0Cr18Ni9Ti超音频脉冲 TIG焊接头组织与性能

齐铂金 许海鹰 张 伟

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘 要: 采用研制的基于新型 IGBT拓扑电路的超音频直流脉冲 TIG焊电源焊接 0Cr18Ni9Ti奥氏体不锈钢,并与常规直流 TIG焊获得的接头进行对比. 分别对各接头进行 X-射线探伤检测,接头的抗拉强度测试,焊缝金相显微组织与拉伸断口 SEM照片观察对比. 试验结果分析表明:采用超音频脉冲 TIG焊工艺的焊接接头,随着脉冲电流频率提高,焊缝的粗晶区变窄,晶粒逐渐细化,且焊缝中心细小等轴晶所占区域扩大;与常规直流 TIG焊相比, 30 kHz 的超音频直流脉冲 TIG焊焊缝中心晶粒更细小,接头的抗拉强度与延伸率分别得到提高.

关 键 词: 超音频脉冲; TIG焊; 奥氏体不锈钢; 晶粒细化

中图分类号: TG 434. 3; TG 47

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)02-0132-05

Microstructure and property analysis of 0Cr18Ni9Ti joints welded by ultra-sonic pulse tungsten-inert-gas welding technology

Qi Bojin Xu Haiying Zhang Wei

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: An ultra-sonic pulse tungsten-inert-gas (TIG) welding power source based on new type IGBT topology was developed. 0Cr18Ni9Ti austenitic stainless steel workpieces were welded by ultra-sonic pulse TIG welding and conventional direct current TIG welding respectively. In order to study the difference between joints welded by different welding technology, these weld joints were analyzed by means of X-radial check-up, tensile strength and specific elongation detection, optical-microscope and scanning electron microscope. With the ultra-sonic pulse TIG welding technology pulse current frequency being increased, it can be found that grains will be refined and the width of the coarse grain zone will be narrowed, correspondingly, small equiaxed grains zone will be enlarged. By contrast with conventional direct current TIG welding technology, these joints introduced by 30 kHz ultra-sonic pulse TIG welding technology, have more small equiaxed grains in weld joints core, which indicates grain refinement phenomenon is distinct. The tensile strength and the specific elongation of these joints welded by 30 kHz ultra-sonic pulse TIG welding technology were improved respectively.

Key words: ultra-sonic pulse; tungsten-inert-gas welding; austenitic stainless steel; grain refinement

奥氏体不锈钢具有良好的塑性韧性与良好的可焊性,广泛应用于石油化工、核动力等工业领域,直流 TIG焊是常用焊接方法之一,其接头组织粗大是影响焊接结构可靠性的关键问题所在.

脉冲电流焊接时,周期性变化的电弧压力对熔池的搅拌作用能够破碎枝晶,增加熔池的结晶中心,促进焊缝晶粒细化,是解决奥氏体不锈钢焊接接头组织粗大的有效途径.

脉冲电流达到上万 Hz以上时,电弧形态和热分布将发生显著变化. 在平均电流相同的情况下,超音频脉冲电弧比连续直流电弧的电磁收缩效应增强,熔透性增加. 同时,熔池受到超声波振动,可改善焊缝物理化学冶金过程及增加熔池流动性[1]. 文献[2]的研究表明:超音频脉冲 TIG焊与同等功率普通直流 TIG相比,电弧压力、所获得熔深、焊接速度均提高了 2～3倍.

收稿日期: 2008-07-20

作者简介: 齐铂金 (1963 -),男,湖南湘潭人,教授, qbj@buaa. edu. cn.

将脉冲电流频率选择在 20 kHz以上的超音频段,既可以避开噪音区,使焊接工作环境较好,而且在一定超音频频率范围内,电弧的温度场分布与电弧的轴向压力均对焊接过程有利[3].

本文采用基于新型 IGBT拓扑电路[4]的超音频直流脉冲 TIG焊电源焊接 0Cr18Ni9Ti奥氏体不锈钢,发现超音频脉冲电流频率提高到某一频率段,焊缝粗晶区变窄,焊缝晶粒被细化,焊接接头的抗拉强度与延伸率得到提高.

1　超音频脉冲电流的产生

研制出的超音频直流脉冲 TIG焊电源主要技术参数如表 1所示.电源输出脉冲电流的电流变化率 $d_i/d_t \geq 50\ A/\mu s$

该电源的主回路拓扑结构如图 1所示.主要由三相整流滤波电路、脉冲峰值电流产生主电路、超音频脉冲峰值电流切换电路、基值电流产生主电路、高频引弧电路、超音频脉冲电流输出电缆等几部分组成.

脉冲峰值电流产生主电路部分由 IGBT构成的半桥式或全桥式逆变电路、主变压器 B_1、整流二极管 D_1和 D_2、滤波电感 L_p 等构成,其功能是产生脉冲峰值电流.基值电流产生主电路部分由 IGBT构成的半桥式或全桥式逆变电路、主变压器 B_2、整流二极管 D_3和 D_4、滤波电感 L_b 等构成,其功能是产生基值电流.超音频脉冲峰值电流切换电路由 IGBT(T_p)、大功率二极管 (D_p)等组成.超音频脉冲电流输出电缆由特制的低电感、低阻抗的同轴电缆构成,可减小超音频状态下输出电缆的电感对电流和电压脉动幅值的影响.

表 1　超音频直流脉冲 TIG焊电源主要技术参数

参数	空载电压 /V	基值电流 /A	峰值电流 /A	脉冲频率 /kHz	占空比 /%
数值	70	5～300	5～300	1～30	20～80

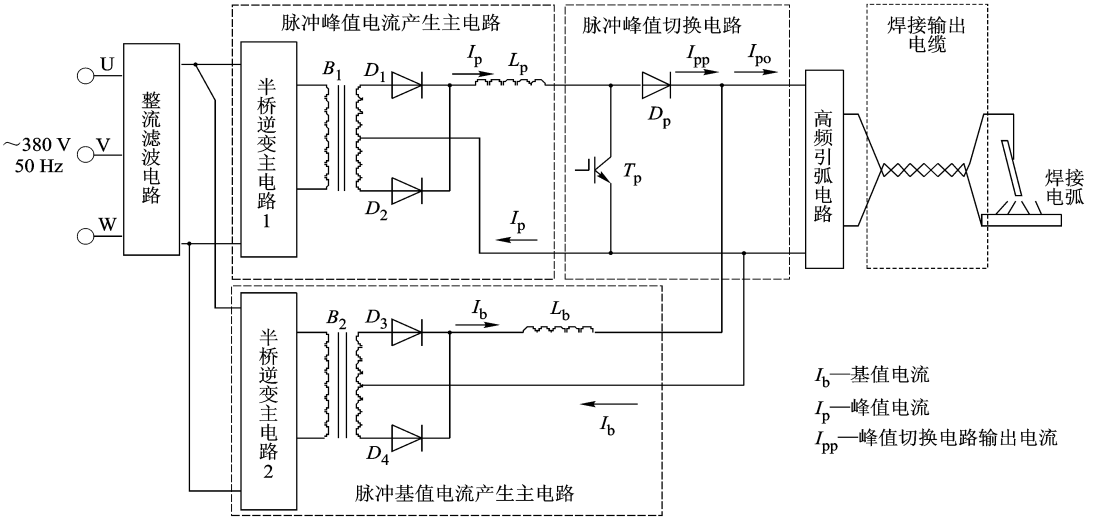


图 1　超音频直流脉冲 TIG焊电源拓扑

脉冲基值电流反馈值、脉冲峰值电流反馈值分别与所设定的基值、峰值电流给定值在 DSP中进行闭环 PID运算处理后,输出相应的 PWM信号,经过驱动电路后,分别控制基值电流产生逆变主电路、峰值电流产生逆变主电路的功率管开通关断时间,从而得到稳定的脉冲基值、峰值电流.脉冲峰值产生主电路和脉冲基值产生主电路输出的峰值电流波形 I_p 和基值电流波形 I_b 分别如图 2a和图 2b所示.根据所设定的脉冲电流频率和占空比,DSP输出一路 PWM信号,经过驱动电路控制峰值电流切换电路的功率管 T_p 的开通关断.当 T_p 开通时,峰值电流通过由 L_p 和 T_p 构成回路,维持稳定的 I_p;当 T_p 关闭时,I_p 流经 L_p、D_p、焊接电弧,给焊接电弧提供脉冲流 I_{pp},该电流波形

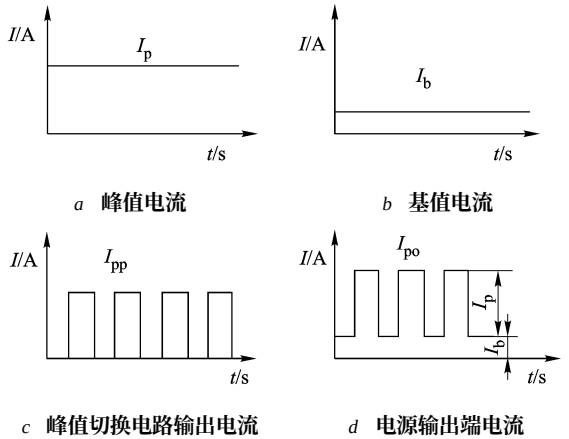


图 2　电源各部分输出电流波形示意图

如图 2c所示. 在基值和峰值电流同时给定的情况下,脉冲基值电流和脉冲峰值电流在输出端进行叠加,这样就在焊接电弧上得到如图 2d所示的电流波形 I_{po}. 输出脉冲电流 I_{po}的最大幅值为峰值电流 I_p 和基值电流 I_b 之和,最小值为基值电流 I_b. 由于采用的拓扑结构能够实现 T_p 和 D_p 的快速切换,并且峰值电流产生电路所用续流电感的电感量足够大,这样可在电源输出端实现频率 30 kHz以上的脉冲电流输出.

2 超音频直流脉冲 TIG焊接试验

分别采用常规直流 TIG与 20 kHz以上的几个频率段超音频脉冲 TIG焊工艺对 0Cr18Ni9Ti不锈钢板进行对接焊. 截取焊接接头制备金相试样,利用金相显微镜观察接头显微组织;利用 X射线探伤检测接头质量;根据国标制备试样,利用万能实验机测试接头拉伸性能;并利用 SEM 观察接头断口. 对比分析常规直流 TIG焊与不同频率超音频脉冲 TIG焊焊接接头的组织与性能.

超音频脉冲 TIG焊试验条件: ①焊接电流:基值电流 I_b = 100 A,峰值电流 I_p = 120 A,占空比 D = 20%; ②氩气流量: 13 L/min; ③焊接速度: 8 m/h; ④焊接姿态:水平焊接; ⑤钨极直径: ϕ = 2.6 mm; ⑥焊接极性:直流正接; ⑦工件材质: 5 mm厚的 0Cr18Ni9Ti不锈钢板; ⑧焊丝: ϕ = 2.0 mm, 309L; ⑨坡口:“V 型.

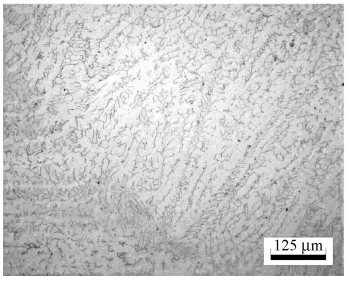
常规直流 TIG焊试验条件:焊接电流 170 A,其他焊接试验条件与上述超音频脉冲 TIG焊试验条件的 ②～⑨项相同.

2.1 对焊缝微观组织的影响

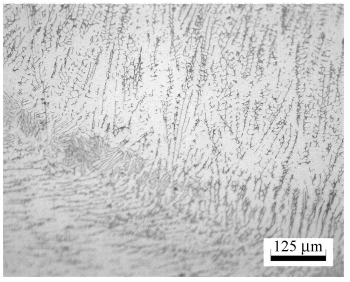
在上述试验条件下,分别采用脉冲电流频率 20 kHz, 25 kHz, 30 kHz超音频脉冲 TIG焊与常规直流 170 A的 TIG焊工艺,对 0Cr18Ni9Ti奥氏体不锈钢板进行对接焊.

图 3是采用常规直流 TIG焊与超音频脉冲 TIG焊的焊接接头在熔合区附近 200倍的金相显微组织.

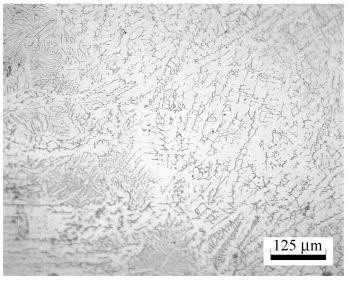
从图 3中可以看出,常规直流 TIG焊焊缝熔合线附近,靠近焊缝一侧为粗大的奥氏体胞状树枝晶基体上分布有骨架状 δ铁素体,方向性很强的奥氏体胞状树枝晶指向焊缝中心. 与图 3a相比,图 3b中 20 kHz超音频脉冲 TIG焊熔合区附近,指向焊缝中心树枝晶的方向性仍然很强,只是枝晶较细. 由图 3c可以看出,当脉冲电流频率提高到 25 kHz,熔合区附近的树枝晶已无明显的方向性. 脉冲电流频率继续提高到 30 kHz,在图 3d中熔合区靠近焊缝一侧,方向性很强的粗大的奥氏体胞状树枝晶已不存在,较细小的树枝晶呈现交错分布状态. 同时整个粗晶区变窄,粗晶区过后向焊缝中心,蠕虫状 δ铁素体分布在细小的奥氏体等轴晶基体上. 粗大枝晶减少,等轴晶数量增大有利于提高焊接接头的力学性能.



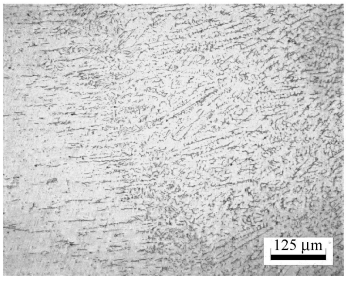
a 常规直流 TIG焊



b 20 kHz超音频脉冲 TIG焊



c 25 kHz超音频脉冲 TIG焊

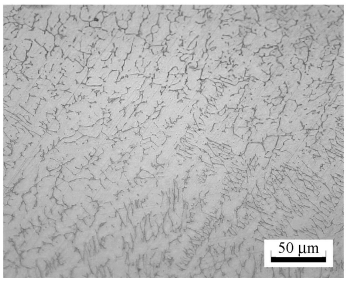


d 30 kHz超音频脉冲 TIG焊

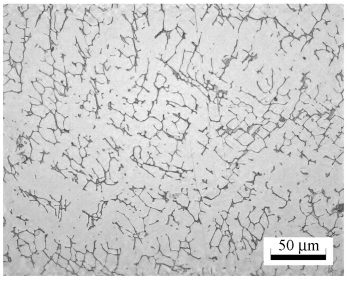
图 3 常规直流 TIG焊与超音频脉冲 TIG焊的焊缝熔合区金相显微组织

图 4分别是采用各种工艺参数所获得的接头焊缝中心的金相显微组织对比图.

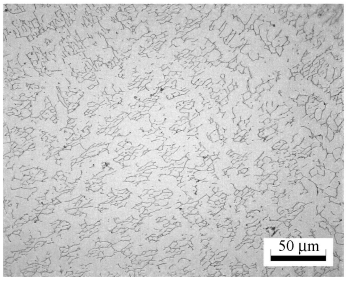
从图 4可以看出,在 20～30 kHz的频率段,随着超音频脉冲 TIG焊电流频率的提高,脉冲电



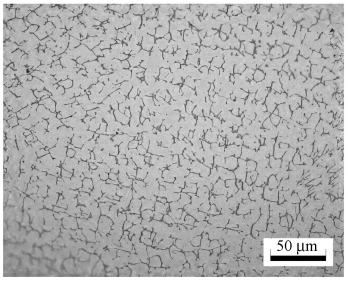
a　常规直流 TIG焊



b　20 kHz超音频脉冲 TIG焊



c　25 kHz超音频脉冲 TIG焊



d　30 kHz超音频脉冲 TIG焊

图 4　常规直流 TIG焊与超音频脉冲 TIG焊的焊缝中心金相显微组织

流细化焊缝晶粒的作用逐步加强.与常规直流 TIG焊相比,20 kHz的超音频脉冲电流频率使焊缝晶粒细化的作用还弱,可能是因为在所设定的工艺参数条件下,20 kHz的超音频脉冲电流所产生的周期性脉动电弧压力,还未达到熔池固有的谐振频率[5],熔池不能产生共振,熔池的流动性较差,熔池受到的机械搅拌作用较弱.当脉冲电流频率提高到 25 kHz时,焊缝中心的晶粒出现细化趋势.脉冲电流频率在 30 kHz,焊缝中心可以获得较细小的等轴晶.这可能是因为 30 kHz的超音频脉冲电流产生的脉动等离子流力作用增强,熔池受到的电弧超声波振动和机械搅拌作用[1]增强.对于 0Cr18Ni9Ti奥氏体不锈钢熔池,固液界面处初生的 δ铁素体树枝晶受到电弧超声波振动与机械搅拌作用,部分正在生长的枝晶被打碎,增加了结晶中心,相当于使形核率增加;强烈的机械搅拌作用不但可抑制树枝晶的快速长大,而且可使晶核的分布更加均匀,改变了熔池的结晶形态.使得在焊缝中心出现了更多的奥氏体等轴晶,并使粗大树枝晶方向性变差且所占区域变得很窄.实现了细化晶粒、改善接头机械力学性能的目的.

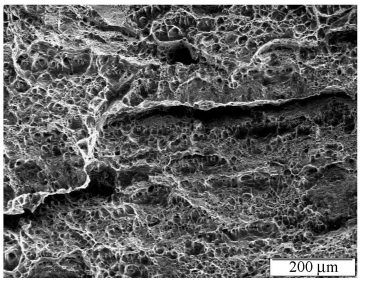
2.2　对接头力学性能的影响

将分别采用脉冲电流频率为 25 kHz和 30 kHz超音频脉冲 TIG焊与常规直流 170 A的 TIG焊的不锈钢板(0Cr18Ni9Ti)对接焊试样,按照 JB4730《钢制压力容器无损检测》的要求进行 X射线探伤检测,结果表明,采用这几种工艺参数的焊接接头质量均符合 I级标准.

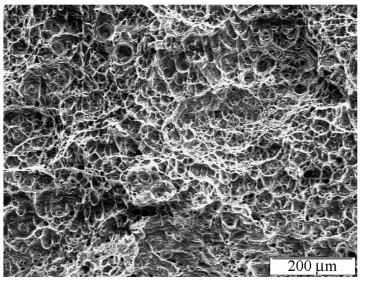
根据 GB/T228-2002在 25℃时分别对这 3组采用不同工艺参数的试样进行板拉试验.拉伸断口均出现在熔合区附近,试验结果如表 2所示.

从表 2中可以看出,与常规直流 TIG焊相比,25 kHz的超音频脉冲 TIG焊工艺所获得的接头的抗拉强度、延伸率与常规直流 TIG焊接头的相差不大,而 30 kHz超音频脉冲 TIG焊工艺所获得的焊接接头的抗拉强度与延伸率都有所提高,这与焊缝金相组织分析的结果相符合.

图 5与图 6是常规 TIG焊与 30 kHz超音频脉冲 TIG焊室温拉伸断口微观形貌照片.



a　常规 TIG焊



b　30 kHz超音频脉冲 TIG

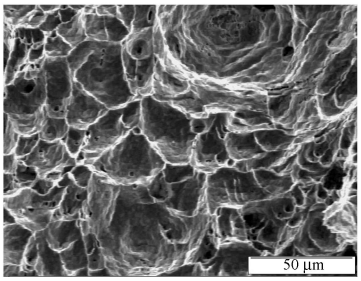
图 5　常规直流 TIG与超音频脉冲 TIG焊接头断口电镜扫描照片

从图 5可以看出,采用常规直流 TIG焊拉伸微观断口为韧窝和撕裂棱混合型韧性断口,而采用 30 kHz超音频直流脉冲 TIG焊的微观断口为韧窝型韧性断口.

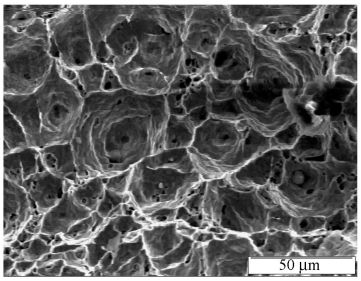
表 2 焊接头拉伸力学性能

TIG焊类型		δ_b /MPa	δ_5 /%
170A常规直流		595	33.5
超音频脉冲	f = 25 kHz	590	32.5
	f = 30 kHz	645	38.0

注:超音频脉冲 TIG焊时, I_b = 100 A, I_p = 120 A, D = 20%.



a 常规直流 TIG焊



b 30 kHz超音频脉冲 TIG

图 6 常规直流与 30 kHz超音频脉冲 TIG焊接头拉伸断口的韧窝

在图 6中,采用常规直流 TIG工艺的韧窝为粗大韧窝周围分布着许多较浅小韧窝,而采用 30 kH超音频脉冲 TIG焊工艺接头断口的韧窝较均匀并且较深.该现象与采用 30 kHz超音频直流脉冲 TIG焊工艺后,焊缝晶粒细化,焊接接头抗拉强度与延伸率得到提高的结论相符合.

3 结 论

1) 在 20～30 kHz的频率段,随着超音频脉冲 TIG焊电流频率的提高,脉冲电流细化焊缝晶粒的作用逐步加强;

2) 与常规直流 TIG焊相比, 30 kHz的超音频直流脉冲 TIG焊奥氏体不锈钢焊接接头,焊缝粗晶区较窄,焊缝中心为较均匀、细小的等轴晶,等轴晶所占比例增大,表明接头质量得到提高.

参考文献 (References)

[1] 姜焕中.电弧焊及电渣焊[M].北京:机械工业出版社, 1988
Jiang Huanzhong. Electric arc welding & electroslag welding [M]. Beijing: China Machine Press, 1988 (in Chinese)

[2] Jin Onuki, Yoshisa Anazawa, Masayasu Nihei, et al. Development of a new high-frequency, high-peak current power source for high constricted arc formation[J]. Jpn J Appl Phys, 2002 (41): 5821 - 5826

[3] 赵家瑞.高频钨极氩弧焊电弧特征的研究[J].石油工程建设, 1992 (6): 14 - 17
Zhao Jiarui. Research on electric arc features of high frequency tungsten electrode argon arc welding[J]. Petroleum Engineering Construction, 1992 (6): 14 - 17 (in Chinese)

[4] 齐铂金,许海鹰,黄松涛.超音频方波直流脉冲弧焊电源装置:中国, 200710120831.2 [P]. 2007-08-27
Qi Bojin, Xu Haiying, Huang Songtao. Ultra-sonic pulse TIG welding power source: Chinese, 200710120831.2 [P]. 2007-08-27 (in Chinese)

[5] 张文钺.焊接冶金学(基本原理)[M].北京:机械工业出版社, 2006
Zhang Wenyue. Welding metallurgy (postulate) [M]. Beijing: China Machine Press, 2006 (in Chinese)