

无铆连接工艺在商用车油箱箍带的应用研究

姚庆泰¹, 韩秋生¹, 王子国¹, 张贵华¹, 白明¹, 王学双¹, 徐长久²

1. 一汽解放汽车有限公司 吉林长春 130011

2. 苏州托克斯冲压设备有限公司 江苏太仓 215400

摘要: 基于汽车轻量化材料及工艺技术研究不断深入,为满足汽车制造过程中特殊结构、轻质材料连接等场景的连接需求,机械连接工艺被广泛应用。商用车油箱箍带传统采用电阻点焊工艺进行连接,但由于热输入及焊点压痕等因素影响,在承载过程中易沿焊点发生失效。无铆连接工艺具有高动态连接强度,可提升疲劳寿命的同时降低制造成本。结合CAE仿真、工艺试验及验证研究了无铆连接工艺在商用车油箱箍带的应用可行性。

关键词: 轻量化; 汽车制造; 无铆连接; 油箱箍带

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.03.009

随着全球汽车工业的快速发展,汽车制造领域在节能减排趋势的引领下,轻质材料的使用比例大幅提升,对现有的连接工艺也提出了更高的要求 and 巨大的挑战^[1]。奥迪A8的车身用材铝合金占比58%^[2],引入了自冲铆接、无铆连接、热熔自攻丝铆接以及摩擦塞铆焊等连接工艺以满足特殊结构、钢铝连接等场景的连接需求。轻量化的结构设计、工艺及材料技术正逐步由乘用车领域向商用车领域拓展及应用。

由于商用车的结构设计、服役条件、安全性要求等均与乘用车存在较大差异^[3],商用车的轻量化材料及连接工艺应用相对滞后。近年来,SCANIA、MAN及VOLVO等国际一线商用车品牌已开始加大高强钢、铝

合金材料的应用比例^[4],汽车制造工艺也引入了激光钎焊、热熔自攻丝铆接、无铆连接等工艺,国内商用车制造厂商在高强钢材料占比、先进连接工艺应用方面仍存在较大差距。

先进连接工艺中,无铆连接工艺过程简单,无需连接介质和加热,即可实现可塑性薄板的同种材料、异种材料的不可拆卸式连接^[5],连接成本约为电阻点焊的40%~70%,动态连接强度明显优于点焊,且连接过程无热量输入。无铆连接工艺过程主要包括以下六个阶段^[6]:定位、初压入、挤压、形成上轮廓、形成凸环、形成连接点,如图1所示。

商用车油箱箍带传统采用电阻点焊工艺连接,由

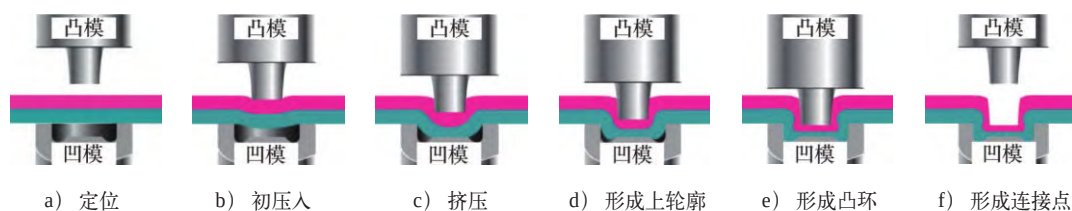


图1 无铆连接工艺过程示意

于焊接热输入及压痕等因素的影响，在承受交变载荷时易沿焊点边缘发生开裂。本文通过CAE仿真分析、无铆连接工艺试验、实件铆接及验证试验相结合的方式，探究了无铆连接工艺在商用车油箱箍带应用的可行性，为无铆连接的拓展应用提供实践经验借鉴及支撑。

试验条件及方法

连接CAE仿真分析采用Simufact 2023软件，试板材料参照某商用车油箱箍带用材进行选择，本文选取的材料牌号为St52，板厚为2.0mm，板材化学成分见表1，板材力学性能见表2。

表1 板材化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S
≤0.20	≤0.50	≤1.50	≤0.03	≤0.02

表2 板材力学性能

抗拉强度 / MPa	规定塑性延伸强度 / MPa	断后伸长率 (%)
600	350	27

接头形式为搭接结构，在搭接面上进行无铆连接。

连接工艺试验采用的铆接设备为托克斯CEU 015，配备LVDT & IPC 及附加导向装置，可以显示并监控力和位移曲线，保证连接质量监控及追溯。连接过程保证待连接板材完全贴合，接合区域无缝隙。连接接头微观形貌采用Olympus SZX16体式显微镜进行观察，无铆连接接头测量示意图如图2所示，其中 t_u 、 t_b 分别为上板板厚和下板板厚， t_n 为上板颈部厚度， f 为互锁值， t_l 为剩余底厚， t_{ul} 、 t_{bl} 分别为上板剩余底厚、下板剩余底

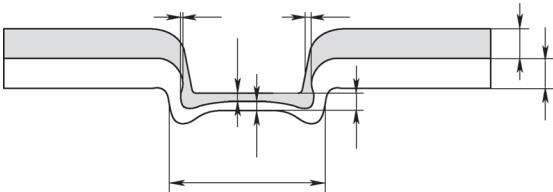


图2 无铆连接接头测量示意

厚， r_d 为铆接点径。

箍带实件铆接尺寸、涂装工艺条件与现生产一致，采用电动振动台并依据GB18296-2019标准进行箍带可靠性验证，试验要求见表3。

表3 可靠性试验要求

振动加速度 / $m \cdot s^{-2}$	振动频率 / Hz	振动时间 / h			装水量
		上下	左右	前后	
30	30	2	2	2	额定容量的50%

试验结果及分析

1.连接CAE仿真

采用连接CAE仿真可对凸模、凹模、铆接工艺等方案的筛选进行虚拟验证，大大减少试验数量，提升工艺方案确定及优化效率。由于无铆连接接头具有轴对称特性，采用二维模拟代替三维模拟可在保证仿真精度的同时，大大缩减仿真时间，单个工艺方案仿真时长约为5min，且在成形过程中板材网格不断重新划分以保证网格质量，各阶段仿真结果如图3所示。

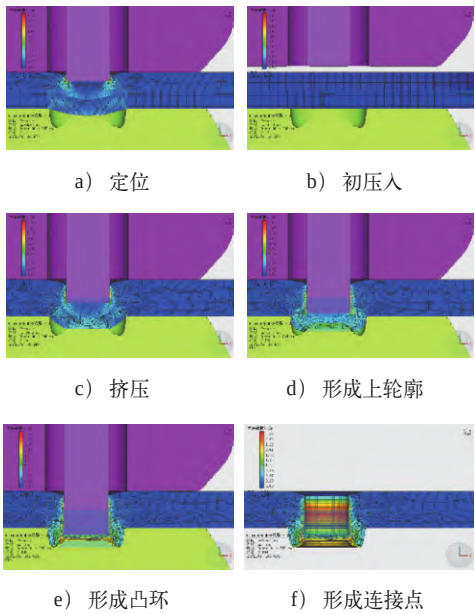


图3 无铆连接仿真结果

仿真结果表明，当铆接点径为8mm，剩余底厚为1.0mm，压装力为50kN时，无铆连接接头成形良好，最大等效塑性应变约为3.03mm，无板材开裂风险，连接接头的互锁值可达0.30mm左右，上板颈部厚度约为0.35mm，满足工艺设计要求。与实际铆接接头剖面进行比对可见，仿真结果与实际接头拟合良好，连接仿真与实际铆接对比如图4所示。

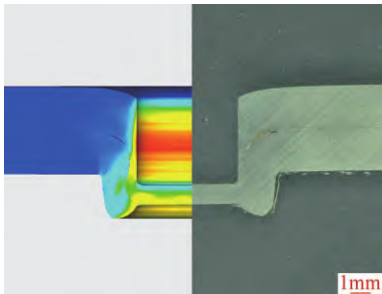


图4 连接仿真与实际铆接对比图

2. 连接工艺试验

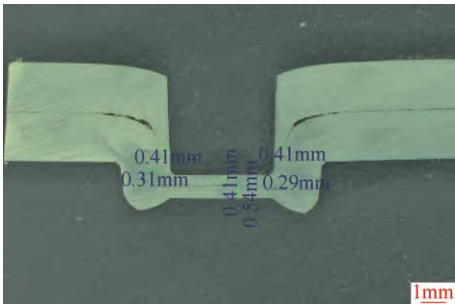
连接工艺试验采用CAE仿真选取的铆模和工艺为基础开展，最终确定压装力为53.16kN，采用某商用车现生产材料进行成形及无铆连接，原连接方案为电阻点焊，共6个焊点，呈3+3分布，本试验采用与现生产相同的连接点数，3+3布置6个铆接点，铆接获得的油箱箍带及铆接接头外观形貌如图5所示。铆接圆点成形外观良好，无宏观裂纹、划伤等外观缺欠，母材紧密贴合，连接接头附近无较大压痕。

对同一参数铆接获得的连接接头随机抽取4点进行试样制备及磨抛处理，无铆连接接头微观形貌如图6所示，测量获得的接头铆接尺寸见表4。对比发现，各剖面的铆接尺寸相差不大，无铆连接的内在质量一致性

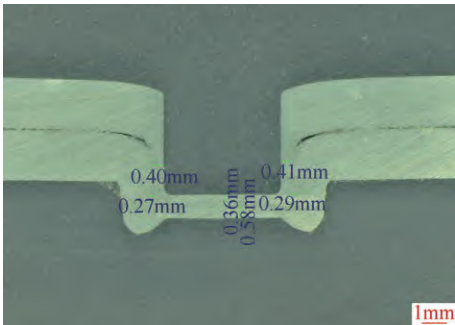


图5 无铆连接箍带及接头外观形貌

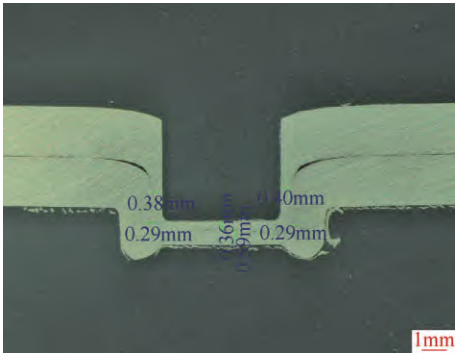
较好，上板颈部厚度 (t_n) 约为0.40mm，互锁值 (f) 约为0.29mm，上板剩余底厚 (t_{ul}) 约为0.38mm，下板剩余底厚 (t_{bl}) 约为0.57mm，上板与下板互锁紧密，无裂纹、板材穿透等微观铆接缺欠。



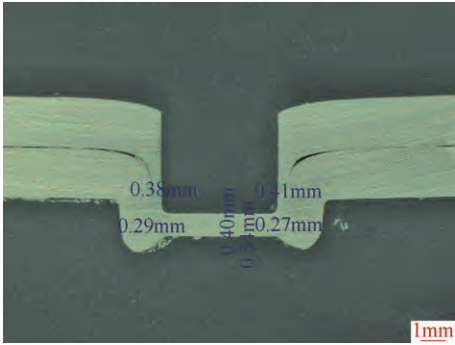
a) 1#



b) 2#



c) 3#



d) 4#

图6 无铆连接接头微观形貌

表4 铆接接头微观尺寸 (单位: mm)

	1#接头	2#接头	3#接头	4#接头
上板颈部厚度 (t_n)	0.41	0.40	0.39	0.40
互锁值 (f)	0.30	0.28	0.29	0.28
上板剩余底厚 (t_{ul})	0.41	0.36	0.36	0.40
下板剩余底厚 (t_{ul})	0.54	0.58	0.59	0.54

采用铆接拉伸试板的方式对无铆连接接头的力学性能进行试验, 无铆连接接头的拉剪强度约为4.33kN, 十字拉伸强度约为3.36kN, 连接接头拉剪失效模式为铆扣剪切失效, 未发生铆扣脱出现象, 失效接头形貌如图7所示。无铆连接接头的连接强度虽低于电阻点焊, 但满足油箱箍带对连接点的静态强度要求。



图7 失效无铆连接接头形貌

3.验证试验

为探究无铆连接油箱箍带是否具备良好的涂装工艺性及动态承载能力, 按现生产工艺开展涂装验证试验, 参照GB18296-2019标准进行箍带振动试验验证。

(1) 涂装验证试验 经电泳、喷涂, 无铆连接油箱箍带形貌如图8所示。表面漆膜平整均匀, 在凸模侧无明显流痕, 整体无露底、针孔、缩孔等涂装缺欠。试验表明, 无铆连接接头具有良好的涂装工艺可行性, 表面漆面质量良好。

(2) 可靠性验证试验 采用无铆连接油箱箍带将燃油箱模拟装车形式固定在振动试验台上, 注入规定容量的水开展振动试验, 振动试验过程如图9所示。

经左右、前后、上下各2h的振动, 油箱箍带张紧状态良好, 无开裂现象, 且无铆连接点均未发生铆扣脱出或剪切失效现象。试验表明, 无铆连接接头具备足够的动态连接强度, 满足油箱箍带的产品设计要求。

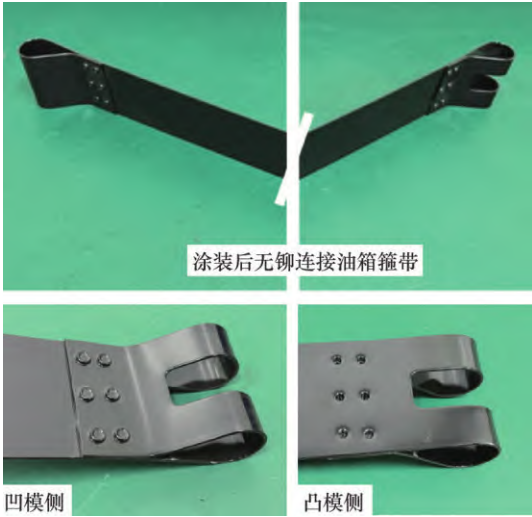


图8 无铆连接箍带涂装工艺验证

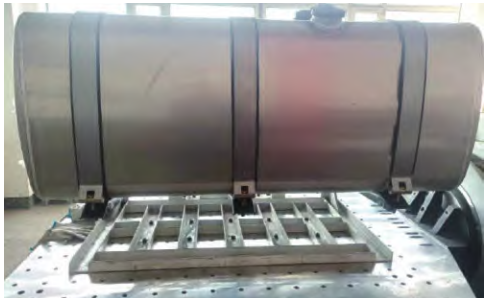


图9 油箱箍带振动试验

结语

(1) 连接工艺CAE仿真可对铆模选取、工艺优化、铆接接头成形进行虚拟验证和分析, 可有效减少试验数量, 降低人力、资源成本, 提高工艺方案优化效率, 为实际铆接基础模具、工艺参数选取提供高精度借鉴数据;

(2) 商用车油箱箍带采用无铆连接工艺代替电阻点焊, 可实现连接接头的冷连接, 经试验, 无铆连接工艺对2.0mm厚油箱箍带材料能实现可靠、一致的连接, 无宏观和微观连接质量缺欠, 铆接接头形成有效互锁, 接头拉剪强度约为4.33kN, 十字拉伸强度约为3.36kN, 接头拉剪失效模式为铆扣剪切失效, 满足油箱箍带对连接点的静态强度要求。

(3) 验证试验表明, 无铆连接箍带具有良好的涂装工艺可行性, 连接接头表面漆膜平整均匀; 标准振动试验后连接接头无失效现象, 无铆连接接头的动态连接强度满足产品服役要求。

(4) 基于以上连接工艺试验、涂装试验、可靠性 (下转第34页)

表1 某前纵梁轮罩总成生产线一个月报警信息统计表

	故障名称	寻帽失败	热熔穿孔起始压力不足	攻螺纹超时	拧紧超扭矩上限	拧紧超时	拧紧超上/下限	检测到负角度
改善前	故障次数	97	15	12	35	27	9	18
	故障停机时间/min	214	47	58	188	106	23	70
改善后	故障次数	46	12	11	14	11	3	7
	故障停机时间/min	107	30	50	72	42	10	26

参考文献:

[1] 赵广力, 王壮. 铝车身热熔自攻丝技术连接工艺浅析[J]. 汽车工艺师, 2020 (6) : 23-27.

[2] 张逸, 仝辉, 王知, 等. 浅谈汽车白车身FDS连接工艺技术要求[J]. 汽车工艺师, 2023 (6) : 35-39.

[3] 韩秋生, 姚庆泰, 王子国, 等. 汽车轻量化机械连接工艺技术研究[J]. 汽车工艺与材料, 2024 (9) : 7-11.

[4] 戚才人, 杨磊, 李磊, 等. 铝车身自动冷连接技术的柔性应用[J]. 汽车工艺与材料, 2023 (4) : 24-28.

[5] 刘蒙, 郭常梅. 浅谈连接技术在汽车轻量化上的应用[J]. 内燃机与配件, 2024 (8) : 115-117.

[6] 李成瑶, 余颖舜, 钟远婷, 等. 刍议汽车铝车身的主要连接技术[J]. 汽车维护与修理, 2024 (4) : 64-68.

[7] 于子秋. 汽车车身铝合金连接工艺研究[J]. 汽车工艺师, 2021 (5) : 59-64.

[8] 林巨广, 胡陈林, 徐群龙. 开孔与结构胶对热熔自攻丝接头连接质量的影响[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2022 (6) : 721-725.

[9] 王健强, 顾延巩, 高朗, 等. 结构胶对钢铝热融自攻丝工艺的影响研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019 (12) : 111-113.

[10] 林巨广, 段德宇, 顾延巩. 原始间隙对热熔自攻丝接头质量的影响[J]. 机床与液压, 2021 (8) : 38-41.

[11] 单顺俊, 卢丽琴, 王文志, 吴越, 陈佳佳. 一种针对预开孔的FDS对正装置[P]. ZL 2023 2 1296370.5. 2023-10-27. **AUTO1950**

(上接第30页)

试验的结果, 无铆连接工艺在油箱箍带连接场景下具有较好的应用可行性, 无铆连接可充分发挥其无热量输入、高动态连接强度的优势, 应对电阻点焊箍带疲劳开裂的问题。

参考文献:

[1] 张林阳. 全铝及钢-铝混合车身轻量化连接技术[J]. 汽车工艺与材料, 2018 (7) : 1-8, 14.

[2] 李文忠, 刘春柏等. 浅析大众和丰田铝件连接技术路线[J]. 汽车工艺与材料, 2023 (2) : 53-57.

[3] 孙然. 基于材料轻量化的商用汽车驾驶室CAE分析与建模[J]. 红河学院学报, 2021 (5) : 147-150.

[4] 王晓伟等. 轻量化材料在商用车驾驶室上的应用[J].

重型汽车, 2019 (1) : 31-33.

[5] 李永兵等. 轻量化薄壁结构点连接技术研究进展[J]. 机械工程学报, 2020 (6) : 125-146.

[6] 王子国, 蔡金生. 电阻点焊与TOX连接技术的对比试验[J]. 电焊机, 2010 (5) : 65-69. **AUTO1950**