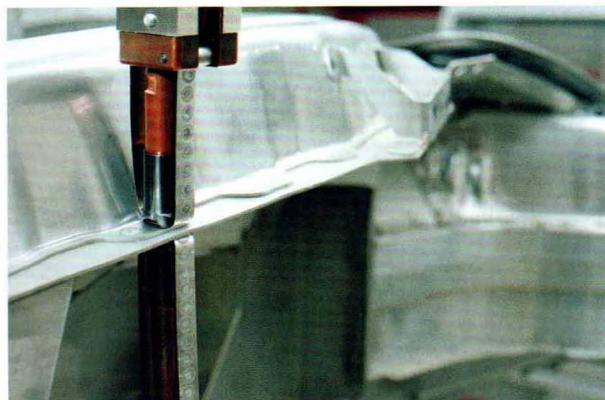


铝合金连接技术在汽车制造中的应用

□ 东风汽车公司科技工程部/崔厚学

节能与新能源汽车技术路线图从车身制造更优质、高效、柔性化、低成本和安全、节能、环保等方面对连接技术提出了更高要求。本文结合这一新形势，对铝合金新材料、新工艺、新设备在中国汽车工业中的应用和发展趋势作一简要分析和展望。



得益于经济持续增长和人民生活水平提高，2009~2017年中国汽车产销连续九年稳居世界第一。2015年5月国务院颁布“中国制造2025”，明确“三步走”战略实现制造强国：第一步到2025年迈入制造强国行列；第二步到2035年制造业整体达到世界制造强国阵营中等

水平；第三步到2049年新中国成立100年时，制造业综合实力进入世界制造强国前列。

围绕实现制造强国的战略目标，“中国制造2025”提出加快包含“节能与新能源汽车”在内的十大重点领域突破发展。中国汽车工业面临新的发展机遇和挑战，连接

技术作为汽车关键制造技术，其重要地位更显突出。

汽车制造模式发展进程

世界汽车制造模式进程如图1所示。

伴随工业4.0的发展进程，中国汽车和世界汽车制造业经历了大

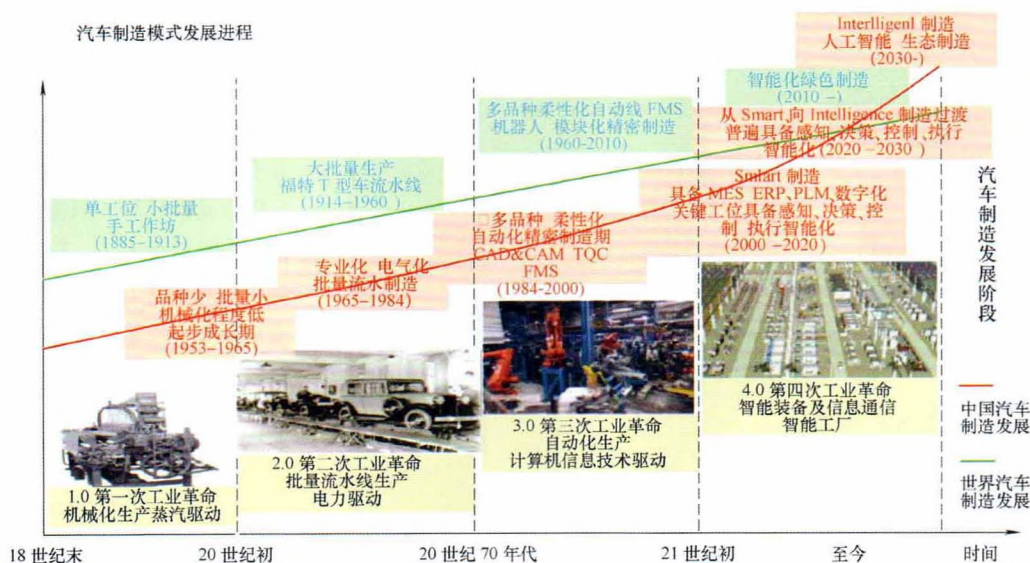


图1 汽车制造模式发展进程

致相仿的四个阶段。随着转方式调结构进程加快，发展节能与新能源汽车是解决能源、环境问题的重要途径，是我国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路。汽车产品向“轻量化、电动化、智能化”转型，生产制造方式向“大规模定制化”转型，新能源、新材料和信息技术加快发展，汽车制造的数字化、模块化、自动化、柔性化、智能化、绿色化特征日趋明显。

节能和新能源汽车的发展离不开汽车车身结构的轻量化，汽车用材料也必然涉及到先进高强钢板、高强轻质合金、非金属复合材料等，铝合金材料的应用也越来越广泛。传统的连接技术如电阻焊、电弧焊、钎焊等已不能完全满足要求。一些新连接技术如中频自适应电阻点焊技术、激光焊、激光-电弧复合焊技术、搅拌摩擦焊、锁铆、流钻螺钉、胶接技术等在未来铝合金车身制造中将得到大力推广和应用。

铝合金焊接技术

1. 电阻点焊

电阻点焊在铝合金材质的车门内板、仪表盘、发动机盖、后板内板，行李箱盖等零部件上有着广泛应用。

为满足铝合金在汽车中的大量应用，传统点焊系统无法施加精准的电极压力，只能采用弱规范来焊接，由此带来了焊接飞溅大、设备寿命缩短、能耗加大等一系列问题。近年来，依靠伺服电动机驱动的伺服焊枪以及中频逆变直流MFDC电阻点焊设备具有电极压力精准、焊接电流平稳、响应快速等特点，正逐渐被推广应用。中频逆

变直流电阻焊具有反馈控制的响应速度快、输出稳定性好、热效率高、焊接时间缩短、功率损耗很小、节能效果明显、设备体积小等优点，设备功率因素达到95%，平均节能30%以上；电极寿命提高1倍以上，焊接铝及铝合金等导热性高的金属效果显著，质量更稳定可靠。

2. 激光焊接技术 (LBW)

采用激光焊接可以给汽车制造业带来巨大的经济效益，如把车身装配中的大量点焊改为激光焊，每辆车就可以节省钢材40kg。欧洲各大汽车厂的激光焊接绝大多数被用于车身焊接，如德国大众Audi A6、Audi A4、Golf和Passat等车顶激光焊（见图3），宝马5系、欧宝Vectra车型以及瑞典沃尔沃的一些车型车顶与侧围外板、后盖焊接也

广泛应用激光焊接。

随着高强镀锌板、新型铝、镁等轻质材料在汽车中的广泛应用，激光焊接代替点焊也是汽车制造的发展趋势。目前，激光焊接技术已成为汽车工业的标准工艺，是汽车制造生产中最主要的焊接方法之一。激光焊接的技术发展目标主要有如下：

- (1) 开发出能够用于车身新材料的异种材料激光焊技术。
- (2) 开发出能够降低能量输入20%或更多的复合激光焊方法。
- (3) 成本降低10%~20%，自动化程度提高20%，合格率提高至95%。

3. 搅拌摩擦焊(FSW)

搅拌摩擦焊是一种在机械力和摩擦热作用下的固相连接方法（见图4）。搅拌摩擦焊过程中，

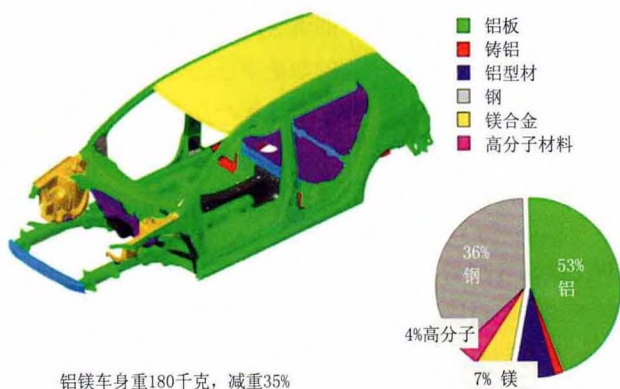


图2 某型轻量化汽车中各类材料占比



图3 激光钎焊顶盖夹具

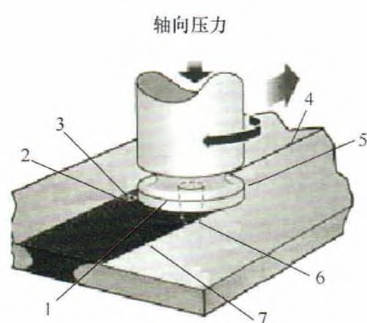


图4 搅拌摩擦焊原理

1.搅拌头后沿 2.搅拌头轴肩 3.焊缝前进侧
4.焊接线 5.搅拌头前沿 6.搅拌针 7.焊缝
回转侧

一个柱形带特殊轴肩和针凸的搅拌头旋转着缓慢插入被焊接工件，通过搅拌头的高速旋转，使其和被焊接材料之间的摩擦剪切阻力产生摩擦热，搅拌头邻近区域的材料热塑性化。当搅拌头旋转着向前移动时，热塑化的金属材料从搅拌头的前沿向后沿转移，并且在搅拌头轴肩与工件表层摩擦产热和锻压共同作用下，形成致密固相连接接头。

搅拌摩擦焊作为一种固相焊接方法，焊前工件无需严格的表面清理准备要求，焊接过程中也无烟尘和飞溅，同时噪声低。由于搅拌摩擦焊仅仅是靠焊头旋转并移动，逐步实现整条焊缝的焊接，所以比熔化焊甚至常规摩擦焊更节省能源。搅拌摩擦焊大多应用于挤压型材和较厚板材。近年来欧洲典型车身上已经批量应用了搅拌摩擦焊来焊接铝合金车身，日本富士重工业公司实际应用FSW进行了厚度1mm左右的薄铝合金板的对接。

在汽车轻量化发展过程中，搅拌摩擦焊的应用主要体现在高效、可靠、成本低和点焊工艺和装备的开发上。

4. 胶接

(1) 胶接点焊。胶接点焊工艺是将胶接与点焊复合而成新的连接工艺。在胶接点焊中，胶体会影响焊接中铝和钢金属间化合物的形成。胶接点焊工艺简单，对加工精度要求较低，可以实现各种形状工件焊接，避免焊接过程中的应力集中。接头强度较高，延长了电极使用寿命，而且连接件具有良好的密封性、减振性，不存在电位差导致的电化学腐蚀。胶接点焊的不足之处是成本较高，胶固化时间长，胶层的导电性不好，耗电量较大。

胶焊工艺现已应用于低碳钢、不锈钢、有机涂层或金属涂层钢板和控轧钢板、铝合金、钛合金、硼-铝复合材料的连接。胶焊技术在异种材料的连接上有广阔的应用前景，可实现现有连接工艺无法完成的异种材料的连接。如在铝制重型卡车的驾驶舱、汽车车体和底盘结构等的制造中已经采用了胶焊技术。随着胶焊生产自动化程度和生产率的提高及胶焊接头性能的不断改进，胶焊技术节能与新能源汽车制造领域发挥越来越大的作用。

(2) 胶粘连接。胶粘连接是借助胶粘剂在固体表面上所产生的粘合力，将同种或不同种材料牢固地连接在一起的方法。粘接的主要形式有两种：非结构型和结构型。非结构粘接是指表面粘涂、密封和

功能性粘接，典型的非结构胶包括表面粘接用胶粘剂、密封和导电胶粘剂等；结构型粘接是将结构单元用胶粘剂牢固连接在一起的粘接。

与传统的焊接、螺接、铆接方式相比较，胶接接头不容易变形，受力均匀，耐疲劳。在正常情况下，胶接密封良好，电气绝缘和耐腐蚀性优良，对铆接、焊接等连接方式的缺点得以弥补。由于胶粘剂不受连接材料质地的限制，所以可以实现陶瓷、复合材料和金属材料等多种类的连接，同时对连接结构又起到补强作用。对于多种材料混合车身，胶接技术不存在熔化问题，而且可以隔绝异种金属接触从而避免电化学腐蚀，因此具有明显的优越性。

胶粘技术在汽车连接方面未来的主要发展方向首先是作为多种材料混合车身的重要连接技术在相关车型上的应用，其次是胶粘连接技术的智能化生产及应用。

5. 锁铆技术 (SPR)

锁铆连接是指锁铆铆钉在外力的作用下，通过穿透第一层材料(和中间层材料)，并在底层材料中进行流动和延展，形成一个相互镶嵌的永久塑性变形的铆钉连接过程（见图5）。

锁铆工艺优势表现在具有较高的动态疲劳强度、撞击能量吸收特性，可连接带夹层的材料组合以及

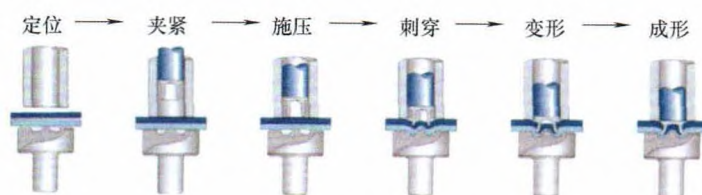


图5 锁铆连接工艺的连接过程

生产过程在线质量管理。目前锁铆技术已应用在汽车门内板和加强板的连接等。

锁铆连接技术与传统点焊、铆接的对比优势如下：

(1) 锁铆连接材料组合广泛。可用于不同材质、硬度、厚度材料组合，各种有镀层的材料连接组合和连接有夹层包括胶水等非金属材料组合。

(2) 综合成本低廉。无需连接前后的处理工序；连接工序简单，工作效率高；设备投入合理，操作成本能耗极低；对操作员素质要求不高，人工成本低；无需额外的环保和劳保投资（无烟尘排放）。

(3) 质量可靠。连接区域没有应力集中，动态疲劳强度高；在线铆接装配质量管理体系，无损检测连接质量，保证100%合格率；连接质量依靠设备保证，不受人员影响。

(4) 附加功能。锁铆连接设备可以实现自动化作业；连接设备易于与生产过程自动化组线集成；设定不同程序，同一套锁铆设备可以满足不同材料组合的铆接和在线质量管理要求。

6.流钻螺钉连接(Flow Drill Screw, FDS)

通过螺钉的高速旋转软化待连接板材，并在巨大的轴向压力作用下挤压并旋入待连接板材，最终在板材与螺钉之间形成螺纹联接，而中心孔处的母材则被挤出并在下层板的底部形成一个环状套管（见图6）。流钻螺钉可以用来连接包括超高强钢、铝镁合金、复合材料在

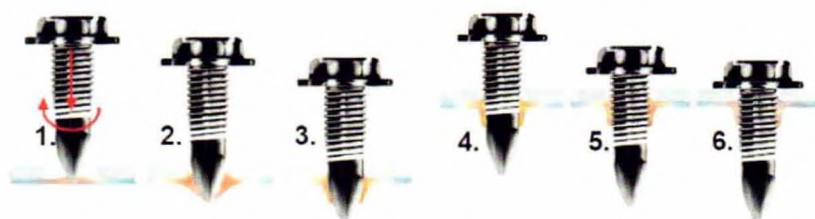


图6 流钻螺钉工作原理

内的任何材料及异种材料；可在较小变形的情况下实现单边连接，使得连接更加方便。

旋转流变螺柱连接技术可实现钢制螺钉与铝合金板材，也可以实现钢制螺钉与同质板材的优质连接，克服螺柱焊等强度不高以及特殊部件点焊无法实现等缺点。利用优化连接参数可得到优质的结构板材连接接头，同时可实现某些点焊等焊接方法无法实现的多层板连接。

流钻螺钉的应用主要在车门内板、车身地板、后板内板，行李箱盖等。主要关键技术包括：流钻螺钉连接工艺及接头防腐技术、流钻螺钉连接装备的研究、流钻螺钉材料的研究。目前FDS技术是固定螺钉和连接车身结构的新型连接技术，主要用于铝板之间、钢板之间，或铝板和铁板之间的螺钉连接，未来全铝车身的发展，将会使FDS得到更广泛应用。

结语

(1) 随着车型更新换代加快和智能绿色制造的要求，铝合金焊接技术在汽车工业的应用不断加快。

(2) 在节能与新能源汽车制造中，多材料设计理念能较好兼顾各方面的要求，未来将呈现铝密集、镁密集、非金属密集车身与钢

车身、全铝车身、多材料车身并存，因此多材料先进连接技术在汽车制造中的复合将成为发展趋势，连接技术也将向智能化、绿色化、工艺经济性、成本最优化方向发展。

(3) 在完成节能与新能源汽车的设计和选材之后，其连接工艺是决定汽车的安全和轻量化应用的是否成功的关键因素，激光焊接、锁铆技术、搅拌摩擦焊以及胶粘连接技术是解决铝合金轻量化材料连接的有效手段之一。AUTO1950



崔厚学

湖北省武汉市人，焊接专业博士，研究员级高级工程师。东风汽车公司科技工程部制造规划处焊接专业规划师，长期从事汽车焊装规划、工艺设计、现生产、外协件质量管理及新技术导入等工作。先后有多项成果获得原机械部、省市、公司科技进步奖，在国内知名刊物发表文章20余篇。