

高速列车 6005A-T6 铝合金焊接接头软化分析

吕晓春¹, 雷 振¹, 张 健¹, 掌丽华²

(1. 机械科学研究院 哈尔滨焊接研究所, 哈尔滨 150028; 2. 徐工机械建设机械分公司, 徐州 221004)

摘 要: 测试了 6005A-T6 铝合金双丝 MIG 焊和激光-双丝 MIG 复合焊的焊接热循环曲线, 并利用热处理方法进行了焊接软化的热模拟试验, 探讨了 6005A-T6 铝合金焊接接头的软化问题。结果表明, 焊接热循环峰值温度超过 260 ℃ 时热影响区开始软化, 当峰值温度达到 350 ℃ 左右时软化最为严重。晶内的非稳态强化相 β'' 相及 β 相转变为平衡态的 β 相 (Mg_2Si) 并聚集长大是造成软化的根本原因; 受热温度在 260 ~ 500 ℃ 的热影响区, 焊后经简单的时效处理后, 硬度无法恢复至原始状态; 复合焊的焊接热循环曲线在 260 ℃ 以上的高温停留时间相对较短, 这是造成复合焊接头软化程度低于常规 MIG 焊的直接原因。

关键词: 高速列车; 6005A-T6 铝合金; 复合焊; 接头软化

中图分类号: TG 456.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2014)08-0025-05

0 序 言

某些可热处理强化型铝合金的焊接接头软化问题一直是焊接领域的技术难题^[1-2]。6005A 铝合金属于 Al-Mg-Si 系可热处理强化型铝合金, 具有中等强度、较好的挤压成形性、良好耐腐蚀和焊接性, 在轨道列车、船舶、集装箱制造等领域获得了广泛应用^[3], 其中空挤压铝合金型材是当前国内高速铝合金列车车体制造用的主要铝型材之一。当前国内高速铝合金列车车体型材的焊接仍以 MIG 焊为主, 焊后焊接接头的软化较为严重, 通常其焊接接头强度仅有母材强度的 60% ~ 70%, 而且焊接热输入越大, 接头软化越严重^[4]。软化的焊接接头经自然时效后, 接头的强度有所恢复^[5], 但仍无法恢复至母材的原始强度, 造成了母材强度利用率的降低, 在一定程度上影响了焊接接头的服役安全性。因此研究铝合金焊接接头软化的基本规律, 探讨其软化机理, 为工程上制订有效措施抑制铝合金焊接接头的软化具有重要参考价值。

选择高速铝合金列车用 6005A-T6 铝合金型材, 分别利用双丝 MIG 焊和激光-双丝 MIG 复合焊^[6]进行焊接试验, 通过热电偶测温装置分别测试其焊接热影响区的焊接热循环曲线, 结合热影响区的硬度分布状况, 分析焊后接头软化的区域及软化温度区间。根据测量结果, 利用热处理炉加热铝合金母

材试样至不同温度后再在水中急冷的方式模拟焊接过程, 测试热模拟试样的硬度, 利用透射电镜研究不同热模拟温度下的母材微观组织变化, 探讨 6005A-T6 铝合金的焊接接头软化规律。

1 试验方法

试验母材为高速铝合金列车车体用 6005A 铝合金型材, 供货状态为 T6。填充焊丝为 ER5087, 直径为 1.2 mm。母材及焊丝化学成分如表 1 所示, 母材力学性能如表 2 所示。试验所用激光器为额定功率 6 kW 的光纤激光器; 采用数字化双丝 MIG 焊机, 焊接过程采用脉冲焊模式, 过渡形式为 1 滴/脉冲。焊接热循环曲线测试试验所用的主要焊接工艺参数见表 3。

表 1 母材及焊丝化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical compositions of 6005A-T6 and filler metals

材料	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
6005A-T6	0.71	0.16	0.14	0.22	0.62	0.003	0.01	0.02	余量
ER5087	0.07	0.19	0.001	0.82	4.67	0.050	0.08	0.08	余量

表 2 6005A-T6 母材力学性能

Table 2 Mechanical properties of 6005A-T6 Al alloy

抗拉强度	屈服强度	断后伸长率	弯曲
R_m / MPa	R_{eL} / MPa	A (%)	$d = 8a$
303	260	9.5	180°

表 3 主要焊接工艺参数
Table 3 Main welding parameters

	焊接速度 $v/(mm \cdot s^{-1})$	激光功率 P/W	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接热输入 $E/(J \cdot mm^{-1})$
复合焊	67	4 200	220	18.6	197
			240	20.2	
双丝 MIG 焊	27	—	200	17.6	284
			208	19.5	

焊接热循环曲线测试试验所用试板规格为 $300\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 4\text{ mm}$, 焊前清理试板表面的氧化膜, 按图 1 所示^[7]将热电偶固定于待焊试板表面, 分别利用双丝 MIG 焊和复合焊进行焊接, 焊接过程中利用热电偶测温仪测量距焊趾(熔合线)不同距离的焊接热影响区的焊接热循环曲线, 并制备硬度试样测试热影响区的硬度分布规律, 分析接头的软化区间及热循环峰值温度. 焊接热模拟试验所用试样规格为 $20\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 4\text{ mm}$. 试验过程中, 将热模拟试样放入热处理炉内, 以一定的加热速度将试样加热到不同温度, 保温 120 s, 快速取出试样并放入水中冷却, 以此来模拟焊接过程, 并通过硬度测试及微观组织分析, 探讨 6005A-T6 铝合金焊接接头软化的规律. 每组试验制备两个试样, 其中一个试样模拟焊态的焊接接头, 另一个试样则进行时效处理(175℃保温 8 h)模拟焊后经时效处理的焊接接头.

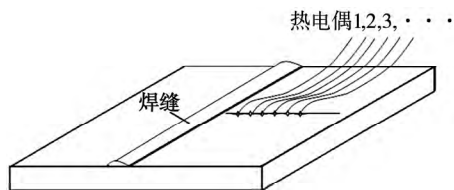


图 1 热电偶固定及分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram of thermocouples on the welding plate

2 试验结果及讨论

2.1 焊接热循环测试结果分析

图 2 为试验测得的试板表面焊接热影响区不同位置的焊接热循环峰值温度变化曲线. 由于离焊趾位置太近的热电偶在焊接过程中受电弧的近距离辐射而发生了熔断, 因此试验仅测量了离焊趾位置 2 mm 之外热影响区的焊接热循环曲线. 从图 2 可以看出, 在距焊趾相同距离的位置, 双丝 MIG 焊热循环曲线的峰值温度要远高于复合焊, 这种现象主要是由两种焊接工艺方法的焊接温度场的不同而导致

的, 复合焊焊接热源能量密度集中的特点使其焊接热影响区的宽度相对较窄且温度场的冷却梯度较大, 而双丝 MIG 焊的热输入大、焊接热影响区宽、温度场的冷却梯度相对较小.

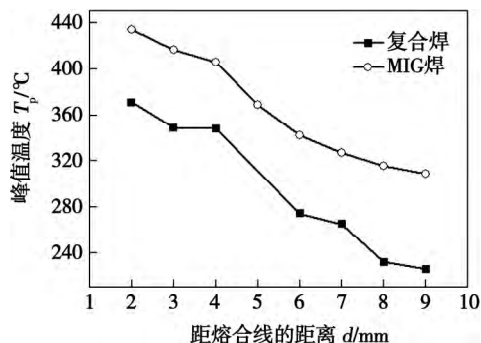


图 2 焊接热影响区峰值温度变化曲线

Fig. 2 Curves of peak temperature in HAZ

图 3 为焊接热循环测试试验中获得的焊接接头(焊态)硬度分布曲线. 由图 3 可以看出, 复合焊接头与双丝 MIG 焊接头的热影响区均存在软化现象, 双丝 MIG 焊接头软化最严重的区域距离熔合线约为 3~8 mm, 而复合焊接头的软化最严重区域距离熔合线约为 2~4 mm, 复合焊接头软化区宽度明显小于双丝 MIG 焊接头, 软化区内复合焊接头的最低硬度约为 85 MPa, 双丝 MIG 焊接头的最低硬度约为 77 MPa, 表明复合焊接头的焊接软化程度明显低于双丝 MIG 焊.

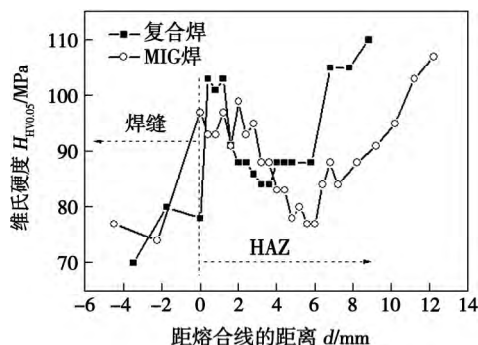


图 3 焊接接头硬度分布曲线

Fig. 3 Hardness distribution of welded joints

图 4 为复合焊与双丝 MIG 焊接头热影响区不同位置区域的焊接热循环峰值温度与硬度的关系曲线. 从图 4 可以看出, 无论是复合焊接头还是双丝 MIG 焊接头, 接头硬度最低的区域(软化最为严重区域)均出现在热循环峰值温度为 350℃附近, 但是相对而言, 双丝 MIG 焊接头的软化程度要明显比复合

焊严重. 此外从复合焊的焊接热循环峰值温度与硬度的关系曲线还可以看出, 在峰值温度超过 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之后, 接头的硬度开始显著降低, 该峰值温度是接头开始出现明显软化的临界温度. 图 5 为复合焊与双丝 MIG 焊接头软化最严重区域的焊接热循环曲线. 由图 5 可以看出, 复合焊接头在 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的停留时间约为 2.5 s ; 而双丝 MIG 焊接头在 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的停留时间约为 6.3 s . 复合焊热循环曲线在临界软化温度($260\text{ }^{\circ}\text{C}$)以上的高温停留时间尚不及双丝 MIG 焊的 $1/2$, 这应是复合焊接头软化程度低于双丝 MIG 焊接头的主要原因之一.

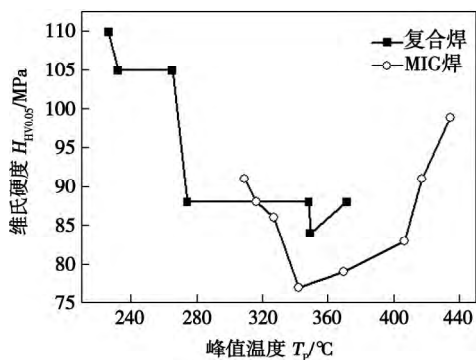


图 4 硬度与峰值温度的关系曲线

Fig. 4 Relationship between hardness and peak temperature in HAZ

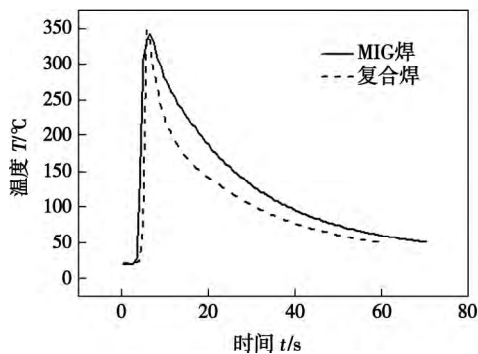


图 5 软化最严重区域的焊接热循环曲线

Fig. 5 Welding thermal cycle curve of critical softness zone in HAZ

2.2 焊接热模拟试验结果分析

图 6 为热处理试验之后测得的试样硬度值与热处理温度的关系曲线. 由图 6 可以看出, 当热处理温度超过 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后, 随着热处理温度的提高, 硬度开始迅速下降. 热处理温度达到 $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 硬度达到最低值. 随后继续升高热处理温度, 试样的硬度值开始缓慢升高. 试样经时效处理后, 热处理温度超过 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的试样硬度基本得到了恢复, 而软化较为严重的

试样(热处理温度 $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右)硬度值略有回升, 但远远达不到初始状态的硬度, 表明焊后仅仅通过简单的时效处理无法彻底消除铝合金焊接接头的软化问题. 对于两种热处理方式, 硬度值的分布都是呈先减小后增加的趋势. 当热处理温度为 $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 硬度值达到最低值, 焊接热模拟结果与焊接热循环试验结果基本吻合.

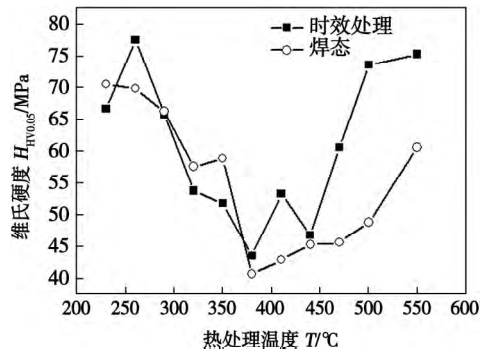


图 6 焊接热模拟试样的硬度分布曲线

Fig. 6 Hardness distribution of welding thermal simulation samples

图 7 为 6005A-T6 铝合金型材的透射电镜(TEM)微观组织形貌. 从图 7 中可以看出, 晶内分布着较多的 β'' 相以及少量的 β' 相(均由 Mg, Si 元素构成). β'' 相呈较细的针状或棒状, β' 相也呈针状或是棒状, 但要比 β'' 相粗. β'' 相与基体是完全共格的, 由其造成的晶格畸变程度较大, 使得 6005A-T6 铝合金的硬度得到了提高, 因此起强化作用的主要是该相. 能谱分析表明, 图 7 中球形颗粒(或圆饼状)的析出相, 主要元素成分为 Mn, Mg, Si, Fe, Cu, 是铝合金型材挤压过程中被压碎了的 β'' 相, 或者是被挤压得更细小的 β' 相与其它合金元素形成的析出相^[8, 9].

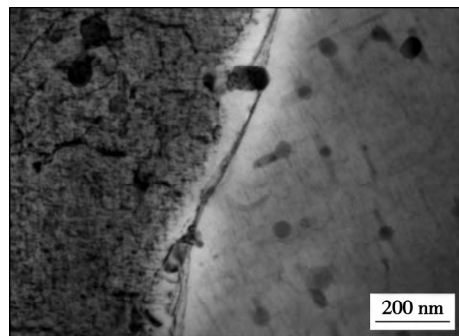


图 7 母材微观组织形貌(TEM)

Fig. 7 TEM microstructure of based metal

图 8 为不同热处理温度下获得的热处理试样的微观组织形貌(TEM). 图 9 为上述热处理试样经后

续时效强化处理(175 °C 保温 8 h) 后的微观组织形貌(TEM)。从图 8a 可以看出,当热处理温度达到 290 °C β'' 相及 β' 相中溶质原子(即 Mg, Si 原子)有一部分固溶进了基体之中,使得晶内强化相的数量略有减小,且强化相的尺寸变小,时效强化效果变差,硬度值略有降低。经时效处理后(图 9a),晶内出现了密度较高且分布较均匀的点状析出相,这些点状析出相应是时效过程中形成的 GP 区(时效过程

中溶质原子团的聚集区) 或者是一些针状析出相的横断面(即沿着电子入射的方向),是等温时效过程中 Mg, Si 原子在淬火之后形成的大量空位处富集并发生原子偏聚的结果。但由于在 290 °C 的加热温度下析出相的形核热力学和动力学条件不充分,且时效时间又相对较短,所以尽管形成了这些原子团簇或 GP 区,但是硬化效应却没有明显提高,时效处理前后试样的硬度值差别不大。

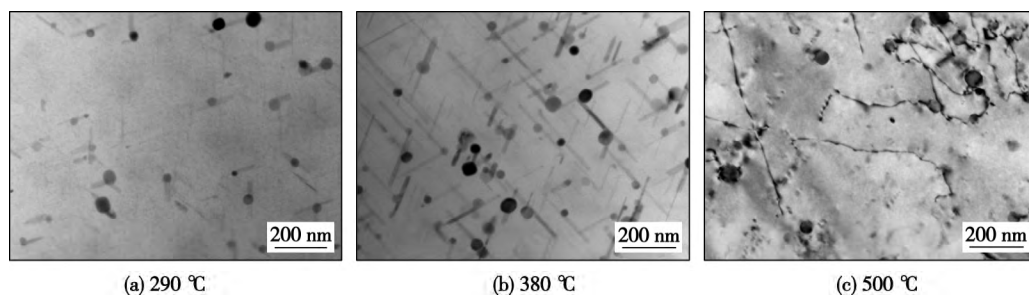


图 8 不同温度下热处理试样的微观组织形貌

Fig. 8 TEM microstructure of heat-treatment samples in different temperature

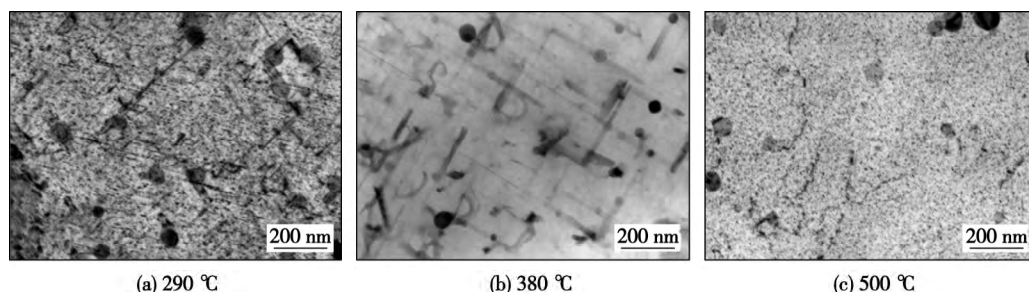


图 9 时效处理后试样的微观组织形貌

Fig. 9 TEM microstructure of different heat-treatment samples after ageing treatment

从图 8b 可以看出,当热处理温度达到 380 °C,在热力学条件和动力学条件合适的情况下,非平衡态的 β'' 相及 β' 相快速地向平衡相 β (Mg₂Si 相) 转变,从而出现了粗大的 β 析出相,时效强化效果受到严重影响,硬度值显著降低^[10, 11]。试样经时效处理后(图 9b),之前粗大的针状析出相未发生明显的变化,尽管试样的硬度值略有提高,但变化不大。因此对于焊接接头软化严重区域,单靠焊后简单的时效处理并不能使强度有较大幅度的恢复。

当热处理温度升至 500 °C 时,溶质原子的扩散能力很强,绝大部分析出相已经固溶到了 α -Al 基体中,晶内的析出相密度已经很低,只剩下一些圆饼状的析出相(图 8c),试样经水中急冷后,固溶进基体的强化相来不及析出,从而形成了过饱和固溶体。试样经时效处理后(图 9c),晶内分布着均匀的、密度较高的点状析出相,这些点状析出相应该是高温

淬火之后, Mg, Si 原子在空位处富集并偏聚形成的 GP 区,时效处理后试样的硬度基本上得到了恢复。

3 结 论

(1) 焊接热循环测试试验结果表明,当焊接接头热影响区的热循环峰值温度超过 260 °C 时,焊接接头开始出现软化现象,焊接热循环峰值温度在 300 ~ 400 °C 范围内,焊接热影响区出现明显软化,软化最严重区域的焊接热循环峰值温度约为 350 °C。

(2) 与常规 MIG 焊相比,复合焊的焊接热循环曲线在 260 °C 以上的高温停留时间相对较短,这是造成复合焊接头的软化程度低于常规 MIG 焊的直接原因。

(3) 焊接热模拟试验结果表明,对于 6005A-T6

铝合金而言,在焊接接头软化最为严重的区域,母材晶内的非稳态强化相 β'' 相及 β' 相向平衡相 β (Mg_2Si 相)转变,并聚集形成了粗大的 β 析出相,这是造成软化的根本原因。焊接接头受热温度在 $260 \sim 500^\circ\text{C}$ 范围内的区域,焊后经简单的时效处理,其硬度无法恢复至原始状态。

参考文献:

- [1] 朱浩,陈强,陈剑虹. 热影响区几何尺寸对铝合金焊接接头变形及强度影响规律[J]. 焊接学报, 2012, 33(5): 77-81.
Zhu Hao, Chen Qiang, Chen Jianhong. Influence rule of HAZ geometrical dimension to aluminum alloy joint's deformation and strength [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2012, 33(5): 77-81.
- [2] 朱亮,陈剑虹. 热影响区软化焊接接头应力分布特征及强度预测[J]. 焊接学报, 2004, 25(3): 48-51.
Zhu Liang, Chen Jianhong. Characteristics of stress distribution and prediction of strength in softened zone affected with heat of welded joints [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2004, 25(3): 48-51.
- [3] 刘静安,谢水生. 铝合金材料的应用与技术开发[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- [4] 王炎金. 铝合金车体焊接工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [5] 王元良,骆德阳,王一戎. 我国高速列车焊接技术及其新发展[J]. 电焊机, 2008, 38(8): 8-12.
Wang Yuanliang, Luo Deyang, Wang Yirong. Welding and its development of bullet train [J]. Electric Welding Machine, 2008, 38(8): 8-12.
- [6] 王旭友,雷振,张健,等. 高速列车 6005A-T6 铝合金型材激光-双丝 MIG 复合焊[J]. 焊接学报, 2012, 33(7): 9-12.
Wang Xuyou, Lei Zhen, Zhang Jian, et al. Laser-tandem MIG hybrid welding for 6005A-T6 aluminum alloy profile of high-speed train [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2012, 33(7): 9-12.
- [7] 朱亮,龙林,乔及森. 时效对 6063 铝合金焊接接头性能的影响[J]. 焊接, 2006(5): 26-33.
Zhu Liang, Long Lin, Qiao Jisen. Effects of ageing on the properties of 6063 Al alloy welded joints [J]. Welding & Joining, 2006(5): 26-33.
- [8] Roven H J, Liu M P, Werenskiold J C. Dynamic precipitation during severe plastic deformation of an Al-Mg-Si aluminum alloy [J]. Materials Science and Engineering, 2008(A483 - A484): 54-58.
- [9] Gu Tierrez-urru Tiai, Munoz-morris M A, Morris D. The effect of coarse second-phase particles and fine precipitates on microstructure refinement and mechanical properties of severe deformed Al alloy [J]. Materials Science and Engineering, 2005(A394): 399-410.
- [10] Tsaoes, Jengus, Chency, et al. Small-angle X-ray scattering study of nanostructure evolution of β'' precipitates in Al-Mg-Si alloy [J]. Scripta Materialia, 2005, 53(1): 241-245.
- [11] Tsaoes, Jengus, Chency, et al. Precipitation kinetics and transformation of metastable phases in Al-Mg-Si alloys [J]. Acta Materialia, 2006, 54(4): 621-631.

作者简介: 吕晓春,男,1978 年出生,硕士,高级工程师.主要从事钎焊、电弧焊特性等方面的研究工作. 发表论文 20 余篇. Email: lvxiaochun@163.com

[上接第 24 页]

- Wei Huiliang, Li Huan, Wang Xuyou, et al. Hybrid interaction of laser and pulsed MIG arc and its influence on metal transfer [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2011, 32(11): 41-44.
- [4] Huang Yi, Zhang Yuming. Laser enhanced metal transfer-part 1: system and observations [J]. Welding Journal, 2011, 90(10): 183s-190s.
- [5] Huang Yi, Zhang Yuming. Laser-enhanced GMAW [J]. Welding Journal, 2010, 89(9): 181s-188s.
- [6] 李明利,杨战胜,李桓,等. 980 MPa 级钢配套焊丝电弧形态和熔滴过渡试验分析[J]. 焊接学报, 2009, 30(6): 25-29.
Li Mingli, Yang Zhansheng, Li Huan, et al. Testing and analysis of arc shape and globule transfer of welding wire attached to 980 MPa-class steel [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2009, 30(6): 25-29.
- [7] 杨月玲. TIG/MAG 组合焊接技术在锅炉压力容器及管道上应用的工艺特点[J]. 焊接, 2006(3): 42-43.
Yang Yueling. Technological characteristic of TIG/MAG compound welding technique being applied to boiler pressure pipeline [J]. Welding & Joining, 2006(3): 42-43.

作者简介: 朱加雷,男,1981 年出生,博士,副教授.主要从事水下焊接与切割技术、机器人自动化及高能束焊接技术等领域的科研和教学工作. 发表论文 20 余篇. Email: zhujialei2002@163.com

Hot corrosion resistance of plasma-sprayed MCrAlY coatings by laser remelting on TiAl alloy surface

WANG

Dongsheng^{1,2}, TIAN Zongjun¹, SHEN Lida¹, HUANG Yinhui¹ (1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. College of Mechanical Engineering, Tongling University, Tongling 244000, China). pp 17–20

Abstract: The MCrAlY coatings were prepared by plasma spraying on TiAl alloy surface, laser remelting experiment had been carried out and the hot corrosion resistance of TiAl alloy, plasma-sprayed and laser-remelted MCrAlY coatings in 5% Na₂SO₄ + 25% NaCl (mass fraction) molten salt at 850 °C were researched. The hot corrosion failure mechanisms of three kinds of materials were analyzed and the influence of laser remelting on hot corrosion behavior of plasma-sprayed MCrAlY coating were discussed. The results show that the plasma-sprayed MCrAlY coating has better oxidation resistance than the original TiAl alloy, and the laser-remelted coating has the best oxidation resistance. The hot corrosion of MCrAlY coating included surface oxidation and internal sulfide, and produced Al₂O₃, Cr₂O₃, NiO, NiCr₂O₄, Ni₃S₂ and CrS et al.

Key words: laser remelting; plasma spraying; MCrAlY coating; TiAl alloy; hot corrosion resistance

Experiment on metal transfer control of laser enhanced GMAW welding

ZHU Jialei, JIAO Xiangdong, QIAO Xi,

JIA Cunfeng (Mechanical Engineering College, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102600, China). pp 21–24, 29

Abstract: Underwater ambient pressure has negative effect on metal transfer and welding processing stability, so extra force is needed to help to stabilize welding arc and improve metal transfer state during underwater welding. To verify the feasibility of laser which enhanced metal transfer control, the related experiment system was built at atmospheric pressure, and contrastive study on metal transfer state with and without laser enhanced was conducted. Results showed that the application of a certain power density of laser could improve metal transfer behavior obviously and the size of droplet could be controlled by laser, the welding stability also could be improved. The result laid a foundation for the further laser enhanced hyperbaric underwater welding experiment.

Key words: laser enhanced; metal transfer; high-speed photograph; experiment

Study on the softening of 6005A-T6 aluminum alloy welding joints for high-speed train

LÜ Xiaochun¹, LEI Zhen¹,

ZHANG Jian¹, ZHANG Lihua² (1. Harbin Welding Institute, China Academy of Machinery Science & Technology, Harbin 150028, China; 2. XCMG Construction Machinery Co., Ltd. Building Machinery Co., Xuzhou 221004, China). pp 25–29

Abstract: Welding thermal cycle curves of 6005A-T6 aluminum alloy by using tandem MIG welding and laser-tandem MIG hybrid welding was tested individually. The softening of the welding joints was studied through welding thermal simulation

with heat treatment method. The test results demonstrated that the notable softening in HAZ began as long as the peak temperature of welding thermal cycle curve exceeded 260 °C, and the most serious softening in HAZ occurred while the peak temperature of welding thermal cycle curve was up to 350 °C. The unstable phase of β'' and β' , the main strengthening phase of 6005A-T6 aluminum alloy, transformed to β (Mg₂Si) which aggregated and grew to block was the main reason why the softening happened. The hardness of the joints in HAZ, where the peak temperature of welding thermal cycle curve was between 260–500 °C, could not recover totally through ageing treatment. The detention time beyond 260 °C on the thermal cycle curve of laser-tandem MIG hybrid welding joints was much shorter than that of tandem MIG welding joints, so that the softening of laser-tandem MIG hybrid welding joints was little slighter than that of tandem MIG welding joints.

Key words: high-speed train; 6005A aluminum alloy; laser hybrid welding; softening of welding joints

An improved three-dimensional reconstruction algorithm for microelectronics assembly solder joint

ZHAO

Huihuang^{1,2}, WANG Yaonan¹, SUN Yaqi², WEI Shudi² (1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Hunan 410082, China; 2. Department of Computer Science, Hengyang Normal University, Hengyang 421008, China). pp 30–34, 42

Abstract: Solder joint three-dimensional (3D) reconstruction is one of the key research of microelectronic assembly quality 3D detection and control technology development. During the solder joint 3D reconstruction based on SFS theory, its 3D reconstruction becomes one of the key problems because of existing “high light area” on solder joint surface. In order to resolve the problem, at first, by analyzing the reflection items on solder joint surface, a reflection model is got for microelectronics solder joint according to the characteristics of joint surface and solder joint image. Then, by analyzing the formation principle of “high light area” and modifying the reconstruction result, an improved 3D reconstruction algorithm is proposed for microelectronics assembly solder joint. At last, the experimental results have shown that the “distortion” can be solved and the 3D shape based on the improved illumination model is more satisfactory in decreasing specular reflection influence than that of the traditional methods.

Key words: solder joint; microelectronics assembly; three-dimensional reconstruction; shape from shading

Optimization of transition in stainless steel welding joints S-N curve breaking point

ZHU Guoren¹, CHEN Song²,

WANG Zhenbao² (1. Chain Transmission Institute, Jilin University, Changchun 130025, China; 2. Institute of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China). pp 35–38

Abstract: Based on the ladder method and the group method, the S-N curve of stainless steel welding fittings was drawn. According to comparing drawn S-N curve with the ladder