

热处理制度对 TA15 线性摩擦焊接头性能的影响

Effect of Heat-Treatment on Mechanical Properties of TA15 Linear Friction Welded Joint

中航工业北京航空制造工程研究所 刘颖 张田仓 张传臣 金俊龙

[摘要] 针对 TA15 钛合金线性摩擦焊接头,研究不同热处理制度对接头力学性能的影响。研究结果表明:经不同的热处理,热处理制度对 TA15 线性摩擦焊接头拉伸塑性和高周疲劳强度有影响,热处理制度为 600℃/3h,接头的室温拉伸和高周疲劳性能最好。

关键词: TA15 钛合金 线性摩擦焊 力学性能

[ABSTRACT] The effect of heat-treatment parameters on mechanical properties of TA15 linear friction welded(LFW) joint is studied. The results show that the tensile plasty property and high cycle fatigue strength of TA15 LFW joint are influenced by the heat-treatment parameters. The ambient tensile strength and high cycle fatigue strength can be best with 600℃/3h heat-treatment.

Keywords: TA15 titanium alloy Linear friction Welding Mechanical property

TA15 钛合金属于高 Al 当量的近 α 型钛合金,具有中等的室温强度和高温强度,良好的热稳定性和焊接性能,较高的比强度、抗蠕变性和耐腐蚀性^[1]。目前,TA15 钛合金被广泛用于制造高性能飞机的重要结构件,尤其是焊接承力结构件的制造^[2]。

线性摩擦焊是近几年发展起来的,能够实现材料可靠优质连接的新型固相焊接技术。与常规连接技术相比,具有许多优点:固相焊接技术,能够获得致密的锻造组织,接头综合力学性能好,焊接过程中无需气体保护、无需真空条件,可焊接大尺寸、大截面以及异种金属材料的钛合金等有色金属构件^[3-4]。正是由于上述优点,线性摩擦焊技术在飞机和航空发动机结构的连接制造中展现出了广阔的发展势头和应用前景。具有良好焊接性的 TA15 钛合金是先进飞行器主承力零件的首选结构材料之一,而且线性摩擦焊也将成为 TA15 钛合金构件整体制造的关键技术。本文通过对 TA15 线性摩擦焊接头进行不同的焊后热处理,研究热处理后接头的室温拉伸和高周疲劳性能,为 TA15 钛合金线性摩擦焊结构的实际应用提供技术基础。

1 试验方法和试验过程

1.1 试验方法

试验材料为退火状态并经吹砂酸洗处理的锻件,采用机加工方法加工成厚 20mm,长 130mm,宽 75mm 的焊接试样。工艺试验在中航工业北京航空制造工程研究所研制的线性摩擦焊设备上,焊后分别采用 3 种热处理制度进行接头的去应力退火处理,热处理制度为 600℃/3h、700℃/3h、800℃/3h,然后测试了接头的力学性能。

1.2 试验过程

首先进行 TA15 钛合金的线性摩擦焊,焊后对焊接试样分别进行 600℃/3h、700℃/3h、800℃/3h 热处理。然后按照标准力学性能试样分别测试不同热处理 TA15 线性摩擦焊接头的室温拉伸和高周疲劳性能,焊缝位于试样中心。

2 结果与讨论

2.1 室温拉伸性能测试结果

TA15 钛合金线性摩擦焊接头通过不同热处理制度后的室温拉伸性能测试结果见表 1。从表 1 可以看出,热处理后 TA15 线性摩擦焊接头与未热处理的接头相比,其抗拉强度和屈服强度变化不大,热处理制度为 600℃、保温 3h 接头的室温拉伸强度最高,热处理制度为 700℃、保温 3h 和 800℃、保温 3h 接头的室温拉伸强度变化不大,但接头的塑性随着热处理温度的升高略有提高。

对 TA15 线性摩擦焊接头的室温拉伸断口进行电镜扫描,从图 1 可以看出,TA15 线性摩擦焊接头的断口呈明显的韧窝形貌,韧窝大小均匀;随着热处理温度的升高,断口中韧窝形貌逐渐增多,焊后热处理制度为

表1 TA15线性摩擦焊接头拉伸性能

接头状态	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	延伸率 $A/\%$
未热处理	964	874	11.3
热处理 600℃/3h	984	933	11.6
热处理 700℃/3h	943	826	12.3
热处理 800℃/3h	950	853	14.0

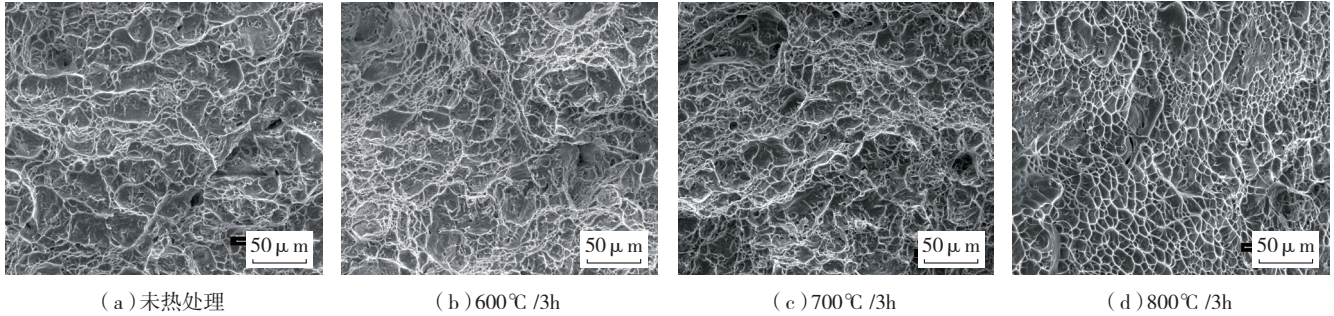


图1 拉伸断口形貌

Fig.1 Tensile fracture surface

800℃/3h, 接头拉伸断口形貌上韧窝多而致密, 其塑性最好, 断口均表现为塑性断裂特征^[4], 如图1所示。

2.2 高周疲劳性能测试结果

表2为TA15线性摩擦焊接头不同热处理制度下高周疲劳强度测试结果。从表2可以看出, TA15线性摩擦焊接头焊后热处理后, 其接头的高周疲劳强度有明显的

表2 TA15线性摩擦焊接头高周疲劳性能

接头状态	测试条件	疲劳强度 σ_f /MPa
未热处理	$R=-1$	378.6
热处理 600℃/3h	$K_f=1$	530.4
热处理 700℃/3h	$N=1 \times 10^7$	424.3
热处理 800℃/3h	每组各 15 件	491.1

走向, 它表示裂纹前沿在间隙扩展中的逐次位置。疲劳辉纹细而密, 且十分均匀。因此可推断疲劳裂纹在表明起裂后, 沿径向向中心扩展。在韧性断裂区可见一些浅韧窝形貌^[5], 如图2(d)。

3 结论

(1) TA15钛合金线性摩擦焊接头焊后经热处理, 其拉伸强度变化不大, 但接头的塑性随着热处理温度的升高略有提高。

(2) TA15线性摩擦焊接头焊后热处理后, 其接头的高周疲劳强度有明显的提高, 热处理制度为600℃, 保温3h接头的的高周疲劳强度最高。

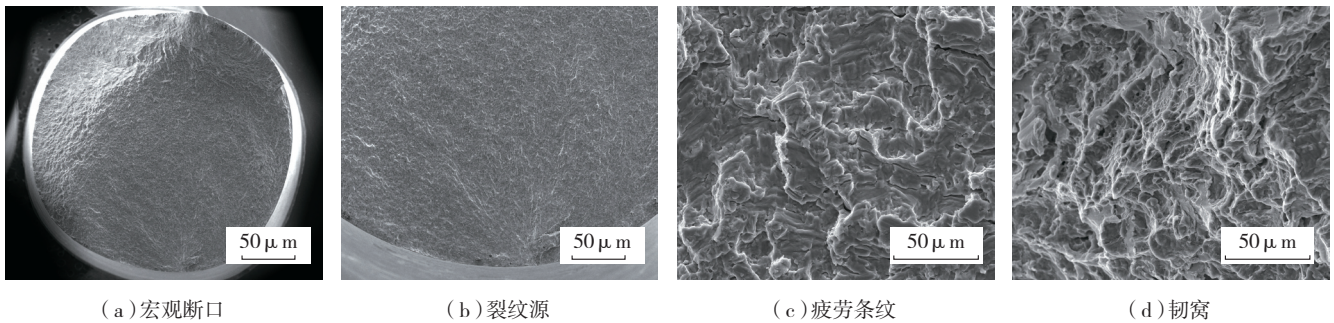


图2 疲劳断口形貌

Fig.2 Fatigue fracture surface

提高, 在相同测试条件下, 三种温度下的高周疲劳强度值不同, 热处理制度为600℃, 保温3h接头的高周疲劳强度最高, 700℃, 保温3h接头的高周疲劳强度值最低。

采用扫描电镜对导管的疲劳断口进行分析, 从图2(a)的断口宏观形貌可以看出, 导管焊接接头疲劳断口分为较平整的疲劳断裂区(面积较大)以及少部分的塑性断裂区, 疲劳断口区断口平整, 无明显塑性变形。通过对断口进一步放大, 进行微观观察发现, 在疲劳断裂区外表面可明显地观察到疲劳裂纹源, 见图2(b), 自试样表面开始, 沿内部成放射状发散, 可推断裂纹起源自试样表面, 且为单源起裂。同时断口上可见明显的疲劳辉纹, 见图2(c), 因为疲劳辉纹反应裂纹的局部扩展

(3) 热处理制度为600℃/3h, TA15线性摩擦焊接头的室温拉伸和高周疲劳性能最好。

参考文献

[1] 沙爱学, 李兴无, 储俊鹏. TA15钛合金的普通退火. 稀有金属, 2003, 27: 213-215.
 [2] 赖运金, 张丰收, 杜予暄, 等. 热处理对TA15钛合金高周疲劳性能的影响. 中国有色金属学报, 2010, 20(10): 62-65.
 [3] 张田仓, 韦依, 周梦慰, 等. 线性摩擦焊在整体叶盘制造中的应用. 航空制造技术, 2004(11): 56-58.
 [4] 孙成彬, 张田仓, 李晶, 等. 高温钛合金Ti60线性摩擦焊接头形貌特征及接头性能分析. 电焊机, 2008, 11: 1-5.
 [5] 张栋, 钟培道, 陶春虎, 等. 失效分析. 北京: 国防工业出版社, 2004, 94-105.

(责编 小城)