

压铸 AM60B 镁合金 TIG 焊组织研究

游国强^{1,2} 朱觉华^{1,3} 郭强¹ 龙思远^{1,2}

(1. 重庆大学材料科学与工程学院; 2. 国家镁合金材料工程技术研究中心; 3. 一汽海马汽车有限公司)

摘 要 对压铸 AM60B 镁合金板钨极氩弧焊缝显微组织进行了观察分析。结果表明,焊缝中心区由细小均匀的等轴晶和呈网状分布于晶界的高相比例 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相组成,在接近上自由表面分布着细小圆形气孔;靠焊缝侧的熔合区集中出现不同尺寸的气孔和微观疏松,显微组织由粗大等轴晶和数量明显减少、呈蠕虫状和颗粒状分布在晶界的 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相组成;靠热影响区侧的熔合区组织粗大、晶界和 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相逐渐模糊;热影响区组织形貌与母材相近,但晶粒有明显长大现象。

关键词 压铸; AM60B 镁合金; TIG 焊; 微观组织

中图分类号 TG146.2⁺2; TG249.2

文献标志码 A **文章编号** 1001-2249(2009)08-0729-04

DOI: 10.3870/tzzz.2009.08.013

镁合金常温下的塑性成形能力较差,压铸工艺性能优良^[1],因此,90%以上镁合金构件主要采用压铸工艺生产。由于压铸充型过程中的卷气行为,铸件中存在一定数量的气孔,这些气孔受热后会膨胀,使零件的性能和外观恶化,但普遍认为不宜对压铸镁合金进行热处理和焊接。随着镁合金压铸生产的发展和压铸件的应用领域扩展,生产实践对压铸镁合金的焊接连接和熔焊修补逐渐产生了需求。目前,国内外对镁合金焊接的研究较多,大部分工作集中在 AZ 系列变形镁合金领域^[2~6],有少数是关于 AM60 镁合金焊接的^[7~11],但均为挤压或轧制变形态,尚未见压铸 AM60 镁合金的焊接研究报道。

本课题以压铸 AM60B 镁合金为对象,进行 TIG 焊组织的观察研究,以期对压铸镁合金熔焊修复和焊接连接技术提供借鉴。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料及设备

焊接试验母材为压铸态的板块状镁合金 AM60B,其尺寸为 70 mm×35 mm×3 mm;该合金为典型的压铸镁合金,化学成分见表 1,压铸工艺性好,并且具有优良的综合力学性能,常用于一些对强度和塑韧性均有一定要求的零部件。焊接填充材料为同质的 AM60B 挤压态焊丝,直径为 2.3 mm。焊前对母材及焊丝进行物理和化学表面清理,去除表面的油污、水分、氧化膜等。试验焊机为 WSE-250 多功能交直流钨极氩弧焊机。

表 1 AM60B 镁合金的化学成分 %

wB							
Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	杂质	Mg
5.7~6.3	≤0.2	≥0.27	≤0.05	≤0.004	≤0.008	0.01	余量

1.2 坡口形式及焊接参数

焊接试验采用对接接头,由于母材厚度小,故采用 I 型坡口(见图 1),正面施焊,背面使用带凹槽的铜垫板。将母材用夹具固定在铜垫板上,然后用手工钨极氩弧焊进行焊接,焊接交流电流为 120 A、氩气流量为 12 L/min。

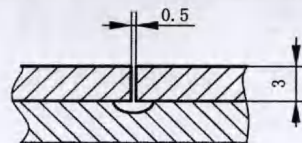


图 1 焊接坡口形式

2 结果及分析

2.1 焊缝宏观成形情况

图 2 为焊缝表面成形情况。由图 2 可知,焊缝熔宽较大(约 15 mm),焊缝表面成形质量一般,鱼鳞状波纹不明显,并且有局部的表面气孔缺陷存在。焊接接头横截面宏观形貌见图 3,可分为以下几个区:焊缝区,除近



图 2 焊缝表面形貌

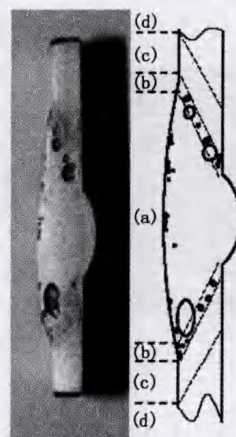


图 3 焊接接头横截面宏观形貌及分区

(a) 焊缝区 (b) 孔洞区(熔合区) (c) 热影响区 (d) 母材

收稿日期:2009-05-13;修改稿收到日期:2009-07-13

基金项目:重庆市科技攻关项目(CSTC2007AA4008)

第一作者简介:游国强,男,1978 年出生,博士,讲师,重庆大学材料科学与工程学院,重庆(400044),电话:023-65112626,13657676560,E-mail:you_cqu@yahoo.com.cn

表面有较为明显的宏观小气孔外,宏观形貌较为均匀;孔洞区(即熔合区),处于焊缝与热影响区之间,有不同尺寸的气孔出现;热影响区,经腐蚀后颜色变深,表明该区抗腐蚀性能较差;其余为母材区。

2.2 接头微观组织

2.2.1 母材

压铸 AM60B 母材的平均晶粒尺寸较小(见图 4e

和图 4j),大部分在 $5\sim 10\ \mu\text{m}$,少部分尺寸为 $25\sim 50\ \mu\text{m}$ 的粗大晶粒弥散分布在细小晶粒之间。浅白色为 $\alpha\text{-Mg}$ 基体;深色为 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 共晶相、并呈连续网状分布于晶界,这是压铸 AM60B 合金在非平衡条件下凝固的典型组织特征^[12]。另外,母材中还可以观察到一定数量的不同尺寸气孔,这是母材压铸过程中由于高速充型卷气产生的缺陷。

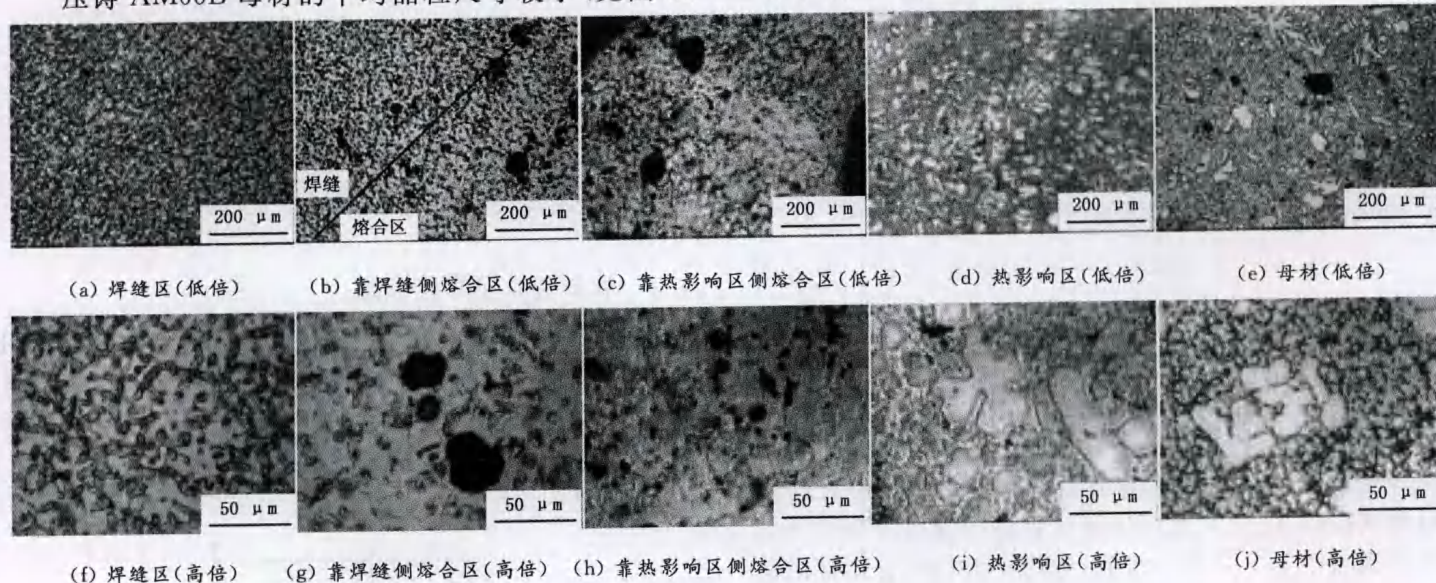


图 4 焊接接头光学显微组织

2.2.2 焊缝

焊缝区(见图 4a 和图 4f)除存在如前所述的近皮下宏观气孔外,微观缺陷相对较少,整体呈现为均匀的铸态等轴晶组织,这是因为在氩弧焊条件下熔池的冷却速度较一般的铸造过程快,加之镁合金本身导热系数大、散热性能良好,更有利于焊接熔池凝固时提高冷却速度,因此导致熔池在较高的冷却速度下非平衡凝固,抑制了枝晶生长,成为均匀的等轴晶;另外,电弧对熔池的强烈搅拌作用也对抑制枝晶生长有一定促进作用。

焊缝区的另一个特点是深色的 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 共晶相呈

近连续网状分布在晶界上,且数量比孔洞区和热影响区更多,其原因是,在电弧热作用下,焊缝熔池处于液态,与热影响区交界的地方必然存在一个半熔融态(即半固态)的过渡区,即熔合区,该区域温度处于固相线以上、液相线以下,组织发生部分熔化,在很高的冷却速度下先于焊缝区凝固、其凝固在非平衡条件下进行,先生成的 $\alpha\text{-Mg}$ 中的溶质 Al 来不及扩散和均匀化,溶质 Al 向尚未凝固的焊缝熔池中富集,使焊缝熔池中的 Al 含量偏高、熔合区中 Al 含量则降低(见图 5 和图 6),因此在焊缝的凝固组织中 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 共晶相数量更多。

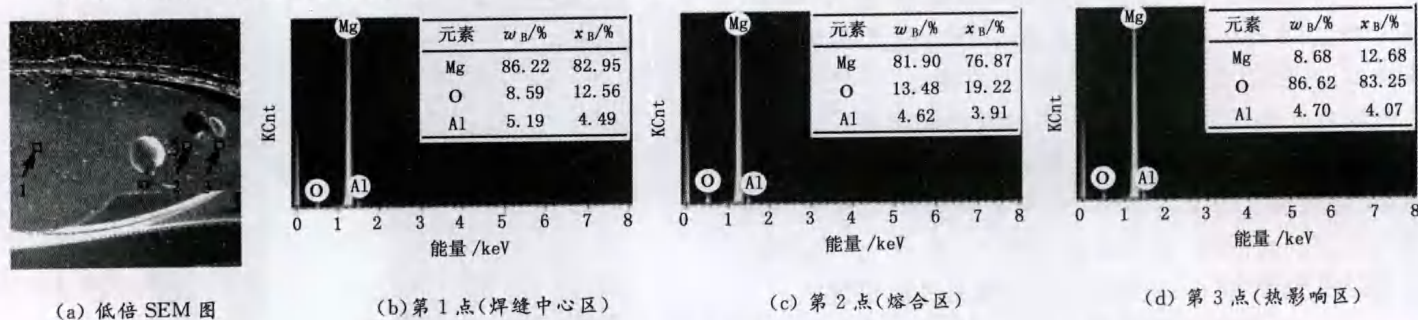


图 5 焊接接头各区 EDS 分析

2.2.3 孔洞区(熔合区)

在热影响区除与焊缝交界的区域存在一个明显的孔洞区(见图 4b、图 4c、图 4g 和图 4h),该区域除存在较多的宏观大尺寸气孔外,在光学显微镜下还发现一定数量的近圆形微观气孔和少量疏松样孔洞。

由于 AM60B 的初熔温度为 $435\ ^\circ\text{C}$ 、液相线温度为

$615\ ^\circ\text{C}$,在焊接的非平衡条件下,其凝固温度区间较大,也即液/固两相共存的温度区间较大,导致其熔合区的空间范围较大,因此熔合区不同位置的微观组织也有所差异。靠近焊缝一侧(见图 4b 和图 4g)的组织形貌与焊缝组织相似,但晶粒更为粗大, $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 共晶相的数量明显减少,并且其形态由焊缝的近连续网状变化为弥

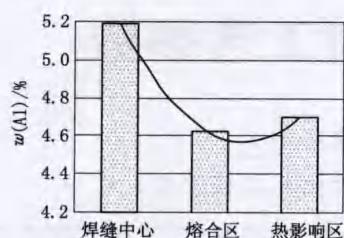


图6 焊接接头各区 Al 含量

散分布的短蠕虫状和颗粒状。这是因为,该区域接近焊缝区,在焊接过程中被加热至接近液相线的温度,原组织中的 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相完全熔化、相当比例的 $\alpha-Mg$ 也发生熔化,液相比比例很高,在冷却过程中先于焊缝凝固,由于凝固在非平衡条件下进行,使溶质 Al 向尚未凝固的焊缝熔池液相中富集,在熔合区则产生相对的溶质贫化(见图 6),因此 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相数量减少。靠热影响区一侧(见图 4c 和图 4h)的组织同样为粗大等轴晶,但晶界和 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相逐渐模糊,这是因为该区域的温度处于固相线附近,高温使原先细小的晶粒长大、合并;同时,原晶界上的 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶发生部分重熔和固溶,在快速冷却条件下成为过饱和固溶体。

2.2.4 热影响区

热影响区的组织与母材接近,不同的地方是平均晶粒尺寸有所增加,而且粗大晶粒的数量明显增多,这应该是在焊接高温下出现晶粒长大的结果。

2.3 气孔缺陷

图 7 为焊接接头气孔形貌。由图 7 可知,焊接接头中存在明显的内部气孔缺陷,这些气孔大致可以分为:焊缝近表面(皮下)气孔、熔合区大尺寸气孔、熔合区微观气孔。

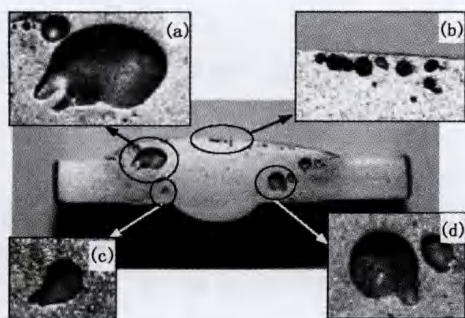


图7 焊接接头气孔形貌

(a) 熔合区大尺寸气孔 (b) 焊缝区皮下气孔 (c、d) 熔合区其他形貌气孔

2.3.1 焊缝近表面(皮下)气孔

这种气孔分布在焊缝的中上部,主要集中在焊缝近表面区,尺寸相对较小、呈近球形(见图 7b)。该部位气孔应该是氢气孔,氢的主要来源可能是母材及焊丝中的水分、或者空气及保护气体中的水分;由于氢在镁中的溶解度随温度的降低而大大降低,加之镁的密度低,气体不易逸出,因此在焊缝凝固过程中形成气孔。另外,

熔池中局部高温导致镁蒸发也有可能形成气孔。

2.3.2 熔合区大尺寸气孔

分布在焊缝与热影响区的交界处,即熔合区。该部位气孔尺寸很大,而且从形貌上看,气孔明显起源于熔合区,然后向焊缝区扩展-长大(见图 7a 和图 4b),有的气孔在长大过程中还有合并现象(见图 7a)。由于发源于熔合区和大尺寸特点,其气体来源应该不是外来氢,而应该是母材中原有气孔(见图 4e)。这些气孔在焊接热循环过程中会膨胀、长大和合并,熔合区处于半固态,液固两相共存、粘度大,不利于气泡上浮和逸出,使形成大尺寸气孔成为可能;大气孔周边如果有小气孔或凝固中析出的氢存在也将被捕获、合并,进一步促进气孔长大,呈现出大尺寸特征。而焊缝区为液态,并处于电弧的搅拌作用下,有利于大气泡上浮和逸出,因此在焊缝区未发现大尺寸气孔。

2.3.3 熔合区微观气孔和孔洞

在熔合区还有一定数量的微观气孔和非气孔形貌的孔洞存在,尺寸大的在 $100\sim 200\ \mu m$ 、小的有 $10\sim 20\ \mu m$ (见图 4b、图 4c、图 4g 和图 4h)。相对大的孔洞和母材中气孔的尺寸和形貌相近,应该就是直接来源于母材气孔;相对小的气孔成因很可能是,焊接中从熔池扩散并溶入的氢在凝固过程析出成为气泡,由于熔合区特有的半固态特性,增加了气泡上浮逸出的难度,导致气泡滞留成为氢气孔;非气孔孔洞主要分布在晶界上,应该是部分熔化的液相在凝固过程中产生的微观疏松缺陷所致。

3 结论

(1)采用同质焊丝对压铸 AM60B 进行填丝交流钨极氩弧焊,焊缝成形一般,局部存在表面气孔缺陷。

(2)焊缝区显微组织为均匀的等轴晶, $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相数量较多、近连续地分布于晶界。靠焊缝侧熔合区的晶粒粗大、 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相数量减少并呈蠕虫状和颗粒状弥散分布,这是由于凝固时 Al 溶质发生区域偏析引起焊缝中 Al 富集、熔合区中 Al 贫化导致的。靠热影响区侧熔合区的晶粒同样粗大,并且由于发生 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相部分重熔和固溶,其晶界和 $Mg_{17}Al_{12}$ 共晶相逐渐模糊。热影响区组织形貌与母材相似,但在电弧热下出现晶粒长大现象。

(3)焊接接头中有明显的内部气孔缺陷,在焊缝中上部、特别是焊缝的近表面皮下出现近圆形小尺寸氢气孔。在靠焊缝侧的熔合区集中出现不同尺寸的气孔和微观疏松,其中,大尺寸气孔主要来自母材中的气孔,起源于熔合区、再向焊缝区扩展-长大-合并;一定数量的小气孔主要是氢气孔;微观疏松缺陷是由凝固收缩引起的。

影响选择性激光烧结精度的工艺参数

华雄飞¹ 司乃潮¹ 曾珊琪² 李延军²

(1. 江苏大学材料科学与工程学院; 2. 陕西科技大学机电工程学院)

摘要 从理论和试验两个方面对选择性激光烧结件精度的影响因素进行了研究,验证了激光烧结参数、烧结温度等对制件精度的影响。针对影响烧结金属粉末尺寸精度的工艺参数,以 316 不锈钢粉末为试验材料,以制件尺寸为测量指标,优化了一组烧结参数:激光功率为 83 W、扫描速度为 16 mm/s、烧结间距为 0.165 mm、单层厚度为 0.1 mm,精度可达到 ± 0.05 mm,用此工艺参数成功地烧制出了金属原型件。

关键词 选择性激光烧结;制件精度;工艺参数;316 不锈钢粉

中图分类号 TG456.7

文献标志码 A **文章编号** 1001-2249(2009)08-0732-04

DOI:10.3870/tzzz.2009.08.014

选择性激光烧结(SLS)是采用激光有选择地逐层烧结固体粉末,叠加生成预定形状的三维实体零件的一种快速成形制造方法。SLS 零件的精度影响因素很多(如烧结温度、扫描间距、扫描路径、烧结层厚、烧结材料的物理化学性能等),研究和实践表明 SLS 成型零件的精度较低^[1~15]。本课题以 316 不锈钢粉为试验材料,详细地分析和研究了影响 SLS 制件精度的主要因素,并且优化了一组烧结工艺参数,为提高激光快速成型件的制造精度提供参考。

1 试验方法

试验采用纯 316 不锈钢粉末,球形颗粒,表面无粘剂,粒度为 180~320 目混合粉,具体化学成分见表 1。松装密度为 2.4~3.1 g/cm³。

试验设备为英国 SPI 公司生产的 redPOWER 系列

表 1 316 不锈钢金属粉末的化学成分

w_B										%
Cr	Ni	Mo	Si	Mn	C	S	P	O	Fe	
17~18	13~14	2~3	0.8	0.2	<0.03	<0.02	<0.03	<0.3	余量	

光纤激光器,额定输出功率(连续)为 100 W,功率范围为 10%~100%,波长仅为 $(1\ 090 \pm 5.0)$ nm,光斑可聚焦到 10 μ m。

烧结试样为外径 $\phi 16$ mm、孔径 $\phi 8$ mm、高 6 mm 的圆柱体。采用单因素试验,即当其他工艺参数都不变时,分别调节工艺参数:激光功率、扫描速度、激光扫描间距,观察各工艺参数组合下烧结制件的精度情况。其中不变的工艺参数为:铺粉厚度为 0.1 mm,扫描方式为双向线扫描。此试验共进行 14 次,并对圆柱体的外径尺寸进行方差分析。

收稿日期:2009-03-29

第一作者简介:华雄飞,男,1985 年出生,硕士研究生,江苏大学材料科学与工程学院,江苏镇江(212013),电话:15896384197, E-mail:huaxiongfei2006@163.com

参 考 文 献

- [1] 李元元,张卫文,刘英,等. 镁合金的发展动态和前景展望[J]. 特种铸造及有色合金,2004(1):14-17.
- [2] MUNITZ A, COTLER C, STERN A, et al. Mechanical properties and microstructure of gas tungsten arc welded magnesium AZ91D plates[J]. Materials Science and Engineering, 2001, A302: 68-73.
- [3] SHEN J, YOU G Q, LONG S Y, et al. Abnormal macropore formation during double-sided gas tungsten arc welding of magnesium AZ91D alloy[J]. Materials Characterization, 2008, 59(8):1 059-1 065.
- [4] LIANG G L, YUAN S Q. Study on the temperature measurement of AZ31B magnesium alloy in gas tungsten arc welding[J]. Materials Letters, 2008, 62:2 282-2 284.
- [5] LIU L M, DONG C F. Gas tungsten-arc filler welding of AZ31 magnesium alloy[J]. Materials Letters, 2006, 60:2 194-2 197.
- [6] 徐锦锋,翟秋亚. AZ91B 镁合金 TIG 焊接头组织与性能[J]. 特种铸造及有色合金,2004(4):23-25.
- [7] 全亚杰,陈振华,黎梅,等. AM60 变形镁合金薄板激光焊接接头的组织与性能[J]. 中国有色金属学报,2007, 17(4):525-529.
- [8] QUAN Y J, CHEN Z H, YU Z H. Characteristics of laser welded wrought Mg-Al-Mn alloy[J]. Materials Characterization, 2008, 59(12):1 799-1 804.
- [9] 全亚杰,陈振华,龚晓叁,等. 变形镁合金 AM60 焊接接头的组织与性能[J]. 热加工工艺,2007, 36(15):7-10.
- [10] 刘政军,苏允海,罗君,等. AM50 镁合金的 TIG 焊接性研究[J]. 沈阳工业大学学报,2007, 29(5):492-496.
- [11] 张福全,黎梅,陈振华,等. AM60 镁合金薄板的钨极氩弧焊组织与性能研究[J]. 矿冶工程,2006,26(2): 86-88,91.
- [12] 夏鹏举,蒋百灵,张菊梅,等. Mg-Al 系镁合金离异共晶 β 相的研究[J]. 特种铸造及有色合金,2007, 27(5):360-362.

(编辑:袁振国)