

铝锂合金与钛合金压印接头的力学性能

余童欣 何晓聪 高爱凤 邢保英 张越

(昆明理工大学机电学院,昆明 650500)

文 摘 采用试验方法研究了铝锂合金(1420)和钛合金(TA1)同种压印接头及这两种材料组合的异种压印接头的力学性能,以接头的承载以及缓冲抗震能力作为评价接头质量的两个主要标准,经实验得到每组接头的载荷-位移曲线和能量吸收直方图间接得出压印接头的承载以及缓冲抗震能力。由实验结果可知,表征接头的承载以及缓冲抗震能力的载荷-位移曲线和能量吸收直方图均表明 TA1-1420 接头的力学性能相较于其他接头好,且与 TA1-TA1 接头相比,作为下板的 1420 密度较小,TA1-1420 组的压印接头质量更轻。TA1-1420 接头更适用于对于承载和缓冲抗震要求较高的部件。

关键词 铝锂合金,压印连接,承载能力,缓冲抗震能力

中图分类号:TB3

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.05.012

Mechanical Properties of Clinched Joint in Aluminum-Lithium and Titanium Alloy

YU Tongxin HE Xiaocong GAO Aifeng XING Baoying ZHANG Yue

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

Abstract This paper is focus on the mechanical properties of similar and dissimilar clinched joints in 1420 aluminum-lithium and titanium alloy sheet materials. Load-bearing and buffering capacity are the main standards which could assess quality of clinched joints. Force-displacement curves and energy absorption drawn from the test could get load-bearing and buffering capacity indirectly and also show that TA1-1420 joint owns great mechanical properties. Besides, compared with TA1-TA1 joint, TA1-1420 joint' weight is lighter because of its lighter lower sheet. Results showed that TA1-1420 joint is more suitable for the part which require higher load-bearing and buffering capacity

Key words Aluminum-lithium alloy, Clinch load-bearing capacity, Buffering capacity

0 引言

铝锂合金因其具有密度低、强度高、耐腐蚀、可焊接等特点,在航空、航天等工业部门受到了高度重视和广泛应用^[1]。结构轻量化进程中,薄板材料得到广泛的应用,实现这些材料的有效连接是亟待解决的问题。传统的连接方法很难实现这些新型薄板材料连接,而压印连接技术是近年来发展迅速的一种新型薄板连接技术,具有工序简单、高效、环保、易实现自动化等优点^[2],其压印过程如图1所示。目前国外对于压印连接的研究较多,S. Coppieters等^[3]通过数学和有限元方法预测压印接头的轴向拉力,并用DC05同种接头加以验证;Ho-Kyung Ki等^[4]用实验

和有限元分析方法预估出冷轧钢的疲劳极限值大约是最大拉伸值的一半。

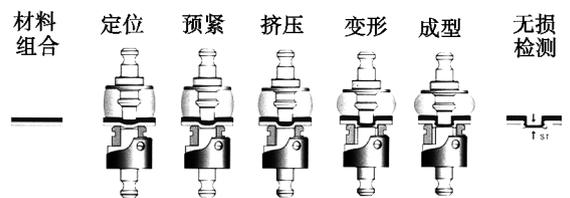


图1 板材压印连接过程图

Fig. 1 Forming process of clinched joints

在国内,He^[5-7]从形成失效过程、接头静力学强度、能量吸收特性等方面综述了薄板压印连接技术;杨慧艳等^[8-9]对铜合金的同种/异种压印接头的力学

收稿日期:2015-08-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50965009)、昆明理工大学分析测试基金项目(20150570)

作者简介:余童欣,1991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:yutongxin512@163.com

通讯作者:何晓聪,1955年出生,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

性能进行了研究,推导出接头的强度公式,以此作为验证的依据,并建立有限元模型分析接头的力学性能;刘福龙等^[10]研究了压印复合接头,对铝板的压印接头与压印-粘接复合接头进行拉伸试验,研究基板性能对压印及其复合接头力学性能与失效模式的影响;郑俊超等^[11]研究了 SPCC 钢和 5052 铝合金拉伸剪切和疲劳失效过程。本文针对新轻型材料铝锂合金(1420)和钛合金(TA1)板材,进行同种及这两种材料组合的异种压印连接实验,并对获得的压印接头准静态力学性能进行研究,以期寻求更有效的连接方式和更良好的接头性能。

1 试验

1.1 材料

1420 铝锂合金和 TA1 钛合金板材,其中 1420 来自东莞市翰林模具钢材有限公司,TA1 来自宝鸡市创信金属材料有限公司,材料的力学参数如表 1 所示。依据 GB/T 228—2002 金属材料室内拉伸试验方法,两种板材的工程应力-应变曲线如图 2 所示。拉伸过程中,两种板材均没有出现明显的屈服阶段,故将板材产生 0.2% 塑性应变时的应力值作为其屈服指标。

表 1 材料力学性能参数

Tab.1 Mechanical properties of 1420 and TA1

材料	弹性模量/ GPa	屈服极限/ MPa	拉伸强度/ MPa	伸长率/ %
1420	69	294.9	364.6	14.2
TA1	98.5	396.8	402.5	33

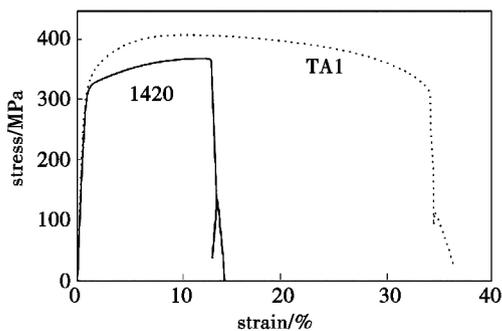


图 2 1420 和 TA1 材料应力-应变曲线

Fig.2 Stress-strain curves of 1420 and TA1

1.2 仪器设备

RIVCLINCH 1106 P50 试验机, Bollhoff 集团公司; Landmark100 型电液伺服材料试验机, MTS 公司。

1.3 试件制备

板材尺寸为 110 mm×20 mm×1.5 mm, 试样搭接长度为 20 mm, 连接后的单搭压印接头如图 3 示; 实验所用的试件有 4 组, 分别为 1420-1420、1420-TA1、TA1-1420 和 TA1-TA1, 每组制备 10 个试件, 由于

TA1 板的硬度较大, 为获得良好的成型效果, 使用丁烷焰枪对板材搭接部分加热到 700℃ 左右再进行压印连接。

1.4 性能测试

焊接接头拉伸-剪切试验按 GB2651—89 进行, 每组接头在拉伸速率 5 mm/min 下进行 10 次重复性试验。单搭-剪切试件直接夹持会在接头上产生较大的弯矩, 为保证试验的精度, 在试件两端装夹相应厚度的垫片(图 3)。

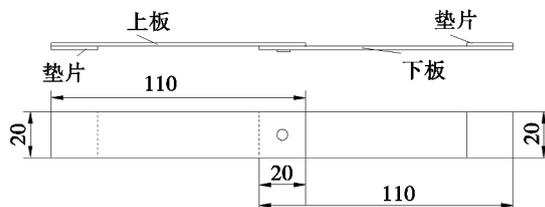


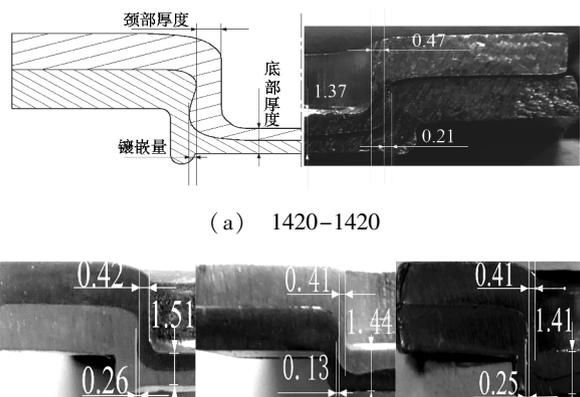
图 3 单搭压印接头几何尺寸

Fig.3 Schematic diagram of clinched joint

2 结果分析

2.1 接头截面分析

接头的承载以及缓冲抗震能力是评价接头质量的两个主要标准。接头的最大失效载荷表征接头的承载能力, 接头的能量吸收表征了接头的缓冲抗震能力。接头最大失效载荷主要取决于压印过程中上下板材经过塑性变形所形成的颈部厚度和镶嵌量。由压印连接实验结果定量分析可知, 1420-1420 接头及 TA1-TA1 接头连接成形性较好, 如图 4(a) 和图 4(d) 所示; 异种板材连接时, TA1-1420 接头颈部厚度和镶嵌量大于 1420-TA1 接头, 如图 4(b) 和图 4(c) 所示。



(a) 1420-1420 (b) TA1-1420 (c) 1420-TA1 (d) TA1-TA1

图 4 接头截面图

Fig.4 Schematic diagram of clinched joint section

2.2 失效形式分析

在拉伸-剪切实验中, 接头存在三种失效形式: 1420-1420、1420-TA1 和 TA1-TA1 接头出现颈部断裂失效模式, 如图 5(a)、(c)、(d) 所示; TA1-1420 存在 6 个拉脱失效, 如图 5(b) 中右侧图所示; 4 个为混

合失效,如图5(b)中左侧图所示。上板颈部断裂失效是在拉伸-剪切载荷的作用下,随着拉伸位移的增加,上板在颈部厚度最小的位置发生断裂造成接头失效;拉脱失效主要是由于基板的强度较大,接头中上板在下板中镶嵌量不够充分,上板颈部强度大于接头

中的内锁强度,接头在拉伸-剪切载荷作用下,接头内锁结构先失效,导致上下板脱离;混合失效即一个试件同时存在以上两种失效模式(上板颈部部分断裂且整个压印点从下板中拉脱)的现象,分析此时上板颈部强度略高于接头内锁强度。

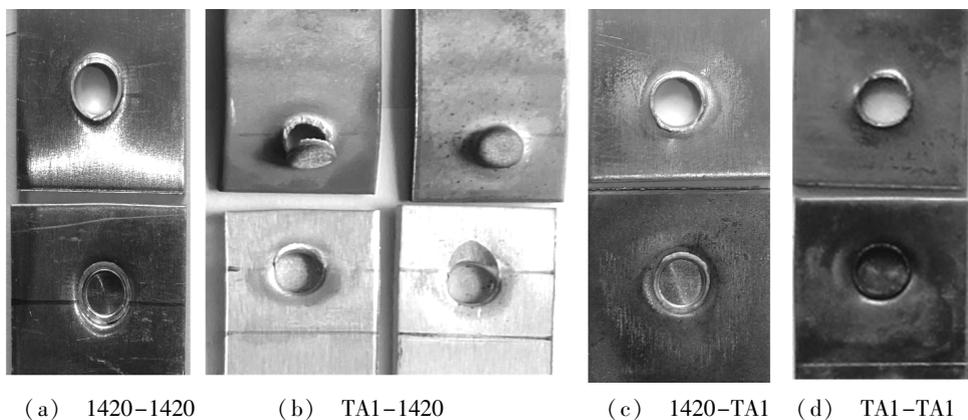


图5 各组接头失效模式
Fig. 5 Failure modes of clinched joints

2.3 承载能力分析

由于每组接头数目为10个,避免偶然数据的出现,现利用 Matlab 的拟合优度测试命令 [$H = \text{lillietest}(a)$], a 为力学实验获得的载荷和位移最大值所组成的矩阵) 检验数据,结果均为0,即所有数据都为有效数据。由实验结果得4组试件失效参数如表2所示,载荷-位移曲线如图6所示,图中均附有接头拉伸的过程图片。

表2 试件组各项失效参数

Tab. 2 Parameters of clinched joints

组号	失效形式	载荷均值/N	位移均值/mm
1420-1420	颈部断裂	2232.3	0.458
TA1-1420	混合失效和拉脱失效	4618.7	4.533
1420-TA1	颈部断裂	1348.6	0.820
TA1-TA1	颈部断裂	4533.1	1.750

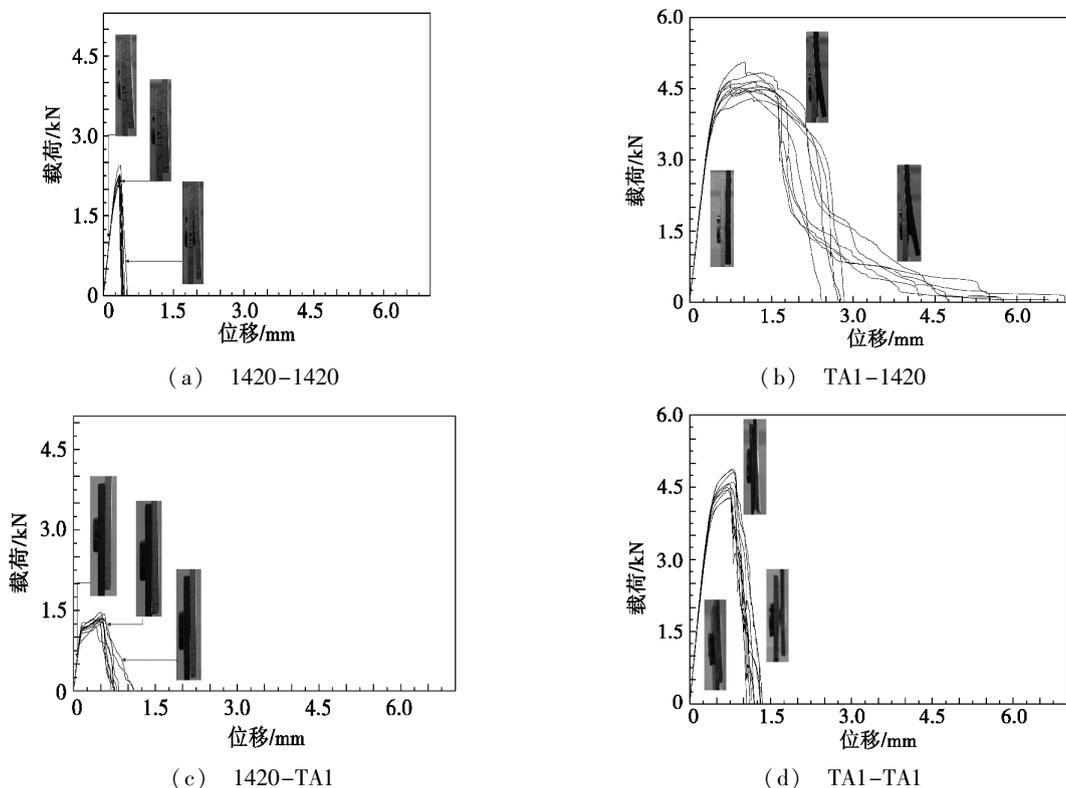


图6 各接头的载荷-位移曲线

Fig. 6 Load-displacement curves of clinched joints

由4组接头载荷-位移曲线图对比可知,TA1-1420接头载荷均值最大,1420-TA1接头最小。

由图6(a)和图6(b)对比可知,TA1-1420接头比1420-1420接头的平均载荷高出106.90%,TA1-1420异种接头的承载能力远高于1420-1420的同种接头。根据接头截面参数分析,图2(a)和图2(b)中两种接头的颈部厚度与镶嵌量相当;根据接头板材的静态力学性能分析,作为上板TA1的力学性能远高于1420。分析可知,当两种接头的颈部厚度与镶嵌量相当时,接头的最大失效载荷主要取决于上板的强度。

由图6(b)和图6(c)对比可知,1420和TA1异种板材组合连接时,TA1-1420接头比1420-TA1接头平均载荷高出242.48%,TA1-1420接头的承载能力远高于1420-TA1接头。根据接头截面参数分析,图2(b)和图2(c)TA1-1420接头颈部厚度与镶嵌量均优于1420-TA1接头;根据接头板材的静态力学性能分析,由表1可知TA1的延展性优于1420,将延展性好的TA1作为上板更利于材料的流动和压印点成形。分析可知,1420和TA1异种板材连接,接头的颈部厚度、镶嵌量越大以及上板的静态力学性能越好,接头的最大失效载荷越高。

由图6(b)和图(d)比较,TA1-1420接头比TA1-TA1接头的平均载荷高出1.89%,TA1-1420接头的承载能力略高于TA1-TA1接头。根据接头截面参数分析,TA1-1420接头与TA1-TA1接头颈部厚度和镶嵌量相当;根据接头板材的静态力学性能分析,TA1作为下板力学性能优于1420导致TA1-TA1接头的内锁强度高于上板颈部强度,而TA1-1420接头内锁强度低于上板颈部强度。分析可知,当两种上板材料相同,接头参数相当时,下板的静态力学性能对接头失效形式有影响,下板的延展性越差,内锁强度越低,更易发生脱离失效;下板的延展性越好,内锁强度越高,更易发生颈部断裂失效。

从结构轻量化的角度分析,TA1-1420接头与TA1-TA1接头承载能力相当,但TA1-1420接头下板1420密度较TA1-TA1接头下板小(表1),即TA1-1420接头较TA1-TA1质量轻。因此,在保证接头承载能力的同时更有利于节能减排。

2.4 接头失效位移与能量吸收分析

在4组接头中,TA1-1420接头失效位移均值最大为4.533 mm,比1420-1420接头平均位移高出889.73%,比1420-TA1接头平均位移高出452.68%,比TA1-TA1接头平均位移高出159.33%。根据接头失效形式分析,TA1-1420接头拉脱失效时下板压印点处塑性变形较大,如图3(b)-

M点所示;混合失效时,也存在拉脱失效模式,而其他组均为颈部断裂。分析可知,接头的失效模式对接头最大失效位移有影响。

接头的能量吸收值表征了接头的缓冲抗震能力,使用Matlab计算得到4组接头能量吸收直方图如图7所示,TA1-1420接头平均能量吸收值为9.84 J,远大于其他三种接头,即该接头缓冲抗震能力最优。

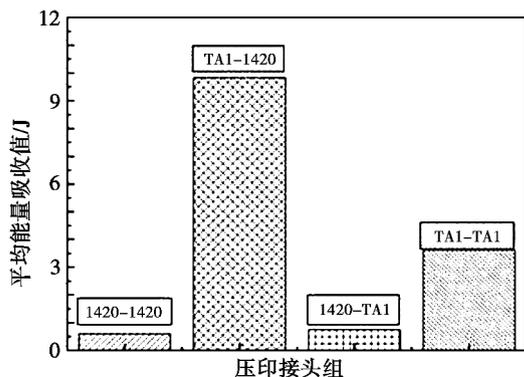


图7 各组压印接头的能量吸收值

Fig.7 Energy absorption value column chart of clinched joints

3 结论

(1)对于铝锂合金(1420)和钛合金(TA1)板材,可以实现同种及这两种材料组合的异种材料压印连接。对于异种材料组合,TA1-1420接头成形质量更优于1420-TA1接头。

(2)拉伸测试中,1420-1420接头、1420-TA1接头和TA1-TA1接头失效模式均为颈部断裂,TA1-1420接头失效模式有两种,即混合失效和拉脱失效。

(3)1420-1420接头失效载荷为2 232.3 N,TA1-1420接头失效载荷为4 618.7 N,1420-TA1接头失效载荷为1 348.6 N,TA1-TA1接头失效载荷为4 533.1 N。TA1组接头的最大失效载荷最大,即TA1-1420接头更适用于对承载能力要求较高的结构。

(4)1420-1420接头失效位移为0.458 mm,TA1-1420接头失效位移为4.533 mm,1420-TA1接头失效位移为0.820 mm,TA1-TA1接头失效位移为1.750 mm。TA1-1420接头的最大失效位移及能量吸收值均大于其他接头,即TA1-1420接头更适用于对缓冲抗震能力要求较高的结构。

(5)针对压印连接技术,采用TA1-1420接头组合形式不但可以减重,还可大幅度提高接头的承载和缓冲吸震等能力,其在航空制造业中将具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 祁桂根,池海丰,李秀华. 1420 铝锂合金板材成形性能试验研究[J]. 沈阳航空工业学院学报,2002,19(3):26-28
宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015年 第5期

