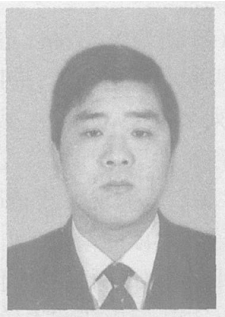


智能短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊数字控制系统

冯曰海^{1,2}, 刘 嘉², 殷树言², 王克鸿¹

(1. 南京理工大学 材料科学与工程系, 南京 210094;

2. 北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)



冯曰海

摘 要: 针对目前通用二氧化碳弧焊机在短路过渡区间焊接时存在的问题, 基于 DSP 和 MCU 的全数字控制系统平台, 从数字控制角度出发, 引入分级递阶智能控制理论, 设计并实现了二氧化碳气体保护电弧焊分级递阶智能全数字控制系统。该系统按照组织级、协调级和执行级进行构建, 有机地将专家系统、模糊控制、数字 PI 控制器结合起来。试验结果表明, 设计的智能短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊数字控制系统取得较为理想的波形控制效果, 实现了焊接过程控制的智能化, 全面提升了二氧化碳气体保护电弧焊机的性能。

关键词: 数字控制系统; 熔化极气体保护焊; 分级递阶智能控制

中图分类号: TG444 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2006)10-069-04

0 序 言

近年来随着逆变技术和数字控制技术的迅速发展和广泛应用, 形成了以逆变电源代替传统整流电源, 以数字控制代替模拟控制的局面。从国内外目前对数字化焊机的最新研究表明, 焊接电源的发展已经进入了数字控制时代, 并且已经渡过了硬件系统设计阶段, 进入软件控制系统设计阶段。软件控制系统设计阶段主要工作集中于全面认识数字控制的特点, 探讨传统焊接工艺的新控制方法, 突破传统弧焊工艺的控制思路, 提高控制系统的设计水平, 应用先进控制策略和方法, 从而全面提高焊机的整体性能。针对目前常用二氧化碳气体保护电弧焊存在的问题, 作者从全数字控制角度出发, 分析短路过渡的特点。依据短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊的焊接物理特点, 引入分级递阶智能控制理论, 设计短路过渡分级递阶智能数字控制方案, 整个数字控制系统按照组织级、协调级和执行级进行构建, 使得方案实现简单化, 控制思路清晰化, 从而使焊机性能得到全面提升^[1-3]。

1 二氧化碳气体保护电弧焊分级递阶智能数字控制系统方案

目前常用模拟控制的二氧化碳气体保护电弧

焊, 在实际应用中发现, 主要存在着不能在整个工艺参数区间实现最佳工艺效果、干伸长变化时电弧稳定性恶化以及全工艺参数区间参数的选取配置复杂等问题。针对这三个方面的主要问题, 二氧化碳气体保护电弧焊全数字控制系统构成按照“分级递阶智能控制”理论进行搭建, 整个二氧化碳气体保护电弧焊分级递阶智能数字控制系统构建示意图如图 1 所示。系统根据所要实现的控制目标, 控制系统的具体内容、控制方法和实现方式进行分类构建^[4]。

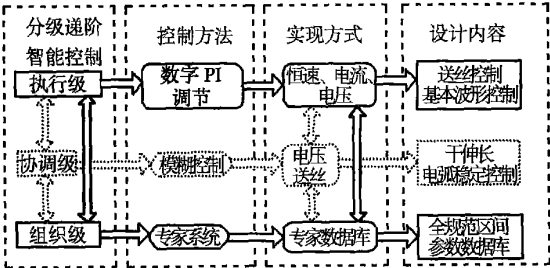


图 1 分级递阶智能数字控制系统设计框图

Fig. 1 Design schematic of hierarchical intelligent digital control system

(1) 执行级(executive level)—— 执行级是分级递阶智能控制的最底层, 执行相关过程的控制, 实现具有一定精度要求的控制任务。主要解决短路过渡波形控制的精确性问题, 主要内容包含短路过渡的短路期间和燃弧期间的电流电压波形的精确控制, 引弧和收弧精确控制。其实现方式上通过电流调节与电压调节实现底层基本波形的精确控制。作为执

收稿日期: 2006-08-03
基金项目: 江苏省青蓝工程中青年学科带头人基金; 江苏省自然科学基金资助项目(BK2006570)

行级,其控制精度要求高,控制策略上采用数字 PI 调节器,以保证控制精度的要求,实现短路过渡与燃弧波形的精确控制与调节,满足短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊熔滴过渡过程可控柔顺过渡的要求。执行级同时也要接收协调级的信号,执行送丝速度以及相关参数的精确调整。执行级作为智能数字控制系统的底层,其实现的功能体现的是现代焊接电源的精确性。

(2) 协调级(coordination level)——协调级是用来协调执行级的动作,借助于产生一个适当的子任务序列来执行指令。主要解决干伸长变化时的焊接电弧稳定性恶化和焊缝成形影响问题。如图 1 中虚线框所示,其实现方式是通过对焊接电源输出电压以及送丝速度的调节。由于协调级控制系统精度方面的要求不如执行级,因而在控制策略上采用模糊控制方法进行电压和送丝参数的调整。最终传递到执行级,通过执行级底层数字 PI 控制器的调节,实现同一初始条件下由于工况变化而对适应性提出的要求,实现电弧稳定性和焊缝成形控制。协调级作为分级递阶智能控制的中间层,其实现的功能所体现的目标是现代焊接电源的适应性。

(3) 组织级(organization level)——组织级代表控制系统的主导思想,组织级根据长期储存的数据集合,能够组织绝对动作、一般任务和规则序列,并直接干涉底层的操作。主要解决二氧化碳气体保护电弧焊全范围参数的智能配置问题。组织级的主要设计内容是针对不同的材料、工件厚度、送丝速度和焊丝直径进行全范围的数据库设计,并确定参数选取的推理规则,即工艺参数的匹配、波形参数匹配、控制器参数的切换。实现方式上是建立根据初始参数(焊丝直径,焊接材料等)进行参数选择的专家数据库。控制策略上是采用专家系统的方式,或称之为不完整的专家系统,即专家数据库。组织级作为分级递阶智能控制系统的顶层,其实现的功能所体现的目标是现代焊接电源的智能性。

在这里应该指出的是,协调级的焊丝干伸长适应性模糊控制是根据焊丝干伸长的变化需要补偿而引入的控制层级,在实际的短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊分级递阶智能控制中,该级并不是作为必需存在的一层,只有当系统中运行中检测到焊丝干伸长变化需要进行相应的补偿时,才调用协调级执行相应的操作,其信号的传递如图 1 中上下方向的双向虚线和实线箭头所示。

通过上面组织级、协调级和执行级的二氧化碳气体保护电弧焊分级递阶智能数字控制系统设计,二氧化碳气体保护电弧焊数字控制系统按照智能

性、适应性和精确性的要求,针对不同级别的智能和精度的要求,采用相应的控制策略,以实现短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊焊接过程的智能化精确控制。

2 二氧化碳气体保护电弧焊智能数字控制系统的实现设计

2.1 全数字二氧化碳气体保护电弧焊机硬件平台

智能短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊数字控制系统是基于全数字控制二氧化碳气体保护电弧焊机硬件平台来实现的,其硬件系统平台由焊接电源、MCU+DSP 全数字控制系统和送丝调速系统组成^[5,6]。全数字控制核心由单片机(C167CR)、数字信号处理器(ADSP2181)和数字 PWM 发生芯片 CPLD 构成,系统还包括面板显示、送丝控制单元及二氧化碳弧焊机控制接口电路等。其系统框图如图 2 所示。

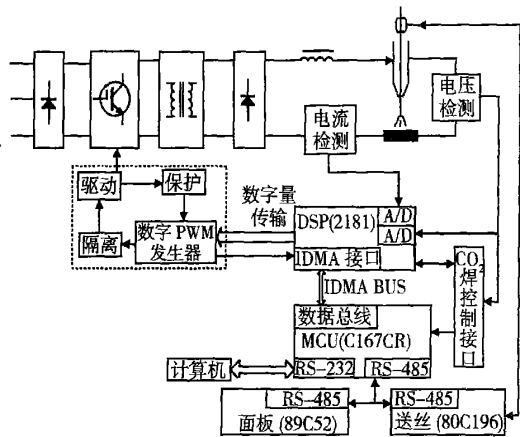


图 2 全数字二氧化碳弧焊机硬件系统框图

Fig. 2 hardware system of full digital CO₂ welding

2.2 软件实现

基于上述确定的短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊分级递阶智能数字控制方案,根据所设计的短路过渡波形控制方案,将分级递阶智能数字控制方案通过硬件系统实现,其二氧化碳气体保护电弧焊分级递阶智能数字控制系统的实现框图如图 3 所示。

该系统方案以单片机 C167CR 系统软件和信号处理器 ADSP2181 系统软件为核心。系统设计中单片机(C167CR)根据初始条件(送丝速度、工艺条件和焊丝直径),通过专家数据库来选择合适的燃弧波形控制参数(燃弧初期最大电压设定 U_{\max} 、燃弧电

压给定 U_a 、燃弧期间最小电压限制 U_{min} 和燃弧初期斜率 K_{ul} 、燃弧稳定期电压斜率 K_{uII})和短路波形控制参数(短路润湿电流 I_w 、短路润湿时间 T_w 、拐点电流 I_t 、抑制峰值电流上升的斜率 K_I 和最大峰值电流限制 I_{max})设定值。系统设计中根据燃弧波形和短路波形的不同负载对控制器的要求,分别在 DSP 中采用电压数字 PI 控制器和电流数字 PI 控制器来实现。短路电流 PI 调节器与燃弧电压 PI 调节器的切换是通过短路信号实现的。电流与电压数字 PI 调节器的计算结果经过非线性算法转换,送入 DPWM 生成相位差 180° ,带死区时间限制和最小脉冲宽度限制的 PWM 控制信号,然后通过功率放大直接驱动两路 IGBT。驱动脉冲的占空比随着 DSP 的数字 PI 调节器的计算结果相应的变化,从而实现逆变焊接电源的全数字控制。

协调级干伸长变化时电弧稳定性控制的实现,通过 C167CR 组织级的全范围数据库选取送丝速度 v_g 和平均焊接电流 I_{avg} 的设定,通过 DSP 的 Fuzzy 控制器调整干伸长变化时,送丝速度的设定 v_g ,同时从组织级选择波形控制参数,通过执行级的数字 PI 调节焊接电流,保证电弧稳定性和焊缝成形。

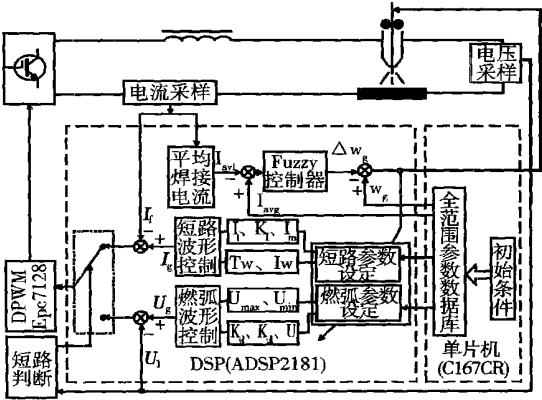


图 3 二氧化碳气体保护电弧焊分级递阶智能数字控制系统的实现
Fig. 3 Realization of hierarchical intelligent digital control system for CO₂ welding

3 工艺试验

根据所建立的二氧化碳气体保护电弧焊短路过渡分级递阶智能数字控制系统,基于 DSP+MCU 的硬件系统平台,分别进行了短路过渡波形控制试验和干伸长变化的适应性工艺试验。

3.1 短路过渡波形控制试验

试验条件:焊丝 H08Mn2Si,焊丝直径 $\phi 1.2\text{ mm}$,保护气体 100%CO₂,气体流量 15 L/min,试件为低碳钢 400 mm×100 mm×5 mm。

图 4 为所设计的分级递阶智能数字控制系统方案应用于二氧化碳气体保护电弧焊短路过渡的实际焊接电流和电压波形,图 4a 为采样波形,图 4b 为展开波形。其焊接电流 $I=180\text{ A}$,电弧电压 $U=22\text{ V}$ 。从实测焊接电流和电压波形可以看出,短路过渡规律性强,电流和电压波形均匀一致,短路频率达到 90 Hz,焊接过程非常稳定。另一方面,短路过渡波形控制特征明显,峰值电流比较均匀一致,大约在 400~420 A,并且瞬时短路控制作用明显,同时燃弧时间与短路时间比约为 3.3~3.86 之间,证明燃弧能量得到提高。

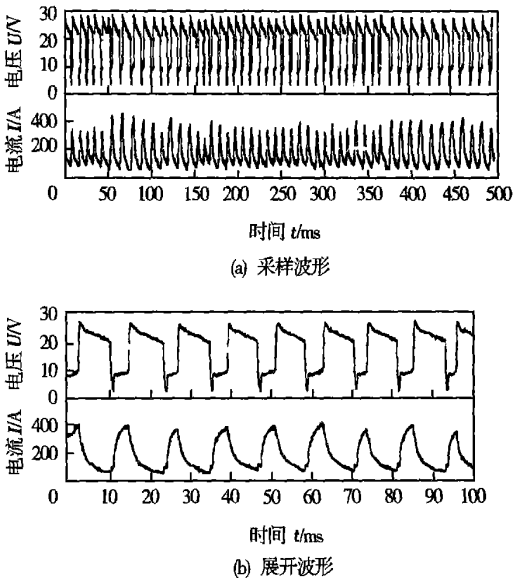


图 4 短路过渡波形控制实测电流电压波形
Fig. 4 Measured current and voltage waveforms

图 5 为电流 180 A 时焊接所得到的焊缝的焊缝外观图。从照片可以看出,焊缝表面均匀致密,熔宽均匀一致,焊件表面基本上无飞溅,焊缝成形良好。

从短路过渡实测波形和焊缝成形分析可以得出,执行级的数字 PI 调节和控制波形参数的调节,

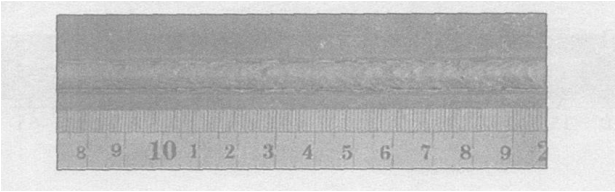


图 5 焊缝外观
Fig. 5 Fillet weld profile

实现了短路过渡波形的精确控制,焊接过程稳定性提高,获得较为理想的波形控制效果。

3.2 干伸长变化适应性试验

为了检测模糊控制系统在干伸长条件变化时的焊接电弧稳定性和适应能力,设计了如图 6 所示的斜坡试验。试验条件与前面相同,平焊位置堆焊时焊接电流 $I=180\text{ A}$, $U=22\text{ V}$ 。

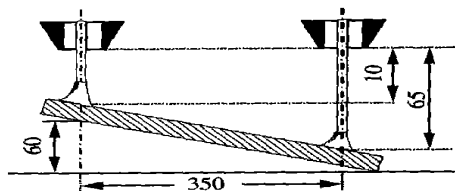


图 6 斜坡试验图 (mm)

Fig. 6 Scheme of welding slope experiment

图 7 为斜坡试验的焊缝成形照片,图 8 为斜坡试验时的不同导电嘴到工件的距离 CT 的焊缝横截面照片,其中图 8a 为无模糊控制时,图 8b 为采用模糊控制时。从焊缝成形可以看出,当 CT 大于 25 mm 左右时,与无模糊控制作用的焊缝相比,有模糊控制作用时焊缝成形改善效果明显,熔宽增加,焊缝表面成形良好。当 CT 大于 45 mm 时,焊缝成形仍然连续,余高虽然有所增加,但焊缝成形仍然较好。从图 8 的干伸长为 50 mm 的焊缝截面照片对比可以看出,采用模糊控制时,仍然能够获得较规则的焊缝成形,但焊缝熔深较浅,仅为 0.64 mm,而相同干伸长的无模糊控制的焊缝截面,仅为金属的堆积,焊件未熔化。当干伸长为 60 mm 时,有模糊控制时,焊缝仍然有熔深,但出现较多气孔和缩孔,这是因为气体保护不良所致,而无模糊控制则是不连续的焊缝。

试验证明,模糊控制系统提高了焊接电弧稳定性,扩大了干伸长变化的适应范围,起到了对干伸长变化的补偿作用,电弧稳定性得到提高。

分级递阶智能数字控制系统的应用,在短路过

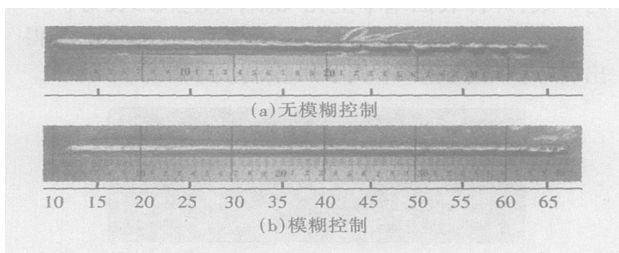


图 7 焊缝成形照片 (CT/mm)

Fig. 7 Fillet weld profile

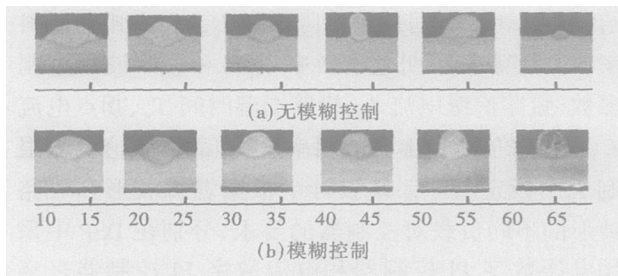


图 8 焊缝横截面照片 (CT/mm)

Fig. 8 Cross section of weld

渡区间实现了二氧化碳气体保护电弧焊的电流和电压波形的智能化精确控制,弧长控制稳定,干伸长变化的适应性增强,焊接过程控制智能化。

4 结 论

(1) 根据短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊数字控制的需要,提出了分级递阶智能全数字控制方案,设计了短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊数字控制系统,该方案经过完善可以成为数字化焊机通用的软件控制平台。

(2) 智能短路过渡二氧化碳气体保护电弧焊数字控制系统提高了短路过渡干伸长的适应范围,改善了对外界条件变化的适应能力。

(3) 试验结果表明,所设计的智能数字控制系统方案具有良好的控制性能,实现了焊接过程的智能化,能够得到理想的短路过渡二氧化碳弧焊机。

参考文献:

- [1] Nacey T J. Fourth-generation inverters add artificial intelligence to the control of GMA welding[J]. Welding Journal, 1996 (5): 31-38.
- [2] 上山智之. 最近のアーカ溶接機器[J]. 溶接技術, 2000, (4): 65-70.
- [3] Kang M J. Arc stability estimation and fuzzy control for arc stabilization in short circuit transfer mode of CO_2 arc welding[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2001, 6(2): 94-102.
- [4] 罗公亮, 卢强. 智能控制与常规控制[J]. 自动化学报, 1994, 20(3): 324-332.
- [5] 刘嘉, 卢振洋, 殷树言, 等. 电焊机的数字化[J]. 焊接学报, 2002, 23(1): 88-92.
- [6] 殷树言, 陈树君, 刘嘉, 等. 逆变焊接电源及现代焊接技术现状与思考[J]. 电焊机, 2003, 33(8): 13-17.

作者简介: 冯日海, 男, 1976 年 9 月出生, 工学博士。主要从事新型焊接设备及焊接过程自动化方面的研究工作, 发表论文 10 余篇。

Email: fyhbj@yahoo.com.cn

navitics, Nanjing 210016, China; 2. The 14th Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210013, China). p53—56

Abstract: Wetting times and wetting forces of Sn-Cu-Ni lead-free solder for different temperatures and three kinds of substrates including Cu, Au/Ni/Cu and SnBi/Cu, were measured by means of wetting balance method. The effects of soldering temperature on wettability of Sn-Cu-Ni lead-free solder on different substrates were also studied. The results indicate that with the increase of temperature, the surface tension of the lead-free solder decreases and the wetting times are reduced observably, and the wetting forces are increased evidently. The wettability of solder on Au/Ni/Cu or SnBi/Cu substrate is better than that on Cu substrate owing to the decrease of the interfacial tension between solder and substrate by way of plating Ni/Au or SnBi coating.

Key words: lead-free solder; Sn-Cu-Ni solder; wettability; coating

On-line weld quality inspection based on weld indentation by using servo gun ZHANG Xiao-yun, ZHANG Yan-song, CHEN Guan-long (School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China). p57—60

Abstract: Resistance spot welding (RSW) is the primary joining method for car-body assembly. Control and inspection of weld quality have great importance to improve the performance of car. Based on the position feedback characteristics of servo encoder, on-line weld quality inspection method was proposed by using weld indentation. A spot welding experimental system including robot, robot controller, servo gun and weld controller was integrated. The developed measurement program was used to acquire weld indentation on-line, and the measured results was calibrated by PLC displacement control system. The experimental results showed that the acquired weld indentation can reflect the real indentation on the 0.8mm low carbon steel (GMW2). The weld quality inspection rate can meet the demand for real production. The proposed on-line weld quality inspection method can meet the demand of welded joint measurement in real plant environment.

Key words: resistance spot welding; servo gun; weld indentation; on-line inspection

Method of welding groove feature design and weld feature recognition LIU Yong¹, WANG Ke-hong¹, DU Shan-shan², XU Yue-lan¹ (1. Material Department of Science & Engineer, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China; 2. Computer School of Science & Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China). p61—64

Abstracts: To solve welding workpiece model, it is important to study welding groove feature design. The design requirements of welding groove were analysed in the numeric CAD/CAPP/ROBOTICS integrated welding. The total scheme was designed to realize the data share between CAD design environment and CAPP/ROBOTICS environment. Firstly a method to model typical welding groove based on groove feature library was given, then a better

method to model universal weld groove driving by program developing based on CAD/CAM platform was provided. And the method of welding groove feature and weld feature recognition was put forward. Example proved that it is correct.

Key words: welding groove; feature design; feature recognition

Fracture microstructures and properties of Al-Li alloy brazed joints ZHANG Ling, XUE Song-bai, SHI Huai-jiang, WU Yu-xiu (College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China). p65—68

Abstract: Microstructures of base metal and brazed joints were analyzed using metallographic microscope, SEM and microhardness instrument and the changing rule of strength of brazed joints was studied by testing microhardness of brazed joints and chemical composition of fracture micro-section. The results show that shape of reinforcing phase of base metal are changed from particle to strip after brazing; there are few defects such as gas pores, slag inclusions, cracks and so on in brazed joints with N₂ atmosphere, which improves mechanical properties of brazed joints effectively, however there are many defects in brazed joints without N₂ atmosphere, which reduces mechanical properties of brazed joints seriously.

Key words: Al-Li alloy; brazed joint; microstructure; microhardness

Intelligent digital control system for CO₂ short circuiting welding

FENG Yue-hai^{1,2}, LIU Jia², YIN Shu-yan², WANG Ke-hong (1. Department of Materials Science & Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. College of Mechanical Engineer and Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China). p69—72

Abstract: For the shortage of short circuiting transfer for general CO₂ welding machine, based on the hardware system of digital signal processor and microprocessor control unit, the hierarchical intelligent control theory was applied and the hierarchical intelligent full digital control schematic for CO₂ short circuiting transfer welding was put forward. It integrates the digital PI controller, fuzzy controller and expert system, which make control levels clearer and design scheme easier. The experimental results validate that this system can attain ideal waveform control for CO₂ short-circuit welding and improve CO₂ welding machine performances and control welding process intelligently.

Key words: digital control system; gas metal arc welding; hierarchical intelligent control

Numerical analysis of multi-pass welding residual stress for typical closed weld CHEN Hu, GONG Jian-ming, TU Shan-dong (Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China). p73—76

Abstract: Two typical closed weld, circular patch weld and nozzle weld, were modeled and 3-D multi-pass welding simulation were performed using FEM. User subroutine were used to realized the moving Gauss distribution of welding heat source. The thermal cycle and residual stresses distribution were obtained. The results show that