

8090 铝锂合金自冲铆-粘接接头的力学性能

程 强 何晓聪 张先炼 邢保英 王玉奇

(昆明理工大学机电工程学院,昆明 650500)

文 摘 为探究自冲铆接技术与粘接技术的结合性能,本文对 8090 铝锂合金及 5052 铝合金两种材料的同种组合分别使用 3M-DP100PLUS 和 3M-DP100 两种胶黏剂进行粘接后再采用自冲铆技术铆接的组合连接方式制备单搭自冲铆-粘接接头,并通过静力学拉伸-剪切试验测试接头的强度。对结果分析表明:胶黏剂的黏度对自冲铆接头的成形质量和强度影响很大,对接头的能量吸收的影响很小。选用合适的胶黏剂是可以更好地实现两种连接技术结合的。

关键词 8090 铝锂合金,5052 铝合金,自冲铆,粘接,能量吸收

中图分类号:TH131.1

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2016.02.010

Properties of SPR-Adhesive Bonded Joints About 8090 Aluminum-Lithium Alloys

CHENG Qiang HE Xiacong ZHANG Xianlian XING Baoying WANG Yuqi

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

Abstract In order to study the properties of combination between self-piercing riveting (SPR) and adhesive techniques. In this paper, the SPR-adhesive bonded joints of 8090 aluminum-lithium Alloys and 5052 aluminum alloys were made by SPR and adhesive techniques. 3MDP100PLUS and 3MDP100 were used. The strength of joints were tested under tension-shear loading. The results show that the forming quality and strength of joints have a strong relationship with the viscosity of adhesive. But the using of adhesive does not improve the energy absorption of joints. Therefore, the using of suitable adhesive can promote combination of these two.

Key words 8090 aluminum-lithium alloys, 5052 aluminum alloys, Self-piercing riveting, Adhesive, Energy absorption

0 引言

随着各种新轻型材料的发展^[1],其连接方式的研究与应用已成为关键。自冲铆接技术的研究在国外已获得较大发展,其对传统焊接难以连接的材料有着绝对连接优势^[2-3]。自冲铆接技术不仅解决了传统铆接因需预钻孔而难以实现自动化生产的问题,并因其能耗低、污染小脱颖而出^[4]。

国内外学者针对自冲铆接技术做了相关研究。何晓聪等^[5-7]对自冲铆的发展现状进行了分析,并运用有限元方法对自冲铆接进行数值模拟和分析。

E. ATZENI 等人^[8]对 AL6082-T4 板材的自冲铆接过程进行了试验研究,并采用有限元分析方法预测了接头的变形和失效机制。SUN 等人^[9]研究了同种材料和异质材料组合自冲铆接和点焊接头动态强度特性,并对两种连接方式特点进行了分析对比。HAN 等人^[10]研究了不同表面涂层和镀层对 NG5754 铝合金、AA5182 铝合金和高强度低合金钢的自冲铆接头的成形质量和强度的影响,并分析了静载条件下接头的失效机理。目前针对多种连接技术相结合的研究尚未成熟,尤其是自冲铆与粘接相结合的技术对

收稿日期:2015-11-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51565023)

作者简介:程强,1989 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:qiangcheng1214@163.com

通讯作者:何晓聪,1955 年出生,教授,博士生导师,主要从事薄板材料连接新技术研究。E-mail: xiaocong_he@126.com

8090 铝锂合金连接的研究相对较少。

本文将通过对 8090 铝锂合金和 5052 铝合金两种板材的三种单搭自冲铆-粘接接头来研究胶黏剂的黏度对接头成形质量、强度和失效机理的影响,分析胶黏剂在接头中所起作用。以期为后续多种连接技术间相结合的研究提供参考。

1 试验

1.1 试件设备

对试件的铆接采用 Bollhoff 公司生产的 RIVSET VARIO-FC(MTF)型自冲铆接系统完成,试件铆接后需要在恒温系统内保温一定时间,试件的拉伸-剪切试验在 MTS landmark100 电液伺服材料试验机上进行。

1.2 试件制备

所用板材为 8090 铝锂合金(8090)和 5052 铝合金(5052)。板材尺寸为 110 mm×20 mm×1.5 mm,板材的力学性能如表 1 所示。试验制备单搭自冲铆-粘接接头,所用胶黏剂为 3M-DP100PLUS(1 号胶黏剂)和 3M-DP100(2 号胶黏剂),其皆属环氧树脂胶黏剂。试件制备过程如下:

(1)用酒精对板材进行脱脂处理,并用砂纸对板材搭接区域进行去氧化层及增大表面粗糙度的处理;

(2)采用环氧树脂胶黏剂将板材粘接,接头搭接长度为 20 mm,完成粘接后再采用自冲铆接设备完成对试件的铆接;

(3)将试件置于恒温箱内保温 24 h 后完成制备。本次试验制备三组接头,每组 9 个试件,所制备试件组合及编号如表 2 所示。

表 1 8090 和 5052 力学性能

Tab.1 Mechanical properties of 8090 and 5052

材料	弹性模量 /GPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%
8090	70.7	363.6	340.2	6.4
5052	69.5	229.9	211.5	12

表 2 试件组合

Tab.2 Combination of the specimens

编号	上板材料	下板材料	胶黏剂
AS	8090	8090	1 号胶黏剂
BS	8090	8090	2 号胶黏剂
BA	5052	5052	2 号胶黏剂

采用直观观测法分析自冲铆-粘接接头截面,选取接头成形质量最优的铆接工艺参数进行批量铆接。批量铆接最优工艺参数如表 3 所示。

表 3 铆接最优工艺参数

Tab.3 Optimum parameters for SPR

接头组	预压紧强度/MPa	刺穿强度/MPa	整形强度/MPa	行程/mm	下模	铆钉/mm
AS	5	17	14	132.40	19 号凸模	5
BS	5	17	14	132.40	19 号凸模	5
BA	5	13	15	132.46	11 号平底模	5

2 结果与分析

2.1 接头成形质量分析

图 1 所示为三组接头的截面,接头成形质量的评价指标有钉脚张开度、钉头高度和残余底厚等^[11]。AS 组的钉脚张开度为 0.7 mm,钉头高度为-0.15 mm,残余底厚为 0.62 mm,BS 组钉脚张开度为 0.55 mm,钉头高度为-0.11 mm,残余底厚为 0.51 mm。分析其不同原因可知,AS 组胶黏剂使用的是 3M-DP100PLUS 型,而 BS 组的是 3M-DP100 型,前者胶黏剂的室温下黏度约为 8.5 Pa·s,而后者同等条件下的黏度约为 13 Pa·s。就胶层而言,黏度越大则固化前相邻流体胶层间的相对流动产生的摩擦阻力就越大。当铆钉以相同的铆接力刺入上下板时黏度小的胶层更具有润滑作用,造成铆钉与基板之间的摩擦因数小,从而使得 AS 组的铆钉更容易刺入基板,其钉脚

张开度更大钉头高度更小。BA 组钉脚张开度为 0.54 mm,钉头高度为 0.03 mm,残余底厚为 0.16 mm。与 BS 组比较可知,BA 组钉头高度偏高,钉脚张开度偏小,且其残余底厚过小几乎刺穿下板。BS 组使用的是 19 号凸模,该模具深度为 1.59 mm,且模腔有凸台,有利于铆钉的大变形。而 BA 组所使用的模具为 11 号平模,其深度为 1.25 mm。虽 BA 组的 5052 塑形比 BS 组的 8090 好,但 BA 组下模深度小,限制板材的流动和铆钉的大变形。另外,BA 组的刺穿压力为 13 MPa 小于 BS 组的 14 MPa,这也影响 BA 组铆钉的大变形,且使其钉头高度较 BS 组大。可见胶层黏度、铆接力和模具尺寸对接头的成形质量影响较大,若要实现自冲铆接和粘接的理想结合,对胶黏剂的选择很重要。

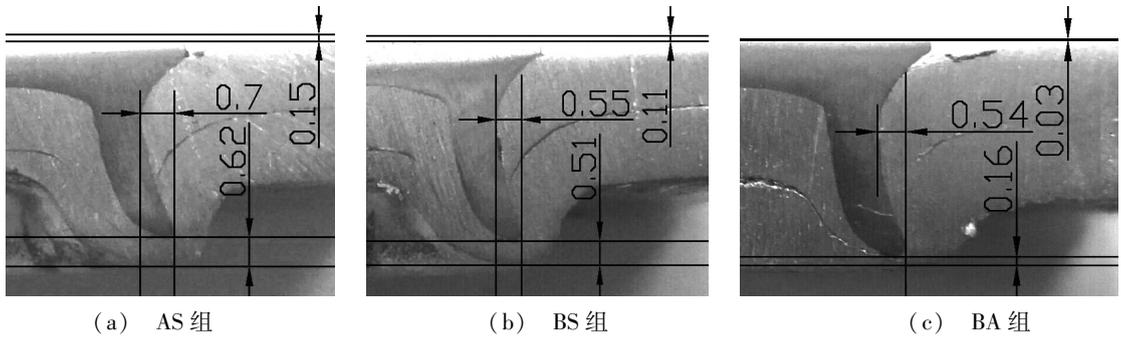


图1 接头截面

Fig. 1 Cross-section of joints

2.2 拉伸—剪切失效形式分析

效形式皆为铆钉从下板拉脱,且基板与胶层的粘接界面上的次价键被破坏出现界面破坏。

图2所示为三组接头的失效形式,三组接头的失

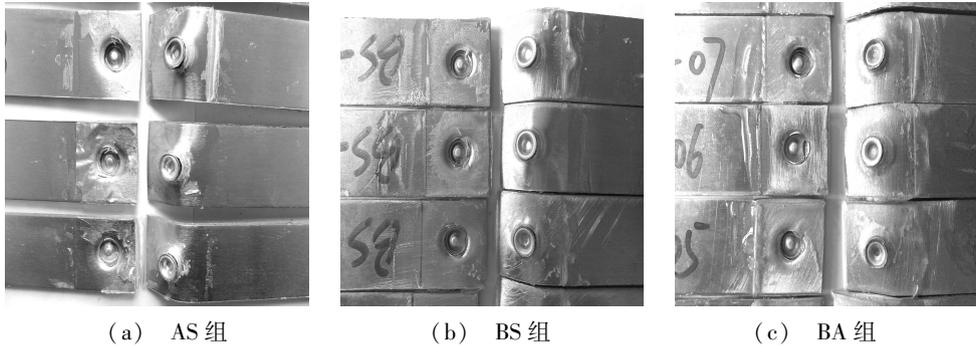


图2 接头失效形式

Fig. 2 Failure mode of joints

2.3 拉伸—剪切强度分析

在拉伸—剪切试验所得三组接头的载荷—位移曲线中选取最大载荷与该组最大载荷均值接近的三条载荷—位移曲线,如图3所示。BS组与AS组的载荷—位移曲线很相似,可见胶黏剂的不同对接头能量吸收能力的影响不大。

采用MATLAB R2014b中的lillietest正态分布拟合优度测试函数来检验由拉伸—剪切试验得到的最大载荷与最大位移量是否服从正态分布;再使用normfit正态分布参数估计函数对其进行检验。经检验,数据有效。利用IBM SPSS Statistics 19数据分析软件得到最大载荷和最大位移量的统计量见表4。

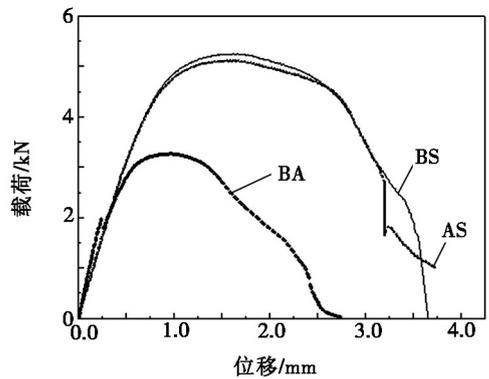


图3 载荷—位移曲线

Fig. 3 Curves of load-displacement

表4 最大载荷及最大位移量统计量

Tab. 4 Statistic of maximum loads and maximum displacements

接头组	最大载荷				最大位移量			
	均值/N	标准差/N	变差系数	置信区间/N	均值/mm	标准差/mm	变差系数	置信区间/mm
AS	5158.8	170.07	0.0330	[5028.0,5289.5]	3.76	0.39	0.1037	[3.46,4.06]
BS	5232.3	80.92	0.0155	[5170.1,5294.5]	3.74	0.16	0.0428	[3.62,3.86]
BA	3453.3	83.60	0.0242	[3389.0,3517.5]	3.59	0.48	0.1337	[3.22,3.96]

接头强度主要受机械内锁强度、基板强度和基板之间摩擦力的影响,其中影响接头机械内锁强度的因素有铆接力、接触面积、摩擦因数和基板强度等。由表4知,AS组最大载荷均值为5158.8N,BS组最大

载荷均值为5232.3N。两组接头机械内锁失效形式皆为铆钉从下板拉脱,AS组的钉脚张开度较大决定了该组铆钉与基板之间的接触面积更大,但AS组铆接时所用1号胶黏剂的黏度小于BS组2号胶黏剂

的,从而使 AS 组在铆钉大变形后铆钉与基板之间的摩擦因数下降更大。AS 组与 BS 组的结果表明:在同种基板和相同铆接力的情况下,单搭自冲铆-粘接试件的摩擦因数变化对摩擦力的影响超过了内锁接触面积变化的影响;另外,即使 2 号胶黏剂的重叠剪切强度 10.34 MPa 小于 1 号胶黏剂的重叠剪切强度 24.14 MPa,但基板之间的胶层存在同样也降低了基板间的摩擦因数。综合以上两种原因,从而导致 BS 组接头的强度大于 AS 组。对 AS 组和 BS 组的分析表明了不同胶黏剂对单搭自冲铆-粘接接头强度的影响,而对 BS 组和 BA 组的分析则可以探究不同板材的铆接工艺对单搭自冲铆-粘接接头强度的影响。BA 组的最大载荷均值 3 453.3 N 约为 BS 组的 66%,因 BA 组的板材为 5052,其抗拉强度小于 BS 组板材的,且 BA 组的钉脚张开度小于 BS 组的,从而使 BA 组铆钉脚与基板之间的接触面积更小,这降低了 BA 组接头的内锁强度,故而 BS 组最大载荷均值大于 BA 组的。对强度的分析可见自冲铆接和粘接的结合并不是两种连接方式效果的简单叠加。

2.4 能量吸收

能量吸收值的大小可以综合评价接头的性能,其值越大,表明接头受载时所能吸收载荷的能力越强。AS 组的能量吸收值最大为 14.13 J,BS 组的能量吸收值次之为 14.07 J,BA 组的最小为 9.23 J。可见,胶黏剂的不同对接头的能量吸收值的影响不大,而基板材料的不同对其影响更大。

3 结论

本文研究了两种胶黏剂、两种板材和两种模具对自冲铆接头的成形质量、强度、失效机理和能量吸收的影响,并对自冲铆与粘接技术的结合作了相关分析。基于本试验的研究结果,得到如下结论。

(1)胶黏剂的黏度不同对接头成形质量的影响很大,胶黏剂黏度越小,其对铆钉成形时的润滑作用越明显,胶黏剂的存在减小了铆钉脚与基板之间的摩擦因数,促进了铆钉的大变形。另外,模具的尺寸不同对单搭自冲铆-粘接接头的成形质量影响也很大。

(2)相同板材和铆接力条件下,影响机械内锁摩擦力的因素中,不同黏度的胶黏剂对接头机械内锁摩擦因数降低作用的影响大于了其对于铆钉脚与基板间接触面积提高作用的影响,从而降低了内锁的摩擦

力,并使接头的强度降低。

(3)三组接头的失效形式皆为铆钉从下板拉脱,且基板与胶层的粘接界面上的次价键被破坏出现界面破坏。

(4)胶黏剂的使用对接头的能量吸收的影响要小于基板材料的不同带来的影响。

参考文献

- [1] 陈兴茂,黄志超,康少伟. 自冲铆疲劳强度研究概况[J]. 华东交通大学学报, 2008, 25(3): 106-109.
- [2] 卢毅,何晓聪,王医锋,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.
- [3] PICKIN C G, YOUNG K, TUERSLEY I. Joining of lightweight sandwich sheets to aluminum using self-pierce riveting [J]. Materials and Design, 2007, 28(8): 2361-2365.
- [4] 卢毅,何晓聪,王医锋,等. 局部热处理对钢-钛自冲铆接头力学性能的影响[J]. 材料导报, 2015, 29(5): 120-123.
- [5] HE X, GU F, BALL A. Recent development in finite element analysis of self-piercing riveted joints[J]. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2012, 58(5/8): 643.
- [6] HE XIAOCONG, XING BAOYING, ZENG KAI, et al. Numerical and experimental investigations of self-piercing riveting [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 69(1-4):715-721.
- [7] HE XIAOCONG, IAN PEARSON, KEN YOUNG. Finite element analysis of self-pierce riveted joints[J]. Key Engineering Materials, 2007, 344:663-668. DOI: 10.4028/0-87849-437-5. 663.
- [8] ATZENI E, IPPOLITO R, SETTINERI L. Experimental and numerical appraisal of self-piercing riveting[J]. Manufacturing Technology, 2009, 58: 17-20.
- [9] SUN X, STEPHENS E V, KHALEEL M. Fatigue behaviors of self-piercing rivets joining similar and dissimilar sheet metals [J]. International Journal of Fatigue, 2007, 29 (2):370 - 386.
- [10] HAN L, CHRYSANTHOU A. Evaluation of quality and behaviour of self-piercing riveted aluminium to high strength low alloy sheets with different surface coatings[J]. Materials and Design, 2007, 2008(29): 458-468.
- [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, 37(12): 1.