

自保护药芯焊丝飞溅的形成机理及其影响因素

潘 川¹, 喻 萍¹, 薛振奎², 田志凌¹

(1. 中国钢研科技集团公司, 北京 100081;

2. 中国石油天然气管道局科学研究院, 河北 廊坊 065000)

摘 要: 详细研究了自保护药芯焊丝飞溅的形成机理及其影响因素。高速摄影观察表明, 自保护药芯焊丝在焊接过程中的飞溅主要有以下三种形式: 电弧力引起的大颗粒飞溅、气泡放出型飞溅和气体爆炸引起的飞溅。通过混料回归试验分析了药粉中氟化物、氧化物、碳酸盐、脱氧剂、合金元素对焊接飞溅的影响规律。结果表明, 氟化物和碳酸盐对飞溅的影响较大, 氧化物、脱氧剂和合金元素对飞溅的影响较小。

关键词: 自保护药芯焊丝; 飞溅; 形成机理

中图分类号: TG422.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2007)08-108-05



潘 川

0 序 言

焊接飞溅的大小是评定焊接材料工艺性能的一项重要指标, 飞溅不仅污染环境及工件, 而且影响电弧的稳定性、降低熔敷效率, 并增加焊工的劳动强度。自保护药芯焊丝是在没有外加气体保护下进行焊接的一种新型焊接材料。造气、造渣、脱氧、脱氮及合金化元素等药粉包在焊丝内部, 在焊接过程中, 造气剂在焊丝内部产生气体, 使电弧内部气体压力过大, 将金属熔滴推向外侧, 增大飞溅。自保护药芯焊丝这种特殊的结构决定其飞溅的产生机理与其它焊接材料差别较大, 焊接过程中飞溅较严重。目前, 对焊条^[1]、实心焊丝^[2]、气保护药芯焊丝^[3]等材料的飞溅问题已有了深入的研究, 而对强碱性全位置自保护药芯焊丝的飞溅形成机理及影响因素的研究还较少见。文中利用高速摄影技术研究自保护药芯焊丝飞溅的种类和形成机理, 以及药芯成分和焊接工艺参数对焊接飞溅的影响规律。

1 高速摄影试验

试验材料是直径 $\phi 1.6$ mm 的自保护药芯焊丝, 焊接设备选用 KEMPI PROMIG 500 焊机, 焊接工艺参数是焊接电流 220 A; 电弧电压 24 V; 焊丝伸出长度 20 mm; 极性为直流正接。高数摄影机的处理器是 CODARK FASTCAM SUPER10k, 背景光源是氙灯。

2 试验与分析

2.1 高速摄影试验结果

通过高速摄影观察到的自保护药芯焊丝飞溅主要有三种形式。

2.1.1 电弧力引起的飞溅

这种飞溅是由于熔滴的表面张力较大和焊接区的电弧力较大引起的。熔滴的表面张力增大, 熔滴在电弧空间能够长得较大, 而较大的熔滴趋于产生较大的飞溅。电弧力是焊接电极表面形成的很大的机械力, 电弧力往往给焊接带来困难。

自保护药芯焊丝在焊接过程中产生的电弧力较大, 这是因为: (1) 自保护药芯焊丝的药芯中含有较多的造气剂, 在焊接过程中释放的气体形成气垫作用托住熔滴, 使熔滴上翘并形成缩颈, 在电弧力的作用下脱离焊丝底部; (2) 自保护药芯焊丝使用直流正接, 焊丝作为阴极, 正接时, 阳离子对阴极斑点的冲击力较大, 电弧力比反接时大, 对熔滴过渡的阻碍作用更强。在电弧力的作用下, 熔化金属在焊丝端部摇摆不定, 受力极不平衡, 有时很大的熔滴会被强大的电弧力排斥出来, 以飞溅的形式飞出。图 1 是电弧力引起的飞溅的高速摄影照片, 在 1831 和 1832 幅照片中在焊丝端部形成一个熔滴; 在 1833 幅时该熔滴受到较大的电弧力, 脱离焊丝端部; 1834 ~ 1836 幅图中该熔滴向左上方飞出, 形成大颗粒飞溅。大颗粒飞溅是在自保护药芯焊丝在焊接过程中普遍存在的现象, 增大熔滴表面张力 (碱性氧化物 CaO , MgO , BaO) 的物质, 以及增大气体动力的物质 (碳酸

盐、氧化物)都促使形成大颗粒飞溅。这种飞溅一般位于焊缝两侧不远的工件表面, 清除比较困难。

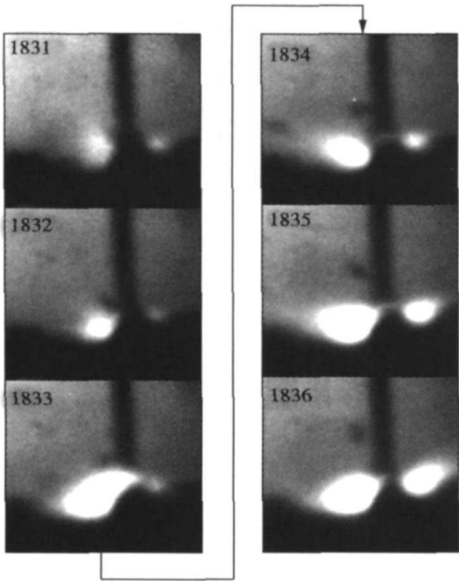


图 1 电弧力引起的飞溅
Fig. 1 Spatter created by arc force

2.1.2 气泡放出型飞溅
气泡放出型飞溅产生的示意图见图 2^[4]。
存在于熔池内部的气泡上浮到熔池表面(图 2a, b), 在气泡爆破消失的同时产生柱状隆起体(图 2c, d), 隆起体根部在表面张力的作用下被拉回母材, 而尖端具有较高速度的部分脱离根部形成颗粒而飞散出去(图 2e)。

自保护药芯焊丝在焊接过程中空气很容易侵入熔池, 以及药芯成分在焊接过程中反应产生大量气体, 在熔池凝固时形成较多的气泡放出型飞溅。图 3 是高速摄像中观察到的气泡放出型飞溅。其中图 3a 是气泡在熔池中产生时的飞溅现象, 374 幅照片在熔池中产生一个较小的隆起, 375 ~ 376 幅隆起增大, 377 ~ 379 在隆起上部产生一颗飞溅。图 3b 是气泡在熔滴中产生时的飞溅现象, 111 幅在熔滴上产生隆起, 112 ~ 115 隆起上形成飞溅并飞离熔滴。在整个高速摄影过程中, 气泡在熔池中引起的飞溅占绝大多数, 而气泡在熔滴中引起的飞溅现象较少。

2.1.3 气体爆炸引起的飞溅
气体爆炸引起的飞溅有两种形式, 一种是在熔

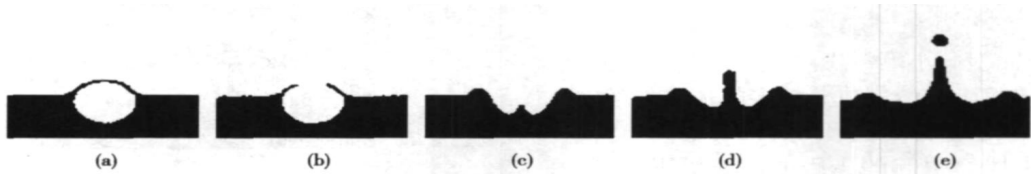


图 2 气泡放出型飞溅示意图
Fig. 2 Forming process of bubble release spatter

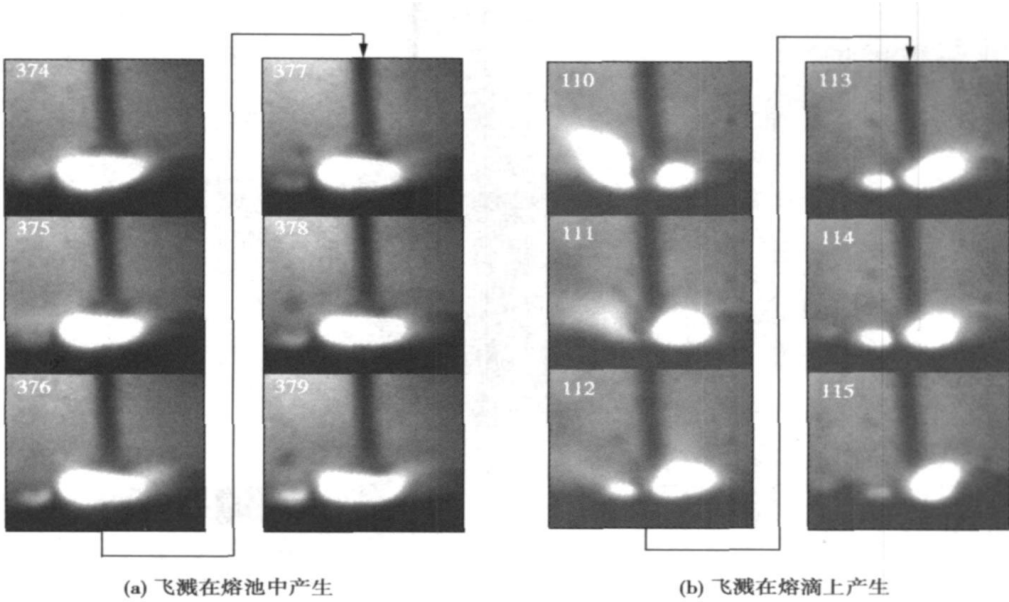


图 3 气泡放出型飞溅
Fig. 3 Bubble release spatters

池中爆炸引起的飞溅, 见图 4a, 另一种是在熔滴过渡过程中在熔滴侧引起的飞溅, 见图 4b。熔池爆炸引起飞溅的原因: (1) 当自保护药芯焊丝配方不合理时, 会引起药芯成分的熔点高于钢带的熔点, 使药芯熔化滞后。图 5 是观察到的药芯滞熔的现象。在发生严重滞熔时, 药芯的熔化速度远远跟不上钢皮的熔化速度, 药芯会伸入熔池, 在熔池中大块脱落的药粉与金属液体之间发生激烈反应, 引起严重的爆炸飞溅和焊后夹渣。这种飞溅也与气泡上浮和消失有关, 只是由于药粉直接进入熔池, 反应较为剧烈, 在同一时刻、同一位置产生的气体更多, 气体上浮形成的柱状隆起也较多, 一瞬间形成较多的飞溅。(2) 由短路过渡引起的爆炸飞溅, 在短路过渡时, 熔滴接触熔池发生短路, 熔滴内的气体发生爆炸而释放出去, 或者由于短路小桥在过热的状态下炸断都会产生很强的金属蒸气的冲击力, 引起熔池产生爆炸飞溅。(3) 短路过渡结束后, 电弧重新引燃会对熔池产生较大的气流冲击力, 使一部分熔池金属飞出熔池, 形成飞溅。熔滴中爆炸产生飞溅主要原因是, 自保护药芯焊丝药芯位于钢带内部, 焊接过程中药粉可能被金属液体包围, 并在金属液体中发生反应, 产生的气体使内部气氛急剧膨胀, 引起金属液体破碎, 产生爆炸现象而引起小颗粒飞溅, 这种飞溅是由气体动力引起的, 多发生在造气成分较多的药芯焊丝中。

两种爆炸飞溅的高速摄像照片见图 6, 其中图 6a 是熔池中爆炸引起的飞溅的高速摄影照片, 在 885 幅照片中电弧重新引燃, 887 ~ 890 幅中观察到大量的小颗粒飞溅快速由熔池飞出。图 6b 是熔

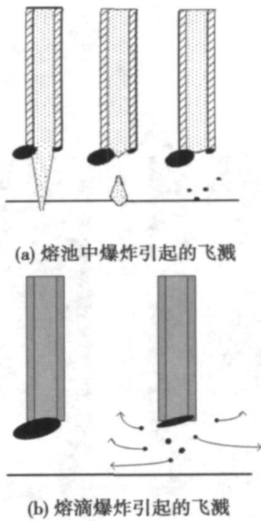


图 4 气体爆炸引起的飞溅的示意图
Fig 4 Spatter created by gas burst

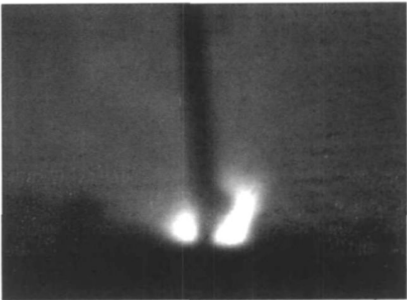


图 5 药芯的滞熔现象
Fig. 5 Delayed melting of flux

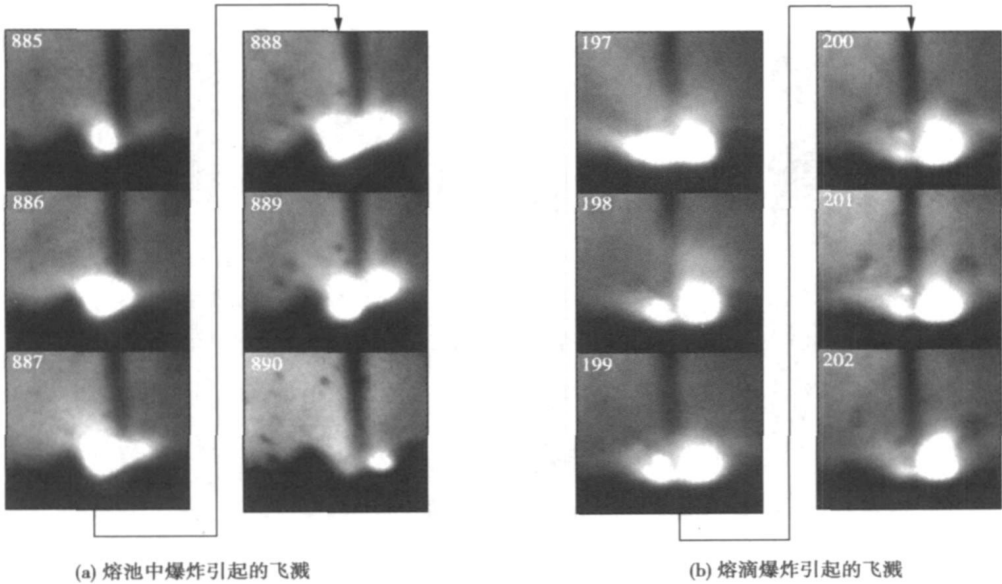


图 6 气体爆炸引起的飞溅
Fig. 6 Photos of spatter created by gas burst

滴侧爆炸引起飞溅的高速摄影照片,198~202幅中看到熔滴发生爆炸产生大量飞溅。

2.2 药芯成分对飞溅的影响

药芯成分能够影响电弧稳定性、熔滴表面张力、化学冶金反应、气体动力及电磁收缩力,从而影响飞溅的大小。为了考察药粉成分对焊接飞溅的影响,用混料回归设计建立飞溅率与药粉成分之间的关系。试验中选取药芯中氟化物(Z_1)、氧化物(Z_2)、碳酸盐(Z_3)、脱氧剂(Z_4)、合金(Z_5)五种因素,采用混料回归设计中的极端顶点法和 SPSS 软件建立药粉成分与焊接飞溅(Y)的数学模型为

$$Y=29.256Z_1+6.281Z_2-22.218Z_1Z_4-81.820Z_3Z_4。$$

(1)

从式(1)中可以得出,飞溅率随着药芯中氟化物、氧化物和碳酸盐的增多而增大,随着脱氧剂的增多而减少,合金元素对飞溅几乎没有影响。

根据回归方程,结合各因子的取值范围,可以推断氟化物对飞溅的影响最大,碳酸盐的影响次之,脱氧剂、氧化物和合金元素对飞溅的影响较小。

2.2.1 氟化物对焊接飞溅的影响

一般来讲,药芯中加入的氟化物在焊接高温的作用下产生大量的气体,使电弧空间蒸气压增大,阻碍熔滴过渡,促使熔滴长大,从而增大飞溅。同时氟能使电弧稳定性变差,所以在药芯中加入氟化物能使焊接过程中飞溅增大。

氟化物种类对飞溅也有一定影响,在自保护药芯焊丝中加入的主要氟化物是氟化钡和氟化钙,调整两种氟化物的配比,制作五种自保护药芯焊丝,这五种焊丝中氟化钡和氟化钙的配比见表1。从1号焊丝到5号焊丝,氟化钡加入量逐渐增多。

表 1 五种焊丝中 BaF₂、CaF₂ 占氟化物的质量分数及飞溅率
Table 1 Mass percent of BaF₂ and CaF₂ in five wires and spatter lose coefieient of them

	1	2	3	4	5
BaF ₂ 含量(%)	50	62.5	75	87.5	100
CaF ₂ 含量(%)	50	37.5	25	12.50	
飞溅率(%)	13.64	11.5	10.63	10.24	10.05

药芯中加入氟化钡和氟化钙都能使焊接过程中飞溅增大。从另一个角度讲,Ba 和 Ca 元素都是电离电位较低的元素,在电弧空间有助于电弧的稳定燃烧。Ba 元素的电离电位(U_i)值为 5.21 V,小于 Ca 元素的电离电位 6.11 V,Ba 比 Ca 在电弧空间更容易电离,能够使电弧更加稳定。

从表 1 对五种自保护药芯焊丝的飞溅率的测试可知,随着 BaF₂ 的用量增大会使焊接过程飞溅降低。但是如果完全使用氟化钡也会产生如下两个问题:(1) BaF₂ 与 Al₂O₃、MgO 形成高熔点渣,易于形成夹渣、不完全熔化等缺陷;(2) 一些 Ba 的化合物会产生有毒气体。为了补偿 BaF₂ 所带来的负面影响,药粉中同时加入碱金属或碱土金属氟化物,例如 CaF₂ 和 LiF;或碱土金属氧化物和金属氧化物的复合化合物。

2.2.2 碳酸盐对飞溅的影响

在药芯焊丝中加入碳酸钠和碳酸钾能够降低熔滴的表面张力,使熔滴质量减小,并且缩短熔滴在电弧区存在时间,从而减小飞溅。同时钾、钠元素的电离电位很低,使电弧中气体的有效电离电位降低,促使弧根扩展,使电磁收缩力的轴向分力变成推动熔滴过渡的作用力。但是由于碳酸盐在电弧空间分解形成大量的 CO₂ 气体,对焊接熔滴产生气垫作用,托住熔滴,阻碍熔滴过渡,使熔滴尺寸增大,焊接区气体动力增大,飞溅增大。为了考察碳酸盐含量对飞溅率的影响,自制了四种自保护药芯焊丝,焊丝中碳酸盐的含量和飞溅率见表 2,可见碳酸盐在含量较少时能够很好地抑制飞溅的产生,但当碳酸盐用量进一步增大,飞溅增大。该渣系碳酸盐用量在 0.5%~0.8% 为宜。

表 2 碳酸盐对焊接飞溅的影响
Table 2 Effect of carbonate on welding spatter

碳酸盐含量(%)	1.5	2.5	4	6
飞溅率(%)	15.46	11.39	11.93	12.55

2.2.3 氧化铁对飞溅的影响

自保护药芯焊丝中加入的氧化物主要是氧化铁,其作用是为了改善渣的物理性能,改善焊缝成形,使焊缝表面光洁,增强渣保护效果,同时能够减少氢气孔产生的倾向性。

氧化铁的加入量对预处理药粉的熔点影响较大,所谓药粉的预处理是指将部分药粉混合在一起后进行烧结,然后再破碎成所需要粒度的过程。预处理药粉的熔点直接影响药芯的熔点,药芯的熔点随着预处理药粉熔点的提高而提高。表 3 是通过半球法测得的不同氧化铁加入量的五种配方预处理药粉的熔点。从表 3 中可以看出,随着预处理药粉中氧化铁量的增多,预处理药粉熔点提高,使药芯的熔点也随之提高,药芯滞熔严重,影响焊丝的导电性并使电弧不稳定,从而增大飞溅。

表 3 Fe₂O₃ 用量对预处理药粉熔点的影响

Table 3 Effect of Fe₂O₃ content on melting point of pretreated compounds

氧化铁含量(%)	17.5	13.75	11.5	5.75	0
熔点 T/℃	950	900	880	720	670
飞溅率(%)	16	13.7	12.2	10.5	8.3

另一方面, 由于氧化铁在受热情况下极易分解, 分解方程为

$$6\text{Fe}_2\text{O}_3=4\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{O}_2,$$

(2)

$$2\text{Fe}_3\text{O}_4=6\text{FeO}+\text{O}_2.$$

(3)

分解产生的气体, 也会引起飞溅量增多。

2.2.4 脱氧剂和合金元素对飞溅的影响

脱氧剂能够降低熔池中氧化铁的含量, 从而减少由于氧化铁产生的 CO 气体, 有利于降低气泡逸出型飞溅; 合金元素对飞溅几乎没有影响。

3 结 论

自保护药芯焊丝的飞溅形成机理的特殊性是由焊丝结构的特殊性引起的, 自保护药芯焊丝飞溅的

种类主要有电弧力引起的飞溅、气泡放出型飞溅和气体爆炸引起的飞溅。药芯成分通过影响熔滴的表面张力、焊接区的气体动力等而影响飞溅的大小。飞溅率随着药芯中氟化物、氧化物和碳酸盐的增多而增大, 随着脱氧剂的增多而减少, 合金元素对飞溅几乎没有影响。

参考文献:

[1] 郭鸿年, 王海英. 碱性焊条飞溅与焊机动特性的关系[J]. 焊接学报, 1991, 12(2): 121—128.

[2] 孟庆华, 区智明. 降低 CO₂ 气体保护焊飞溅的控制方法[J]. 石油工程建设, 2002, 28(4): 41—43.

[3] 张文钺, 许玉环, 丁 萍, 等. 不锈钢 CO₂ 气保护药芯焊丝飞溅产生机理及影响因素的研究[J]. 焊接技术, 1999(1): 2—4.

[4] 安藤弘平, 长谷川光雄. 焊接电弧现象[M]. 施雨湘 译, 彭日辉 校. 北京: 机械工业出版社, 1985.

作者简介: 潘 川, 男, 1967 年出生, 博士, 教授。主要从事药芯焊丝的研发工作。发表论文 20 余篇。

Email: panduannet @126.com

Diffusion bonding of TC4 to ZQSn10—10 with nickel and copper interlayers

YUAN Zheshi, WU Zhizhong, SONG Minxia, ZHAO Huanling (School of Materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China). p92—95

Abstract: The experimental investigation of the diffusion bonding of TC4 to ZQSn10—10 in vacuum was carried out by using pure nickel and copper as the transition metal. Experimental results show that the optimum bonding parameters were selected as follows: bonding temperature 850 °C, bonding time 20 min and bonding pressure 10 MPa. So the strength of the joint without obvious shape changing was up to 155.8 MPa, which the strength can reach to about 65% of the strength of base metal ZQSn10—10. Various reaction layers appeared in TC4 and Ni interface. When the rest condition was same, Ni₃Ti phase was produced at the interface zone at 800 °C; and there appeared Ni₃Ti and NiTi phases at 850 °C; and there produced NiTi₂, Ni₃Ti and NiTi phases at 880 °C. The strength of the joint lied on types and thickness of nickel and titanium inter-metallic compounds.

Key words: titanium alloy; tin-bronze; diffusion bonding; nickel and copper interlayers; intermetallic compound

Prediction system of CTOD for high strength pipeline steel welded joint based on back propagation artificial neural network

TONG Lige¹, BAI Shiwu², LIU Fangning² (1. School of Mechanical Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China; 2. Pipeline Research Institute of China National Petroleum Corporation, Langfang 065000, Hebei, China). p96—98

Abstract: Aiming at limitation of selecting the main technical parameters for high strength pipeline steel welding in practical operation, a back propagation artificial neural network (ANN) was established with Visual C++ 6.0 for predicting the welding performance parameter crack tip opening displacement (CTOD) of high strength pipeline steel joint. Based on the experiment data, the average heat input, wall thick, preheat temperature and joint region were used as the input parameters of ANN, which includes one input layer with 4 nodes, one hidden layer with 14 nodes, and Sigmoid activation function. The average absolute error of prediction result is 15.4%. The number of the sample whose error is less than $\pm 20\%$ is about 93.3% in total 15 experimental data. The result showed that ANN method is a kind of effective method to predict the welding performance parameter CTOD of high strength pipeline steel welded joint. The ANN system can be used as selecting and optimizing the key welding parameters.

Key words: artificial neural network; welded joint; crack tip opening displacement; prediction; performance parameter

Effects of welding residual stress on creep of welded joint

ZHANG Guodong, ZHOU Changyu (College of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China). p99—102, 107

Abstract: By the finite element analysis codes ABAQUS and

the function of RESTART, a sequential coupling calculating program for creep based on welding residual stress has been developed by establishing the model of temperature field, residual field and creep analysis. The welding residual stress and creep of welded joint for Cr5Mo furnace tubes was simulated by this program. This method established the basis for calculating the effects of welding residual stress on the creep of welded joint. A creep comparison between the welded joint tubes with welding residual stress and with internal pressure was made. The results showed that the tube creep was decided by the welding residual stress, although the welding residual stress was relaxed in a short time.

Key words: Cr5Mo furnace tubes; welded joint; welding residual stress; stress relaxation; creep; numerical simulation

CTOD fracture toughness test for super thick welded joints of D36 offshore platform steel

WANG Zhijian¹, JIANG Jun¹, WANG Dongpo², DENG Caiyan² (1. Chiwan Sembawang Engineering CO. LTD, Shenzhen 518068, Guangdong, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China). p103—107

Abstract: Based on BS7448 fracture toughness test experiment standard (ISO/TC164/SC4-N400) and DNV-OS-C401, crack tip opening displacement (CTOD) tests are carried out on 80 mm thick plates butt joints of offshore petroleum platform joined by the submerged-arc welding and CO₂ gas shielded welding. The CTOD values of weld metal and the heat-affected zone are tested at 0 °C. The possibility of avoiding post-weld heat treatment in thick welded joints is discussed using the submerged-arc welding and CO₂ gas shielded welding. These work provide the scientific basis on the offshore platform construction.

Key words: welded joints; crack tip opening displacement; fracture toughness

Mechanism and influencing factors of spatter formation with self-shielded flux cored wire

PAN Chuan¹, YU Ping¹, XUE Zhenkui², TIAN Zhiling¹ (1. China Iron&Steel Research Institute Group, Beijing 100081, China; 2. Pipeline Research Institute of CNPC, Langfang 065000, China). p108—112

Abstract: The spatter formation mechanism of self-shielded flux cored wire has a remarkable different with other welding materials because of its speciality in wire's construction and welding method. The mechanism and influencing factors of welding spatter are studied. High-speed photographs indicate that there are mainly three types of spatter in self-shielded flux cored arc welding, which are big spatter caused by arc force, bubble released spatter and gas explosion spatter. Five flux ingredients, which influence the welding spatter greatly, are investigated by means of spatter tests using mixing material regression method. Experimental result shows that the effect of fluorides and carbonates is greater than that of oxides, killing agents and alloys.

Key words: self-shielded flux cored wire; spatter; formation mechanism