

高速射钉铆接存在 铆钉间隙的原因及应对

张冬阳, 魏玲, 宋宏伟

北京奔驰汽车有限公司 北京 100176

摘要: 分析梳理高速射钉铆接技术在北京奔驰车身一工厂应用过程中较常见的铆钉间隙问题, 归纳总结原因并进一步提出需要关注的工艺重点。

关键词: 冷连接; 高速射钉铆接; 铆钉; 间隙; 工艺

随着车身轻量化的进一步发展, 铝合金材料在新一代车身上的使用显著增加。传统电阻点焊技术在铝合金材料上的表现较差, 难以满足日益增长的“钢-铝”异种金属间的连接需求, 因此众多新式连接技术被研发出来。其中, 高速射钉铆接由于工艺简单、单次铆接时间短、单面铆接以及不产生有害副产品等优点, 获得越来越多的关注。截至目前, 在北京奔驰汽车有限公司有超过五款车型应用了高速射钉铆接技术。

但是, 高速射钉铆接依旧是一个较新的技术, 对其在实际序列化生产中表现的研究十分有限。本文意在分析梳理高速射钉铆接技术在北京奔驰车身一工厂应用过程中较常见的铆钉缝隙问题, 归纳总结原因并进一步提出需要关注的工艺重点。

工艺原理及质量判定

高速射钉铆接, 顾名思义是将铆钉以高速打入板材并以此固定连接对象的技术。在铆接过程中, 高压气体进入铆枪, 使撞杆加速, 撞杆推动铆钉使其在短时间内被加速到 $20 \sim 40\text{m/s}$, 并如同子弹一般被打入板材。如图1所示, 在铆钉向板材内部移动的过程中, 板

材料填入铆钉螺纹之间的空间, 两者间形成钩连结构, 从而达到稳定连接。材料的弹性形变导致铆钉受到材料的夹紧力, 这进一步强化了钩连结构的强度。高速铆钉与板材间的剧烈摩擦会产生大量热, 导致板材与铆钉接触部位升温, 金属材料流动性加强, 因此材料能够更加有效地填入铆钉螺纹之间。此外, 对于含铁材料来说, 高温还可以使铆钉螺纹尖端与材料之间熔化结合, 达到类似于焊接的效果^[1-3]。

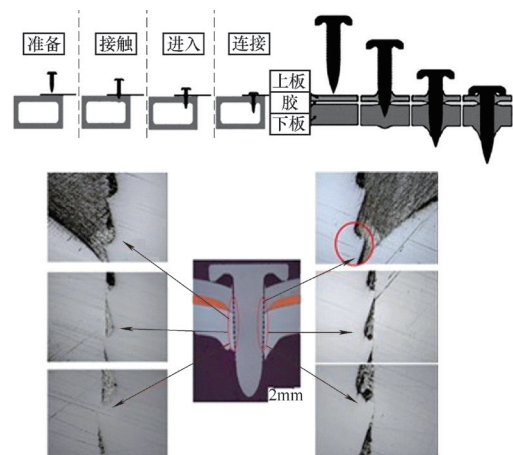


图1 高速射钉铆接的原理^[4]

高速射钉铆接的质量一般通过以下几点进行判定。

首先，铆点必须完整，铆钉帽与板材表面不能存在破损。考虑到防腐蚀的因素以及铆钉螺纹与板材间需要确保足够的接触来保证铆点强度，铆钉钉帽与板材之间应贴合，钉帽与板材间的间隙必须 $\leq 0.7\text{mm}$ 。

其次，对于铆钉的强度考核，一般使用退钉力测试。通常，习惯性地铆接过程中铆钉最先接触的板件称作外板，把最后接触的板件叫做内板。如图2所示，在退钉力测试中，首先固定内板，之后从钉尖向外板方向施加推力直至连接被破坏，铆接被破坏时所施加的最大推力即为退钉力，合格的铆点退钉力应 $> 220\text{N}$ 。由此可见，退钉力是直接反映高速射钉铆接强度的参数，但是由于退钉力测试属于破坏性测试，产品在退钉力测试时被彻底破坏，所以退钉力测试不能频繁进行。

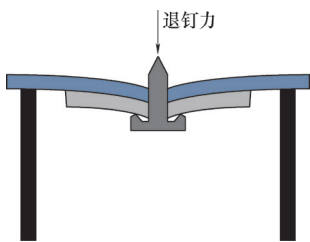


图2 退钉力测试原理

铆钉间隙及原因

铆钉未完全进入板材，导致铆钉帽部与板材间存在较大间隙（见图3），这是批量生产中一种常见的质量缺陷。如前文所述，间隙的存在增加了铆点与板材被腐蚀的风险。同时，由于铆钉螺纹与板材间的有效连接区域的减少，铆点强度也进一步降低。高速射钉铆接通常与涂胶工艺一同使用，铆钉同时也起到固定和压实胶段的作用。因此，若铆钉未被完全打入板材，铆点对胶段的固定效果也会受到影响，则会进一步降低车身强度。铆钉间隙除了影响连接质量，突出的钉帽也会与后续工艺的机器设备发生刚蹭，导致设备、铆点以及板材被破



图3 铆钉间隙缺陷

坏，严重情况下甚至会导致产品无法返修而报废的情况（见图4），产生不必要的浪费。



图4 凸起铆钉与机器人碰撞导致零件二次受损

通过总结高速射钉铆接在北京奔驰车身一工厂的应用，产生铆钉间隙的原因主要包括以下几点。

1. 工装夹具和垫块失效

高速射钉铆接的铆点附近需要设置可靠的支撑点。通过支撑点的固定，板材其余部分的形变与振动受到限制，因此铆钉动能才可以有效集中于它与板材接触位置。若支撑点距离过远，支撑点之间的板件在铆钉的冲击下整体发生变形（见图5），如同一个缓冲装置一般吸收了大量动能，导致铆钉没有足够的能量贯穿板材，进而导致铆钉不能全部进入板材。

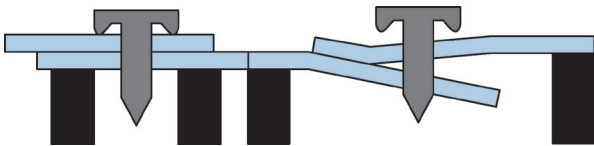


图5 正常铆点与缺乏有效支撑导致板材变形的铆点

支撑一般由板件内部的加强筋以及夹具上的垫块提供。若因设计存在问题导致铆点周围缺少可靠的支持垫块或加强筋结构、垫块存在尺寸问题而无法有效贴合板材，以及提供支撑及垫块破损或垫块夹具的气缸失效，无法提供足够压紧力，则铆接过程中板材无法获得足够的支撑固定（见图6），从而导致铆钉间隙的出现。

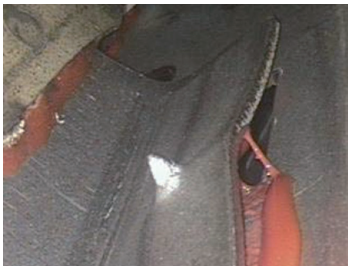


图6 缺乏有效支撑导致铆钉无法打入以及内板严重变形

2. 环境和停机因素

高速射钉铆接设备得以正常工作时，环境温度需要在 15°C 以上，但是在北方冬季夜班时间，室外温度最低接近 -20°C ，若生产设施内缺乏有效的保温系统，铆接设备在非正常状态下运行，便有可能导致铆钉获得的动能受到限制，从而无法有效击穿板材。此外，设备内部润滑油在低温下会凝固为胶状，导致摩擦损耗增加、低温下板材硬度更高，进一步阻碍了铆钉的穿透。因此，在冬季、特别是突然降温时，会出现铆钉无法打入板材的情况。

同理，当设备发生长时间停机后，整个系统内部温度较低，再起动时需要暖机时间来使设备恢复至正常工作状态，因此设备重起后最先进行的几百次铆接，也会因为设备未处于正常工作状态而出现铆钉力度偏小的情况，有一定概率出现铆钉未完全打入板材的问题。

3. 铆接姿态偏移

高速射钉铆接工艺中存在一个重要的步骤——预压紧。预压紧发生在铆枪与板材接触后及铆钉被加速之前。铆枪与板材接触后会继续下压施加 $1.5\sim 2\text{bar}$ （ $1\text{bar}=10^5\text{Pa}$ ，下同）的压力，使内外板更加贴合，板件间胶段被压实，从而有助于提高铆点质量。

高速射钉铆接对于铆枪的移动轨迹有着严格的要求。铆接进行时铆枪必须尽可能垂直于板件，如果铆枪不与板件垂直，铆钉会以倾斜的角度接触板材（见图7），铆钉钉帽的一侧先与板材接触，导致铆钉无法继续前进，进而在另外一侧出现间隙。此外，由于金属表面十分光滑，若铆枪以倾斜的角度接触板材，预压力平行于板材表面的分力会导致铆枪进一步向外侧滑动，发生蹭件的现象，这将加剧恶化铆接姿态。因

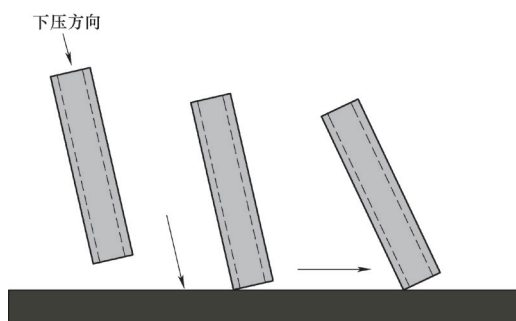


图7 铆枪的侧向位移

此，每个铆点的铆接轨迹需要严格控制，并尽可能让铆枪与板件垂直。

另外，还存在一种零件向下移位情况，如图8所示。若工装胎上的夹子或定位销有松动，在铆枪施加预压力后无法提供足够支撑，零件在预压力作用下向着压力方向发生位移，也会导致零件表面与铆枪垂直度恶化的情况。

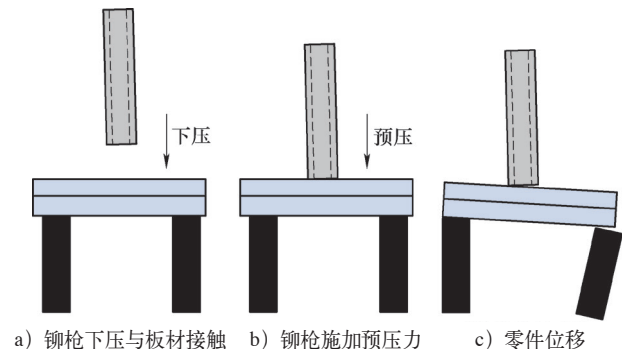


图8 零件向下位移

4. 铆接设备内部原因

设备导致铆钉间隙的原理主要有以下两点。

1) 设备组件问题导致铆钉无法获得足够动能，以至于铆钉不能完全穿透板材。例如，加压机失灵导致铆枪不能获得足够高压气体；气路系统内部组件损耗导致漏气；撞针与枪身润滑效果恶化、枪鼻磨损导致铆钉加速过程中摩擦增加。铆接系统自带的监控系统可以记录铆接过程中实际气压值以及铆钉速度。因此，当在监控系统内发现气压或铆钉速度频繁小于目标值时，需尽快检查铆接设备。

2) 铆枪设备磨损导致铆钉在弹道加速的过程中产生晃动。例如，撞杆定位块损耗导致撞针在推钉过程中发生晃动，枪身中用于固定铆钉位置的气路结构发生异常^[4]。由于铆钉是在设备内部发生晃动，所以即使铆枪与零件表面垂直，铆钉其实也是以倾斜的状态与板材接触，进而导致一侧出现间隙。

5. 铆点位置偏移

正常情况下，在批量生产中机器人的轨迹偏差一般 $<2\text{mm}$ 。但是若机器人内部组件老化或者曾发生过磕碰导致轨迹偏移，又或者是工装胎具定位功能失效导致零件位置移动，则铆点位置会发生较严

重的偏移。如前文所述，铆点附近一般有加强筋作为支撑点，当偏移的铆钉在穿透板材后与加强筋发生碰撞时，额外的碰撞大量消耗铆钉能量，导致铆点无法继续深入，进而导致间隙的出现。此外，若铆点位置偏移至离支撑点较远的位置，也会发生因支撑不够而导致的铆钉间隙。

6.工艺参数设置

高速射钉铆接的主要工艺参数是铆接气压。因为铆钉通过高压气体推动加速，所以铆接气压直接影响铆钉射入板材的速度与力度。如图9所示，对于钢-铝连接，铆接气压一般在5~8bar。铆接气压过小，铆钉的动能就过小，无法有效穿透板材。但是，铆接气压同样直接影响铆钉结合强度，若气压过大，铆钉速度过高，铆接过程中板材包裹铆钉的微观结构会由于强大的撞击而损坏，并导致连接强度的急剧下降。



图9 铆接气压过小/过大对质量的影响

而且，工艺参数一般在试装阶段就应被调整至理想状态，在批量生产中一般不会出现因为压力参数设置得过小导致铆钉无法完全打入的情况。因此，在批量生产中应尽可能不改变气压参数，只有在排除铆接姿态、工装状态以及设备状态等其他可能性后才可以尝试修改气压参数，并用退钉力测试验证气压参数修改后的铆点质量。

工艺要点

1.工艺参数

铆接气压的选取十分重要，前文已经论述。若气压过小，则铆钉无法进入板材；若气压过大，铆点结构受损，强度减小。气压参数的设置与板材搭配，现场工况及工作环境有着密切的联系，因此一般不存在通用的参数参考清单，需要在车型试装阶段通过试验

的方式确定各铆点的最佳压力。通常的调试方法为：以0.1bar的间隔更改气压参数，找到各铆点铆钉刚好完全进入板材的气压 P_h ，即当气压为小于 P_h 时，铆钉与板材间存在间隙；气压为 P_h 时，铆钉与板材间没有间隙，在 P_h 之上增加0.3~0.5bar，此时铆接质量一般处于较好状态。

2.监控曲线

监控功能是连接技术的重要组成部分。在批量生产中，只有自动监控功能可以保证对铆点的100%检查并避免潜在质量风险。高速射钉铆接系统自带行程曲线监控以及压力曲线监控，其中行程曲线可以有效地监控铆钉间隙问题（见图10）。因为无论导致铆钉间隙现象的原因是什么，最终表现形式都是铆钉位移量小于预定值。行程监控主要监控铆钉打入板材后的行程最大值，当铆钉最大行程无法达到特定范围时，监控系统便会发出质量报警。各铆点的行程监控范围同样需要在试装阶段调试好。行程监控范围的确立一般在确定好最佳气压参数后，通过统计多次铆接的行程曲线，确认行程最大值的位置范围，之后设定监控范围使行程最大值尽可能在监控窗口中心位置。

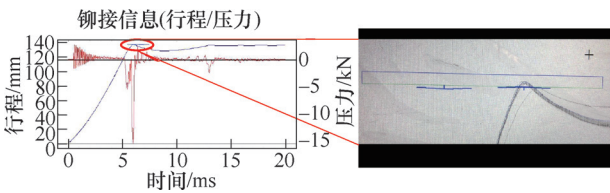


图10 行程监控曲线以及监控窗口位置

3.设备检修

高速射钉铆接的质量，极大程度上取决于铆接设备的状态。因此，保证铆接质量的一个重要步骤便是制定详细的检修保养计划并严格按计划执行。工装夹具需要定期检查是否存在松动，是否有销子垫块存在破损，以及气缸是否正常运作。机器人需要定期校准轨迹，以避免轨迹偏移。铆枪设备需定期保养，对于有使用寿命要求的零件应进行及时更换。

结语

本文介绍了高速射钉铆接的基本原理及质量标
(下转第55页)

影响车身品质。

因此，焊接部位零件间的搭接间隙需要严格控制，为了避免飞溅，外观焊点位置需要加装铜板。焊枪通过铜板与板件接触，需要控制铜板与板件的贴合状态。避免板件搭接不良或者铜板与板件贴合不良导致的焊接凹凸不平等质量问题。焊钳电极与板件焊接角度也会直接影响铰链面的平整度。因此，焊接工艺规划前期要充分考虑相关影响因素。

结语

分体式型钢铰链的应用，提高了车门的装配强度

(上接第48页)

准，分析总结了生产中常见的铆钉间隙问题的影响因素与原理，其中包括：夹具功能失效、环境温度过低、铆接姿态错误、设备故障、机器人轨迹偏移以及工艺参数过小，并根据以上问题总结了生产中需注意的工艺重点。

作为一个刚刚兴起的新技术，在拥有诸多优点的同时，高速射钉铆接也有着一些限制。例如，铆接过程中会产生巨大噪声，因此铆接必须在隔音房中进行；铆枪备件价格高昂，维护成本高；由于专利限制所以刚开始向市场开放。因此，目前也仅有奔驰等少数几个品牌应用了这项技术。但是随着技术的不断进步以及车身轻量化的进一步深入。拥有单面连接、铆接快速以及铆接质量稳定等强大优点的高速射钉铆接

(上接第51页)

降低转向异响。

2) 对于转向器结构调整引起的转向性能不良，通过电动助力参数调校可平衡异响与性能之间的关系，达到最优效果。

通过本文的分析研究，为后续此类问题的解决提供了宝贵的开发经验，在以后电动转向系统开发过程中，通过对转向系统机构的合理设计和充分验证，以及调校参数的合理匹配，可有效防止转向异响问题。

参考文献：

- [1] PETER P, MANFRED H.汽车转向[M].机械工业出版社, 2019.

及开关门品质，有效地提升了整车的感官品质。本文重点介绍了分体式铰链同轴度的影响因素。通过分析公差设计、工装定位、零件精度等方面对分体式铰链同轴度的影响，识别关键影响因素并确保分体式铰链同轴度达标，为分体式型钢铰链应用提供借鉴和参考。随着研究的不断深入，分体式型钢铰链将得到更加广泛的应用。

参考文献：

- [1] 何军蔚，孟大庆，石鹏. 型钢铰链定位机构及调试方法[J]. 汽车零部件, 2018 (5) : 134-136.

AUTO1950

技术在未来的几年，将获得越来越多的关注，并被越来越多的汽车生产商所接受。

参考文献：

- [1] 高勇，谢添，张海滨. 机械连接技术在白车身轻量化中的应用[J]. 汽车工艺师, 2017 (4) : 29-31.
- [2] 徐文欢，武冰，张秋花. 高速射钉铆连接技术在白车身的应用[J]. 汽车工艺师, 2017 (11) : 37-39.
- [3] 闫旭东，杨博. 射钉铆连接技术在白车身的应用[J]. 汽车工艺师, 2018 (7) : 16-18.
- [4] 贾林. 高速射钉铆接技术铆钉断裂及变形问题的处置[J]. 设备管理与维修, 2021 (Z1) : 108-111.

AUTO1950

- [2] 唐学东，曹超峰，汪朋.EPS系统典型噪声模式浅析[J]. 汽车实用技术, 2017 (12) : 181-183.
- [3] 郭廷，黄巨成，卜万里，等. 齿轮齿条式转向器异响分析及改进[J]. 中国新技术新产品, 2017 (19) : 15-17.
- [4] 刘长军. 汽车转向系统异响的解决方案[J]. 现代零部件, 2013 (1) : 81-83.
- [5] 杨伟，赵志元.C-EPS电动转向系统异响解决方案[J]. 汽车零部件, 2016 (7) : 73-78.
- [6] 钱雄松，高家兵，安宗权. 机械转向器间隙对转向系统异响的影响分析[J]. 中国新技术新产品, 2015 (20) : 109-110. **AUTO1950**