现代焊接技术在汽车制造中的应用与发展

郑州机械研究所 （河南 450001） 乔培新 于新泉 潘建军 龙伟民

【摘要】简述了现代焊接工程在汽车工业中的应用现状，分析了焊接技术在汽车制造中的作用和特点，讨论了汽车制造中焊接材料、焊接设备和焊接工艺的发展方向和应用前景。本文认为焊接工程技术仍旧是未来汽车制造的关键性基础工艺，在近期，焊接工程将与机械、材料、电气控制、计算机以及网络技术融合发展。

1. 概述

全球经济危机波及到各个国家和各个行业，汽车制造第一大国第一强国的汽车界处于水深火热之中。经济衰退对我国也产生了大范围、深深度的影响，但是我国的汽车工业却在危机中一支独秀，仍旧处于稳步发展的态势。可以预期无论在近期的经济复苏时期，还是在不远的将来，汽车制造业都是我国的支柱产业之一。

我国汽车工业的快速发展起始于 2002年，2002年我国汽车总产量达到 325.1万辆，首次突破 300万辆大关，增长幅度达到38.5%。2003年我国汽车总产量达到445万辆，超出2002年119万辆，增长幅度达到36%，中国超过了法国成为世界第四大汽车生产国。2004年我国汽车总产量达到 507.05万辆，增速虽有所减缓，增长幅度也有 14.11%。2005年我国汽车总产量达到 570.77万辆，增长幅度仍旧保持两位数，达到 12.56%。

2006年到 2008年，中国汽车工业又迎来一个高速发展期。2006年我国汽车总产量达到 728万辆，增长幅度达到 27.6%，超过德国位居世界第三。2007年我国汽车总产量达到 888万辆，超出2006年 160万辆，增长幅度保持两位数，达到 22.02%。2008年我国汽车总产量达到 934.51万辆，在经济危机中仍旧有 5.21%的增长幅度，从产销量上看已经与美国、日本处于同一水平。

表 1列出了 21世纪以来我国汽车的产销量。

汽车工业第一个100万辆，中国用了40年时间，第二个100万辆用了 8 年时间，第三个100万辆用了两年，而第四个100万辆仅仅用了一年不到的时间，随后基本是每年增加 100万辆。汽车工业的高速发展对焊接技术提出了新的要求，近几年国内有关汽车焊接的专题会议、专题期刊接连不断。

表1 2000～2008年中国汽车产销量

年份	产量/万辆	销量/万辆
2000	206.9	208.86
2001	233.44	236.37
2002	325.00	324.80
2003	444.37	439.08
2004	507.05	507.11
2005	570.77	575.82
2006	727.97	721.60
2007	888.24	879.15
2008	930.51	938.05

在汽车制造中发动机、车身和总装是三大总成，在三大总成制造系统中，冲压、焊接、总成、涂装四大车间全都离不开焊接技术，即便涂装线上也有刮擦钎焊和金属腻子钎涂的工序。

汽车工业中，焊接是汽车零部件与车身制造中的一个关键环节，起着承上启下的特殊作用，同时，汽车产品的车型众多，成形结构复杂，零部件生产专业化、标准化以及汽车制造在质量、效率和成本等方面的综合要求，都决定了汽车焊接加工是一个多学科、跨领域和

技术集成性强的生产过程。

焊接是汽车制造过程中一项重要的环节。在汽车的焊接中，焊装质量直接决定着后面工序的质量。汽车焊接不同于其他产品焊接的主要工艺特点有：对焊接件的尺寸精度要求高，为了保证产品的装配精度和尺寸稳定性，要求尽可能减少薄板件在焊前的精度偏差和焊后的热应力与变形。对焊缝接头的性能要求高，焊接接头不仅要满足静态和动态的力学性能指标，而且有苛刻的兼顾低周疲劳性能和高周疲劳性能要求，对批量焊接生产高品质且一致性好的要求，对焊接生产过程高节拍、高效率的要求，对“零缺陷”的质量控制与保证，提出了自动化焊接过程的监测与信息化管理的要求。

针对汽车产品“更轻、更安全、性能更好且成本更低”的发展目标，当前的汽车焊接技术正在传统的材料连接概念与方法的基础上迅速地延伸和拓展，并向先进的“精量化焊接制造”的方向发展。

2. 汽车焊接中焊接材料的应用

在汽车焊接工程中，焊接对象、焊接材料、焊接设备和焊接工艺是相互关连、相互制约的。焊接材料的应用和发展总是依存于焊接工艺和焊接对象，同时又促使焊接对象的完善和促进焊接工艺的提高。汽车行业常用焊接材料见表2。

3. 汽车制造中焊接工艺的应用现状

焊接技术是汽车制造中的一项关键技术，焊接与冲压、涂装和整车总成装配是汽车制造的四大技术支柱，更重要的一点，焊接工程是集工艺、机械、材料、电气、控制以及计算机等多学科的、跨领域的集成性技术。这些特点决定了焊接工程技术对汽车制造的支撑和推动作用。

在汽车的车架、车身、车厢、发动机、变速箱以及车桥等6大总成中，焊接技术都有广泛的应用，所用的焊接工艺种类齐全，几乎应用了全部的焊接工艺。焊接工艺的具体应用对象见表3。

4. 焊接设备在汽车焊接中的应用

焊接设备是焊接工艺、焊接材料和焊接对象的载体和桥梁。通用的焊接设备在汽车制造中得到了广泛的应用，但在汽车工业的焊接工程中更被人们关注的是专用焊接设备。由于生产厂家和车型种类繁多，专用焊接设备显得尤为庞杂，本文只列出应用较为普遍的通用设备和专机，个别公司的专用设备和焊接机器人、机械手不做详述。

焊条电弧焊常用电焊机有BX—315、BX—500，ZX5—250、ZX7—315（MOS）、ZX7—400（MOS）、ZX7—400（IGBT）、ZX7—500（IGBT）以及ZX7—630（IGBT）。

CO_2气体保护焊常用电焊机有NBC—250、NBC—315、NBC—500，氩弧焊常用电焊机有TIG—160、TIG—160B、TIG—200、TIG—200B、WS—160单相、WS—200单相、WS—250三相、WS—500三相，WSM—250P三相、WSM—500P三相、WSM—630P三相、WSE—250单相、WSE—350单相以及WSE—500三相。

埋弧焊常用电焊机有MZ—630、MZ—800、MZ—1000、MZ—1250、LAF1250以及TAF800等。

表2 汽车行业常用的焊接材料

材料种类	应用对象	特点
E4303、E5016、E5016－G等	焊条电弧焊	灵活方便
H08A、H08MnA、HJ431等	埋弧焊	优质、高效
H08Mn2SiA、H08MnSiCaCrNi等	气保护焊、MAG、MIG、TIG等	优质、高效
药芯焊丝	气保护焊	用于高强钢焊接
304、316（316L）等	氩弧焊、气保护焊	不锈钢焊接
4043、5056（5356）等	铝合金氩弧焊	对成分和表面状况要求苛刻
4047、AlSiCuZn	铝钎焊	
CuZnMe	钢构件钎焊	成本低
AgCuZn、AgCuZnSn	钎焊	异种金属连接
CuSi3Mn	MIG焊、镀锌板、锌铝板	焊接温度低
SnPb、SnAgCu、SnAg	钎焊、钎涂	主要用于换热器、电路板等
CuCr、CuZr等	电阻焊电极、导电嘴	辅助材料，直接关系焊接质量稳定性

表3 汽车制造中常用的焊接工艺

连接原理	焊接工艺	主要对象	特点
切割	火焰、激光、等离子	下料	生产效率高
压力焊	点焊	车身、车门、侧围、地板、零部件	效率高、节能、节材、易操作
	缝焊	油箱、消声器、机油盘、减震器、车身雨檐等	
	凸焊	制动蹄、螺钉、螺母、减震器阀杆	
	对焊	钢圈、排进气阀杆	效率高、强度高、环保
	摩擦焊	阀杆、轴桥、凸轮、偏心轴、万向轴、驱动轴、换档杆以及横连杆等杆类零件	
电弧焊	CO_2气体保护焊	车架、车身、桥以及横梁等	高效节能
	氩弧焊	不锈钢件、铝合金件、座椅、车门、车窗以及排气管等	成形美观
	焊条电弧焊	各种钢结构件	灵活方便
	埋弧焊	重型汽车、工程汽车、压力容器等厚板件	效率高
	电子束焊、激光焊	齿轮、车门等	高能束流变形小、成形、成本高
钎焊	火焰、炉焊、真空、高频	散热器、车门等、车窗、空调系统以及异种金属连接	有色金属连接、复杂焊缝

激光焊接与切割成套设备（不便写出厂商牌号）。

激光切割设备（不便直接写出厂商牌号）。

火焰切割成套设备（不便直接写出厂商牌号）。

等离子切割成套设备 LGK—40、LGK—80、LGK—120。

电阻焊常用电焊机有 D(T)N—16、D(T)N—25、D(T)N—35、D(T)N—50、D(T)N—63、D(T)N—75、D(T)N—100、 D(T)N—150、DN3—50、DN3—75、TDN—75、TDZ—75、UNQ—400、UN—100、P03—1、NKR—2×200、KTWJ—200以及TNE440。

电容储能螺柱焊常用焊机有 RSR—1600、RSR—2000以及RSR—2500。

从 2009年 6月 2号在上海举办的北京·埃森焊接与切割展览会上参展单位来看，焊机厂商越来越多，产品呈多元化，仅电弧焊机展商就有 85家之多，气保焊机展商更是达到 121家。从新的焊接设备来看，数字化焊机、逆变节能型焊机、高频电阻焊机、激光焊机、等离子焊机、电子束焊机以及高频感应钎焊机有新的发展。

5.汽车工业中新材料的应用对焊接技术的要求

近年来，汽车在轻量化、安全性、节能性的社会需求的推动下，开展了铝合金、镁合金、工程塑料以及复合材料等新型轻质材料的研究、开发和应用。例如大众公司开发的 AUDI A2已大量采用铝合金，使每百公里耗油降到了 3L。

这种轻合金大量应用的趋势向焊接工程者召示：铝合金等轻金属的焊接将是汽车焊接所面临的一大挑战和机遇。可以预言，交流方波工艺、AC—PMIG电源、数字化电源、A—TIG工艺、LASER—MIG工艺、NOCLOCK工艺、压铆、压铆扩散以及冲压铆接等新工艺将在汽车制造业中得到快速发展与应用。

防腐耐蚀和美观的外形已经成为轿车的时尚，镀锌板、镀锌铝板应用必将更加广泛，这些材料的应用给焊接工作者提出了新的要求，研究开发熔化温度低、熔滴粘度小、表面张力小、飞溅小、与铝、锌的润湿性好以及气孔倾向性小的新型材料已成为当务之急，目前用于 MIG焊的 CuSi3还不能很好的满足这种要求。

由于复合材料和高分子材料飞速发展，汽车制造厂不得不暂时采用胶结技术。这类材料的连接是焊接界面临的又一次挑战、同时也是一次新的机遇。

从国内外用钢量分布看，汽车用钢量与建筑、机械制造同居前三位，所以在相当长的一段时期，汽车制造业中钢的焊接仍是主流。在钢的焊接中焊接自动化是焊接工作者的主要工作方向。

目前，汽车制造中新的工程材料应用可以归结为以下5个主要方面：

（1）镀锌钢板 随着汽车工业发展，为了提高车体使用寿命和增强车体材料的抗腐性能，镀锌钢板得到广泛使用。在当前汽车车身焊接中，以电阻点焊工艺为主，与无镀层钢板相比，镀锌钢板的点焊过程中还存在一些工艺关键需要解决：先于钢板熔化的锌层形成锌环而分流，致使焊接电流密度减小；锌层表面烧损、污染电极而使电极寿命降低；锌层电阻率低，接触电阻小；

容易产生焊接飞溅、裂纹及气孔等缺陷。

（2）高强度钢板 在汽车轻量化进程中，减小截面尺寸和采用轻质材料是殊途同归，但从提高汽车安全性能角度，采用高强度钢板更为受宠。目前高强钢钢板主要有含磷冷轧钢板、烘烤硬化冷轧钢板及冷轧双相钢板等。这类高强钢的焊接要求较高。

（3）铝合金 与汽车钢板相比，铝合金具有密度小、比强度高、耐锈蚀、热稳定性好、易成形和可回收再生等优点，技术成熟。汽车工业中也逐渐使用铝合金材料的零部件。铝合金焊接目前存在的主要问题有：线膨胀系数大，产生的热应力较大，易出现气孔从而导致焊接接头的强度降低。

（4）镁合金 镁的密度仅为钢材密度的35%。它的比强度、比刚度高，阻尼性、导热性好，尺寸稳定性好，因此，在汽车工业中将得到广泛应用。镁合金的焊接仍处于初级阶段。

（5）高强度纤维复合材料 20世纪80年代后期，复合材料车身外覆件得到大量的应用和推广，如发动机罩、翼子板、车门和顶棚等，甚至出现了全复合材料的轿车车身。不仅在汽车制造业，在整个焊接界复合材料的焊接将是一个长期的研究热点。

6.汽车焊接中的几项热点工艺

在汽车焊接中，气体保护焊接工艺占有最大的比重，在气体保护焊中有几项新工艺正在推广。

（1）表面张力过渡波形控制技术 用两个电流脉冲完成1个熔滴过渡，第1个脉冲形成熔滴直至熔滴与工件短路；第2个脉冲是1个短时窄脉冲并不断检测di/dt，同时控制电流脉冲值，以产生适当的电磁收缩力，使熔滴颈部收缩，靠熔池表面张力拉断，完成1个熔滴过渡而不产生飞溅。

（2）逆变电源波形控制技术 利用逆变电源良好的动特性和可控性，采用波形控制，在短路阶段初期抑制电流上升，以减少大颗粒飞溅，并利于熔滴在熔池铺开；当熔滴在熔池铺开后，使电流迅速上升，以加速形成缩颈，使小桥爆断时飞溅减少。

（3）氩弧焊新技术 氩弧焊有非熔化极和熔化极两种，均用于汽车工业有色金属和高合金钢焊接中。A—TIG技术在节能降耗方面有很大潜力。

（4）混合气体保护焊技术 为改善CO_2气体保护焊的成形和减少飞溅，采用加入80%或20%Ar的混合气体保护焊。

激光和电弧复合热源焊接技术：由于激光焊接功率较小、成本较高，因此以激光为核心的复合热源焊接技术孕育而生。该工艺的特点是：有效利用电弧热源，在较小的激光功率条件下获得较大熔深，提高激光焊接对焊缝间隙的适应性，实现高效率、高质量的焊接过程。

7.汽车焊接中的自动控制、计算机及信息技术

近30年来，自动控制技术在焊接电源、焊接专机以及焊接机器人中得到了充分应用，也可以说焊接设备性能的提高主要依赖于自动控制技术的发展，这一观点在逆变电源、脉冲电源、数字化焊机方面得到了有力验证和有效实践。

计算机应用的前期主要在于自动控制技术的延伸，中期在于焊接过程数值模拟、焊接机器人以及电阻焊机的群控。目前，伴随着信息技术的快速发展，计算机技术已经以网络形式应用于焊接过程中，其主要形式有interbus总线系统，基于internet的焊接控制系统等。

8.焊接机器人

自动化柔性生产系统是汽车焊接的发展趋势，而工业机器人因其自动化和灵活性在轿车生产中得到大规模使用。焊接机器人的发展是多品种、小批量、柔性化的汽车制造特点带来的必然结果，在新型汽车（尤其是轿车）生产线中点焊机器人、弧焊机器人、螺柱焊机机器人，甚至于激光机器人已得到较好的应用，但是由于专用程序、运行成本、投资成本等因素限制了机器人的大量应用。

2009年6月初举行的北京·埃森焊接展（在上海举办）上焊接机器人的性价比已经大大提高，20～30万元已经可以买到满足全位置焊接的“多于6自由度”的多功能机器人。但是，当今汽车制造厂主要使用的是6自由度点焊机器人和弧焊机器人。

在今后一段时期，焊缝跟踪技术、焊缝检测技术、远程编程（网上编程）技术的突破将扩展焊接机器人在汽车制造中的应用。

9.先进制造技术对焊接工程的要求

FMS、CIMS、LP、AM以及VM等技术的兴起必将要求焊接工程与计算机技术、网络技术密切结合。

近年来，国内的汽车制造厂都非常重视焊接的自动化。如一汽引进的捷达车身焊装车间的13条生产线的自动化率达80%以上。各条线都由计算机(可编程控

（下转第19页）



图6 相同碰撞试验条件下Golf 1与Golf 5受损比较

这一问题将更加突出。

其次，采用超高强钢后，在增强防撞功能的同时，可以减少部件数量，减轻汽车重量。这是因为采用超高强钢后，可以省去以往的加固件（图7中打叉的部件不再需要）。

然而，采用超高强钢后，过去制造这些结构件的机械冲床便不再适用，因为超高强钢的硬度与机械冲头相近，用机械冲的方法，冲头将极易损坏。而激光切割无机械接触，不存在磨损问题。因此，激光切割超高强钢是必须的选择（如图8所示）。

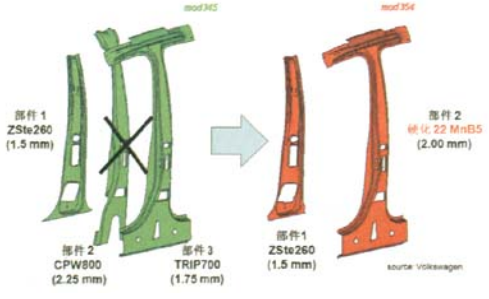


图7 采用超高强钢后不再需要以往的加固件（图左部件2）

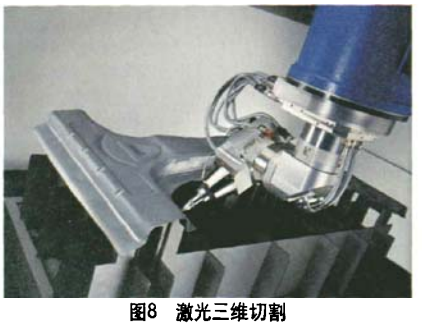


图8 激光三维切割

4．汽车差速齿轮的激光焊接

激光应用渗透到了汽车制造的各个部分，远不止上面叙述的白车身制造的例子。汽车差速齿轮的激光焊接就是在汽车动力系应用的一个例子。

图9示出汽车差速齿轮螺栓连接与激光焊接的比较。显然，激光焊接取代传统的螺栓联接后，节省了螺栓，减轻了重量，缩小了体积，降低了噪声，实现了生产的自动化，提高了生产效率，完全符合汽车制造发展的需求。



图9 汽车差速齿轮螺栓联接（左）与激光焊接（右）的比较

三、结语

激光技术在汽车工业领域应用十分广泛，从白车身、电器仪表到传动部件，从焊接、切割到激光打标，到处都有激光技术的应用，不胜枚举。激光以其光斑小、能量集中、功率密度大、加工效率高、热注入量少以及工件变形极小等多方面的独特优势，在工业制造业的许多应用领域正在逐渐取代传统的加工工艺，而且发展迅猛。这是因为激光技术应运了制造技术的发展需求，能大大提高产品的市场竞争力。**MW**

（20091019）

（上接第16页）

制器 PLC—3)控制，自动完成工件的传送和焊接。机器人的动作采用点到点的序步轨迹，具有很高的焊接自动化水平，既改善了工作条件，提高了产品质量和生产率，又降低了材料消耗。

MRP、MRP2等现代管理系统也要求焊接工程向自动化、数字化、信息化方向发展。

10.结语

汽车是科技发展和人类社会文明进步的象征，汽车拥有量和制造水平已成为一个国家现代化程度的标志，在我国，汽车制造更是推动国民经济发展的重要支柱。

在汽车制造中，焊接工程技术是关键的基础制造工艺之一，焊接技术的创新和提高是汽车制造水平提升的基础和助力器。**MW**

（20091011）