

焊装结构胶对铝车身连接工艺的影响

□ 安徽江淮股份有限公司技术中心/汪小霞 袁浩 王学敏

简单介绍了铝车身的几种典型连接工艺：SPR、FDS、LSW以及结构胶，重点通过试验验证了结构胶对SPR、FDS、LSW三种工艺的强度提升规律，通过试验研究温度对三种工艺带胶情况下力学性能的影响，为车身的连接质量和安全提供理论依据。

铝合金具有质轻、耐蚀、易加工、表面美观以及回收成本低等诸多优点。随着汽车轻量化技术的发展，采用铝合金代替钢铁是各国汽车制造商针对汽车减重所采取的主要措施。

近年来，铝合金在车身中的应用比例逐年提高，相对应地，结构胶的应用比例相比传统的钢车身，也提高了10倍以上，结构胶不仅可以代替点焊密封胶，起到密封防水、防锈作用，还在铝车身中承担着越来越重要的强度连接作用，是车身安全的关键因素之一。因此针对结构胶工艺的研究、验证，对车身的合理有效应用非常有必要。

铝车身的典型连接工艺

在多款铝车身（含全铝或钢铝混合）调研中，发现铝合金车身典型的连接工艺主要有：SPR自冲铆接

接、FDS热熔直钻和LSW铝点焊。前两者属于冷连接，后者属于热连接，在这些连接部位基本都会覆盖结构胶，用于增加连接强度。

1.SPR自冲铆接

SPR (Self-Piercing Rivets) 自冲铆接是通过液压缸或伺服电动机提供动力，将铆钉直接压入待铆接板材，待铆接板材在铆钉的压力作用下和铆钉发生塑性变形，成形后充盈于铆模之中，从而形成稳定连接的一种全新的板材连接技术。铆鼻首先压住被铆接板材，铆钉被铆杆施压嵌入，穿透上层板材并扩张进入下一层板材，而后铆钉与板材一起扩张充满铆模，铆钉腿部向四周翻开形成“钮扣”，从而完成上下板材牢固的连接，如图1所示。

SPR是冷连接工艺，其连接原理与传统电阻点焊的热熔连接相比，有其独特的技术优势，主要如下：

- (1) 可实现多层、属性不同、有镀层的焊接性较差的材料可靠连接。
- (2) 无需预先开孔，可保护涂层镀层，耐腐蚀性强，铆点强度高，寿命长。
- (3) 环境友好型清洁连接工艺，无烟、汽、火花产生。
- (4) 相比传统点焊，耗能较少，且无冷却水和压缩空气消耗。
- (5) 铆接质量稳定，可目视检查，一致性较好。
- (6) 铆接过程易于实现自动化和在线监控，可满足大批量生产需求。

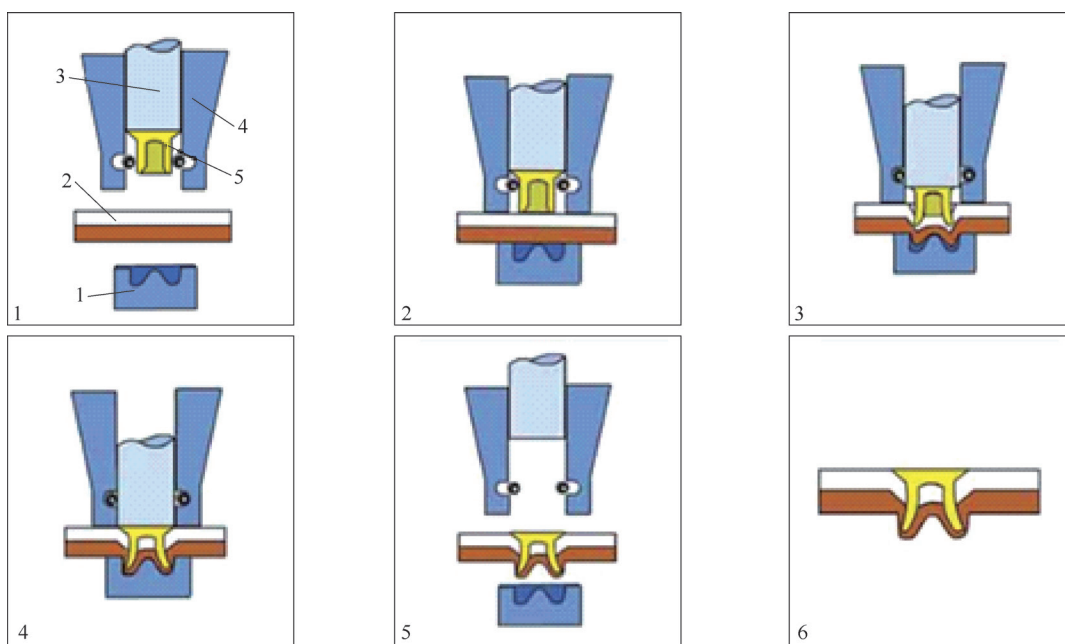


图1 SPR铆接步骤

1. 铆模 2. 板材 3. 铆杆 4. 铆鼻 5. 铆钉

2. FDS热熔直钻

FDS (Flow Drill Screwing)

即流钻螺钉，通过高速旋转及轴向下压力使工件发生塑性变形，螺钉穿透工件，形成圆柱形通道，它的工作过程分成6步：将高转速和气缸产生的高压传导至材料表面使材料产生塑性变形（定位预热过程）→流动钻孔成型（热融穿透过程）→圆柱形通道成型（锥孔成型过程）→自攻完全啮合的螺纹（螺纹成型过程）→正常螺钉拧紧（螺钉拧入过程）→拧紧至设定的转矩（紧固落座过程）。具体如图2所示。

FDS是单面连接工艺，连接设备相对简单，对工件的要求也较为

宽松，这种连接工艺主要技术优势如下：

(1) 单面进入工件，无需前置工作，有无预留孔都可连接。

(2) 可连接不同的材料及多于两层板的连接，如型材、铸铝件等多种轻量化材料。

(3) 充分利用材料本身，不会像焊接那样引起材料热形变，无公差问题。

(4) 高拉出力，高破坏扭矩以及好的抗震能力。

(5) 可作为临时连接，易拆除易修复，并且可用为标准螺纹孔。

(6) 可与胶同用，水、气密

性好。

3. LSW铝点焊

LSW (AL Spot Welding) 铝点焊，即铝合金板材搭接的电阻点焊，通过电极压紧板件，利用电阻热熔化金属，铝合金板材与钢板相比，由于有较高的比热容，电阻点焊时需要更多的热能进行加热，而其较高的导热性和高导电率，极易导致热量的快速流失，不易产生足够的电阻热来熔化板材，使得铝的电阻点焊比钢的电阻电焊困难。

为了解决铝点焊的上述问题，一般采用中频直流变压器，输出大电流或者增加电极带，提高接触电

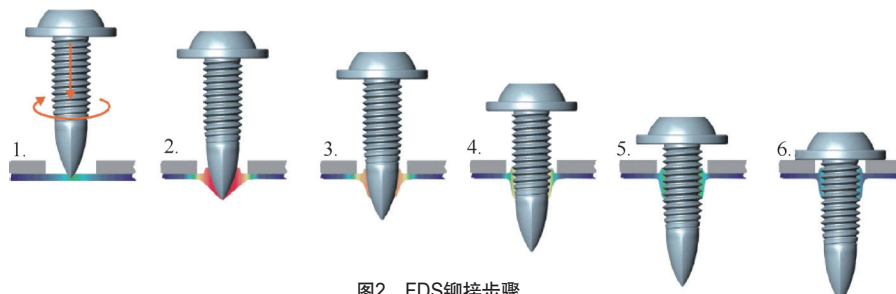


图2 FDS铆接步骤

阻来达到铝点焊的形成，铝电阻点焊焊接参数分3步骤组成：预热+焊接+多脉冲焊接。

(1) 预热。去除铝材表面杂质油污，保证板材接触良好，为电流上升作基础（电流较小）。

(2) 焊接。击穿铝材表面的氧化层，电流较大。

(3) 多脉冲焊接。电流更大，影响焊核尺寸大小。

4. 结构胶

结构胶Adhesive是以环氧树脂为基材的结构粘接剂，能够对钣金搭接起到增强作用，具有导电性，可点焊，能替代局部焊点，同时具有密封防水性能。可以用于钢连接、铝连接以及钢铝等异种金属的连接，对于传统车身主要用于外板件和外板加强件之间的刚度加强和密封连接，铝车身则应用于整个白车身的强度提升。

结构胶对不同工艺的强度影响

为了研究结构胶对不同工艺的影响，根据公司现有铝车身车型，

选择了六组不同材料、不同厚度的板件的搭接方式，见表1。在相同环境温度下，分别用FDS、SPR、LSW三种连接工艺进行搭接实验，通过力学设备，参数见表2，分别对搭接的板件进行无胶及有胶的剪切与剥落实验。

表1 实验材料及组别

组别	PART1		PART2		PART3	
	材料	板厚/mm	材料	板厚/mm	材料	板厚/mm
1	6111	1.5	6K21-BR	1	6K21-BR	2.5
2	6K21-BR	2.5	6K21-BR	1	6K21-BR	2.5
3	E170	0.9	6111	2	—	—
4	S600	1.5	S600	2	—	—
5	6111	3	6082-T6	3.5	—	—
6	6111	3	SF36-T6	3	—	—

表2 力学试验设备参数

品牌	中路昌
型号	WDW-50M
试验力测量精度	±0.5%
试验速度/mm·min ⁻¹	10

1. 实验工艺参数

(1) SPR工艺参数。实验工艺参数，根据车体生产线的工艺参数和实验室验证结果确定，SPR工艺参数具体见表3。

(2) FDS工艺参数。实验工艺参数，根据车体生产线的工艺参数和实验室验证结果确定，FDS工艺参数具体见表4。

(3) LSW工艺参数 实验工艺参数，根据车体生产线的工艺参数和实验室验证结果确定，LSW工艺参数具体见表5。

2. 实验数据

6111/1.5+6K21/1+6K21/2.5搭接组合在无胶及有胶情况下的剪切与剥落

表3 SPR工艺参数

组别	PART1		PART2		PART3		铆钉/铆模			铆接参数		
	材料	板厚/mm	材料	板厚/mm	材料	板厚/mm	铆钉尺寸 (mm×mm)	铆模型号	铆模类型	头高设置	初始速度 /mm·s ⁻¹	铆接速度 /mm·s ⁻¹
1	6111	1.5	6K21-BR	1	6K21-BR	2.5	φ 5.3×7.0—H4	M260 416	平	0	13	100
2	6K21-BR	2.5	6K21-BR	1	6K21-BR	2.5	φ 5.3×7.5—H6	M260 416	平	0	13	100
3	E170	0.9	6111	2	—	—	φ 5.3×7.5—H6	M260 401	平	0	13	100
4	S600	1.5	S600	2	—	—	φ 5.3×7.5—H6	M260 426	平	0	13	100
5	6111	3	6082-T6	3.5	—	—	φ 5.3×7.0—H4	M260 425	平	0	13	100
6	6111	3	SF36-T6	3	—	—	φ 5.3×7.0—H4	M260 425	平	0	13	100

表4 FDS工艺参数

组别	PART1		PART2		PART3		螺钉		螺钉参数/mm·s ⁻¹		
	材料	板厚/mm	材料	板厚/mm	材料	板厚/mm	螺钉尺寸	螺钉型号	钻孔速度	攻丝速度	拧紧速度
1	6111	1.5	6K21-BR	1	6K21-BR	2.5	M5×22	4703	8 000	2 000	250
2	6K21-BR	2.5	6K21-BR	1	6K21-BR	2.5	M5×22	4703	8 000	2 000	250
3	E170	0.9	6111	2	—	—	M5×22	4703	8 000	2 000	250
4	S600	1.5	S600	2	—	—	M5×22	4703	8 000	2 000	250
5	6111	3	6082-T6	3.5	—	—	M5×22	4703	8 000	2 000	250
6	6111	3	SF36-T6	3	—	—	M5×22	4703	8 000	2 000	250

表5 LSW工艺参数

组别	PART1		PART2		PART3		焊接参数						
	材料	板厚/mm	材料	板厚/mm	材料	板厚/mm	焊接压力/kN	预压时间/ms	预热电流/kA	预热时间/ms	焊接电流/kA	焊接时间/ms	维持时间/ms
1	6111	1.5	6K21-BR	1	6K21-BR	2.5	6.2	500	16	120	40	160	500
2	6K21-BR	2.5	6K21-BR	1	6K21-BR	2.5	6.2	500	16	120	40	160	500
3	E170	0.9	6111	2	—	—	5	1 000	15	160	36	120	800
4	S600	1.5	S600	2	—	—	5	1 000	15	160	36	120	800
5	6111	3	6082-T6	3.5	—	—	6.2	500	16	120	40	160	500
6	6111	3	SF36-T6	3	—	—	6.2	500	16	120	40	160	500

实验图片如图3所示。

表 6 数据是 6 组搭接每组试片 5 组后的平均值，6K21/2.5+6K21/1+6K21/2.5搭接没有铝点焊数据，是因为试验在环境温度15℃以下完成，带胶板件出现

了无法焊接的问题，6111/3+SF36/3没有剥离数据，因为铸件脆性大，无法进行剥离试验。

3.实验结论

从实验数据分析可知：

（1）结构胶显著提升连接点剪切力学性能，其中FDS连接点平均提升123%，SPR连接点平均提高286%，LSW连接点平均提升390%。

（2）结构显著提升连接点

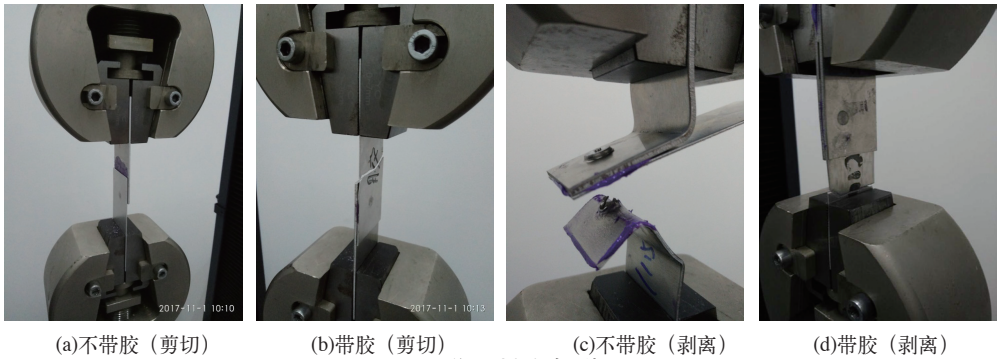


图3 剪切剥离实验图片

表6 SPR/FDS/SWD搭接实验结果对比 (单位: kN)

试验类型 搭接方式	带胶剪切力			无胶剪切力			带胶剥离力			无胶剥离力		
	FDS	SPR	LSW	FDS	SPR	LSW	FDS	SPR	LSW	FDS	SPR	LSW
6111/1.5+6K21/1+6K21/2.5	12.99	12.64	13.22	5.37	4.75	6.11	1.48	2.88	1.29	1.8	1.2	0.69
6K21/2.5+6K21/1+6K21/2.5	12.92	12.8		4.56	6.25	5.84	3.3	3.14	—	1.92	2.61	0.81
E170/0.9+6111/2	9.24	9.06	9.33	3.56	2.37	0.8	0.86	0.69	0.59	0.98	0.7	0.28
S600/1.5+S600/2	15.47	18.13	17.4	6.96	4.55	5.36	1.05	1.67	1.13	1.16	1	0.6
6111/3+6082/3.5	17.51	32.36	33.16	10.81	11.85	6.99	4.95	2.06	2.96	4.41	2.94	2.24
6111/3+SF36/3	8.92	24.7	27.99	9.1	8.26	5.99	—	—	—	—	—	—

的剥落力学性能，但相比剪切力较低，其中FDS连接点平均提升113%，SPR连接点平均提高123%，LSW连接点平均提高161%。

(3) 结构胶的加入，不同连接方式的连接强度都得到了很大的提高，有胶时，LSW提升最明显，其次SPR，最后FDS；无胶时FDS的连接强度且稳定性最好，SPR次之，LSW最小。

温度对不同工艺带胶的强度影响

结构胶对温度很敏感，而车间四季环境温度差距大，如果各种搭接方式带胶，在不同温度变化下，力学性能差距大，将对车身强度有

很大影响，为了验证温度对力学性能的影响，设计如下实验：

(1) 5℃、15℃、30℃三种温度下涂结构胶，在6111_3+6111_3、E170_0.9+6111_1.5+6111_2两种搭接组合下，SPR铆接的力学性能对比。包括剪切力剪切和拉伸力拉伸。

(2) 15℃、30℃两种温度下涂结构胶(5℃下带胶无法焊接)，SWD铝点焊的力学性能对比(搭接方式同上)，包括剪切力剪切和拉伸力拉伸。

(3) 5℃、15℃、30℃三种温度下涂结构胶，FDS自攻丝螺钉力学性能对比(搭接方式同上)，包括剪切力剪切。

1.温度对SPR的影响

2组搭接每组温度5组试片，试验结果见表7。

从数据来看：

(1) 6111_3+6111_3剪切力值剪切力要明显高于拉伸力值拉伸力。

(2) 拉伸力值Peel的稳定性要明显高于剪切力值剪切力。

(3) 剪切力均值比较：Shear15℃>Shear5℃>Shear30℃；剪切力的稳定性比较：Shear5℃>Shear30℃>Shear15℃；拉伸力均值比较：Shear15℃≈Shear30℃>Shear5℃；拉伸力稳定性比较：Shear30℃>Shear15℃>Shear5℃。

从均值来看：

表7 不同温度下SPR的力学性能 (单位: kN)

力学 温度/℃	6111_3+6111_3				E170_0.9+6111_1.5+6111_2			
	剪切力		拉伸力		剪切力		拉伸力	
	平均值	均方差	平均值	均方差	平均值	均方差	平均值	均方差
5°	23.536	1.170463	2.58	0.370621	24.1	2.5	2.15	2.45
15°	23.72	3.292713	3.502	0.29226	26.84	3.4	3.74	3.43
30°	22.608	2.894197	3.506	0.210295	26.07	3.17	3.55	3.47

(1) 从均值来看：剪切力相差最大在1.11kN，约占4.6%；拉伸力相差最大在0.9kN，约占25.7%。

(2) E170_0.9+6111_1.5+6111_21. 剪切力值剪切力要明显高于拉伸力值拉伸力；拉伸力值拉伸力的稳定性要明显高于剪切力值剪切力。

(3) 剪切力均值比较： $\text{Shear}15^{\circ}\text{C} > \text{Shear}5^{\circ}\text{C} > \text{Shear}30^{\circ}\text{C}$ ；剪切力的稳定性比较： $\text{Shear}5^{\circ}\text{C} > \text{Shear}30^{\circ}\text{C} > \text{Shear}15^{\circ}\text{C}$ ；拉伸力均值比较： $\text{Shear}15^{\circ}\text{C} \approx \text{Shear}30^{\circ}\text{C} > \text{Shear}5^{\circ}\text{C}$ ；拉伸力稳定性比较： $\text{Shear}30^{\circ}\text{C} > \text{Shear}15^{\circ}\text{C} > \text{Shear}5^{\circ}\text{C}$ 。

2. 温度对FDS的影响

2组搭接每组温度5组试片，试验结果见表8，FDS只做了剪切剪切力的比较。

表8 不同温度下FDS的力学性能 (单位: kN)

搭接组合	6111_3+6111_3		E170_0.9+6111_1.5+6111_2	
力学 温度/ $^{\circ}\text{C}$	剪切力		剪切力	
	平均值	均方差	平均值	均方差
5	15.99	0.89	9.54	0.05
15	12.95	0.99	9.47	0.18
30	13.56	1.41	9.63	0.12

两层板剪切力测试均为胶失效，均值比较： $5^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C} > 15^{\circ}\text{C}$ ；稳定性比较： $5^{\circ}\text{C} > 15^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}$ ；各温度下，剪切力均值相差最大为3.04kN，约占20%。三层板剪切力测试均为最薄板（e170-0.9mm）拉断，数据很稳定。温度基本无影响。

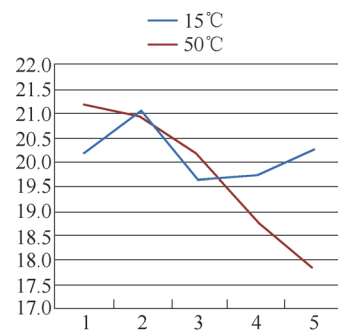
3. 温度对LSW的影响

2组搭接每组温度5组试片，试验结果见表9，如图4和图5所示。

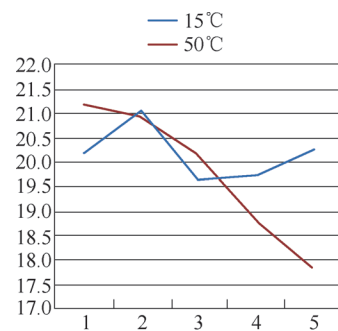
表9 不同温度下LSW的力学性能 (单位: kN)

搭接组合	6111_3+6111_3				E170_0.9+6111_1.5+6111_2			
力学 温度/ $^{\circ}\text{C}$	剪切力		拉伸力		剪切力		拉伸力	
	平均值	均方差	平均值	均方差	平均值	均方差	平均值	均方差
15	20.17	0.505	1.67	0.12	29.51	1.08	1.49	0.15
30	19.76	1.29	1.7	0.11	27.32	3.25	1.67	0.22

LSW在 15° 以下容易炸枪或焊接困难，故此实验没有设置 5°C 方案。从数据看，6111_3+6111_3，剪切力值比较： 15°C 时均值略高于 30°C （0.41kN），其稳定性要明显高于 30°C ；拉伸力值比较， 15°C 时均值略小

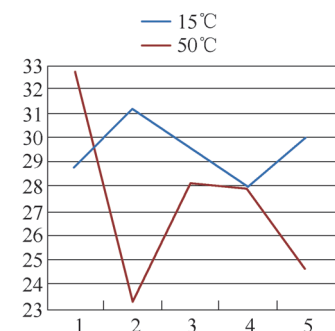


(a) 各温度下剪切力值 (5组)

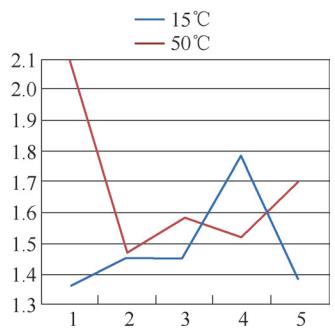


(b) 各温度下拉伸力值 (5组)

图4 6111_3+6111_3不同温度下LSW力学性能示意



(a) 各温度下剪切力值 (5组)



(b) 各温度下拉伸力值 (5组)

图5 E170_0.9+6111_1.5+6111_2不同温度下LSW力学性能示意

于 30°C ，其稳定性和 30°C 无明显差异。E170_0.9+6111_1.5+6111_2，

剪切力值比较, 15℃时均值高于30℃(2.19kN), 其稳定性要明显高于30℃; 拉伸力值比较, 15℃时均值要小于30℃(0.18kN), 其稳定性要略高于30℃。

4. 实验结论

从实验数据分析可知:

(1) 温度的变化对力学性能

的影响并没有统一的趋势。

(2) 搭接关系对力学性能的影响也没有规律可循。

结语

轻量化目前在汽车市场内已达成的共识, 在众多轻质材料中, 铝合金的优势比较明显, “铝代钢”势在必行, 铝合金在车身上的应用

主要有三种形态, 铝合金冲压件、铝合金铸件以及铝合金型材, 车身不同的部位会采用不同性能的铝合金材料以及不同的连接技术, 研究铝合金连接技术, 才能更好的推动铝合金在车身上的应用, 为汽车的创新设计提供更多的可行性。

AUTO1950

汽车工艺师 2019年 第9期 广告目次 Advertisement Catalogue

单位名称	查询编号	位置
汽车工艺师		封面
磨致机械(上海)有限公司	0087	封二
易格斯拖链轴承仓储贸易(上海)有限公司	1298	封三
雄克精密机械贸易(上海)有限公司	0055	封底
株洲欧科亿硬质合金有限公司	7125	1
2019年亚洲国际动力传动与控制技术展览会(PTC ASIA 2019)	8146	2
尚亚(上海)国际贸易有限公司	5121	3
第8届CTI中国论坛暨展会	7099	4