铝合金SPR自穿钉在铝合金板材上的应用

□ 游侠汽车 / 陈明洁

本文通过设置使用铝合金铆钉的SPR工艺过程不同参数包括铆钉几何尺寸、硬度、底模形状等，分析其对铝合金板材连接效果的影响，找到对应材料搭接对应的合适钉模组合，从而实现并优化使用铝合金铆钉的SPR连接工艺。

SPR工艺介绍

自穿铆接（SPR）工艺是一种新型的接合技术，它在过去几年中开始变得越来越流行，特别是在汽车工业的应用中。SPR是一种快速、经济和高效的连接技术，它使用半空芯铆钉刺入到连接板材中，并在底层板上实现互锁，形成连接。SPR连接技术不需要预钻孔，铆枪的铆鼻压住待铆接材料，并为铆钉提供导向，铆钉被铆枪冲头推入到板材中。冲头在伺服电动机的驱动下推动铆钉穿透顶层板材料，并且在底模的作用下使得铆钉在下层板材内张开以形成机械互锁。

SPR连接的力学性能主要取决于在板材内产生的机械互锁。SPR铆接过程如图1所示。对SPR连接的力学性能的实验研究表明，使用钢材料的SPR铆钉的连接相比于焊接可以提供良好的防撞性能和疲劳性能，而且铆接对腐蚀的敏感性低于焊接。所有这些优点都是持续推动汽车工业中SPR连接应用的巨大动力。

随着在汽车部件中大量使用高强度钢和铝板以减轻汽车质量，已进行了大量研究以扩展SPR工艺的应用领域：针对低碳钢和铝合金板材的可连接性进行了大量的研究；还成功地使用钢铆钉和SPR工艺对高强度钢和铝板进行了连接。对用于这些材料的连接，在常规铆钉和底模设计方面已经进行了大量的研究，并对连接工艺进行了大量优化。铆接工艺的优化已经可以通过实验室中的实验测试和有限元模拟同步进行。后者在近年来已向前迈出了一大步，使工艺设计以及成本降低得到改进。

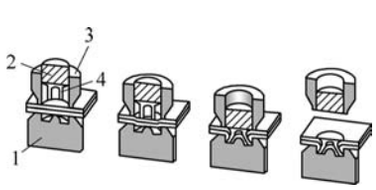

图1　铆接过程示意

1.底模 2.冲头 3.铆鼻 4.铆钉

现在，诸如JLR、AUDI和BMW的新系列汽车可能都使用了数以千计的SPR钢铆钉。然而铝车身和钢铆钉的结合使回收成为一个挑战，并且对钢铆钉自身的抗腐蚀也提出了更多要求。因此铝铆钉作为替代方案被提出。此外，将钢铆钉换成铝铆钉可以减轻车辆质量，这有助于减少燃料消耗和CO_2排放。

尽管铝铆钉有很多优点，但事实上对这方面的研究还比较少。大部分文献集中在使用钢铆钉的SPR工艺以及钢铆钉SPR连接的力学性能研究。因为铝合金的强度比钢的强度弱得多，铝铆钉在压入板中时会发生严重变形，不形成有效机械互锁。因此使用铝铆钉的SPR确实是一项具有挑战性的课题。使用铝铆钉需要选择具有合适强度合适材料的铆钉，并且选择合适的铆接应

用环境。这可以通过铆接工艺测试来实现。

测试方案

本文设计了实验方案，见表1。通过使用铝铆钉在三种不同的热处理状态（回火O、时效T4和时效T6）2mm厚的两层6060材料连接板材。铆钉使用三种不同的铝合金，即6082-T6、7108-T5和7278-T6。使用Tucker标准的底模，并考虑底模形状对使用铝铆钉的铝板连接SPR工艺的影响。测试结果利用连接的切面的几何形状和关键机械互锁值Interlock进行确认和评估。

本文建立了一个适用于对比试验的测试方案，以研究使用铝铆钉的两层2mm厚铝板连接的SPR工艺，方案列于表1中。连接的6060板材使用三种热处理状态材料进行对比试验分析（W、T4、T6）。铆钉为Tucker的C型铆钉，并使用三种铝合金材料制成，即6082-T6、7108-T5和7278-T6。另外，使用根据Tucker标准的两个常规底模用于研究模具形状对铆接效果的影响。表2和图2中给出了铆钉和模具的几何形状具体信息。在测试方案中选取了9种组合方式。

材料属性

6060是车身常用的6xxx系列铝合金的一种，其抗拉强度根据其热处理状态不一样，差别很大，范围50～170MPa。而用于铆钉的铝合金则选择了高强度材料如6082-T6、7108-T5和7278-T6，用以匹配替换常用的钢铆钉，其强度范围250～650MPa。另外材料延展性对SPR工艺同样具有重要影响，其对

表1　试验方案

测试号	上层板材料	下层板材料	钉材料	钉类型	模类型
ts1	6060-O	6060-O	6082-T6	C5.3X6	M260402
ts2	6060-O	6060-O	6082-T6	C5.3X6	M260410
ts3	6060-O	6060-O	7108-T5	C5.3X6	M260402
ts4	6060-O	6060-O	7108-T5	C5.3X6	M260410
ts5	6060-O	6060-O	7278-T6	C5.3X6	M260402
ts6	6060-O	6060-O	7278-T6	C5.3X6	M260410
ts7	6060-T4	6060-T4	7108-T5	C5.3X6	M260402
ts8	6060-T4	6060-T4	7278-T6	C5.3X6	M260402
ts9	6060-T6	6060-T6	7278-T6	C5.3X6	M260402

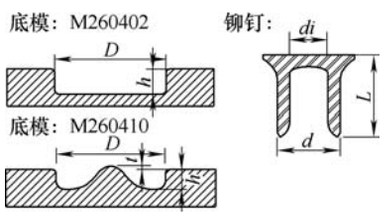

图2　钉模几何尺寸定义图示

表2　钉模几何

参数/mm	M260402底模	M260410底模	C5.3X6铆钉
D	10.0	9.0	—
h	2.0	1.6	—
t	—	0	—
d	—	—	5.3
di	—	—	3.2
L	—	—	6.0

测试板或铆钉裂纹的产生起关键作用。具体数值见表3。

表3　钉和测试板材料属性

对象	材料	UTS/MPa	EL（%）
铆钉	6082-T6	150	22
铆钉	7108-T5	420	22
铆钉	7278-T6	650	12
测试板	6060-O	50	25
测试板	6060-T4	100	18
测试板	6060-T6	170	12

铆接结果分析

针对测试矩阵（表1）中的9个组合进行了27次测试，即每个组合的三个重复，用来研究铆接连接的切面质量，切面的机械互锁值Interlock用来评估SPR连接的质量（见图3）。

表4和图4说明了当铆钉使用7278-T6材料测试板使用6060-T6材料时，铆钉刺穿测试板是可能的。铆钉穿过上层板并在底板上张开并形成一个机械互锁。 然而，使用7278-T6材料作为铆钉材料时却出现了钉脚裂纹的失效模式（见表4试验ts8和图4对应图示）。分析可认为这是由于7278-T6材料虽然强度高，但韧性和延展性差，变形时易产生裂纹。具体延展性值见表3。

降低铆钉的强度可以避免铆钉裂纹产生，然而，铆钉强度的降低可能导致铆钉的屈服及机械互锁的有效形成（见图4，表4测试ts7）。

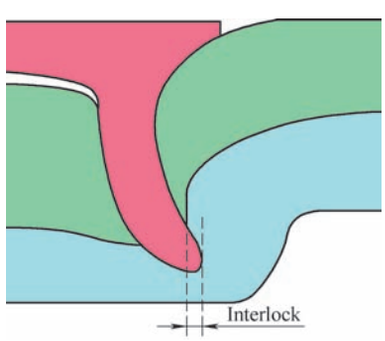

图3　机械互锁值定义示意

采用6060-O强度较低，有助于明显降低铆钉铆接力。但即使如此，如果铆钉强度不是足够强时，也无法实现铆接（见表4测试ts1和ts2和图4）。

针对底模对Interlock的影响（见表4测试ts3和ts4和图4），可见使用凸底模M260410相对于使用平底模M260402更容易实现铆钉钉脚张开，获得更大的机械互锁值Interlock。

表4　测试结果机械互锁值Interlock

测试号	机械互锁值Interlock/mm	备注
ts1	0.00	铆钉屈服
ts2	0.00	铆钉屈服
ts3	0.32	铆接合格
ts4	0.40	铆接合格
ts5	0.50	铆接合格
ts6	0.45	铆接合格
ts7	0.00	铆钉屈服
ts8	0.42	钉脚裂纹
ts9	0.40	钉脚裂纹

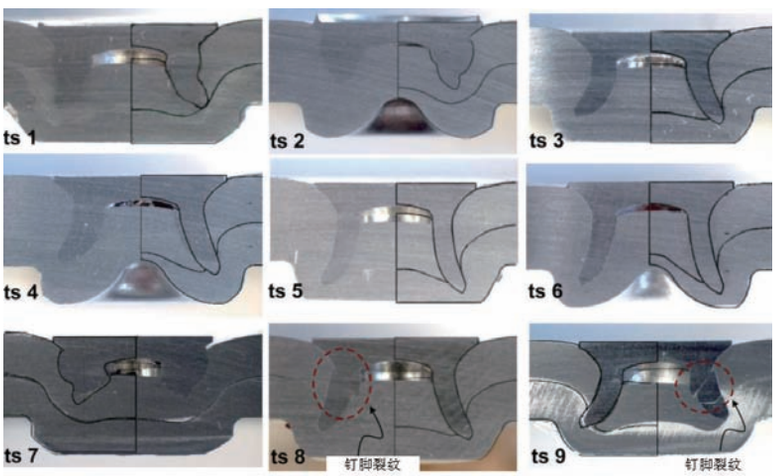

图4　铆接切面结果图示

结语

从汽车轻量化和材料回收利用角度考虑，铝合金SPR铆钉是一个不错的研究方向。但是由于铝合金强度较低，高强度铝合金延展性又较差，因此其使用存在一定局限性。本文通过研究，通过对比试验分析验证了几种高强度铝合金铆钉在铝合金板连接中的应用情况，体现了可能存在的失效模式和钉模设计参数对铆接效果的影响。为以后铝合金SPR铆钉的继续研究提供技术支撑。AUTO1950

英菲尼迪车型到2021年将全面电气化

日产汽车公司首席执行官西川广人于当地时间2018年1月16日下午，出席汽车新闻世界大会时向与会者透露，日产旗下高端品牌英菲尼迪在2021年后所发布的所有车型要么是全电动车型，要么是运用了ePower技术的车型。值得一提的是，ePower是日产汽车公司研发的全新延程电动引擎技术。

日产ePower是一种非常规的电动汽车系统，其也不是插电技术。另外与丰田普锐斯不同的是，ePower车型中汽油发动机的作用是为电池充电而并不为车辆提供动能。有分析人士指出，西川广人所宣布的英菲尼迪转型计划反映出该品牌在电动汽车领域奋起直追的态度。在此之前，包括奥迪、宝马、梅赛德斯、沃尔沃和捷豹在内的英菲尼迪全球竞争对手都已经宣布了各自“野心十足”的电动汽车计划。

数据显示，英菲尼迪2017年总销量达到153 415辆，增幅达到11%。西川广人预计，到2025年英菲尼迪所销售的车型中电动汽车和ePower车型份额将达到50%。

分析人士指出，西川广人制定的这一目标意味着，英菲尼迪正在快速华丽转身。奥迪、宝马、奔驰、沃尔沃和捷豹路虎等竞争对手早已发布了类似激进的电气化未来，以快速迎接未来新能源时代的挑战。