

不同板厚AZ31B镁合金CMT焊接接头性能对比试验

刘建军, 梁连杰, 曹兴华, 刘晨, 李文娟

中车南京浦镇车辆有限公司 江苏南京 210031

摘要: 使用CMT焊接方法对3mm、6mm两种厚度的AZ31B镁合金进行焊接试验, 并对焊缝进行了焊缝形貌、微观结构、显微硬度、断口及疲劳性能等方面的试验分析。结果表明: 合理的焊接参数能得到优化的焊缝, 且金相组织与板厚无关。3mm厚的AZ31B镁合金可达到母材抗拉强度的83%, 6mm厚的AZ31B镁合金可达到母材抗拉强度的88.7%, 说明AZ31B镁合金CMT焊接接头的脆性随着板厚增加而增大, 同时接头的显微硬度整体呈W形分布, 焊缝区显微硬度高于热影响区且薄板热影响区硬度略高于厚板。在进行了200万次循环后, 接头的疲劳强度为16.72MPa, 仅为其抗拉强度的7.8%, 焊接接头的疲劳强度远低于其抗拉强度。接头拉伸断裂位置位于母材, 呈45°角切断, 断裂位置与显微硬度最低位置相吻合, 接头的断裂区域有明显的塑性变形痕迹。

关键词: AZ31B镁合金; CMT焊接; 焊接接头; 焊接试验

Comparative test of properties of AZ31B magnesium alloy CMT welded joints with different plate thicknesses

LIU Jianjun, LIANG Lianjie, CAO Xinghua, LIU Chen, LI Wenjuan

RRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing 210031, Jiangsu, China

Abstract: Welding tests were carried out on AZ31B magnesium alloy of two thicknesses (3mm and 6mm) using the CMT welding method, and the obtained welds were tested and analyzed in terms of appearance and morphology, microstructure, micro hardness, fracture and fatigue properties. The results show that: reasonable welding parameters can get optimized weld seam, and the metallographic organization is independent of the plate thickness. 3mm thick AZ31B magnesium alloy can reach 83% of the tensile strength of the base material, and 6mm thick AZ31B magnesium alloy can reach 88.7% of the tensile strength of the base material, which indicates that the brittleness of AZ31B magnesium alloy CMT welded joints increases with the thickness of the plate, and at the same time, the micro hardness of joints is overall in the form of W-shape. At the same time, the overall micro hardness of the joint is W-shaped distribution, the micro hardness of the weld core area is higher than the heat-affected zone and the hardness of the heat-affected zone of the thin plate is slightly higher than the thick plate. The fatigue strength of the joint under 2×10^6 cycles is 16.72MPa, which is only 7.8% of its tensile strength, and the fatigue strength of the welded joint is much lower than their tensile strength. The tensile fracture location of the joint is located in the base material, cut off at an angle of 45°, the fracture location coincides with the lowest microhardness location, the fracture region of the joint has obvious traces of plastic deformation.

Keywords: AZ31B magnesium alloy; CMT welding; welded joints; welding test

1 序言

镁合金因具有低密度、高比强度、高比刚度等特点,以及良好的铸造、切削加工性能和可循环利用等优势而备受青睐。镁合金作为目前实际应用中最轻的金属结构材料之一,可以用来替代现有的某些结构或零部件,从而显著减轻整个结构的重量,减少企业能源消耗和环境污染^[1-6]。因此,镁合金在交通工具、运动器材和航空航天等领域的应用越来越广泛。

镁合金由于其低熔点、低沸点、良好的导热性和高线膨胀率,导致其焊接性能较差。由于焊接接头的性能直接影响产品的寿命和可靠性,因此对AZ31B镁合金焊接接头性能进行研究具有重要意义^[7, 8]。本研究针对不同厚度的AZ31B镁合金板材进行了冷金属过渡焊(CMT),并通过焊接接头的宏观外貌、微观结构、显微硬度、断口及疲劳性能等方面进行试验,本研究重点关注了在不同板厚条件下采用CMT方法所获得的焊接接头的组织和性能,为制定焊接工艺并实现工程应用提供了技术支持。

2 试验材料与参数

2.1 试验材料

试验使用了尺寸为200mm×100mm×6mm和200mm×100mm×3mm的AZ31B镁合金板材作为母材,供货状态为H111。焊接所用的填充材料从焊接接头力学性能“等强匹配”的角度选用直径为1.6mm的WE-33M焊丝,母材及焊丝化学成分见表1。其中,厚度为6mm的试件开60°的V形坡口,坡口加工标准按照ISO 6947:2011《焊接及相关工艺-焊接位置》。在焊接前,使用钢丝刷清除试件正面及其周围40mm范围内的氧化物,并使用丙酮清洗以去除油污,试件焊前、焊后无需热处理,只要进行正面清理。为了减少试件的变形,在焊接过程中使用了夹紧装置,将两块板材沿板面的垂直方向夹紧。

表1 母材及焊丝的化学成分(质量分数) (%)

元素	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Ni	Cu	Mg
AZ31B	3.19	0.81	0.33	≤0.005	≤0.1	≤0.005	≤0.05	余量
WE-33M	6.70	1.07	0.41	0.003	0.009	0.0006	0.001	余量

2.2 焊接试验

CMT焊接系统具有专业化的控制系统,焊接电流、电弧电压和送丝速度都经过精心匹配,在

RCU5000i遥控器上都可以轻松显示和调节。在操作时,只需通过调节送丝速度即可确定焊接电流和电弧电压的数值,进而确定热输入量的大小。因此,本次试验对焊接参数的研究主要集中在焊接电流、焊接速度、焊接间隙等。考虑到Mg元素非常活泼容易引起焊缝氧化,焊接时采用99.999%的高纯度氩气作为保护气体,氩气流量设定为23L/min,经过反复试验并优化参数后获得优异的焊缝成形,焊接参数见表2。

表2 CMT焊接参数

试样编号	焊丝规格 φ/mm	焊接电流 /A	送丝速度 /(m/min)	焊接速度 /(m/min)	焊接间隙 /mm	V形坡口角度 /(°)
C-6-1	1.6	130	7	0.6	1.2	60
C-6-2	1.6	135	7.3	0.5	1.5	60
C-6-3	1.6	120	5.4	0.4	2.0	60
C-3-1	1.6	90	6	0.7	1.5	—
C-3-2	1.6	80	5.8	0.8	1.2	—
C-3-3	1.6	87	5.8	0.7	1.2	—

3 试验结果与分析

3.1 焊缝外观

不同板厚CMT焊焊缝宏观形貌见表3。由表3可知,焊缝正面的成形均匀,表面呈现银白色鱼鳞纹,具有致密均匀的质感,没有出现下塌、气孔及咬边等缺陷;焊缝背面完全熔透,宽度均匀,相较于焊缝正面略窄,表面光滑且没有任何缺陷。这证明合理的焊接参数可得到优质的焊缝。

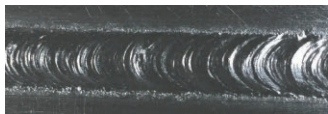
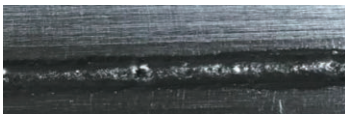
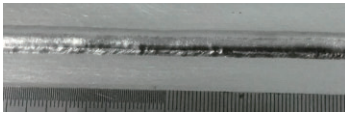
试验表明,不同间隙对焊缝成形会有不同程度的影响。当焊接间隙较小时,背面前部熔透,后部未熔透。由于刚开始焊接时镁合金板温度低,收缩不严重,随着焊接的进行,母材向着焊缝中心收缩的越来越大,导致后面的焊接间隙逐渐收缩,熔化的镁合金无法进入焊缝;当焊接间隙较大时,焊接时进入焊缝的液态金属较多,背面熔透大,且与铜垫板发生反应,表面出现很多气孔,内部没有气孔。结果表明,6mm板焊接时,焊接间隙1.5mm、2mm时焊缝正面鱼鳞清晰均匀且焊缝背面成形均匀;3mm板焊接时,焊接间隙为1.2mm、1.5mm、2mm,均能得到最佳的焊缝成形。

3.2 焊缝显微组织

不同板厚焊接接头的金相组织如图1所示。

图1中的白色区域代表AZ31B镁合金的基体组

表3 不同板厚焊缝宏观形貌

板厚/mm	焊缝正面形貌	焊缝背面形貌	焊缝正面成形	焊缝背面成形
6			正面明显连续的鱼鳞纹，外观成形良好、无咬边现象	完全熔透，成形良好
3			正面形成连续的鱼鳞纹，焊缝两侧均有均匀的阴极雾化区，成形均匀	完全熔透，成形均匀

织 α -Mg，而局部出现的黑色小颗粒则是在基体上析出的第二相 β -Al₁₂Mg₁₇。从热影响区到焊缝区，黑色析出物的数量逐渐增加，这些黑色析出物主要分布在晶界附近，且金相组织与板厚无关。

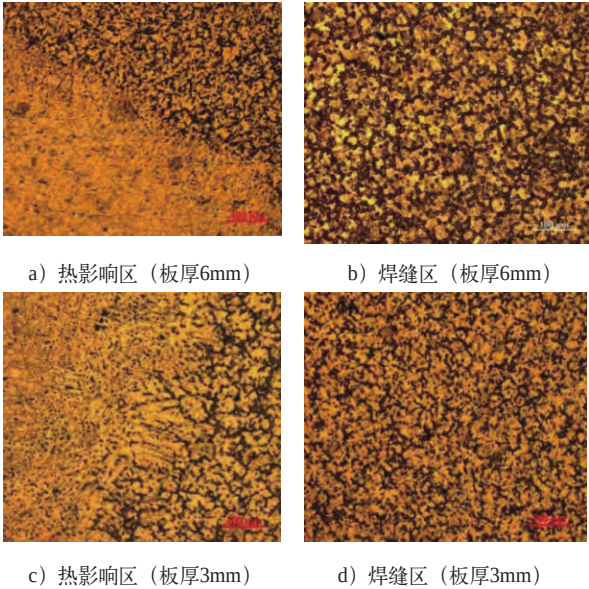


图1 不同板厚焊接接头的金相显微组织

3.3 焊接接头显微硬度

CMT的焊接接头的维氏硬度曲线如图2所示。

从图2可清晰地地区分出各个区域的宽度和硬度值的差异。当板厚为6mm时，焊缝区的显微硬度最高，约为96HV；其次是热影响区，硬度约为51.5HV；母材区的显微硬度为60HV；当板厚为3mm时，焊缝区的显微硬度最高，约为86HV；再次是热影响区，硬度约为62HV；母材区的显微硬度约为65HV。这些数值都高于母材的显微硬度，说明薄板焊接速度大于厚板焊接速度，热影响区范围小且硬度略高于厚板，因此在进行厚板焊接时，应注意控制焊接速度及热输入量。

3.4 焊接接头拉伸试验

在利用万能试验机进行拉伸试验前，首先打磨

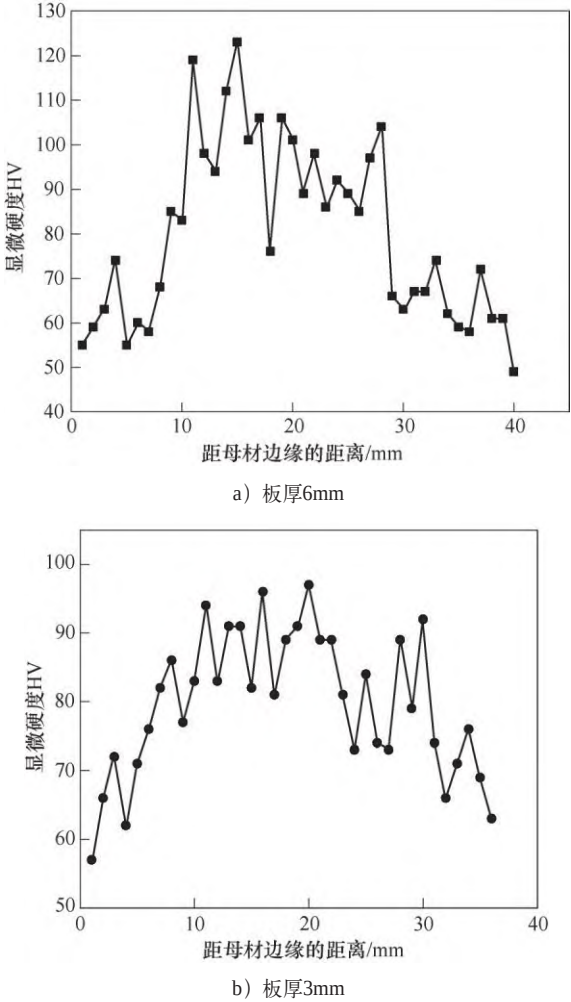


图2 CMT焊接接头的显微硬度

掉焊缝余高。随后，针对每种板厚的焊接接头进行4组拉伸试验，加载速率设置为10mm/min。最后，根据测试结果计算各组数据的平均值，具体数据如图3所示。

由图3可得，对于厚度为3mm、6mm的AZ31B镁合金，使用CMT焊接可获得较好的拉伸性能。3mm厚的AZ31B镁合金CMT焊接接头抗拉强度最高，达到母材抗拉强度的83%，伸长率最高达到母材的40.2%；6mm厚的AZ31B镁合金CMT焊接接头

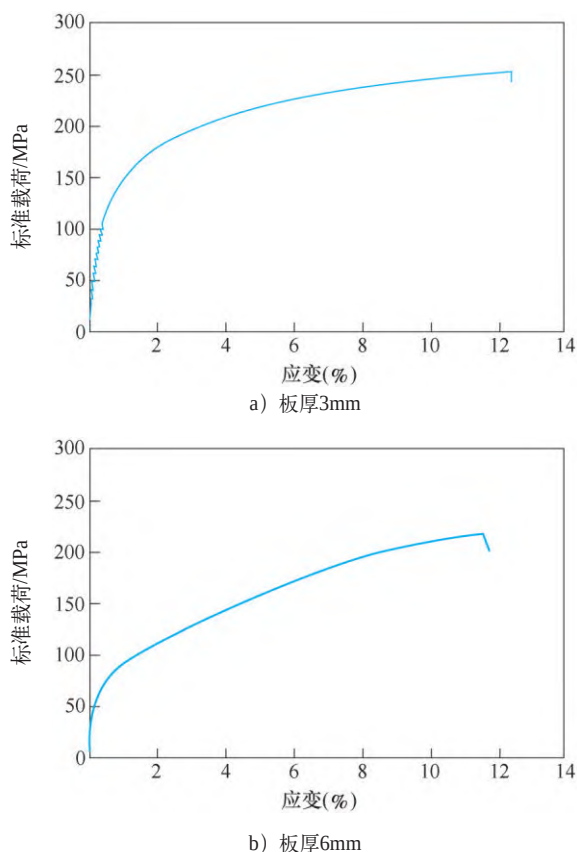


图3 不同板厚的AZ31B焊接接头拉伸曲线

抗拉强度最高达到母材抗拉强度的88.7%，伸长率最高达到母材的28.5%，说明AZ31B镁合金CMT焊接接头的脆性随板厚增加而增大。

3.5 拉伸断口及疲劳试验

AZ31B镁合金CMT焊接接头拉伸断裂位置全部位于母材，断裂位置与拉力方向呈45°，在焊缝区域有明显的塑性变形痕迹。挤压态的AZ31B镁合金在室温下的拉伸断口呈现出明显的塑性断裂特征，断口中存在一些深度较深的韧窝，但韧窝底部第二相颗粒很少，韧窝之间有明显的撕裂棱，并沿着不同的方向扩展。

通过试验可知，接头试件断裂位置主要是在焊趾位置，个别是在圆弧过渡位置断裂。

焊接接头S-N曲线方程 $\log S = 2.79356 - 0.24923 \log N$ ，在进行了200万次循环后，接头的疲劳强度为16.72MPa，仅为其抗拉强度的7.8%，焊接接头的疲劳强度远低于抗拉强度。由数据可知，镁合金对于循环载荷的敏感度较高，焊接过程会显著降低镁合金的疲劳性能，导致焊接接头在远低于其抗拉强度的动载荷作用下更容易发生失效。因此，

在设计镁合金焊接结构时，必须充分考虑其疲劳性能，并进行相应的疲劳设计。

4 结束语

1) 不同间隙对焊缝成形会有不同程度的影响。当焊接间隙为1.5mm时，焊缝正面鱼鳞清晰均匀且焊缝背面成形均匀，合理的焊接参数能得到优化的焊缝，且金相组织与板厚无关。

2) AZ31B镁合金焊缝接头抗拉强度可达到母材的88.7%，且试验表明AZ31B镁合金CMT焊接接头的脆性随着板厚增加而增大。

3) 焊缝组织晶粒细小，焊缝区的显微硬度最高，接头的显微硬度整体呈W形分布，焊核区显微硬度高于热影响区，且薄板热影响区硬度略高于厚板。

参考文献：

- [1] 丁文江. 镁合金科学与技术[M]. 北京：科学出版社，2007.
- [2] 吴国华，陈玉狮，丁文江. 高性能镁合金凝固组织控制研究现状与展望[J]. 金属学报，2018，5（54）：637-646.
- [3] 吴国华，陈玉狮，丁文江. 镁合金在航空航天领域研究应用现状与展望[J]. 载人航天，2016，22（3）：281-291.
- [4] 冯吉才，王亚荣，张忠典. 镁合金焊接技术的研究现状及应用[J]. 中国有色金属学报，2005，15（2）：165-178.
- [5] 马征征，王文先，许海鹰，等. AZ31B 镁合金电子束焊接接头疲劳裂纹扩展速率分析[J]. 航空制造技术，2016（6）：80-84.
- [6] 陈凌，张贤明，刘飞，等. 镁合金疲劳研究现状及展望[J]. 重庆工商大学学报（自然科学版），2017，34（1）：75-77.
- [7] 郭斌，张李超. Cold Metal Transfer（CMT）与CMT Advanced的异同研究[J]. 精密成型工程，2016，8（2）：50-54.
- [8] 尹欣. FSW焊接AZ31镁合金板材接头组织与性能分析[J]. 热加工工艺，2016（13）：220-222.

MW 20240509