

芯体缺失对钛合金蜂窝夹层结构强度的影响及规律研究

Influence From Honeycomb Core Deletion on Ti-Alloy Honeycomb Sandwich Construction

中航工业北京航空制造工程研究所 静永娟 岳喜山 李智渊
西北工业大学 谢棕蕨

[摘要] 针对钛合金蜂窝壁板结构在研制中出现的典型缺陷即芯体缺失,研究芯体缺失比例对试件拉脱强度、剪切模量和剪切强度、平面压缩和侧面压缩强度的影响及规律。随着芯体缺失比例增加,试件剩余强度逐渐减小;相比拉脱强度和剪切强度,芯体缺失缺陷对试件压缩强度的影响程度较大。相比无缺陷试件,归因于应力集中对材料的强化作用,缺陷试件强度先相对增加而后降低,即当芯体缺失比例由10%、15%、20%、30%至50%依次增大时,试件剩余拉脱强度分别为原始强度的111%、80%、60%、51%和58%。当芯体缺失比例在4%~7%时,试件剩余剪切强度为原始剪切强度的99.6%。当芯体缺失比例为10%时,试件平压和侧压强度分别下降至原始强度的71%和87%。研究结果为试件损伤容限的设计积累基础数据和提供参考。

关键词: 钛合金 蜂窝夹层结构 缺陷

[ABSTRACT] The relationship between the proportion of the honeycomb core deletion flaw and the mechanical properties is researched for the Ti-alloy honeycomb sandwich construction in this paper, such as the tensile strength, the shear module and strength, the compression strength and so on. At the beginning it keeps the initial strength, and then decreases as the flaw proportion increasing from 10%, 15%, 20%, 30% and 50%. This kind of flaw decreases the compression strength much more. The flat compression strength and the side compression strength is 71% and 87% as to the original strength reprehensively. On the base of this result, the damage allowance of the honeycomb sandwich construction could be considered.

Keywords: Ti-alloy Honeycomb sandwich construction Deletion

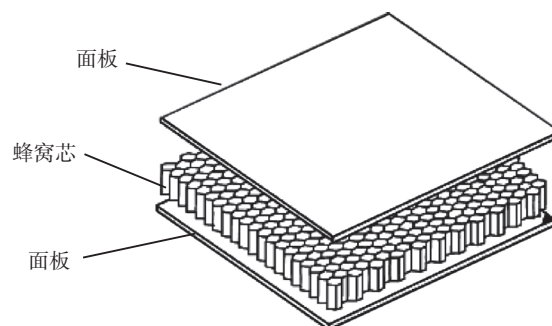
钎焊钛合金蜂窝夹层壁板结构由于具有高比强度、耐高温、隔热、消音和耐蚀等优点,在国内外航空、航天领域得到广泛应用,如在飞机机身、机翼、发动机短舱排气喷嘴等部位^[1-4]。目前关于金属蜂窝夹层壁板结构的研究主要集中在制造技术和应用方面综述及材料的钎焊

工艺研究方面等^[5-9]。然而,钎焊构件在制造和装配过程中必然会出现一些缺陷,这对构件的使用性能和装配都带来一定隐患,有必要开展典型缺陷对结构件力学性能的影响研究。

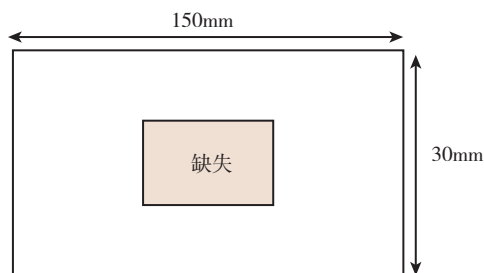
芯体缺陷包括芯体失稳变形、芯壁间脱焊、板芯间脱焊和芯体缺失缺陷等,芯体缺失为导致试件破坏最严重的缺陷类型。本文针对钛合金蜂窝壁板结构的典型缺陷即芯体缺失缺陷,研究蜂窝芯体缺失比例对钎焊钛合金蜂窝夹层结构基础力学性能的影响,为构件损伤容限的设计提供参考和积累基础数据。

1 试验方法

试验材料为TC1和TC4钛合金,钎料为Ti-37.5Zr-15Cu-10Ni(重量百分比)非晶箔带,采用优化的工艺参数,使用真空钎焊炉(真空度不低于 4×10^{-3} Pa)钎焊制造蜂窝夹层结构试件^[8]。制造芯体缺失,如图1所示。



(a) 蜂窝壁板结构示意图



(b) 缺陷试件平面示意图

图1 芯体缺失的试件示意图

Fig.1 Honeycomb core deletion sample

对芯格尺寸为 4.8mm, 壁厚为 0.05mm 的钛合金蜂窝夹层结构设置芯体缺失, 缺陷均位于试件中心部位, 其中芯体缺失比例由 0%、10%、15%、20%、30% 至 50% 变化。对含缺陷的试件进行拉脱强度、弯曲强度、剪切强度、平面压缩和侧面压缩强度测试。

2 试验结果与讨论

(1) 芯体缺失对试件拉脱强度的影响。

对芯体缺失比例变化时的钛合金蜂窝夹层结构试件首先进行拉脱试验, 通过曲线拟合实测数据的结果如图 2 所示。从图 2 上可以发现, 当芯体缺失比例由 10%、15%、20%、30% 至 50% 依次增大时, 在拉脱载荷下, 如采用原始面积作为承载面积, 试件剩余强度分别为原始强度的 100%、68%、48%、36% 和 29%。即, 当芯体缺失比例为不大于 10% 时, 芯体缺失对试件拉脱强度的影响较小, 而当芯体缺失比例大于 10% 时, 试件拉脱强度急剧下降。

图 3 所示为带芯格缺失缺陷的拉脱试件的失效断面

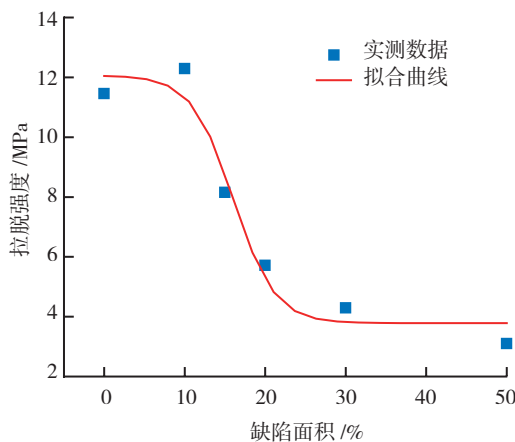


图2 芯体缺失对拉脱强度影响

Fig.2 Effect of honey comb core deletion on tensile strength

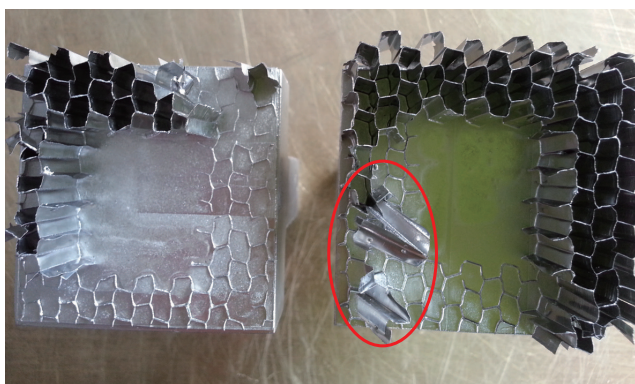


图3 拉脱试件的失效断面(中心部位为缺陷部位)

Fig.3 Failure crack of tensile sample

口。断口中心为缺陷位置, 图中圈中所示为芯体产生明显宏观塑性变形处。断裂起源于芯体部位、靠近面板处, 随着载荷逐渐增大, 局部芯体首先通过产生塑性变形缓解应力集中、继而发生芯体撕裂, 裂纹迅速扩展至整个断面, 试件此时失效。随着芯格缺失比例增加, 实际承载面积减小, 因此, 试件拉脱强度降低。如以实际承载面积对试件拉脱强度进行计算, 当芯体缺失比例由 10%、15%、20%、30% 至 50% 依次增大时, 在拉脱载荷下, 试件剩余强度分别为原始强度的 111%、80%、60%、51% 和 58%。这 2 种计算载荷的方法得出的规律是一致的, 但第二种方法更揭示试件的真正强度。在芯格缺失比例为 10% 的情况下, 相比无缺陷试件, 试件的承载

表1 芯体缺失对Ti合金蜂窝剪切模量和强度的影响

芯体缺失比例 / %	剪切模量 / MPa	剪切强度 / MPa
4.84	486.12	3.07
5.27	406.28	2.97
6.12	469.75	2.17
6.18	504.14	2.69
6.65	514.05	2.67
6.93	526.69	2.42
平均值 6.00	平均值 484.50	平均值 2.67
当芯体缺失比例在 4%~7% 时, 试件剪切强度为原始剪切强度的 99.6%		
13.61	397.79	2.13
15.49	302.16	2.23
16.32	516.71	2.15
17.66	335.95	2.56
平均值 15.77	平均值 388.15	平均值 2.27
当芯体缺失比例在 13%~18% 时, 试件剪切强度为原始剪切强度的 91.79%		
22.05	364.02	2.70
22.18	398.72	2.44
22.89	372.19	2.75
23.01	389.36	2.53
23.07	431.9	2.17
23.33	400.8	2.17
平均值 22.76	平均值 392.83	平均值 2.46
当芯体缺失比例在 22%~24% 时, 试件剪切强度为原始剪切强度的 84.7%		
0(无芯体缺失)	平均值 420.74	平均值 2.68

表2 芯体缺失比例为10%时试件的平面压缩强度

编号	平面压缩强度 / MPa	失效方式
1	10.22	蜂窝芯变形后试件失效; 原始强度为 12.8MPa, 试件剩余 强度为原始强度的 71%
2	9.36	
3	9.35	
4	9.27	
5	9.93	
6	8.59	
7	8.53	
8	8.53	
9	8.37	
10	9.39	
平均值	9.15	

表3 芯体缺失比例为10%时试件的侧压强度

编号	侧压强度 / MPa	失效方式
1	76.39	压缩过程中蜂窝芯与蒙皮炸裂 后试件失效; 原始强度为 92.49 MPa, 试件剩 余强度为原始强度的 87%
2	80.20	
3	82.06	
4	80.63	
5	79.16	
6	81.06	
7	77.17	
8	86.42	
9	77.86	
10	88.41	
平均值	80.94	

能力下降较少而缺陷面积比例不大, 归因于应力集中对材料的强化作用, 导致出现了试件剩余强度在原始强度的 111% 的情况。

以上测试结果和分析得出, 为保证试件剩余拉脱强度在原始强度的 90% 以上, 应控制芯体缺失比例在 10% 以内。

(2) 芯体缺失对试件剪切强度的影响。

以下采用第二种计算方法对剩余强度进行计算。测试结果表明, 当芯体缺失比例在 4%~7% 时, 试件剪

切强度为原始剪切强度的 99.6%, 当芯体缺失比例在 13%~18% 时, 试件剪切强度为原始剪切强度的 91.79%, 当芯体缺失比例在 22% 以上时, 试件剪切强度为原始剪切强度的 87%。为保证试件剩余剪切强度在原始强度的 90% 以上, 应控制芯体缺失比例在 7% 以内。

(3) 芯体缺失对试件压缩强度影响。

以下针对芯体缺失比例为 10% 的情况, 进行试件的平面压缩和侧面压缩试验。测试结果(表 1)表明, 当芯体缺失比例为 10% 时, 试件平压和侧压强度分别下降至原始强度的 71% 和 87%。可见, 相比拉脱强度和剪切强度, 芯体缺失对试件压缩强度的影响程度较大。

3 小结

通过研究蜂窝芯体缺失比例对钎焊钛合金蜂窝夹层结构基础力学性能的影响, 得出以下结论:

(1) 随着芯体缺失比例增加, 试件剩余强度逐渐减小; 相比拉脱强度和剪切强度, 芯体缺失缺陷对试件压缩强度的影响程度较大。

(2) 当芯体缺失比例由 10%、15%、20%、30% 至 50% 依次增大时, 试件剩余拉脱强度分别为原始强度的 111%、80%、60%、51% 和 58%。当芯体缺失比例在 4%~7% 时, 试件剩余剪切强度为原始剪切强度的 99.6%。即, 芯体缺失缺陷比例分数控制在 7% 以内时, 缺陷对试件剪切强度和拉脱强度基本无影响。

(3) 当芯体缺失比例为 10% 时, 试件平压和侧压强度分别下降至原始强度的 71% 和 87%。

参考文献

- [1] 符定梅, 韩静涛, 刘靖, 等. 钢质蜂窝夹芯板的研究进展. 航空精密制造技术, 2004(3):14-15.
- [2] 张敏, 于九明. 金属夹芯复合板及其制备技术的发展. 焊接技术, 2003, 3(20):21-23.
- [3] 岳喜山, 欧阳小龙, 侯金保, 等. 钛合金蜂窝夹层结构钎焊工艺. 航空制造技术, 2009(10):96-98.
- [4] Woodward J R. Titanium honeycomb sandwich fabrication process. Fifth National SAMPLE Technical Conference, Kiamesha lake, New York, 1973: 432-437.
- [5] Huang X, Richards N L. Activated Diffusion Brazing Technology for Manufacture of Titanium Honeycomb Structures -A Statistical Study. Welding Research, 2004(3): 73-81.
- [6] 张克华, 董定元. 钛及钛合金的焊接. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [7] 常辉, 罗国珍. 钛合金用钎料的发展评述. 稀有金属材料与工程, 1995;24(1):15-19.
- [8] 静永娟, 李晓红, 岳喜山. TC1 钛合金蜂窝夹层结构的钎焊工艺研究与分析. 航空制造技术, 2012(13):137-139.
- [9] 赵剑, 谢宗蕤, 安学峰, 等. 蜂窝芯体材料面外等效弹性模量预测与分析. 航空材料学报, 2008, 28(4):94-99. (责编 小城)