

流钻连接技术在白车身的應用

□ 北京奔驰汽车有限公司/ 闫旭东 杨博

本文介绍了流钻的工作原理、设备构成和质量检查，以及流钻在汽车轻量化进程中的重要性，但其普及需要进一步降低成本和优化工艺过程。



流钻，又叫高速流钻或者钻尾螺钉，行业内称为FDS，是基于紧固件原理而研发应用的一项新型机械连接技术。紧固件是基于钻孔工艺制造而成的有螺纹孔或无螺纹孔的金属构件。这个工艺已经有数十年的历史，它是通过使用相对较高的轴向压力将钢制螺钉钻透金属表面，并且螺钉以一定的旋转速度钻进金属表面形成孔洞或者螺纹孔，而不损失任何金属。该技术可以实现单面连接，而且强度较高，性能稳定，因此在汽车车身连接中得到了广泛的应用。

背景意义

随着当代汽车制造领域中材料技术的飞速发展，尤其是车身轻量化的要求，越来越多的新型材料（铝合金、碳纤维材料等）

被应用到汽车制造中。而新材料的引进给汽车工业带来了一项新的课题，即汽车材料连接技术的革新。

铝合金因其高强度、高延展性、低密度的特点，正被大量应用于汽车制造工业，如奔驰SL级跑车已实现全铝车身。而传统的电阻电焊已不适用于铝材连接，尤其不适用于铝材与钢材的复合连接。新型铝点焊技术需要大电流以击穿铝材表面致密氧化膜，且不宜用于对热敏感的铝材，工艺窗口小，也无法用于不同材料间的连接，应用范围十分有限。

而螺钉具有尖锐的端部，锥形的中部和根部都带有锋利的螺纹。锋利的螺纹高速钻进材料时会产生热量，使材料变软，达到足够的延展性使其易于加工和穿孔。螺钉被推进材料后在下表面入口四周形成较薄的飞边，而在上表面形成通孔。这一过程通常只需要几秒钟。

基于这种工艺，德国的紧固件制造商开发出了钻尾螺钉，它是一种具有自穿刺和挤压效果的紧固件，可钻透2~4层薄板并实现连接。常用的紧固件包括EJOT GmbH公司开发的FDS螺钉，Schrauben GmbH公司开发的Pentaflow螺钉，以及Arnold Umformtechnik公司开发的Flowform螺钉。

工作原理

流钻，北京奔驰内部称其为FLS，其原理在于钻尾螺钉接触工件表面并施加相应的应力和转速后，在摩擦力和轴向应力的作用下，材料表面塑化并开始“流动”；螺钉钻透工件，被挤出的材料在金属板材背面形成堆积；螺钉

的轴向力和速度开始减小，前两圈螺纹面开始攻螺纹，形成线程；然后转矩持续增加并达到形成螺纹的转矩，随后转矩降低，螺钉继续拧紧；最后螺钉紧固至固定的转矩，随着连接部分金属的冷却，材料发生收缩，填充螺纹，提高接头完整性。如图1所示。

图1中，步骤1为主轴施加压力与转速使螺钉摩擦加热板材；步骤2为螺钉高速旋转刺入板材；步骤3为板材被穿透，开始形成螺纹；步骤4为降低压力与转速攻螺纹；步骤5为转速与压力进一步降低拧紧螺钉；步骤6为紧固螺钉达到设定转矩。

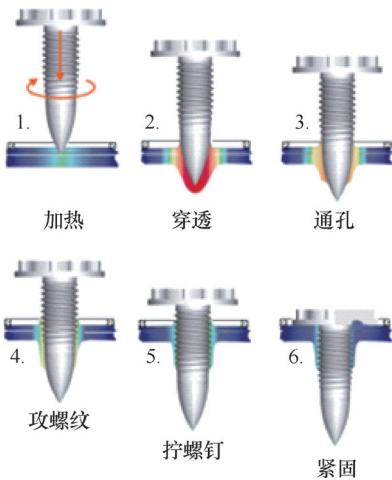


图1 流钻工作原理

设备构成

FLS (FDS) 铆枪系统构成与其他铆接技术系统构成相似，主要由控制柜、铆枪供钉系统、铆枪以及管线等构成。如图2和图3所示。

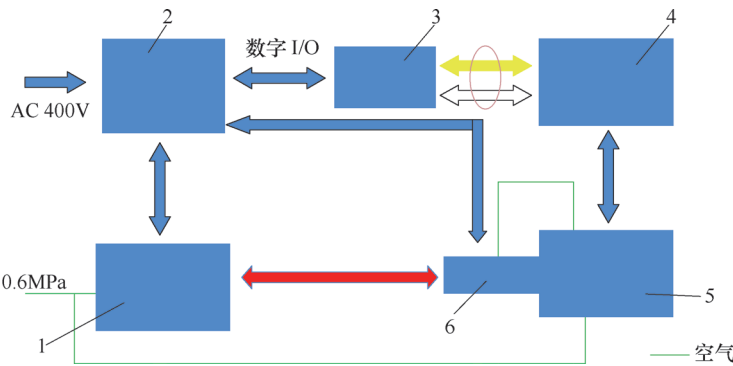


图2 WEBER的RSF20铆枪系统构成框架

1.送钉控制器 2.FLS控制器 3.接线盒 4.机械手控制器 5.机械手本体 6.FLS枪

1.控制器

控制柜是流钻铆接的主要工艺控制单元。控制柜外部除了常规通信接口、电源接口、开关及旋钮以外，还配有一个人机交互界面。控制柜内部的核心组件为博世公司提供的Rexroth伺服电动机控制驱动，该驱动内置

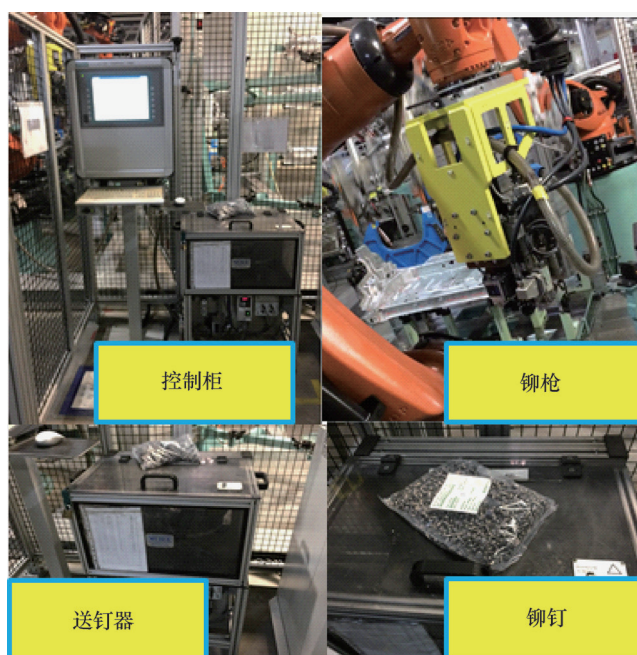


图3 FLS铆枪系统构成

PLC，可对铆枪伺服电动机实现精确的速度控制、位移控制或转矩控制。通过人机交互界面的设置，可以对每一个铆点进行精确的参数控制，为每一步设置精确的转速、扭矩和时间等参数。如图4所示。

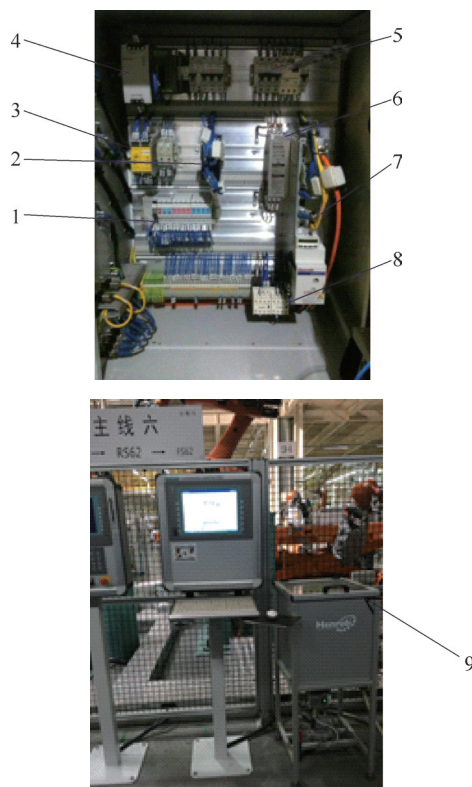


图4 控制柜实物图

1.数字I/O 2.以太网开关 3.急停继电器 4.24V供电 5.电闸 6.滤波器
7.内置PLC伺服电动机驱动 8.伺服电动机与电源切断继电器 9.DAIMLER监控系统

2. 铆枪本体

枪体主要包括行程气缸、模拟阀组、电动机、传感器、螺钉刀头、压力脚（用于模拟测量）及阀组（用于模拟测量）；流钻枪拥有两个气缸，主缸和电力传动里边的小气缸，主缸负责将整枪压到工件上，并且尽量保证工件间隙较小，然后电力传动中的小气缸负责将螺钉压入板件，两个气缸要有一定的气压差，这样便于螺钉打入，目前北京奔驰采用的压力差是0.2~0.4kN。

3. 送钉系统

流钻采用独立的送钉系统，本身带有控制柜，通过送钉管将螺钉由送钉系统传动到铆枪本体内，然后通过固定颚口传动到枪鼻端，从而完成打钉过程。料斗内部装有螺旋轨道，送料时料斗振动并产生磁场，铆钉受磁场作用沿螺旋轨道向上运动进入线性轨道。

参数设置

流钻参数的设置思路在于根据铆钉的结构，采用合理的转速、压力、时间等参数组合，将螺钉打入板材，并且实现螺纹的完全填充。图5所示为螺钉的结构，参数设置参考如图6所示。

一般情况下，设置参数分为啮合步、驱动步和旋紧步，每一步再分解成若干小步骤，以便于参数设置。

啮合步可以保证铆杆的螺纹和铆钉的螺纹完全啮合好，这样保证铆杆完美驱动铆钉旋进板材。驱动步可以保证螺钉旋进板材，并且穿透板材，形成较好的螺纹。

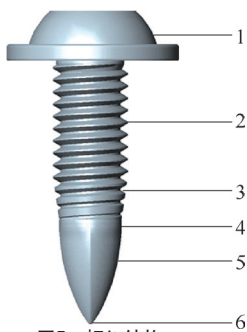


图5 螺钉结构

- 1.螺钉头 2.负载螺钉
3.螺纹形成区 4.圆柱状区域
5.钻孔区域 6.螺钉尖端

旋紧步可以保证螺钉与板材之间没有间隙，并且需要保证螺钉达到要求的力矩，螺纹达到完全填充，填充度是衡量流钻强度的一个重要指标。

质量检查

一般质量检查包括目视检查，间隙测量以及剔试检测。

1.目视检查

目视检查主要检查铆点的完整性，是否有缺失、断裂、融化等问题。

2.间隙测量

流钻需要保证螺帽和板材间隙不得大于0.3或者0.1mm（具体标准由车体本身强度和预冲孔等具体情况所确定）。间隙测量包括整体间隙和倾斜间隙，间隙对于铆接力矩、密封性以及填充度都有影响。

3.剔试检测

失效形式：螺纹填充金属缺失。

可能原因：零件问题，转速、转矩过大，如果下层板为比较脆硬的铸铝件，且转速与压力不成比

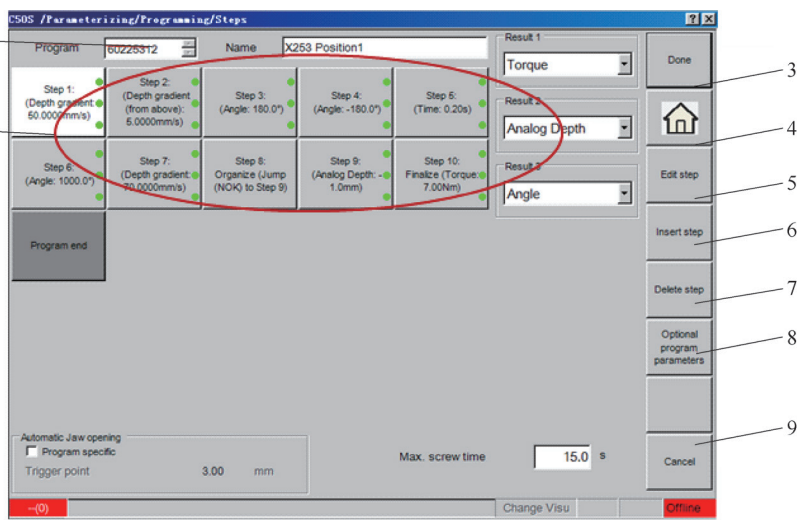


图6 参数设置

- 1.步骤 2.点号 3.保存并返回上一步 4、9.返回上一步 5.编辑该步骤
6.插入步骤 7.删除步骤 8.监控项目

例，转速过大，铆钉的钻入过分依赖于螺纹作用；转速过小，铆钉钻入过分依赖于纵向压力，都会导致螺纹内金属不同程度受力；如果转矩过大，螺纹内金属会在转矩攀升过程中断裂，无法达到良好填充。

措施：排除零件问题，重新编程，找到合理的压力、转速、转矩值。

结语

随着铝合金材料在车身中的广泛应用，铝合金型材以及铸件所占的比例不断增加。对于板件与型材等管状封闭结构的连接，SPR、点焊等双边连接工艺已无法满足。那么Impact和流钻等可以单面连接的工艺，恰好可以填补这个空缺，满足车身连接中的空白。

目前流钻主要是在合资车身上应用比较广泛，自主品牌受制于成本及其他因素，应用比较少。所以需要进一步降低成本，同时优化工艺过程。在流钻的发展过程中，已经升级换代过很多次，铆杆及其他部件也多有改善，但是目前仍然有很大的改善空间。相信在不久的将来，随着铆钉、铆杆等各项铆接部件的发展，流钻会有更广泛的应用。 **AUTO1950**

