

铝锂合金同异质自冲铆接头静力学性能研究

张先炼 何晓聪 程强 卢毅

(昆明理工大学机电工程学院,昆明 650500)

文 摘 以 1420 铝锂合金 (AL1420) 为载体制备其同质及其与 H62 铜合金 (H62)、Q215 镀锌钢 (Q215) 和 TA1 工业纯钛 (TA1) 异质单搭自冲铆接头。通过静力学试验分析各种接头的静失效载荷及能量吸收性能;就其失效模式分析推断其宏观失效机理。结果表明:TA1-AL1420 接头静失效载荷最高,Q215-AL1420 接头能量吸收性能最强;除 TA1-AL1420 接头外,其余各组接头失效位移呈现出的大小规律与能量吸收值的高低规律一致。当上下板材屈服强度相差不大时,接头的失效模式均为下板与铆钉分离;相差较大时,主要以屈服强度较低板断裂失效。

关键词 自冲铆,铝锂合金,静失效载荷,能量吸收

中图分类号:TH131.1

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2016.02.017

Static Properties of Self-Piercing Riveted Joints in Similar or Dissimilar Sheets About Aluminum-Lithium Alloy

ZHANG Xianlian HE Xiacong CHENG Qiang LU Yi

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500)

Abstract 1420 aluminum-lithium alloy sheets (AL1420) with itself, H62 copper alloy sheets (H62), Q215 galvanized steel sheets (Q215) and TA1 industrial pure titanium sheets (TA1) were applied to fabricated different types of single-lap self-piercing riveted joints. The static failure loads and energy absorption properties of the joints were analyzed using the static tests, and the macroscopic failure mechanisms were discussed and inferred based on the failure modes of the joints. The results show that: TA1-AL1420 joints have the highest static failure loads, and Q215-AL1420 joints possess the optimum energy absorption properties; except for TA1-AL1420 joints, the laws of the failure displacements are consistent to those of the energy absorption values for the other type joints. When the gap of the yield strengths between the upper and lower sheets was small, the failure modes of the joints were the lower sheets separated with the rivet; when it was large, the joints mainly failed due to the sheets with lower yield strength fractured.

Key words Self-piercing riveting, Aluminum-lithium alloy, Static failure strength, Energy absorption

0 引言

近年来,对结构轻量化的需求日益提高,铝锂合金等新轻型材料逐渐被应用于汽车、船舶及航空等工业中。铝锂合金是高比强度及比模量的合金;采用铝锂合金替代传统结构材料,可使构件结构质量减轻 15%,刚度提高 15%~20%^[1]。且较先进复合材料而言,铝锂合金有明显的价格优势。但是采用传统电

阻电焊等技术很难甚至不能对其实现连接;而搅拌摩擦焊、激光焊接、自冲铆接、压印连接及结构粘接等薄板材料连接新技术可以对其实现有效连接^[2-3]。作为其中之一的自冲铆接是一种快速机械冷连接技术,其连接主要依靠铆接过程中上下板材及铆钉的塑性变形和回弹所形成的机械内锁来实现^[4]。

目前国内外学者已经对自冲铆接技术进行了一

收稿日期:2015-09-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51565023;51565022);云南省教育厅科学研究基金重大专项项目(ZD201504)

作者简介:张先炼,1992年出生,硕士研究生,主要研究方向为薄板材料连接新技术。E-mail:zxlian4gd@163.com

通讯作者:何晓聪,教授,博导,主要从事薄板材料连接新技术研究。E-mail:xiaocong_he@126.com

系列研究。FU 等^[5]研究了铆接参数变化对铝合金自冲铆接头机械性能的影响及其疲劳失效机理,发现疲劳循环至总数的 75% 时,接头强度逐渐降低,而至 90% 时强度突然下降,此外还指出刺穿力在一定范围内变化会影响接头静失效载荷,而对疲劳性能几乎没有影响。ATZENI 等^[6]通过试验和数值模拟的方法分析了不同铆接压力对接头成形性的影响。王医峰等^[7-8]利用自冲铆连接系统、材料试验机和电子扫描显微镜等设备研究了 TA1 钛合金、8090 铝锂合金及 5052 铝合金自冲铆接接头的力学性能和静态失效机理。LI 等^[9-10]研究了铆钉到板材边缘距离对铝合金自冲铆接头机械性能的影响;发现在板宽一定的情况下,边缘距离在一定范围内增加,接头的剪切和剥离强度也随之增加,且采用 11.5 mm 的边缘距离可获得最优机械性能。

然而自冲铆领域对铝锂合金自冲铆接头的研究还相对较少。本文以 1420 铝锂合金为载体制备其同质及其与 H62 铜合金、Q215 镀锌钢和 TA1 工业纯钛异质单搭自冲铆接头;以静力学试验为基础分析接头静失效载荷、能量吸收性能及宏观失效机理。以期为后续对铝锂合金自冲铆接头的研究及铝锂合金应用于工程实际提供相关数据支撑。

1 实验过程

1.1 自冲铆接试验

被铆接板材为 1420 铝锂合金板 (AL1420)、铜合金板 (H62)、镀锌钢板 (Q215) 和工业纯钛板 (TA1),尺寸均为 110 mm×20 mm×1.5 mm,其力学性能参数如表 1 所示。

表 1 板材力学性能参数

Tab. 1 Mechanical properties of sheet materials

材料	弹性模量 /GPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%
AL1420	69	364.6	294.9	14.2
H62	110	424.5	340.3	30
Q215	191	365.6	337.8	32.7
TA1	98.5	402.5	396.8	33

铆接试验在德国 Böllhoff 公司生产的自冲铆接设备 [RIVSET VARIO-FC (MTF)] 上进行。本研究采用接头剖面直观检测法^[11]来评价铝锂合金自冲铆接头的成形质量,接头剖面示意图及其评价标准如图 1 所示。通过多次对比试验获得最优剖面铆接参数,并以之制备 AL1420-AL1420 (AA)、H62-AL1420 (HA)、AL1420-H62 (AH)、Q215-AL1420 (QA)、AL1420-Q215 (AQ)、TA1-AL1420 (TA) 和 AL1420-TA1 (AT) 单搭接头各 10 个。

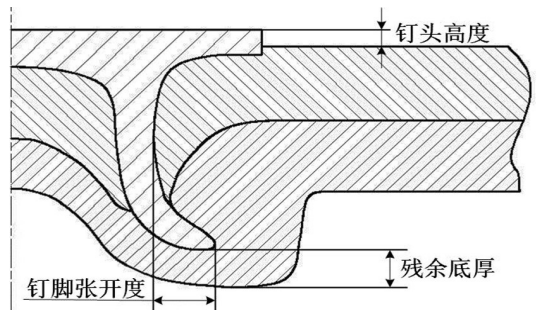


图 1 接头剖面示意图

Fig. 1 Cross-section model of the SPR joints

1.2 静力学试验

静力学试验在美国 MTS 公司生产的 Landmark100 电液伺服材料试验机上进行。具体方法如下:在试件两端分别夹持尺寸为 25 mm×20 mm×1.5 mm 的垫片,以减小试件受力不对中附加扭矩导致的影响;拉伸速率设定为 5 mm/min,失效判据为 99%,对各组接头分别进行 10 次重复拉伸—剪切试验。

2 结果及分析

2.1 静失效载荷及能量吸收

经过静力学试验,获得各组接头的载荷—位移曲线,以便比较从中各选取一条典型载荷—位移曲线绘制图 2。

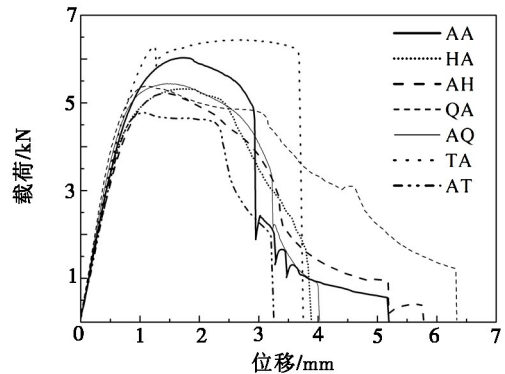


图 2 静力学试验载荷—位移曲线

Fig. 2 Load-displacement curves of static tests

对于试验结果,依据 GB/T 4883—2008 选用格拉布斯 (Grubbs) 检验法剔除离群值。经检验,所有静失效载荷数据中无离群值,数据有效;而失效位移数据中,AQ 接头的第 7 个数据、TA 接头的第 3 和第 4 个数据以及 AT 接头的第 3 个数据均为离群值,故将其剔除。

以其余有效数据计算静失效载荷均值和能量吸收均值并绘制图 3。可见,AA 接头的静失效载荷为 6.02 kN,明显低于 TA 接头,但也明显高于其余 5 组接头;其能量吸收值为 16.8 J。TA 接头的静失效载荷为 6.434 kN,是 7 组接头中的最高值,其能量吸收值为 17.5 J,仅次于 QA 接头;而 AT 接头的静失效载荷为 4.818 kN,明显低于其余接头,同时 AT 接头的

能量吸收值也最低,仅有 12.3 J。对于 HA、AH、QA 及 AQ 接头,其静失效载荷相差不大,分别为 5.304、5.229、5.386 和 5.448 kN;但就能量吸收值而言,QA 接头(21.6 J)最高,AH 接头(16.8 J)次之,AQ 接头(15.3 J)稍高于 HA 接头(15.1 J),QA 接头明显优于其余接头。

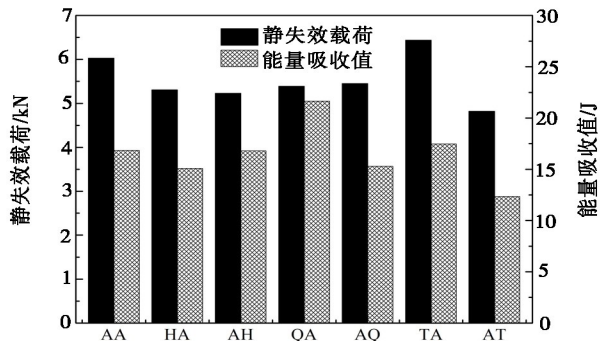


图3 接头静失效载荷及能量吸收
Fig. 3 Static failure loads and energy absorptions of different joints

结合图2可发现,除TA接头外,其余各组接头失效位移呈现出大小规律与能量吸收值的高低规律一致;因为能量吸收值同时受载荷与失效位移的影响,TA接头载荷上的优势弥补了其失效位移的劣势。接头能量吸收值的大小直接反映接头缓冲吸震性能的优劣,结合以上分析便可依据工程实际需求选取相应接头。综上所述可知,就静失效载荷与能量吸收而言,对于上下板屈服强度相差较大的接头,以屈服强度较低板作为下板的接头综合性能明显优于以其作为上板的接头;而对于上下板屈服强度差距相对较小的接头(如HA、AH、QA及AQ接头),并未呈现出一定的规律性;且由AA接头可以推断,板材的延展性对接头性能存在一定的影响。

2.2 失效模式

各组接头的失效模式见图4。总体来讲,除TA和AT接头外,其余5组接头的失效模式均为下板与铆钉分离;然而由于板材性能的差距以及搭接方式的不同,该5组接头的失效模式也存在一定的差异。

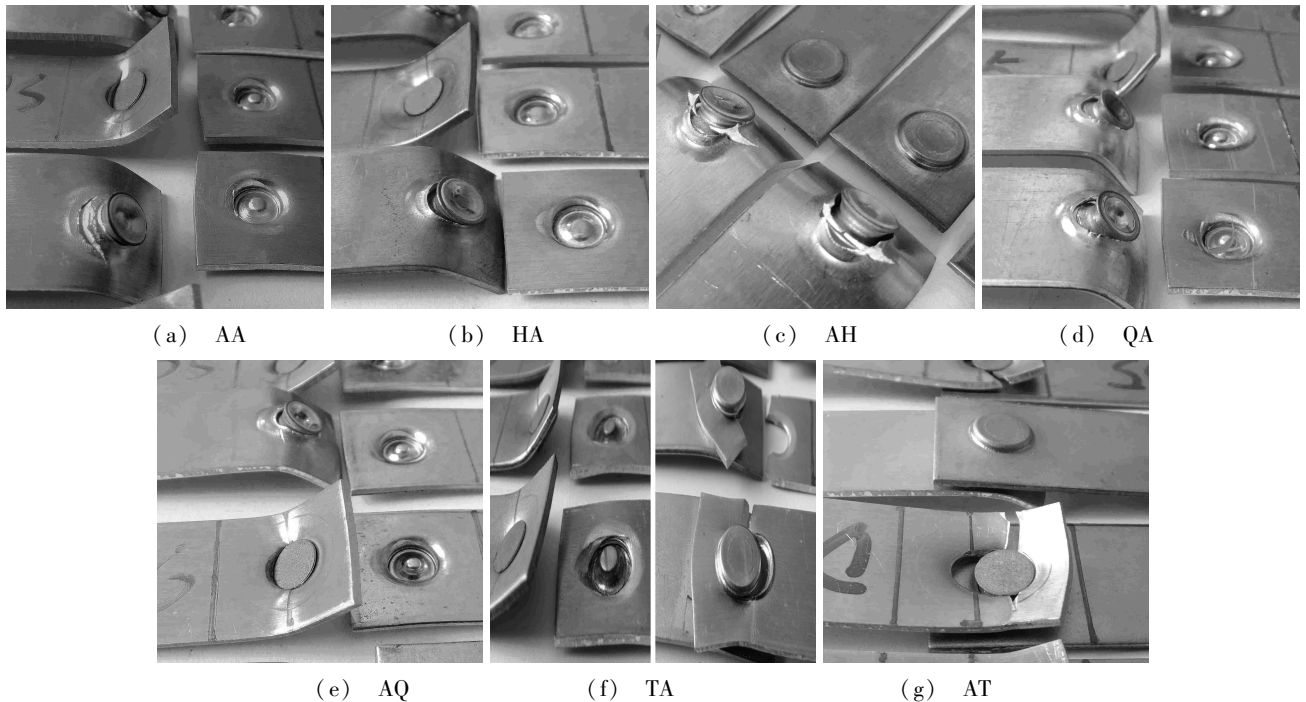


图4 各组接头失效模式

Fig. 4 Failure modes of different joints

图4中AA与AH接头上板靠近铆钉附近均出现撕裂;这是因为AL1420延展性较差,在拉伸失效过程中,板材通过塑性变形无法承受持续增加的载荷,故出现板材撕裂。而对于同样以AL1420作为上板的AQ接头,由于下板Q215延展性较好且表面镀锌,降低了铆钉与板间的摩擦力,拉伸失效过程中,下板内锁区域的损坏变形相对于AA和AH接头更为严重。HA接头由于上板延展性较好且材质较硬,失效过程中并没有出现严重的损伤;然而QA接头因上

板延展性较好且材质偏软,上板铆钉孔区域出现了严重的变形。对于TA和AT接头,多数试样因AL1420断裂而失效;仅有3个TA接头试样由于下板与铆钉分离而失效,且该3个接头下板内锁区域变形均非常严重(如图4f左图);这是由TA1强度远高于AL1420且其材质硬度很高所致。结合表1可发现,当上下板材屈服强度相差不大时,接头的失效模式均为下板与铆钉分离;而相差较大时,接头的失效模式主要为屈服强度较低的板断裂失效。

3 结论

(1)TA 接头的静失效载荷最高,AA 接头次之,AT 接头最低,其余 4 组试样差距不大;对于能量吸收值,QA 接头最高,TA 接头次之,AA 与 AH 接头优于 AQ 和 HA 接头,AT 接头明显低于其余 6 组接头。

(2)除 TA 接头外,其余各组接头失效位移呈现出的大小规律与能量吸收值的高低规律一致;对于上下板屈服强度相差较大的接头,以屈服强度较低板作为下板的接头综合性能明显优于以其作为上板的接头;由 AA 接头可以推断,板材的延展性对接头性能存在一定的影响。

(3)多数 TA 和 AT 接头试样因 AL1420 断裂而失效,仅有 3 个 TA 接头试样由于下板与铆钉分离而失效;其余 5 组接头的失效模式均为下板与铆钉分离。当上下板材屈服强度相差不大时,接头的失效模式均为下板与铆钉分离;而相差较大时,接头主要以屈服强度较低板断裂失效

参考文献

[1] 王浩军,史春玲,贾志强,等. 铝锂合金的发展及研究现状[J]. 材料热处理技术, 2012, 14:82-85.
[2] HE XIAOCONG, GU FENGSHOU, BALL ANDREW. A review of numerical analysis of friction stir welding [J]. Progress in Materials Science, 2014, 65:1-66.
[3] HE XIAOCONG. Finite element analysis of laser weld-

ing: a state of art review [J]. Materials and Manufacturing Processes, 2012, 27(12):1354-1365.

[4] HE XIAOCONG, PEARSON IAN T, YOUNG K. Self-pierce riveting for sheet materials: state of the art[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 199(1/3): 27-36.

[5] FU MAOFENG, MALLICK P K. Fatigue of self-piercing riveted joints in aluminum alloy 6111 [J]. International Journal of Fatigue, 2003, 25:183-189.

[6] ATZENI E, IPPOLITO R, SETTINERI L. Experimental and numerical appraisal of self-piercing riveting [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2009, 58(1):17-20.

[7] 王医峰,何晓聪,张先炼,等. 几种金属材料自冲铆接头的静态失效机理[J]. 宇航材料工艺, 2015, 45(3):86-90.

[8] 卢毅,何晓聪,王医峰,等. 钛合金异种材料单搭自冲铆接头力学性能[J]. 宇航材料工艺, 2015, 45(3):76-80.

[9] LI DEZHI, HAN LI, THORNTON MARTIN, et al. Influence of rivet to sheet edge distance on fatigue strength of self-piercing riveted aluminium joints [J]. Materials Science & Engineering A, 2012, 558:242-252.

[10] LI DEZHI, HAN LI, THORNTON MARTIN, et al. Influence of edge distance on quality and static behaviour of self-piercing riveted aluminium joints [J]. Materials & Design, 2012, 34:22-31.

[11] 何晓聪,何家宁,柯建宏,等. 自冲铆接头的质量评价及强度可靠性预测[J]. 湖南大学学报, 2010(12):1-4.

(上接第 70 页)

3 结论

顶杆法测试玻璃纤维增强酚醛基复合材料的线胀系数,测试前应对试样进行预处理,选择合适的升温速率,测得更能够表征复合材料膨胀性能的升温曲线。

(1)与标准试样及金属材料相比,复合材料因其成分和制作工艺复杂,导致其制品均匀性较差,质量不易控制,即使对于同种同批次的材料,试样在进行多次试验中结果会存在一定的离散性。

(2)试验中的不同升温速率(1~4℃/min)并未对实验结果产生明显影响,0.5℃/min 实验结果偏小。GJB332A—2004 中规定非金属材料升温速率为 1~2℃/min,根据试验结果,可以适当增加升温速率,从而减少时间成本。但需要注意在试验操作中,测温热电偶虽然靠近或嵌入试样,但由于一般情况下试样较长,试样上的温度难以均匀,当升温速率较快时更为突出,不均匀的加热会使试样产生热应力,影响试验结果,严重时会使试样弯曲或者开裂失效,因此实验升温速率应控制在适当范围内。

(3)复合材料的膨胀过程是受热膨胀和挥发收缩的结合,不同的热处理会对材料的膨胀性能产生很

大影响。试验前应对试样进行相应的预处理。处理温度高于试样最终的测试温度,低于样品固化温度。同时,复合材料对于环境湿度较为敏感,因此在保存复合材料的时候应注意控制环境湿度。

参考文献

[1] 郭正. 宇航复合材料[M]. 北京: 宇航出版社, 1999
[2] 黄发荣,周燕. 先进树脂基复合材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008
[3] Barnes J A. Thermal expansion behaviour of thermoplastic composites [J]. Journal of Materials Science, 1993, 28 (1993): 4974-4982
[4] Sengupta L C, Spurgeon W A. Thermal expansion measurements of polymer matrix composites and syntactics [R]. U. S. Army Materials Technology Laboratory, 1992
[5] 杨阳,徐辉,邓建兵. 顶杆法膨胀仪的研制及不确定度分析[J]. 宇航材料工艺, 2014, 44(6): 68-70
[6] 《膨胀合金手册》编写组. 膨胀合金手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979
[7] Mottram J T, Geary B, Taylor R. Thermal expansion of phenolic resin and phenolic-fibre composites [J]. Journal of Materials Science, 1992, 27: 5015-5026