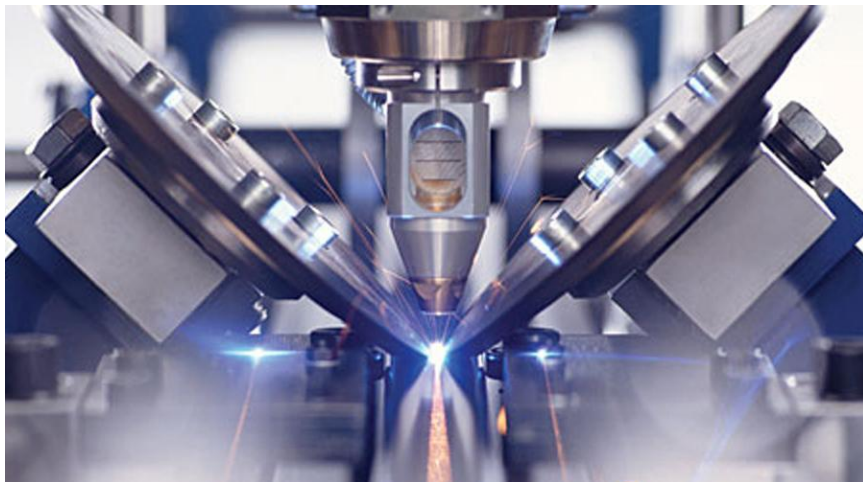


## 汽车制造不可或缺的镁合金材料之焊接技术简析



镁合金应用于汽车制造中，可满足汽车行业低排量、低油耗的发展需求。要想进一步推广镁合金在汽车领域的大量使用，需要对焊接技术进行更深一步的创新研究。

### 一、镁及镁合金的焊接性分析

镁合金的性能与其他材料相比具有显著特点，焊接性较为特殊。由于镁合金密度低、熔点低、热导率和电导率大、热膨胀系数大、化学活泼性很强、易氧化且氧化物的熔点很高，因此，镁合金在焊接过程中会产生一系列困难，主要表现在以下几方面：

#### 1. 氧化和蒸发

由于镁的氧化性极强，在焊接过程中易形成氧化膜（ $MgO$ ）， $MgO$  熔点高（ $2500^{\circ}C$ ）、密度大（ $3.2g/cm^3$ ），易在焊缝中形成杂质，降低了焊缝性能。在高温下，镁还容易和空气中的氮发生化学反应生成镁的氮化物，弱化接头的性能。镁的沸点不高，这将导致在电弧高温下很容易蒸发。

#### 2. 晶粒粗大

由于热导率大，故焊接镁合金时要用大功率热源、高速焊接，易造成焊缝和近焊缝区金属过热和晶粒长大。

#### 3. 热应力

镁合金热膨胀系数较大，约为铝的 1~2 倍，在焊接过程中易产生大的焊接变形，引起较大的残余应力。

#### 4. 焊缝金属下塌

由于镁的表面张力比铝小，焊接时很容易产生焊缝金属下塌，影响焊缝成形质量。

#### 5. 气孔

与焊接铝合金相似，镁合金焊接时易产生氢气孔。氢在镁中的溶解度随温度的降低而减小，而且镁的密度比铝小，气体不易逸出，在焊缝凝固过程中会形成气孔。

#### 6. 热裂纹

镁合金易与其他金属形成低熔点共晶组织，在焊接接头中易形成结晶裂纹。当接头处温

度过高时，接头组织中的低熔点化合物在晶界处会熔化出现空穴，或产生晶界氧化等，即所谓的“过烧”现象。

此外，镁及镁合金易燃烧，所以在熔化焊接时需要惰性气体或焊剂的保护。

## 二、镁合金的焊接现状及发展趋势

镁合金适用于很多焊接方法，如钨极氩弧焊、电子束焊、激光焊、搅拌摩擦焊、爆炸焊和电阻点焊。无论哪种焊接方法，镁合金焊接后的微观组织大多同时包含树枝晶和等轴晶。一种普遍接受的观点认为等轴晶的性能优于柱状晶或树枝晶，所以金属凝固组织中希望得到小尺寸的等轴晶，同时尽可能减小柱状晶/树枝晶的百分比。

### 1. 钨极氩弧焊（TIG）

钨极氩弧焊（TIG）是目前镁合金最常用的一种焊接方法。由于镁合金容易氧化，TIG电弧焊接镁合金通常利用交流电的阴极清理效应去除氧化膜，直流TIG焊接镁合金较少使用。然而与直流相比，交流TIG焊接的热输入较低，加之镁合金导热很快，焊缝熔深浅，使交流TIG焊接镁合金厚板存在一定问题。因此，焊接镁合金中厚板时需要采用多层多道焊或者双面施焊，增加了施焊难度，而且降低了生产效率。

镁合金氩弧焊存在的主要缺陷是气孔和疏松。在焊接过程中通过增加保护气体的流量可以显著减小气孔的数量、体积，并能减小焊缝中镁含量的损失，从而提高接头的力学性能。另外，对于气孔的防治，还可以通过焊接时尽量压低电弧（2mm左右），以充分发挥电弧的阴极破碎作用并使熔池受到搅拌，从而使气体逸出熔池。

### 2. 激光焊

激光焊接镁合金是利用高能量密度的激光束作为热源进行焊接的一种高效精密加工方法，其研究主要集中在激光器的选择（如CO<sub>2</sub>、diode、Nd:YAG及fiber激光器），激光功率、聚焦位置、焊接速度、熔深、保护气体种类和填充材料等方面。

采用Nd:YAG激光器和CO<sub>2</sub>激光器对6种铸造镁合金和4种挤压镁合金进行激光焊接性研究，结果发现对相同成份和不同成份的镁合金，厚度从2~8mm，均可利用激光焊接，并可得到很窄的焊缝和很大的熔深。

激光焊接镁合金的缺陷主要为气孔、热影响区热裂纹及凝固裂纹。另外，镁合金对激光的反射率较大也是镁合金激光焊中需要注意的问题，这使激光焊接镁合金熔深较浅。相比而言，电子束焊接得到的熔深最大，且远超过激光焊接。

### 3. 电子束焊

电子束可以焊透30mm的镁合金板，熔化区的组织几乎都是10mm左右的等轴晶。电子束焊接可以避免很多焊接缺陷，如孔洞、咬边、根部凹陷及较宽的热影响区等。经过工艺优化，如调整聚焦位置到根部，优化焊接参数等，焊缝的极限抗拉强度可以达到母材83%（有表面应力集中）和96%（无应力集中）。

电子束焊接通常为真空焊接，金属气体的挥发对真空室的污染很大。研究发现非真空电

子束非常适用于镁合金的焊接。AZ31 变形镁合金和 AM50A 以及 AZ91D 铸造镁合金在适当的焊接工艺下均可得到良好的接头。相对较高的能量密度可以允许焊接速度达到 15m/min，这样热输入较小，焊接效率高。通过填丝可以得到无疏松、缩孔和气孔等缺陷的焊缝，接头的静载荷可以与母材相当，接头的抗腐蚀性能甚至好于母材。高速、高效且可以实现高自动化的非真空电子束焊接为镁合金的大面积应用提供了新的途径。

#### 4. 电阻点焊

电阻点焊因其成本极低、工艺稳定成为汽车工业中最主要的焊接方法。镁合金导热率高、电阻值小，电阻点焊镁合金时需要在短时间内通很高的电流，使产热速率远大于散热速率。这个性能与铝合金性能相似，因此能够焊接铝合金的点焊设备也能够焊接镁合金。电焊机的成本与变压器次级线圈电流负荷成正比。相同板厚下，电阻点焊钢所需的电流远小于镁合金，因此镁合金的焊接设备昂贵。焊接电流、焊接时间及电极压力是电阻点焊镁合金最重要的三个参数。这三个参数能够有效控制熔核大小和接头强度。铝合金热导率和电导率都很高，所需焊接电流是钢的 2~3 倍。

镁合金的熔核生长分为 3 个阶段：孕育、长大和稳定。在第一个周波内熔核便完成孕育，接着开始长大。随着熔核长大，导电通道增加，电流密度降低；电极-板材接触面积增大，散热增加。这两点导致长大速率逐渐变缓。当产热和散热达到平衡，熔核趋于稳定。铝合金与镁相似，孕育时间很短，几乎在第一个周波就出现熔化；钢直到第 5 个周波才开始熔化，模拟结构说明，贴合面的接触电阻是造成这种差别的主要原因。温度沿径向分布的差异也是原因之一，其中钢较铝、镁平坦，因而铝、镁产热更为集中，有利于熔核的形成。

镁合金点焊接头通常分为 4 个区域：母材、热影响区、塑性环和熔核。热影响区有再结晶和晶粒长大发生。和铝合金类似，镁合金焊接热影响区也容易产生野花裂纹。塑性环在热影响区的贴合面处，是电阻点焊的特有区域。由于该区域的高温高压（电极压力），塑性环处经常发生动态再结晶。通常熔核有两种组织：柱状树枝晶和等轴晶。

镁合金在汽车上的大量使用，使得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。

来源：摘自网络