

[文章编号] 1004-0609(2000)06-0868-04

ZA12 合金钨极氩弧焊 HAZ 组织模拟及摩擦学性能^①

张柯柯^{1, 2}, 涂益民¹, 陈跃^{1, 2}, 张永振^{1, 2}, 陈大柔¹, 薛锦²

(1. 洛阳工学院 材料工程系, 洛阳 471039; 2. 西安交通大学 机械工程学院, 西安 710049)

[摘要] 在对 ZA12 合金钨极氩弧焊接头 HAZ 不同部位(测点)焊接热循环曲线大量测试和计算基础上, 借助于焊接热模拟技术, 设计了进行焊接 HAZ 显微组织模拟的热循环参数, 并在 DM-1000A 型电阻加热式热模拟试验机上, 实现了 ZA12 合金钨极氩弧焊焊接 HAZ 加热峰值温度 $\theta_m = 370\text{ }^{\circ}\text{C}$, $305\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区域(测点)显微组织的模拟。研究表明: ZA12 合金钨极氩弧焊焊接 HAZ 组织热模拟试样的耐磨性均高于母材, 并均随负荷的增加其耐磨性降低。焊接 HAZ 组织热模拟试样的耐磨性与其组织中 α 相内共析体组织形态密切相关。

[关键词] ZA12 合金; 钨极氩弧焊; 焊接 HAZ; 组织模拟; 摩擦学性能

[中图分类号] TG 457.19

[文献标识码] A

锌基合金作为在一些场合下使用的新型耐磨减摩材料, 已呈现较好的发展前景^[1~3]。与其相关的锌基合金焊接技术也得到了相应地发展^[4]。锌基合金焊接接头影响区(HAZ)的组织与性能, 能否与母材一样满足零件在磨损工况条件下的使用要求, 已成为锌基合金在使用中亟待解决的问题。对铝含量小 22% 的锌基合金, 人们已可借助于以前主要用于研究钢铁材料焊接 HAZ 组织与性能关系的焊接热模拟方法^[5, 6]来比较客观地探讨、揭示其焊接 HAZ 组织与性能之间的关系, 并进而为锌基合金焊接件在实际工况条件下的使用提供试验依据。本文作者对 ZA12 合金钨极氩弧焊(TIG 焊)焊接 HAZ 进行显微组织模拟, 并研究其摩擦学性能。

1 焊接 HAZ 显微组织模拟

1.1 焊接 HAZ 热循环参数的确定

1.1.1 试验材料

试验用的原材料(母材)为 ZA12 合金, 采用金属型铸造, 经机加工制成尺寸为 $260\text{ mm} \times 140\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的试板。其室温组织如图 1 所示, 为初生的 α 枝晶和共晶体($\alpha + \beta$)(α 为富铝相、 β 为富锌相), 初生 α 相内共析体一般在外边界形成一定厚度的颗粒状边框, 在内部多为层片状; 共晶体为 β 基底上分布着粗层片状或小岛状的 α 相。

1.1.2 焊接 HAZ 热循环曲线的测定

采用热电偶实测的方法进行 ZA12 合金钨极氩

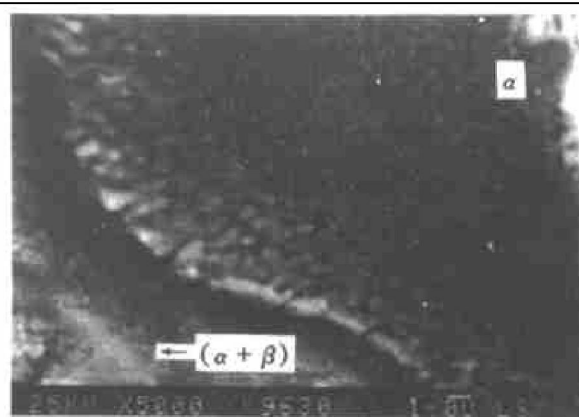


图 1 ZA12 合金母材室温组织的 SEM 照片

Fig. 1 SEM morphology of microstructure of ZA12 alloy base metal at room temperature

弧焊接头 HAZ 焊接热循环曲线的测定。即采用 NSA-400 焊机, $d3 \sim 5\text{ mm}$ 的 ZA8 合金焊丝, 在预热温度为 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的母材试板上进行单道堆焊。焊接 HAZ 不同部位(测点)均采用铆接的方式并由 $d0.24\text{ mm}$ 镍铬-镍硅热电偶引出后接测温仪。沿焊接方向热电偶的布置要确保焊接时在热电偶上方区域已进入焊件准稳定温度场。

1.1.3 焊接 HAZ 热循环参数的确定

在上述大量测试和计算的基础上, 结合锌基合金相图及仿照钢的热循环参数定义^[6], 确定由以下 4 个参数^[5]来描述 ZA12 合金钨极氩弧焊焊接 HAZ 的热循环。

1) 峰值温度 θ_m : 它标定被加热 ZA12 合金所

① [基金项目] 河南省自然科学基金资助项目(964041600)

[收稿日期] 1999-12-13; [修订日期] 2000-03-20

[作者简介] 张柯柯(1965-), 男, 副教授, 博士生。

在焊接 HAZ 的具体部位, 是热模拟的重要参数。

2) 加热速度 ω_H : 指共析温度 275 °C 处的瞬时加热速度, 它会影响加热时共析组织的转变过程, 可用 260~ 290 °C 区间的平均加热速率来近似代替瞬时的 ω_H 。

3) 高温停留时间 t_H : 指 280 °C 以上温度停留时间, 又可分为加热时间 t_1 和冷却时间 t_2 。

4) 冷却速度 ω_C : 同样可用 290~ 260 °C 区间的平均冷却速度来近似代替瞬时的 ω_C 。

由上述定义, 并考虑到由热电偶测温自身带来的误差、滞后等现象的影响, 可确定钨极氩弧焊焊接 HAZ 的热循环参数如表 1 所示。

表 1 焊接 HAZ 的热循环参数

Table 1 Thermal cycle parameters of welding HAZ

Peak temperature $\theta_m/^\circ\text{C}$	Heating rate $\omega_H/(^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1})$	Cooling rate $\omega_C/(^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1})$	Heating time t_1/s	Cooling time t_2/s
370	12	1.4	6.5	17
305	15	7.5	2.5	3

1.2 焊接 HAZ 显微组织模拟

在不考虑应力、应变影响的条件下, 按模拟试样和实际焊接 HAZ 对应区域(测点)显微组织和硬度基本一致的原则, 依据表 1 中的参数, 设计了进行 ZA12 合金钨极氩弧焊焊接 HAZ 加热峰值温度 $\theta_m=370\text{ }^\circ\text{C}$, $305\text{ }^\circ\text{C}$ 区域(测点)显微组织模拟的热循环曲线, 并在 DM-1000A 型电阻加热式热模拟试验机上完成了其显微组织的模拟。结果可在 $12\text{ mm}\times 12\text{ mm}\times 75\text{ mm}$ 热模拟试样上获得长约 8 mm 的均温区域, 即在该区域内获得与实际焊接 HAZ 对应部位基本接近的组织: 较低倍镜下的初生 α 枝晶和共晶($\alpha+\beta$)组织形态、尺寸及所占比例基本

相似, 由于受热影响而在初生 α 枝晶内形成的共析组织的细节形态特征在较高倍镜下基本接近^[6]; 两者硬度(HV)也基本相当(见表 2)。这表明用焊接热模拟方法进行 ZA12 合金钨极氩弧焊焊接 HAZ 显微组织的模拟是可行的。

研究同时表明: 与母材相比, 钨极氩弧焊焊接 HAZ 初生 α 相内的层片状共析组织显著细化、粒状共析体相应减少, 如图 2 所示; 焊接 HAZ 加热峰值温度 $\theta_m=370\text{ }^\circ\text{C}$ 区域(测点)显微组织中初生 α 相内的层片状共析组织比 $\theta_m=305\text{ }^\circ\text{C}$ 区域(测点)显微组织中初生 α 相内的层片状共析组织更细。

2 焊接 HAZ 摩擦学性能

2.1 试验方法

在 MM-200 型磨损试验机上进行室温环-块摩擦副油润滑磨损试验。从按上述方法制备的焊接 HAZ 显微组织模拟试样中, 切取 $8\text{ mm}\times 8\text{ mm}\times 18\text{ mm}$ 的磨损上试样, 并使其均温区位于磨损上试样的中央。摩擦副的下试样为圆环状, 其外径为 $d50\text{ mm}$, 材料 45# 钢, 经淬火、回火使硬度 HRC 达 31~ 35, 并经机加工使其表面粗糙度 R_a 为 $1.6\text{ }\mu\text{m}$ 。试验条件: 采用 30# 机械油润滑, 油滴为 18~ 22 滴/min, 转速 200r/min, 载荷取 686, 784 和 882 N 三种, 试样经 0.5 h 跑合后进行 2 h 磨损并经清洗、烘干, 在感量为 10^{-4} g 光电天平上称量, 取 3~ 5 次平行试验的算术平均值用磨损率表征其耐磨性能。摩擦系数由同步每间隔 15 min 测得的摩擦力矩并结合文献[7]计算获得, 并在 JSM-35C 扫描电镜上对其磨损表面形貌进行观察和分析。

2.2 试验结果与分析

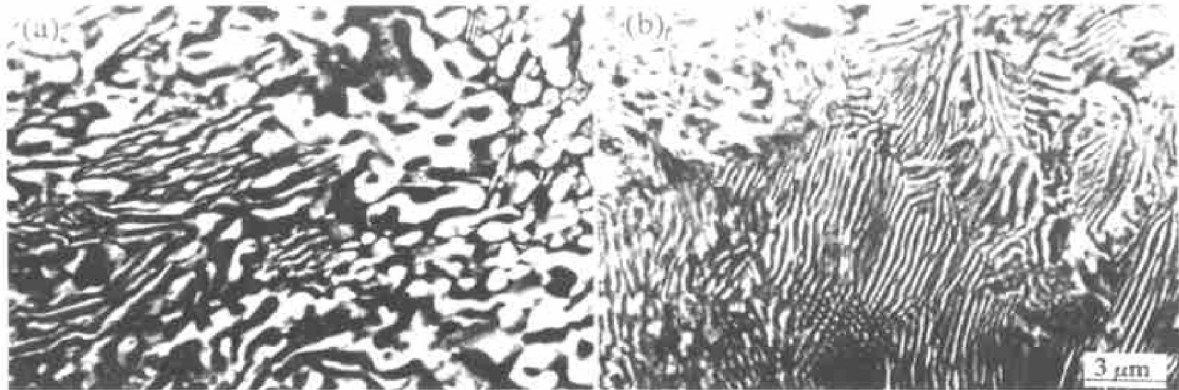


图 2 ZA12 合金 α 相内共析组织的 TEM 照片

Fig. 2 TEM morphology of eutectoid microstructure in α phase of ZA12 alloy
(a) —Base metal; (b) —Samples of welding HAZ microstructure simulation($\theta_m=305\text{ }^\circ\text{C}$)

表 2 焊接 HAZ 模拟试样与
实焊对应区域(测点)硬度对照表

Table 2 Hardness of welding HAZ simulation
specimen and corresponding zone in
actual welding HAZ

Sample No.	Hardness of welding HAZ(HV)				Hardness of base metal (HV)
	$\theta_m= 370\text{ }^{\circ}\text{C}$		$\theta_m= 305\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	Actual	Simulation	Actual	Simulation	
1	134	130	130	126	116
2	132	134	126	128	115
3	133	132	128	124	117
Average value	133	132	128	126	116

2.2.1 焊接 HAZ 摩擦学性能

图 3 给出了钨极氩弧焊焊接 HAZ 时具有不同加热峰值温度组织模拟试样及母材的磨损率与负荷的关系曲线。由图 3 可见,在负荷相同时,焊接 HAZ 组织模拟试样的磨损率均低于母材,并均随负荷的增加,焊接 HAZ 组织模拟试样及母材的耐磨性降低;同时焊接 HAZ 加热峰值温度 $\theta_m=370\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区域(测点)组织模拟试样的耐磨性比 $\theta_m=305\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区域(测点)组织模拟试样的耐磨性差。由图 4 磨损过程中摩擦系数与时间的关系曲线可以看出,摩擦系数与耐磨性呈现了一致的变化规律,即耐磨性高的材料在磨损过程中的摩擦系数较低。在磨损表面形貌上,钨极氩弧焊焊接 HAZ 组织模拟试样和相同磨损条件下母材的磨损表面形貌相似,主要为平行的浅犁沟,局部有表面剥落坑和塑性变形痕迹,如图 5 所示。干磨损情况下的粘着、氧化磨损等形貌特征较少见,这说明在油润滑条件下焊接 HAZ 呈现出良好的磨损特性。

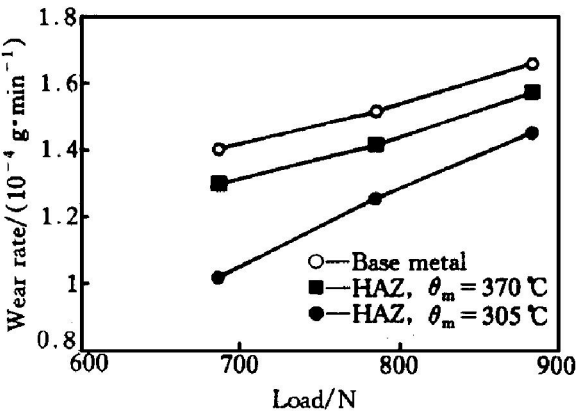


图 3 焊接 HAZ 磨损率与负荷的关系

Fig. 3 Wear rate of welding HAZ versus load

2.2.2 分析与讨论

在ZA12合金显微组织结构中,较硬的初生 α 枝晶与分布在枝晶间共晶体($\alpha+\beta$)软相的硬度HV

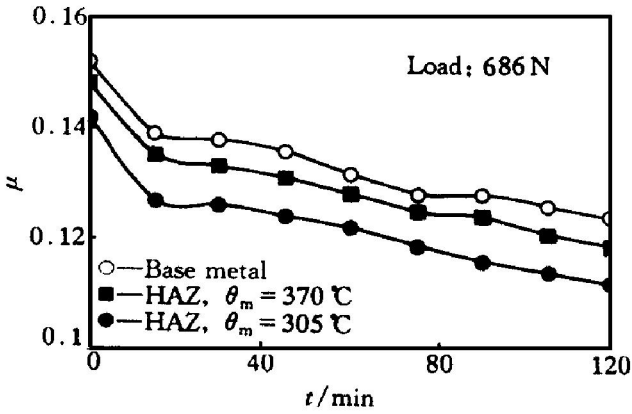


图 4 焊接 HAZ 摩擦系数(μ)与时间的关系

Fig. 4 Friction coefficient of welding
HAZ versus time

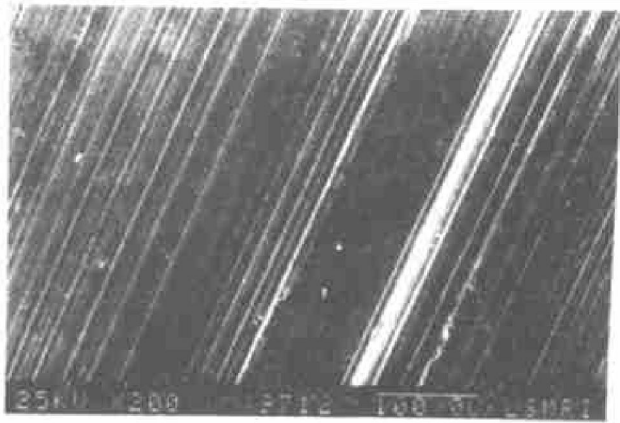


图 5 焊接 HAZ 组织模拟试样磨面的 SEM 照片

Fig. 5 SEM morphology of worn surface of
welding HAZ microstructure simulation samples

相差 60 左右,在磨损时晶间共晶因较软而易被磨掉,从而形成很多微小的储油槽,可大大减小摩擦副的接触面积,使润滑能力增强,摩擦系数减小,表现出良好的磨损特性。钨极氩弧焊焊接 HAZ 组织模拟试样的耐磨性均不同程度地高于母材,主要是由于焊接 HAZ 受热循环中固态相变的作用,使其 α 相内层片状共析组织得到细化,颗粒状共析组织减少(见图 2),从而使其显微硬度 HV 增加(见表 2),摩擦系数降低,耐磨性升高。但焊接 HAZ 显微组织中 α 相内层片状共析组织并不是越细其耐磨性越好, α 相内具有较细层片状共析组织(即加热峰值温度 $\theta_m=370\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区域(测点)组织)的模拟试样的耐磨性比 α 相内具有较粗层片状共析组织(即加热峰值温度 $\theta_m=305\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区域(测点)组织)的模拟试样的耐磨性差。这表明焊接 HAZ 的耐磨性与其组织 α 相内的共析体组织形态密切相关,其磨损机制有待进一步深入研究。一般来说,磨损率小(即耐磨性高)的焊接 HAZ 组织模拟试样在磨损表面形貌上呈现出的平行犁沟较浅,表面剥落坑较少,塑性

变形较小。

由此可见, ZA12 合金焊接件焊接 HAZ 的摩擦磨损性能和 ZA12 合金母材一样, 可满足在低速重载软轴匹配磨损工况条件下的工作要求。

3 结论

1) 采用电阻加热式焊接热模拟方法, 对 ZA12 合金钨极氩弧焊接头 HAZ 加热峰值温度 $\theta_m = 370\text{ }^{\circ}\text{C}$, $305\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区域(测点)显微组织的模拟是可行的。

2) ZA12 合金钨极氩弧焊焊接 HAZ 组织模拟试样的耐磨性高于母材, 且随负荷增加其耐磨性降低。

3) ZA12 合金钨极氩弧焊焊接 HAZ 耐磨性与其组织中 α 相内共析体组织形态密切相关。

[REFERENCES]

- [1] Lyon R. The properties and applications of ZA alloys [J]. The British Foundry, 1986(8-9): 344-349.
- [2] LI Yuan-yuan(李元元), ZHANG Da-tong(张大童),

LUO Jun-ming(罗俊明), et al. 高铝锌基合金粉末冶金材料及其摩擦学特性初探 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1997, 7(1): 117-121.

- [3] YANG Lir-shuan, LIU Yong-chang, YANG Gen-cang, et al. Friction-wear property of high silicon ZA27 alloy prepared by spray deposition [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 1996, 6(4): 105-109.
- [4] ZHANG Ke-ke(张柯柯), CHEN Da-rou(陈大柔), XUE Jin(薛锦), et al. 新型锌铝合金焊接研究的现状 [J]. Welding Technology(焊接技术), 1999, (6): 41-43.
- [5] ZHANG K K, CHEN D R, XUE J, et al. Study of the microstructure simulation and performance of zinc-based alloy fusion welding HAZ [J]. Acta Metallurgica Sinica (English letters), 2000, 13(1): 173-177.
- [6] CHEN Chu(陈楚), ZHANG Yue-chang(张月嫦). Welding Thermal Simulation Technology(焊接热模拟技术) [M]. Beijing: Mechanic Industry Press, 1985.
- [7] WANG Heng-zhi(王恒志), XIA Zhi-ye(夏治业), WANG Xin(汪信), et al. 对 MM-200 型磨损试验机摩擦系数计算公式的修正 [J]. Tribology(摩擦学报), 1999, 19(2): 173-176.

Microstructure simulation and tribological properties of TIG welding HAZ of ZA12 alloy

ZHANG Ke-ke^{1, 2}, TU Yr-min¹, CHEN Yue^{1, 2}, ZHANG Yong-zhen^{1, 2}, CHEN Da-rou¹, XUE Jin²

(1. Department of Material Engineering, Luoyang Institute of Technology,

Luoyang 471039, P. R. China;

2. Department of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University,

Xi'an 710049, P. R. China)

[Abstract] Base on a vast amount of testing and calculations for the welding thermal cycling curves of different testing points in HAZ(heat affected zone) of ZA12 alloy TIG welding joint, the thermal cycle parameters of microstructure stimulation of welding HAZ were designed, and the microstructure simulation of testing points (θ_m is $370\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $305\text{ }^{\circ}\text{C}$) of ZA12 alloy by TIG welding was carried out by the means of type DM-1000A ohmic-heating welding thermal simulation tester. The study results from the simulation specimen indicated that the wear resistance of welding HAZ of ZA12 alloy in comparison with that of base metal increases in varying degrees, and with load increasing the wear resistance decreases. The wear resistance of the simulation specimens of welding HAZ was closely related to the form of eutectoid microstructure in α phase.

[Key words] ZA12; TIG welding; welding HAZ; microstructure simulation; tribological properties

(编辑 何学锋)