

# 铝合金变极性穿孔型等离子弧焊工艺的热源模型

卢振洋<sup>1</sup>, 王 龙<sup>1</sup>, 陈树君<sup>1</sup>, 薛忠明<sup>2</sup>, 于 洋<sup>1</sup>, 蒋 凡<sup>1</sup>

(1. 北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100124;

2. 北京卫星制造厂, 北京 100080)

**摘 要:** 选用包含面高斯热源和圆柱体热源模型的组合热源模型去模拟变极性穿孔型等离子弧焊工艺的温度场。通过大量的工艺试验, 分析主要工艺参数对铝合金变极性穿孔型等离子弧焊成形的影响。借助有限元分析手段, 在热源模型和实际工艺参数之间建立了联系, 并通过线性回归分析的方法将这种联系用数学方式表达出来。结果表明, 变极性穿孔型等离子弧焊除了电流和行走速度外, 离子气流量、钨极内缩量及喷嘴末端到工件表面的距离都是十分重要的工艺参数, 对焊缝形貌特征影响很大。

**关键词:** 变极性穿孔型等离子弧; 温度场; 有限元; ANSYS

**中图分类号:** TG402 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2012)10-0087-05



卢振洋

## 0 序 言

变极性等离子弧(variable polarity plasma arc, VPPA)在20世纪60年代末70年代初波音公司的B P Vancleave才提出用变极性等离子弧焊代替GTAW<sup>[1]</sup>。穿孔等离子弧因其成形方式, 形成单面焊接双面成形的特点<sup>[2]</sup>。

Fan和Kovacevic<sup>[3]</sup>将电弧的作用简化成高斯面热源, 但简化成面高斯热源和穿孔型等离子弧焊工艺的热源特点不相符。天津大学的李力、胡绳荪等人<sup>[4]</sup>用三维锥体热源模拟焊接过程的温度场分析了焊接工艺参数对等离子弧焊温度场的影响, 但仅指出焊接速度对焊缝成形影响很大。山东大学的武传松等人<sup>[5]</sup>用双椭球和三维锥体的组合热源模型来描述焊接温度, 并分析了高斯热源、锥体热源、双椭球热源等单一热源模型和实际不相符合, 并考虑流体的诸多因素得到穿孔型等离子弧焊小孔成形过程<sup>[6-7]</sup>。

考虑的因素越多, 模拟分析就越繁琐, 实际的工程应用性就更不方便。因此文中基于传热学的理论, 从建立热源模型的角度出发, 将实际工艺参数直接和热源模型建立函数关系。这样的热源模型除了工艺的指导意义外, 还可以运用于焊接结构热力耦合计算中, 用来预测焊接结构残余应力场分布和变形, 具有非常重要的工程应用价值<sup>[8-11]</sup>。

## 1 VPPA 热源模型

变极性穿孔型等离子弧焊过程中的熔池和小孔的形状特征如图1所示。从等离子弧焊枪喷嘴喷出的高温高压气体, 不但使得待焊金属瞬间熔化, 而且在电弧力和气体压力的作用下使得熔化金属中形成小孔, 而表面张力又使得形成的小孔缩小并闭合。最后因这两种反方向的作用力达到平衡得到小孔的形状。

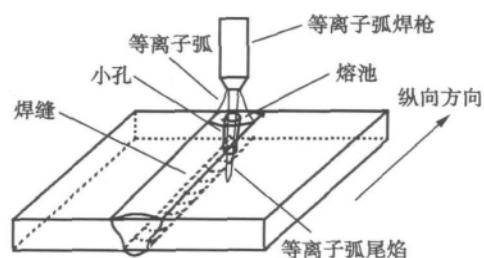


图1 变极性穿孔型等离子弧焊接熔池与小孔几何特征

Fig. 1 Geometry of VPPA weld pool and key-hole

文中使用面高斯热源和圆柱体热源的复合热源如图2所示。面高斯热源用以描述电弧对待焊接表面的加热方式, 圆柱体热源用以描述高温高压的等离子弧对母材内部的加热方式。

穿孔型等离子弧焊的热源方程为

$$Q_z = Q_m + Q_v \quad (1)$$

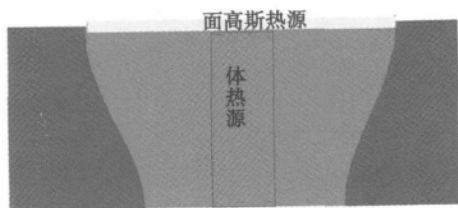


图 2 复合热源模型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of composite heat source model

式中:  $Q_z$  是输入焊缝的总热量;  $Q_m$  为面热量;  $Q_v$  为体热量. 面高斯热源的数学模型为

$$Q_m = \left( \frac{3 \times U \times I}{3.14159 \times r^2} \right) / e^{\frac{3 \times d^2}{r^2}} \quad (2)$$

式中:  $r$  是有效加热半径;  $d$  是任一点到加热中心距离.  $Q_v$  是采用的化学内部发热的内部生成热的方式. 用局部坐标的方式选取圆柱体并在其中施加内部生成热, 加入的方式完全根据内部生成热的定义, 圆柱热源直径为 3 mm, 高度为板厚  $D$ .

$Q_m$  和  $Q_v$  在  $Q_z$  所占有的比例系数分别为  $\mu_a$  和  $\mu_b$ .  $\mu_a$  是面热占比系数;  $\mu_b$  是体热占比系数. 变极性等离子弧焊 (variable polarity plasma arc welding, VPPAW) 具有众多工艺参数, 其中以平均电流  $I$ 、喷嘴末端到工件表面的距离  $H$ 、焊接速度  $v$ 、离子气流量  $q$  和钨极内缩量  $h$  为主. 焊接速度  $v$ 、平均电流  $I$  是模型的基本参数可以直接加入模型中, 而其它的参数  $H$ 、 $h$  和  $q$  对模型的修正需要建立在实际的工艺试验基础上. 将实际的工艺参数 ( $H$ 、 $h$ 、 $q$ ) 融入到模拟模型过程中的方法如图 3 所示.

通过工艺试验, 可以知道在模型的什么地方加入工艺参数. 还需要通过同样的模拟试验方法去校准. 校准时先通过二分法调整面热和体热的占比系数, 使得正面和背面熔宽的比例和实际比例相同, 然后再通过改变传热系数同时调整正面和背面熔宽的大小, 这种校准方法被称为“形状优先, 大小其次”校准原则.

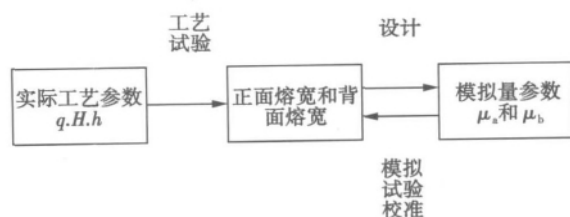


图 3 模型修正的流程图

Fig. 3 Flow diagram of correction model

## 2 试验数据及结果分析

试验选用的焊接母材为 5 mm 厚的 LF6 铝合金板; 采用  $\phi 1.6$  的 LF6 焊丝; 0.6 m/min 的送丝速度. 焊接行走采用立向上焊, 行走速度为 1.6 m/min. 焊接用的设备是由北京工业大学自行研制的等离子弧焊设备. 试验方法是对需要考虑的工艺参数 (离子气流量  $q$ 、喷嘴末端到工件的距离  $H$  和钨极内缩量  $h$ ) 分几个水平进行全部试验. 对喷嘴末端到工件表面的距离  $H$  划分为 3、4、5、6 mm 四个水平, 离子气流量  $q$  划分为 2、2.5、3 L/min 三个水平, 钨极内缩量  $h$  划分为 3、4、5 mm 三个水平. 试验工艺参数如表 1 所示.

表 1 焊接工艺试验方案

Table 1 Actual welding process test program

	离子气流量 $q / (\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	钨极内缩量 $h / \text{mm}$	喷嘴末端到工作距离 $H / \text{mm}$
1	2.0	4.0	5.0
2	2.5	4.0	5.0
3	3.0	4.0	5.0
4	2.5	3.0	5.0
5	2.5	4.0	5.0
6	2.5	5.0	5.0
7	2.5	4.0	3.0
9	2.5	4.0	4.0
10	2.5	4.0	5.0
11	2.5	4.0	6.0

穿孔型等离子弧焊焊缝最为直观的两个形状参数为正面熔宽和背面熔宽. 图 4 为典型的穿孔型等离子弧焊焊缝表面. 穿孔型等离子弧焊焊缝正面光滑扁平, 焊缝背面有均匀的纹路, 一般来说正面熔宽比背面熔宽要窄.

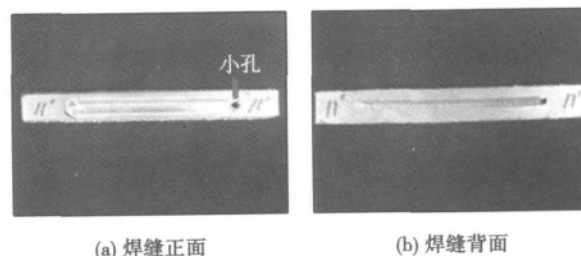


图 4 穿孔型等离子弧焊焊缝表面

Fig. 4 Surface of VPPA weld

在焊缝表面均匀选取 5 个测量点, 测量出一道焊缝 5 个位置的正面熔宽, 并相应地测出它的背面

熔宽. 对这 5 个测量点的数据取平均值作为这一道焊缝的形状参数. 最后得到工艺参数对焊缝形状参数的影响, 如图 5 ~ 图 7 所示. 直观地来说, 离子气流量增大, 正面熔宽减小, 背面熔宽增大; 喷嘴末端到工件表面的距离增大, 正面熔宽增大, 背面熔宽减小; 钨极内缩量增大, 背面熔宽增大, 背面熔宽减小.

穿孔型等离子弧焊焊缝成形除了考虑热的因数外, 还要考虑力的因素<sup>[12]</sup>. 省略了流体力学的解释后, 简略地解释是离子气流量使得热的作用点下移, 喷嘴末端到工件表面的距离增高后使得传热更多地作用在表面. 钨极内缩量增加后, 等离子弧的压缩性更好, 穿透力更强, 因而背面熔宽增加. 而在喷嘴末端到工件表面的距离并没有变化, 这里不考虑对正面熔宽的变化.

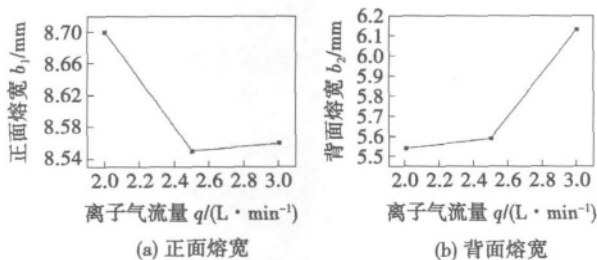


图 5 离子气流量对焊缝成形的影响曲线

Fig. 5 Curve of effect of gas flow rate on shape of weld

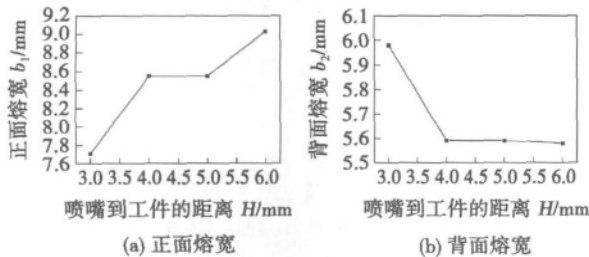


图 6 喷嘴末端到工件表面的距离对焊缝成形的影响曲线

Fig. 6 Impact of distance between end of nozzle and workpiece on weld

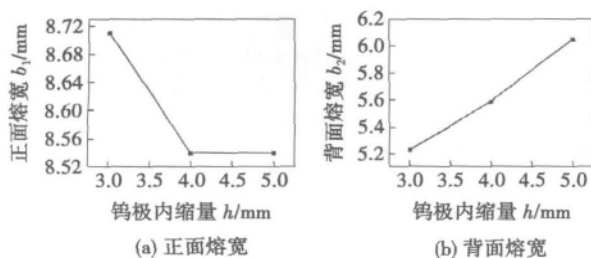


图 7 钨极内缩量对焊缝成形的影响曲线

Fig. 7 Impact of shrinkage of tungsten on weld

### 3 模拟工艺试验数据及结果

根据实际工艺试验得出的结果和规律, 发现离子气流量  $q$ , 喷嘴末端到工件表面的距离  $H$ , 钨极内缩量  $h$  对焊缝成形影响很大, 而  $\mu_a$  和  $\mu_b$  的变化正好可以用来描述工艺参数对焊缝形状的变化. 用式 (3) 和式 (4) 描述  $\mu_a$  和  $\mu_b$  与实际工艺参数之间的联系.

$$\mu_a = \mu_a(q, H, h) \quad (3)$$

$$\mu_b = \mu_b(q, H, h) \quad (4)$$

式 (3) 和式 (4) 建立后, 文中的穿孔型等离子弧焊热源就具备了工艺的特点. 式 (3) 和式 (4) 的建立需要完成和实际工艺试验一样的模拟试验, 调整模拟参数的流程图如图 8 所示.

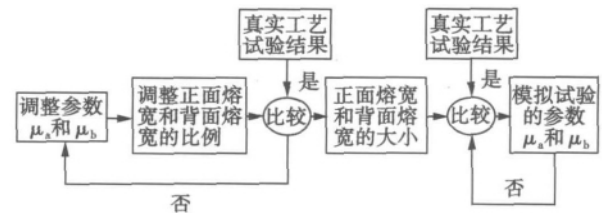


图 8 调整模拟参数的流程图

Fig. 8 Flow diagram of adjustment of simulation parameters

调整  $\mu_a$  和  $\mu_b$  的模拟试验的平台建立在 ANSYS 软件平台上, 使用 ANSYS 内部的编程性语言 APDL, 建立一个平板焊接模型. 模型大小为 100 mm × 100 mm × 5 mm.

试验结果中, 最主要的是得到每次模拟试验正面熔宽和背面熔宽的模拟值. 在模拟的数据结果处理上, 文中采用截取焊缝的横截面, 然后测量熔合线的形状. 熔合线的选取是根据 LF6 金相图, 知道熔合线的温度区间 610 ~ 630 °C. 根据焊接热源的滞后效应, 最广泛的温度区间在准稳态热源的后侧. 从侧面的焊缝剖面 (图 9) 能表示出滞后效应. 要更准确得到熔合线, 文中取的是准稳态热源中心后一载荷步的截面.

通过模拟试验焊缝与真实焊缝的对比 (图 10), 呈一个“倒喇叭状”, 与实际试验基本吻合. 文中在分析模拟试验和真实试验对比的时候将焊缝分为上下 A、B 两部分. 模拟试验和真实试验中熔合线临近母材区域的温度梯度是十分相近的. 上半部分的温度梯度比下半部分的温度梯度大. 比较可能的原因是正面焊缝更靠近喷嘴, 电弧的压缩性最好, 电弧的

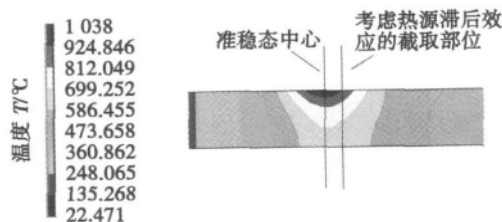


图 9 焊缝侧面剖面图

Fig. 9 Cross section of weld sides

作用范围最大. 模拟试验和真实试验的差异在 A 部分. 模拟试验 A 部分的曲线趋势略有外扩, 而真实试验中 A 部分熔合线没有明显地外扩. 相反地随后的临近区域变得略有内凹. 这是因为在热模拟过程中, 并没有考虑熔高的影响. 熔融状态的铝合金在表面张力作用下形成的熔高对 A 部分是有热的影响. 这会使得上半部分外延, 导致真实值和模拟值的差异难以避免.

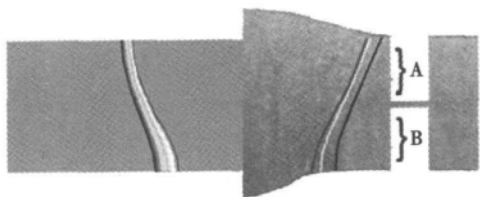


图 10 模拟试验焊缝与真实试验的对比

Fig. 10 Comparison between predicted and measured VPPA weld dimension

按照图 8 所示的模拟流程, 经过多次模拟试验, 最后得到和实际工艺试验几乎相同的结果. 模拟参数和实际参数得到的最后结果相一致, 因此才得到模拟参数和实际参数的联系.

通过线性回归分析的数学分析手段, 得到模拟参数和实际参数的函数关系.

文中以离子气流量  $q$  为基本参数, 而喷嘴末端到工件表面的距离  $H$  和钨极内缩量  $h$  为修正参数. 这样面热占比系数和体热占比系数可表示为

$$\mu_a = [(1 - m) + n_1] \times \alpha \quad (5)$$

$$\mu_b = [m + n_2 + s_1] \times \alpha \times \beta \quad (6)$$

$$n_1 = -n_2; s_1 = -s_2 \quad (7)$$

式中:  $m$  为离子气流量体热影响系数;  $n_1$  为喷嘴末端到工件表面距离的面热修正系数;  $n_2$  为喷嘴末端到工件表面距离的体热修正系数;  $s_1$  为钨极内缩量体热修正系数;  $s_2$  为钨极内缩量面热修正系数;  $\alpha$  为喷嘴末端到工件表面距离的传导效率影响因子;  $\beta$

为钨极内缩量传导效率影响因子;  $q$  为等离子气流量;  $H$  为喷嘴末端到工件表面的距离;  $h$  为钨极内缩量.

其中  $m = m(q)$ ,  $n_1 = n_1(H)$ ,  $s_1 = s_1(h)$ , 因此综合得到

$$\mu_a = (0.39545 - 0.0775q + 0.117H) \times (0.299 + 0.018H) \quad (8)$$

$$\mu_b = (0.18055 + 0.0755q - 0.117H + 0.0848h) \times (0.299 + 0.018H) \times (0.6 + 0.1h) \quad (9)$$

最后所建立可适应性的穿孔型等离子弧热源模型包含了工艺的主要参数: 平均电流  $I$ ; 焊接行走速度  $v$ ; 板厚  $D$ ; 离子气流量  $q$ ; 喷嘴到工件的距离  $H$  和钨极内缩量  $h$ .

## 4 结 论

(1) 研究了穿孔型等离子弧焊工艺, 发现了穿孔型等离子弧焊工艺的特点: 离子气流量增大, 正面熔宽减小, 背面熔宽增大; 喷嘴末端到工件表面的距离增大, 正面熔宽增大, 背面熔宽减小; 钨极内缩量增大, 背面熔宽增大.

(2) 通过文中设计的模型流程, 建立起变极性穿孔型等离子弧焊热源模型, 热源加入了实际焊接的工艺参数. 焊接平均电流、焊接速度、离子气流量、喷嘴末端到工件表面的距离以及钨极内缩量等 5 大参数包含在这个热源模型中, 并带有确定的函数关系.

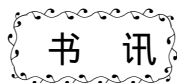
## 参考文献:

- [1] Nunes A C, Bayless E O. Variable polarity plasma arc welding on space shuttle external tank [J]. Welding Journal, 1984, 63 (4): 27-35.
- [2] 李 阳, 董再胜, 孙丽荣. 穿孔型等离子弧焊接研究现状 [J]. 内燃机与动力装置, 2010, 6(12): 42-44.  
Li Yang, Dong Zaisheng, Sun Lirong. Research of the keyhole plasma arc welding [J]. Internal Combustion Engine & Power-plant, 2010, 6(12): 42-44.
- [3] Fan H G, Kovacevic R. Keyhole formation and collapse in plasma arc welding [J]. Phys, 1999, 32D: 2902-2906.
- [4] 李 力, 胡绳荪. 等离子弧焊接熔池温度场的三维数值模拟 [J]. 天津大学学报, 2007, 40(10): 1260-1264.  
Li Li, Hu Shengsun. Plasma arc welding molten pool temperature field numerical simulation [J]. Journal of Tianjin University, 2007, 40(10): 1260-1264.
- [5] Wu C S, Hu Q X. An adaptive heat source model for finite-element analysis of keyhole plasma arc welding [J]. Computational Materials Science, 2009(46): 167-172.

- [6] Sun Junhua, Wu Chuansong. Modeling the transient heat transfer for the controlled pulse key-holing process in plasma arc welding [J]. International Journal of Thermal Sciences, 2011 ( 50 ): 1664 – 1671.
- [7] 王小杰, 武传松. 等离子弧定点焊熔池穿孔过程的数值分析 [J]. 金属学报, 2010, 46( 8 ): 984 – 990.  
Wang Xiaojie, Wu Chuansong. Plasma arc fixed spot welding pool piercing process numerical analysis [J]. Metal Journal, 2010, 46( 8 ): 984 – 990.
- [8] 戴晴华, 季 鹏. 焊接顺序对中厚板对接焊残余应力的影响 [J]. 机械设计与制造, 2011( 7 ): 64 – 66.  
Dai Qinghua, Ji Peng. The residual stress effect of welding sequence on the plate butt welding [J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2011( 7 ): 64 – 66.
- [9] 孙 盼, 李 文. Q235 钢焊接温度场的数值模拟 [J]. 中国水运, 2010( 7 ): 235 – 236.  
Sun Pan, Li Wen. Q235 steel welding temperature field numerical simulation [J]. China shipping, 2010( 7 ): 235 – 236.
- [10] 李亚娟, 李午申. X80 管线钢焊接温度场的数值模拟 [J]. 焊接技术, 2010, 39( 1 ): 8 – 11.  
Li Yajuan, Li Wushen. X80 pipeline steel welding temperature field numerical simulation [J]. Welding Technology, 2010, 39( 1 ): 8 – 11.
- [11] 尹 莎, 雷玉成. CLAM 钢焊接残余应力与变形的三维数值模拟 [J]. 焊接技术, 2010, 39( 1 ): 12 – 15.  
Yin Sa, Lei Yucheng. CLAM steel welding residual stress and deformation 3D numerical simulation [J]. Welding Technology, 2010, 39( 1 ): 12 – 15.
- [12] Chen Shujun, Jiang Fan. Measurement and analysis of the welding arc current density and pressure distribution based on split anode method [C] // Mechatronics and Automation ( ICMA ), 2011 International Conference, 1544 – 1549.

作者简介: 卢振洋, 男, 1957 年出生, 博士, 研究员. 主要从事材料加工工程领域的研究工作. 发表论文 50 篇, 参编专著 2 部, 获权国家专利 8 项. Email: lzy@bjut.edu.cn

通讯作者: 陈树君, 男, 教授, Email: sjchen@bjut.edu.cn



书号: 978-7-111-37290-5  
定价: 29.00元

## 《焊工鉴定考核题库》 (高级工、技师、高级技师适用)

刘云龙 编著

本题库是根据 2009 版最新《国家职业标准焊工》编写的, 题库的题型与国家职业技能鉴定题库一致, 涵盖了国家职业技能鉴定规范中规定的焊工高级工、技师、高级技师的知识鉴定点和技能鉴定点, 能够满足高级工、技师、高级技师鉴定考核的需要。

书中的理论知识试题以判断题、单项选择题、多项选择题的形式出现, 并附有参考答案。为了提高焊工的实际操作水平, 使之顺利通过职业技能鉴定实操的考核, 依据最新《国家职业标准焊工》的技能鉴定点给出了 22 个技能操作试题, 并给出了操作技术提示, 以供读者在练习中使用。

本书是广大焊工顺利通过技能鉴定考核的良师益友。

编辑热线: 010-88379733 购书热线: 010-88379405 传真: 010-68351729 网络购书支持: 中国科技金书网

传真购书请注明: 姓名、详细地址、邮编、联系电话、传真、E-mail、所购图书书名、书号、数量、是否需要发票及发票抬头

zone showed that the Zr-Ti killed microalloyed steel plates had good low temperature toughness.

**Key words:** low alloy high strength steel; Zr-Ti combined deoxidation; gas shield welding; impact toughness; microstructure refinement

**Effect of doped  $\text{CeO}_2$  on properties of nano- $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$  coatings** YAN Jianhui<sup>1</sup>, MA Sujuan<sup>2</sup>, LIU Longfei<sup>1</sup>, TANG Siwen<sup>1</sup> (1. School of Mechanical and Electronic Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2. Department of Mechanical and Electronic Engineering, Tangshan Vocational College of Science and Technology, Tangshan 063001, China). pp 75 – 78

**Abstract:** Nano zirconia coatings doped different  $\text{CeO}_2$  content on 45 steel matrix were successfully fabricated by atmospheric plasma spraying. The microstructure of coatings was characterized by XRD and SEM. The adhesive strength and micro-hardness were tested, and the friction and wear properties of zirconia coatings were investigated. The results indicate the density, adhesive strength and micro-hardness of coatings are improved with doped cerium oxide. With the cerium oxide increasing, the friction coefficients and wear resistance of zirconia coatings against aluminium bronze increase. The adhesive wear of zirconia coatings increases, while the brittle fracture of zirconia coatings decrease.

**Key words:** plasma spraying; zirconia coating; cerium oxide; properties

**Effect of brazing temperature and holding time on microstructure and strength of brazed joints between dissimilar materials Mg/Al** WANG Zhi, LIU Fei, LIU Liming (Key Laboratory of Liaoning Advanced Welding and Joining Technology, School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China). pp 79 – 82

**Abstract:** In the present work, low temperature brazing of Mg/Al dissimilar metal with Sn-30Zn solder is successfully realized. Microstructure of the brazed joints is analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and electronic probe micro-analyzer (EPMA). Microhardness and shear strength of the joints are also investigated by Vickers hardness tester and universal material machine, respectively. The result shows that excellent microstructure and mechanical properties will be obtained while the brazing temperature is 330 °C and holding time is 5 s. The microstructure of joint consists of a multilayer sandwich structure which comprise transition zone of  $\text{Mg}_2\text{Sn}$  near the Mg base metal, transition zone of Al-Sn-Zn solid solution near the Al base metal, and the central zone between them. The  $\text{Mg}_2\text{Sn}$  and Al-Sn-Zn solid solution phases are dispersed in Sn-Zn hypereutectic structure at this zone. With these brazing parameters, the average shear strength of the brazed joints is 60.47 MPa.

**Key words:** Sn-30Zn solder; Mg/Al dissimilar metal; brazing; shear strength

**Observation and analysis of droplet transfer and spatter of metal powder type of flux-cored wire welding** WANG Huang<sup>1</sup>, LIU Haiyun<sup>1</sup>, WANG Bao<sup>2</sup>, WANG Yong<sup>1</sup>, ZHANG

Yingqiao<sup>2</sup> (1. College of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. The Center of Welding Materials & Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China). pp 83 – 86

**Abstract:** In this paper, the droplet transfer and spatter were observed and analyzed by high speed photography, the patterns and characteristics of droplet transfer and the spatter under the experimental parameters were summarized, which described the causes of the droplet transfer and spatter occurred. Under 100%  $\text{CO}_2$  shielded gas, the arc voltage shows obvious fluctuation, droplet transfer. Dominated by repelled transfer is not unstable, and small amount of fine transfer and explosive transfer and big large spatter as well. Under 5%  $\text{CO}_2$  + 95% Ar shielded and. The welding process is characterized by single projected transfer, stable droplet transfer and arc, little spatter; The main patterns of spatter of metal powder flux-cored wire include bubble release spatter, shrinking spatter, spatter created by droplet burst, spatter created by arc force.

**Key words:** metal powder flux-cored wire; droplet transfer; spatter

**Variable polarity plasma arc welding heat source model for an aluminum alloy** LU Zhenyang<sup>1</sup>, WANG Long<sup>1</sup>, CHEN Shujun<sup>1</sup>, XUE Zhongming<sup>2</sup>, YU Yang<sup>1</sup>, JIANG Fan<sup>1</sup> (1. Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology Institute, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Beijing Satellite Manufacturing Factory, Beijing 100080, China). pp 87 – 91

**Abstract:** Variable polarity plasma arc welding process is an important method for welding aluminum alloy. Experimental results show that in addition to current and welding speed, gas flow rate, shrinkage of tungsten and the height of the nozzle are very important parameters which influence weld characteristics. The surface Gauss heat source and the cylinder heat source were selected to simulate the welding temperature field. Through a lot of experiments, the effect of main process parameters on variable polarity plasma arc welding was analyzed. By finite element analysis method, the relation between the heat source model and practical process parameters was established, and through linear regression analysis method mathematical formula was set up.

**Key words:** variable polarity plasma arc; temperature field; finite element; ANSYS

**Phenomena of wire melting and bead formation in AC pulse MIG welding of aluminum alloy** YUAN Lei<sup>1,2</sup>, HUA Xueming<sup>1,2</sup>, ZHANG Wang<sup>1,2</sup>, LI Fang<sup>1,2</sup>, WU Yixiong<sup>1,2</sup> (1. Welding Engineering Institute of Material Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Materials Laser Processing and Modification, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China). pp 92 – 96

**Abstract:** The wire melting rate in AC Pulse MIG welding is mainly affected by the current and EN ratio aluminum alloy, the wire melting rate increases dramatically as the welding current increases at a constant EN ratio; at a constant welding current, the wire melting rate increases gradually as the EN ratio in-