

铁路货车焊接技术60年

中国南车长江车辆有限公司 (湖北武汉 430212) 李加良

作者简介: 李加良, 1956年出生, 教授级高级工程师, 国际焊接工程师。主要从事铁路货车制造工艺技术研究。现任公司专家, 享受政府特殊津贴, 连续担任中国焊接学会第六、第七届、第八届(2000~2011年)理事会理事。

一、货车焊接技术的发展

20世纪50年代初, 我国开始仿制货车, 首先仿制C1型30t敞车, 采用铆接钢底架, 钢骨木板车体。随着现代工业生产的需要和科学技术的蓬勃发展, 焊接技术的不断进步, 将焊接引入到机车车辆的制造和修理上, 逐渐用焊接结构代替了铆接结构, 货车从钢木混合结构进入全钢结构。先后制造了敞车、平车、棚车、罐车、漏斗车以及长大特种车等。

焊接作为工艺手段, 要在熔池凝固的短时间内通过“微冶金”完成焊缝, 并要一次成功, 这就不能不对母材进行分析研究, 对焊接材料进行选择, 对工艺参数进行试验优选, 对焊接设备、装备进行选择, 对焊工进行培训等诸多方面, 才能焊出符合要求的焊接接头。

1. 货车用材料的发展

车辆用钢材在20世纪50~70年代, 采用Q235普通碳素结构钢, 采用以J422为代表的结构钢焊条焊接。到80年代后期, 开发了屈服强度为295MPa的Cu-P合金系09CuPTiRe耐候钢, 以及屈服强度为345MPa的Cu-P-Cr-Ni合金系的09CuPCrNi耐候钢。推行采用CO₂气体保护实芯焊丝焊接。进入21世纪后, 不同于Cu-P-Cr-Ni高耐候钢成分体系, 屈服强度级别为400MPa、450MPa、500MPa、550MPa高强度高耐候钢系列问世, 开始采用药芯焊丝焊接。其中Q450NQR1钢已经广泛用于70t、80t级货车制造, 为货车增加载重提供了条件。2005年开始, 采用耐候性能更好的铝合金和TCS经济型铁素体不锈钢, 新材料的采用对焊接装备、焊接工艺提出了新的要求。

2. 焊接装备的发展

焊接装备包括焊接设备、焊接辅机具和切割设备。在20世纪60~70年代各工厂一般只有手工交流焊机 and 手工直流焊机; 到70~80年代有了少量气体保护焊机和埋弧焊机; 90年代开始气体保护焊机、埋弧焊机数量大幅上升; 2000年后采用数字化焊机、焊接专机、焊接机器人等先进设备。比如敞车侧墙、端墙用上了焊接专机, C80B型不锈钢敞车的焊接采用数字化焊机、焊接机器人焊接等。下料工序, 在60~80年代采用剪板机下料和手工氧乙炔切割, 从90年代开始则采用数控火焰切割机、数控等离子切割机、精细等离子切割机、激光切割机等自动化设备。

3. 焊接技术的发展

在20世纪60~70年代, 车辆焊接采用焊条电弧焊方法及少量埋弧焊方法焊接, 到70年代末期开始试用效率高、焊接变形小的CO₂气体保护焊方法, 到80年代在各货车新工厂广泛采用CO₂气体保护焊工艺。90年代末期开始推广采用飞溅小、外观成形好的富氩混合气体保护焊方法, 焊接生产率 and 产品质量大大提升。2000年后由于新材料、新技术的应用, 促进了MIG焊、MAG焊、TIG焊等焊接方法在货车行业的应用。

随着新材料的应用和产品质量要求的提高, 对焊接质量的可靠性提出了更高的要求。为减少制造过程中人为因素的影响, 降低工人的劳动强度, 提高焊接生产效率, 确保焊接质量的稳定, 促使货车行业全面提升焊接工艺制造水平, 铁道部运输局“以装备保工艺, 以工艺保质量, 以质量保安全”的指导方针, 要求提升货车制造工艺水平, 并以运装货车[2004]285号文件对货车

制造企业提出车体钢结构关键部位须采用自动化焊接，因而必须提高车辆部件的下料精度、组装精度。铁道部装备部以运装货车[2006]399号文件对敞车的长直焊缝规定采用自动焊。货车企业大力推广先进的自动、半自动的下料工艺、焊接工艺和焊接专机，自动线或柔性生产线，焊接机器人和各种不同水平的低成本生产流水线，全面提升了货车制造焊接自动化水平，货车自动化焊接向前迈进一大步。接着装备部又提出精益制造的理念。各制造工厂循序渐进的按照运装货车400号等文件的技术要求进行敞车生产制造，在工艺试验研究、工艺装备、焊接工艺、焊接质量控制等方面加大投入和改进，敞车的制造质量稳步提升。

4 焊接技术应用举例

(1) 数控切割下料技术的应用 机器人、焊接专机焊接的必要条件是工件下料组装精度高，如果没有很好的组装精度，就难以实现自动化焊接技术，因此广泛采用数控下料技术，半自动和全自动“氧-特利气”切割，数控精细等离子切割，水下等离子切割，激光切割，极大的提高了下料精度，为组装焊接打下良好的基础。见图1~5。



图1 数控火焰切割



图2 数控精细等离子切割



图3 水下等离子切割



图4 激光切割机切割



图5 切割机器人进行中梁切头

(2) 焊接机器人的应用 机器人焊接的工件不论是装配精度还是表面粗糙度，其要求比半自动气体保护焊要高得多，因此一般用来焊接机械加工较多的如转向架部件，或者焊接结构较复杂不便实现半自动或专机焊接的部件。见图6~9。



图6 焊接机器人焊接转向架部件



图7 焊接机器人焊接侧架支承座



图11 端墙自动焊专机



图8 焊接机器人焊接敞车侧墙



图9 焊接机器人焊接敞车端墙

(3) 焊接专机的应用 铁路货车的结构形式非常适合采用焊接专机来焊接，大多为不进行机械加工的型钢与板材搭接的长直焊缝，比如敞车的侧墙、端墙等，见图10、11。



图10 侧墙焊接专机焊接侧墙

二、铁素体不锈钢焊接工艺

采用传统耐候钢制造的货车自重大，车体耐腐蚀性差，综合技术经济性不好。从2003年开始采用经济型铁素体不锈钢预研80t级运煤敞车，2005年后开始批量制造TCS345铁素体不锈钢运煤专用敞车。TCS345不锈钢具有良好的耐腐蚀性和力学性能。但不锈钢对焊接热输入敏感，焊接接头组织晶粒粗大，低温冲击韧性低，焊接时钢水粘度大，流动性差，易造成焊接缺陷和焊缝成形不良。

通过优化化学成分，调整钛(Ti)、氮(N)、镍(Ni)或锰(Mn)元素含量，改进后的TCS345不锈钢T4003其焊缝热影响区马氏体组织比例增加，抑制了焊接时铁素体晶粒的长大，焊缝及热影响区组织细化，热影响区低温冲击韧性显著提高。对铁素体不锈钢同种材料，铁素体不锈钢与耐候钢异种材料的各种焊接接头形式，不同焊接热输入量的焊接试样进行拉伸、弯曲、-40℃冲击、热影响区金相组织和断裂韧度等试验、检测，全面掌握了铁素体不锈钢焊接特性。

针对铁素体不锈钢的焊接特性，提高下料尺寸精度，保证组对间隙，有效控制焊缝宽度；采用合理的焊接顺序，避免焊缝交叉重叠，减少起落弧频次；配套使用数字化脉冲焊机，长直焊缝采用自动焊接，精确控制焊接工艺参数；保持焊接区域清洁，采用惰性气体保护；采用机械定位，水平位置焊接。有效控制焊接热输入量，减少焊缝缺陷，是保证铁素体不锈钢焊接质量，提高焊缝疲劳可靠性的关键要素。

结合铁素体不锈钢焊接工艺特点，产品设计应特别注意产品的结构、焊接接头的形式和位置的优化，使焊接部位结构有利于应力释放，焊缝形式适应结构受力特点，避免应力过大。

(1) 焊接参数 在保证焊缝熔合质量的前提下，尽可能提高焊接速度，当TCS不锈钢板厚 $\leq 5\text{mm}$ 时，
(下转第55页)

焊机要高很多,往往一台进口等离子弧焊机的价格是一台钨极氩弧焊的2~5倍,甚至更高。我国目前市场上的等离子弧焊机,多数以美国、德国、日本和法国品牌为主,配件昂贵,且购买不便。而我国自主研发的等离子弧焊机,虽然价格上比进口机器便宜很多,性能上又有很大差距。其次,等离子弧焊机的电源及电气控制线路较繁琐,工艺参数的调节匹配较复杂,对焊接工艺的控制要求较高。在石油行业里,管线钢的焊接安装往往在野外施工,环境多变,等离子弧焊接的质量会受气候的影响,如风沙等因素。这也是等离子弧焊接技术在石油管道上应用较少的主要原因。不过,现在管线钢的焊接安装中用到的双联管技术,采用在施工现场附近建立临时厂房的方法,对等离子弧焊接的发展很有利。

五、结语与前景展望

中国目前的制造业针对厚3~8mm材料的焊接,仍处于一个发展不平衡状态,75%的企业设备及工艺技术落后,仍采用传统的焊条电弧焊或手工TIG焊工艺,该工艺存在工作效率低、质量不稳定、制造成本高、焊后打磨及变形大等缺点,因而无法参与国际竞争。而25%或相当少的一部分企业采用了自动焊工艺,如自动TIG、MAG、等离子弧焊接工艺,极大地提升了焊接质量。特

别是在国内不锈钢焊管行业,自20世纪80年代就开始使用等离子弧焊接工艺,针对厚3~8mm不锈钢可以不开坡口,一次焊透,少了多道工序,节约了制造成本。因而在国内相关行业加大推广新型高效的等离子弧焊工艺及设备,具有重要的实用价值。

随着石油行业的发展,在原油的开采、运输、储存等方面的要求越来越高,为保证设备的质量,提高焊接的工艺水平是势在必行的一环。而对于输油管道的焊接,除了小口径管道可以采用手工焊进行焊接外,全自动焊技术成为管道焊接的主要焊接技术,特别是劳动力成本的提高,将使全自动焊接技术成为管道安装行业的主流技术。因此,发展大电流等离子弧焊机是我们当前的一大重要任务,推广应用大电流等离子弧焊机不但能加快焊接速度,提高焊接质量,同时还能低能耗,实现自动化生产,给用户带来长久的经济效益。对于国内的等离子弧焊机生产厂家而言,在降低设备成本的同时,提高产品的性能和质量是一个不可忽视的问题。我国的焊接设备基本上是10年一个转型。我们可以毫不夸张地说,不久的将来,大电流通用性的等离子弧焊设备将代替部分CO₂焊和TIG焊。因而在国内相关行业加大推广新型高效的等离子弧焊工艺及设备,具有重要的实用价值。

MW (20090417)

(上接第14页)

对接焊缝的焊接热输入控制在0.55~0.7kJ/mm;当不锈钢板厚 ≥ 6 mm时,对接焊缝的焊接热输入控制在0.6~0.75kJ/mm,角焊缝的焊接热输入控制在0.6~0.8kJ/mm。

(2) 不锈钢MIG焊与低合金钢焊接的差别 低合金钢液态金属的流动性好,焊缝金属具有良好的润湿性,成形均匀。不锈钢由于合金含量高,特别是Cr,焊接过程中液态金属表面易氧化,流动性不好,润湿性较差。

焊接低合金钢时,保护气体中活性气体的比例较大,一般Ar+18%~20%CO₂,焊接不锈钢时保护气体中活性气体比例较小,一般为Ar+1%~2%O₂。

低合金钢焊接接头的表面质量要求不高,而不锈钢则要求清洁。

(3) 焊接缺陷的修复 采用钻削、铣削、砂轮磨削等机械方法清理缺陷,焊接前应清理焊缝两侧各20mm范围内的油、水、锈等污物。推荐采用中 $\phi 1.0$ mm的焊丝

进行焊修,并应适当减小焊接电流。

缺陷焊修后,应清除焊接飞溅、熔渣等,修磨焊修后的焊缝使其与原焊缝及母材圆滑过渡。

三、展望

重载铁路货车承受动载荷的要求越来越高,其要求不能满足于过去的车辆设计、试验手段和制造水平上,要参照先进的标准来进行产品设计和工艺控制,以提高焊接结构的整体水平和焊接质量。国内轨道车辆和车辆部件的焊接标准与国际先进标准比较差距还较大,欧洲标准《EN15085轨道车辆和车辆部件的焊接》系列,已成为欧洲国家控制焊接企业产品质量和规范焊接企业质量认证的主要标准。该标准适用于轨道车辆和车辆部件生产和维修时金属材料的焊接。未来铁路货车的焊接将采用国际先进标准,将货车焊接结构设计、制造、质量水平上升到一个更新的台阶,生产世界一流铁路货车,充分满足货主对铁路货运快捷、重载、安全和可靠的要求。MW (20090715)