

电流脉冲频率对 TIG 焊电弧压力的影响*

常云龙^a, 刘民军^a, 路林^b, 高峰^a

(沈阳工业大学 a. 材料科学与工程学院, b. 化工装备学院, 沈阳 110870)

摘要: 为了研究电流脉冲频率对 TIG 焊电弧压力的影响, 采用小孔探针法检测了 TIG 焊的电弧压力分布形式以及在不同电流脉冲频率作用下焊缝的熔深和熔宽。结果表明, TIG 焊电弧压力曲线类似于正态分布曲线, 电弧中心位置处的压力最大, 越靠近边缘处压力越小。当在一定范围内增加电流脉冲频率时, 曲线会发生横向收缩和纵向伸长现象, 且 TIG 焊电弧压力的峰值以及焊缝的熔深均增加, 而熔宽减小。因此, 可以通过改变电流脉冲频率的方法来改变 TIG 焊的电弧压力。

关键词: TIG 焊; 电弧压力; 电流脉冲频率; 焊接速度; 正态分布; 高速摄像; 阳极铜; 小孔探针法

中图分类号: TG 446

文献标志码: A

文章编号: 1000-1646(2015)05-0500-05

Effect of current pulse frequency on arc pressure of TIG welding

CHANG Yun-long^a, LIU Min-jun^a, LU Lin^b, GAO Feng^a

(a. School of Materials Science and Engineering, b. School of Chemical Equipment, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: In order to study the effect of current pulse frequency on the arc pressure of TIG welding, the distribution form of arc pressure as well as the penetration depth and weld width of TIG welding at different current pulse frequencies were detected with a small hole drilling method. The results show that the arc pressure curve of TIG welding is similar to the normal distribution curve. The pressure in the center of arc is the biggest, and the closer to the edge, the smaller the pressure is. When the current pulse frequency increases within a certain range, the curve will exhibit the transverse contraction and longitudinal elongation phenomenon, the peak value of arc pressure and the penetration depth of TIG welding increase, but the weld width reduces. Therefore, the arc pressure of TIG welding can be changed with changing the current pulse frequency.

Key words: TIG welding; arc pressure; current pulse frequency; welding speed; normal distribution; high-speed video; anode copper; small hole drilling method

TIG 焊又称钨极惰性气体保护焊或非熔化极气体保护焊。作为一种新的焊接方法, TIG 焊具有操作方便、适应力强、加热集中、焊缝力学性能良好等优点^[1-3], 已经在工业生产中得到了广泛的应用。随着科学技术的逐步发展, 人们对焊接技术的要求不断提高, 很多情况下需要将 TIG 焊应用

于更加精密的焊接生产中。电弧压力是 TIG 焊的一个重要参数指标。因为如果 TIG 焊的电弧压力过大, 则会产生咬边、驼峰等焊接缺陷^[4-6], 这些缺陷会对焊接质量产生严重影响, 从而降低了焊缝的力学性能。同时, 当 TIG 焊的电弧压力过大时, 还可能造成工件的灼穿。若电弧压力过小, 焊

收稿日期: 2015-03-19.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51275314).

作者简介: 常云龙(1963-), 男, 山西新绛人, 教授, 博士生导师, 主要从事焊接设备及自动化等方面的研究.

* 本文已于 2015-07-02 13:28 在中国知网优先数字出版。网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1189.T.20150702.1328.027.html>

缝的熔深过浅^[7-8],导致 TIG 焊只能应用于薄板焊接中,而很难应用于中厚板的焊接工作中.对于 TIG 焊而言,针对电弧压力的研究具有重要意义.通过施加外部磁场和改变电流频率的方式均可以使 TIG 焊的电弧形态发生变化^[9].对 TIG 焊施加一定强度的外加纵向磁场后,TIG 焊的电弧形态会发生收缩.另外,通过改变电流频率可以使 TIG 焊的电弧形态发生发散或收缩,从而影响电弧压力的大小.赵家瑞^[10]通过分辨阳极法研究了电流频率对 TIG 焊电弧压力的影响后发现,当电流频率小于 5 kHz 时,电弧中心的压力值随着电流频率的升高而升高,TIG 焊的电弧压力曲线符合正态分布规律;当电流频率大于 5 kHz 时,电弧中心的压力值随着电流频率的增加而减小.石玟^[11]等人利用数值分析方法建立了在脉冲电流作用下 TIG 焊电弧的数学模型,研究了不同脉冲电流对 TIG 焊电弧的影响.

近年来,为提高 TIG 焊技术,人们通过各种手段和方法试图改变其电弧形态,并研究了电弧形态的改变机理以及电弧形态对焊接过程的影响,以期改善 TIG 焊焊接接头的力学性能,从而提高焊接质量.目前,人们大多从脉冲电流的角度来研究 TIG 焊的电弧特征,且多数研究集中在高频电流范围内.本文将从低频电流的角度来研究 TIG 焊电弧的特征.

1 实验设备与方法

主要实验设备包括 YC-400TX3 型 TIG 焊机与 MotionPo 型高速摄像机,其中,TIG 焊机的最大输出电流频率为 500 Hz.实验材料为 Q235 型碳素结构钢板.TIG 焊的焊接工艺参数如表 1 所示.

表 1 TIG 焊的工艺参数

Tab. 1 Technological parameters for TIG welding

焊接电流	焊接电压	焊接速度	氩气流量	钨极直径
A	V	(cm·min ⁻¹)	(L·min ⁻¹)	mm
70	30	9	10	3.2

采用小孔探针法并利用水冷阳极铜来测量电弧的气动压力.水冷阳极铜内部中空,两端各设一个向上的小口,其中一个作为进水口不断地向水冷阳极铜内部输送冷却水,另一个小口则作为出水口排放出经过电弧加热过的水,通过液态水一进一出的方式对实验装置起到冷却作用,从而防止实验装置被高温的 TIG 焊电弧烧坏灼穿.水冷阳极铜底部中心位置处设有一个向下的小

孔,该小孔的一端用来连接 CYG1103 型压阻式压力变送器,同时压力变送器与 SY-1C 型数字显示器相连,从而获得瞬时电弧压力值.在实验过程中,需要在一定的时间间隔内记录下 TIG 焊的电弧压力值,并绘成相应的曲线,从而研究电流脉冲频率对 TIG 焊电弧压力的影响规律.将高速摄像机连接于电脑,从而拍摄 TIG 焊电弧的实时形态,具体实验装置如图 1 所示.

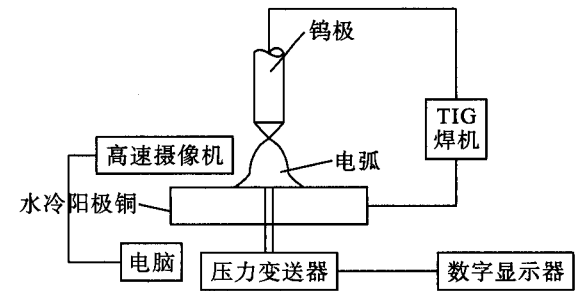


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental device

当实验开始时,将钨极对准水冷阳极铜装置上方的中心位置处,并将该位置设为坐标原点.焊枪沿直线方向通过坐标原点,并且保证坐标原点两侧焊枪移动的距离相等.数据记录的时间间隔为 1 s,数据记录的距离间隔为 1.5 mm.设定焊接电流为 70 A,电流脉冲频率分别为 0、100、200、300、400 和 500 Hz.

2 实验结果及分析

2.1 电流频率对 TIG 焊电弧形态的影响

利用高速摄像的方式观察 TIG 焊在不同电流频率条件下的电弧形态,结果如图 2 所示.由图 2 可见,随着电流频率的升高,TIG 焊的电弧形态发生了收缩的现象.在未施加脉冲电流的 TIG 焊实验中,电弧形态呈发散状,具有较小的拘束度,电弧能量并不集中(见图 2a).当对 TIG 焊施加一定频率的脉冲电流后,TIG 焊的电弧形态由发散状态逐渐变为收缩状态,且随着所施加电流频率的增大,TIG 焊的电弧收缩的现象越来越明显,即电弧的收缩程度越来越大(见图 2b~f).

2.2 电流频率对 TIG 焊电弧压力的影响

图 3 为 TIG 焊电弧压力的分布曲线.由图 3 可见,TIG 焊电弧压力的分布曲线接近于正态分布曲线,电弧中心处压力最大,越靠近边缘处压力越小.在一定的电流频率范围内,随着电流频率的增加,TIG 焊电弧压力的分布曲线在 x 轴方向上由两旁向中心处收缩,在 y 轴方向 TIG 焊电弧压

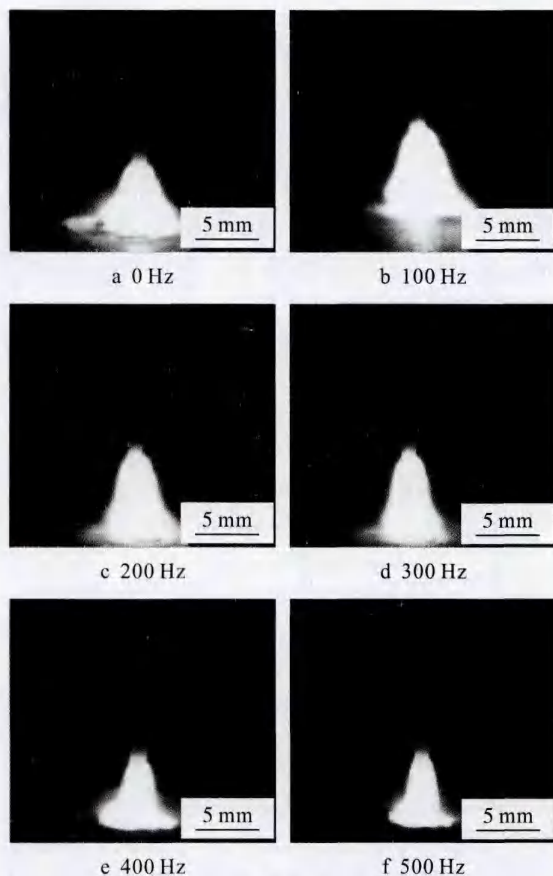


图2 TIG 焊的电弧形态

Fig. 2 Arc morphologies of TIG welding

力的分布曲线发生了伸长的现象. 在未施加脉冲电流的情况下, TIG 焊电弧在中心位置处的压力值为 0.36 kPa. 当施加的电流频率为 500 Hz 时, TIG 焊电弧在中心位置处的压力值为 0.45 kPa. 随着电流频率的增加, TIG 焊电弧压力在中心位置处的峰值压力也随之增加. 这是因为电弧本身是由电子和正负离子组成的, 带电粒子的运动必然会产生变化的电场, 而变化的电场会产生磁场, 带电粒子在磁场中运动时会受到磁压缩力的作用, 从而引起了 TIG 焊电弧的收缩. 因此, 随着电流频率的增大, 磁收缩力随之增大, 导致电弧发生收缩现象, 且电弧压力峰值随着电流频率的增大而增大. 对 TIG 焊施加一定频率的脉冲电流后, TIG 焊的电弧形态发生了收缩, 此时电弧的稳定性增加, 而电弧的刚度和挺度也有所增加, 这在一定程度上提高了电弧的能量. 另外, 图 3 中测得的电弧压力数值分布规律与图 2 中观察到的实验现象基本吻合.

2.3 电流频率对 TIG 焊焊缝的影响

为了进一步验证对 TIG 焊施加一定频率的脉冲电流后, TIG 焊电弧压力的变化情况, 将 TIG 焊的电弧作用在无磁性的实验板上, 并观察在未

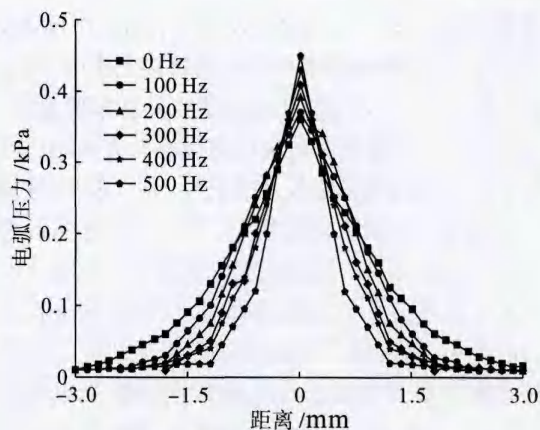


图3 电弧压力的分布曲线

Fig. 3 Curves for distribution of arc pressure

加脉冲电流条件下, 实验板经过 TIG 焊接后, 其焊缝的熔深和熔宽的变化规律. 由图 2、3 可知, 对 TIG 焊施加一定频率 (0 ~ 500 Hz) 的脉冲电流后, TIG 焊的电弧形态发生了收缩, 中心位置处的压力变大. 随着电流频率的增大, TIG 焊电弧的收缩程度随之加大, TIG 焊电弧在中心位置处的压力也会随之增大. 对 TIG 焊施加一定频率的脉冲电流后, TIG 焊焊缝的熔深应增大. 这是因为 TIG 焊电弧中心处的压力增大后, 电弧对母材金属的挖掘能力增强, 所以 TIG 焊焊缝的熔深会变大. 同时, TIG 焊焊缝的熔宽应随着一定范围内脉冲电流的施加而减小, 这是因为在电弧形态发生收缩的情况下, 熔宽会变窄.

采用不填丝的 TIG 焊方法, 将 TIG 焊的电弧直接置于工件上方, 对工件进行加热并使之熔融. 实验所用工件材料为奥氏体不锈钢 1Cr17Mn6Ni5 钢板. 奥氏体不锈钢具有较高的韧性和塑性, 其最大的特点就是无磁性, 这一特点对本实验具有重要作用. 这是因为如果在焊接过程中引入实验条件以外的磁场, 将会对实验结果的准确性产生一定的影响. 在 TIG 焊焊缝实验中, TIG 焊的工艺参数不变 (见表 1). TIG 焊焊缝实验分为 3 组, 且选用的脉冲电流频率分别为 0、200 和 500 Hz. 每组条件均进行 3 次重复实验. 将每次实验后的钢板沿着与焊接方向垂直的方向切开, 并进行打磨、抛光处理. 测量每次实验中焊缝的熔深和熔宽, 计算实验数据的平均值, 得到 TIG 焊焊缝的平均熔深与平均熔宽, 结果如表 2 所示.

由表 2 可知, 当未加脉冲电流时, TIG 焊焊缝的平均熔深为 1.53 mm. 在施加了频率为 200 Hz 的脉冲电流后, 焊缝的平均熔深变为 1.92 mm, 相比未加脉冲电流时的情况, 其增幅为 25.5%. 当电流脉冲频率增大到 500 Hz 时, 焊缝的平均熔深

表2 TIG 焊焊缝的熔深与熔宽

Tab. 2 Penetration depth and weld width of TIG welding

电流频率/Hz	平均熔深/mm	平均熔宽/mm
0	1.53	3.42
200	1.92	3.21
500	2.25	3.03

变为 2.25 mm, 相比电流频率为 200 Hz 时的情况, 其增幅为 17.2%。在电流频率由 0 Hz 提高到 200 Hz 的过程中, TIG 焊焊缝的平均熔宽由最初的 3.42 mm 变为 3.21 mm, 平均熔宽减少了 0.21 mm。当电流的频率增大到 500 Hz 时, 焊缝的平均熔宽变为 3.03 mm, 再次减少了 0.18 mm。可见, 对 TIG 焊施加一定频率的脉冲电流后, 焊缝的平均熔深增加, 但平均熔宽减少。随着电流频率的增大, 焊缝的熔深会随之逐渐增加, 熔宽会随之逐渐减少。这样的变化规律与 TIG 焊的电弧形态和压力的变化规律息息相关, 充分验证了 TIG 焊的电弧形态和电弧压力实验的准确性。电弧收缩在增加电弧能量的同时, 还会增大中心位置处的电弧压力。随着电弧压力的增大, 电弧对母材金属的挖掘能力增强, 同时电弧与母材金属的接触面积减小, 因此, 在施加脉冲电流后, 焊缝的熔深增加, 而熔宽减小。

为了直观地从视觉角度观察焊缝的熔深和熔宽的变化规律, 在每组的 3 次实验中选择切面形貌比较清晰的 1 次实验进行形貌观察, TIG 焊的焊缝形貌如图 4 所示。由图 4 可见, 在未加脉冲电流的条件下, 焊缝的熔深最浅, 但熔宽最大(见图 4a、b)。在 500 Hz 的脉冲电流作用下, 焊缝的熔深最深, 但熔宽最小(见图 4e、f)。因此, 随着电流频率的逐渐增大, 焊缝的形态呈现出“深而窄”的形貌特征。

3 结 论

施加一定频率的脉冲电流可以改变 TIG 焊的电弧形态, 可以成为提高 TIG 焊的焊接质量的一种有效方法。该方法所需的成本较低, 且容易掌握, 对于 TIG 焊的发展可以起到重要作用。通过以上实验分析, 可以得到如下结论:

1) TIG 焊的电弧压力分布曲线类似于正态分布曲线。TIG 焊电弧中心位置处的压力最大, 由中心位置处逐渐向边缘靠近时, 电弧压力逐渐减小。

2) 在一定的频率范围内, 对 TIG 焊施加脉冲电流可以提高 TIG 焊的电弧压力。随着电流频率

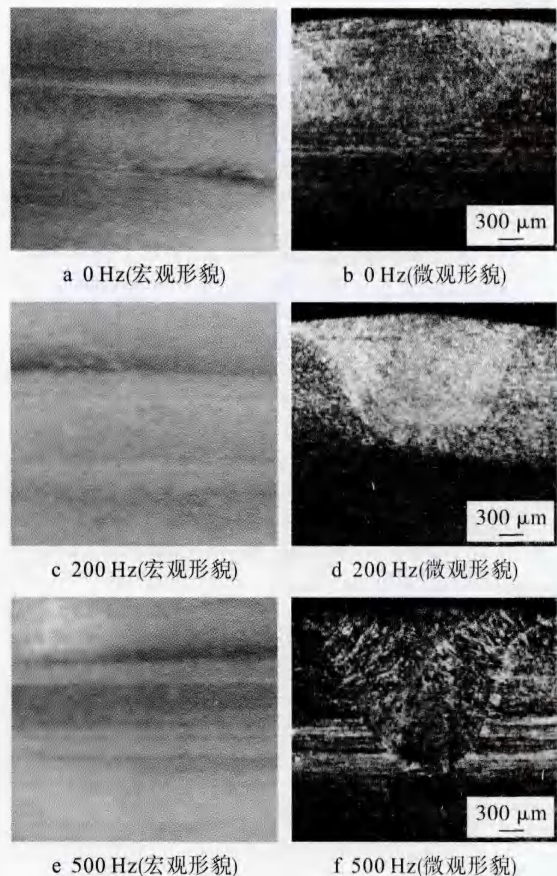


图4 TIG 焊的焊缝形貌

Fig. 4 Welding line morphologies of TIG welding

的增加, TIG 焊的电弧形态发生了收缩现象, 且中心位置处的电弧压力随之增大。

3) 在一定的频率范围内, 对 TIG 焊施加脉冲电流后, 焊缝的熔深增加, 熔宽减少。随着电流频率的增大, 这一现象更加明显。

4) 可以通过改变 TIG 焊电流频率的方法改变 TIG 焊电弧压力的大小。

参考文献 (References):

- [1] 刘自刚. 电弧辅助活性 TIG 焊工艺及接头性能研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2013: 1-2.
(LIU Zi-gang. Study on the technology and joint performance of arc assisted activating TIG welding [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2013: 1-2.)
- [2] Wang F, Williams S, Rush M. Morphology investigation on direct current pulsed gas tungsten arc welded additive layer manufactured Ti6Al4V alloy [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 57(5/6/7/8): 597-603.
- [3] 王纯. TC4 钛合金的活性焊剂钨极氩弧焊工艺研究 [J]. 现代焊接, 2009(1): 15-22.
(WANG Chun. Study on tungsten arc welding process with activated flux of TC4 Ti alloy [J]. Modern Welding, 2009(1): 15-22.)
- [4] 黄勇, 郝延召, 瞿怀宇. 耦合电弧钨极 TIG 焊电弧压力的测量与分析 [J]. 焊接学报, 2013, 34(12): 33-

36.
(HUANG Yong, HAO Yan-zhao, QU Huai-yu. The measurement and analysis on the coupling arc pressure in tungsten of TIG welding [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2013, 34(12): 33-36.)
- [5] 娄小飞, 陈茂爱, 武传松, 等. 高速 TIG-MIG 复合焊焊缝驼峰及咬边消除机理 [J]. 焊接学报, 2014, 35(8): 87-90.
(LOU Xiao-fei, CHEN Mao-ai, WU Chuan-song, et al. Hump and bite edge elimination mechanism of the compound high-speed TIG and MIG welding [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2014, 35(8): 87-90.)
- [6] 杨殿臣. 磁控技术在高速 TIG 焊中的应用 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2010: 2-3.
(YANG Dian-chen. The application of magnetic control technology in high-speed TIG welding [D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2010: 2-3.)
- [7] 孙清洁, 林三宝, 杨春利, 等. 超声钨极氩弧复合焊接电弧压力特征研究 [J]. 机械工程学报, 2011, 47(4): 53-58.
(SUN Qing-jie, LIN San-bao, YANG Chun-li, et al. Research on the characteristic of arc pressure in ultrasonic-TIG hybrid welding [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(4): 53-58.)
- [8] 张仲国, 张宇鹏, 罗子艺, 等. A-TIG 焊技术的研究进展与应用 [J]. 热加工工艺, 2013, 42(5): 191-195.
(ZHANG Zhong-guo, ZHANG Yu-peng, LUO Zi-yi, et al. Research progress and application of A-TIG welding technology [J]. Hot Working Technology, 2013, 42(5): 191-195.)
- [9] 刘政军, 陆璐, 苏允海, 等. 纵向磁场对 TIG 焊电弧形态的影响 [J]. 沈阳工业大学学报, 2015, 37(1): 34-38.
(LIU Zheng-jun, LU-Lu, SU Yun-hai, et al. Effect of longitudinal magnetic field on arc profile of TIG welding [J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2015, 37(1): 34-38.)
- [10] 赵家瑞. 电流脉冲频率对 TIG 焊电弧影响机理的研究 [J]. 电焊机, 1993(2): 16-18.
(ZHAO Jia-rui. Mechanism of pulse current frequency effect on TIG arc [J]. Electric Welding Machine, 1993(2): 16-18.)
- [11] 石玟, 郭朝博, 黄健康, 等. 脉冲电流作用下 TIG 电弧的数值分析 [J]. 物理学报, 2011, 60(4): 21-27.
(SHI Yu, GUO Chao-bo, HUANG Jian-kang, et al. Numerical simulation of pulsed current tungsten inert gas (TIG) welding arc [J]. Acta Physica Sinica, 2011, 60(4): 21-27.)
- (责任编辑: 尹淑英 英文审校: 尹淑英)