,2]。

1 钛合金烧伤机理研究

1.1 烧伤钛合金的电学性能变化规律

1.1.1 钛合金电导率变化规律^[3,4]

BT20 和 OT4 钛合金电导率与烧伤温度的关系见图 1。

试验表明, BT20 钛合金在温度 $< 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 电导率几乎不变, 属于正常工作温度。当温度为 $950 \sim 1\,150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 电导率缓慢下降, 试块表面形成棕色的较厚氧化膜。当温度为 $1\,150 \sim 1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 电导率值相差很大, 说明 BT20 钛合金在温度 $> 1\,150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时组织变化剧烈。

OT4 钛合金电导率随温度变化的规律基本与 BT20 类似, 也是随温度的升高其电导率下降。温度 $< 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时下降缓慢, 温度提高后其氧化剧烈, 形成较厚氧化膜, 电导率变化剧烈, 下降很快。

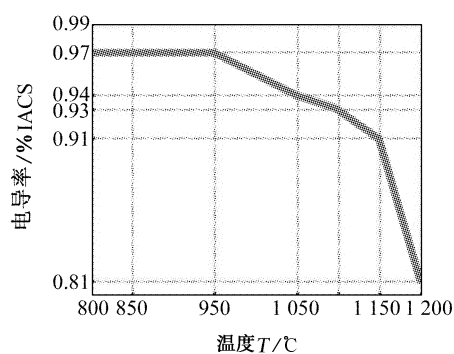
1.1.2 钛合金电导率随烧伤时间的变化规律

BT20 和 OT4 钛合金电导率随烧伤时间的变化规律见图 2。

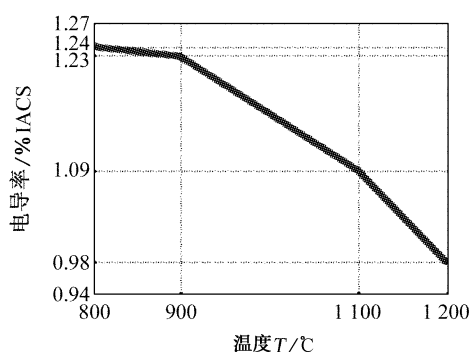
图 2 可见, BT20 的电导率随烧伤时间的增加并没有明显的下降, 综合图 1a 的数据, 认为是由于保温温度选择较低。BT20 在温度 $> 1\,150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时其电导率才会进入快速变化段。OT4 的电导率随着烧伤时间的增长而缓慢下降, 说明在一定温度以上

收稿日期: 2006-12-07

作者简介: 吴德新(1962—), 男, 学士, 讲师, 从事无损检测教学工作, 研究方向为飞机零部件的损伤检测。

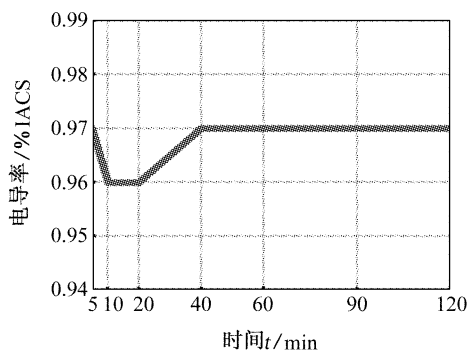


(a) BT20 材质

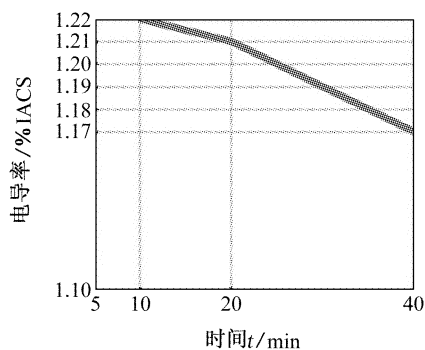


(b) OT4 材质

图1 钛合金电导率与烧伤温度的关系



(a) BT20 材质



(b) OT4 材质

图2 钛合金电导率与烧伤时间的关系

随着烧伤时间的延长,氧化程度有一定的增强,电导

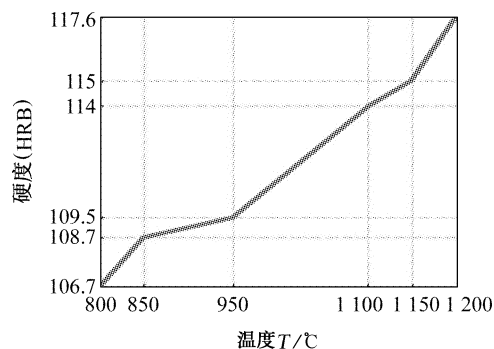
率有一定的下降。

通过对电导率的测量可以较快地区分出钛合金材质烧伤区及未烧伤区,并可根据烧伤区电导率的变化辨别烧伤的程度。

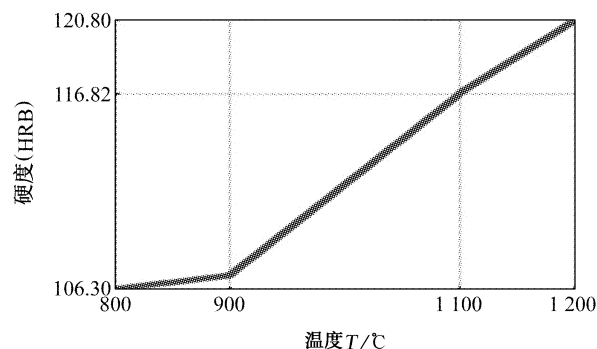
1.2 烧伤钛合金的力学性能变化规律

1.2.1 硬度与烧伤温度的变化关系

BT20 和 OT4 钛合金硬度随烧伤温度的变化关系见图3。



(a) BT20 材质



(b) OT4 材质

图3 钛合金硬度随温度的变化关系

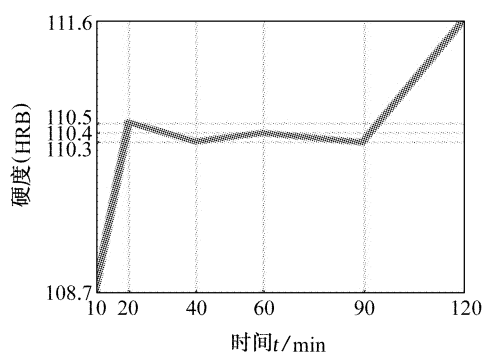
图3可见,当BT20试块在高温下烧伤后,硬度会得到一定的提高,并且随着烧伤温度的升高,材料的硬度升高得越明显。OT4试块在温度 $<900^\circ\text{C}$ 时,硬度值几乎不变;当温度 $>900^\circ\text{C}$ 时,材料硬度明显得到较大的提高。

1.2.2 硬度与烧伤时间的变化关系

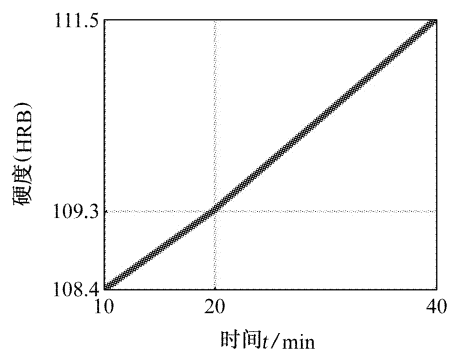
BT20 和 OT4 钛合金硬度与烧伤时间的关系见图4。

图4可见,在相同温度下,延长BT20材质的烧伤时间,其硬度也会得以提高。OT4材质随着烧伤时间的延长,硬度值随之增大,并且烧伤前后其硬度值相差很大。

试验证明了 1000°C 为钛合金硬度值的突变点,当烧伤温度 $<1000^\circ\text{C}$ 时,硬度值不会发生什么

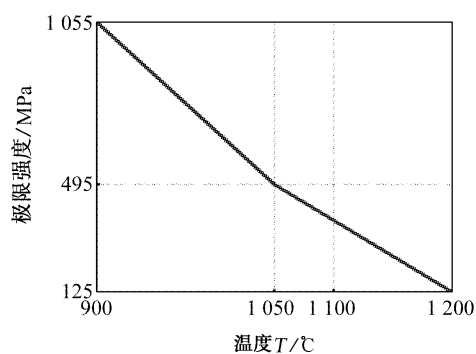


(a) BT20 材质

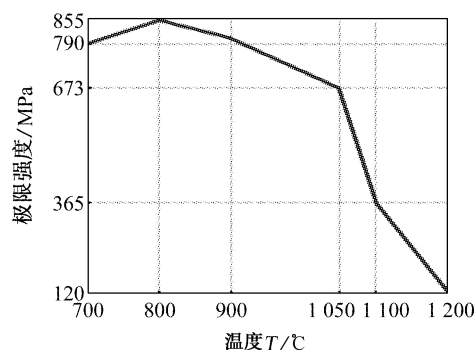


(b) OT4 材质

图4 钛合金烧伤时间与硬度的关系



(a) BT20 材质



(b) OT4 材质

图5 钛合金极限强度与温度的关系

变化。

1.2.3 极限强度与烧伤温度的变化关系

BT20 和 OT4 钛合金极限强度与烧伤温度的关系见图 5。

图 5 可见, BT20 钛合金随着烧伤温度的升高, 其抗拉强度逐渐下降。当温度 $> 1\,000\,^{\circ}\text{C}$ 时, 抗拉强度急剧下降, 材料不再具有实用价值。OT4 钛合金随着烧伤温度的升高, 抗拉强度逐渐减小。当烧伤温度 $> 1\,000\,^{\circ}\text{C}$ 时, 抗拉强度急剧下降, 材料不再具有使用价值。

1.2.4 极限强度与烧伤时间的变化关系

OT4 钛合金的极限强度与烧伤时间的关系见图 6。

图 6 显示, 随着烧伤温度的延长, 材料的抗拉强度呈缓慢下降。

2 钛合金材料烧伤状态检测方法

以上试验研究表明, 电导率检测法和硬度检测法可以作为烧伤检测时的参考数据。

2.1 电导率检测法^[5]

电导率检测法具有简单易操作的特点, 检测时人为影响小, 所测值比较稳定, 同时电导率随温度和

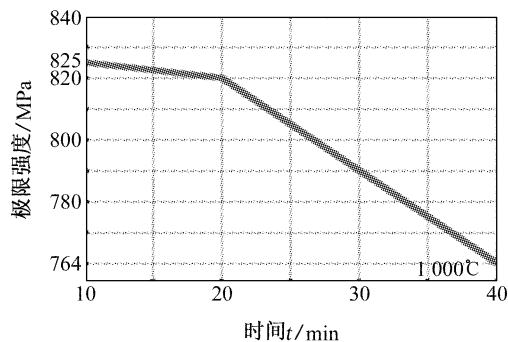


图6 OT4 材质极限强度与烧伤时间的关系

材料力学性能的变化趋势明显。

(1) 电导率与硬度的关系 当烧伤温度 $< 950\,^{\circ}\text{C}$ 时, BT20 试件的电导率和硬度下降都较为平缓; 当温度 $> 950\,^{\circ}\text{C}$ 时, 试件的电导率和硬度急剧下降, 硬度与电导率的变化几乎是同时的, 因此可用电导率来表示 BT20 的硬度变化。OT4 钛合金在温度为 $1\,100\,^{\circ}\text{C}$ 时电导率值发生突变, 呈急剧降低; 其硬度在 $1\,050\,^{\circ}\text{C}$ 时发生突变, 呈急剧升高。试验表明也可用电导率的变化来表示硬度的变化规律。

(2) 电导率与强度的关系 BT20 材质钛合金在温度为 $900\sim 1\,050\,^{\circ}\text{C}$ 时强度发生了突变, 温度

(下转第 355 页)

易于保存。激光全息技术已应用于印制电路板内的焊接接头、压力容器焊缝质量的检测^[11]。微波检测是以微波为信息载体,对各种适用材料和构件进行无损检测和材质评定。它不仅能用来定位工件内的裂纹,而且可以测定裂纹的尺寸。

在常规技术广泛应用,新技术不断完善的同时,目前还可考虑多种技术的融合,如超声技术和红外热像技术的结合可使检测的灵敏度提高、检测范围扩大;声全息技术作为超声波技术的扩充,可使超声检测技术更有效等^[12]。

3 结论

渗透检测和射线检测等常规无损检测技术对焊接工件中较大的裂纹缺陷都能进行有效地检测,但在结果显示、准确度等方面存在不足,对残余应力的推挤形成的无间隙裂纹和普通的细微裂纹检出率很低。随着各种常规无损检测技术的不断改进,结合无损检测新技术的研究与应用,各项无损检测技术相互融合、取长补短,充分发挥各自的优势,可使无损检测技术在焊接领域中得到更多的应用和发展。

参考文献:

[1] Bush S H. Statistics of Pressure Vessel and Piping

Failures[J]. Journal of Pressure Vessel Technology, 1998, (8): 110—225.

- [2] 吴明复. 焊缝的无损检测技术[J]. 航天工艺, 1998, 20(6): 50—52.
- [3] 张平. 锅炉管道焊缝液体渗透检测技术[J]. 压力容器, 2005, 22(2): 51—54.
- [4] 李小亭, 沈功田. 压力容器无损检测——涡流检测技术[J]. 无损检测, 2004, 26(8): 411—416.
- [5] 刘凯, 沈功田. 带防腐层焊缝疲劳裂纹的快速探伤[J]. 中国锅炉压力容器安全, 2004, 20(6): 29—33.
- [6] 林俊明, 张开良. 焊缝表面裂纹涡流检测技术[J]. 中国锅炉压力容器安全, 2004, 20(6): 33—36.
- [7] 周旭南, 邹晶. 超声波自动检测焊接结构技术现状[J]. 焊接学报, 2002, 23(3): 93.
- [8] 朱省初. 对接焊缝表面结构状态对超声波探伤的影响[J]. 无损检测, 2004, 26(11): 589—592.
- [9] 张鹰, 雷毅, 程真喜, 等. 奥氏体不锈钢焊接接头超声波检测研究[J]. 石油化工设备, 2004, 33(2): 14.
- [10] 王金峰. 红外热波无损检测技术在美国的应用[J]. 无损探伤, 2004, 28(5): 1—4.
- [11] 陈积懋. 航空制造工程手册工艺检测分册[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.
- [12] 洪毅, 缪鹏程, 张仲宁, 等. 超声红外热像技术及其在无损检测中的应用[J]. 南京大学学报, 2003, 39(4): 552.

(上接第 347 页)

>1 050 ℃时强度极弱。所以也可以使用电导率来发现材料强度的变化。当烧伤温度达到 1 100 ℃时, OT4 的强度发生突变, 急剧减小, 说明强度的突变与电导率的突变几乎是同时的, 因此可用电导率来表示强度。

综上所述, 使用电导率检测法可以快速并且较为准确地判断飞机构件的烧伤程度。但是由于在高温下钛合金电导率下降较快, 而电导率测试有一定的量程限制, 当电导率下降至一定数值时便无法测得, 也就无法得知烧伤程度及范围。

2.2 硬度检测法

从试验数据可见, 随着烧伤温度的升高, 钛合金的硬度会持续上升, 同时其他力学性能持续下降, 并且发生上升或下降的温度点是一致的。所以在飞机烧伤的鉴定中, 使用硬度值作为参考数据也是可行并且较为准确的。但也必须看到, 硬度有一定的随机性, 在同一试件临近部位所得硬度值也有一定的

偏差, 特别是对蒙皮等较薄试件打点时, 由于试件易产生变形, 所得硬度值并不精确。

随着科技的发展和我军外场装备条件的进一步改善, 一些新型的检测仪器也会陆续装备部队, 促进钛合金烧伤状态的研究。

参考文献:

- [1] 贾新云. 钛合金的高温氧化及防护[J]. 航空工程与维修, 2000, (4): 19.
- [2] 刘道新. 航空钛合金结构的几种典型损伤形式及控制[J]. 航空工程与维修, 2000, (4): 22.
- [3] 刘伯操, 孟庆文. 苏 27CK 飞机机体材料与热工艺分析[M]. 北京: 航空材料研究院, 1998: 124—154.
- [4] 游风荷. 涡流检测技术的某些新进展[J]. 无损检测, 2001, 23(2): 70.
- [5] 姚培元. 无损检测技术[M]. 北京: 航天大学出版社, 1983.