

# 超声交流 TIG 焊声场及电弧特性分析

徐明达<sup>1</sup>, 逯允龙<sup>2</sup>, 姜国玉<sup>1</sup>, 鄂英子<sup>1</sup>, 于佳丽<sup>1</sup>

(1. 齐齐哈尔高等师范专科学校, 161005; 2. 哈尔滨理工大学 材料学院, 哈尔滨 150040)

**摘要:** **目的** 研究复合焊接过程中, 发射端高度、喷嘴高度及保护气流量等工艺参数对空气中声场强度的影响规律及作用机理。 **方法** 采用分组实验的方法, 分析了各焊接工艺参数对声场强度的影响。 **结果** 研究表明: 发射端高度及喷嘴高度对声场强度影响最大, 保护气流量几乎无影响; 不同发射端高度下, 声场强度峰值所对应的喷嘴高度不同。 **结论** 通过对实验结果进行分析, 得到了优化的焊接工艺参数: 发射端高度为 30 mm, 喷嘴高度为 11 mm, 弧长为 4 mm, 电流为 120 A, 保护气流量为 25 mL/min; 得出了交流复合超声 TIG 堆焊中, 超声可细化组织并使组织均匀化。

**关键词:** TIG 焊; 超声; 铝合金; 微观组织

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.01.006

**中图分类号:** TG444

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-6457(2014)01-0032-06

## Acoustic Field and Electric Arc of Ultrasonic Alternative Current TIG Welding

XU Ming-da<sup>1</sup>, LU Yun-long<sup>2</sup>, JIANG Guo-yu<sup>1</sup>, E Ying-zi<sup>1</sup>, YU Jia-li<sup>1</sup>

(1. Physics Department, Qiqihar Normal College, Qiqihar 161006, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China)

**ABSTRACT: Objective** To research the effect rule and mechanism of the emission end height, nozzle height and shielding gas flow on the acoustic field intensity during the welding process. **Methods** A grouped experiment was carried out to analyze the effect of welding parameters on the acoustic field intensity. **Results** The results indicated that the emission end height and nozzle height had the greatest impact on the acoustic field intensity whereas the flux of shielding gas has no effect. With different emission end heights, the nozzle heights corresponding to the maximum of acoustic field intensity were different. **Conclusion** Through the analysis of the experimental results, the optimized parameters of welding process can be obtained; emission end height is 30 mm, nozzle height is 11 mm and the length of arc is 4mm; welding current is 120 A and the flux of shielding gas is 25 mL/min. Experiments of composite ultrasonic alternative current TIG bead welding shows that ultrasound can refine the organization and make the organization uniform.

**KEY WORDS:** TIG welding; ultrasonic; aluminum alloy; microstructure

在早前的实验中发现, 超声施加到液态金属凝固过程中, 会细化金属晶粒, 除气去杂, 抑制偏析。

同样, 在将超声引入到直流 TIG 焊不锈钢过程中发现, 在超声作用下, 焊缝熔深增加, 深宽比增大。相

收稿日期: 2013-07-10

基金项目: 黑龙江省教育厅职高专院校科研项目(12520140)

作者简介: 徐明达(1977—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士, 副教授, 主要从事汽车检测及维修方面的研究。

关学者提出,将超声引入到交流 TIG 铝合金焊接中会有相似的效果。文中将超声振动引入至铝合金焊接中,利用具有高能量和声学效应的超声振动,观察其对电弧及熔池的影响。超声振动在液态金属凝固过程中有细化晶粒、减少缺陷等效果,因而提高金属的综合性能。相关学者的研究表明,在直流 TIG 焊不锈钢过程中,超声振动对电弧收缩、电弧张力增大、电弧能量集中等也有影响。超声振动不但可以改善铝合金焊缝的质量,还能提高焊接生产效率,是一种很有发展前景的焊接方法。

超声 TIG 复合焊接主要由焊枪上部的超声发射端发射超声波施加到工件上,研究超声振动对铝合

金焊接性能的具体影响,对充分认识超声的传播规律具有重要的意义,文中分别对空气中的声场和电弧空间中的声场进行研究。

## 1 超声交流 TIG 焊声场特性的研究

### 1.1 空气中声场

在发射端高度为 24 ~ 38 mm,保护气流量为 10 ~ 25 mL 的声场中测量,改变喷嘴高度可得到如图 1 所示的关系曲线。

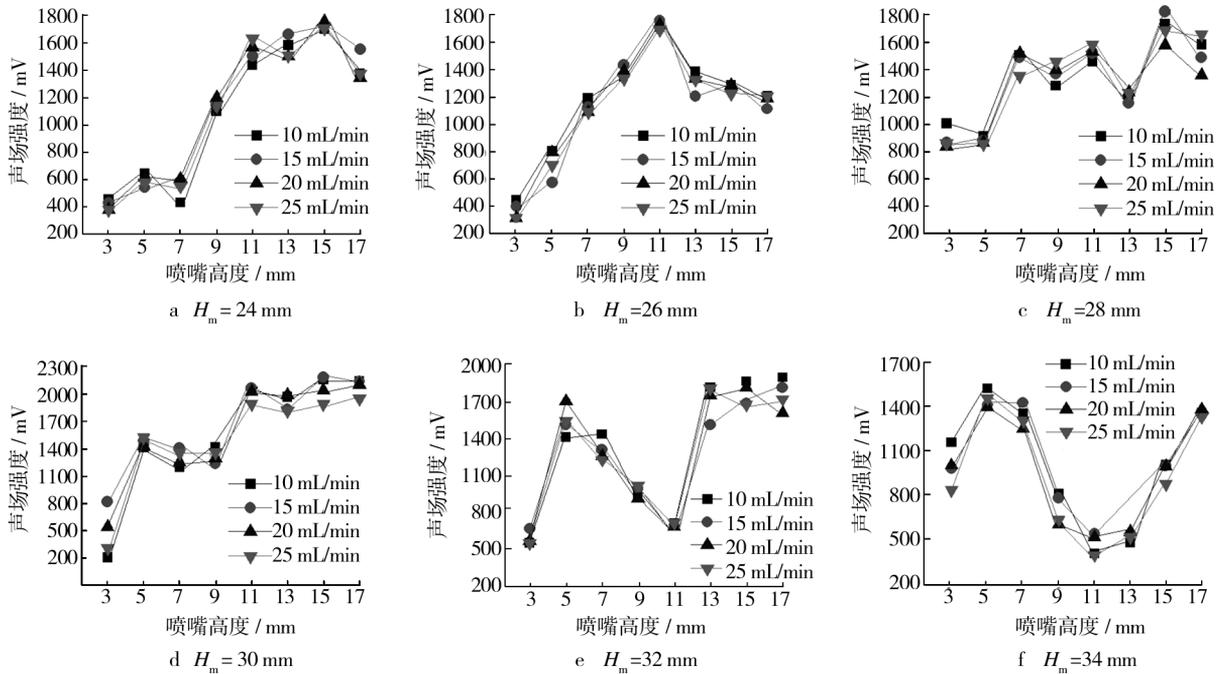


图 1 各发射端高度下不同喷嘴高度时的超声强度

Fig. 1 Ultrasonic intensity with different nozzle heights and transmitter heights

发射端高度为 24 mm 且喷嘴高度小于 9 mm 时,超声强度较小,如图 1a 所示。在 9 mm 时突变,在 11 mm 和 15 mm 时最大。发射端高度为 26 mm 时,如图 1b 所示,超声强度在 3 mm 时最小,随喷嘴高度增加而变大,11 mm 时达到最大,然后递减。当发射端高度为 28 mm 时,超声强度在喷嘴高度为 5 mm 时最小,在 7, 11, 15 mm 时达到峰值,如图 1c 所示。在发射端高度为 30 mm 时,如图 1d 所示,超声强度在喷嘴高度为 5, 11, 15 mm 时达到峰值。在发射端高度为 32 mm 时,超声强度在喷嘴高度为 5

mm 和 15 mm 时达到峰值,如图 1e 所示,在 11 mm 超声强度最小。图 1f 中,在发射端高度为 34 mm 时,超声强度在喷嘴高度为 11 mm 处最小,在 5 mm 处达到最大;在发射端高度为 36 mm 时,超声强度在喷嘴高度为 9 mm 时最大,在 5 mm 处最小;发射端高度为 38 mm 时,随喷嘴高度增加而增大,在 13 mm 达到最大。

综上所述,发射端高度及喷嘴高度对声场强度影响最大,保护气流量几乎没影响。在不同发射端高度下,声场强度最高值所对应的喷嘴高度不同。

## 1.2 电弧空间内的声场

通过空气中声场测定结果,综合考虑声场强度、保护效果和超声发生装置的发热状况,在研究电弧中声场分布随发射端高度的变化规律时,喷嘴高度选用为 11 mm。为了研究喷嘴高度对超声强度的影响,固定发射端高度为 30 mm,喷嘴高度从 3 mm 到 17 mm,变化间距为 2 mm。发现喷嘴高度为 11, 15, 17 mm 时的声场强度较强,由于喷嘴距离工件过远,保护气不能充分发挥保护作用,因此在电弧中声场测量选用 11 mm 的喷嘴高度。图 2 所示为喷嘴高度为 11 mm 条件下,改变发射端高度所测量的声场强度。

在电弧中发射端高度达到 28 mm 时,声场强度最大,而空气中的声场强度在 30 mm 时达到最大。此结果说明空气中的声场强度分布与电弧中声场分

布大致相似,略有偏差。

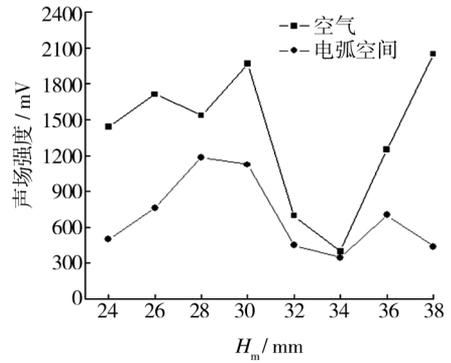


图 2 不同发射端高度下的声场强度

Fig. 2 Acoustic field intensity under different transmitter heights

由于发射端为 28 ~ 30 mm 时超声强度最高,因此,选取发射端高度为 30 mm。图 3 为不同工艺参数对声场的影响对比。

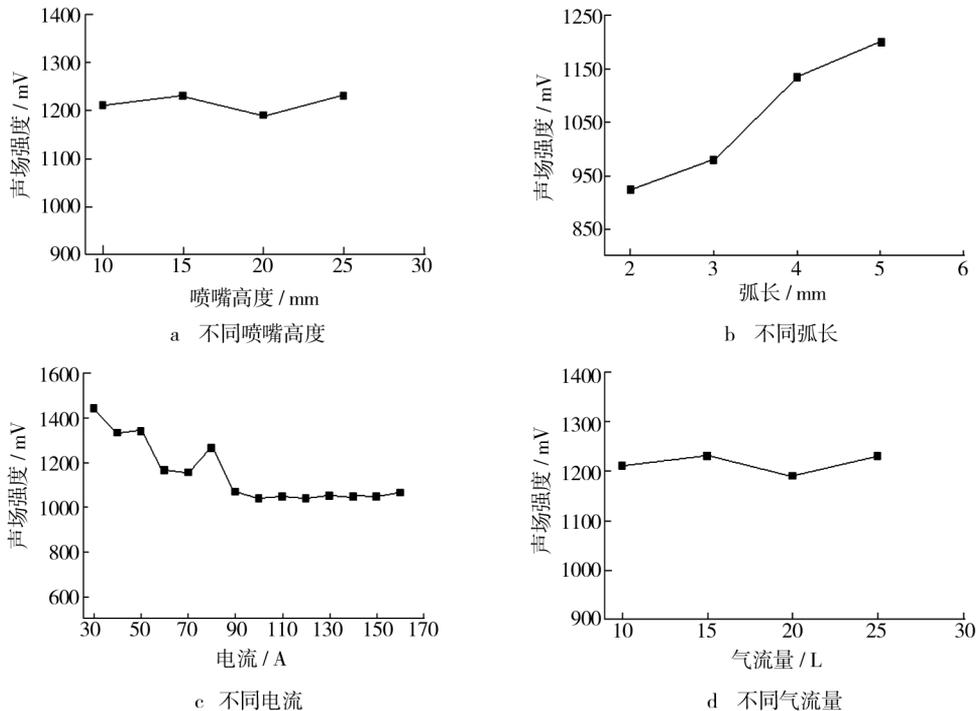


图 3 工艺参数对声场强度的影响对比

Fig. 3 Effect of different processing parameters on sound field intensity

图 3a 所示为喷嘴高度对声场强度分布的影响,可知喷嘴高度为 11 mm 时超声强度最强。由图 3b 可知,当发射端高度为 30 mm 时,随着电弧长度的增加,声场强度增强,电弧长度在 2 ~ 5 mm 范围内,增加到 5 mm 时声场强度达最大值。由图 3c 可知,

当电流较小时(30 ~ 90 A),声场强度波动较大,当增加至 100 A 以上时,声场强度逐渐趋于平缓,比较稳定。图 3d 所示为保护气流量不同时测量的声场强度,可以明显看出,保护气流量对超声影响不大,故而在以后的试验中不再考虑保护气流量的变化。

由于本研究期望得到成形好的焊缝,因此一律选择 25 L/min 的保护气流量,以确保焊接时保护充分。

综合以上分析,超声在电弧中传播也表现出明显的谐振规律,但与空气中的测量结果相比,谐振点位置发生了变化。

## 2 超声交流 TIG 焊电弧特性的研究

为了对比分析不同发射端高度、不同喷嘴高度、不同电流以及电弧长度下,各电弧形态的差异,通过高速摄像以及滤光装置对电弧形态进行采集,主要关注电弧形态,利用 MATLAB 软件对所采图像进行二值化处理,并计算其面积。

图 4 所示为铝合金交流 TIG 焊中,分别在正负半波中采集的 TIG 及 U-TIG 焊的电弧形态图像,可以看出,在施加了超声振动后,存在明显的电弧收缩现象。

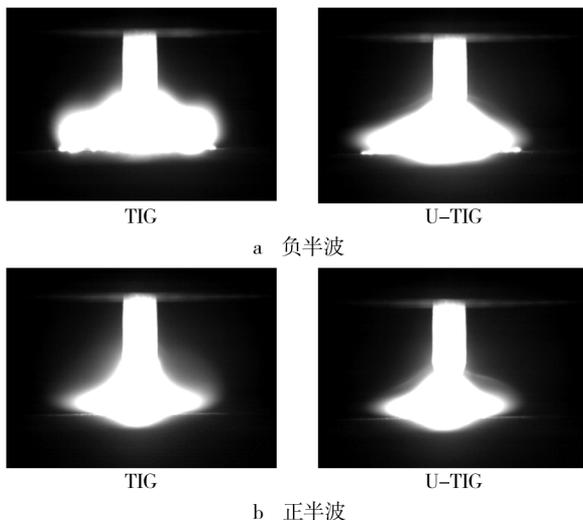


图 4 不同半波条件下的电弧形态

Fig. 4 Arc shape under different half-wave conditions

通过 MATLAB 软件进行图像二值化,可以得到 TIG 焊电弧面积及 U-TIG 焊电弧面积的计算结果,图 5 所示为经过二值化处理以后所获得图像。

通过计算,很容易得到电弧收缩面积  $\Delta S$  以及电弧收缩率  $\delta$ ,从而确定超声对电弧形态的影响,其中  $\Delta S$  和  $\delta$  的计算公式为:

$$\Delta S = S_T - S_U \quad (1)$$

$$\delta = \frac{\Delta S}{S_T} \quad (2)$$

图 6 所示为发射端高度为 30 mm,喷嘴高度不

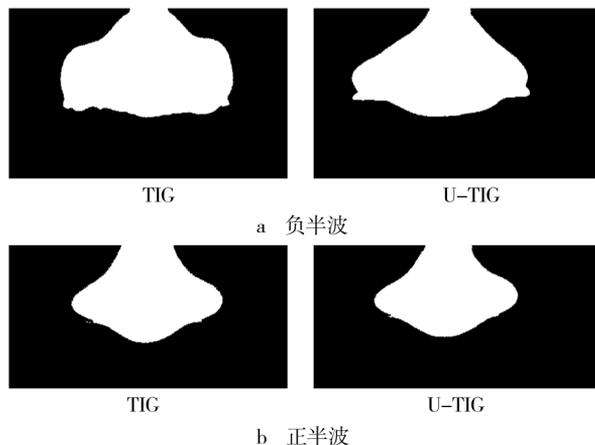


图 5 不同半波条件下的电弧图像二值化

Fig. 5 Arc image binarization under different half-wave conditions

同时的面积变化率曲线。由图 6 可以看出,在负半波喷嘴高度为 5, 11, 15 mm 时,电弧收缩较明显。通过上面试验已经证实,当发射端高度为 30 mm,喷嘴高度为 5, 11, 15 mm 时超声强度最强,这说明电弧中传播的超声能量越强,电弧压缩越明显。在正半波时,同样在喷嘴高度为 11, 17 mm 时,电弧压缩最明显。这同样证实了上述结果。

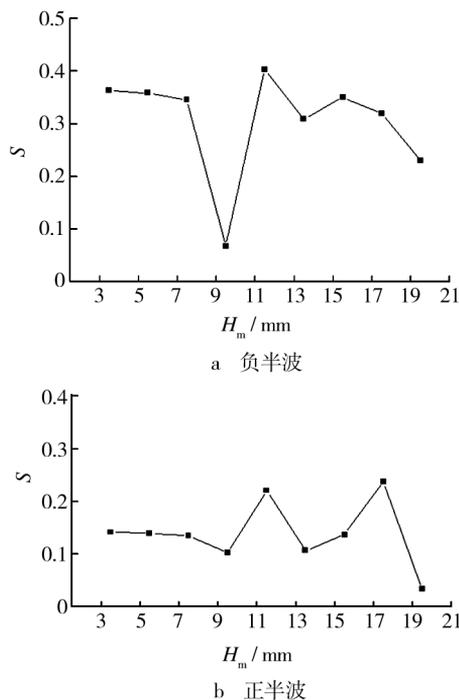


图 6 电弧收缩率随喷嘴高度的变化

Fig. 6 Change of arc shrinkage with the nozzle height

选用 11 mm 的喷嘴高度之后,改变发射端高度进行测量,结果如图 7 所示。在负半波时,发射端高度为 30,34 mm 时,电弧收缩最明显;在正半波时,发射端为高度 24,30,36 mm 时,电弧收缩最明显。

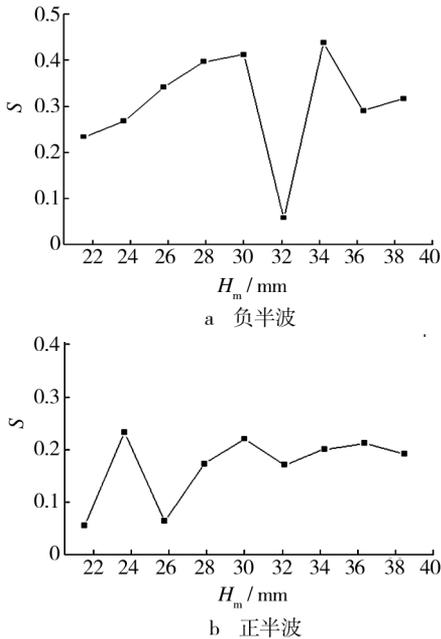


图 7 电弧收缩率随发射端高度的变化

Fig. 7 Change of arc shrinkage with the transmitter height

确定了发射端高度 30 mm 以及喷嘴高度 11 mm 后,进行变电流试验,如图 8 所示,在负半波时,电流在 160 A 时电弧收缩最明显;在正半波时,电弧

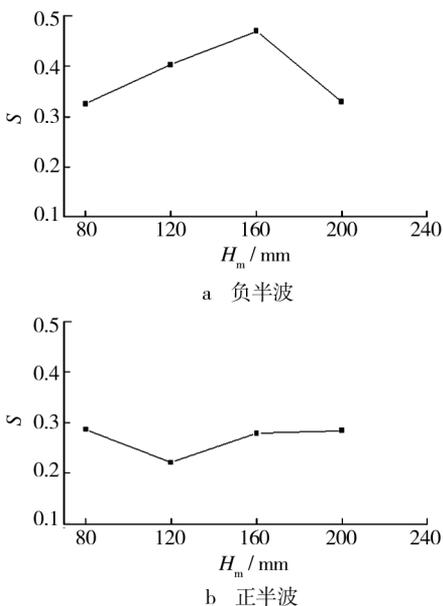


图 8 电弧收缩率随电流的变化

Fig. 8 Change of arc shrinkage with the electric current

收缩率变化不大。

在变弧长试验中,发现电弧长度超过 5 mm 时电弧不稳定,容易发生偏吹。弧长为 2,3,4 mm 时,电弧较稳定,此时的超声效果也比较明显。由于弧长为 2 mm 时,电弧面积很小,所以施加超声振动以后变化并不大,图 9 即为电弧收缩率随弧长的变化。

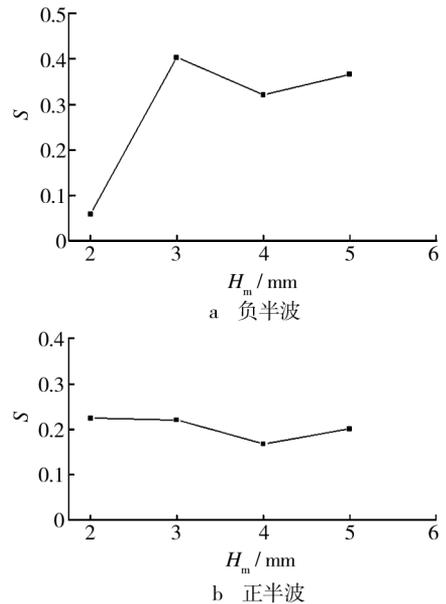


图 9 电弧收缩率随弧长的变化

Fig. 9 Change of arc shrinkage with the length of arc

### 3 结论

1) 焊接过程中,发射端高度、喷嘴高度、弧长及电流对声场强度影响大,超声在电弧中传播也表现出明显的谐振规律,谐振点位置较空气中的测量结果发生了变化。

2) 发射端强度及喷嘴高度对电弧形态影响最大,电流影响较小,弧长对负半波电弧形态影响较大。随着声场强度的增加,电弧面积压缩明显。

3) 对深宽比等工艺参数影响的研究中,优化并确定了最佳焊接工艺参数分别为:发射端高度 30 mm,喷嘴高度 11 mm,弧长 4 mm,电流 120 A,保护气流量 25 mL/min。

#### 参考文献:

- [1] STATNIKOV E S, MUKTEPAVEL V O, BLOMQVIST A. Comparison of Ultrasonic Impact Treatment (UIT) and Other Fatigue Life Improvement Methods [J]. Welding

- Research Abroad,2004,50(5):28—40.
- [2] ZHOU R L, GUO D L, LI C Q, et al. Study on Arc-ultra-sonic TIG Welding of Titanium Alloy[J]. China Welding (English Edition), 2004, 13(2):156—158.
- [3] WANG J J, LIN T, CHEN S B. Obtaining Weld Pool Vision Information During Aluminium Alloy TIG Welding [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 26(3):219—227.
- [4] BAJCER B, HRZENJAK M, POMPE K. Improvement of Energy and Materials Efficiencies by Introducing Multiple-wire Welding[J]. Metallurgical, 2007, 46(1):47—52.
- [5] TUSEK J. Mathematical Model for the Melting Rate in Welding with a Multiple-wire Electrode [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 1999, 32(14):1739—1744.
- [6] HUO L X, WANG D P, ZHANG Y F, et al. Investigation on Improving Fatigue Properties of Welded Joints by Ultrasonic Peening Method[J]. Welding Research Abroad, 2002, 48(1):4—8.
- [7] KUDRYAVTSEV Y, KLEIMAN J, LUGOVSKOY A, et al. Ehabilitation and Repair of Welded Elements and Structures by Ultrasonic Peening[J]. Welding in the World, 2007, 51(7-8):47—53.
- [8] LU S P, QIN M P, DONG W C. Highly Efficient TIG Welding of Cr13Ni5Mo Martensitic Stainless Steel [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 213(2):229—237.
- [9] LI D J, LU S P, DONG W C, et al. Study of the Law between the Weld Pool Shape Variations with the Welding Parameters under Two TIG Processes[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212(1):128—136.
- [10] TANIGAWA H, ABURADANI A, SHIGEMATSU S, et al. Comparative Study of Laser and TIG Welding for Application to ITER Blanket Hydraulic Connection [J]. Fusion Engineering and Design, 2012, 87(7-8):999—1003.
- [11] NAGESH D S, DATTA G L. Genetic Algorithm for Optimization of Welding Variables for Height to Width Ratio and Application of ANN for Prediction of Bead Geometry for TIG Welding Process [J]. Applied Soft Computing, 2010, 10(3):897—907.
- [12] ZHANG G J, LENG X S, WU L. Physics Characteristic of Coupling Arc of Twin-Tungsten TIG Welding [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16(4):813—817.
- [13] DUTTA P, PRATHIAR D K. Modeling of TIG Welding Process Using Conventional Regression Analysis and Neural Network-Based Approaches [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 184(1-3):56—68.
- [14] JUANG S C, TARNG Y S, LII H R. A Comparison between the Back-Propagation and Counter-Propagation Networks in the Modeling of the TIG Welding Process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 75(1-3):54—62.
- [15] VASANTHARAJA P, VASUDEVAN M. Studies on A-TIG Welding of Low Activation Ferritic/Martensitic (LAFM) Steel [J]. Journal of Nuclear Materials, 2012, 421(1-3):117—123.

(上接第31页)

- [17] 王慧群,何瑞良,罗学心,等. 4Cr3Mo2NiVNb 钢在热挤压冲头中的应用[J]. 兵器材料科学与工程, 1994(3):56—57.
- WANG Hui-qun, HE Rui-liang, LUO Xue-xin, et al. Application of 4Cr3Mo2NiVNb Steel in the Punch of Hot Extrusion [J]. Ordnance Material Science and Engineering, 1994(3):56—57.
- [18] 王玲,侯晓东,温志高. B2 钢(4Cr2MOVNi)在热挤压模具上的应用[J]. 模具技术, 2008(4):60—62.
- WANG Ling, HOU Xiao-dong, WEN Zhi-gao. Application of B2 Steel (4Cr2MOVNi) on Hot Extrusion Mould [J]. Die & Mould Technology, 2008(4):60—62.
- [19] 何鹤林,董勇. 用 3Cr3Mo3W2V 钢制作钢管热冲孔凸模的试验[J]. 模具工业, 2004(1):56—58.
- HE He-lin, DONG Yong. Experiment for Application of 3Cr3Mo3W2V Steel as Hot Punch of Tube [J]. Die & Mould Industry, 2004(1):56—58.
- [20] 王荣滨,海燕,红梅. 热挤压冲头双重强化处理[J]. 模具技术, 1995(2):78—83.
- WANG Rong-bin, HAI Yan, HONG Mei. Dual Strengthening Treatment of Hot Extrusion Punch [J]. Die & Mould Technology, 1995(2):78—83.
- [21] KATSUMURA T, MINAMI Y, YASUKAWA M. Method for Production a Seamless Steel Tubular Product: US, 5816087 [P]. 1998-10-06.
- [22] 黄少东,庞丹,孙锋,等. 3Cr3Mo3VNb 在热冲孔中的应用研究[J]. 精密成形工程, 2013, 5(6):20—22.
- HUANG Shao-dong, PANG Dan, SUN Feng, et al. Application Research of 3Cr3Mo3VNb in Hot Punching [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5(6):20—22.