

5A06 铝合金超快变换复合脉冲方波 VPTIG 焊接

从保强 齐铂金 周兴国 罗军

(北京航空航天大学,北京 100083)

文 摘 研究了一种适用于焊接铝合金的超快速变换复合脉冲方波变极性电弧焊接工艺,以 5A06 铝合金为焊接试验对象,对不同工艺参数下复合脉冲方波变极性 TIG 焊接接头的显微组织和拉伸力学性能变化进行了试验研究。结果表明,在 5A06 铝合金焊接过程中引入高频直流脉冲方波电流,恰当选择其频率和占空比大小,可增加焊缝组织中金属间化合物的析出数量,显著改善和提高 5A06 铝合金的焊接质量。当脉冲电流频率为 40 kHz,占空比为 50% 时,焊接接头拉伸强度和断后伸长率分别达到母材金属的 95.8% 和 84.8%。

关键词 超快变换,复合脉冲方波,变极性,铝合金

Ultrafast-Convert Complex-Pulse Square-Wave VPTIG Welding of 5A06 Aluminum Alloy

Cong Baoqiang Qi Bojin Zhou Xingguo Luo Jun

(Beihang University, Beijing 100083)

Abstract A novel ultrafast-convert complex-pulse square-wave variable polarity arc welding technology for aluminum alloys was developed. With different welding parameters, the variation in microstructure and tensile mechanical properties of complex-pulse square-wave VPTIG welding joints for 5A06 aluminum alloy was studied. The experimental results show that with the appropriate value of complex pulse current frequency and pulse duty cycle, the quantity of intermetallic compounds in the weld is increased and welding quality is improved obviously by the effect of high frequency square wave pulse current. The rates of weld tensile strength and percentage elongation to base metal are 95.8% and 84.8% respectively under a 40 kHz pulse current frequency and 50% pulse duty cycle.

Key words Ultrafast convert, Complex pulse square wave, Variable polarity, Aluminum alloy

0 序言

施加脉冲电流对金属凝固组织具有明显的改善作用,可提高材料的力学性能,已成为金属材料制备重要的物理场技术之一^[1]。研究表明,脉冲电流对铝合金凝固组织具有显著的细化作用,且脉冲电流的频率和占空比等参数对其凝固组织将产生重要影响^[2~4]。在铝合金变极性电弧焊接过程中引入高频脉冲电流(≥ 20 kHz),有可能对铝合金焊缝熔池金属的凝固过程和显微组织产生特殊作用,有助于改善和提高铝合金焊接接头的组织和性能^[5~6]。为此,研究了一种变极性弧焊电源,获得具有超快速电流上升沿和下降沿变化速率(50~100 A/ μ s)变极性方波电流输出的同时,在正极性电流持续时间内叠加高频直流脉冲方波电流,实现复合高频脉冲方波电流的变

极性电弧焊接工艺。

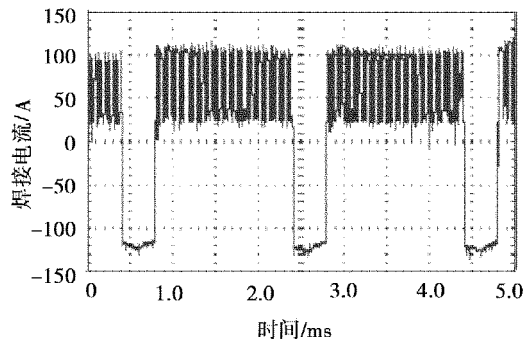
1 超快速变换复合脉冲方波变极性弧焊电源

基于电源变换理论,设计了一种超快变换复合脉冲变极性方波弧焊电源,可实现过零无任何死区时间且具有快速电流上升沿和下降沿变化速率(50~100 A/ μ s)的复合脉冲变极性方波电流输出^[7]。以 5A06 铝合金 TIG 电弧为负载,焊接输出回路采用普通电缆连接,利用 TPS2014 数字式示波器和霍尔电流传感器采集获得实际焊接输出回路中的电流波形,如图 1 中所示,复合高频脉冲变极性方波电流特征参数为:电流幅值 80 A,频率 20 kHz,脉冲占空比 50%;电流极性变换频率 500 Hz;正极性峰值电流 100 A;反极性电流 120 A;正、反极性电流持续时间比 4:1。从图 1 可以看出,在对焊接回路传输电缆等不采取任何特殊

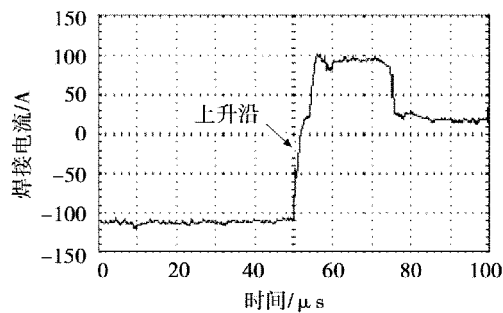
收稿日期:2008-07-10;修回日期:2008-09-24

作者简介:从保强,1979 年出生,博士研究生,主要研究领域为铝合金及钛合金新型高强高效焊接技术。E-mail:cong bq@163.com

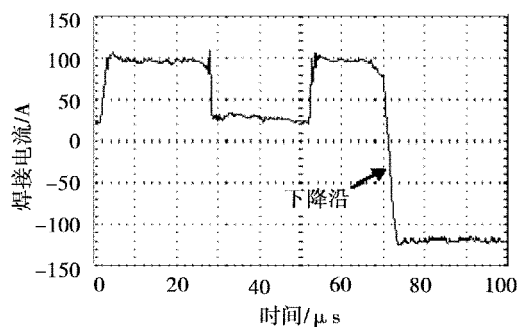
措施的情况下,电流从 -120 A 上升至 +100 A 以及从 +100 A 下降至 -120 A 仅用了约 4 μs 。同时,实际焊接试验结果表明,采用具有超快速电流上升沿和下降沿的(50 ~ 100 A/ μs)的复合高频脉冲变极性方波电流进行铝合金 TIG 电弧焊接,不需要外加任何辅助稳弧措施,电弧即可稳定燃烧,无断弧、熄弧现象。



(a) 复合脉冲变极性方波电流



(b) 电流上升沿



(c) 电流下降沿

图1 复合高频脉冲变极性方波电流波形(50A/div)

Fig.1 Waveform of complex high-frequency-pulse variable polarity square-current

2 实验

2.1 材料及方法

母材选择厚度为 3 mm 的 5A06 铝合金平板,焊缝填充焊丝选用 $\Phi 2.4$ mm ER5356,母材及填充焊丝的主要化学成分如表 1 中所示。

采用不开坡口平板对接焊接工艺,实现 5A06 铝合金的单面焊双面成形。按照 GB2651—89 制备焊缝拉伸试样,每组工艺取 3 个试样,在 DWD-50E 电子式万能拉伸试验机上进行拉伸试验,采用 CAM-

BRIDGE S-360 型扫描电子显微镜观察焊缝拉伸断口,在 OLYMPUS BX51M 型金相显微镜上观察铝合金焊缝显微组织^[8]。按照 GB228—2002 和 GB2651—89 测试接头的拉伸性能。

表 1 5A06 及 ER5356 主要化学成分

Tab.1 Main chemical composition of 5A06 & ER5356

| | % (质量分数) | | | | | |
|--------|----------|-----|-----|----------|---------|----|
| 材料 | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Al |
| 5A06 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.5~0.8 | 5.8~6.8 | 余量 |
| ER5356 | 0.25 | 0.4 | 0.1 | 0.05~0.2 | 4.5~5.5 | 余量 |

2.2 焊接工艺试验

焊接试件尺寸为 200 mm \times 100 mm \times 3 mm,焊接长度为 200 mm,不开坡口。焊前先用丙酮去除铝合金表面油污,然后用 10% NaOH + 15% HNO₃ 去除表面氧化膜。填充焊丝采用机械清理方法去除表面氧化膜^[9]。

为考察复合高频直流脉冲电流对 5A06 铝合金焊缝组织和接头性能的影响,保持其他焊接工艺参数不变,焊接电流主要参数如表 2 所示。其他参数为:Ar 气流量 15 L/min;钨电极选用 $\Phi 2.4$ mm WC20;电极距离铝合金焊接试件高度 3 mm;变极性电流频率 100 Hz;正、反极性电流持续时间比 4:1;焊接速率为 150 mm/min。

表 2 复合脉冲 VPTIG 主要焊接工艺参数

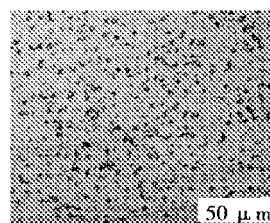
Tab.2 Main complex-pulse VPTIG welding parameters

| 编号 | 正极性基 值电流/A | 正极性峰 值电流/A | 反极性电 流/A | 脉冲电流 频率/kHz | 脉冲电流 占空比/% |
|------|---------------|---------------|-------------|----------------|---------------|
| 工艺 1 | 100 | - | 120 | 0 | 0 |
| 工艺 2 | 60 | 130 | 120 | 10 | 50 |
| 工艺 3 | 60 | 130 | 120 | 20 | 50 |
| 工艺 4 | 60 | 130 | 120 | 40 | 50 |
| 工艺 5 | 60 | 150 | 120 | 20 | 20 |
| 工艺 6 | 60 | 110 | 120 | 20 | 70 |

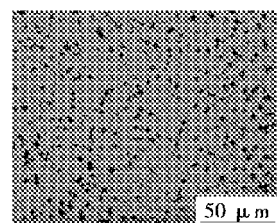
3 结果与讨论

3.1 焊缝显微组织

焊缝熔池金属的凝固组织形态将直接影响焊接接头的性能。图 2 所示为在不同焊接工艺参数下获得的 5A06 铝合金焊缝中心区显微组织,以 α (Al) 固溶体为主,在 Al 基体上分布着大量的 β (Mg₂Al₃) 等金属间化合物。



(a) 工艺 1



(b) 工艺 2

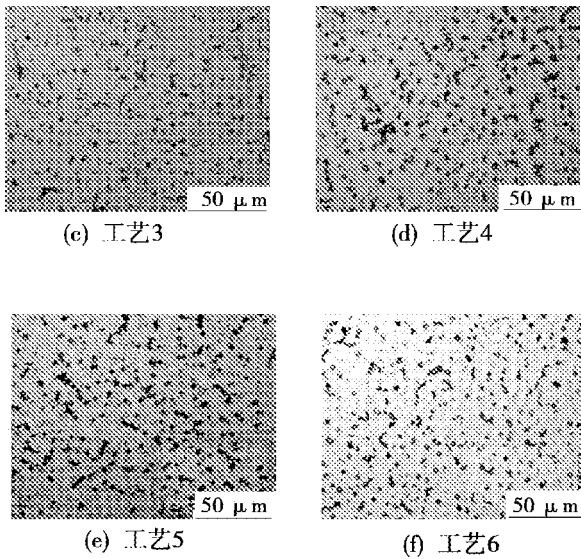


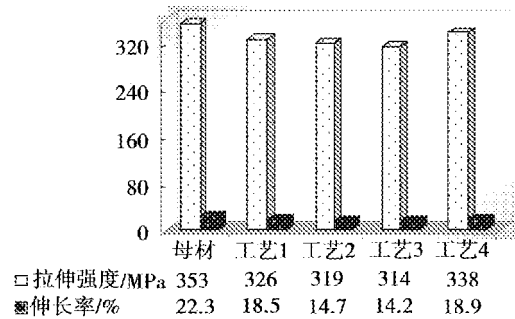
图2 焊缝中心区显微组织
Fig. 2 Microstructures of weld zone

由图2可以看出,与工艺1的焊缝中心区显微组织相比,保持脉冲占空比50%不变,当复合脉冲电流频率分别为10 kHz(工艺2)和20 kHz(工艺3)时,焊缝中心区内金属间化合物相 $\beta(Mg_2Al_3)$ 的析出数量减少,因而将会导致其接头性能出现一定幅度的下降;当复合脉冲电流频率达到40 kHz(工艺4)时,焊缝中心区析出的 $\beta(Mg_2Al_3)$ 相数量明显增加,对应其焊接接头性能也会随之提高。保持复合脉冲电流频率20 kHz不变,当脉冲电流占空比分别为20%(工艺5)和70%(工艺6)时,焊缝中心区组织未发生明显变化。

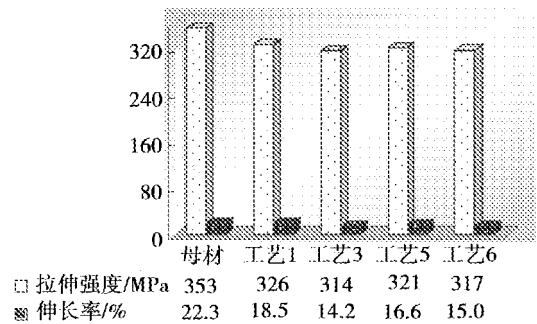
3.2 焊缝拉伸性能

分别对5A06铝合金母材及焊接接头进行拉伸性能测试,结果见图3。从图3可以发现,当采用超快变换VPTIG电弧焊接工艺,未复合高频脉冲电流作用(工艺1)时,焊接接头拉伸强度和断后伸长率可分别达到母材的92.3%和82.9%;保持脉冲电流占空比50%不变,当分别复合频率为10 kHz(工艺2)和20 kHz(工艺3)的脉冲电流时,接头拉伸强度和断后伸长率均降低,最小仅分别达到母材的88.7%和65%;而当复合脉冲电流频率达到40 kHz(工艺4)时,焊接接头拉伸性能提高,拉伸强度和断后伸长率分别达到母材的95.8%和84.8%。保持复合脉冲频率20 kHz不变,改变脉冲电流占空比大小,分别为20%、50%和70%,占空比为20%(工艺5)时接头拉伸强度和断后伸长率最大,分别达到母材金属的90.9%和74.4%。对比上述拉伸性能数据,可以明显看出,复合高频脉冲电流的频率、占空比以及脉冲

电流幅值等参数均会对焊接接头的力学性能产生影响,恰当选择复合脉冲电流参数才有利于提高5A06铝合金的焊接质量。



(a) 不同复合脉冲电流频率



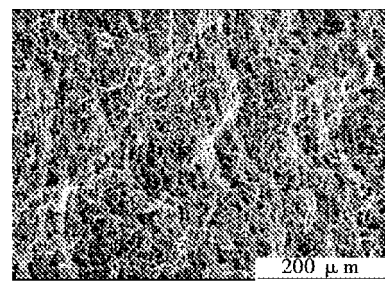
(b) 不同复合脉冲占空比

图3 5A06母材及焊接接头拉伸性能

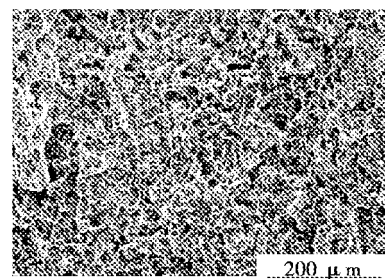
Fig. 3 Tensile performance of base metal & welding joints

3.3 拉伸断口形貌

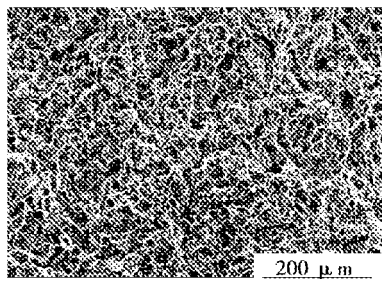
对5A06铝合金焊接接头的拉伸断口进行观察发现,焊接拉伸断裂位置均发生在焊缝区或热影响区位置,并且均发生了明显的塑性变形。图4所示为接头拉伸断口的微观形貌。



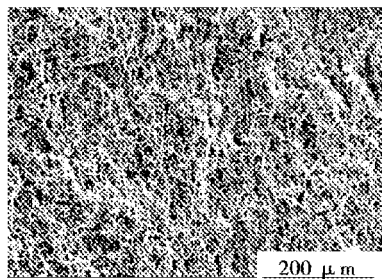
(a) 工艺1



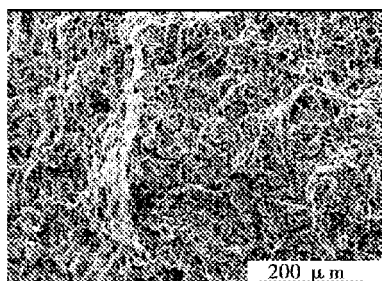
(b) 工艺2



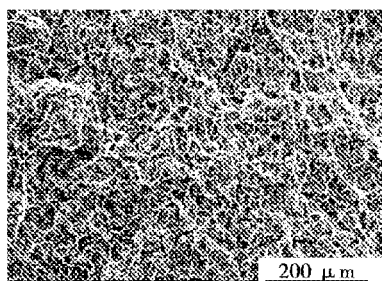
(c) 工艺3



(d) 工艺4



(e) 工艺5



(f) 工艺6

图4 5A06 焊接接头拉伸断口形貌

Fig.4 Tensile fracture surface of weld joints

可以发现,焊接接头断裂均表现出显著的延性断裂特征,断口处均存在有大量的韧窝组织,与未复合高频脉冲电流作用(工艺1)相比较,在复合脉冲电流频率分别为10 kHz(工艺2)和20 kHz(工艺3、5和6)时,接头断口处的韧窝数量及其分布密度降低,而在复合脉冲电流频率为40 kHz(工艺4)时,焊缝断口处的韧窝数量则明显增加,因而其焊接接头的拉伸强度和伸长率达到最高。

4 分析与讨论

由上述焊接接头性能测试结果可以明显看出,快速变换高频直流脉冲方波电流的引入对5A06铝合金焊缝显微组织和拉伸力学性能均产生了很大影响,

但并不是任何复合脉冲电流参数条件都有利于改善和提高焊接接头的性能。

分析认为,一方面,正极性电流持续期间高频脉冲电流的引入使VPTIG电弧产生一定的高频压缩效应,将会改变电弧的能量密度和电弧挺度^[10~11],同时电弧压力也随之发生变化。另一方面,在正极性复合高频脉冲电流持续期间,流经铝合金焊缝熔池的电流要从正对电弧的区域向母材四周发散,然后再聚集到母材的接线端流回至焊接电源,形成焊接回路,此时熔池内的电流分布就可以分解为两个分量:辐射状的水平分量和与电弧中心轴线相平行的垂直分量,根据法拉第电磁感应定律,焊缝熔池内快速变化的垂直分量脉冲电场将感应出具有一定强度的脉冲磁场,而感应电磁场对焊缝熔池内的液态金属将产生电磁力作用,在该力的作用下熔池金属将会发生水平旋转和对流搅拌,从而有利于改善焊缝的组织结构,提高接头性能^[12]。另外,有研究表明,脉冲电流对金属凝固组织的影响与金属的固有性质有着密切关系,何德坪等人的研究表明,在固-液两相区及其附近的液相所构成的体积单元内存在一个固定频率或频带,只有当外界干扰振动频率或频带处于该固定频带范围内,并具有足够的能量密度时,才会对凝固过程和凝固组织产生显著的影响^[13]。

5 结论

在获得具有超快速电流上升沿和下降沿变化速率变极性方波电流的基础上引入高频直流脉冲电流的复合作用,高频脉冲电流的频率、占空比以及脉冲电流的幅值均对5A06铝合金焊接接头的组织和性能产生一定影响,在脉冲电流幅值变化不大的条件下,恰当选择脉冲电流频率和占空比大小,有利于改善焊缝组织,提高接头性能。采用超快变换复合脉冲方波VPTIG焊接工艺,复合脉冲电流频率40 kHz、占空比50%时,5A06铝合金焊接接头拉伸强度和伸长率分别达到母材的95.8%和84.8%。

参考文献

- 1 万刚,武保林,赵玉华.凝固过程中电流作用机制评述.铸造技术,2005;26(5):435~438
- 2 廖希亮.脉冲电流对金属凝固组织的影响.上海:上海大学出版社,2007
- 3 班春燕.电磁场作用下铝合金凝固理论基础研究.沈阳:东北大学出版社,2002
- 4 丁雨田,徐宏玉,王纯宏等.方波脉冲电流对Al-Cu合金凝固组织的影响.特种铸造及有色金属,2007;27(5):335~338
- 5 邱灵,范成磊,林三宝等.高频脉冲变极性焊接电源及电弧压力分析.焊接学报,2007;28(11):81~85

(下转第78页)