

飞机钛合金构件热损伤检测试验

陈勇^{1,2} 蒋炳炎¹ 周志平² 湛建平³

(1 中南大学机电工程学院,长沙 410083)

(2 空军航空维修技术学院,长沙 410124)

(3 5712飞机修理厂,长沙 410113)

文摘 为准确检测和修理飞机钛合金构件的热损伤,选用 TA4、TC9 进行热损伤模拟试验,对材料在不同温度下的力学性能、电导率与加热温度的关系进行了分析。结果表明,TA4、TC9 的强度、硬度和电导率随温度的上升呈单调变化趋势;硬度和电导率均可作为钛合金热损伤的检测参数。

关键词 钛合金,热损伤,力学性能,电导率

Burned Titanium Alloy Aircraft Structures

Chen Yong^{1,2} Jiang Bingyan¹ Zhou Zhiping² Zhan Jianping³

(1 College of Machinery Engineering, Central South University, Changsha 410083)

(2 Air Force Aeronautical Service Technical College, Changsha 410124)

(3 5712 Aircrafts Repair Factory, Changsha 410113)

Abstract To test and repair the burned titanium alloy aircraft structures, A burning test of titanium alloy TA4 and TC9 is carried out. The relationship of mechanical performance and electric conductivity at different temperatures is studied. The experiment indicates that when titanium alloy is heated, the strength, hardness and electric conductivity are changed monotonously. The strength, hardness and electric conductivity can be taken as two parameters for testing burned titanium alloy structures.

Key words Titanium alloy, Burn, Mechanical performance, Electric conductivity

1 前言

在飞机制造中,钛合金常用来制造翼梁、隔框、接头等重要承力构件。文献 [1~2] 显示,越来越多的钛合金正成为宇宙飞船船舱、骨架、推进系统及火箭、导弹等的主要材料,并且可在 500℃ 下长时间工作。由于钛合金的耐高温性能,在飞机热损伤事故中,其构件的热损伤检测未得到足够重视,势必埋下严重的事故隐患^[3]。钛合金构件的热损伤检测主要包括准确度和经济性。准确度要求是指检测方法能准确地测量构件的热损伤状态,这是保证构件质量的前提和基础,测试手段是否科学、测量仪器的选择及校核、测量点的选择等都会影响到测量结果的准确性。经济性要求指的是检测成本应低廉,检测方法能够获得广泛的应用。本文选用飞机上常用的两种钛合金材料进行热损伤模拟试验,研究钛合金拉伸强度、硬度、电

导率等性能指标随热损伤温度的变化规律,提出合适的检测方法。

2 试验

2.1 试验流程

模拟热伤试验流程见图 1。该流程模拟某烧伤战机的自然烧伤过程进行制定。

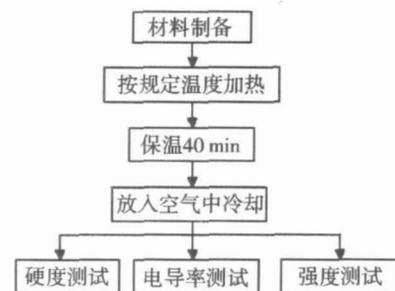


图 1 试验流程

Fig 1 Testing sequence

收稿日期: 2007 - 05 - 18; 修回日期: 2007 - 06 - 13

作者简介: 陈勇, 1965 年出生, 副教授, 主要从事机电一体化教学及科研工作

2.2 材料

钛合金 TA4、TC9,成分均符合 GB/T3620.1,其化学成分见表 1。两种材料力学性能的基本要求: TA4强度 730 MPa, TC9强度 1 060 MPa。

表 1 TA4、TC9化学成分

Tab 1 Chemical compositions of TA4 and TC9

牌号	% (质量分数)						
	Al	Sn	Mo	Si	Fe	Ti	其他
TA4 2.0~3.3					0.3	余量	0.715
TC9 5.8~6.8	1.8~2.8	2.8~3.8	0.2~0.4		0.4	余量	0.715

2.3 试样

采用 DK77型电火花数控线切割机床进行切割。按 GB6397—86规定,制备矩形短拉伸试样,要求试件表面光滑、精度误差 ± 0.02 mm。

2.4 设备

SRJX-8-16型箱形电阻炉及 KSY-12-16电炉温度控制器,均为长沙实验电炉厂生产;DY-30型万能材料试验机和 HR-150DT型电动洛氏硬度计,均为上海材料试验机厂生产;美国圣特而 centurion NDT(HM-150)型电导率测试仪。

2.5 试验步骤

- (1)将标准板材切割成 66块矩形拉伸短试件;
- (2)每 3块试件作为一组,分别置于 700, 750, ..., 1 200 下保温 40 min后取出,空冷至室温。
- (3)在每组试件中取出一件测试其强度,选择另外两件分别测试硬度和电导率(取多点平均值),并对各试件进行显微组织观察。

3 试验结果

3.1 温度对强度的影响

TC9、TA4试件的强度与温度关系见图 2。

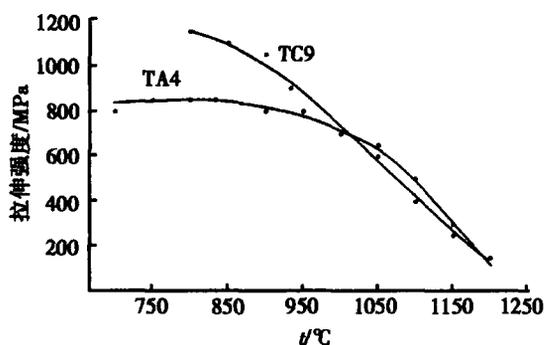


图 2 两试件强度与加热温度关系曲线
Fig 2 Dependence of temperature and strength of two samples

由图 2可以看出,当温度 950 时,TA4试件的拉伸强度均在 800 MPa以上,能满足要求;当温度 >

950 时,其拉伸强度急剧下降,明显低于标准值。当温度 900 时,TC9试件强度值满足 1 060 MPa的使用要求;当温度 >900 时,强度值迅速降低到标准值以下。从总体上看,两种材料的强度随温度升高呈单调下降趋势,温度愈高,热损伤愈严重。

3.2 温度对硬度的影响

TC9、TA4试件在不同温度下硬度与温度的关系见图 3。

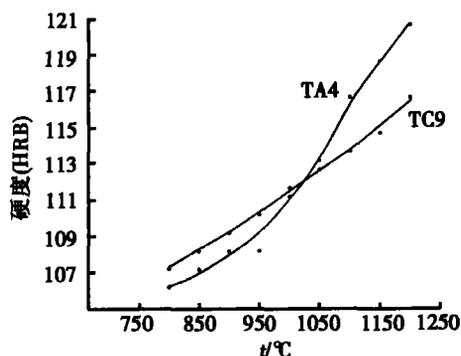


图 3 两试件硬度与加热温度关系曲线
Fig 3 Dependence of temperature and hardness of two samples

由图 3可见:随着温度的升高,两种材料的硬度值均呈单调上升趋势,这与钛合金高强度值随加热温度的升高呈单调下降的趋势相反,主要原因是钛合金在高温下其氧化膜失去保护作用,与气态的氢、氧、氮等易形成间隙固溶体。

钛合金硬度、强度随温度的变化规律与飞机铝合金热损伤的变化规律明显不同(飞机铝合金热损伤后,铝合金强度—温度关系与铝合金硬度—温度关系的变化规律基本一致^[3])。

由于用强度来判断构件的热损伤程度不具备可操作性,通常用硬度测试代替强度测试。

3.3 温度对电导率的影响

TC9、TA4试件在不同温度下的电导率与温度的关系见图 4。

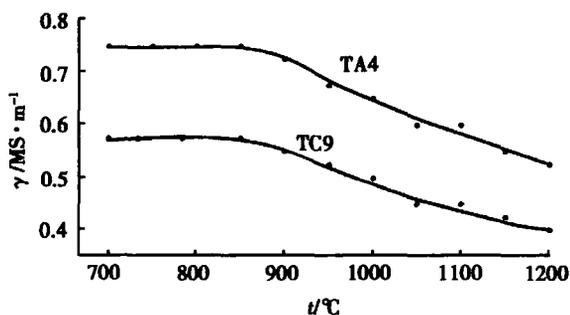


图 4 两试件电导率与加热温度关系曲线
Fig 4 Dependence of temperature and electric conductivity of two samples

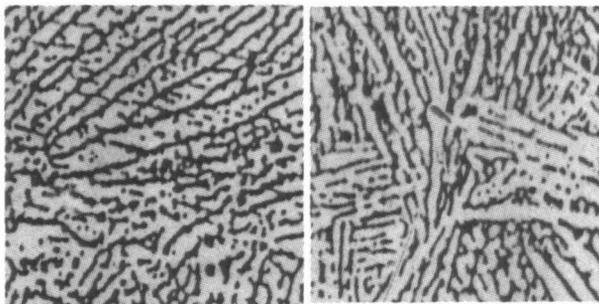
由图 4可以看出,当温度 900 时,电导率的变化较平缓,(此时两种材料的强度值均满足使用要求);温度 >900 时,材料中的点缺陷密度增加,电导率明显降低。温度 >1 150 时,材料组织中出现了晶界加粗、晶粒粗大等过烧现象,过烧导致电子运动阻力增大,因而,电导率快速下降。从总体上看,两试件电导率呈单调下降趋势,与强度变化规律基本一致。

4 结果分析

由模拟热损伤试验可以看出,钛合金强度、硬度、电导率与热损伤温度之间的关系非常密切。

钛合金按组织不同分为 α 、 β 、 $\alpha+\beta$ 及 $(\alpha+\beta)$ 钛合金。TA4 属于近 α 型钛合金,TC9 属于 $(\alpha+\beta)$ 型钛合金。钛合金在大气中十分稳定,其表面生成致密的氧化物,使材料的强度和硬度提高。但是,随着温度的升高,当超过 $(\alpha+\beta)$ 的转变温度时,钛合金

相的晶粒尺寸会急剧长大,组织显著粗化,同时相会发生明显脆变,表现为强度降低。如图 5(a)显示,其晶粒细密;图 5(b)显示, α 相已变为粗大的片状,并且存在明显的原始 β 晶粒边界,这种组织的强度一般较低^[4]。因此,对于钛合金构件而言,其热损伤的程度主要取决于该部位温度的高低。因此,根据钛合金构件在不同温度下的力学性能变化,可正确划分热损伤区及非损伤区。



(a) 正常晶粒 (b) 粗大晶粒

图 5 近 α 钛合金显微组织

Fig 5 Microstructures of α -titanium alloy

电导率是由金属中的自由电子在正离子晶格点阵中的运动状况决定的,其大小取决于金属晶格点阵中散射电子的能力及散射源的密度。影响电导率的因素很多,比如导体中的杂质含量、导体的温度变化、

材料的组织状态、冷热加工、固溶体的合金成分以及材料所受的应力等。其中,材料的点缺陷密度和组织状态与材料的受热过程密切相关。电导率对材料点缺陷密度的变化很敏感,由热损伤造成的显微组织变化对材料的电导率影响最大。不同组织状态对电子散射作用不同,特别是组织中的固溶体有序化后,晶体离子势场呈对称分布,电子散射率会大为降低^[4-6]。钛合金在经过高温加热之后,一方面,晶体内缺陷减少,晶粒尺寸明显增大,电导率有上升趋势;另一方面,晶界氧化及含有丰富气体的间隙固溶体的形成使材料的导电性能急剧下降,在高温条件下,后者起决定作用,因此电导率总体变化规律表现为单调下降。

5 结论

(1) TA4、TC9 两种钛合金材料的强度随温度变化显著,加热温度愈高,热损伤程度愈严重,表现为材料强度显著下降。由于用强度来判断构件的热损伤程度不具备可操作性,通常用硬度测试代替强度测试。

(2) 随着加热温度的升高,钛合金材料硬度值单调上升,电导率值单调下降。因此,从理论上讲,电导率和硬度均可作为飞机钛合金构件热损伤的检测参数。

(3) 检测飞机钛合金构件的热损伤,较好的方法是测试其电导率。

参考文献

- 1 Ramulu M, Branson T, Kim D. A study on the drilling of composite and titanium stacks Composite and Structures, 2001; 15 (54): 67 ~ 77
- 2 彭艳萍,曾凡昌等. 国外航空钛合金的发展应用及其特点分析. 材料工程, 1997; (5): 3 ~ 7
- 3 陈勇,周志平. 硬度法检测飞机火烧构件的可靠性分析. 新技术新工艺, 2006; (4): 57 ~ 59
- 4 侯日立,张元华等. 飞机钛合金烧伤及检测方法研究. 无损检测, 2003; 25 (11): 575 ~ 578
- 5 崔忠圻. 金属学与热处理. 北京:机械工业出版社, 1988: 38 ~ 40
- 6 周志平,周志雄. 涡流电导率法检测飞机火烧构件的试验研究. 宇航材料工艺, 2005; 35 (3): 57 ~ 61

(编辑 吴坚)