

AZ31B 镁合金 TIG 焊焊接裂纹的产生及其特征分析 *

刘金华, 王文先, 张红霞, 李晋永, 许并社

(太原理工大学 材料科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘 要: 在厚度为 8.0 mm 的 AZ31B 镁合金板材上分别进行钨极氩弧焊 TIG 自熔焊和斜 Y 型坡口添丝焊焊接裂纹试验, 研究焊接裂纹的产生原因和扩展特征, 分析镁合金材料的裂纹敏感性。试验结果表明, 在自拘束条件下, 自熔焊焊缝区焊后立即产生焊接热裂纹, 斜 Y 型坡口添丝焊焊缝区在焊接电流为 170 A 和 180 A 的情况下出现焊接热裂纹。自熔焊焊接热裂纹是沿晶扩展, 添丝焊焊接热裂纹是沿晶与穿晶的混合扩展, 裂纹在扩展过程中都存在分叉裂纹。未出现裂纹的焊接试件放置 48 h 后仍然没有观察到任何形式的延迟裂纹。

关键词: AZ31B 镁合金; TIG 焊接; 焊接裂纹; 裂纹扩展

中图分类号: TG401

文献标识码: A

文章编号: 1004-244X(2008)02-0050-04

Analysis of the formation and characteristics of the TIG welding cracks for the AZ31B magnesium alloy

LIU Jin-hua, WANG Wen-xian, ZHANG Hong-xia, LI Jin-yong, XU Bing-she

(College of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Cracking test of the tungsten inert gas welding (TIG), autogenous welding and the Y-groove filler wire welding were carried out on the thickness of 8.0 mm of the AZ31B magnesium alloy. The forming reason and extending characteristics of the welding cracks were investigated, and the sensitivity of cracks in the magnesium alloys was analyzed. The results of the experiment showed that after autogenous welding, the hot cracks in the welding line zone were immediately discovered in the condition of self-constrain. The hot cracks when welding currents were 170 A and 180 A were immediately found after the Y-groove filler wire welding cracking test. The welding hot crack of the autogenous welding was intercrystalline extending, and that of filler wire welding was intercrystalline and transcrystalline mixed extending. There were branches during both of their extending. Any forms of delayed cracks were not discovered in other welding testing plates after deposited for 48 hours.

Key words: AZ31 magnesium alloys; TIG welding; welding cracks; crack extending

镁合金材料具有一系列优点^[1], 在电子产品外壳及交通运输工具制造等领域得到广泛应用^[2,3], 也正在向焊接结构产品方向发展。但镁合金材料也具有一些不足, 使得镁合金材料的焊接冶金性能较差, 易出现粗晶、氧化、蒸发、热应力和裂纹等问题^[4], 严重降低了镁合金焊接结构的综合力学性能。尤其是镁合金材料熔点低、液固结晶温度区间大和热导率大等特点, 使得镁合金焊接接头产生焊接裂纹的几率增加。

论文研究了 AZ31B 镁合金 TIG 自熔焊和添丝焊焊接热裂纹的产生及扩展特征, 分析了 AZ31B 镁合金的焊接裂纹的敏感性, 对其预防措施具有一定的指导意义。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验所用的母材是 AZ31B 镁合金, 添加的焊丝是与母材相同材质的 $\Phi 2.8$ mm AZ31B 镁合金焊丝, 其化学成分见表 1。

表 1 试验材料的化学成分 (质量分数, %)

Table 1 Chemical compositions of experimental materials (mass fraction, %)

材料	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Mg
母材	3.22	1.15	0.400	0.013 3	0.001 9	0.001 1	Bal.
焊丝	2.94	0.88	0.250	0.040 0	0.005 0	0.050 0	Bal.

* 收稿日期: 2007-07-07; 修回日期: 2007-11-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675148); 太原市大学生创新创业专项(07010745)

作者简介: 刘金华(1983-), 女, 硕士研究生; 主要从事材料连接及界面行为研究。联系电话: 0351-6010076, E-mail: liujinhua0523@sohu.com。

通讯作者: 王文先(1963-), 男, 教授; 主要从事材料连接及界面行为研究。联系电话: 0351-6010076, E-mail: wangwenxian@tyut.edu.cn。

1.2 TIG 自熔焊试验

自熔焊选用 8 mm 厚 AZ31B 板材,采用三种工艺参数进行交流 TIG 焊接。试件编号及焊接工艺参数如表 2 所示,气体流量为 10 L/min。

1.3 斜 Y 型坡口 TIG 添丝焊焊接裂纹试验

采用厚度为 8 mm 的 AZ31B 试板进行焊接试验。试验过程依据 GB4675.1—84 焊接性试验《斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法》^[5]的要求进行。焊接工艺参数见表 3,气体流量是 10 L/min。

采用苦味酸乙醇溶液腐蚀试样,采用 NIKO 金相显微镜观察焊接裂纹扩展方向。用 Y-2000 Automated X-ray Diffractometer System X 射线衍射仪分析焊缝金属的相组成。

表 2 焊接工艺参数
Table 2 Welding parameters

编号	焊接电流 I/A	焊接电压 U/V	焊接速度 v/(mm·s ⁻¹)	线能量 Q/(J·m ⁻¹)
1-1*	150	13~15	1.96	107
1-2*	170	13~15	2.10	113
1-3*	180	13~15	2.25	112

表 3 焊接工艺参数
Table 3 Welding parameters

编号	焊接电流 I/A	焊接电压 U/V	焊接速度 v/(mm·s ⁻¹)	线能量 Q/(J·m ⁻¹)
2-1*	100	13~15	1.40	100
2-2*	110	13~15	1.67	92
2-3*	120	13~15	1.78	94
2-4*	130	13~15	1.86	98
2-5*	140	13~15	1.85	106
2-6*	150	13~15	1.90	111
2-7*	160	13~15	2.06	109
2-8*	170	13~15	2.10	113
2-9*	180	13~15	2.22	114

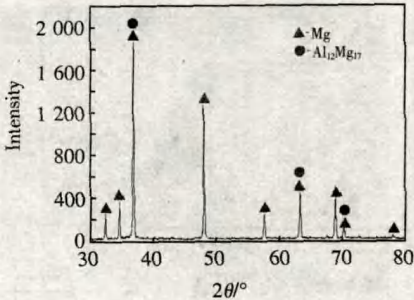
2 试验结果

2.1 焊缝金属组织结构

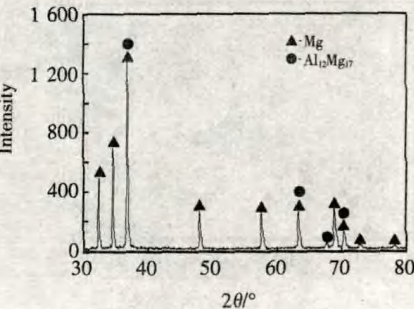
图 1 是镁合金母材与焊缝金属的 X 射线衍射分析图。可以知道焊缝区和母材的物相种类组成是一致的,均为 Mg 和 Al₁₂Mg₁₇,但物相含量略有区别,母材的强度峰值比焊缝区的要高。这是因为填充材料成分差异和焊接过程中金属元素的烧损所致。

2.2 自熔焊焊接热裂纹

在 3 个 TIG 自熔焊焊接试样中,1-1* 试样没有出



a—AZ31B 母材
a—AZ31B base metal



b—焊缝区
b—Welding line zone

图 1 X 射线衍射分析图
Fig.1 X-ray diffraction patterns

现裂纹,而 1-2* 和 1-3* 试样的焊缝区在焊接后立即产生了裂纹,属于焊接热裂纹。以最典型的 1-3* 试样为例,裂纹宏观形貌如图 2 所示,在焊缝区起始端就产生了裂纹,裂纹长度几乎贯穿整个焊道,裂纹深度不仅贯穿焊缝厚度,而且通过熔合区扩展到母材。

图 3 是焊接热裂纹在厚度方向扩展的全过程。启裂处的状态如图 3a 所示,裂纹开裂处始于焊缝上表面,向下扩展。图 3b 为分叉裂纹,裂缝较宽的为主干,主裂纹向下延展,两侧存在多次分叉裂纹。分叉裂纹扩展时有沿一个晶粒晶界延续的,还有分叉扩展距离很短便结束的。裂纹扩展尖端如图 3c 所示,分叉裂纹扩展一段距离后止裂。从显微金相照片可知,裂纹及其分叉都是沿晶扩展。由此可知,晶界是焊缝区的薄弱地带,断裂类型为脆性断裂特征。

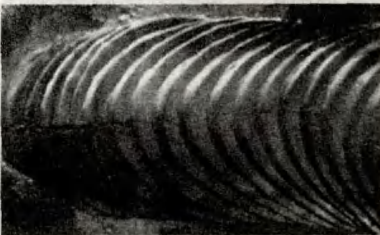


图 2 焊接热裂纹的宏观形貌
Fig.2 Macro-photograph of the hot crack on the welded joint

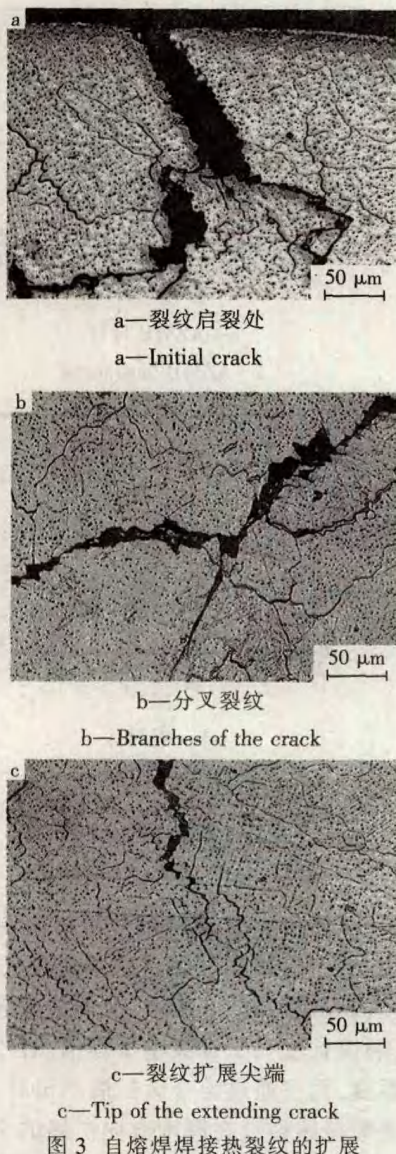


Fig.3 Extending of the hot crack with autogenous welding

1-2[#] 和 1-3[#] 试件的焊接电流大于 1-1[#] 试件, 前两者均产生了焊接热裂纹。这是由于这两个试件焊接线能量较大, 焊缝金属收缩量较大, 产生了较大的焊接应力所致, 同时由于液态金属补给不足。由此看来, 镁合金材料的焊接工艺参数的选择是必要的。

2.3 斜 Y 型坡口焊接裂纹试验

斜 Y 型坡口焊接裂纹试验共有 9 个试件, 焊后对每个试件焊缝区进行了观察。其中, 2-1[#]~2-7[#] 未出现裂纹, 2-8[#] 和 2-9[#] 试样在焊缝区出现了焊接热裂纹。

裂纹的扩展过程如图 4 所示, 与自熔焊热裂纹的特征类似, 主裂纹亦属于沿晶断裂。裂纹扩展中也存在多次分叉裂纹, 不同的是分叉裂纹属于穿晶扩展, 如图 4b 所示。所以, 添丝焊时焊接热裂纹是混合扩展。

为了考察镁合金材料焊接冷裂纹的倾向, 将未产生裂纹的 2-1[#]~2-7[#] 试件放置 48 h 以后, 进行表面检

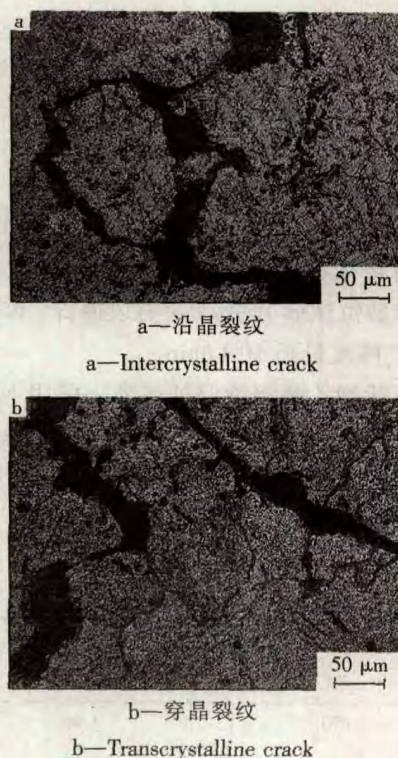


图 4 添丝焊的裂纹扩展

Fig.4 Extending cracks with filler wire welding

测和解剖观察, 未发现任何形式的延迟裂纹。

在 9 个试件中, 产生了焊接热裂纹的 2-8[#] 和 2-9[#] 试件的焊接电流最大, 与自熔焊分析结果相同, 这是由于焊接线能量过大所致。

3 分析与讨论

镁合金的主要金属元素是 Mg(熔点为 650 °C)、Al(熔点为 660 °C) 和 Zn(熔点为 420 °C), 它们的熔点都很低。由于高温电弧的作用, 低熔点元素蒸发致使焊缝金属中的合金元素损失, 焊缝金属与母材成分和物相含量略有不同, 焊缝晶粒粗大。

AZ31B 镁合金焊接接头室温组织是 Mg 固溶体和 $Al_{12}Mg_{17}$ 沉淀相。在凝固过程中, 焊缝金属析出的低熔点共晶物 $Al_{12}Mg_{17}$ (熔点为 437 °C) 在晶界分布不连续, 并受到晶粒长大的影响, 在结晶温度区间内液态金属的流动性变差, 在焊缝金属凝固结晶后期被排挤在晶界处, 形成孤立的“液态薄膜”, 液态金属不能够充分补给已经形成的孔穴。同时, 不连续的低熔点共晶物 $Al_{12}Mg_{17}$ 分布于晶界, 减弱了晶粒之间的结合力, 从而形成热裂纹, 裂纹沿晶扩展。

镁合金材料凝固结晶温度区间较大 (200 °C 左右), 这使得孤立的“液态薄膜”存在时间较长, 孔穴的产生几率和密度增加, 晶粒间的紧密性变差, 从而在主

裂纹两侧出现较多分叉裂纹。大部分分叉裂纹仍与主裂纹一样为沿晶扩展方式,但由于镁合金材料脆性较大,也有一部分分叉裂纹形成穿晶扩展形式。

TIG 添丝焊的焊丝填入可以补充合金元素的烧损,液态金属充足,有利于改善焊缝金属的流动性。凝固时使金属间化合物连续分布,弥补了晶界的缺欠。同时,生成的金属间化合物增多,呈弥散质点存在,能有效阻止晶粒长大,起到增加形核和细化晶粒的作用,明显地减缓了裂纹的扩展速度。因此添丝焊的裂纹长度比自熔焊裂纹长度要短。

焊接热裂纹的产生与焊接热应力有直接的关系。镁合金热膨胀系数为 $26.1 \times 10^{-6}/K$,在焊接凝固过程中引起较大的热收缩拉应力。镁合金热导率为 $99.6 W/(m \cdot K)$,致使焊接区域和热影响区范围较大,焊接拉应力范围增加。焊接冷却速度较快,也使得低熔点物质形成的液态薄膜造成材料韧性陡降。这些因素都会造成热裂纹开裂倾向的严重程度,形成贯穿型裂纹。

较大的焊接线能量促使焊接接头低熔点物质形成的液态薄膜在高温情况下长时间存在,在焊接热应力作用下提高了产生热裂纹倾向。实际焊接过程中应当严格控制焊接线能量。

试验证明镁合金材料不存在延迟裂纹的倾向。

4 结 论

1) AZ31B 镁合金材料在 TIG 焊的情况下,具有

较大的焊接热裂纹倾向。热裂纹均在焊缝金属中产生,主裂纹为沿晶扩展方式,分叉裂纹为沿晶与穿晶扩展方式共存。

2) 焊接工艺参数对焊接热裂纹的产生有较大的影响。本试验中焊接电流大于 170 A 的焊接试件均出现了焊接热裂纹,而焊接电流小于 160 A 的焊接试件未产生任何裂纹。

3) 未产生裂纹的试件在放置 48 h 以后仍然没有观察到任何形式的表面和内部裂纹,说明镁合金材料不存在延迟裂纹的倾向。

参考文献:

- [1] Baghni I M, Wu Yin-Shun, Li Jiu-Qing, et al. Mechanical properties and potential applications of magnesium alloys[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition), 2003, 13(6): 1253-1259.
- [2] 王渠东,吕宜振,等.镁合金在电子器材壳体中的应用[J].材料导报,2000,14(6): 22-25.
- [3] Mordike B L, Ebert T. Magnesium properties-application-potential [J]. Materials Science and Engineering, 2001 (A302): 37-45.
- [4] 冯吉才,王亚荣,等.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] 中华人民共和国国家标准.焊接性试验 GB4675.1-84《斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法》[S].1984.

高延性可锻非热硬化 Al-Mg 合金

俄罗斯专利 RU2268319 中公布的这种新型 Al 合金可用于船舶和航空航天飞行器的制造。该合金的主要成分(质量分数)为 Mg 5.5%~6.5%、Sc 0.1%~0.2%、Mn 0.5%~1%、Cr 0.10%~0.25%、Zr 0.05%~0.20%、Ti 0.02%~0.15%、Zn 0.1%~1%、B 0.003%~0.015%和 Be 0.000 2%~0.005%,其余是 Al。该合金的强度较高,同时延性很好。

(范爱国供稿)

高耐腐蚀 Mg 合金制造技术

日本专利 JP2006 16664 中公布了一种具有高耐腐蚀性能的 Mg 合金制造工艺。这种 Mg 合金材料是以 Mg 合金切削屑为原料,经过压制和热挤压(在常压下进行,挤压温度 573~723K,挤压比 25~400)处理后制成的。Mg 合金切削屑的成分中可以含有(质量分数) Al 2.5%~9.5%、Zn 0.5%~2.5%和 Mn 0.1%~0.5%,最好不含有 Cu、Ni 和 Fe 元素。与一般的 Mg 基材料相比,这种 Mg 合金耐腐蚀性能非常好,特别适于用来制造汽车零部件和用作电子封装材料。

(范爱国供稿)