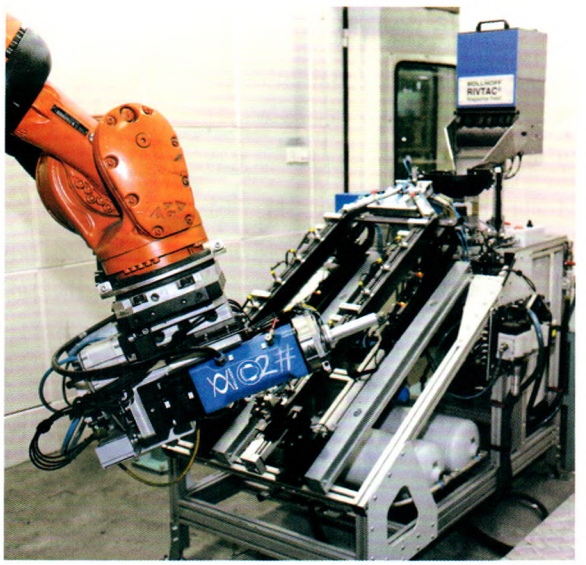
高速射钉铆连接技术在白车身的应用

□ 北京奔驰汽车有限公司/徐文欢　武冰　张秋花



高速射钉铆作为一种新型机械连接技术，对于铝-铝、钢-铝结构的连接具有强度好、效率高、成本低等特点，并能实现单面连接。本文介绍了高速射钉铆的工作原理、工艺要求、设备构成情况，并分析了铆接压力对连接质量的影响。

随着汽车行业的快速发展，以及世界各国对汽车能源消耗与尾气排放的重视，汽车轻量化已成为未来的发展趋势。白车身约占整车总重量的30%～60%，因此各种新型轻量化材料应用，如高强钢、铝合金、纤维复合材料等，成为了车身轻量化的重要手段。

轻量化材料的引入为车身连接技术带来了新的挑战。传统的电阻点焊、MIG焊等连接方式难以保证轻金属或异种金属的连接质量。以铝合金点焊为例，由于铝的电阻小，导热系数大，与钢材相比点焊需要更大的电流与更长的时间，且焊接质量难以保证。因此，适合以铝合金为主的轻金属材料连接、异种材料连接的机械连接技术，正被广泛地引入白车身制造领域。目前常见的机械连接技术主要包括压铆（Clinch），拉铆（Blind rivet），半空心自冲铆（HSN）和流钻螺钉（FDS）等。

本文介绍的高速射钉铆是一种更为年轻的机械连接技术。2010年开始高速射钉铆在奔驰SL级车型上首次实现了批量应用。随后，该技术被引入了奔驰C级、E级等多款车型。北京奔驰于2013年首次将该技术引入国内，并应用在了国产新一代C级车上。

工作原理

高速射钉铆技术通过压缩空气加速活塞撞针，以最大20kN的力撞击铆钉，使铆钉以20~40m/s的速度压入工件（如图1所示）。由于惯性的作用，铆钉可以在不引起零件整体变形的条件下实现薄板零件的连接。铆钉的尖端能够刺透板材，因此被连接材料无需预制孔。

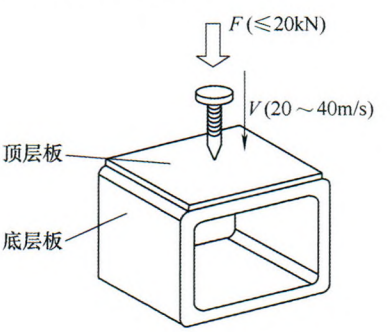


图1　高速射钉铆连接示意图

高速射钉铆的连接是通过铆钉与底层板材的配合实现的。连接过程中板材被加热产生塑性变形，填充到钉杆的环形滚纹中，形成良好的配合（若底层板为钢材，铆钉滚纹尖端还会熔化并与底层板形成原子间的结合，达到焊接的效果，如图2所示）。此外，铆钉射入板材后使板材发生弹性形变，在铆钉周围产生了径向的夹持力，进一步增

加了连接强度。

高速射钉铆适合连接铝合金、钢材、塑料、纤维复合材料等多种材料，并能实现多层板的连接。它既能实现同种材料的连接，也能实现异种材料的连接（如钢和铝）。铆钉的速度可以通过驱动活塞撞针的压缩空气的压力控制，从而适应不同的材料与板厚。高速射钉铆连接技术还可以与结构胶组合使用，并能使连接点的剪切强度提高一倍以上。

高速射钉铆具备很高的生产效率，可以在1s以内完成单颗铆钉的连接。如图3所示，连接主要分为以下几个步骤：

（1）枪头接触并压紧板材，使被连接的多层板紧密贴合。

（2）压缩空气推动活塞撞针撞击铆钉，将铆钉压入板材内部。

（3）板材发生塑性变形，并在底层板背面形成材料堆积。

（4）钉帽达到最终位置后连接过程结束，底层板材填充至钉杆的滚纹中形成良好的配合。

工艺要求

德国博尔豪夫公司开发的高速射钉铆铆钉的硬度为450±20 HV，使用C60母材及锌镍镀层。铆接方向通常采用“由薄到厚”、“由软到硬”的原则，即底层板材需具备更大的厚度和更高的硬度。值得注意的是，高速射钉铆技术并不防水，因此在涉及密封或腐蚀的区域需要额外的处理工艺。

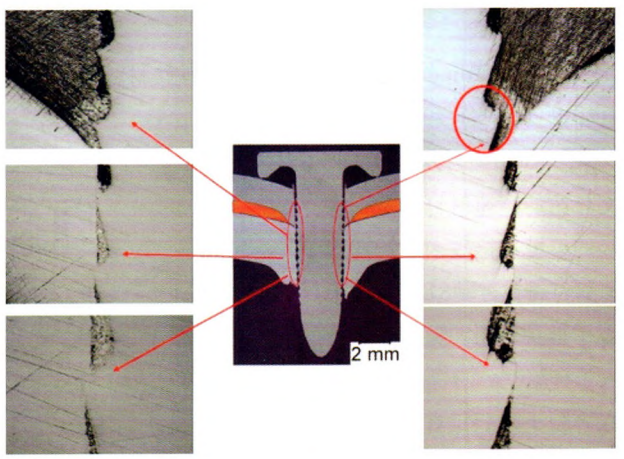


图2 底层板为钢材时高速射钉铆连接剖面图

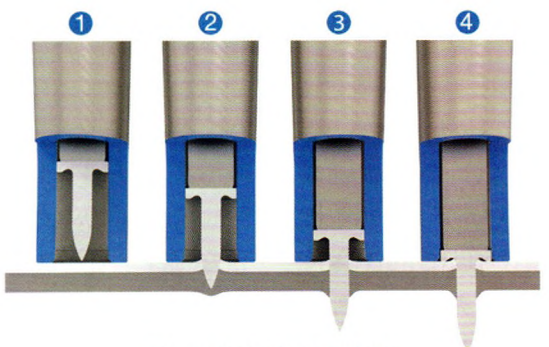


图3 高速射钉铆连接工艺过程

高速射钉铆连接过程中，压力最高可达20kN。为了避免零件过度塑性变形，板材被连接区域需要具有一定的刚度，或有足够的支撑。被连接区域板材刚度的主要影响因素有：被连接零件的厚度、与法兰边缘的距离、被连接零件的抗拉强度、零件拐角处的弧度、被连接平面的宽度，连接顺序等。因此连接点处通常接近圆角区域、加强筋区域或有压块支撑。在板材的自由端区域，由于没有足够的支撑，一般不适合高速射钉铆连接。

设备构成

高速射钉铆设备主要由送料系统、增压泵、射钉枪、控制系统等模块构成，如图4所示。

（1）送料系统。送料系统由送料模块、换向块、送钉轨道、轨道减振器、基础框架等零件组成。送钉系统通过振动盘使铆钉保持垂直状态，在重力作用下将钉送入送钉轨道。高速射钉铆采用独立的送料系统，射钉枪内铆钉耗尽后，机器人会带动射钉枪移动至送钉轨道处装钉，而不是由送钉管输送。这样减少了送钉过程所消耗的时间，提高了工作效率。

（2）增压泵。高速射钉铆通过压缩空气驱动活塞撞针撞击铆钉，其气压最高可以达到0.8Mpa。增压泵可以提供稳定的高压气体为射钉过程提供动力。

（3）射钉枪。射钉枪由枪管、弹夹、伺服气缸、气路控制阀、连接法兰以及多个传感器组成。通过气缸的活塞运动，将弹夹中的铆钉打入零件中。

（4）控制系统。控制系统可

以检测铆钉连接过程中的压力与位移变化，并通过人机交互界面查看铆接质量状态或调整铆钉压力等系统参数。

图4 高速射钉铆设备构成

铆接压力对连接质量的影响

高速射钉铆的工艺参数设置较为简单，主要通过改变铆接压力适应被连接零件不同的材料及厚度。与流钻螺钉等连接技术相比，高速射钉铆单独应用时连接点的强度波动较大。退钉力测试即通过检测将铆钉推出板材所需的力的大小来判断铆点强度是否合格，一般要求退钉力>0.2kN。

如图5所示，随着铆接压力的增大，退钉力首先逐步增加，随后保持恒定，最后逐步下降。在绿色区域（HS）内退钉力最大，铆接强度最高。在HP区域铆接压力不足，铆钉没有完全插入板材内部，铆钉帽与上层板间隙过大；在PE区域铆接压力过大，板材受到过度冲击，可能导致底层板材被挤出材料开裂，从而导致退钉力过低。

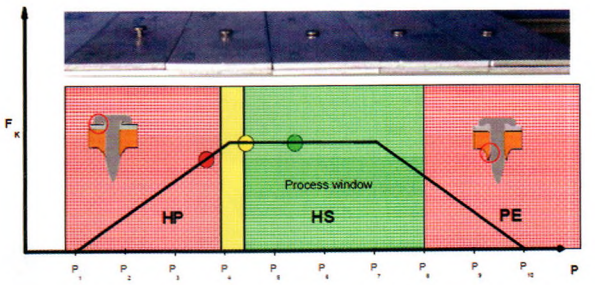


图5 铆接压力与连接质量的关系

结语

作为一种新型机械连接技术，高速射钉铆引入国内的时间较短。但随着车身轻量化趋势的发展，这种连接技术有着广阔的发展空间。与压铆及半空心自冲铆相比，高速射钉铆能实现单面连接，可以用于连接以上两种技术无法达到的区域；与流钻螺钉相比，高速射钉铆具备一定的生产效率与成本优势，可以替代部分流钻螺钉的应用。高速射钉铆以其独有的技术特点丰富了白车身的连接技术，未来必然会在汽车制造领域得到更广泛的应用。AUTO1950

徐文欢

北京奔驰汽车有限公司装焊质量工程师，中级工程师职称。2013年硕士毕业于北京科技大学，主要从事白车身连接技术及成车质量问题分析工作。

（上接第36页）

方向限位块，小支架会发生一定程度的刚性变形，会减小孔位置度的波动。

经验：应尽可能限制小零件自由度，必要情况可以过定位。

结语

由于车身零件结构和生产工艺的不同，上述夹具改进案例具有一定的特殊性，但从改进思路、改进原理上也有一些可以借鉴的经验。在公司内部也对改进的案例进行了梳理和归纳，作为经验教训输出到对工装夹具设计制造标准和夹具开发审核表格（表格略），避免历史问题，少走一些弯路。AUTO1950

刘春光

沈阳上发汽车零部件有限公司焊接车间副主任，主管车间技术、检验、设备等工作。先后负责D2SC、D15、D2SB、D2JB、258Legacy等车型零件生产工艺的前期开发到量产全过程。精通车身焊接工艺，对于白车身的质量控制有丰富的经验。