

铝合金电子束焊接特征区域特征参数的确定

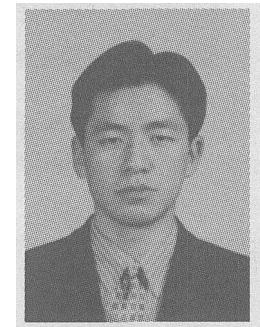
吴庆生，何景山，冯吉才

(哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘要: 根据电子束焊接过程的特点, 建立了一套无辅助光源图像传感系统, 采集了铝合金电子束焊接过程图像; 设计了铝合金电子束焊接过程图像处理算法, 提取出了预先定义的图像特征区域参数, 并对提取出的原始数据进行了低通滤波, 得到整个焊接过程的特征参数分布曲线; 计算了特征参数 FL (前长) 和 W (宽) 的比值, 并对二者进行了相关性分析。研究结果表明, 铝合金电子束焊接过程中 FL 和 W 的变化规律基本相同, 在表征特征区域前半部分时, 可以选择 FL 和 W 中的任一个。

关键词: 电子束焊接; 特征参数; 特征区域; 图像传感; 铝合金

中图分类号: TG456.3 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)01-25-04



吴庆生

0 序 言

电子束焊接中的“匙孔效应”是电子束焊接与常规焊接方法的特征区别。研究表明, 在电子束焊接过程中, 电子束与金属作用产生高压金属蒸气, 而金属蒸气流的反冲作用使“匙孔”得以形成, 电子束通过“匙孔”直接与金属内部作用, 从而形成深熔焊接^[1]。正是由于这种“匙孔效应”, 使电子束焊接具有深宽比大、焊缝窄、热影响区小、焊接残余变形小等特点^[2]。试验研究发现, 电子束与金属蒸气及液态金属作用的特征区域可以反映焊缝成形质量以及匙孔运动的一些规律, 如何表征特征区域就成为一个非常重要的问题。然而国内外对电子束焊接特征区域的描述鲜见报道。为此, 作者针对铝合金电子束焊接实例, 通过图像传感方法, 对电子束与金属蒸气及液态金属作用的特征区域的表征问题进行了研究。

1 特征区域图像的获取

试验中所采用的图像传感系统如图 1 所示, 该系统主要由 OK-C30/S 图像采集卡、AAEON(爱迅)工业控制计算机以及 CCD 摄像机组成。

由于铝合金工件表面特性和金属熔融状态光学特性不同于一般材料, 在可见光范围内, 熔融状态的铝合金同固态铝合金的对比并不明显, 因此一般铝

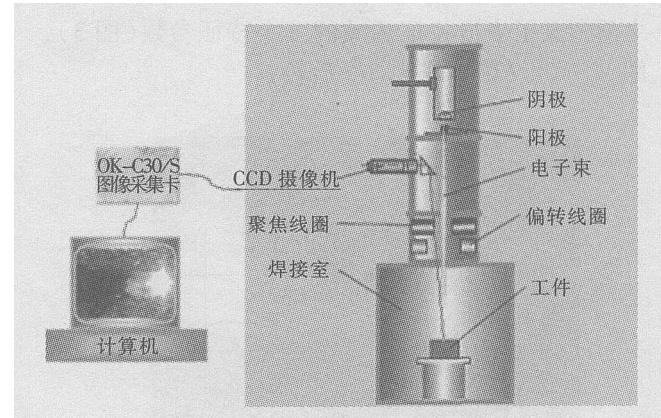


图 1 图像传感系统示意图

Fig. 1 Schematic of image sensing system

合金焊接过程图像的拍摄比较困难^[3,4]; 而电子束焊接过程中由于“匙孔”的存在, 使其具有比较特殊的图像传感环境, 因此试验根据电子束焊接过程的特点, 成功地拍摄了铝合金电子束焊接过程图像, 拍摄所用的照明光源主要基于以下两方面, 电子束焊机在工作过程中, 电子束源是炽热的阴极, 利用炽热的阴极作为照明光源可以观察整个焊接过程; 另外, 电子束与金属蒸气及液态金属的作用会产生很高的能量, 致使作用区域(即特征区域)的温度非常高, 这也可以作为照明光源。而熔融的液态金属(即熔池)由于温度高, 在图像中也可以被观察到。此套图像传感系统拍摄的铝合金电子束焊接过程原始图像如图 2 所示。其中白色区域就是电子束与金属蒸气及液态金属作用的特征区域, 在焊缝与特征区域之间的灰色区域即为熔融的液态熔池。

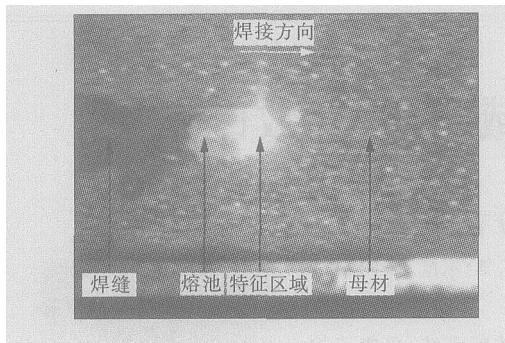


图 2 图像传感系统获得的原始图像

Fig 2 Original image with image sensing system

2 特征参数的提取

为了提取出图像特征区域参数,由图像传感系统得到的焊接过程原始图像必须经过图像处理,根据文献[4]及试验中特征区域的特点,在图像处理之前定义了表征特征区域的三个特征参数(图3),即 W (宽)、 FL (前长)、 BL (后长)。

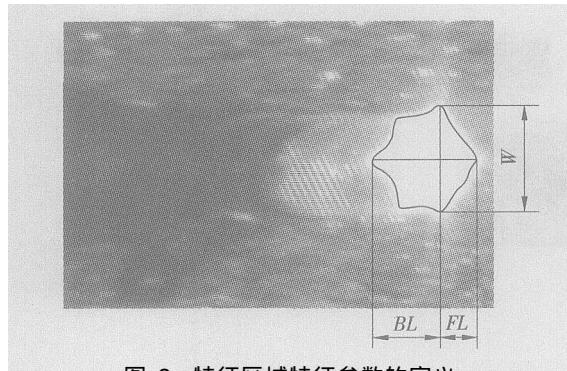


图 3 特征区域特征参数的定义

Fig 3 Definition of characteristic parameters of feature area

2.1 特征参数的初步确定

试验研究过程中发现,由于特征区域是电子束与金属蒸气及液态金属作用结果的某种表现,当这种作用剧烈时,向后运动的液态金属仍然保持着较高的温度,这种高温的液态金属在图像中的表现就是图像灰度值非常高。另外,实际中的特征区域是三维立体的,具有一定高度,而熔融的液态金属的表面如同镜面,当这种如同镜面的液态金属表面和特征区域形成一定角度时,会对特征区域产生某种程度的反射。以上两个因素在图像中的表现则是特征区域后半部分变化剧烈,及灰度值低的区域的边界变化复杂,这样使得预先定义的特征区域的特征参数 BL 的界限很难定义,图 4 是同一焊接过程中不同时刻的图像,从图中可以发现,特征区域的后半部

分变化比较剧烈,因而试验中暂不考虑 BL ,只对 W 和 FL 进行研究,这样初步确定两个表征特征区域的特征参数,即 W 和 FL 。

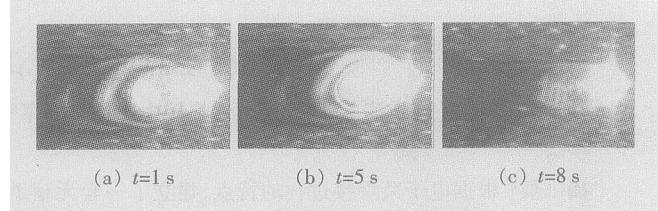


图 4 不同时刻的焊接过程图像

Fig 4 Images of welding process in different time

2.2 图像预处理

为了提高后期图像处理的速度,在提取特征参数之前,对图像进行了预处理。

(1) 区域分割。由于原始图像区域比较大,为了减少后期处理的工作量,首先对原始图像中有用的区域进行了分割,分割出感兴趣的区域进行后续处理。

(2) 尺寸标定。尺寸标定就是将拍摄得到的图像上的尺寸换算成实际物体的尺寸。试验中拍摄的焊接过程正面图像沿着电子束轴向,图像不存在几何上的畸变,因而只需计算出图像尺寸与实际物体尺寸的比例关系即可。经分析得到图像尺寸与实际物体尺寸的比例系数是 0.0257 mm/pixel,即图像坐标系中每像素距代表实际物体尺寸为 0.0257 mm。

2.3 特征参数的提取过程

试验中所用的提取特征区域特征参数的具体算法如下。

(1) 中值滤波。在原始图像的拍摄过程中,原始图像中会掺杂噪声,为了得到高质量的图像,方便后续处理,对原始图像进行了中值滤波,滤波后的图像见图 5b。

(2) 增强对比度。在提取特征区域轮廓之前,对特征区域进行了对比度的增强,目的是突出特征区域,更好地进行轮廓的提取,其结果见图 5c。

(3) 提取轮廓。利用 canny 算子进行边缘检测,提取出特征区域的轮廓,检测出的轮廓见图 5d。

(4) 叠加。将原始图像与提取的轮廓叠加,以此来检验轮廓提取的效果,叠加后的图像见图 5e。

(5) 提取特征参数。依据预先定义的特征参数,进行了特征参数的提取,提取结果见图 5f。

单一图像处理的过程如图 5 所示,其中图 5a 是进行区域分割以后的原始图像。对于整个焊接过程所拍摄的所有图像的特征参数的提取,依照上述算法进行相同处理即可。

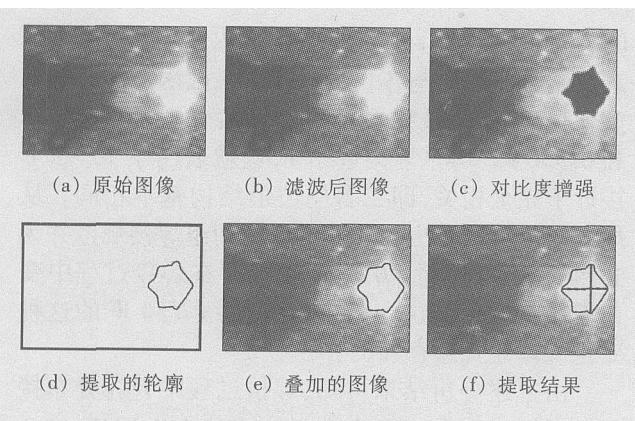


图 5 图像处理过程

Fig. 5 Procedure of processing image

3 试验结果与讨论

利用提取特征参数的算法,对整个焊接过程的图像进行了特征区域的特征参数的提取,将提取的结果进行绘图分析,图 6a 是提取的整个焊接过程 W 的原始数据,其中 L 是焊缝长度。为了从这些数据点中得到有用的信息,对数据点连成的曲线进行了低通滤波,滤波结果即图 6b 中的平滑曲线。后续分析主要是针对滤波以后的平滑曲线进行。

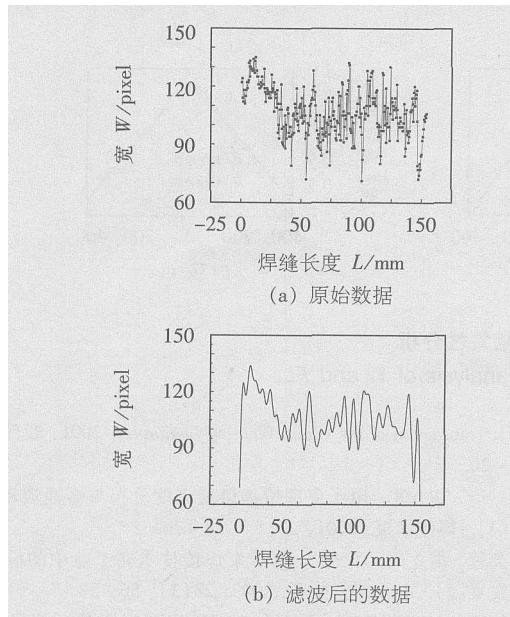


图 6 数据分析
Fig. 6 Data analysis

对 FL 也进行了类似于 W 的数据分析。图 7 是将 W 和 FL 滤波以后的曲线绘制在一起的结果。图 7 对应的焊接规范参数为加速电压 $U=55$ kV, 电子束流 $I_b=90$ mA, 聚焦电流 $I_f=2.565$ mA, 焊接速度 $v=720$ mm/min, 工作距离 $d=120$ mm。图 7 中曲线 a 是 W , 曲线 b 是 FL 。从图中可以发现 W 曲线和 FL 曲线非常相似。为了证明这种相似性,作者做了两方面工作。

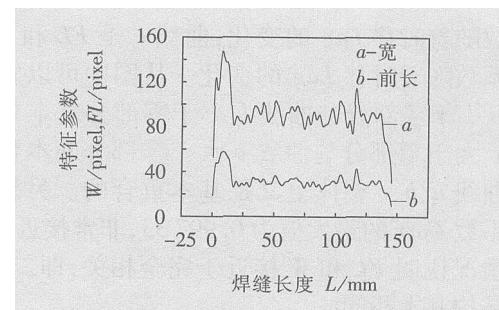
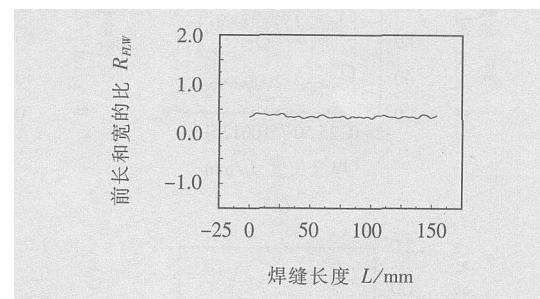


图 7 整个焊接过程的特征参数分布

Fig. 7 Distribution of characteristic parameters in welding process

首先,分析了 FL 和 W 的比值 R_{FLW} ,整个焊接过程 R_{FLW} 分布曲线如图 8 所示。从图中可以发现,整个焊接过程的 R_{FLW} 分布曲线接近于直线,即 FL 和 W 的比值 R_{FLW} 接近于恒定,也就是在同一个焊接过程中 FL 和 W 的变化规律基本相同。这说明焊接过程中特征区域的前半部分是以形状相似的近似半椭圆进行变化的。

图 8 整个焊接过程的 R_{FLW} 分布Fig. 8 Distribution curve of R_{FLW} in welding process

为了更进一步地证实这种相似性,对 FL 和 W 进行了相关性分析。

信号相关性是波形相似性的度量^[5,6]。一般用相关系数来表示相关性的程度,相关系数绝对值的最大值越接近于 1 相关性程度就越高。另外,两信号之间的互相关系数函数越接近于单一信号的自相关系数函数,两信号的波形就越相似。其中自相关系数函数是偶函数,互相关系数函数是非偶函数。

图 9 是 FL 和 W 的相关系数函数曲线,其中 $Corr$ 是相关系数。曲线 a 、 b 分别是 W 和 FL 的自相

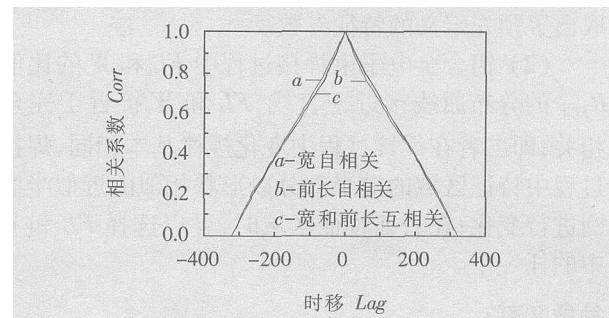


图 9 宽和前长的相关性分析

Fig. 9 Correlation analysis of W and FL

关系数随着时移 Lag 的变化; 曲线 c 是 FL 和 W 互相关系数随着时移 Lag 的变化。从图中可以发现, 曲线 c 小于零部分与曲线 b 小于零部分基本重合, 曲线 c 大于零部分与曲线 a 大于零部分基本重合, 而且曲线 a, b, c 整体上又是基本重合的。另外, 互相关系数 $Corr$ 的最大值为 0.99733 非常接近于 1。上述情况说明 FL 和 W 接近于完全相关, 即二者的波形结构基本相同。

图 10 是另外两组不同焊接规范时的 FL 和 W 数据曲线(图 10a, b)、对应的比值 R_{FLW} 分布图(图 10c, d)和相关系数函数曲线(图 10e, f)。其中图 10a, b, e 对应的焊接规范参数为 $U=55$ kV, $I_b=85$ mA, $I_f=2565$ mA, $v=660$ mm/min, $d=120$ mm, $L=120$ mm。其中图 10b, d, f 对应的焊接规范参数为 $U=55$ kV, $I_b=75$ mA, $d_f=2565$ mA, $v=540$ mm/min, $L=120$ mm。

同样从图 10 中可以发现, 两组不同焊接规范时

的 FL 和 W 的 R_{FLW} 分布曲线都接近于直线; 互相关系数函数曲线均与各自的自相关系数函数曲线基本重合, 且互相关系数 $Corr$ 的最大值分别是 0.99578 和 0.99695 均非常接近于 1, 这就表明了 FL 和 W 接近于完全相关, 即二者的波形结构基本相同。从焊接规范可以看出, 图 10 对应的两组焊接规范并无必然的联系, 然而 FL 和 W 仍然存在焊接过程中变化规律基本相同这一结果, 这说明 FL 和 W 的这种变化规律是普遍存在的。

由上述分析结果可知, 焊接过程中 R_{FLW} 分布接近于直线, FL 和 W 分布曲线接近于完全相关, 因此在同一焊接过程中 FL 和 W 变化规律基本相同, 焊接过程中特征区域的前半部分是以形状相似的近似半椭圆进行变化的; 且任意焊接规范时, FL 和 W 的这种变化规律仍然存在, 这样在表征特征区域前半部分时, 就可以选择 FL 和 W 中的任一个。

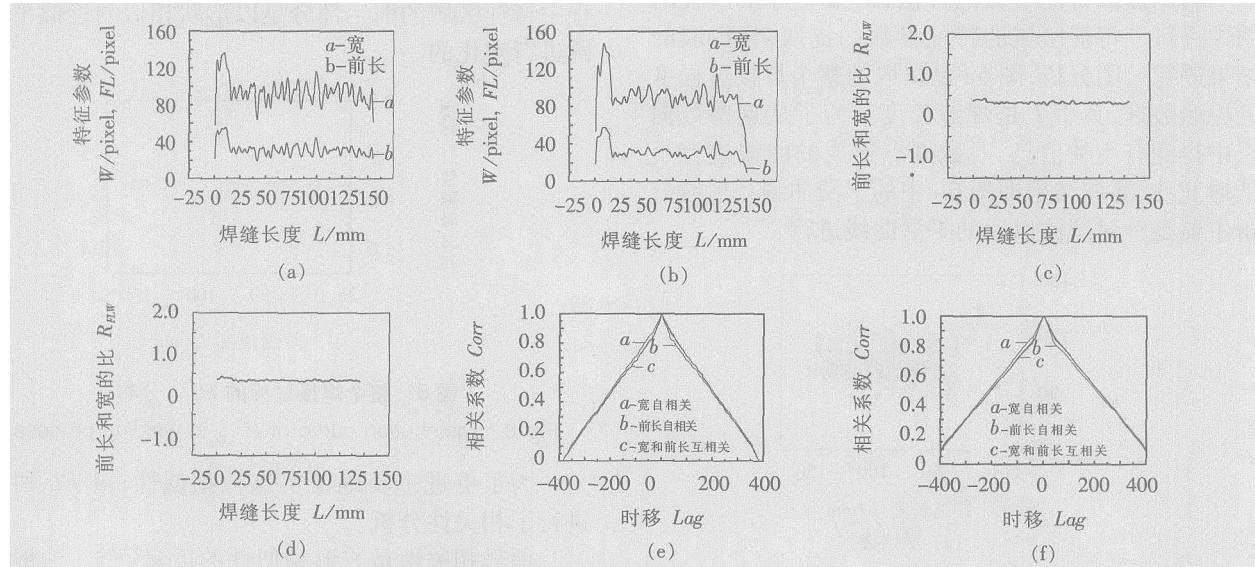


图 10 宽和前长的比值分布及相关性分析

Fig 10 Ratio distribution and correlation analysis of W and FL

4 结 论

(1) 建立了一套无辅助光源图像传感系统, 利用该系统成功采集了铝合金电子束焊接过程图像; 采用所设计的图像特征区域参数提取算法很好地提取出了预先定义的特征参数。

(2) 铝合金电子束焊接过程中 FL 和 W 的比值 R_{FLW} 的分布曲线接近于直线, FL 和 W 接近于完全相关, 即二者在焊接过程中变化规律基本相同, 焊接过程中特征区域的前半部分以形状相似的近似半椭圆进行变化; 在表征特征区域时, 可以选择 FL 和 W 中的任一个。

参考文献:

- [1] Zhou Qi, Liu Fangjun. Behaviors of electron beam density distribution and melting metal flow in electron deep penetration welding

[J]. Transaction of the China Welding Institution, 2001, 22(5): 17–20.

周琦, 刘方军. 电子束深熔焊熔质密度分布与熔池流动行为 [J]. 焊接学报, 2001, 22(5): 17–20

[2] 陈芙蓉, 霍立兴, 张玉凤. 电子束焊接技术在工业中的应用与发展 [J]. 电子工艺技术, 2002, 23(3): 56–58

[3] 王建军, 林涛, 陈善本. 铝合金 TIG 焊熔池图像的获取与处理 [J]. 机械工程学报, 2003, 39(5): 125–129.

[4] Duvall A P. Digital image correlation for determination of weld and base metal constitutive [J]. Welding Journal, 1999, 78(10): 355–360

[5] 吴正毅. 测试技术与测试信号处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1991: 220–225

[6] 李迅波. 机械工程测试技术基础 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1998: 9–15

作者简介: 吴庆生, 男, 1981 年 1 月出生, 博士研究生。主要从事电子束焊接技术的研究, 发表论文 1 篇。

E-mail: wqs765@sohu.com

p17 - 20

Abstract Surface on H13 hot die steel was cladded with Stellite X - 40 Co - based alloy using a high power carbon dioxide laser. The micro - structure, phase identification, composition distributing and performances of the cladded layer were examined using optical microscopy, scanning electron microscopy, X - ray diffraction, abrasion machine and potentiodynamic polarization technique, respectively. The results indicated that the dendrite structure was fine and homogeneity for optimum interaction time. Laser cladding efficiency improved the wear and corrosion resistance of H13 hot die steel. It had been tested in practice that the properties of hot die with laser clad were remarkably better than those of hot die of the steel H13.

key words laser cladding, hot die steel, Stellite X - 40 alloy, microstructure, wear, corrosion

Welding distortion of thin wall cone structure of aluminum alloy ZHANG Jian - qiang^{1,2}, ZHANG Hai - quan¹, YUE Hong - jie¹, LU An - li¹, LI De - cheng³(1 Tsinghua University, Beijing 100084 China; 2 Wuhan University, Wuhan 430072 China; 3 The Capital Aerospace Mechanical Corporation, Beijing 100076 China). p21 - 24

Abstract The welding distortion and changing law of aluminum thin wall cone were investigated by means of model test, automatic pulse tungsten inert gas welding. The results showed that the welding distortion was mainly deflection deformation and change of circumference. The maximum deflection of cone structure welded with argon shield was smaller than that welded with argon and helium mixture. The deflection was analyzed with resolving method, the influence of the welding process on deflection was proposed, and the verification data had been provided for numerical simulation of thin wall cone structure. Moreover, the experimental basis had been provided for reduction and controlling of welding distortion.

Key words aluminum alloy, thin wall cone, welding distortion, pulse tungsten inert gas welding

Determination of characteristic parameters of feature zone in electron beam welding of aluminum alloy WU Qigang - sheng, HE Jing - shan, FENG Ji - cai(National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p25 - 28

Abstract An image sensing system without auxiliary light was established according to the characteristic of electron beam welding. Images during the electron beam welding of an aluminum alloy were acquired with the image - processing algorithm designed. The original characteristic parameters of the feature zone defined previously were extracted. Then the distribution curves of the characteristic parameters the front half of the length (FL) and the width (W) were obtained by low - pass filtering. It showed that the variation of FL was the same as that of W by calculating the ratio of FL to W and carrying out the correlation analysis was of FL and W. Either FL or W was alternatively determined to describe the front half of the feature zone.

Key words electron beam welding, characteristic parameters, feature zone, image sensing, aluminum alloy

Microstructure and strength of SiC/Nb joint with Cu based brazing filler metal LU Hong, KANG Zhi - jun, CHU Jian - xin, ZHANG Xi - ao - yong, WANG Lin - shan(General Research Institute for Nonferrous Metal, Beijing 100088, China). p29 - 31

Abstract SiC ceramic was bonded to Nb alloy using Cu based brazing filler metal at temperatures from 1045°C to 1101°C for 300 s in vacuum. The microstructure and high temperature strength of the joint were investigated. The high temperature strength of the joint increased with the increasing of brazing temperature. The diffusion layer which consists of Cu and C solid solution could be observed by scanning electron microscope. The diffusion layer could relieve the stress which had been produced during cooling. The three point bending strength of the joint can get to 290 MPa at 500°C.

Key words SiC ceramic, Cu based brazing filler metal, brazing, joining strength, Nb alloy

Numerical study on engineering estimate method of fracture resistance of welded joints ZHANG Min, MA Bo, ZHOU Yong - xin(School of Material Science and Engineering, Xidian University of Tech - nology, Xidian 710048, China). p32 - 36, 40

Abstract Considering the welded joints which are made up of power hardening materials, the load - displacement curves of welded joints of different mismatched strength and geometrical dimensions in plane strain were discussed by finite element method. And then the fracture properties of each mismatched welded joint was analyzed using the COB - pliance - changing - rate method. In the end, the engineering estimate method of the fracture factors and toughness of welded joints was realized through curve simulations.

Key words welded joints, fracture toughness, compliance - changing - rate method, finite element method

Study on nickel - based composite powders by plasma - arc surfacing DONG Li - hong^{1,2}, XU Bin - shi¹, ZHU Sheng¹, DU Ze - yu³(1 National - al Key Laboratory for Remanufacturing, The Armored Force Engineering Institute, Beijing 100072, China; 2 Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 3 School of Material Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China). p37 - 40

Abstract Nickel - based composite alloy powders were deposited on the surface of Q235 steel by plasma - arc surfacing. Optimal proportions of elements intensifying the composite powders were ascertained by orthogonal design of three factors and three levels and orthogonal polynomial regression analysis, which were 10% Cr, 4% Mn, and 7% W respectively. Phase and structure of deposited materials were characterized using optical microscope and X - ray diffraction. Hardness tests and wear resistance tests were utilized to understand the performance of the deposited layers. The result showed that the microstructure of deposited layers of composite powders mainly consisted of γ -