

压铸铝与高强度钢自冲铆接成形质量与力学性能的研究

李 明¹, 尹辉俊¹, 顾成波²

(1. 广西科技大学 机械与汽车工程学院, 广西 柳州 545006; 2. 广西艾盛创制科技有限公司, 广西 柳州 545001)

摘要: 通过铆接接头截面组织分析和剪切、剥离以及十字拉伸试验, 对 JDA1b 和 HC340/590DP (JDA)、AlSi10MnMg-T7 和 HC340/590DP (ALSI) 两种压铸铝和高强度钢自冲铆接的成形质量、力学性能以及失效形式进行了研究。结果表明: 与 JDA 组铆接接头相比, ALSI 组铆接接头的切底量较小、成形质量较差, 随着下层板厚度的增加, 两组铆接接头成形质量均有所下降。ALSI 组铆接接头相较于 JDA 组铆接接头, 力学性能和能量吸收较弱。随着下层板厚度的增加, 在剪切工况和剥离工况中, 两组铆接接头的峰值载荷以及能量吸收值均随之减小, 而在十字拉伸工况中, 两组铆接接头的峰值载荷以及能量吸收值均随之增加, 其中 ALSI 组铆接接头的峰值载荷以及能量吸收值变化更为明显。两组铆接接头的失效形式主要为下层板与铆钉分离, 仅有 JDA 组中下层板厚度为 2.0 mm 的十字拉伸试样出现了上层板断裂现象。

关键词: 钢铝混合; 自冲铆接; 失效形式; 铆接接头; 切底量

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.11.014

中图分类号: TG938 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2023) 11-0087-08

Study on forming quality and mechanical properties for self-piercing riveting of die-cast aluminum and high-strength steel

Li Ming¹, Yin Huijun¹, Gu Chengbo²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, China;

2. AISN Innovative Design and Manufacturing Co., Ltd., Liuzhou 545001, China)

Abstract: The forming quality, mechanical properties and failure modes of self-piercing riveting for JDA1b and HC340/590DP (JDA), AlSi10MnMg-T7 and HC340/590DP (ALSI) die-cast aluminum and high-strength steel were studied by cross-sectional microstructure analysis of riveted joints, and shearing, peeling and cross-tension tests. The results show that compared with the riveted joints of JDA group, the riveted joints of ALSI group have smaller undercut amount and worse forming quality. As the thickness of lower plate increasing, the forming quality of the riveted joints of both groups decreases. Compared with the riveted joints of JDA group, the mechanical properties and energy absorption of the riveted joints of ALSI group were weaker. As the thickness of lower plate increasing, the peak loads and energy absorption values of the riveted joints for two groups decrease in the shearing and peeling conditions, while in the cross-tension condition, the peak loads and energy absorption values of the riveted joints for two groups increase, and the changes in the peak loads and energy absorption values of the riveted joints of ALSI group are more obvious. The failure mode of the riveted joints for two groups is mainly the separation of the lower plate from the rivets, and only the cross-tensile specimen with the thickness of 2.0 mm of lower plate in the JDA group shows the upper plate fracture phenomenon.

Key words: steel aluminum mix; self-piercing riveting; failure mode; riveted joints; undercut amounts

随着汽车工业的发展, 对汽车经济性的要求不断提高, 促进了车身总成轻量化技术的进步。在保障车身强度及安全性能的前提下, 诸多企业和研究机构在各个方向对车身总成轻量化进行了大量的研究。汽车轻量化主要有结构优化、新工艺、新材料

3个途径。在轻量化材料方面, 采用铝合金替代普通钢来制造汽车部分零/部件已成为一个发展趋势^[1]。对于汽车用铝合金成形工艺, 铝合金压铸工艺已经成为最广泛运用的工艺之一^[2-3]。得益于压铸铝合金优异的性能, 其在汽车、航空航天以及电器工业等领域被广泛应用。但随之而来的钢-铝材料的性能差异, 传统的点焊技术无法满足车身的焊装要求, 需要新型的连接技术解决异种材料的连接问题^[4]。

自冲铆接 (Self-piercing Riveting, SPR) 作为机械连接, 由于其优秀的性能, 在汽车制造中的应用越来越多。针对该技术, 国内外学者进行了大量的

收稿日期: 2023-03-26; 修订日期: 2023-06-28

基金项目: 广西自然科学基金资助项目 (2013GXNSFAA019319);

广西科技计划项目 (桂科攻 1348005-12)

作者简介: 李 明 (1999-), 男, 硕士研究生

E-mail: Liming_221068210@163.com

通信作者: 尹辉俊 (1972-), 男, 硕士, 教授

E-mail: yinhj0702@163.com

研究。Nikolaos K 等^[5]分析了不同铆钉和模具设计参数对层叠金属板自冲铆接的可行性和成形质量的影响,发现合适的材料、铆钉和底模有助于提高铆接接头的成形质量。Asati B 等^[6]通过自冲铆接后的截面参数,分析了不同工艺参数对异种材料自冲铆接的成形质量的影响,得出了不同长度的铆钉和底模的最佳组合。胡光山等^[7]对钢-铝异种材料自冲铆接性能和失效模式进行了研究,分析了底层材料为压铸铝和高强度钢两种情况下,对铆接成形质量的影响,确定了自冲铆接技术在钢-铝混合车身后地板总成中的运用的可行性。郭子鑫等^[8]采用自冲铆接技术对 TA1 钛合金和 5A06 航空合金薄板进行连接,并通过一系列试验分析其静态力学性能及微观组织,验证了基板自身性能对铆接接头的静载强度的影响较大。毛晓东等^[9]分析对比了 2 种底模和 4 种铆钉长度对 5182-O 铝合金板材自冲铆接接头组织和性能的影响,随着铆钉长度的增加,接头的强度和吸能性能先增加后减小,通过底模使得钉腿张开值增加也有助于提升上述性能。宋承裕等^[10]通过静力学试验对铝/铜合金板的自冲铆接接头性能进行了研究,并分析对比试验数据,进一步验证了自冲铆接技术在异种材料连接的良好应用前景。国内外学者的研究对自冲铆接技术的发展与运用做出了贡献,但对于自冲铆接技术在厚压铸铝合金上层板与高强度钢连接中的应用的研究较少。

本文以 JDA1b 压铸铝合金、AlSi10MnMg-T7 压铸铝合金以及 HC340/590DP 高强度钢板材为研究对象,开展不同下层板厚度以及上层板材料对自冲铆接成形质量和力学性能影响的研究。本文使用相同铆钉和模具制备了 6 种接头,分析其成形质量。并分别制备了剪切、剥离和十字拉伸 3 种工况下的样件,对比研究了其力学性能和失效模式。

1 试验材料及试验方法

试验采用的材料分别为 JDA1b 压铸铝合金、AlSi10MnMg-T7 压铸铝合金以及 HC340/590DP 高强度钢,其中,上层的压铸铝合金试片厚度均为 3 mm,作为下层板的高强度钢试片厚度分别为 1.2、1.6 和 2.0 mm,其材料力学性能见表 1, JDA1b 压铸铝合金与 HC340/590DP 高强度钢和 AlSi10MnMg-T7 压铸铝合金与 HC340/590DP 高强度钢自冲铆接的接头在下文分别简称为 JDA 组铆接接头和 ALSI 组铆接接头。图 1 展示了试验样件、铆钉参数和底模选用。本次试验选用 36MnB4-H6 型硼钢铆钉,其尺寸见图 1d,通过测试对于厚度为 1.2 mm 的下层板试样选用长度为 7.5 mm 的铆钉,对于厚度为 1.6 和 2.0 mm 的下层板试样选用长度为 8.0 mm 的铆钉。底模深度为 1.8 mm,直径为 $\Phi 10$ mm,如图 1e 所示,铆接组合类型见表 2。对于铆接强度的分析,本文分别采用剪切试样、剥离试样以及十字拉伸试样,如图 1a~图 1c 所示,将试样装夹在万能试验机上,对 3 种试样进行准静态拉伸试验,拉伸速度均为 $2\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 。万能试验机选用深圳万测试验设备有限公司的 ETM105D 微机控制电子万能试验机。为防止拉伸过程中产生扭矩,在试样装夹阶段为样件夹持部分垫入垫片一起装夹。为保证试验数据的准确性,相同的试验组分别进行了 3 次试验。

表 1 材料力学性能			
Table 1 Mechanical properties of materials			
材料	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %
JDA1b 压铸铝合金	129	242	14.0
AlSi10MnMg-T7 压铸铝合金	94	213	19.6
HC340/590DP 高强钢	369	638	25.5

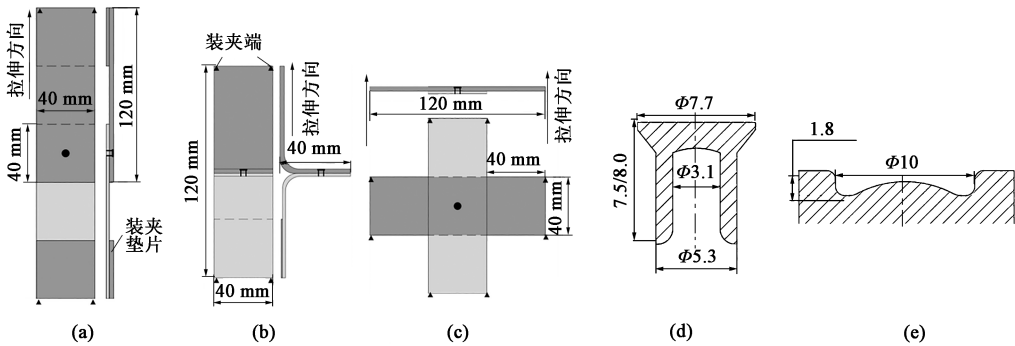


图 1 自冲铆接试验试验样件、铆钉参数和底模选用

(a) 剪切试样 (b) 剥离试样 (c) 十字拉伸试样 (d) 铆钉尺寸 (e) 底模轮廓

Fig. 1 Test samples, rivet parameters and bottom die selection of self-piercing riveting test

(a) Shearing sample (b) Peeling sample (c) Cross-tension sample (d) Rivet sizes (e) Bottom die profile

表 2 铆接组合及编号				
Table 2 Riveting combinations and numbers				
编号	上层板材料	上层板厚度/mm	下层板材料	下层板厚度/mm
J1	JDA1b 压铸铝合金	3.0	HC340/590DP 高强钢	1.2
J2	JDA1b 压铸铝合金	3.0	HC340/590DP 高强钢	1.6
J3	JDA1b 压铸铝合金	3.0	HC340/590DP 高强钢	2.0
A1	AlSi10MnMg-T7 压铸铝合金	3.0	HC340/590DP 高强钢	1.2
A2	AlSi10MnMg-T7 压铸铝合金	3.0	HC340/590DP 高强钢	1.6
A3	AlSi10MnMg-T7 压铸铝合金	3.0	HC340/590DP 高强钢	2.0

2 结果与讨论

2.1 接头成形质量分析

SPR 的原理是铆钉在外力作用下首先穿透上层板，而后在冲头和底模的共同作用下，在被连接板内部塑性变形，使得被连接件之间形成机械自锁达到连接的目的^[11]。本文采用剖面直观检测法，对试样截面的切底量 a 、最小残余底厚 t_{\min} 、自锁深度 l 以及钉头高度 k 进行测量^[12-13]。图 2 和图 3 展示了不同组合 SPR 接头的剖面组织以及特征值。

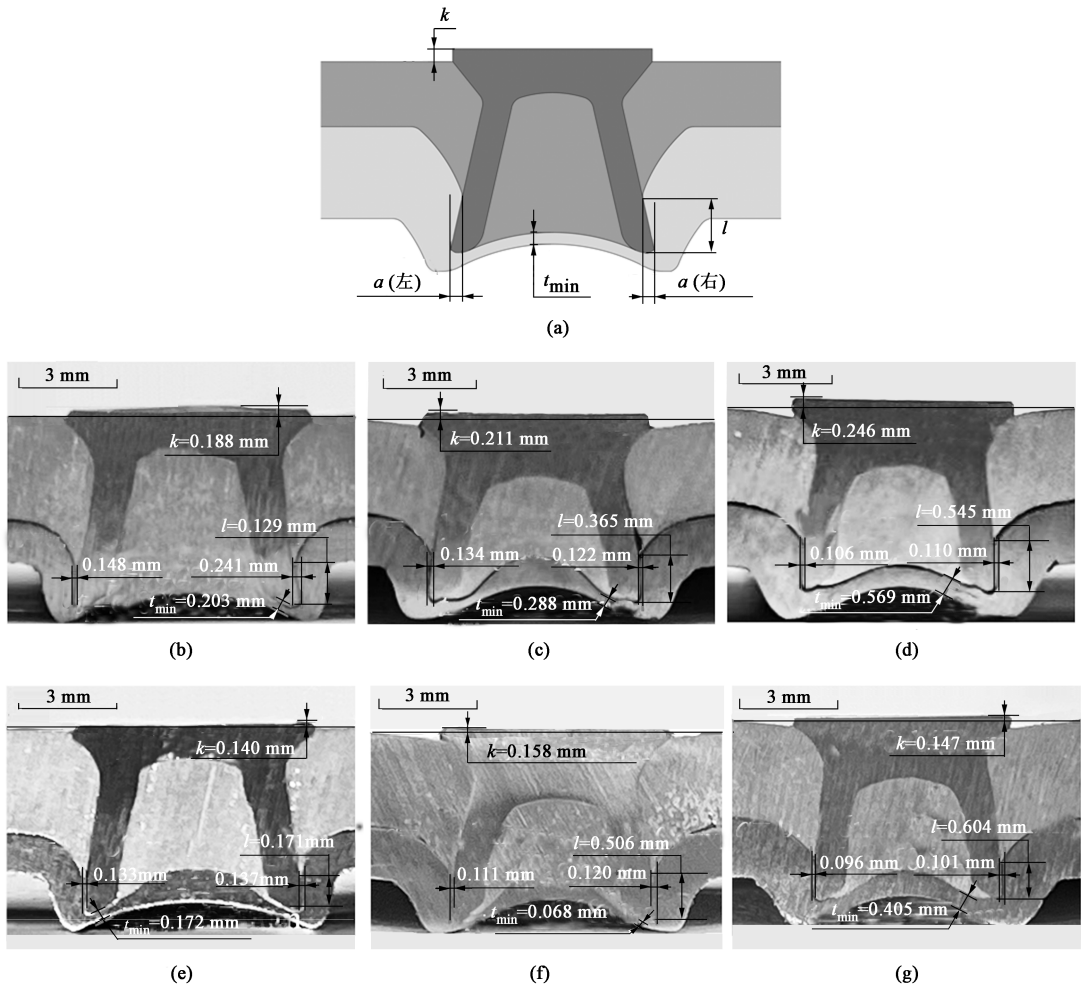


图 2 不同组合 SPR 接头的剖面图

(a) 接头剖面特征值示意图 (b) J1 接头 (c) J2 接头 (d) J3 接头 (e) A1 接头 (f) A2 接头 (g) A3 接头

Fig. 2 Cross-section diagrams of SPR joints in different combinations

(a) Schematic diagram of joint profile characteristic values (b) Joint of J1 (c) Joint of J2 (d) Joint of J3

(e) Joint of A1 (f) Joint of A2 (g) Joint of A3

如图 2 所示，所有铆接接头均未产生裂纹以及不均匀变形，对比分析各组铆接接头特征值发现：各试验组铆接接头的钉头高度 k 在 0.1~0.3 之间。ALSI 组铆接接头，相较于 JDA 组铆接接头，其切底

量 a 和最小残余底厚 t_{\min} 明显较小。ALSI 组铆接接头的自锁深度 l 略高于 JDA 组铆接接头。图 3 展示了不同下层板厚度对铆接接头剖面特征值的影响，观察图 3 发现，各试验组铆接接头的左、右切底量

特种成形栏目由中国机械总院集团北京机电研究所有限公司赞助刊出

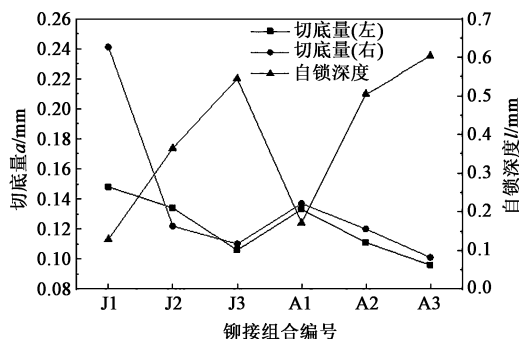


图3 不同组合SPR接头左、右切底量及自锁深度

Fig. 3 Left and right undercut amounts and self-locking depth of SPR joints in different combinations

α (左)和 α (右)均随着下层板厚度的增加而减小。JDA和ALSI两组铆接接头的自锁深度 l 均随着下层板厚度的增加而增加,其中,ALSI组铆接接头的增幅更加明显。

由表1可知,作为上层板的压铸铝合金材料的屈服强度和抗拉强度均远小于作为下层板的HC340/590DP高强钢,其中,作为上层板的JDA1b压铸铝合金的屈服强度和抗拉强度略高于同样作为上层板的AlSi10MnMg-T7压铸铝合金。由此,铆钉在穿透AlSi10MnMg-T7压铸铝合金上层板时钉腿并未足够扩张,而后在刺入强度较高的HC340/590DP高强钢下层板时,铆钉受到的阻力有了明显增强,使得成形后的铆钉接头的切底量 α 较小甚至可能产生负值。并且由于铆钉钉腿扩张较小使得铆钉在下层板的刺穿距离较长,导致最小残余底厚 t_{\min} 较小甚至造成下层板开裂等问题。因此,有较高强度的JDA1b压铸铝合金上层板在本文试验中的铆接效果较好。并且由于上述原因,当作为下层板的HC340/590DP高强钢板厚较低时,铆接表现较好。故在SPR工艺作为连接方案时,上层板应当选用屈服强度和抗拉强度相对较高的材料;若下层板强度较高时,应当选用较薄的下层板厚度,以保证材料力学性能的连续性,提高铆接接头的成形质量。

2.2 接头力学性能分析

静态拉伸试验之后,对各组铆接接头的试验数据进行了统计与分析。主要通过载荷-位移曲线、峰值载荷以及能量吸收值对铆接接头的力学性能进行研究。图4展示了不同工况下各试验组铆接接头的载荷 F -位移 S 曲线以及峰值载荷 F_{\max} 和能量吸收值 W 随着下层板厚度的增加而变化的曲线。其中,能量吸收值 W 通过对各试验组铆接接头的载荷 F -位移 S 曲线进行积分求解得到。

通过分析拉伸试验数据,如图4a~图4c所示,在剪切试验中,弹性阶段,各试验组的曲线斜率较为接近,变化趋势相似,皆为达到峰值后呈现下降趋势,且失效阶段的斜率也较为相似。当上层板材料为JDA1b压铸铝合金时,样件所受的峰值剪切力均大于上层板材料为AlSi10MnMg-T7压铸铝合金时的峰值剪切力。对比各试验组铆接接头在剪切试验中的能量吸收值,JDA组铆接接头的能量吸收值均大于ALSI组铆接接头。随着下层板厚的增加,各试验组铆接接头所受的峰值载荷 F_{\max} 和能量吸收值 W 随之减小,其中ALSI组铆接接头的变化更加明显。

如图4d~图4f所示,在剥离试验中,厚度为1.2mm的下层板试验组铆接接头相对于厚度为1.6和2.0mm的下层板试验组铆接接头,在弹性阶段的曲线斜率相差较大,但各试验组铆接接头在失效阶段的变化趋势基本相同。观察试验数据发现了与剪切试验中相同的情况,JDA组铆接接头的峰值载荷 F_{\max} 和能量吸收值 W 均大于ALSI组铆接接头,且两项数值均随着下层板厚度的增加而减小,ALSI组铆接接头的降幅更明显。结合图2各试验组铆接接头剖面特征值发现,切底量 α 的变化在剪切和剥离工况下对铆接接头的抗载荷能力以及吸能性能影响较大。

相对于剪切工况和剥离工况,各试验组铆接接头于十字拉伸工况下有着不同的表现。在十字拉伸试验中,JDA组铆接接头曲线趋势与剥离工况中的表现类似,但ALSI组铆接接头的曲线在弹性失效阶段出现了较大的差异。各试验组铆接接头所受的峰值载荷 F_{\max} 和能量吸收值 W 随着下层板厚度的增加而提高。但JDA组铆接接头的总体性能依然高于ALSI组铆接接头(图4g~图4i)。可见,在十字拉伸工况下,切底量 α 对铆接接头的抗载荷能力和吸能性能保持着较大的影响,并且自锁深度 l 对于十字拉伸工况下的铆接接头的各项性能的影响相较于剪切工况和剥离工况更为明显。

综上所述,JDA组铆接接头的抗载荷能力和吸能性能相较于ALSI组铆接接头更强。在自冲铆接中,对于铆接接头的抗载荷能力和吸能性能分析,切底量 α 对抗载荷能力和吸能性能的影响最大,自锁深度 l 次之。

2.3 失效形式分析

通过分析铆接接头的失效形式,有助于对铆接性能作进一步的分析与验证。如图5~图7所示,各试验组铆接接头的失效形式主要为铆钉与下层板分离以及上层板断裂,分别表示为“■”和“▲”。

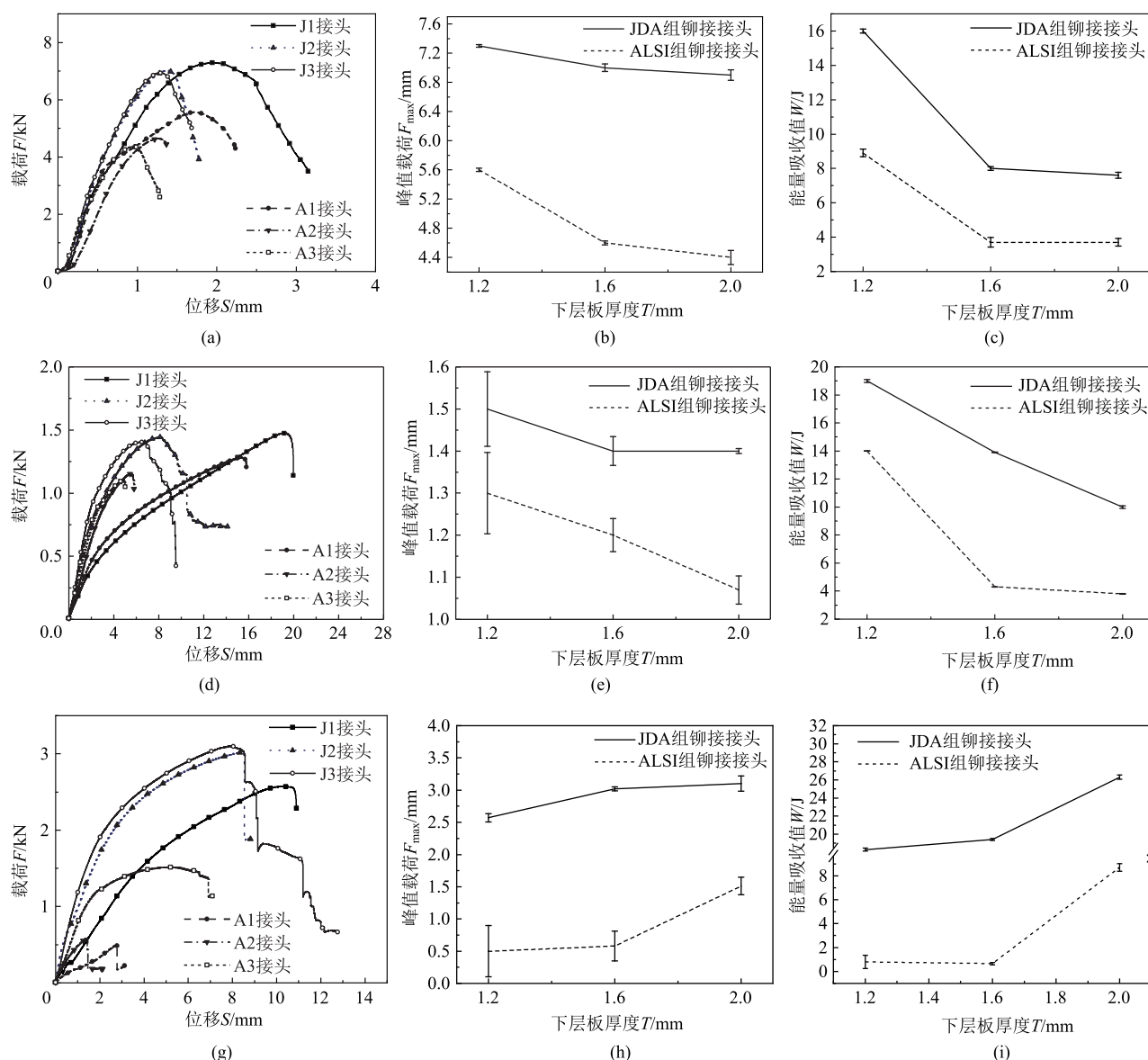


图 4 不同组合 SPR 接头拉伸试验结果

- (a) 剪切工况, 载荷-位移曲线 (b) 剪切工况, 峰值载荷随下层板厚度变化曲线 (c) 剪切工况, 能量吸收值随下层板厚度变化曲线
(d) 剥离工况, 载荷-位移曲线 (e) 剥离工况, 峰值载荷随下层板厚度变化曲线 (f) 剥离工况, 能量吸收值随下层板厚度变化曲线
(g) 十字拉伸工况, 载荷-位移曲线 (h) 十字拉伸工况, 峰值载荷随下层板厚度变化曲线 (i) 十字拉伸工况, 能量吸收值随下层板厚度变化曲线

Fig. 4 Tensile test results of SPR joints in different combinations

- (a) Shearing working condition, load-displacement curve (b) Shearing working condition, changing curves of peak load with thickness of lower plate
(c) Shearing working condition, changing curves of energy absorption value with thickness of lower plate (d) Peeling working condition, load-displacement curves
(e) Peeling working condition, changing curves of peak load with thickness of lower plate
(f) Peeling working condition, changing curves of energy absorption value with thickness of lower plate
(g) Cross-tension working condition, load-displacement curves (h) Cross-tension working condition, changing curves of peak load with thickness of lower plate
(i) Cross-tension working condition, changing curves of energy absorption value with thickness of lower plate

拉伸试验后, 观察各试验组铆接接头的失效样式, 所有试样接头均未发生铆钉断裂现象, 各试验组铆接接头的失效形式主要为下层板与钉腿分离以及上层板开裂。如图 5 所示, 在剪切工况中, JDA 组铆接接头和 ALSI 组铆接接头的下层板均未发生形变, 上层板的形变随着下层厚度的增加逐渐减小。如图 6 所示, 在剥离工况中, 上、下层板的形变随

着下层板厚度的增加而逐渐减小。如图 7 所示, 在十字拉伸工况中, 对于 JDA 组铆接接头, 上层板的形变随着下层板厚度的增加逐渐增强, 下层板的形变随着下层板厚度的增加逐渐减小。对于 ALSI 组铆接接头, 下层板均未发生形变, 上层板的形变随着下层板厚度的增加逐渐增强。各试验组铆接接头失效形式主要为铆钉与下层板分离, 仅有 JDA 组铆接

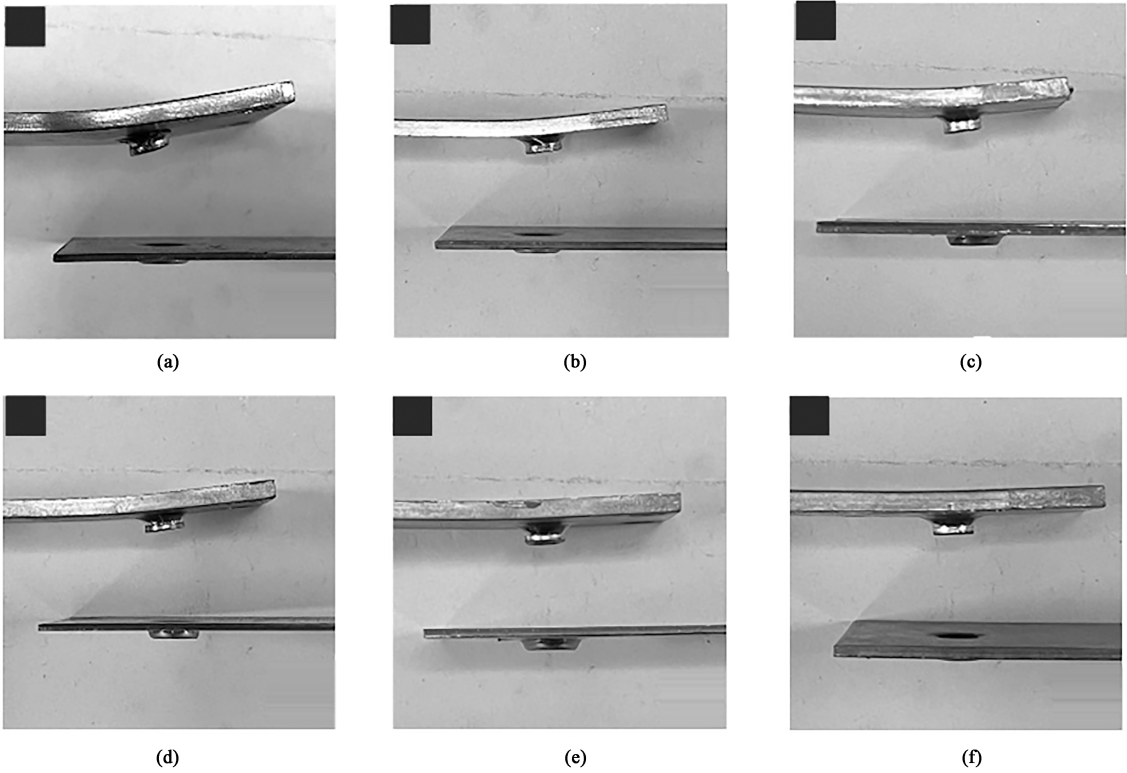


图 5 剪切试样失效形式
(a) J1 接头 (b) J2 接头 (c) J3 接头 (d) A1 接头 (e) A2 接头 (f) A3 接头

Fig. 5 Failure modes of shearing samples
(a) Joint of J1 (b) Joint of J2 (c) Joint of J3 (d) Joint of A1 (e) Joint of A2 (f) Joint of A3

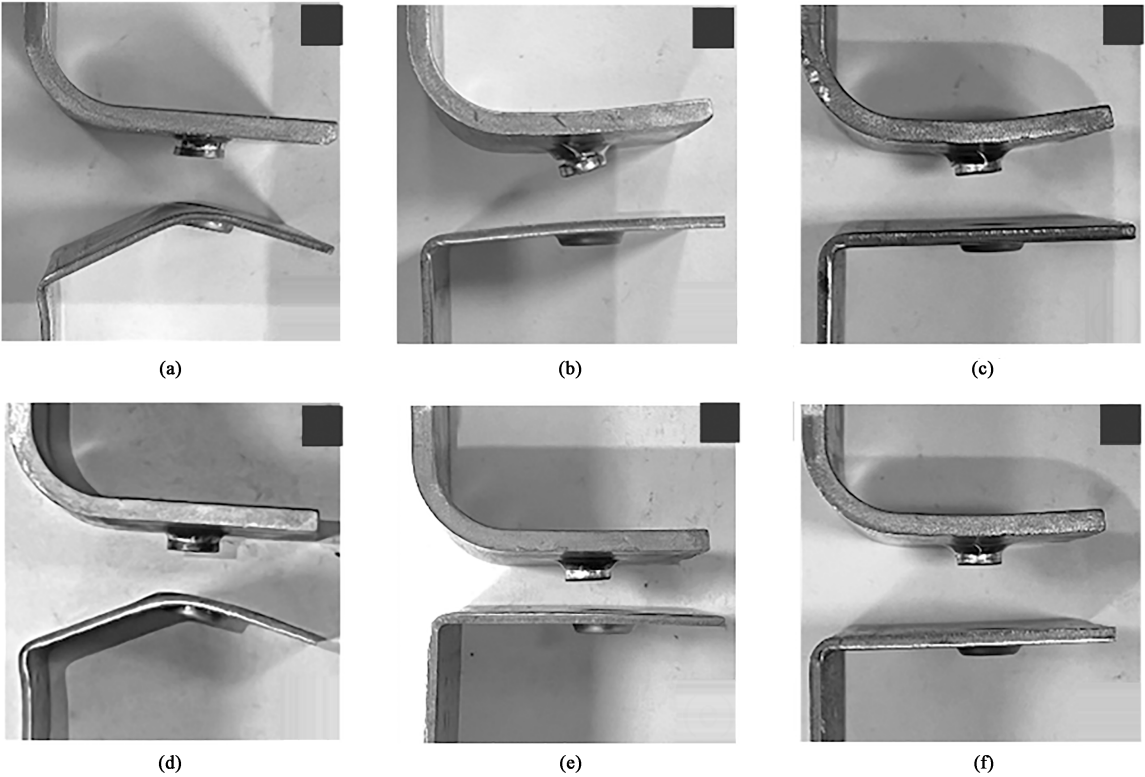


图 6 剥离试样失效形式
(a) J1 接头 (b) J2 接头 (c) J3 接头 (d) A1 接头 (e) A2 接头 (f) A3 接头

Fig. 6 Failure modes of peeling samples
(a) Joint of J1 (b) Joint of J2 (c) Joint of J3 (d) Joint of A1 (e) Joint of A2 (f) Joint of A3

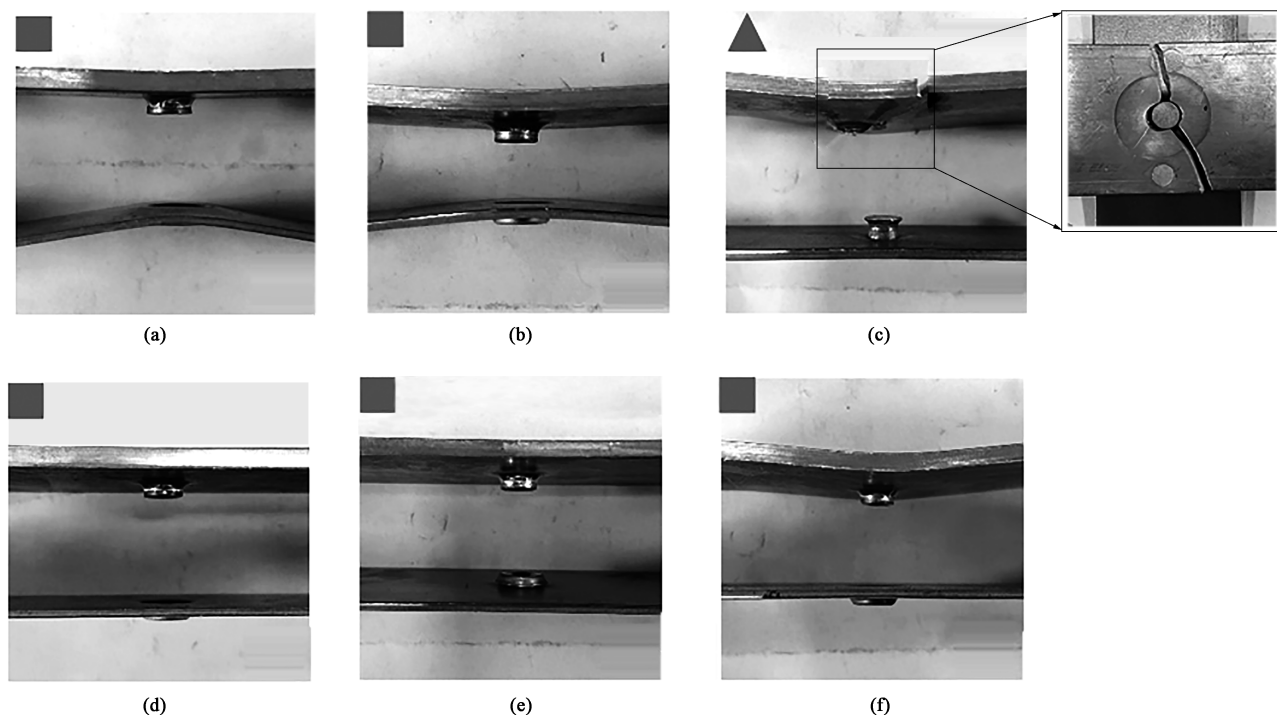


图 7 十字拉伸试样失效形式

(a) J1 接头 (b) J2 接头 (c) J3 接头 (d) A1 接头 (e) A2 接头 (f) A3 接头

Fig. 7 Failure modes of cross-tension samples

(a) Joint of J1 (b) Joint of J2 (c) Joint of J3 (d) Joint of A1 (e) Joint of A2 (f) Joint of A3

接头中下层板厚度为 2.0 mm 的十字拉伸试样出现了上层板断裂。由于切底量 a 随着下层板厚度的增加而减小, 其抗剪切能力和抗剥离能力随之减小。在十字拉伸工况中, 虽然切底量 a 逐渐减小, 但由于自锁深度 l 增加, 使得各试验组铆接接头在该工况下的失效形式与另外两种工况不同。通过对失效形式的分析进一步验证了上述关于两种材料作为上层板以及下层板厚度对铆接接头成形质量的影响的观点。

3 结论

(1) 对于 ALSI 组铆接接头, 其切底量 a 均小于 JDA 组铆接接头, 成形质量较差, 但 ALSI 组铆接接头的自锁深度 l 略高于 JDA 组铆接接头。并且各试验组铆接接头的左、右切底量 a (左) 和 a (右) 均随着下层板厚度的增加而减小, 自锁深度 l 均随着下层板厚度的增加而增加。当选用 JDA 组铆接接头中 1.2 mm 下层板厚度时, 其成形质量最好, 有利于提高接头强度和能量吸收。

(2) 在所有工况中, JDA 组铆接接头的峰值载荷 F_{\max} 和能量吸收值 W 均大于 ALSI 组铆接接头。ALSI 组铆接接头相较于 JDA 组铆接接头, 其抗载荷

能力和能量吸收较弱。在剪切和剥离工况中, JDA 组铆接接头中下层板厚度为 1.2 mm 为较优的工艺参数。在十字拉伸工况中, JDA 组铆接接头中下层板厚度为 2.0 mm 的铆接效果最佳。

(3) 由于被铆接材料以及铆接接头成形质量的影响, 各试验组不同的试样产生了不同的失效形式。其中仅有 JDA 组铆接接头中下层板厚度为 2.0 mm 的十字拉伸试样出现了上层板断裂的现象, 其余皆为铆钉与下层板分离。

(4) 对于自冲铆接技术应用于钢-铝合金组合时, 应考虑组合体力学性能的连续, 在选用强度高于上层板材料 (压铸铝合金) 的下层板材料 (高强度钢) 时, 应当选用较薄的下层板厚度。

参考文献:

- [1] 范子杰, 桂良进, 苏瑞意. 汽车轻量化技术的研究与进展 [J]. 汽车安全与节能学报, 2014, 5 (1): 1-16.
Fan Z J, Gui L J, Su R Y. Research and development of automotive lightweight technology [J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2014, 5 (1): 1-16.
- [2] Wan L, Hu Z Q, Wu S S, et al. Mechanical properties and fatigue behavior of vacuum-assist die cast AlMgSiMn alloy [J]. Materials Science and Engineering: A, 2013, 576: 252-258.
- [3] 黄晓锋, 田载友, 朱凯, 等. 压铸铝合金及压铸技术的研究

- 进展 [J]. 热加工工艺, 2008, 37 (17): 137-141.
- Huang X F, Tian Z Y, Zhu K, et al. Study and application of die-casting aluminum alloy and die-casting technology [J]. Hot Working Technology, 2008, 37 (17): 137-141.
- [4] 李永兵, 马运五, 楼铭, 等. 轻量化多材料汽车车身连接技术进展 [J]. 机械工程学报, 2016, 52 (24): 1-23.
- Li Y B, Ma Y W, Lou M, et al. Advances in welding and joining processes of multi-material lightweight car body [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52 (24): 1-23.
- [5] Nikolaos K, Pandya K S, Mohr D. An experimental and numerical investigation of the role of rivet and die design on the self-piercing riveting joint characteristics of aluminum and steel sheets [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2021, 69 (1): 290-302.
- [6] Asati B, Shajan N, Arora K S. Effect of process parameters on joint performance in self-piercing riveted dissimilar automotive steel joints [J]. Materials Today Proceedings, 2022, 62 (4): 721-726.
- [7] 胡光山, 顾时茂, 贺丽丽, 等. 钢铝混合后地板总成的自冲铆连接性能研究 [J]. 汽车工程学报, 2020, 10 (3): 213-218.
- Hu G S, Gu S M, He L L, et al. Research on properties of self-piercing riveted connections for aluminum-steel rear floor assembly [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2020, 10 (3): 213-218.
- [8] 郭子鑫, 赵伦, 郭媛媛, 等. TA1/5A06 同质自冲铆接头的力学性能 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (12): 135-141.
- Guo Z X, Zhao L, Guo Y Y, et al. Mechanical properties for TA1/5A06 homogeneous self-piercing riveted joints [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (12): 135-141.
- [9] 毛晓东, 刘庆永, 李利, 等. 5182-O 铝合金板材自冲铆接工艺参数对接头组织和性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2021, 31 (5): 1239-1252.
- Mao X D, Liu Q Y, Li L, et al. Effect of technological parameters on microstructure and properties of self-piercing riveting joints of 5182-O aluminum alloy sheets [J]. The Chinese Journal of Non-ferrous Metals, 2021, 31 (5): 1239-1252.
- [10] 宋承裕, 何晓聪, 卢嘉伟, 等. 轻铝/铜合金自冲铆接头性能的研究 [J]. 兵器材料科学与工程, 2020, 43 (4): 126-129.
- Song C Y, He X C, Lu J W, et al. Research on properties of aluminum/copper alloy self-piercing riveting joints [J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2020, 43 (4): 126-129.
- [11] Kappe F, Zirmgibl C, Schleich B, et al. Determining the influence of different process parameters on the versatile self-piercing riveting process using numerical methods [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2022, 84: 1438-1448.
- [12] Kim K Y, Sim J, Jannat N E, et al. Challenges in riveting quality prediction: A literature survey [J]. Procedia Manufacturing, 2019, 38: 1143-1150.
- [13] He X C, Wang Y F, Lu Y, et al. Self-piercing riveting of similar and dissimilar titanium sheet materials [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 80 (9-12): 2105-2115.

“中国机械工程学会塑性工程分会成立六十周年纪念大会”、“中国机械工程学会塑性工程分会第十三次会员代表大会”、“第十八届全国塑性工程学术年会暨第十届全球华人塑性技术研讨会”在湖北省武汉市隆重召开

2023 年 10 月 20—22 日, “中国机械工程学会塑性工程分会成立六十周年纪念大会”、“中国机械工程学会塑性工程分会第十三次会员代表大会”和“第十八届全国塑性工程学术年会暨第十届全球华人塑性技术研讨会”在湖北省武汉市隆重召开, 本次会议的主题是“提高自主创新能力, 扎实推进产业基础再造工程”。来自国内外 220 家高校、企业和科研院所的 950 位代表注册参加了此次会议, 其中来自英国、加拿大、韩国和挪威的代表 4 人。大量武汉当地高校师生和企业技术人员闻讯赶来参会, 千人会场座无虚席, 规模空前。会议共收到论文/摘要 381 篇, 其中全文 153 篇; 宣讲报告 279 篇、墙报交流 12 篇, 其中大会主旨报告 7 篇, 分会场报告 272 篇 (含特邀报告 64 篇), 会议共评选出 35 篇优秀论文/报告。此外, 会议还印制了《栉风沐雨一甲子 砥砺奋进锻新篇—庆祝中国机械工程学会塑性工程分会成立 60 周年纪念画册》和《论文摘要集》, 编辑了《论文集》(电子版)。

会议由中国机械工程学会和中国机械科学研究总院集团有限公司指导, 中国机械工程学会塑性工程分会主办, 中国机械总院集团北京机电研究所有限公司、武汉理工大学、华中科技大学、太原理工大学、山东大学和精密成形国家工程研究中心承办, 江苏倍嘉力机械科技有限公司和湖北三环锻造有限公司等 23 家企业、高校和科研机构协办。

中国机械工程学会理事长林忠钦院士, 塑性工程分会理事长黄庆学院士和赵国群教授, 武汉理工大学党委常委、副校长沈革武, 华中科技大学党委副书记张耀, 北京科技大学谢建新院士, 英国帝国理工学院林建国院士, 塑性工程分会名誉理事长苑世剑、名誉副理事长李建军, 塑性工程分会副理事长王新云、任玉成、华林、刘钢、李亚军、李光耀、李淑慧、赵升吨、夏汉关、蒋浩民和詹梅, 中国机械总院集团北京机电研究所有限公司党委书记、董事长、总经理姜超, 塑性工程分会秘书长金红, 以及塑性工程分会前任老领导聂绍珉、李志刚、孙友松、谢谈和陆辛等嘉宾出席了大会。

(下转第 158 页)