浅谈汽车白车身FDS连接工艺技术要求

张逸，仝辉，王知，邵金金
奇瑞汽车股份有限公司　安徽芜湖　241001

摘要：随着汽车工业的发展，既要能够节能、减排、减重，又要解决它的可修复性及后期维护的成本，使得“钢铝混合车身”成为了未来发展的趋势。但同时因为铝的热膨胀系数约是钢的2倍，导热系数约是钢的3倍，而点焊作为热焊接工艺，对钢铝混合车身焊接实现难度很大。因此，铆接技术成为钢铝混合车身的重要连接技术。目前主要应用的铆接技术有自穿刺铆接（SPR）、流钻螺钉（FDS）、无铆钉铆接（Clinch）等，主要介绍了流钻螺钉（FDS）连接的工艺技术要求。

关键词：FDS；白车身；质量

FDS是通过高速旋转使板料热变形后攻丝连接的冷成形工艺，广泛应用在超高强钢、铝镁合金、复合材料在内的异种材料，尤其是针对封闭型腔结构，可单面作业。因此，FDS连接工艺在轻量化车身中得到广泛的应用。

FDS工艺流程

如图1所示，FDS连接工艺步骤如下：

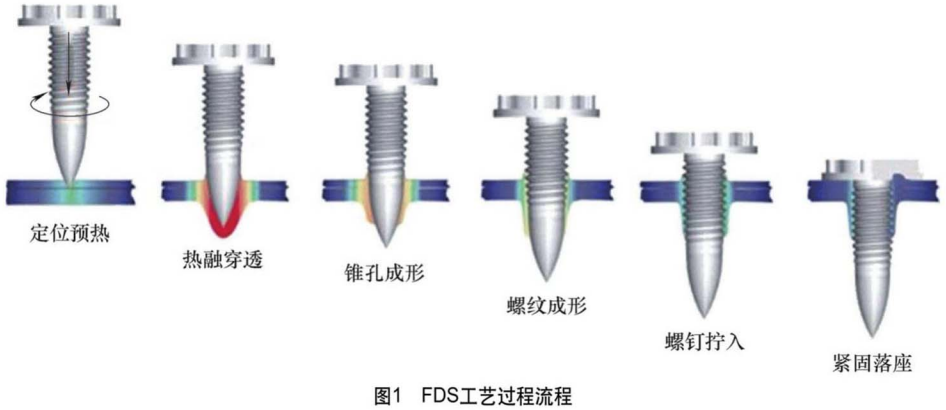


图1　FDS工艺过程流程

万方数据

1）定位预热：螺钉低转速，低压力与板材表面接触。

2）热融穿透：板件在螺钉高速度、高压力作用下产生塑性变形。

3）锥孔成形：螺钉在板材上钻出圆柱形通孔。

4）螺纹成形：板件被连接螺钉钻破，转速及压力降低，使螺钉可以在孔内形成螺纹。

5）螺钉拧入：低转速及低压力螺钉拧入。

6）紧固落座：板材冷却并与螺钉紧密啮合，形成一个气密性及水密性极高的连接。

常见连接螺钉有内梅花型和外梅花型两种螺钉，见表1。

表1　FDS螺钉种类

名称	驱动方式
蘑菇头状内梅花型螺钉	内驱动
外梅花型螺钉	外驱动

产品结构需求

1.FDS连接板材组合及预开孔要求

FDS连接板材组合通常为2层或3层板材，不推荐使用4层板材或者盲孔预开孔，常见板材搭接组合如图2所示。

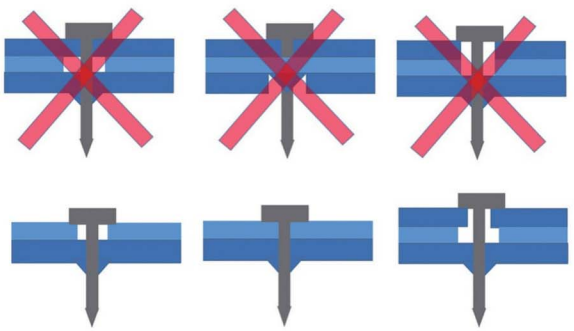


图2　板料搭接示意

上层材料有强度＞500MPa的高强钢且厚度＞1.5mm或者上层材料是厚度较大的铸件时，要求除底层板以外的母材都需要预开孔。预开孔要求（适用于M5×22螺钉）如图3所示。

2层的FDS连接上层材料开直径8mm的过孔；3层的FDS连接上层材料开直径8mm的过孔；3层的FDS 连接中层材料开11mm直径的过孔；FDS连接底层材料不开孔；总厚度超过要求，或者4层板连接，需要首层板开沉台孔，直径为15mm。

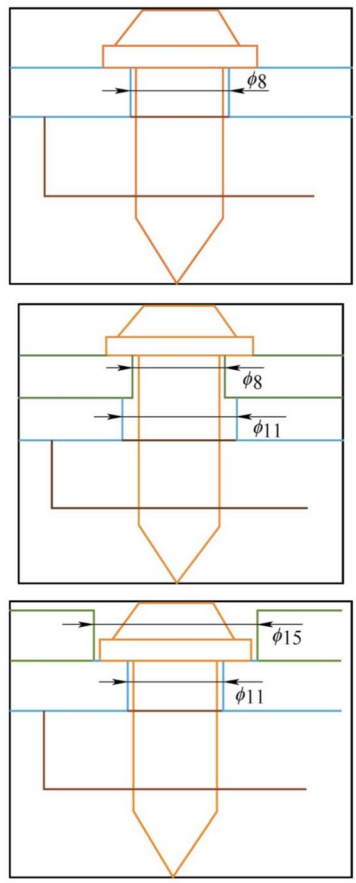
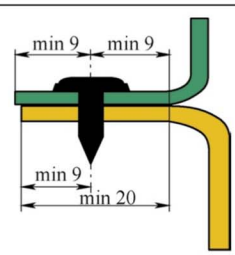
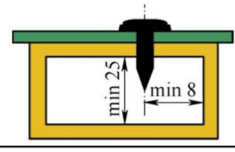


图3　预开孔要求示意

2.FDS对有效搭接边和点距的要求

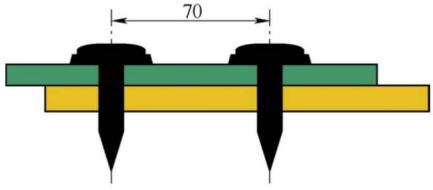
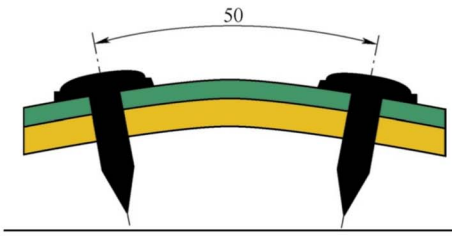
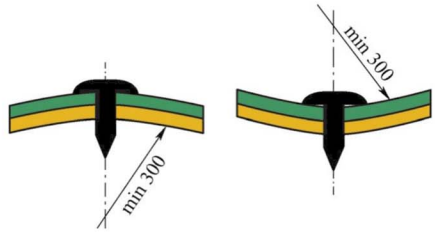
根据不同的产品截面，FDS对有效搭接边的需求见表2。根据不同的产品截面，FDS对点距的需求见表3。

表2　FDS对搭接边的需求

搭接状态	要求
	钉子中心到R角的距离：≥9mm
	钉子中心到腔体内边的距离：≥8mm

万方数据

表3　FDS对点距的需求

搭接状态	要求	备注
	平面连接建议间距：70mm 最大点距：≤80mm	FDS的连接面原则上是平面，如果必须是曲面，则需要曲面半径≥300mm
	曲面连接建议间距：50mm 最小点距：≥30mm	

3.FDS的涂胶要求

为增强连接强度，FDS一般配合结构胶使用，对于钢铝连接的情况，为防止接触腐蚀，必须涂结构胶。对于有预开孔的连接点，为防止胶从孔挤出，一般要求从孔的边缘到胶的边缘留最少8mm的间隙（见图4），无预开孔的连接点不做此要求。

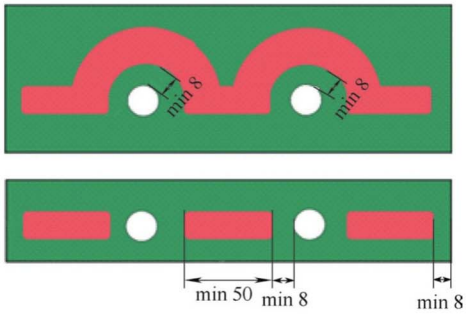
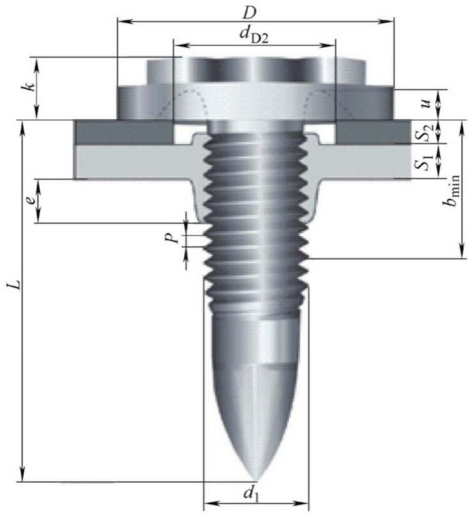


图4　FDS涂胶要求示意

FDS连接基本尺寸

FDS连接螺钉及构件的基本尺寸，如图5所示。FDS螺钉有效螺纹长度基于连接板材厚度确定，有预开孔b_{min}=S_2+2S1，无预开孔b_{min}=S_2+3S_1，螺钉总长与有效螺纹长度参考尺寸详见表4。

当计算的有效螺纹长度介于两标准值之间时，选择较大有效螺纹长度作为基准。FDS螺钉连接板材厚度基于板材种类，通常FDS螺钉可连接钢板厚度为S_1=0.8～1.8mm，FDS螺钉可连接铝材厚度为S_1=2.0～5.0mm。



图示说明	
螺钉	
D	螺钉头部直径
k	头总高
u	头下凹槽深度
d_1	螺钉公称直径
b_{min}	有效螺纹长度
L	螺钉总长
构件	
S_1	穿入件厚度
S_2	第2层板材厚度
S_3	第3层板材厚度
d_{D2}	第2层板材开孔直径
d_{D3}	第3层板材开孔直径
e	翻边高度(变形区)

图5　FDS螺钉示意

万方数据

表4 FDS螺钉总长与有效螺纹长度参考尺寸（单位：mm）

螺钉总长	有效螺纹长度b_{min}	
	M4	M5
12	3.10	
14	5.10	2.90
16	7.10	4.90
18	9.10	6.90
20	11.10	8.90
25	16.10	13.90
30		18.90

连接质量及检验要求

1.非破坏性检查及质量要求

非破坏性检查在不破坏产品性能的前提下进行FDS连接的工艺可行性检查，通常可分为线下和线上检查，检查方法可采用目视、塞尺、触摸或扭矩扳手等。外观缺陷及判定标准见表5，FDS螺钉静态扭矩检查要求见表6。

表5 外观检查缺陷及判定

缺陷类型	缺陷判定
漏钉或位置偏移	1）位置度≥10mm 2）漏钉
头下间隙大	螺钉头部下端面与顶层板无接触，且间隙 >0.3mm
偏心螺接	预开孔没有被螺栓头端面覆盖
螺钉不垂直于搭接板料平面	螺钉头部下端面与顶层板非完全接触，一 边最大间隙超过0.3mm
涂胶溢出	螺钉头部有胶体溢出
螺钉头部脱落	螺钉头部脱落
底层为非铸造 件，变形区撕裂（可视区域）	变形区靠近基材50%区域内出现撕裂或裂纹
底层为铸造件 流动变形区撕裂（可视区域）	变形区靠近基材30%区域内出现撕裂或者裂纹

表6 静态扭矩检查及判定

FDS螺钉规格	M4	M5
静态扭矩/ N·m	2.5	5

2.破坏性检查及质量要求

FDS破坏性检查及质量判定要求见表7。

表7 静态扭矩检查及判定

试验类型	缺陷描述
金相实验	螺钉头部下端面与顶层板无接触，且间隙＞0.3mm
金相实验	有预开孔连接，搭接板件间隙不得≥0.5mm 无预开孔板件板件层间隙延伸不得超过螺钉头部3mm以上位置，且板件与板件间的层间隙不得＞1mm
金相实验	螺钉头部应当垂直于搭接板料平面5° 以 内或单侧最大间隙≤0.3mm
金相实验	螺钉与板件连接未产生成形螺纹
金相实验	螺钉与板料啮合区域不可出现滑丝（滑牙），且下层板材料流入到螺纹的深度不得小于螺纹高度的50%，啮合螺纹深度面积总和不能低于螺纹深度面积总和的80% 啮合螺纹面积：$G_t=（G_{tl}+G_{tr}）/2$
金相实验	螺钉不得接触预孔或盲孔的边缘。
金相实验	螺纹的数量P取决于安装部分t_2的厚度，如： t_2=2.4mm，P=2 t_2=2.5mm，P=2 t_2=2.6mm，P=3 t_2=3.0mm，P=3

3.FDS连接质量控制计划

FDS连接质量检查频次要求见表8。

表8 质量检测频次要求

检查方法	检查位置	检查频次		
		PT/OT	PVS/ VFF /0S	SOP后
外观检查	人工检查位	100%	100%	100%
扭矩检查	人工检查位	100%	1次/5台	1次/班
金相实验	剖检室	不低于1次	不低于1次	月产量≤5000台，1次/季度；10000≥ 月产量＞5000台，1次/2月；月产量＞ 10000台，1次/月

FDS连接返修要求

FDS原始连接位置进行返修操作步骤见表9。

FDS连接返修对应铆钉规格见表10。建议选择FDS连接原位置直径60mm范围内的平面，连接点位置材料组合需与原连接点材料组合相同，见表11。

万方数据

表9 原位置返修操作步骤

序号	操作步骤	操作内容	工具
1	手动松脱螺钉	使用工具手动松脱FDS螺纹	返修套筒、棘轮扳手或无线定扭螺钉旋具
2	钻孔	钻孔并清理碎片及毛刺	钻头直径7.3mm（M5 螺钉为例）
3	铆接	使用铆接枪进行拉铆，确保铆钉头与钣金法兰接触良好后进行拉铆	空心铆钉连接气动铆枪
4	检查	1）铆接翻边均匀且与通孔同心 2）铆钉固定后终端不转动 3）翻边与底层基材有360°全面接触 4）基材无损伤迹象 5）如果抽芯铆钉返修失败，则取出抽芯铆钉再返修	

表10 FDS连接返修对应铆钉规格 （单位：mm）

FDS规格	名称/规格	适用板厚	开孔直径
M4	全铁马头铆钉 6.4×10.5	2.0～4.5	6.6（0，+0.4）
	全铁马头铆钉 6.4×12.5	3.0～6.5	6.6（0，+0.4）
M5	全铁马头铆钉 6.4×12.5	3.0～6.5	6.6（0，+0.4）

表11 其他连接位置返修步骤

序号	操作步骤	操作内容	工具
1	选预开孔位置并清洁	选择原FDS开孔附件平整位置并进行表面清洁	角磨机
2	冲孔	使用电钻进行冲孔	锤子、冲头等
3	预钻	在冲孔位置使用使用4.1mm麻花钻预钻孔并进行表面清洁	钻头直径7.3mm（M5 螺栓为例）
4	铆接	使用铆接枪在确保铆钉头与钣金法兰接触良好后进行拉铆	铆钉安装工具XT3气动铆枪

结语

随着轻量化车身的转型，钢铝连接车身的应用越来越广泛，对于白车身上特殊结构的连接，既想拥有足够的焊接强度又想要有合格的外观质量， FDS连接工艺有着较大的优势，相信在今后也会有着越来越广泛的应用。 AUTO1950

（上接第34页）

shaft[J]. Journal of Sound & Vibration， 2012，331（26）：5803-5823.

[4] Fuentes-Aznar A，Gonzalez-Perez I. Mathematical definition and computerized modeling of spherical involute and octoidal bevel gears generated by crown gear [J]. Mechanism & Machine Theory，2016，106：94-114.

[5] LIU H，ZHANG C， XIANG C L，et al. Tooth profile modification based on lateral- torsional-rocking coupled nonlinear dynamic model of gear system[J]. Mechanism & Machine Theory，2016，105：606-619.

[6] LIN T，HE Z. Analytical method for coupled transmission error of helical gear system with machining errors，assembly errors and tooth modifications[J]. Mechanical Systems & Signal Processing,，2017，91：167-182.

[7] 文贵华，等.一种多压力角双接触齿轮设计与制造工艺研究[J].机械设计，2021，38（8）：104-109.

[8] 文贵华，等.一种双接触滚齿刀[P]. 湖南：CN202639547U，2013-01-02.

[9] 潘晓东，文贵华. 齿轮及齿轮组[P]. 湖南：CN103883707B，2016-05-11.

[10]文贵华，等. 一种双接触齿轮旋动干涉量的计算方法[P]. 湖南：CN102691773B，2014-09-03.

[11]明兴祖，王红阳，金磊，等.面齿轮高速铣削表面粗糙度建模与实验分析[J].组合机床与自动化加工技术，2020，551（1）：6-9，13. AUTO1950

万方数据