

钢铝连接技术在汽车制造中的应用与分析

周川川 崔颖 谷昊 周林柱 宋思源 李金宝
中国第一汽车股份有限公司工程与生产物流部 吉林 长春 130062

摘要: 铝合金在汽车工业中的应用是汽车轻量化发展的必然趋势和有效途径,文中对汽车制造中铝合金电阻点焊、自冲铆接技术、热熔自攻丝技术进行研究,首先,分析铝合金在汽车制造中的应用;然后,概述了汽车轻量化用铝件的连接工艺,之后分析了三种不同的连接技术,并介绍了在汽车制造业中电阻点焊、Weber RSF机器人辅助紧固系统的有效应用;最后,针对汽车制造中的铝合金自冲铆接技术进行分析,其中包括无铆钉铆接技术、实心铆钉自冲铆接技术、半空心铆钉自冲铆接技术等。

关键词: 钢铝;连接技术;汽车制造;应用与分析

1 引言

伴随我国经济的迅速发展,我国的汽车工业也向快速增长阶段迈进。截至2009年,我国已经超越美国,成为全球汽车销量第一。在2020年,我国汽车的产量预计能生产两千五百万辆。

当前全球倡导的主题是能源以及环境和安全等,而汽车产业与这三个话题存在密切联系。通过相关研究显示,假如能降低汽车的重量,就能提升汽车燃油效率,那么CO₂的排放也会明显减少。在安全性能方面,汽车重量产生降低之后,汽车整体的操控就会更加稳定,并且制动距离也会随之变小,若是汽车发生碰撞也能有效提升人身安全。在2005年,欧盟推出Superlight-Car计划,具体是由欧洲境内的九个国家,还有很多相关机构互相协作进行研究。希望能在确保汽车整体性能的基础上,兼顾经济成本,研发出能满足不同需求以及不同性能的制造类的轻质材料,从而达到节能减排的目的。在2007年,我国成立关于汽车轻量化技术的相关创新研究联盟,该联盟的发展目标是,深入研究汽车轻量化材料的关键技术,能自主地掌握汽车轻量化中的核心技术,以此提升汽车轻量化制造材料应用的水平^[1-2]。

未来汽车的车身设计是采用先进的混合式空间结构,能依据汽车的各部位需求,采用各种具有不同性能的轻质制造材料,以此实现制造材料与零部件功能的合理匹配。

2 铝合金在汽车制造中的应用分析

我国经济社会逐步发展的进程中,为汽车制造业的发展提供良好环境,以此推动汽车制造业迈向新的发展阶段。截至2009年年底,我国超越美国一举成为全球汽车产量第一以及汽车销量第一的国家,在后续的几年中,我国在汽车产量与销量方面保持得很稳定。现今,

能源以及安全和环境是当前我国发展经济的重中之重,且该方面内容与汽车行业的迅速发展存在密切关联。通关相关的研究显示,如若降低汽车的总质量,就能有效提升汽车燃油效率,还能减少二氧化碳的排放量。减轻汽车的总质量,汽车整体操作也更具稳定性与安全性,能确保驾驶人员的安全。为此,因为铝合金自身具备轻量化的优势,使铝合金在整车上装配的研究对汽车制造具有重要的意义。

例如,铝合金密度比较低,相对比钢质材料总体的质量能减轻60%左右(铝合金密度2.7g/cm³,钢质材料7.8g/cm³),还能满足使用条件。不需要预先对一些铝制零件开展防锈处理,就能有效确保铝制零件工艺的综合性能。在后续对铝合金进行回收的过程中,也能有效降低能源消耗,减少钢材料的消耗。为此,必须对铝合金在汽车制造过程中的应用进行科学强化。

3 汽车轻量化用材铝件的连接工艺

汽车轻量化的相应连接工艺中,常见的连接方式包括电阻点焊、FDS、SPR等连接工艺。

3.1 铝合金点焊工艺研究及其优化

利用Sorpas对铝合金的电阻点焊展开模拟与参数优化,例如通过Sorpas对实验与预测进行,由此能获得到5052-O可焊的区间,模拟的最终结果显示:当电极压力是4kN时,最佳进行焊接的时间是4~5CYE,而焊接电流优化的具体范围必须在24~25kA。模拟的详细数值与实验的结果相差甚少。利用Sorpas以及Ansys等相关的有限元软件对铝合金点焊的温度峰值、温度以及冷却速率与裂纹分布等众多工艺进行模拟。

3.2 关于铝合金电阻点焊存在的缺陷与抑制方法研究

采用平直端面与直流单脉冲的电阻点焊连接5182-O铝合金,展开优化之后焊接规范的相应参数是:F =

4.5kN与 $I = 24\text{kA}$ 以及 $t = 4\text{CYE}$ 。实验结果显示,采用单脉冲电阻点焊的铝合金非常容易产生裂纹,而利用多脉冲就能合理改善热影响区域存在的裂纹,利用表面带环状的凸痕电极对于存在的裂纹也能起到有效抑制的作用。

3.3 铝合金点焊电极防烧损的材料选择

在对金属工件进行点焊时,通过电极和合金接触面上的电流可以达到上万安,电极压力达到4.2-4.5MPa,焊接瞬间的温度可以达到一千度,因此在这种情况下工作,要求电极具有极高的导电性和导热性,同时还需要有较好的抗腐蚀性。电极都是金属铜制成的,因此可以经过一些列的强化处理提升铜合金电极的整体性能,例如可以进行冷加工强化处理、固溶强化处理等。在经过不同方式强化处理后,电极表面的性能也会发生一定的变化,降低点焊过程中电极烧损的概率。

3.4 铝合金激光复合焊

激光复合焊是激光焊和MIG焊两种方法同时作用于焊接区,激光束在焊缝垂直方向输入热量,MIG焊在后方熔化焊丝,也向焊缝输入热量。焊接时,激光光束加热工件,工件表面会挥发出大量的金属蒸汽,从而使CMT的焊接热能量传输更加容易,顺利将焊接产生的热量传到工件上。激光复合焊焊接过程稳定,焊接速度快,形成的熔池大,具有很好的柔性和工件的适应性及经济性。

4 FDS 热融自攻丝连接技术

4.1 FDS工艺特点

FDS工艺具体是通过螺钉的旋转使待连接板材软化,还能在轴向压力比较大时对待连接板材缠身挤压,由此在板材与螺钉间形成螺纹连接^[3]。FDS工艺的详细过程是由图1进行表示。

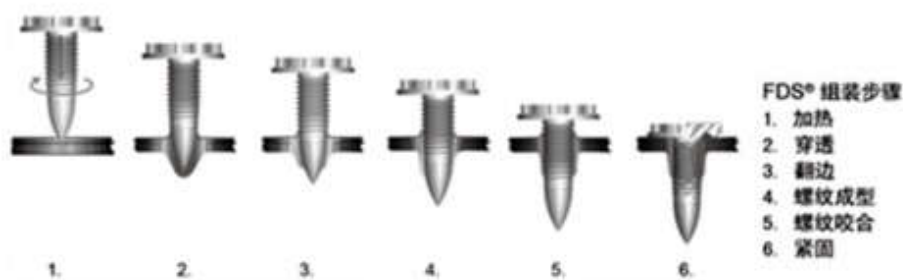


图1 a FDS连接工艺过程



图1b Weber RSF机器人辅助紧固系统

FDS工艺优点是:

- (1) 可连接包括超高强钢、铝镁合金、复合材料在内的任何材料及异种材料;
- (2) 可在较小变形的情况下实现单边连接;
- (3) 铆钉可拆卸,回收方便。

FDS工艺缺点是:

- (1) 因下层板要钻穿,因此接头的防腐蚀能力会降低,另外铆钉尺寸较长,增加车身自重,且暴露在外的螺钉前端影响后续装配,设计时需考虑避让;

(2) FDS工艺单面施工,操作时对工件和机器人的冲击力比较大,需要用负载能力大且稳定的机器人,拧紧过程螺钉必须与工件垂直,夹具设计时需考虑对工件的足够支撑。

4.2 FDS工艺应用——Weber RSF机器人辅助紧固系统

德国Weber公司开发了RSF系列机器人自动紧固系统,如图1b所示。此系统实现了FDS工艺的自动化生产,目前RSF系统已普遍在国内外实现了应用。

5 汽车制造中的 SPR 技术分析

SPR铆接技术具体是利用特制铆钉对两种或者更多的金属板材进行连接的技术。还能对异种材质的板材产生连接,并且,在进行铆接的过程中消耗的能源较低,不存在热效应,且涂层也不会出现损坏。自冲的铆接技术实际还包含无铆钉的压铆工艺以及半空心铆钉与实心铆钉等技术。

5.1 无铆钉自冲铆接技术

无铆钉的自冲铆接技术应用在汽车制造中,首先强化对特制上下模的合理应用,对相连接的板件予以施压,使板件发生塑性变形。在全球范围中,能提供无铆钉铆接技术的相关企业多数都在国外,其中比较出名的是德国的TOX、ECKOLE以及美国的BTM公司,而我国的SIMITCH、E-PRESS公司亦能为此技术提供技术装备支持^[4]。

5.2 实心铆钉自冲铆接技术

实心铆钉铆接技术在汽车制造过程中,首先要对连接的板材予以固定,然后将实心铆钉由冲头的方向向板

材予以施压，从而穿过板材上层与板材的下层。在板材上展开冲裁操作以及挤压操作，能因此形成互锁结构的铆接工艺。实心铆钉铆接技术在实际汽车制造过程中，采用的铆钉可以是实心的铆钉、空心铆钉。因为实心铆钉自身具有经济成本低，及连接质量比较高的优势。

5.3 半空心铆钉自冲铆接技术

5.3.1 半空心铆钉自冲铆接技术基本内容

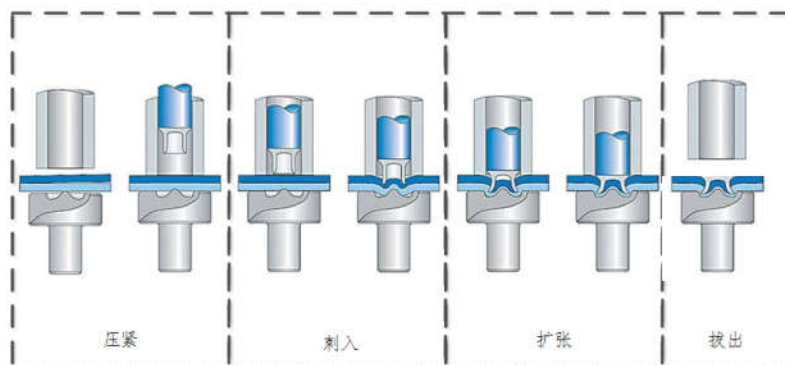


图3 SPR连接工艺过程

第一个阶段中，主要是对待连接的板材进行定位与压紧等操作；

第二个阶段中，在半空心铆钉在受到施压作用下时，能将上层中的待连接板材进行刺穿，使下层的板材产生塑性变形；

第三个阶段中，位于下层的待连接板材被挤入至凹模中，而当板材腿部向四周翻开时，会形成互锁结构，以此确保板材整体结构的稳定性；

第四个阶段中，半空心的铆钉被铆杆下压到上层材料的表面中，与其产生密切接触。在确保平齐的条件下，能完成板材的铆接工作。

5.3.3 半空心铆钉自冲铆接技术优势

因为此项铆接技术自身具有的优势，能将该技术广泛的应用至汽车制造中。该技术具有的优势具体体现在以下几个方面：

- (1) 在采用半空心铆钉铆接技术时，花费的周期相对较短；
- (2) 能对不同类型的板材与不同材质的板材展开连接；
- (3) 在对板材进行铆接的过程中，板材的厚度能达到两层或多层；
- (4) 连接过程中不会出现热效应问题，因此，该铆接技术可应用至涂层板材的连接中去；
- (5) 连接时不需要对待连接的板材预先开展预加工等一些操作；
- (6) 不但效率比较高，并且耗能也比较低；

半空心铆钉的铆接技术在汽车制造中进行应用时，大部分采用的是铆鼻压紧铆钉，由此将待连接的板材进行压住。半空心的铆钉特别容易受到铆干产生的施压作用，因此能刺穿上层板材中待连接的板材，并利用扩张使其进入至下层连接的板材中去。

5.3.2 半空心铆钉自冲铆接技术阶段

半空心铆钉的连接过程一般分为以下几个阶段（图3）：

- (7) 铆接模具可使用的周期长；
- (8) 铆接点具有强度高、质量高的优势；
- (9) 在进行铆接的过程中，环保性能较强，不产生废气；
- (10) 胶铆复合连接时，能更好地达到应用的效果。

5.3.4 半空心铆钉技术原则

半空心铆钉的铆接技术在汽车制造中进行应用时，必须遵循以下原则：

- (1) 对于一些脆性材料及易碎材料不能开展相关的铆接工作；
- (2) 底层材料具有的延伸率必须在一定范围之内，通常情况下是大于13%；
- (3) 对不同厚度的板材以及不同强度的板材进行铆接工艺时，需要将较薄的板材放置在铆鼻一侧；
- (4) 为确保最终铆接效果，底层的板材厚度必须确保在相应范围之内，通常情况下，底层板材的厚度必须在厚度的一半以上。

鉴于汽车制造行业中，涉及多材料、多工艺的连接，对于铝合金材料的连接，目前有铆、焊、粘、螺接以及胶铆复合的连接，比如前文提到的点焊、FDS、SPR以及未提到的CMT、抽芯拉铆的连接；就成本而言，电阻点焊是最为经济的连接方式，同时，需要考虑整车轻量化的效果，除电阻点焊外，其他的连接方式，均有重量增加的问题：FDS铆钉的重量是5g左右，SPR铆钉重量在0.6-1.2g之间，抽芯拉铆元件的重量在5-15g之间；结构

胶水属于高分子材料,在生产中,受环境、温度、工作条件的影响,若考虑清洁的环境,将增加太多的基础成本。因此,在铝合金连接工艺中,尽可能地采用铝合金电阻点焊是最为经济的连接方式。

结束语

我国在连续六年的汽车销量在一千万辆以上,成为世界第一的汽车生产与销量大国,汽车产业虽然属于我国的支柱型产业,但也同时存在能源威胁与环境威胁,为了降低汽车的能源消耗与排放量,迫切地需要满足汽车轻量化的需求。如果想要实现汽车的轻量化,就必须解决当前轻量化材料存在连接技术问题,从而才能扩大新材料在汽车制造中应用的范围,为汽车的轻量化设计提供更多的可行性与可能性,使我国成为汽车制造

强国。本文探究的铝合金电阻点焊与FDS、SPR等机械连接技术,可以为后续汽车制造中的铝合金连接提供更具可行性的方案。

参考文献

- [1]李鹏达。汽车制造中的铝合金焊接技术研究[J].汽车知识, 2022, 22(4):3.
- [2]陈[1]黄瑞丽。铝材在汽车制造中的应用与发展研究[J].内燃机与配件, 2021(16):2.
- [3]黄兴, 杨宏, 陈东, 等。铝合金车身设计中的铆接技术[J].汽车工艺师, 2019(8):4.
- [4]羊军, 许倩。铝合金自冲铆接工艺及力学性能研究[J].汽车工艺与材料, 2020(4):8.