

镁合金 焊接技术与汽车制造业的发展

深圳职业技术学院工业中心 (西丽 518055) 王红英

摘要: 本文阐述了镁合金对汽车制造业产生和即将产生的深远影响, 指出连接技术是任何材料工程应用的前提。介绍了镁合金常用焊接方法、工艺特点, 着重介绍了镁合金激光焊接技术, 展望了汽车制造将与镁合金焊接技术共同腾飞的前景。

近10年来, 汽车尾气造成的环境污染已成为人类生存发展的主要障碍。减少汽车尾气污染的有效方法之一是降低汽车重量。在未来汽车制造业中可以与铝合金一争天下的还有被誉为“21世纪绿色材料”的镁合金。

一、镁合金的应用为汽车制造业提供了崭新的发展空间

镁在所有金属结构件中最轻的, 它的重量仅为铝的34%, 为钛的50%。镁合金甚至比塑料还要轻, 而它的强度却是塑料的20倍。轻金属对汽车而言意味着更好的燃料效率, 目前我国已超过日本成为世界第二大能源消费国, 2003年我国车用燃油消耗达到7000万t, 占我国全年石油消费量的1/3。汽车作为耗油大户, 其节能与否已直接影响到我国整体的能源消耗水平, 用镁合金做零部件对汽车工业有着强大的吸引力。

目前, 欧洲正在使用和研制的镁合金汽车零部件有60多种, 单车用镁合金9.3~20.3kg; 北美正在使用和研制的镁合金汽车零部件已有100多种, 是世界上汽车用镁合金量最大的地区。目前, 世界各大汽车公司都已经把采用镁合金零部件的多少作为衡量其汽车产品技术是否领先的标志, 福特汽车公司计划在今后20年内将每辆汽车的镁合金用量提高到113kg。中国是全世界镁资源最丰富的国家, 应用镁及镁合金, 无疑是中国汽车产业可持续发展的重要保证, 随着汽车产品技术的发展将有更多的零件用镁合金制造。据权威机构预测, 中国载货车和轿车对镁合金的需求量: 2005年可达4.785万t, 2010年可达6.13万t, 2015年可达6.9万t, 2020年可达7.56万t。

随着镁合金工业重要性的日益凸显, 研究和开发各种镁合金加工工艺有着重要的经济价值, 镁合金焊接技术的发展不仅影响着汽车工业, 还关系到其他高附加值镁合金产品的成套生产。

二、镁合金的焊接技术

镁合金的铸造和塑性变形等零部件的制造都离不开焊接, 铸件缺陷的修补也离不开焊接。与铝合金相比, 镁合金在焊接时更易形成疏松、热脆性较大的氧化膜及夹渣, 其焊接工艺更为复杂。



1. 镁合金的焊接特点

(1) 镁的熔点低, 热导率高, 焊接时应采用大功率的焊接热源, 因而焊缝及近缝区金属易产生过热、晶粒长大及结晶偏析现象, 使接头力学性能降低。

(2) 焊接高温下, 易形成氧化镁, 其熔点高, 密度大, 在熔池中易形成细小片状的固态夹渣, 因而会降低焊缝性能。另外, 高温下还会生成氮化镁, 导致焊缝金属的塑性下降。

(3) 在焊接薄件时, 极易产生烧穿和塌陷现象。

(4) 由于镁及镁合金热胀系数较大, 所以在焊接过程中易引起较大的焊接应力变形和焊接裂纹。

(5) 镁易与一些合金元素(如Cu、Al、Ni等)形成低熔点共晶体, 脆性温度区间较宽, 易形成热裂纹。

(6) 焊镁合金时易产生氢气孔。

2. 镁合金的常用焊接方法

由于镁和氧的亲合力大, 因而传统的无气体保护电弧焊不适合焊接镁合金。为了保证焊缝质量, 焊接镁合金时必须采用惰性气体保护, 以避免熔池与空气接触。常规焊接方法都可以用于镁合金的焊接。

(1) 电弧焊 熔化极氩弧焊和钨极氩弧焊是用于镁合金焊接的主要电弧焊方法。熔化极氩弧焊(GMAW/MIG)由于熔融镁的表面张力小, 电极前端的熔滴难以脱离易造成飞溅; 又由于电极丝软, 送丝性差, 故在焊接过程中要使用边拉边熔的特殊供丝装置; 该方法的焊接位置一般局限于平焊、横焊和向上立焊。其中, 短路过渡适于薄板焊接; 喷射过渡适于厚板焊接; 中等厚度板材建议采用脉冲喷射过渡方式。

钨极氩弧焊(GTAW/TIG)在有/无填充金属两种情况下, 都可以进行镁合金的焊接, 且电极与填充丝独立, 可以在大范围条件下进行稳定焊接, 特别适合于镁合金薄板的焊接。

采用TIG和MIG焊接时, 对母材及填充金属的表面处理、接头设计、焊前预热都有要求, 焊接高Zn的镁合金时一般要求预热。

(2) 气焊 由于气焊火焰的热量分布范围大, 焊件加热区域较宽, 所以焊缝的收缩应力大, 容易产生裂纹等缺陷, 因此气焊主要用于不太重要的镁合金薄板结构的焊接及铸件的焊补。气焊镁合金时, 应采用中性焰的外焰进行焊接, 不可将焰心接触熔化金属, 熔池应距焰心3~5mm, 应尽量将焊缝置于水平位置。

(3) 电子束焊 一般来说, 能采用电弧焊进行焊接的镁合金也可采用电子束焊接。采用电子束焊接时, 在能束下方会产生蒸汽, 熔融金属随即进入所形成的小孔中。镁合金的蒸汽压较高, 因而所形成的小孔尺寸比其他金属的大, 易在焊缝根部形成气孔。因此, 要求设备配有闭环控制系统, 以防止熔融金属过热产生气孔。

(4) 摩擦焊 摩擦焊是一个固相连接的过程, 母材不熔化, 接头区金属呈塑性状态, 在压力作用下重新结合, 所得到的组织相当于锻造组织, 不同于电弧焊和电阻焊的铸态组织, 几乎可得到与母材等强度接头, 为镁合金的大面积应用提供了新的途径。

至于镁合金的其他焊接方法, 如点焊、缝焊、对焊及钎焊等, 目前这些领域的研究还比较少, 但是随着镁合金的广泛使用, 各种焊接方法都会不断发展、完善。

三、镁合金激光焊接技术现状与发展

1. 激光焊接原理

镁合金由于其特殊的电、热性能, 耐蚀性差, 易氧化及低熔点等特性, 采用常用焊接方法工艺过程复杂且难得到质量满意的焊接接头。激光焊接是利用高能量密度激光束作为热源进行焊接的一种高效精密加工方法, 与其他焊接方法相比, 激光焊接具有以下显著优点: 功率密度可高达 $105 \sim 109 \text{ W/cm}^2$, 焊接速度快、效率高、深宽比大, 激光束可将高密度能量集中在一个小点上, 因而可使热输入熔化区、热影响区减至最小。激光焊时激光照射到被焊材料表面, 与其发生作用, 一部分被反射; 一部分进入材料内部。对于不透明材料, 透射光被吸收。

2. 镁合金激光焊接技术现状及前景

镁合金具有良好的吸收性能, 线胀系数大, 可用于激光焊接。镁合金激光焊接与传统的焊接技术相比具有明显的高效、可控性, 因而容易进行复杂三维零件的焊接, 无需真空条件, 易于实现自动化。激光焊接可得到极小的熔化区和热影响区并能净化焊缝, 镁合金激光焊的典型特点是接头的深宽比大, 热影响区很窄, 组织晶粒细小, 变形镁合金激光焊接焊缝强度与母材强度相近, 甚至超过母材。

(下转第40页)

装,在不损坏轴颈的前提下,清除抗高温氧化涂料,将堆焊后的热轧支撑辊车削加工至尺寸要求和表面粗糙度要求。

五、热轧支撑辊的堆焊质量控制及效果

堆焊热轧支撑辊的主要难点是堆焊层开裂。经过长期工艺试验和堆焊实践,我们总结了堆焊层开裂的主要因素:

(1) 疲劳裂纹车削不尽 由于车削辊面疲劳层的刀纹一般较粗,因而小的疲劳纹不易被发现,这便为堆焊层开裂提供了裂纹源,即使焊后不马上裂,使用时也会开裂或大块掉肉、剥落。

(2) 预热和层间温度控制 预热不够、辊面层间温度偏低、堆焊装置的加热失控等因素很容易造成开裂。

(3) 热处理工艺 热处理温度偏低、保温时间不足、加热或冷却速度过快等因素可造成堆焊层应力消除不尽或增加新的热应力,从而导致堆焊层开裂。

因此,我们采取以下措施来控制、避免堆焊层开裂:焊前严格探伤,确保疲劳裂纹彻底车削干净;严格控制预热和层间温度,经常检查电加热设备、加强炉膛的密封保温;控制合适的热处理工艺,特别是冷却时,不仅随炉冷却,而且采用“智能控温、电加热辅助炉冷”工艺,严格控制300℃前的冷却速度。

实践表明:应用国内同行业领先水平的多功能辊体

堆焊装置,采用科学、合理的堆焊修复工艺,成功解决了国内普遍存在的支撑辊堆焊层开裂难控制的问题。热轧支撑辊经成功堆焊,堆焊层的表面平均硬度为74HSD,高低落差不超过5,着色和超声波探伤检测,堆焊层没有裂纹和超过 $\phi 2\text{mm}$ 当量平底孔的缺陷,性能技术指标符合热轧支撑辊的质量要求。

多年来,我们完成了梅山公司每年的热轧支撑辊堆焊修复工作,堆焊修复后的热轧支撑辊使用效果接近新辊,而修复成本约20万元/支,远低于国产新辊60万元/支、进口新辊80万元/支的投资。显著降低了辊耗,达到了降本增效的预期目标,效果令人满意。

六、结论

堆焊的热轧支撑辊表面材质明显改善,修复后的使用效果接近新辊,而堆焊成本仅为国产新辊的1/3,经济效益可观。归纳热轧支撑辊的堆焊修复、强化的工艺要点:

(1) 采用了创新的短流程堆焊修复工艺;制定科学、合理的堆焊工艺流程和工艺措施。

(2) 选择优良的合金堆焊工作层,同时配置合适的打底过渡层。

(3) 应用了具有预热、堆焊、加热保温、去应力热处理等功能的特殊堆焊装置,焊接机头作了适当改进。

(4) 选择了合适的堆焊工艺和热处理工艺。

(5) 严格的质量控制措施。



(20060112)

(上接第34页)

激光焊接在汽车工业中已成为标准工艺。激光用于车身面板的焊接可将不同厚度和具有不同表面涂镀层的金属板焊在一起,然后再进行冲压,这样制成的面板结构能达到最合理的金属组合。激光焊接的速度约为4.5m/min,而且很少变形,省去了二次加工。激光焊接加速了用冲压零件代替锻造零件的进程。采用激光焊接,不但可以减少搭接宽度和一些加强部件,而且还可压缩车身结构件本身的体积,仅此一项车身的重量可减少56kg。激光焊接适用于车顶外壳与框架焊接,传动转换器盖板的焊接,由CNC控制,其循环时间约为16s,实际焊接时间仅为3s,一天可连续运行24h工作。

目前关于镁合金激光焊接技术还处于起步阶段,研究主要集中在镁合金的连续CO₂激光焊接和脉冲

YAG激光焊接两个领域,以及如下几个方面:镁合金激光焊接机理性研究;镁合金激光焊接过程质量信号的提取与控制;激光复合焊接在镁合金焊接中的应用与工艺性研究;镁合金焊接辅材的研制与配套等。

四、结语

预计2005年后,更多的汽车部件如气缸体、发动机罩、车顶板、门框和轮毂等焊件,也将用镁合金生产。镁合金在汽车上的大量使用,使镁合金的连接技术成为解决镁合金应用的迫切问题,各种焊接方法的研究都会得到广大研究者的进一步关注,尤其镁合金激光焊接技术表现出前所未有的优势,它的发展将对镁合金的广泛应用产生巨大的推动作用。



(20060108)