

时效态 TC17 焊接后不同热处理温度的力学性能

Mechanical Property of Aged State TC17 Vacuum Beam Welding Affected by Different Heat Treatment Temperature

中航工业成都发动机(集团)有限公司 何玲 乔雷 张校宇

[摘要] TC17 在时效态下进行真空电子束焊接,焊后采用不同温度(550℃、580℃、600℃、620℃、640℃)对焊接试样进行热处理,将不同温度热处理后的焊接试样进行了室温和 400℃ 的拉伸、室温冲击等试验,结果显示焊接试样的力学性能与焊后热处理温度有关。620℃ 焊后热处理可以获得较好的综合力学性能,是时效态下 TC17 真空电子束焊后理想的热处理温度。

关键词: 时效态 热处理 强度 塑性

[ABSTRACT] The aged stated TC17 is welded in the electric beam vacuum and treated by different temperatures(550℃、580℃、600℃、620℃、640℃). The samples are tested in the room temperature and 400℃ temperature, the mechanical properties are affected by the heat treatment temperature, The mechanical properties of the samples are high when the samples are treated by 620℃ temperature. therefore, the 620℃ temperature is ideal for the heat treatment temperature of the aged stated TC17 welded in the electric beam vacuum.

Keywords: Aged state Heat treatment Strength Plastic

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.17.076

TC17 合金是一种富 β 的 $\alpha + \beta$ 钛合金,其名义成分为 Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr,具有强度高、断裂韧性好、淬透性高和锻造温度宽等一系列优点,能够满足

伤容限设计的需要和高结构效益、高可靠性及低成本制造的要求,特别适用于制造航空发动机压气机盘、叶片、鼓筒等零件^[1]。

目前由于无损探伤的局限性,固溶态下 TC17 采取超声波探伤会出现较高的杂波,无法确切地判断内部质量是否满足标准要求,而时效态 TC17 则可避开无损探伤的局限性,可有效检测内部质量是否满足标准要求。

1 试验来源

为避免无损探伤的局限性,我国某新型高推重比发动机压气机盘件采用的设计方案是将时效态下 TC17 进行真空电子束焊接。从制造工业角度看,一种新型材料的应用前景不仅取决于材料自身的性能,同时也取决于其加工性能。由于当前无损探伤技术的限制,故采用时效态下 TC17 进行真空电子束焊接。

2 试验目的

一般来讲,时效态下进行焊接的接头力学性能损失较大,由于 TC17 材料自身特性,焊接后采用不同热处理温度改变组织状态以获得较好的综合力学性能,达到期望的使用要求。

3 试验方案

试验采用厚度为 17mm 的 TC17 锻件, β 相锻造工艺,固溶温度 800℃, 4h, 水冷; 时效温度 625℃, (1~4)h,

表1 TC17材料成分(质量分数)

合金元素						杂质 ≤						
Al	Sn	Zr	Mo	Cr	Ti	Fe	C	N	H	O	其他元素	
4.5~5.5	1.5~2.5	1.5~2.5	3.5~4.5	3.5~4.5	余量	0.30	0.05	0.04	0.025	0.08~0.13	单个	总和
											0.10	0.30

表2 TC17电子束焊接工艺参数

	焊接电流 /mA	加速电压 /kV	焊接速度 / (mm·s ⁻¹)	聚焦电流 /mA	扫描幅值
焊接	53	150	16	表面 -10	E2X0Y1.0 SF500
修饰焊	13	150	10	表面 +80	E2X0Y1.0 SF500

水冷或炉冷,焊接尺寸规格为 500mm × 160mm × 17mm,材料具体化学成分见表 1。焊接接头为对接焊,电子束焊接,采用下聚焦,具体焊接参数见表 2。

焊接后进行无损检测(目视、荧光、X光)合格后,选择焊缝中段区域作为组织观察试样,采取线切割,经机械打磨、抛光、腐蚀制备金相试样;采用光学显微镜观察

组织形态; 室温和 400℃ 的拉伸试验, 室温冲击试验。

4 实验过程及结果

(1) 焊接后先采用 550℃ 的热处理, 随后进行力学试验, 结果显示冲击韧性的平均值为 4.34J, 不到母材的 20%;

(2) 将焊后热处理温度调整为 580℃, 其冲击韧性的平均值为 4.43J, 仍没有太大的改善;

(3) 经过上述 550℃、580℃ 的焊后热处理, 力学性能改善虽不明显, 但有改善的趋势, 故焊后继续调整温度 600℃、620℃、640℃ 热处理, 其冲击韧性的平均值为 5.67J、6.67J、7.0J。

5 实验结果分析及讨论

5.1 焊接接头的力学性能测试

母材在室温、400℃ 时的力学性能见表 3。

(1) 焊接接头不同热处理温度后室温。拉伸性能测试室温拉伸测试数据见表 4。几种不同焊后热处理温度的拉伸试样均断在母材上, 接头的抗拉强度随着焊后

热处理温度(低于时效温度 625℃)呈上升趋势, 超过时效温度 625℃ 的热处理温度后又呈下降趋势; 在 600℃ 时, 强度(如图 1 所示)上升较缓, 塑性(如图 2 所示)急剧下降, 且试样断裂在焊缝中间, 由于断裂的异常性, 通过对断口横、纵截面的微观组织分析, 整个断裂为脆性断裂且有裂纹源, 可能是焊接接头存在的微缺陷导致的脆性断裂。

(2) 焊接接头不同热处理温度后 400℃ 时拉伸性能

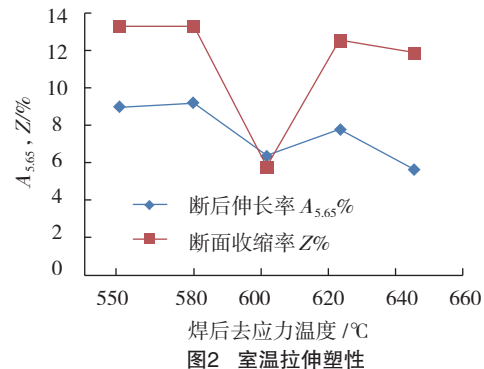


Fig.2 Tensile plastic of samples in room temperature

表3 母材的力学性能数据(平均值)

室温力学性能					400℃力学性能			
冲击吸收功 K_{I2}/J	屈服强度 $\delta_{0.2}/MPa$	抗拉强度 δ/MPa	断后伸长率 $A_{5.65}\%$	断面收缩率 $Z/\%$	屈服强度 $\delta_{0.2}/MPa$	抗拉强度 δ/MPa	断后伸长率 $A_{5.65}\%$	断面收缩率 $Z\%$
23	1141.2	1187.6	8.3	14.2	859.6	949	10.0	21.8

表4 接头的室温拉伸数据(平均值)

去应力温度/°C		550	580	600	620	640	母材(时效 625℃)
强度	屈服强度 /MPa	1097.3	1090.3	1105.3	1138.6	1100.3	1141.2
	抗拉强度 /MPa	1168	1160	1179	1188.8	1140.8	1187.6
塑性	断后伸长率 $A_{5.65}\%$	9.3	9.5	6.83	8.16	6.16	8.3
	断面收缩率 $Z/\%$	13.3	13.3	6.33	12.6	12	14.2

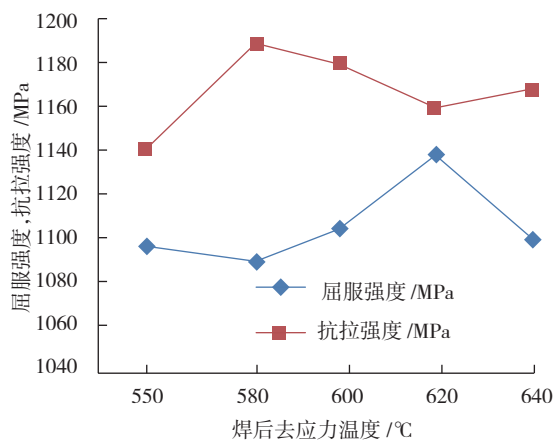


图1 室温拉伸强度

Fig.1 Tensile strength of samples in room temperature

测试。400℃ 拉伸测试数据见表 5。从图 3、图 4 可看出, 焊接接头 400℃ 时的强度比较室温下的强度下降了, 但仍能达到母材的 90%; 塑性在 580℃ 时达到最高值, 而后随着焊后热处理的温度增加而下降。在 600℃ 的焊后热处理接头的力学性能出现异常, 强度塑性下降急剧; 对接头断口进行显微分析, 断口无韧窝状是典型的脆断且有晶界微裂纹存在, 室温拉伸在 600℃ 时也出现异常。根据上述分析, 可能在 600℃ 焊后热处理是敏感温度导致晶界产生微缺陷而引起强度、塑性的急剧下降。

(3) 焊接接头不同热处理温度后室温冲击数据见表 6。从图 5 中可以看出, 随着焊后热处理温度地升高, 冲击吸收功得到明显改善, 最高可达母材的 30%; 证明时效态下 TC17 焊接后热处理温度对冲击韧性有较大地影响。

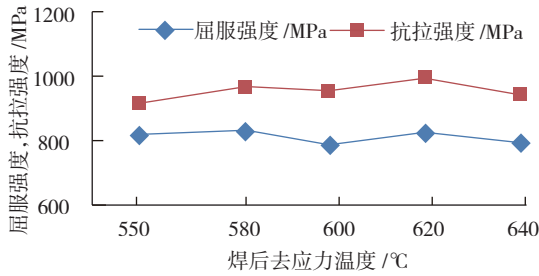


图3 400℃拉伸强度

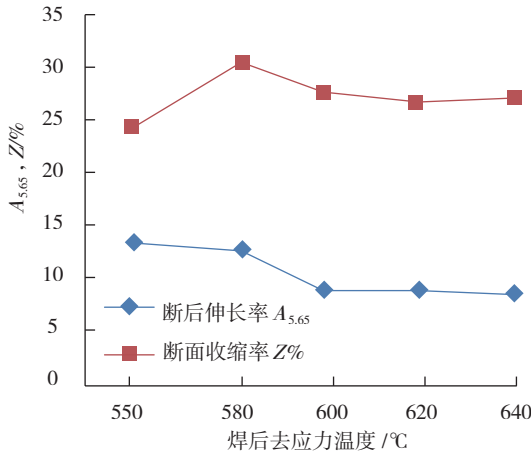


图4 400℃拉伸塑性

表5 接头的400℃拉伸测试数据 (平均值)

去应力温度 / °C		550	580	600	620	640	母材 / 时效 625 °C
强度	屈服强度 / MPa	816.6	828.3	786.6	823.3	793.3	859.6
	抗拉强度 / MPa	916.6	966.6	956.6	991.6	941.6	949
塑性	断后伸长率 $A_{5.65}$ / %	13.5	12.83	9.0	9.0	8.67	10
	断面收缩率 Z / %	24.37	30.5	27.67	26.83	27.17	21.8

表6 接头的室温冲击数据 (平均值 K_{U2} / J)

温度 / °C	550	580	600	620	640	母材
冲击吸收功	4.34	4.43	5.67	6.67	7	23

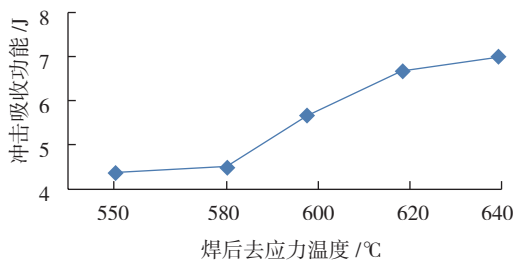


图5 室温冲击吸收功

图5 Impact ductility of samples in room temperature

6 试验结论

(1) TC17 在时效态下电子束焊接性能较好, 室温、400℃下的强度塑性与母材相当, 但冲击韧性较差; 620℃相比较其它热处理温度是较为理想的焊后热处理温度, 其强度、塑性、韧性等综合力学性能较好。

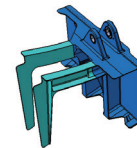
(2) TC17 在时效态下电子束焊接后进行 620℃的去应力热处理, 尽管冲击韧性较好, 也仅为母材的 30% 左右。

(3) 由于接头在焊后 600℃热处理其室温、400℃下的强度、塑性出现异常, 需进一步研究焊后 600℃热处理对其力学性能的影响原因。

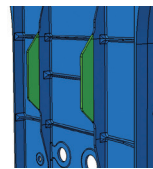
参考文献

- [1] 《中国航空材料手册》编辑委员会 中国航空材料手册第 2 版. 钛合金铜合金(第 4 卷), 2002.
- [2] 季亚娟, 张田仓, 李晓红, 等. TC11/TC17 钛合金线性摩擦焊接头组织与性能. 航空制造技术, 2001(8):66-69. (责编 古京)

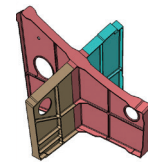
(上接第 72 页)



(a) 主承力框架上接头的连接



(b) 局部突出缘条的连接



(c) 纵横构件交叉连接

图10 拟采用线性摩擦焊的飞机结构件

图10 Linear-friction welded aircraft structure in the future

拌摩擦焊技术、电子束焊接技术等互为补充, 取长补短, 为实现飞机设计师的设计理念提供了更有效的途径。

参考文献

- [1] 张柯柯, 涂益民. 特种先进连接方法. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2008.
- [2] 汪亚卫. 国防科技名词大典(综合卷). 北京: 航空工业出版社, 2002.
- [3] 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册. 第 2 版, 第 4 卷. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [4] 王向明, 刘文斑, 等. 飞机钛合金结构设计与应用. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [5] 刘颖, 张田仓, 李晶, 等. TC4/TC17 钛合金线性摩擦焊接头性能分析. 航空材料学报, 2011(31):112-117. (责编 古京)