

LY12 搅拌摩擦焊焊缝成型及接头微观组织分析

王希靖,李常锋,金玉花,张忠科

(兰州理工大学有色金属新材料国家重点实验室,甘肃兰州730050)

摘要:利用MEF3光学显微镜和JSM-6700F场发射扫描电镜分析不同焊接参数下焊缝成型特点及无缺陷致密焊接接头的微观组织变化。研究表明,对厚6mm LY12合金,当焊接速度在20mm/min时,搅拌头旋转速度在1200~900 r/min间变化时焊缝致密无缺陷,其焊核区晶粒从上表面到下表面逐渐减小,等轴晶粒出现在搅拌头尺寸范围内,在搅拌头尺寸边缘地带,突然出现具有一定流向的受拉变形的晶粒带,接近轴肩的末端区域有热量输入,晶粒开始长大。

关键词:搅拌摩擦焊;焊缝成型;微观组织

中图分类号: TG453.9; TG146.2*1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2006)23-0024-03

Analysis on Weld Shaping and Microstructure of Joint of Friction Stir Weld of LY12

WANG Xi-jing, LI Chang-feng, JIN Yu-hua, ZHANG Zhong-ke

(State Key Lab. of Advanced Non-ferrous Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The influence of welding parameters on the weld shaping was studied, the microstructures of joint without flaws was observed by using OM and field emission scanning electron microscope. The results show that a good welding joint of 6mm LY12 alloy can be attained when the rotation speed of stirrer is from 1200r/min to 900r/min and welding speed is 20mm/min. The grain size decreases gradually from up to down highly refined, equiaxed grains occur in the range of the pin size of the stirrer, and in the edge of the pin size, a directional distortion grain belt resulting from tension stress occurs suddenly, the grains near the crown start to grow due to heat is put in this region.

Key words: friction stir weld(FSW); weld shaping; microstructure

搅拌摩擦焊(FSW)作为一种新型的焊接工艺具有接头性能好、低缺陷、高强度等优点,尤其适用于航天航空工业及船舶制造业。因此研究FSW焊接机理以及接头性能具有重要意义。FSW研究的一个很重要方面就是微观结构的形成情况,国外对其接头微观组织的研究更深入,已涉及晶粒取向、位错密度、强化相的溶解、新相的析出和长大等方面^[1~5]。国内的研究主要集中于接头力学性能^[6~8],涉及接头微观组织的分析多集中于焊核区、热力影响区、热影响区三个典型区域晶粒的差异上^[9~11],对焊核区晶粒更细微的变化研究很少。实际上,这些微观组织变化对焊接接头的力学性能有很大的影响,本文以硬铝中强度最高的LY12(2024)为母材,在其他焊接工艺参数不变的条件下,研究搅拌头旋转速度对焊缝成型的影响以及接头微观组织的变化。

1 试验方法

收稿日期: 2006-08-28

作者简介: 王希靖(1956-)男,甘肃榆中人,教授,博士生导师;

电话: 0931-2976445, E-mail: wangxj@lut.cn

试验用LY12合金试板尺寸为270 mm×100 mm×6 mm,焊前用丙酮擦拭除去油污。焊接设备为龙门式搅拌摩擦焊机。焊接时,所用搅拌头肩部直径为18 mm,针部直径为5.3 mm,焊接速度选定在20 mm/min不变,研究搅拌头旋转速度对焊缝成型的影响。利用MEF3光镜和JSM-6700F场发射扫描电镜分析焊缝成型及无缺陷致密焊接接头的微观组织变化。

2 结果与讨论

2.1 搅拌头转速对焊缝成型的影响

FSW焊接时搅拌头肩部与被焊工件表面之间的摩擦产热和搅拌针与母材的摩擦热是焊接能量的主要来源,故FSW焊接过程中搅拌头的转速对焊接质量来说非常重要。转速不仅对焊缝表面宏观形貌有影响,更重要的是它可直接影响焊缝的成型和焊接接头的力学性能。焊接时选择转速过高,焊缝接头处摩擦加热功率就会增大,塑性金属粘度过低,所以焊缝表面经常出现较深的鱼鳞形纹路,使其表面成型很差,且焊缝宽度也相应变大。此时不仅焊接材料容易受热变形,接头内部也

会出现过热粗大组织,以致接头强度明显下降。而在较低转速下焊接时,接头处得到的能量不足以使金属完全塑化,搅拌针在行走的过程中只能对部分塑化的区域进行搅拌,所以在这种条件下焊接时,两板之间根本无法建立完全的连接。在进行断裂试验时,这些未能得到充分搅拌的区域将成为整个接头最薄弱的区域,断裂也常常发生在此区内。所以在选择搅拌头转速时,应根据不同焊接材料的特征选择适合的转速。

图1是在焊速为20 mm/min,搅拌头转速分别为1 400、1 300、1 200和800 r/min时的焊缝横截面形貌。可看出:图1(a)的缺陷出现在前进侧中上部位,不论在前进侧还是后退侧,焊缝与母材的分界明显;图1(b)的缺陷出现在前进侧的中部偏下底部位,缺陷相比图1(a)变小了且焊缝与母材的分界不明显;图1(c)焊缝截面完好;图1(d)又出现了缺陷,也是在前进侧。这说明随着转速的减小缺陷逐渐地由焊缝的前进侧上端向下端转移,表明参与塑性变形的金属材料数量在减少,缺陷尺寸随搅拌头转速的降低而缩小;当转速降到1 200 r/min时缺陷消失,形成致密的焊缝;继续降低转速,当转速降到800 r/min时缺陷又出现了。搅拌头转速很高时,由于此时的摩擦功率很大,产生的热量多,使轴肩附近的金属很快达到热塑性,

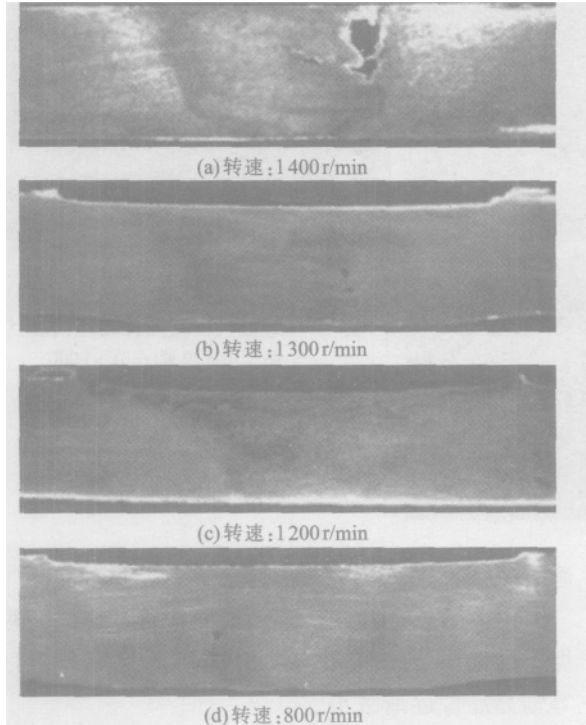


图1 焊速为20mm/min时不同转速速度下的焊缝截面形貌

发生热塑性变形的金属也多,温度接近金属的熔点。在搅拌头的高速旋转下,前进侧的热塑性金属被搅拌针由前进侧带到后退侧,后退侧的金属被搅拌针由后退侧带到前进侧,在这个过程中由于LY12高温塑性很差,焊接时搅拌针所带动的金属由于流动性差而不易及时填充前进侧上的金属,损失就会在前进侧接头内出现空洞、隧道等缺陷,严重影响接头强度。据文献[12]研究表明,搅拌摩擦过程中的热输入和旋转速度成正比。因此要避免空洞缺陷的出现,可适当降低搅拌头的旋转速度,减少焊接时能量的输入。此次实验中,在不改变焊接速度的前提下,降低搅拌头转速到1 200 r/min时,空洞缺陷即可避免。如果继续降低转速到800 r/min,导致焊接过程输入热量不足,材料流动不够充分,前进侧的材料从后退侧绕流以后不能回填到前进侧,也会在前进侧形成空洞缺陷。其次,在FSW过程中,搅拌针前圆弧面施加给被焊接件的壓力是正压力,比尾部变形金属施加给搅拌针后圆弧面的挤压力大,搅拌针整个圆周的摩擦力大小分布不均匀,其与被焊接件间的摩擦力从前圆弧面旋进侧到后圆弧面旋出侧是依次减少的,这样前圆弧面处的焊件金属摩擦生热多,热塑性层较厚,而后圆弧面处的焊件金属热塑性层较薄,因此在焊接头的旋出侧焊缝与基体结合致密,而在其旋进侧容易生成孔洞和组织疏松。

2.2 焊接接头金相分析

图2为焊核区纵截面($x=0$)自上而下微观组织的变化,可看出,焊核区内组织很均匀,晶粒非常细小,基本是等轴晶,属于典型的动态再结晶所致。但从焊缝上表面到下表面,晶粒的大小有明显减小的趋势,越靠近焊缝上表面晶粒越大,在焊缝底部晶粒最小。这是由于在焊接过程中,搅拌头轴肩对工作表面的正压力大,回转半径大,线速度高,成为主要的焊接热源,在焊接区形成上高下低,上宽下窄的温度梯度分布,在最上部由于有较高的热量输入,使得这部分有更多的晶粒发生长大,导致晶粒的粗化;从焊缝的上部到下部这种影响逐渐减弱。焊核区的晶粒尺寸对于提高接头的强度、硬度、塑性、韧性有很大的作用。

图3显示了焊缝接头横截面($z=0$)处焊缝微观组织的变化过程。图3(a)是焊核区组织(对应

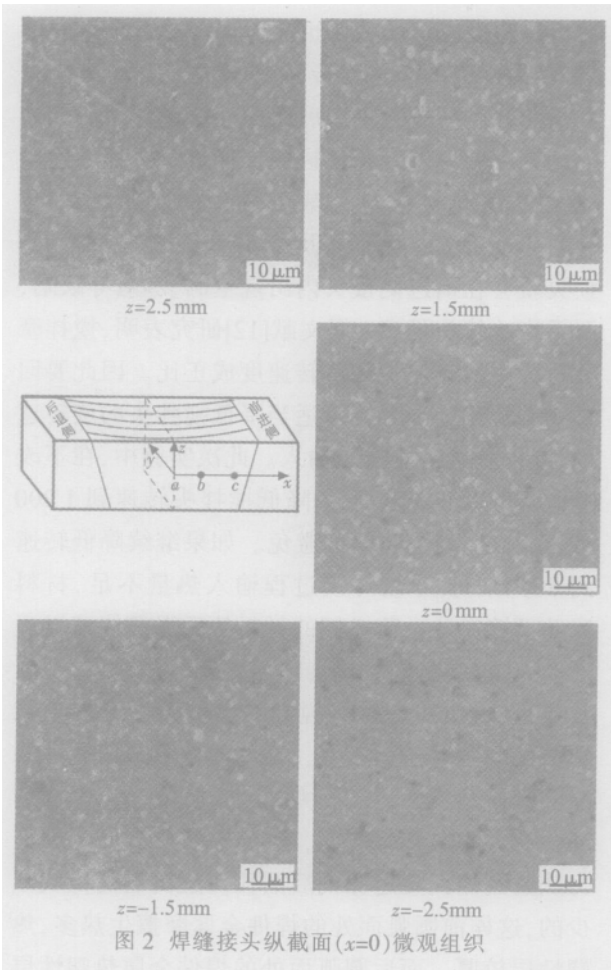
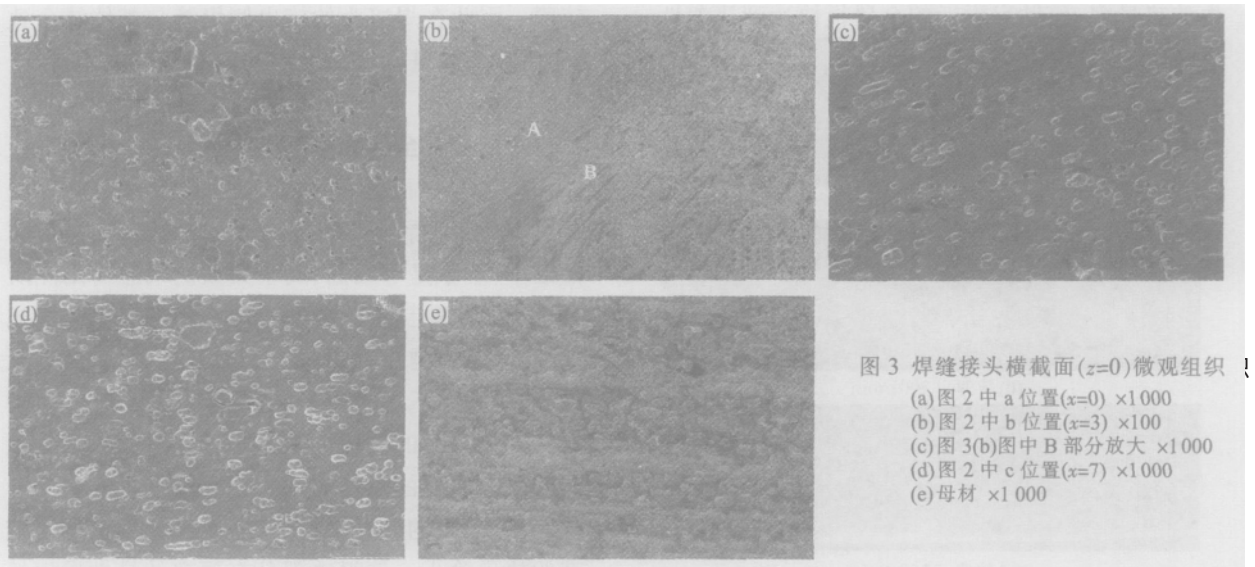


图2中a位置($x=0, y=0$),晶粒细小均匀,基本上是等轴晶;图3(b)是位于搅拌针边缘地带(对应图2中b位置 $x=3, z=0$)的组织,晶粒突然从焊核区的等轴晶变为有流向倾向、明显被拉伸的变形晶粒(见图3c),且以一定的弯曲形态指向焊合区与热影响区的交界线处;图3(d)是位于热影响区(对应图2中c位置 $x=7, z=0$)的组织,晶粒明显变得粗大且有不同程度的类似于母材中的带状组织出现,晶粒的生长方向沿温度梯度方向。图3(e)是母材区组织,可看到明显的带状组织分布。

从图3中(a)~(e)的变化可看出,焊核区、热力影响区、热影响区、母材的组织都有各自的特点。在焊核处,晶粒细小均匀,其原因是这个部位的金属在搅拌针的作用下,温度较高、应变速率较大,使之不断的形成再结晶晶核,并只发生有限的长大所致^[13]。此外在焊接过程中,搅拌针对晶粒也有一定的破碎作用,使该区晶粒细小。在热力影响区中,晶粒变形没有焊核区剧烈,但是由于该处晶粒受到搅拌头轴肩的挤压,会使晶粒变得狭长并趋向一致。而在热影响区由于有热量的输入使得晶粒趋于长大。

3 结论



(1) 搅拌头旋转速度对焊接质量有很大的影响,旋转速度大,热输入大,高温下LY12的流动性降低,孔形缺陷出现在前进侧上部,孔形缺陷尺寸也大;降低旋转速度,缺陷下移,孔的尺寸也缩小;获得致密无缺陷的焊接接头后继续降低旋转

速度,缺陷又出现了。

(2) 在焊缝中心截面上,受搅拌头轴肩施于被焊工件正压力的作用,从上表面到下表面,焊核区等轴晶晶粒逐渐减小。

(3) 等轴晶粒出现在搅拌针尺寸范围内,在搅

Domex 700MC 钢药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊 焊接接头显微组织分析

章友谊, 屈金山, 李娟

(西华大学 材料科学与工程学院, 四川 成都 610039)

摘要 针对 Domex 700MC 低合金高强钢, 采用药芯焊丝 CO₂ 气体保护电弧焊获得焊接接头试件。对焊接接头的焊缝、熔合区和热影响区金属的显微组织进行了分析, 并测试了其显微硬度, 讨论了焊缝产生裂纹的主要原因。

关键词 Domex 700MC 钢; 药芯焊丝; CO₂ 气体保护焊; 显微组织; 冷裂纹

中图分类号: TG407.11

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2006)23-0027-03

Analysis on Microstructure of Weld Joints of Domex 700 MC Steel by CO₂ Arc Welding with Flux-cored Wire

ZHANG You-yi, QU Jin-shan, LI Juan

(School of Materials Science and Engineering, Xihua University, Chengdu, Schuan 610039, China)

Abstract: The Domex 700MC steel was welded by the CO₂ arc welding process with flux-cored wire. The microstructure of the weld line, the fusion area and the heat-affected zone metal of the weld joints were analyzed, the micro-hardness was measured, and the reason for forming crack was discussed. The results show that the CO₂ arc welding process with the flux-cored wire is suitable for Domex 700MC steel, the microstructure of weld joints obtained is better, and the weld microhardness can satisfy the designed specifications.

Key words: Domex 700MC steel; flux-cored wire; CO₂ arc welding; microstructure; cold crack

随着科学发展和技术进步, 焊接结构设计日趋向高参数、轻量化及大型化发展。低合金高强钢由于性能优异和经济效益显著, 在工程机械、船舶、高层建筑、锅炉及压力容器、电力、各种车辆、

航空航天、核能等领域得到了广泛的应用。通过采用焊接新技术、新工艺、新设备和新材料, 已经成功的实现了 σ_b 1 000 MPa 强度用钢的连接, 促进了高强度用钢在工程制造中的广泛应用^[1~4]。Domex 700MC 高强钢(与我国的 HQ70 钢接近)除了可采用埋弧自动焊和手工电弧焊焊接以外, 采用药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊接也有着良好的

收稿日期: 2006-09-18

作者简介: 章友谊(1979-)男, 四川仪陇人, 硕士研究生;

电话: 028-80976569; E-mail: zyy_0906@yahoo.com.cn

拌针尺寸边缘地带, 突然出现具有一定流向的受拉变形的晶粒带。接近轴肩的末端区域有热量输入, 晶粒趋于长大。

参考文献:

- [1] DeBartolo E A, Hillberry M M. A model of initial flaw sizes in aluminum alloys [J]. International Journal of Fatigue, 2001, 23: 79-86
- [2] Park Seunq Hwan C, Sato Yutaka S, Kokawa Hiroyuki, et al. Rapid formation of the sigma phase in 304 stainless steel during friction stir welding [J]. Scripta Materialia, 2003, 49: 1175-1180.
- [3] Jata K V, Semiatin S L. Continuous dynamic recrystallization during friction stir welding of high strength aluminum alloys [J]. Scripta Mater, 2000, 43: 743-749.
- [4] Su Jian-Qing, Nelson Tracy W, Sterling Colin J. Microstructure evolution during FSW/FSP of high strength aluminum alloys [J]. Materials Science and Engineering, 2005, A405: 277-286.
- [5] Sutton Michael A, Reynolds Anthony P, Yang Bangcheng.

Mixed mode I/ fracture of 2024-T3 friction stir welds [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2003, 70: 2215-2234.

- [6] 邢丽, 柯黎明, 刘鹤平, 等. 铝合金 LD10 的搅拌摩擦焊组织及性能分析 [J]. 焊接学报, 2002, 23 (6): 55-58.
- [7] 张华, 林三宝, 吴林等. 镁合金 AZ31 搅拌摩擦焊接头的微观组织 [J]. 中国有色金属学报, 2003, 13 (6): 1510-1513.
- [8] Chen Yingchun, Liu Huijie, Feng Jcai. Friction stir welding characteristics of different heat-treat-state 2219 aluminum alloy plates [J]. Materials Science and Engineering, 2006, 420: 21-25.
- [9] 季亚娟, 栾国红, 严铿. SA05(LF5) 铝合金搅拌摩擦焊接头的组织和性能 [J]. 焊接技术, 2005, 34(4): 15-18.
- [10] 王希靖, 阿荣, 郭瑞杰, 等. LF2 铝合金搅拌摩擦焊接头的组织与性能 [J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(10): 1705-1710.
- [11] 王快社, 沈洋, 王训宏, 等. 铝合金搅拌摩擦连接研究 [J]. 西安建筑科技大学学报, 2005, 37(3): 416-419.
- [12] 汪建华, 姚舜, 魏良武, 等. 搅拌摩擦焊接的传热和力学计算模型 [J]. 焊接学报, 2000, 21(4): 61-64.
- [13] 傅志红, 黄明辉, 周鹏展, 等. 搅拌摩擦焊及其研究现状 [J]. 焊接, 2002 (11): 6-10.