

第十一次全国焊接会议 论文集

(第2册)



中国机械工程学会焊接学会

第十一次全国焊接会议论文集

(第2册)

中国机械工程学会焊接学会

《第十一次全国焊接会议论文集》包括大会报告 5 篇、中国机械工程学会焊接学会各专业委员会推荐的论文 307 篇，分 2 册出版，各册内容如下：

第 1 册：大会报告、钎焊及特种连接专业委员会（I）、切割专业委员会（II）、堆焊及表面工程专业委员会（III）、金属焊接性及焊接材料专业委员会（IV）、压力焊专业委员会（V）、高能束及特种焊接专业委员会（VI）。

第 2 册：焊接生产制造与质量保证专业委员会（VII）、焊接力学及结构设计与制造专业委员会（VIII）、熔焊工艺及设备专业委员会（IX）、计算机应用技术专业委员会（X）、机器人与自动化专业委员会（XI）。

第十一次全国焊接会议论文集

Di Shi Yi Ci QuanGuo HanJie HuiYi LunWen Ji

责任印制：荆体贤 封面设计：杨桂凤

黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印刷

开本 880×1230 毫米 1/16•印张 77.5

字数：1 300 千字 印数：1 000

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

编辑出版委员会成员

主 任：单 平

副主任：陈剑虹 张彦敏 李建国 陈 强 吴毅雄 侯永泰

顾 问：潘际奎 关 桥 徐滨士 林尚扬 斯重遥 宋天虎

吴 林

委 员：刘世参 邹增大 何 实 冯吉才 张 华 李午申

赵熹华 刘金合 解应龙 霍立兴 武传松 陈善本

秘 书：李 波

前 言

焊接是现代制造业中一种重要的加工方法。几乎所有的产品,从几十万吨巨轮到不足一克的微电子元件,都离不开焊接。焊接已经渗透到制造业的各个领域,直接影响到产品的质量和生产效率。

20 世纪以来,信息技术、生物技术、新材料技术、能源与环境技术、航空航天技术和海洋开发技术等六大科学技术的迅猛发展与广泛应用,引领了焊接技术的大发展,传统焊接学科领域发生了深刻变革。现代焊接科学技术内涵不断丰富和扩展,新思想、新成果层出不穷。各种新型材料的焊接、高速高效的焊接新方法和新工艺、数字化的焊接电源、焊接质量的智能控制、焊接过程的数值模拟、“绿色”焊接等各个焊接领域的科学研究和技术推广应用在我国得到了迅速发展。

本届全国焊接学术会议论文集汇集了大会报告 5 篇,论文 307 篇,集中反映了我国焊接技术的最新发展,是全国焊接工作者辛勤劳动和创造的结晶,是焊接界的宝贵财富。本论文集凝聚了焊接学会技术工作委员会、各专业委员会、编辑出版工作委员会,秘书处等全体工作人员的心血。相信此次会议的论文集将会受到广大读者的欢迎,将会对我国焊接事业的发展起到推动作用。

中国机械工程学会焊接学会 理事长



2005 年 4 月 6 日

第2册目录

H-VII-001-2005	硫化物的分布形态对 SA335P91 钢焊接根部热裂纹的影响·····	黄嗣罗等	(2-1)
H-VII-002-2005	350t 门式起重机主梁的总成焊接·····	朱光照等	(2-5)
H-VII-004-2005	大型钢包焊接结构失效机理分析·····	廖礼宝等	(2-11)
H-VII-005-2005	水浸聚焦探头斜入射声场的分析与实验·····	王 军等	(2-15)
H-VII-006-2005	厚板铝合金焊缝超声 TOFD 法检测·····	刚 铁等	(2-20)
H-VII-007-2005	压力容器清洁厂房的建造·····	王 平	(2-24)
H-VII-008-2005	厚壁压力油罐人孔锻件裂纹分析及其焊接·····	吴佑明等	(2-28)
H-VII-009-2005	锅炉膜式壁管屏焊接生产线研制·····	初 哲等	(2-31)
H-VII-010-2005	建筑钢结构的焊接残余应力与消除方法探索·····	陈立功等	(2-35)
H-VII-011-2005	低合金耐热钢管与不锈钢附件焊接的焊材选择·····	常凤华等	(2-39)
H-VII-013-2005	异种钢焊接焊缝缺陷涡流无损检测方法试验研究·····	董世运等	(2-43)
H-VIII-001-2005	A105 钢双丝埋弧焊厚板对接试验及测量系统·····	徐济进等	(2-46)
H-VIII-002-2005	12Ni3CrMoV 钢焊接接头强度匹配特征分析·····	曹 雷等	(2-50)
H-VIII-003-2005	搅拌摩擦焊接构件的残余应力分析·····	张 昭等	(2-54)
H-VIII-004-2005	含埋藏裂纹焊接结构可靠性分析·····	何柏林等	(2-58)
H-VIII-006-2005	焊接结构制造过程中质量数据的追溯·····	邵国良等	(2-61)
H-VIII-007-2005	主成分分析方法焊接质量统计中的应用·····	宗 培等	(2-64)
H-VIII-008-2005	浅析抛光机机架的焊接变形及控制·····	王希靖等	(2-68)
H-VIII-009-2005	焊接应力对压力作用下复杂结构中应力分布的影响·····	李晓宁等	(2-71)
H-VIII-010-2005	焊接接头损伤条件下的断裂力学参量数值研究·····	张建勋等	(2-75)
H-VIII-011-2005	带坡口厚板多层焊残余应力三维有限元数值研究·····	薛 勇等	(2-79)
H-VIII-012-2005	基于结构阻尼的振动时效力学分析·····	饶德林等	(2-83)
H-VIII-013-2005	振动埋弧焊工艺初探·····	滕 飞等	(2-86)
H-VIII-014-2005	Analysis of Crack-Tip Stress-Strain Field and Fracture Parameter of Welded Joints Contain Crack on Its Fusion Line·····	M.Zhang 等	(2-90)
H-VIII-015-2005	热轧工作辊的典型失效形式·····	阳代军等	(2-102)
H-VIII-016-2005	大跨度预应力钢结构的张拉新技术·····	朱光照	(2-106)
H-VIII-017-2005	钢框架焊接梁柱节点的线性分析·····	张俊宝等	(2-112)
H-VIII-018-2005	压痕法测量焊接应力中的几个基本问题·····	陈怀宁等	(2-116)
H-VIII-019-2005	关于 J 积分测定方法的比较及相关问题的讨论·····	邓彩艳等	(2-120)
H-VIII-020-2005	等离子喷涂法改善焊接结构疲劳性能·····	张中平等	(2-124)
H-VIII-021-2005	金属基陶瓷涂层弹性模量和界面断裂韧性的研究进展·····	徐连勇等	(2-128)
H-VIII-022-2005	手弧焊力学研究·····	吴 芝	(2-133)
H-VIII-023-2005	不锈钢水洗槽底板开裂分析及焊接工艺·····	王小波等	(2-139)
H-IX-001-2005	交流脉冲 MIG 焊接电弧及其控制·····	杭争翔等	(2-140)
H-IX-002-2005	我国大口径 X70 输气钢管焊接技术和质量现状·····	李为卫等	(2-144)
H-IX-003-2005	采用全数字化设备焊接有色金属的工艺研究·····	赵连春等	(2-148)
H-IX-004-2005	FCB 法焊接薄板的工艺研究·····	王恩明等	(2-151)
H-IX-005-2005	铝合金焊接工艺研究·····	王恩明等	(2-155)
H-IX-006-2005	Φ0.8mm 实芯焊丝应用研究·····	王立强等	(2-159)
H-IX-007-2005	紫铜 MIG 焊工艺试验研究·····	纪继承等	(2-163)

H-IX-008-2005	化学品/成品油轮不锈钢货油管的焊接·····	牟善瑜等	(2-166)
H-IX-009-2005	厚度铸钢件的焊接工艺试验·····	朱 明等	(2-169)
H-IX-010-2005	大坡口悬空埋弧焊工艺·····	杜永勤等	(2-173)
H-IX-011-2005	不锈钢 PA-GTA 双面电弧焊工艺特点·····	董红刚等	(2-177)
H-IX-012-2005	脉冲 MAG 混合气体保护焊在膜式壁上的应用·····	王香云	(2-181)
H-IX-013-2005	薄板不锈钢焊接成本的分析与对比·····	杨宝雷	(2-184)
H-IX-017-2005	LY12 和 LF2 搅拌摩擦焊微观组织和金属流动分析研究·····	王希靖等	(2-188)
H-IX-018-2005	套圈保护步进式电弧螺柱焊过程研究·····	池 强等	(2-191)
H-IX-019-2005	长输管道焊接设备的研制经验及新技术应用·····	肖介光等	(2-195)
H-IX-020-2005	GH783 合金氩弧焊工艺及性能·····	李 艳等	(2-199)
H-IX-021-2005	GMAW 引弧过程的研究·····	耿 正	(2-202)
H-IX-022-2005	电弧超声改善低温钢焊接接头冲击韧性的实验研究·····	何龙标等	(2-206)
H-IX-023-2005	铝制冷凝器的熔化极氩弧焊工艺·····	王小波等	(2-209)
H-IX-025-2005	高压环境下 GTAW 电弧稳定性试验研究·····	王中辉等	(2-211)
H-IX-026-2005	双恒流式 CO ₂ 焊逆变电源研究·····	蒋力培等	(2-214)
H-IX-027-2005	海底输油(气)管线干式修复自动焊接技术与装备·····	焦向东等	(2-218)
H-IX-029-2005	基于二维小波变换及模式识别的焊缝坡口识别·····	蒋力培等	(2-222)
H-IX-030-2005	多层焊焊缝识别算法研究·····	黄军芬等	(2-226)
H-IX-031-2005	焊缝识别中小波变换算法的 DSP 实现·····	黄军芬等	(2-230)
H-IX-032-2005	弹带的 MIG 钎堆焊技术研究·····	马王哲等	(2-234)
H-IX-033-2005	焊接电弧激光诊断技术的新进展·····	李 恒等	(2-237)
H-IX-034-2005	一种焊缝缺陷射线图像局部阈值化方法·····	田 原等	(2-242)
H-IX-035-2005	焊接技术在工程机械行业中的应用·····	许文清	(2-246)
H-IX-036-2005	高强铝合金 MIG 焊工艺研究及应用·····	魏占静等	(2-250)
H-IX-037-2005	厚壁钢管生产线 TANDEM 双丝焊在线接带工艺·····	魏占静	(2-253)
H-IX-038-2005	水轮机叶片焊接修复自动化现状与展望·····	桂仲成等	(2-255)
H-IX-040-2005	基于运动学的弧焊机器人工件标定·····	张文增等	(2-259)
H-IX-042-2005	小直径焊丝埋弧焊焊缝成形控制·····	卢庆华等	(2-262)
H-IX-043-2005	干式高压焊接实验系统及其关键问题·····	焦向东等	(2-265)
H-IX-044-2005	脉冲调制变极性 TIG 焊接 LD10 铝合金·····	陈树君等	(2-269)
H-IX-045-2005	焊接阀门的焊接与热处理·····	郁东键等	(2-273)
H-IX-046-2005	拖拉机驾驶室焊接烟尘净化方案的比较与选择·····	刘 歆等	(2-276)
H-IX-047-2005	双丝单弧埋弧自动焊机的研制·····	孙旭明等	(2-279)
H-IX-048-2005	基于工控机的变极性等离子焊接过程信息检测系统·····	陈树君等	(2-283)
H-IX-049-2005	30CrMnSiA 钢气体保护焊焊接工艺及性能研究·····	张文扬等	(2-287)
H-IX-050-2005	气体保护焊在钢瓶制造中的应用·····	王玉龙	(2-291)
H-IX-051-2005	异种材料的搅拌摩擦焊技术的研究·····	柯黎明等	(2-295)
H-IX-052-2005	搅拌头形状对焊缝塑化金属流动行为的影响·····	柯黎明等	(2-299)
H-IX-053-2005	强磁场下轨道焊接工艺的探讨·····	肖述兵	(2-303)
H-X-01-2005	GTAW 焊接熔透熔池表面变形与熔透关系的数值分析·····	赵朋成等	(2-307)
H-X-02-2005	厚板不锈钢凝固裂纹驱动力的三维数值模拟·····	董志波等	(2-311)
H-X-03-2005	Cr-Mo 钢管子局部焊后热处理加热宽度准则的确定·····	陆 皓等	(2-315)

H-X-04-2005	钛合金筋板电子束穿透焊热力过程数值模拟·····	张彦华等	(2-320)
H-X-05-2005	列车转向架边梁焊接拘束条件影响变形数值模拟·····	周 亮等	(2-323)
H-X-06-2005	电极性能对点焊电极端面温度影响的仿真研究·····	吴志生等	(2-327)
H-X-07-2005	高速列车转向架边梁焊接热输入与残余变形关系的数值模拟研究·····	黄士卫等	(2-331)
H-X-08-2005	连续电流 GMAW 焊接熔滴过渡的数值分析·····	陈茂爱等	(2-337)
H-X-09-2005	铝合金薄板焊接应力数值模拟·····	张建强等	(2-341)
H-X-10-2005	三维 TIG 焊接电弧与熔池动态交互过程数值分析·····	芦凤桂等	(2-345)
H-X-12-2005	GMAW 温度场计算及其焊接质量的特征建模·····	雷玉成等	(2-349)
H-X-13-2005	焊接速度对 TIG 焊产生咬边影响机理的静力学分析·····	卢振洋等	(2-353)
H-X-14-2005	焊接接头冷却组织模拟研究·····	陈俊梅等	(2-357)
H-X-15-2005	小孔等离子弧焊接热场分析的热源模型·····	王怀刚等	(2-361)
H-X-16-2005	高速焊接时熔池形状的解析计算·····	陈 姬等	(2-365)
H-X-17-2005	基于动态电参数分析的电阻点焊质量判别研究·····	方 平等	(2-369)
H-X-18-2005	独立元分析在 GMAW 中的应用研究·····	宋柱梅等	(2-372)
H-X-19-2005	变极性 TIG 焊逆变电源的仿真建模与波形实现·····	李春旭等	(2-377)
H-X-20-2005	GMAW 电弧声参数化模型及模式识别应用·····	马跃洲等	(2-381)
H-X-21-2005	焊接 CCT 图数据库的数字化网络化智能化·····	陈丙森	(2-385)
H-X-22-2005	基于 DSP 和 MCU 的全数字化逆变焊接电源系统设计·····	李鹤岐等	(2-389)
H-X-23-2005	GMAW 焊焊枪对中信息及根部间隙的视觉检测·····	高进强等	(2-392)
H-X-24-2005	铝合金点焊过程中电极振动信号的 AR 建模与研究·····	罗 震等	(2-396)
H-X-25-2005	电阻点焊质量预测的神经网络模型研究·····	马跃洲等	(2-400)
H-X-26-2005	基于 7 维统计矢量的 GMAW 焊接过程监测 FCM 系统·····	胡庆贤等	(2-404)
H-X-27-2005	MAG 焊接熔池的激光频闪视觉检测·····	高进强等	(2-408)
H-X-28-2005	焊接操作模拟中焊条位置图像检测方法·····	梁振新等	(2-412)
H-X-29-2005	智能化箱式变电站测控系统的设计·····	李春旭等	(2-416)
H-X-30-2005	焊接生产信息化与焊接工程应用软件的开发·····	朱志明	(2-419)
H-X-31-2005	电阻点焊过程数值模拟与仿真分析技术·····	张建勋等	(2-423)
H-X-32-2005	基于 BP 网络的铝合金焊接热裂纹预测系统·····	周丽华等	(2-427)
H-X-33-2005	基于 Client/Server 的表格化焊接 CAPP 系统·····	刘 丰等	(2-431)
H-X-34-2005	焊接 CAPP 的开发和应用·····	杨惠勤等	(2-435)
H-X-35-2005	基于 Client/Server 的焊工考试题库系统·····	李 巍等	(2-438)
H-X-36-2005	焊工持证项目微机智能化管理与推理·····	张连伟等	(2-442)
H-X-37-2005	基于结构和加工特征的焊接零部件加工工艺制定·····	朱志明等	(2-447)
H-X-39-2005	钢制压力容器焊接工艺制定与管理系统·····	朱志明等	(2-451)
H-X-40-2005	焊接凝固裂纹数值模拟的研究进展及前景展望·····	魏艳红等	(2-455)
H-X-41-2005	不同焊接工艺下电磁搅拌力对熔池的影响·····	董红刚等	(2-459)
H-X-43-2005	水下焊接技术研究和应用的进展·····	朱加雷等	(2-463)
H-X-44-2005	锅筒管座角焊缝自动焊研究·····	卢征然等	(2-467)
H-X-45-2005	铝焊丝化学抛光生产线研制·····	马跃洲等	(2-471)
H-X-46-2005	基于扫描轨迹控制的电子束熔炼制备梯度材料的研究·····	杨尚磊等	(2-475)
H-X-47-2005	闭环控制真空电子束钎焊薄壁毛细管·····	姚 舜等	(2-479)
H-XI-001-2005	基于结构光立体视觉的弧焊机器人空间焊缝定位系统·····	杨 培等	(2-483)

H-XI-002-2005	基于高级建模系统的机器人弧焊离线编程系统的开发·····	何广忠等	(2-487)
H-XI-003-2005	P-GMAW 正反面熔池图像传感研究·····	闫志鸿等	(2-490)
H-XI-004-2005	基于 Solid Edge 的弧焊机器人图形仿真与离线编程·····	陈志翔等	(2-493)
H-XI-005-2005	便携式关节型弧焊机器人的开发·····	陈 炯	(2-497)
H-XI-006-2005	机器人焊接系统中变位机的设计·····	许文清	(2-501)
H-XI-007-2005	不锈钢 GTAW 熔池正面图像处理·····	李来平等	(2-505)
H-XI-008-2005	焊接熔池表面反射图模型的建立·····	李来平等	(2-509)
H-XI-009-2005	图像边缘检测技术在焊接环境识别中的应用·····	陈希章等	(2-512)
H-XI-010-2005	粗糙集理论在焊接中的应用综述·····	黎文航等	(2-516)
H-XI-011-2005	基于支持向量机的焊接过程建模方法·····	黄细霞等	(2-520)
H-XI-012-2005	基于 CPNTOOLS 的弧焊机器人系统仿真·····	马国红等	(2-524)
H-XI-013-2005	焊缝熔池视觉信息获取与处理研究·····	樊重建等	(2-527)
H-XI-014-2005	弧焊机器人焊缝跟踪方法的研究现状·····	周 律等	(2-531)
H-XI-015-2005	焊接过程多变量控制方法研究·····	吕凤琳等	(2-535)
H-XI-016-2005	基于视觉传感弧焊机器人焊接熔池实时控制·····	郎玉友等	(2-539)
H-XI-017-2005	LD10 铝合金熔焊接头的搅拌摩擦处理研究·····	林 涛等	(2-543)
H-XI-018-2005	焊接电弧传感器的研究现状与展望·····	贾剑平等	(2-546)
H-XI-019-2005	焊接快速成型的截面轮廓修复算法研究·····	胡璐华等	(2-551)
H-XI-020-2005	CCD 视觉传感器在熔焊快速成型中的应用·····	罗 勇等	(2-554)

硫化物的分布形态对 SA335 P91 钢焊接根部热裂纹的影响

黄嗣罗^{1,2}, 张建勋¹, 牛靖¹, 陈宗强²

(1 西安交通大学材料学院, 710049; 2 中国石化茂名石化机械厂, 525024)

摘要: 对 SA335 P91 炉管对接全位置固定单面焊双面成形焊缝试样进行了金相分析, 电镜扫描和微区能谱分析。结果表明, 尽管 SA335P91 钢及所使用的焊材的 S、P 含量很低, 但如果工艺选择不当, 仍然会产生结晶裂纹; 结晶裂纹产生与否主要取决于 S 的低熔点共晶化合物在晶界的分布形态, 而不是取决于 S 的绝对含量。在 S 的含量比较高的情况下, S 的含量高但以点状分布于晶界上对晶界的削弱效果并不明显, 如果以膜状或者块状物形式分布的硫化物存在于晶界上, 则容易导致晶界上结晶裂纹的产生。

关键词: SA335 P91 钢 结晶裂纹 低熔共晶体 分布形态

0 前言

提高火电厂的效率是今后解决全球环境问题的一个有力手段, 采用超高温高循环是高效率化的手段之一^[1]。到本世纪五十年代, 电站锅炉钢管大多采用铁素体合金钢 (21/4Cr-1Mo) 和奥氏体不锈钢 (TP304、TP347 等), 但随着高参数机组的发展, 锅炉温度和压力的进一步提高, 对钢管材料的高温蠕变性能和抗应力腐蚀方面提出了更高的要求^[2]。在这种背景下, 美国曾在 1974 年对大量的现有材料进行了一项庞大的论证工作, 结果表明, 改进型 9%Cr-1%Mo 钢在诸如耐腐蚀性、焊接性、加工性、力学性能等方面显示出了卓越的综合性能。

但是, 近年来, 许多锅炉制造厂在使用 9%Cr-1%Mo 钢制造锅炉、压力容器时, 所遇到的问题不仅仅是冷裂纹的问题, 对于焊接过程中出现的热裂纹也越来越重视^[3-6]。

某油建公司在制造北方某大型乙烯改扩建项目中, 裂解对流段的超高压蒸汽过热器段是以 SA335 P91 为材质, 规格为 $\phi 73.3 \times 9.53\text{mm}$, 焊后进行 X 射线检测时, 发现部份焊口存在裂纹, 导致大量返修, 对工期造成了较大的影响。作者在文献[7]中针对该工程中出现的焊接根部裂纹进行了分析, 认为其裂纹属于结晶热裂纹, 并指出闭合区内晶界上硫、磷等晶间偏析元素含量高、偏析严重以及闭合区较高的应力集中是裂纹产生的主要原因之一。因此, 本文将重点分析焊接工艺参数对 SA335 P91 钢焊缝组织结晶偏析的影响, 以期通过工艺参数的调整来提高焊接接头的焊接质量。

1 焊接试验材料与试验方法

1.1 试验材料

试验选用的 SA335 P91 钢管由日本住友金属公司生产, 规格为 $\phi 73.3 \times 9.53\text{mm}$, 其化学成份与机械性能如表 1 所示。焊接方法采用手工氩弧焊, 焊材用英国曼彻特焊接材料公司的 ER90S-B9 焊丝, 直径 $\phi 2.4\text{mm}$, 其熔敷金属的化学成份如表 2 所示。

1.2 试验方法

试验采用管对接水平固定加障碍物全位置焊, 首先从 6 点钟的位置顺时针焊至 12 点钟位置, 把收弧处加以打磨后, 再从 6 点钟位置逆时针方向右焊, 后半部份与前半部份闭合前电弧在此稍作停留和摆动, 待小孔闭合后, 电弧继续前移 5mm 左右电弧引出坡口外收弧。焊接速度为 105mm/min, 其它工艺参数见表 3。从文献[7]的分析中可知, 焊接裂纹主要产生于根部打底焊时左右焊道交汇闭合小孔处。如图 1、图 2 所示。所以, 检验取样时主要取在裂纹发生的区域, 试样经 X 射线探伤后, 把有裂纹的试样经轴向和周向准确定位后用线切割方法沿开裂面分开且要保留裂纹的原始形貌, 而对没有发现有裂纹的试样则沿左右焊交汇闭合小孔中心强制打断, 然后分别用荷兰 hilips 公司 XL-30FEG 型扫描电镜进行断口扫描、用美国 EDAX 公司的 DX4i 型 x 射线能谱仪进行能谱分析、用德国 Leica 公司出品的 DMIRM 型求学显微镜进行微观金相分析。其中能谱分析主要是对被分析微区求平均值。

2 试验结果

2.1 能谱分析结果

对三个主要工艺参数进行根部焊接试验, 对所焊试样的打底焊道中左右焊道交汇闭合小孔处所在区域微区 EDAX 能谱分析数据结果如表 4 所示。

表 1 SA335 P91 钢的化学成份及力学性能(注：①：标准； ②：实测值)

Table1 Chemical composition and mechanical property of SA335P91steel

化学成份 (Wt%)											
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Nb	Ni	N	S	P
①	0.08-0.12	0.30-0.60	0.20-0.50	8.00-9.50	0.85-1.05	0.18-0.25	0.06-0.10	0.40	0.03-0.07	≤0.01	≤0.02
②	0.10	0.48	0.39	8.98	0.93	0.21	0.08	0.40	0.06	0.0035	0.016
力学性能											
	σ_s /MPa			σ_s /Mpa			δ_s (%)		Ak (J) (+20℃)		HB
	≥ 585			≥415			≥ 20		≥41		≤250
	677			501			34		87		178

表 2 ER90S-B9 熔化学成份 (质量百分数, %)

Table2 Chemical composition of deposited metal of welding wire

	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Nb	Ni	N	S	P	Al
①	0.08-0.13	0.40-0.80	0.15-0.30	8.00-9.50	0.80-1.1	0.15-0.25	0.03-0.08	0.40-0.8	0.03-0.07	≤0.01	≤0.01	≤0.04
②	0.10	0.50	0.25	8.70	1.00	0.20	0.05	0.6	0.03	0.006	0.008	≤0.01

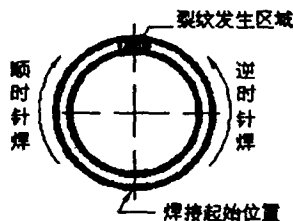


图 1 裂纹产生区域
Fig 1 Region of crack occurring

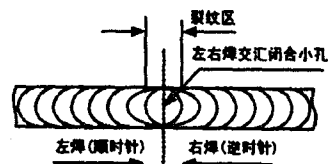


图 2 左右焊交汇小孔闭合区域示意图
Fig 2 Region of hole closed

表 3 典型试验工艺参数及结果

Table3 Typical test parameters and results

试验序号	焊接电流 (A)	预热温度 (℃)	小孔停留时间 (s)	EDAXS%(w%)	是否开裂
2#	100	170	0	—	否
5#	130	170	5	6. 2270	否
8#	150	170	10	0. 5090	裂
12#	130	170	10	0. 7252	裂
14#	150	250	5	0. 3876	否
18#	150	250	5	10. 584	否
21#	150	170	15	3. 2290	裂

2.2 微观金相分析

图 3 是执行规范较小的 2#工艺制备的试样焊态下闭合小孔处的显微组织图,焊接电流和小孔停留时间较短,故晶粒比较细,板条马氏体束较短且窄,而图 4 则是表 3 中 21#工艺试样在焊态下闭合小孔处的显微组织图和裂纹形貌,显然,其晶粒尺寸要比图 3 所示的大,马氏体束既长又粗且方向性极强。

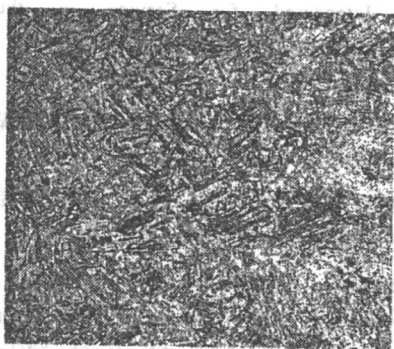
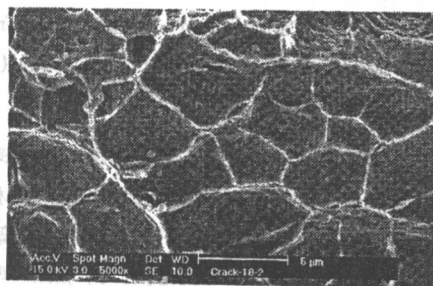
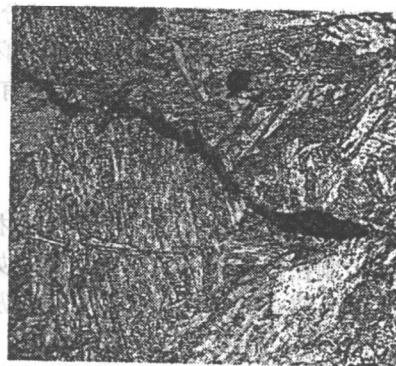
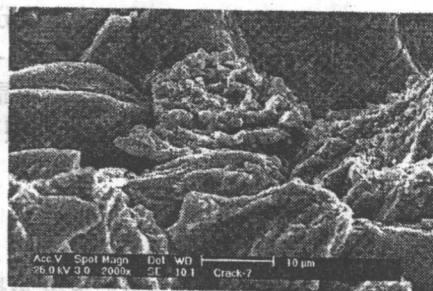
2.3 扫描电镜分析结果

5#、8#、18#、21#试样中,5#和 18#是没有开裂的,用冲击的办法把试样从左右焊道交汇闭合小孔处冲断,而 8#、21#试样是有裂纹的,则从裂纹面一分为二,分别在扫描电镜下观察到的微观形貌,其典型特征如图 5-6 所示。

表 4 典型试样 EDAX 分析详细结果(单位: Wt%)

Table.4 results of EDAX for typical specimens

	C	S	Cr	Mn	Fe	Al	Ti	Ni
5#	2.153	6.227	11.817	12.089	68.199			
18#	3.603	10.584	12.781	18.777	44.608	1.888	2.022	
8#	5.359	0.509	10.698	0.723	82.627			
21#	1.804	3.229	8.510	0.192	83.950			2.315

图 3 2#焊缝显微组织 100x
Fig.3 Microstructure of 2# weld seam图 5 18#焊缝断口形貌图
The fracture pattern of 18# weld seam图 4 21#焊缝裂纹显微组织 100x
Fig.3 Microstructure of 21# weld crack图 6 21#焊缝裂纹断口形貌图
Fig.6 The fracture pattern of 21# weld crack

3 分析与与讨论

从前面的试验结果可以看出:

1) 左右焊交汇闭合小孔处是否开裂与焊接规范密切相关, 主要取决于焊接电流和小孔闭合处停留时间, 开裂的试样都是 I 偏大或是 t_{hole} 偏长或是二者都偏大。

2) 从 EDAX 结果看, 总体上, 开裂的试样 S 的相对含量都比较高, 这说明, 焊接热裂纹的产生与否和焊缝内晶界上 S 的含量有关, 试验所选用的钢管和焊丝的 S 含量都是非常低的, 那么晶界上 S 必然是通过偏析聚集而来的^[8-10]。

表 4 显示了这四个典型试样的断面上部份物质

的能谱结果, 5#、18#试样没有裂纹产生, 8#、21#试样有裂纹产生, 从 18#试样的人为断口形貌看, 是典型的韧性断口, 韧窝底部有球形夹杂物, 对其进行能谱分析, 结果表明它是硫化锰夹杂物, 它的熔点是 1610°C , 这种以球状(颗粒状)分布的硫化锰夹杂物存在的硫元素, 对结晶裂纹的形成与产生没有任何贡献, 因而没有裂纹产生, 同时在韧窝底部的夹杂物中还发现了高熔点的硫化物形成元素 Ti, 这进一步印证了高熔点硫化物形成元素可降低热裂纹的敏感性的观点。而 8#、21#试样的裂纹表面, 通过能谱分析发现, 存在大量的低熔点共晶体形成元素 S、Ni、Fe 等及其促成元素 C, 它们是 FeS-Fe 和 Fe-S 裂纹面上的低熔点共晶体延绵起伏分布, 表面光亮, 棱角圆滑, 成团成块, 形态自然, 这说明

其凝固时间长。在焊接材料和母材相同的条件下,这些被分析的焊缝有些发现了裂纹,有些却没有,究其原因,主要是和焊接工艺参数有关,有裂纹产生的焊缝,其裂纹的产生主要是成份偏析相当严重,这又与焊缝奥氏体晶粒大小关系密切,金相分析结果证明了这一点。孔停留时间 t_{hole} 对结晶裂纹的产生影响最大,尤其是当 t_{hole} 增大时,发现焊缝组织中的板条马氏体束变长变粗,方向性极强,这必然导致成份偏析加剧,进而在其它条件满足的前提下,将产生裂纹。从表 4 显示的结果及其分析表明,通过优化选择焊接规范,电弧在左右焊道闭合小孔处作 5 秒以内的停留是预防热裂纹产生的有效措施。

4 结论

1) 尽管 SA335P91 钢及其所选用的焊材含 S、P 等杂质严格控制在标准规定的下限,但是如果焊接规范选择不当,仍会造成严重的成份偏析从而引发结晶裂纹。

2) 结晶裂纹的产生与否主要取决于低熔点共晶硫化物的分布形态而不是单纯取决于 S 的绝对含量。S 的含量高但以 (Mn, Fe)S 共晶形式点状分布于晶界上对晶界的削弱效果并不明显,而以 FeS-Fe 和 FeS 的形式呈膜状、块状物的形式分布于三叉晶界上则会严重削弱了晶界结合力,降低了晶界断裂强度,最易导致结晶裂纹的产生。

参考文献

- [1] 片山典彦著,李为民译.锅炉用材的焊接.焊接学会誌.1993, 3:160—163
- [2] Zhang Jianqiang, Zhao Haiyan, Wu Su, Lu Anli, Wang Yu and Zhang Yinglin. Research on the creep damage and interfacial failure of dissimilar metal welded joint between 10Cr9Mo1VNbN and 12Cr1MoV steel. CHINA WELDING Vol.13 No.1 May 2004.
- [3] 东方锅炉厂总师办编译.用于锅炉制造的高强钢.改良型 9Cr-1Mo 钢 (T/P91) 译文集.1990: 234—239.
- [4] 徐德禄. T91/P91 钢焊接材料的发展. 新型 9~12Cr 系列热强钢焊接技术资料选编. 中国机电工程学会, 2002, 103—123.
- [5] ZEMAN M and Brozda. Welding ability of 9Cr-1Mo-Nb-V Steel Intendered for Service in the Power Industry[J]. Welding Research Aboard, 1997, (8):58—67.
- [6] 孙俊英译. 超 9Cr 钢大口径钢管在 700MW 燃煤锅炉上的应用. 锅炉技术, 1991, 3:25—30.
- [7] 黄嗣罗, 张建勋, 陈宗强. SA335 P91 钢管焊接接头根部裂纹分析[J]. 压力容器, 2004, 5:36—40.
- [8] GEggeler, J.C Earthman, N.Nilsvang and B.Ilschner, Microstructural Study of Creep Rupture in a 12% Chromium Ferritic Steel, Acta. Metall. 1989, 37(1):49-60.
- [9] 王迪. 钢中微量元素的偏析与晶界弱化, 冶金工业出版社, 1985: 127-189.
- [10] A.H.COTTRELL, Carbides of Group VA Transition Metals, Materials Science and Technology, 1995, 11(2):100-

作者简介: 黄嗣罗, 高级工程师。长期从事压力容器、工业管道制造技术和质量控制工作, 现为西安交通大学材料加工工程在职硕士研究生, 在国内核心期刊发表论文 16 篇. E-mail: bytengineer@163.com 张建勋, 西安交通大学教授、博士生导师, 从事焊接过程力学行为, 焊接数值模拟与专家系统等研究工作. E-mail: jxzhang@mail.xjtu.edu.cn

350t 门式起重机主梁的总成焊接

朱光照

徐 锋

(上海华钢工程建设监理有限责任公司, 上海 200092) (上海市焊接协会, 上海 200070)

关键词 预拼装 总线焊接

0 简述

为制作和搬运东海大桥为数众多的钢筋混凝土桥墩, 上海豪力起重机械有限公司承建了一台工作级别 A5、起重量 350t、跨距 36m、起重高度 19m、自重 644t 的门式起重机, 并将它安装在位于东海之上的沈家湾岛的使用场地上。该机有二根净长 41.3m 的箱形主梁, 高 4m 多, 宽 2m, 腹板厚 16mm, 上翼缘板和下翼缘板均厚 24mm, 中间设有隔舱式筋板、一般筋板, 以及纵向加强角钢(参见图 1), 全部用料为 Q235B, 每根重 238t。

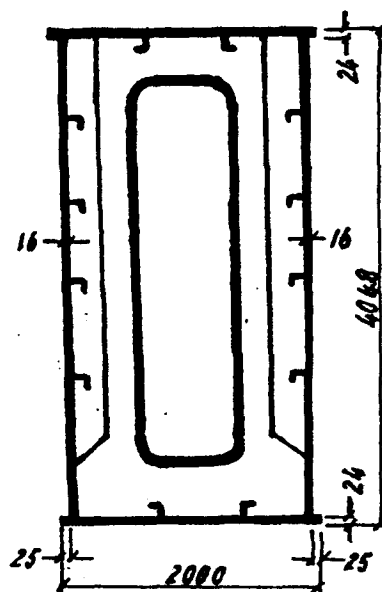


图 1 主梁断面示意

1 主梁的分段

主梁在上海的工厂里预拼装成二根整体, 达到表 1 所示的精确程度。先从工厂车运到卢潮港码头, 再船运到沈家湾码头, 最后再车运到使用场地。考虑运输的方便, 每根主梁分三段制作, 然后在使用场地上再次组装、焊接成二根整体; 最后同端梁组装、焊接, 并提升到支腿上, 加入整台门式起重机的安装、调试。上海市焊接协会对主梁在现场的总成焊接, 从拟订方案到具体实施, 作了全过程的咨询。

表1 主梁整体预拼装完成后的精确程度

项目	标准 (mm)	实际 (mm)	
		左 梁	右 梁
上 拱	≥ 50	73.5	75
水平弯曲	20	16	14
腹板局部平面度	在 $\frac{n}{3}$ 内 11.2	9	9.5
	其余 19.2	15	14
上翼缘板水平偏斜	10	6.3	6.3
腹板垂直偏斜	20	11	13

分段部位上翼缘板的对接接头同腹板的对接接头、腹板的对接接头同下翼缘板的对接接头，互相错开 300 mm (参见图 2)。

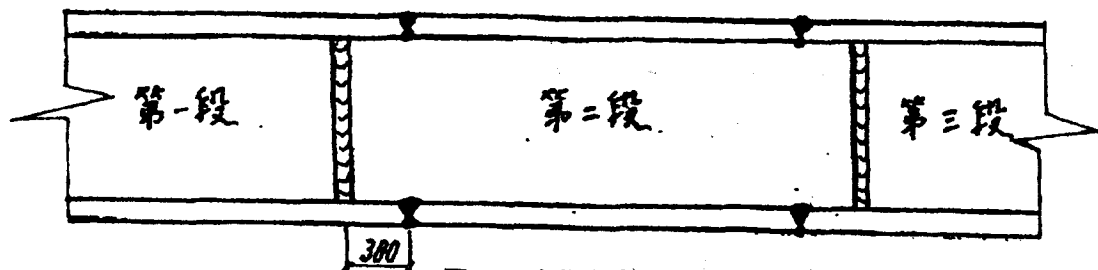


图2 主梁分段示意

2 主梁的现场总成组装

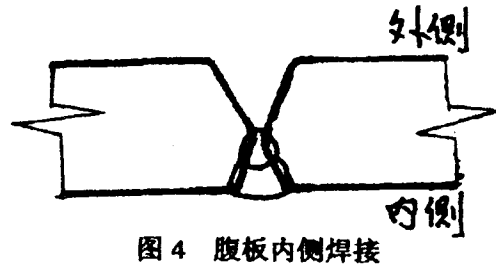
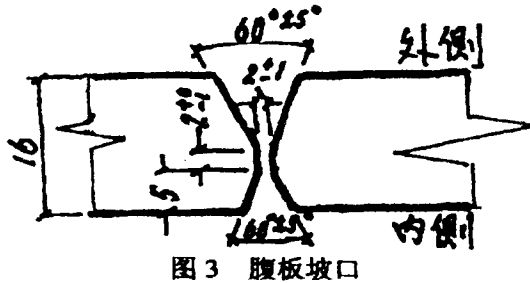
在垫高 1.2m 的钢筋混凝土墩子上搁起主梁段，借助千斤顶和神仙葫芦组装整根主梁，达到表 2 所列的精确程度。

表2 主梁现场总成组装后的精确程度

项 目	标 准 (mm)	实 际 (mm)	
		左 梁	右 梁
上 拱	≥ 50	73.5	75
水平弯曲	20	15	13
腹板局部平面度	在 $\frac{n}{3}$ 内 11.2	9	9
	其余 19.2	15	15
上翼缘板水平偏斜	10	6.5	6.5
腹板偏斜	20	11	13
接头高低差	≤ 1	1	1

接头间隙	≤ 2	1.5	2
接头外侧间错位	≤ 1	0.6	0.8

3 腹板的对接焊



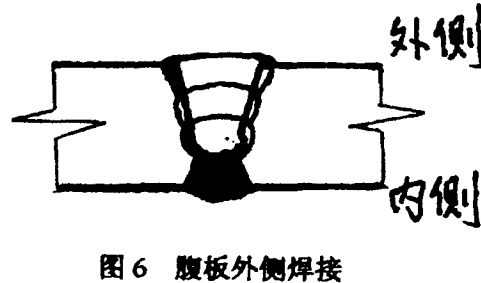
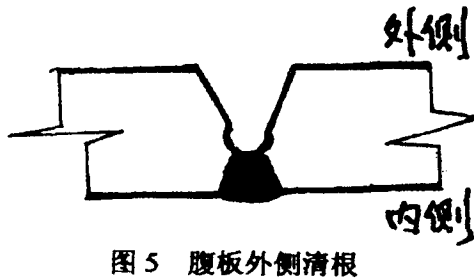
3.1 腹板对接采用图3所示的坡口。

3.2 两侧的腹板同步、同向（从下朝上）、同参数施行立焊。焊前将坡口及其两侧的适当部位打磨光洁。

3.3 先用 $\phi 4$ 焊条焊内侧的2个焊道（图4）。

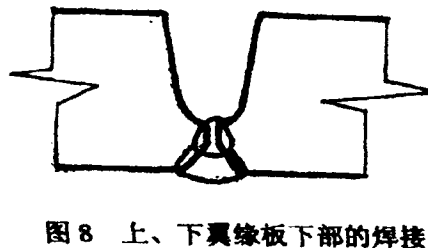
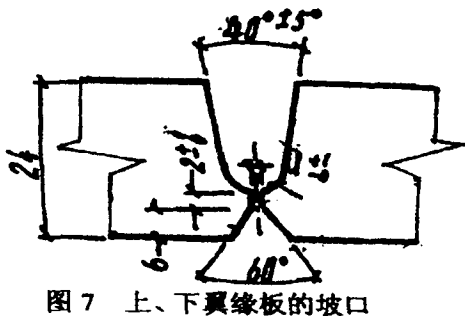
3.4 然后在外侧用 $\phi 10$ 碳刨条清根（图5），再用角向砂轮打磨光洁，并经MT探伤确认无焊接缺陷。

3.5 最后在外侧用 $\phi 4$ 焊条立焊另外3个焊道（图6）。



4 下翼缘板的对接焊

4.1 坡口及其两侧打磨光洁后，先用 $\phi 4$ 焊条仰焊两个焊道（参见图7和图8）。



4.2 然后在上部用 $\phi 10$ 碳棒条清根（图9），再用砂轮打磨光洁，并经MT探伤确认无缺陷。

4.3 最后用 $\phi 4$ 和 $\phi 5$ 焊条平焊其余4个焊道（图10）。

4.4 下翼缘板的对接焊，无论仰焊还是平焊，一律采用退焊法。

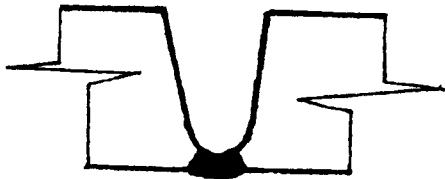


图9 上、下翼缘板上部的清根

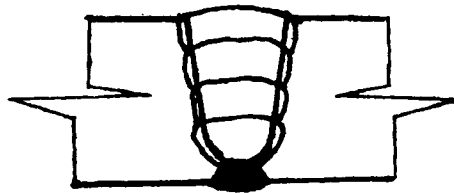


图10 上、下翼缘板上部的焊接

5 上翼缘板的对接焊【同下翼缘板的对接焊，参见5的(1)~(4)和图7~图10】。

6 焊接参数(表3)

表3 焊接参数

焊接方法	焊接位置	焊条		焊接电流 I (A)	电弧电压 U (V)	焊接电源 和极性
		牌号	直径 ϕ (mm)			
手工焊	平焊	E4315 (J427)	4	140-160	20-22	DC, RP
			5	180-200		
	立焊		4	130-150		
	仰焊		4	120-140		

7 焊条烘培

烘培温度: 300-350° C; 烘培时间: 2h。

8 焊接环境

8.1 焊接工地强调搭建临时工棚，以免风吹雨淋。

8.2 工地地处海岛，空气湿度较高，因此施焊前强调仔细清除坡口及其两侧 30 mm 范围内的油、锈、水、污，即烘去油迹、磨去锈斑、烘去水迹、铲除污垢物。

9 焊缝外观检查结果

9.1 焊缝余高 ≤ 3 mm。

9.2 焊宽约等于坡口上口宽度+ (4-6) mm。

9.3 无未焊满。

9.4 咬边深度 ≤ 0.5 mm，咬边累计长度 $\leq 10\%$ 焊缝长度。

9.5 无焊瘤。

9.6 无表面气孔、表面夹渣、表面裂纹。