

电子束表面合金化研究进展

张秉刚, 赵 健, 冯吉才

(哈尔滨工业大学 先进焊接与连接国家重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘 要: 阐述了电子束表面合金化的基本原理及国内外电子束合金化设备的应用和发展. 介绍了强流脉冲电子束表面合金化作为一种新型表面合金化方法在研究领域的应用,并综述了近年来电子束表面合金化研究的发展动态,简述了国内外相关领域的主要研究成果及取得的进展. 对电子束表面合金化技术做出了展望,指出合金层的定量控制,电子束与表层金属间的热力耦合行为,合金层缺陷的防止及控制,先进的电子束合金化工艺等方面的研究将成为该领域的研究热点. 电子束表面合金化作为一种极具优势的高能束表面改性方法将占居无法替代的地位.

关键词: 电子束焊接; 电子束表面合金化; 表面改性

中图分类号: TG40

文献标识码: A

文章编号: 0253-360X(2011)11-0108-05



张秉刚

0 序 言

材料表面改性通过改变材料表面组织或成分达到提高材料性能的目的,主要包括表面涂层,化学热处理和镀层等方法利用高能量密度进行表面改性,具有节约能源、防止环境污染、提高生产率及提高产品质量等优点,所以各工业发达国家都深入地开展了这方面的研究. 表面合金化作为表面改性的一种方法,它具有提高材料表面硬度、耐磨性及耐腐蚀性,防止材料热疲劳,提高使用寿命等优点而被广泛的研究和使用^[1]. 目前激光表面合金化已经取得了一定的进展^[2-5],但其存在能量利用率低、能量透入深度小及设备运转成本高等不足. 而离子注入虽可进行表面合金化,但其需要时间较长. 而电子束表面合金化能在极短的时间内达到离子注入几小时甚至几十小时的效果^[6]. 电子束焊接具有功率密度大、焊缝深宽比大、焊接速度快、焊缝冷却速度快、热影响区小、焊缝成形性好、焊接过程易于控制及真空保护等优点^[7]. 近年来电子束表面合金化方法更以其能量利用率高、焊接速度快、能量透入深度大、束流偏转灵活、对焦方便和保护效果好而被广泛应用于工业与科研领域中. 因此全面、系统地把握国内外电子束合金化的研究现状,明确电子束合金化的发展方向将对拓展电子束热作用领域、凝练相关科研工作方向具有重大的指导意义.

1 电子束表面合金化原理及设备

高能束表面合金化是近些年来发展起来的技术^[8]. 电子束表面合金化是提高电子束功率使材料表层熔化,并在熔池中加入新的合金元素的方法. 其原理是电子束发射的入射电子通过碰撞将能量立即以热能形式传给点阵原子,入射电子的能量以极快的速度沉积在材料表面,使材料表层迅速熔化,当电子束离开之后,表层又迅速凝固的过程. 图1为电子束表面合金化原理示意图.

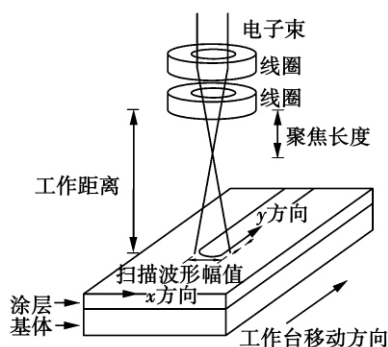


图1 电子束表面合金化原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of electron beam surface alloying

电子束表面改性设备的研究对电子束表面改性质量控制与材料表面性能改进具有重要意义. 由于改性机理不同,材料表面合金化更多的采用了脉冲

电子束. 强流脉冲电子束可作为电子束表面改性的电子束发生装置,其主要特点是,能在真空条件下把表面层在微秒级脉冲下瞬时加热到高温,同时靠金属基体的良好导热性实现快速冷却,并且脉冲电子束在基体表面还会产生冲击波及冲击振动效应^[9]. 因此依靠强流脉冲电子束可以得到普通表面处理手段无法获得的表面性能^[10].

在电子束表面改性技术研究的三十多年中,设备也经历了更新和换代,目前德国、俄罗斯等国应用较多的是由俄罗斯学者 Engelko 等人^[11]提出的用于表面改性的电子束设备 (gepulste elektronen strahl anlage, GESA),其包括 GESA-I 与 GESA-II 两种电子束设备, GESA 设备具有脉冲间隔控制单元,有利于束流参数的调节和严格控制束流能量均匀性,多点式发射阴极使其具有大面积电子束处理功能;高压发生器可以使电子束斑具有很好的均匀性;而中国主要应用的设备大多由国外进口,如用俄产 Nadezhda-2 型强流脉冲电子束源、法国 TECHMETA 公司生产的 6 kW 脉冲电子束焊机 etc.

2 电子束表面合金化研究现状

电子束表面合金化技术从产生至今,一直在不断的改进和完善,作为材料表面改性的一个强有力的工具,国内外的相关领域对其进行了大量而深入的研究.

2.1 国外研究进展

电子束表面合金化技术在国外研究范围广泛而深入,目前仍有大幅增长的趋势,主要集中在欧洲、北美及亚洲. 研究内容主要包括以下几个方面.

2.1.1 电子束表面合金化工艺及强化机理研究

Rotshtein 等人^[12]利用脉冲电子束合金化方法在不锈钢 316 表面制备了 Cu/SS 316 合金层,电子束功率密度在 2.8 ~ 8.4 J/cm² 范围内,界面处反应扩散层厚度约为 120 ~ 170 nm,由亚晶 γ -Fe 固溶体及纳米晶铜颗粒组成. 在功率密度为 4.3 ~ 6.3 J/cm² 范围内,合金层获得最大纳米硬度与耐磨性. 增大脉冲频率会导致铜溶入基体形成 2 μ m 厚的过渡合金层,冷却过程中,铜以纳米晶从 γ -Fe 固溶体中析出,停留在晶界上,从而导致合金层硬度提高. Ivanova 等人^[13]通过对 WC-TiC-Co 硬质合金刀具进行强流脉冲电子束表面处理发现,在相界面处形成了亚晶结构,并伴随着 WC 的同素异形转变,因此提高了硬质合金刀具的耐磨性. Dong 等人^[14]利用强流脉冲电子束合金化在铝表面制备碳合金层、D2 钢表面制备铬、钛和 TiN 合金层,合金层抗磨损性能与

抗剪强度均得到提高.

2.1.2 电子束表面合金化层相组成控制的研究

Pogrebnjak 等人^[15]利用强流电子束合金化获得 Mo/Fe 系合金层,其产物为非平衡亚稳相 Fe₄Mo (Fe₈₀Mo₂₀) 和 Fe₉₆Mo₄ 组成. 而 Ta/Fe 系合金层厚度约为 100 nm,由平衡相 Fe₂Ta 和 FeTa 及非平衡相 Fe₅Ta₂ 组成.

2.1.3 电子束表面合金化制备金属基复合涂层的研究

Marginean 等人^[16]利用电子束合金化方法在 Inconel 617 镍基合金表面制备 WC-Co/Inconel 617 合金层,试样截面出现树枝状富钨区,合金层主要为 Cr₉Mo₂₁Ni₂₀ 相,合金层显微硬度得到了提高,且耐海水腐蚀性能优于母材. Mueller 等人^[17]利用强流脉冲电子束在 OPTIFER IV_C 钢表面制备了铝合金层,研究表明,合金层在铅液中没有明显变化,说明熔覆层能有效的阻止母料氧化. 如图 2 所示,在温度为 500 $^{\circ}$ C 浸泡 1 500 h 条件下,铅液中垂直于合金层方向上, O 元素并未穿过合金层(图 3),母材成分并未发生变化,说明了合金层的存在使材料在铅液中的抗氧化性显著增强. 图4给出了熔覆铝合金层

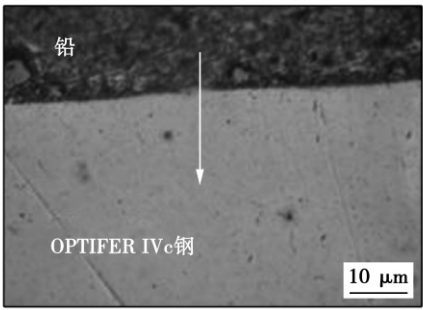


图 2 OPTIFER IV_C 钢熔覆铝合金在铅液中截面形貌
Fig. 2 SEM of cross-section of OPTIFER IV_C specimen alloyed with Al

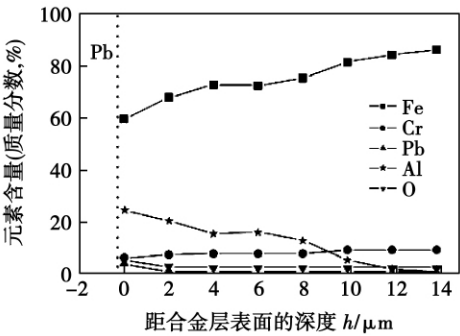


图 3 铅液中垂直合金层元素分布曲线
Fig. 3 EDX concentration profiles through alloyed surface layer

与未熔覆铝层材料在铅液中氧化速率。

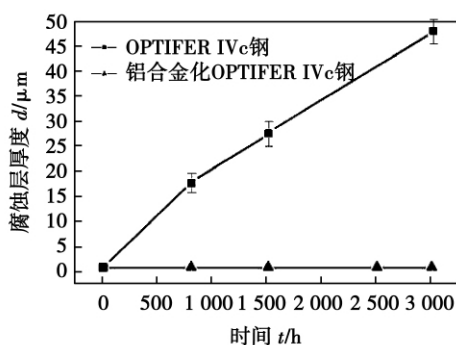


图 4 OPTIFER IV_c 钢表面熔覆铝合金层与未熔覆铝合金层母料在铅液中氧化速率

Fig. 4 Oxidation rate of alloyed and unalloyed OPTIFER IV_c during exposure to liquid lead

2.1.4 电子束表面合金化缺陷的研究

TiC 涂层电子束熔覆研究表明,由于涂层熔化不完全及粉料聚集导致涂层中有气孔产生,在 TiC 粉料中添加助熔剂,有利于提高重熔层组织均匀性,减少气孔^[18]. Rotshtein 等人^[19]利用低能强流脉冲电子束在钛表面制备铝合金层,厚度大于 3 μm,由纳米 TiAl/Ti₃Al 晶组成,但在 TiAl 处出现裂纹。

2.2 国内研究进展

国内电子束表面合金化技术起步较国外工业发达国家晚,这方面的研究尚处于起步阶段。目前国内研究内容主要涉及以下几个方面。

2.2.1 电子束表面合金化对材料表面力学性能提高的研究

吴爱民^[20]对 D2 模具钢进行铬和 TiN 的电子束合金化,研究发现,两种合金化层的抗微动磨损性能均显著提高,TiN/D2 合金化层提高较大,约为母材 3 倍。陈迎春等人^[21]通过使用高能量密度电子束高速扫描预置硅粉的 TiAl 合金表面,“原位”制得了以高硬度金属间化合物 Ti₅Si₃ 为增强相,以 TiAl, Ti₃Al 为基体的复合金表面改性层,改性层显微硬度显著提高,约为基体的 2~3 倍。陆斌锋等人^[22]通过电子束表面合金化在低合金钢表面合成碳化铬层,表面复合层耐磨性显著提高。芦凤桂等人^[23]利用电子束合金化在低碳钢表面原位制备碳化物,试样表面硬度及耐磨性得到了提高。

2.2.2 电子束表面合金化过程中组织形成控制的研究

Zr-4 电子束焊接,在焊缝中添加 Nb 元素,补偿因电子束加热导致的合金元素烧损,最佳的 Nb 元素含量在 0.25% 左右,并且最好对焊接后的样品在

500~600 °C 进行退火,使 β-Zr 分解为稳定的 α-Zr + β-Nb^[24,25]。

2.2.3 电子束表面合金化制备合金层耐腐蚀性的研究

如高波^[26]对纯镁强流脉冲电子束表面合金化铝后,表面形成富铝氧化膜,样品维钝电流减少两个数量级以上,抗腐蚀性显著提高。张可敏等人^[27]利用强流脉冲电子束对不锈钢表面进行了快速钛合金化,研究表明,基体表层耐腐蚀性能获得了显著的提高。赵铁钧等人^[28]利用电子束表面合金化对纯镁进行表面合金化铝,显微硬度及耐腐蚀性得到显著提高。

2.2.4 强流脉冲电子束表面改性的物理模型及数值模拟研究

秦颖等人^[29]推导出了强流脉冲电子束处理过程的应力场方程,利用数值模拟,得到了温度场和应力场的分布曲线。安健等人^[30]在电子束表面改性基础上,通过数值模拟方法对 Al-Si-Pb 合金的温度场及应力场进行了模拟,揭示了表面熔坑的形成机制及剖面硬度的分布特征。秦颖等人^[31]对电子束作用下的铝和钢温度场及熔化过程进行模拟,揭示了亚表层率先升温及熔化从而通过表层向外喷发的熔坑的形成机制。

3 展 望

早在 20 世纪 70 年代,Rotshtein 等人就对电子束与材料表面的相互作用机理进行了研究。近些年来,世界主要工业发达国家,如美国、俄罗斯、日本、法国、德国等均对电子束表面合金化技术进行了研究;国内一些科研单位也深入开展了该领域的研究,如哈尔滨工业大学、兰州空间技术物理研究所、大连理工大学等。从目前国内外研究现状来看,电子束表面合金化技术在理论及实践方面已经取得了一定的进展及研究成果。如在电子束合金化表面性能的提高、工艺参数的研究、合金层组织及缺陷的控制、温度场和应力场物理模型的建立、数值模拟等方面都已有所突破。但无论在国内还是国外,对电子束合金化的研究仍然局限在对不同基体表面制备不同合金层,并对合金层组织及性能进行分析与判定上。而对电子束表面合金化过程中的传热、传质、相变热物理过程及与材料行为耦合机制的研究少见报道。

电子束表面合金化主要的特征就是提高材料表面性能,如耐磨性、硬度和耐腐蚀,并获得理想的合金层组织,依据学科走向与未来工业发展需求,有必要在以下几方面进一步开展电子束表面合金化的研

究工作。

(1) 合金化层定量控制. 实现从分析合金层性能的提高到对合金层尺寸及性能等指标进行定量控制的转变。

(2) 电子束与表层金属热力耦合机理. 电子束合金化机理的研究有待深入,揭示电子束与表层金属的热力耦合规律,可为合金化过程控制与工艺优化提供理论依据。

(3) 合金化质量的信息化控制. 电子束表面合金化过程是一个复杂的热物理过程,工艺参数并不是唯一的影响因素,因此,建立信息采集和计算机反馈系统,实现电子束合金化的质量监测与实时控制,可进一步推动电子束合金化在工业领域的应用。

(4) 提高合金化效率. 目前,电子束表面合金化技术大多采用预置方法,过程繁琐,而且成本较高,若采用电子束送丝的方法进行合金化,将会极大的提高生产效率,而且进行表面修复时方便操作。

4 结束语

综上所述,电子束表面合金化技术作为近年来发展起来的新技术,相对其它表面改性方法具有独特的优势,几乎可应用于所有金属材料,使其成为材料表面改性的强有力工具。

目前国内外开展电子束合金化焊接技术的研究日益加深,并已经取得了较大的进展及研究成果.可预见的是,如何定量控制合金层、阐明电子束与表层金属间的热力作用行为、先进的电子束合金化工艺等方面的研究将成为电子束合金化领域的研究热点。

参考文献:

- [1] Dobrzański L A, Polok A, Jonda E, *et al.* Structure and properties of surface layers obtained by alloying of the hot work tool steels [J]. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2006, 17: 329 – 332.
- [2] 刘秀波, 于利根, 王华明. γ -TiAl 金属间化合物合金激光表面合金化改性 [J]. *稀有金属材料与工程*, 2001, 30(3): 224 – 227.
Liu Xiubo, Yu Ligen, Wang Huaming. Microstructure and properties of laser surface alloyed γ -NiCrAl/TiC/Cr₇C₃ composite coatings on γ -TiAl intermetallic alloy [J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2001, 30(3): 224 – 22.
- [3] 刘常升, 陈岁元, 尚丽娟, 等. γ -TiAl 合金激光表面气相氮化层的组织与性能 [J]. *中国激光 A*, 2002, 29(3): 277 – 280.
Liu Changsheng, Chen Suiyuan, Shang Lijuan, *et al.* Microstructure and property of laser gas Nitriding on γ -TiAl alloy [J]. *Chinese Journal of Lasers A*, 2002, 29(3): 277 – 280.
- [4] 刘秀波, 于利根, 王华明, 等. TiAl 合金激光表面合金化涂层的组织与耐磨性 [J]. *中国有色金属学报*, 2000, 10(6): 785 – 789.
Liu Xiubo, Yu Ligen, Wang Huaming, *et al.* Microstructures and wear resistance of laser surface alloyed composite coatings TiAl alloy [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2000, 10(6): 785 – 789.
- [5] 何秀丽, 王华明. 工艺参数对 TiAl 合金激光表面合金化改性层组织与耐磨性的影响 [J]. *中国有色金属学报*, 2000, 10(6): 790 – 795.
He Xiuli, Wang Huaming. Effects of processing parameters on microstructure and wear resistance of laser surface alloyed layer on TiAl alloy [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2000, 10(6): 790 – 795.
- [6] 唐传芳, 刘德宝, 单俊芝, 等. 电子束表面淬火和表面合金化的研究 [J]. *金属热处理*, 1979(12): 15 – 22.
Tang Chuanfang, Liu Debao, Shan Junzhi, *et al.* Research on electron beam surface hardening and surface alloying [J]. *Heat Treatment of Metals*, 1979(12): 15 – 22.
- [7] 张秉刚, 吴 林, 冯吉才, 等. 国内外电子束焊接技术研究现状 [J]. *焊接*, 2004(2): 5 – 8.
Zhang Binggang, Wu Lin, Feng Jicai, *et al.* Development status of EBW technology both at home and abroad [J]. *Welding & Joining*, 2004(2): 5 – 8.
- [8] Dutta Majumdar J, Weisheit A, Mordike B L, *et al.* Laser surface alloying of Ti with Si, Al and Si + Al for an improved oxidation resistance [J]. *Materials Science and Engineering A*, 1999, 266(1/2): 123 – 124.
- [9] 邹建新, 吴爱民, 刘振民, 等. H13 钢电弧沉积铝膜及强流脉冲电子束后处理的复合改性研究 [J]. *真空科学与技术*, 2003, 23(2): 91 – 95.
Zou Jianxin, Wu Aimin, Liu Zhenmin, *et al.* Surface modification of H13 steel by acr deposition of Al film and high current pulsed electron bombardment [J]. *Vacuum Science and Technology*, 2003, 23(2): 91 – 95.
- [10] Proskurovsky D I, Rotshtein V P, Ozur G E, *et al.* Physical foundations for surface treatment of materials with low energy, high current electron beam [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2000, 125(1/3): 49 – 56.
- [11] Engelko V, Yatsenko B, Mueller G, *et al.* Pulsed electron beam facility (GESA) for surface treatment of materials [J]. *Vacuum*, 2001, 62(2/3): 211 – 216.
- [12] Rotshtein V P, Ivanov Y F, Markov A B, *et al.* Surface alloying of stainless steel 316 with copper using pulsed electron-beam melting of film-substrate system [J]. *Surface & Coatings Technology*, 2006, 200(22/23): 6378 – 6383.
- [13] Ivanova Y F, Rotshteina V P. Pulsed electron-beam treatment of WC-TiC-Co hard-alloy cutting tools: wear resistance and microstructural evolution [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2000, 125(1/3): 251 – 256.
- [14] Dong C, Wu A, Hao S, *et al.* Surface treatment by high current pulsed electron beam [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2003, 163/164(313): 620 – 624.
- [15] Pogrebnjak A D, Bratushka S, Boyko V I, *et al.* A review of

- mixing process in Ta/Fe and Mo/Fe systems treated by high current electron beams [J]. Nuclear Instrument and Method in Physics Research B, 1998, 145(3): 373–390.
- [16] Marginean G, Utu D. Microstructure refinement and alloying of WC-Co Cr coatings by electron beam treatment [J]. Surface & Coatings Technology, 2010, 205(7): 1985–1989.
- [17] Mueller G, Engelko V, Weisenburger A, *et al.* Surface alloying by pulsed intense electron beams [J]. Vacuum, 2005, 77(4): 469–474.
- [18] Jongmin Lee, Kwangjun Euh, Jun Cheol oH, *et al.* Microstructure and hardness improvement of TiC/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation [J]. Materials Science and Engineering A, 2002, 323(1/2): 251–259.
- [19] Rotshtein V P, Shulov V A. Surface modification and alloying of aluminum and titanium alloys with low-energy, high-current electron beams [J]. Journal of Metallurgy, 2011, 673/685: 1–15.
- [20] 吴爱民. 模具钢电子束表面改性及应用基础研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2002.
- [21] 陈迎春, 冯吉才. 电子束表面合金化制备 $\text{Ti}_5\text{Si}_3/\text{TiAl}$ 复相合金改性层 [J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(11): 1839–1843.
- Chen Yingchun, Feng Jicai. Electron beam surface alloying of γ -TiAl intermetallic alloy for $\text{Ti}_5\text{Si}_3/\text{TiAl}$ composite coatings [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2004, 14(11): 1839–1843.
- [22] 陆斌锋, 芦凤桂, 唐新华, 等. 电子束表面合金化合成 M_7C_3 耐磨层组织分析 [J]. 焊接学报, 2008, 29(9): 83–86.
- Lu Binfeng, Lu Fenggui, Tang Xinhua, *et al.* In-situ synthesis of chromium carbide coating by VEB [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2008, 29(9): 83–86.
- [23] 芦凤桂, 陆斌锋, 唐新华, 等. 真空电子束原位合成碳化物技术 [J]. 焊接学报, 2007, 28(6): 34–36.
- Lu Fenggui, Lu Binfeng, Tang Xinhua, *et al.* Chromium carbide in situ synthesis by vacuum electron beam [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2007, 28(6): 34–36.
- [24] 姚美意, 李 强, 周邦新, 等. 热处理对含 Nb 钎合金焊接试样显微组织和耐腐蚀性能的影响 [J]. 核动力工程, 2004, 25(2): 147–151.
- Yao Meiyi, Li Qiang, Zhou Bangxin, *et al.* Effect of heat treatment on the microstructure and corrosion resistance of Zirconium alloys with Nb welding samples [J]. Nuclear Power Engineering, 2004, 25(2): 147–151.
- [25] 周邦新, 李 强, 苗 志, 等. 真空电子束焊接对钎合金耐腐蚀性能的影响 [J]. 核动力工程, 2003, 24(3): 236–240.
- Zhou Bangxin, Li Qiang, Miao Zhi, *et al.* Effect of vacuum electron beam welding on corrosion resistance of Zirconium alloys [J]. Nuclear Power Engineering, 2003, 24(3): 236–240.
- [26] 高 波. 纯镁及镁合金强流脉冲电子束表面改性 [D]. 大连: 大连理工大学, 2005.
- [27] 张可敏, 邹建新, 杨大智, 等. 316L 不锈钢强流脉冲电子束表面钛合金化及其耐蚀性 [J]. 材料热处理学报, 2006, 27(5): 108–113.
- Zhang Kemin, Zou Jianxin, Yang Dazhi, *et al.* Enhancing corrosion resistance of AISI 316L steel surface alloyed with Ti by high current pulsed electron beam [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2006, 27(5): 108–113.
- [28] 赵铁钧, 高 波, 田小梅, 等. 纯镁强流脉冲电子束表面改性及合金化研究 [J]. 真空科学与技术学报, 2008, 28(1): 11–15.
- Zhao Tiejun, Gao Bo, Tian Xiaomei, *et al.* Modification and alloying of high purity Magnesium surface with high current pulsed electron beam [J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2008, 28(1): 11–15.
- [29] 秦 颖, 吴爱民, 邹建新, 等. 强流脉冲电子束表面改性的物理模型及数值模拟 [J]. 强激光与粒子束, 2003, 15(7): 701–704.
- Qin Ying, Wu Aimin, Zou Jianxin, *et al.* Physical model and numerical simulation of intense pulsed electron beam surface modification [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2003, 15(7): 701–704.
- [30] 安 健, 李世龙, 曹占义, 等. Al-Si-Pb 合金强流脉冲电子束表面改性过程的数值模拟分析 [J]. 稀有金属材料与工程, 2007, 36(7): 1140–1144.
- An Jian, Li Shilong, Cao zhanyi, *et al.* Numerical simulation of surface modification process by high current pulsed electron beam for Al-Si-Pb alloy [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2007, 36(7): 1140–1144.
- [31] 秦 颖, 王晓钢, 董 闯, 等. 强流脉冲电子束诱发温度场及表面熔坑的形成 [J]. 物理学报, 2003, 52(12): 3043–3048.
- Qin Ying, Wang Xiaogang, Dong Chuang, *et al.* Temperature field and formation of crater on the surface induced by high current pulsed electron beam bombardment [J]. Acta Physica Sinica, 2003, 52(12): 3043–3048.

作者简介: 张秉刚,男,1971 年出生,博士,副教授. 主要研究方向为新材料及异种材料电子束焊接. 发表论文 40 余篇. Email: zhangbg@hit.edu.cn

heat source; sensitivity analysis; multiple regression analysis

Microstructure and performance of low matched welded joint by vibratory welding technology

LIU Zhengjun, WANG Chuao, SU Yunhai (School of Material Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China) . p 92 – 95

Abstract: In order to investigate the effect on the metallurgical structure and mechanical property of low matched high-tensile steel welded joint by vibratory welding technology, KPS-70 high-tensile steel welding wire was used as welding material in the experiment. It was welded by (80% Ar + 20% CO₂) gas shielded arc welding and was being vibrated mechanically in low frequency. The metallurgical structures and mechanical properties of welded joint with different vibratory parameters were analyzed using optical microscope, X-ray inflection, welded joint tensile test and deposited metal tensile test. The results show that the vibratory welding technology is able to improve strength and plasticity of weld metal. The size of grain of weld is refined. As the amplitude is too large, it will affect welding process parameters, which results in weld defects and deterioration of mechanical properties.

Key words: vibratory weld technology; high-tensile steel; low matched; mechanical property; metallurgical structure

Control system for anchor chain flash butt welder based on industrial PC

SU Shijie¹, GAO Lili², WANG Xinyan¹ (1. Modern Manufacturing Technology Institute, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China; 2. ZhongNan Anchor Chain Producing Co., Ltd, Zhoushan 211189, China) . p 96 – 99

Abstract: Based on the industrial PC and multifunction data acquisition device, the control system for anchor chain flash butt welder was developed using Visual Studio Net 2003 and Measurement Studio, which could control the flash butt welding process in real time, manage the welding parameters, record the welding processes and etc. A dual closed-loop control that consists of industrial PC, high-precision displacement sensor, servo valve PID motion control module and servo valve was established to realize precise control of the electrodes. In order to avoid electromagnetic jamming, the methods including opto electric isolating, software and hardware filtering have been used. The results show that this system can precisely control the welder electrodes motion, and the anchor chain welding quality is stable.

Key words: flash butt welding; anchor chain; servo control; control system

Variable parameters controlling method for auto-body multi-layered plates assembly

MEI Dongsheng, ZHANG Zhongdian, LI Dongqing, WEI Yanhong (State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China) . p 100 – 103

Abstract: The same welding parameters was after adopted to generate welding nuggets of different vehicle type, thickness and layer number in auto-body assembly process, which caused many welding defects. Aiming at the above problem, the resist-

ance spot welding monitoring system with micro control unit as its core was introduced, which could achieve the functions of data acquisition, data transmission and nugget number based welding automatic adjustment technology. Based on the analysis of process parameters, the welding technology adjustment accuracy evaluation algorithm was established, which could guarantee each welding spot obtained under appropriate welding technology. The test results indicate that the developed system is stable, accurate and appropriate for practical application.

Key words: auto-body assembly; resistance spot welding; variable parameters controlling; monitoring system

Research on two fuzzy neural networks to predict mechanical properties of welded joints

ZHANG Yongzhi^{1,2}, DONG Junhui¹ (1. College of Materials Science and Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China; 2. Inner Mongolia Electric Power Engineering Research Institute, Hohhot 010050, China) . p 104 – 107

Abstract: Due to high nonlinear, complex interaction of many factors in welding process, it was difficult to predict the mechanical properties of welded joints. In this paper the adaptive neuro-fuzzy inference system(ANFIS) and the fuzzy radial basis function network model had been established based on TC4 titanium alloy in TIG welding to predicate the mechanical properties of welded joints. The welding process parameters were regarded as the input and mechanical property as output parameters of prediction models. 27 sets of experimental data were used to train the model and another 6 sets of experimental data were used to make simulation. The results showed that two fuzzy neural network models have high prediction accuracy and can be used to predict the mechanical properties of welded joints. But in terms of the structure, training speed, stability, generalization ability and reflection of the true situations of network model, the fuzzy RBF neural network is better than adaptive neuron-fuzzy neural network.

Key words: adaptive neuro-fuzzy inference system; fuzzy RBF neural network; welding; mechanical properties; prediction

Status and development of electron beam surface alloying

ZHANG Binggang, ZHAO Jian, FENG Jicai (State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China) . p 108 – 112

Abstract: This paper states the fundamental principle of electron beam surface alloying and the development of electron beam alloying equipment, introduces the application of high current pulsed electron beam as a new method in research, summarizes the development trend of research on electron beam surface alloying in recent years, and gives a sketch of main research achievements and progress at home and abroad. Controlling alloy layer quantitatively, thermo-mechanical coupling of electron beam, surface layer defect prevention and control, surface layer and advanced technology of electron beam welding will become the hot topics in future research. Electron beam surface alloying as a highly superior method of high energy density beams surface modification will play an important role.

Key words: electron beam welding; electron beam surface alloying; surface modification