

试验研究

TIG 焊接热循环对 AZ91D 镁合金硬度的影响^①

重庆工学院材料学院(400050)

肖 锋 傅 亚 李春天 赵玮霖 杨 惠

中国兵器工业第五九研究所(重庆市 400039)

徐晓菱

摘要 采用 TIG 焊接方法焊接 AZ91D 镁合金,考察了焊接热循环对镁合金的硬度的影响。结果表明,表面处理过程对镁合金硬度的影响很大;与母材相比,焊缝区组织细小,硬度较高,焊缝区不同部位的硬度存在一定差异。

关键词: 焊接 镁合金 硬度

EFFECT OF TIG WELDING THERMAL CYCLE ON HARDNESS OF AZ91D MAGNESIUM ALLOYS

Chongqing Institute of Technology

Xiao Feng, Fu Ya, Li Chuntian, Zhao Weilin, Yang Hui

No.59 Institute of China Weapon Industry

Xu Xiaoling

Abstract AZ91D magnesium alloy was welded using TIG method, and the influence of welding thermal cycling on the hardness of AZ91D alloy was studied. The influence of surface treatment on the hardness of magnesium alloy is significant. Compared with base metal, the microstructure in fusion zone is finer, and the hardness is higher. The hardness difference exists at various places in fusion zone.

Key words: welding, magnesium alloys, hardness

0 前 言

由于镁合金具有重量轻、比强度高、减振性能好、电磁干扰屏蔽能力强等优异的性能,可满足军工产品的要求。目前,使用镁合金型材构件部分或全部替代传统材料已成为军工产品“轻质”化、“高强”化的发展方向。

焊接是许多军工产品生产过程中的重要环节。由于镁合金焊接时易产生氧化镁和氮化镁夹渣,焊缝金属对焊件表面、保护气和焊剂中存在的水分比较敏感,易产生气孔,以及焊接过程易产生较大的热应力,镁合金材料的焊接性较差^[1~4]。目前主要开展 TIG 焊^[2,3]、电子束焊^[1,5~8]、激光焊^[9,10]、搅拌摩擦焊^[11~13]、MIG 焊、

激光+氩弧复合热源焊接等工艺研究。由于一些军工产品在摩擦环境下服役,焊接过程的热循环将改变镁合金材料的硬度,从而影响产品的使用性能和寿命,目前关于这方面的研究较少。

本文以 AZ91D 镁合金为研究对象,采用 TIG 焊方法进行焊接,测定和比较了焊缝、热影响区、母材的硬度分布,通过微观组织分析,解释了各区硬度分布规律,为获得硬度匹配良好的焊接接头、提高焊接构件的性能、延长使用寿命提供了数据基础。

1 实 验

AZ91D 镁合金的化学成分列于表 1。

表 1 AZ91D 镁合金的化学成分(%)

Al	Mn	Zn	Si	Ni	Fe	Cu	Mg
8.50~9.50	0.17~0.40	0.45~0.90	≤0.05	≤0.001	≤0.004	≤0.015	余量

^① 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(2004-527),重庆市科委基金资助项目(CSTC2004BA4002、CSTC2004AA4003-6、8656),重庆市留学回国人员资助项目(2005-94),重庆工学院基金项目(2003ZD31)。

焊接前用砂纸去除镁合金试样表面的氧化物,然后使用 PANA-TIG WP300 焊机对两块镁合金平板进行对接,不开坡口,两板间不留间隙,不使用填充金属。焊后垂直于焊缝取样、研磨、抛光和侵蚀(7.4%的硝酸水溶液侵蚀 8~10 s),观察焊缝金相组织,并对焊缝表面和熔深方向的硬度进行测试。

2 结果与讨论

2.1 AZ91D 镁合金的焊接性评价

采用表 2 所示的焊接参数进行焊接,试样尺寸为 6 mm×20 mm×110 mm。

表 2 焊接参数

编号	焊接电流 I/A	保护气体流量 Q/(L·min ⁻¹)	平均焊速 v/(mm·min ⁻¹)
1	140	6	180
2	160	6	300
3	120	6	180

AZ91D 的化学活性强,焊接时易被氧化,产生氧化镁,表现为焊缝表面存在氧化膜。但是,只要在焊接过程中注意控制保护气体的气压、流量以及操作的稳定性,使保护气体以层流方式均匀覆盖于焊缝表面,就可以在焊后进行简单的表面清理后获得未被氧化的焊缝。

在 3 号试样的焊缝发现有点状气孔(图 1),而在第 1 号和 2 号试样中却没有发现气孔。比较试样的焊接参数可知,3 号样的焊接电流(120 A)小于 1 号样(140 A)和 2 号样(160 A),在焊缝冷却过程中,溶解于高温熔池的气体由于溶解度的下降要析出,3 号样的焊接电流较小,焊缝冷速比 1 号和 2 号样快,使气体析出后来不及溢出焊缝,于是在焊缝中形成了气孔。



图 1 残留在焊缝中的气孔

在平均焊接速度不变的情况下,焊接电流从 120 A 增加至 140 A,焊缝熔深和熔宽增大,但是,在高热输入的情况下,如果焊接速度控制不当,特别是在收弧时,极易出现焊穿现象;当进一步增加电流(160 A)时,要适当提高焊接速度,以控制熔池尺寸和形貌。

2.2 表面处理方法对硬度的影响

由于镁合金母材的硬度较低,在讨论焊接热循环

对其硬度的影响前,我们先分析制样过程中的表面处理方法对镁合金硬度的影响。

不进行焊接,对 AZ91D 镁合金母材分别进行以下处理:①直接进行硬度测试;②对①号样研磨后(800 号金相砂纸)进行硬度测试;③对②号样抛光并侵蚀后进行硬度测试。

上述几种处理方法对硬度的影响如图 2 所示。直接截取的母材(①号样),其硬度值比较分散,测量的 5 个部位的硬度最大值与最小值相差 70HV,平均硬度约为 235HV。经过研磨后的试样(②号样),硬度值大幅下降,数据分散度减小,测量的 5 个部位的硬度最大值与最小值相差 49HV,平均硬度约为 187HV,仅是未处理试样的 80%。经过研磨、抛光并侵蚀后的试样(③号样)的硬度进一步下降,分散度与②号样大致相当,平均硬度约为 111HV。

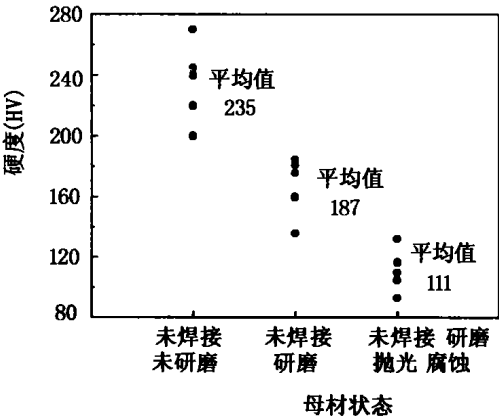


图 2 不同处理条件下母材硬度

为了解释上述现象,我们测定了 3 种表面处理状态下的粗糙度,得到了相应的表面粗糙度曲线(图 3)。由图可知,未处理表面(研磨前)的起伏比较均匀,振幅基本保持不变;经过研磨后的表面的起伏频率明显降低,振幅明显减小;在试样侵蚀过程中,由于镁合金成分不可能完全均匀,其中存在与基体相成分不同的析出相,因此,在同样的侵蚀条件下,各部位的被侵蚀程度是不一样的,这直接导致了试样表面起伏频率增大,振幅增加,粗糙度也随之增大。

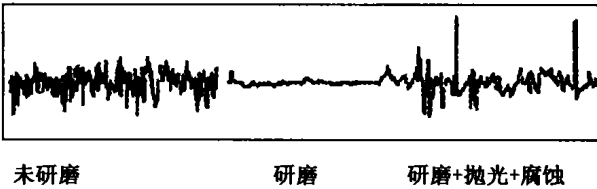


图 3 不同处理条件下的表面粗糙度曲线

对照各条件下的硬度分布特点、表面粗糙度测定曲线,我们可以用图4所示对上述现象予以解释。本文采用的硬度计的测定探头对被测部位的压痕最大为 $15\mu\text{m}$ 。

在第①种情况,未处理表面(研磨前)的粗糙度虽然很大,但其微观表面的起伏周期远大于探头尺寸,因此,可将此时的表面视为由若干相对光滑的部位连接而成,在进行硬度测试时,如图4a所示,被探头压下的部位仍可认为是一平滑表面,不会因为探头压力造成大面积压溃,只是被测表面与水平面的夹角因测量位置不同而有所差异,因此,造成了硬度测量值的分散度较大。

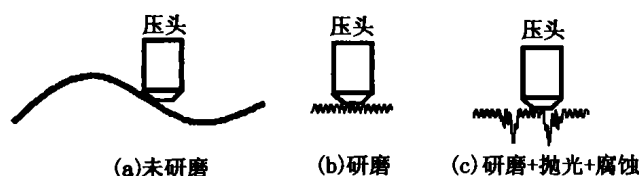


图4 不同处理条件下被测表面与探头的相对位置

在第②种情况,由于采用800号金相砂纸对试样表面进行了研磨,因此,虽然表面的起伏频率降低了,振

幅也减小了,但在任何一个微观区域,其表面状态与金相砂纸的表面状态对应,存在许多如图4b所示的均匀细小起伏,与探头尺寸相比,这些起伏的周期等于甚至小于探头尺寸,这样一来,虽然研磨使表面起伏的波峰部位产生了加工硬化,但每个起伏的其它部位具有与原始镁合金母材相同的硬度,在进行硬度测试时,探头压下部位会形成大面积的压溃,所测得的硬度值反而下降了。

在第③种情况,侵蚀过程破坏了研磨留下的部分微观起伏,使一些部位出现深坑,此时得到的硬度值进一步下降。

如上分析,因为表面处理过程对硬度的影响很大,因此,在此后评价焊接热循环对材料的硬度的影响时,因为所有焊缝硬度测试试样均经过表面研磨、抛光和侵蚀处理,所以为排除焊接热影响以外的其它因素的影响,均以上述第③种情况(母材表面研磨、抛光和侵蚀)下测得的母材平均硬度(111HV)作为评价基准。

2.3 焊缝-热影响区-母材的硬度分布规律

焊接电流为120A条件下的各区微观组织如图5所示,三个区的组织特征明显,焊缝区的晶粒比母材和

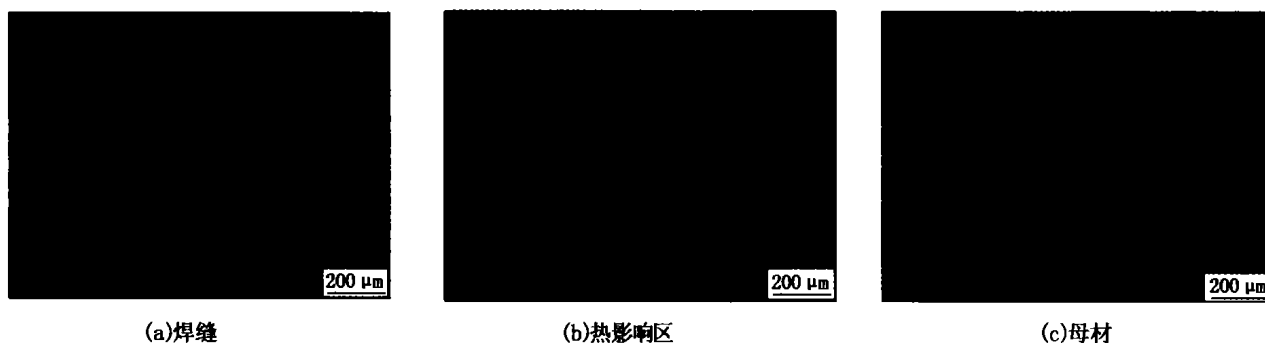


图5 各区微观组织

热影响区的细小,热影响区组织较母材粗大。焊接过程的焊缝冷却阶段,散热快,凝固速率高,形核率高,晶粒细小。在焊接过程中由于热影响区温度较高,易于过热,而且母材经过轧制变形,热影响区存在回复与再结晶过程,因此,表现为热影响区的组织粗大,这将导致该区力学性能降低,苗玉刚等人^[2]进行的力学测试也发现了接头拉伸断裂发生在热影响区部位,这表明热影响区的晶粒粗大已成为导致镁合金焊接接头力学性能下降的主要原因。

从焊缝中央分别向两边母材测量硬度,得到如图6所示的硬度分布规律,白点和黑点分别表示同一焊缝不同层面的硬度情况。可以看出,与母材的硬度相比,

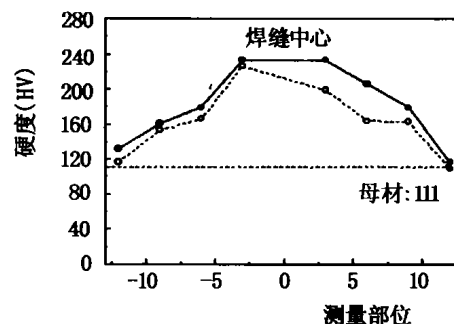


图6 焊缝-热影响区-母材硬度分布

焊缝区的硬度较高,这与焊缝细小晶粒导致的细晶强化作用有关;热影响区与母材的硬度相近;同一焊缝不同层面的硬度有所不同,这是因为与白色测定层相比,

黑色这一层面的位置更靠近焊缝表面,散热更快,晶粒更细小,因此硬度相对更高一些。

3种不同焊接电流条件下的焊缝及热影响区的硬

度分布见图7,结合图8所示的3种不同焊接电流情况下的焊缝组织照片可以看出,焊接电流越大,焊缝冷却速率越低,晶粒尺寸也越大,硬度也就越低。

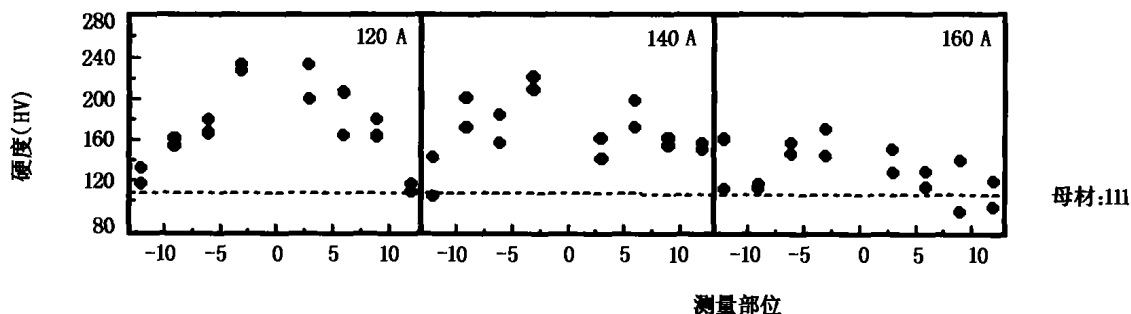


图7 不同焊接电流条件下的焊缝-热影响区-母材硬度分布

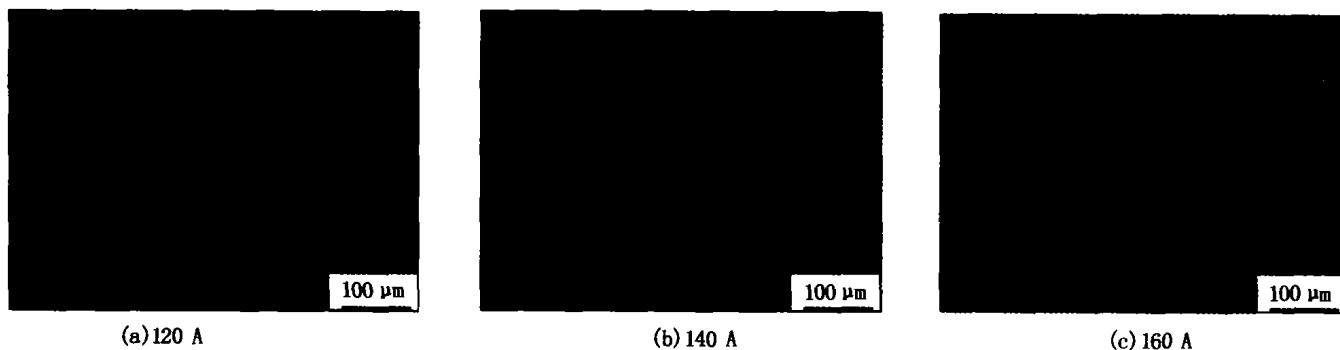


图8 不同焊接电流条件下的焊缝组织

3 结 论

(1) 表面处理过程对镁合金硬度的影响很大,在评价焊缝的硬度时,应根据实际情况选择一定的比较基准。

(2) 由于焊缝的冷却速率高,组织细小,与母材相比,焊缝区的硬度较高;热影响区的硬度与母材相近。

参 考 文 献

- 张英明. 纯镁和 AZ31 镁合金的电子束焊接性能. 稀有金属快报, 2003(4): 25~26
- 苗玉刚, 刘黎明, 赵 杰, 等. 变形镁合金熔焊接头组织特征分析. 焊接学报, 2003, 24(2): 63~66
- 郑 荣, 林 然. AZ31B 镁合金薄板 TIG 焊接. 焊接, 2003(4): 43~44
- 国 翔. 镁合金的焊接. 轻金属溶接, 2001, 39(12)
- 张英明. 纯镁和 AZ31 镁合金的电子束焊接性能. 稀有金属快报, 2003(4): 25~26
- Asahina T, Tokisue H. Electron beam weldability of pure magnesium and AZ31 magnesium alloy. Mater. Trans., 2001, 42(11): 2 345~2 353
- Munitz A, Cotler C, Shaham H, et al. Electron beam welding of magnesium AZ91D plates. Welding Research, 2000(7): 202s~208s
- Su S F, Huang J C, Lin H K, et al. Electron-beam welding behavior in Mg-Al-based alloys. Metall. Mater. Trans., 2002, 33A(5): 1 461~1 473
- Lehner C, Reinhart G. Welding of die-casted magnesium alloys for production. J. Laser Applications, 1999, 11(5): 206~210
- Sanders P G, Keske J S, Leong K H, et al. High power Nd: YAG and CO₂ laser welding of magnesium. Laser Applications, 1999, 11(2): 96~103
- Hwan S, Park C, Sato Y S, et al. Effect of micro-texture on fracture location in friction stir weld of Mg alloy AZ61 during tensile test. Scripta Materialia, 2003, 49: 161~166
- Hwan S, Park C, Sato Y S, et al. Basal plane texture and flow pattern in friction stir weld of magnesium alloy. Metall. Mater. Trans., 2003, 34A(4): 987~994
- Lee W B, Kim J W, Yeon Y M, et al. The joint characteristics of friction stir welded AZ91D magnesium alloy. Mater. Trans., 2003, 44(5): 917~923

(收稿日期 2005 01 30)

作者简介: 肖 锋, 1970 年出生, 博士, 教授。