(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105499762 B
(45)授权公告日 2018.01.19

(21)申请号 201510957378.5

(22)申请日 2015.12.17

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105499762 A

(43)申请公布日 2016.04.20

(73)专利权人 国网山东省电力公司电力科学研究院
地址 250002 山东省济南市市中区望岳路2000号
专利权人 山东电力工业锅炉压力容器检验中心有限公司
国家电网公司

(72)发明人 李新梅 杜宝帅 张忠文 李华东 李志明 张都清 邓化凌 李雪峰

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221
代理人 张勇

(51)Int.Cl.
B23K 9/167(2006.01)
B23K 9/23(2006.01)
B23K 9/235(2006.01)

审查员 付秋姣

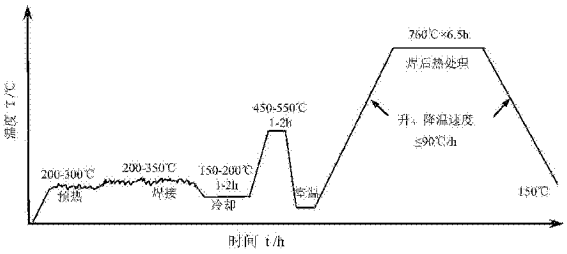
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种避免P92钢焊缝金属微细裂纹的焊接工艺

(57)摘要

本发明公开了一种避免P92钢焊缝金属微细裂纹的焊接工艺，属于金属材料焊接领域。该焊接工艺提高P92钢预热温度至300℃，层间温度提升至350℃，全部焊接完成后先缓冷至150-200℃保温1-2h，然后缓慢升温至450℃-550℃保温1h-2h，冷却至室温进行超声检测，检查合格，进行焊后热处理，冷却至室温后利用超声检测、TOFD和相共振进行检测是否有缺陷波。该工艺可减少脆性马氏体的形成，增加奥氏体转化成马氏体的体积分数，有效避免了P92钢焊缝金属微细裂纹的产生，消除了超超临界机组安全稳定运行的隐患。



CN 105499762 B

1.一种避免P92钢焊缝金属微细裂纹的焊接方法，其特征在于，包括如下步骤：

(1)开坡口，并对坡口表面进行清理；

(2)组装对口后进行预热，预热温度为200℃-300℃，保温时间为1-2h；

(3)内部充氩气保护；

(4)焊接方法：手工钨极氩弧焊打底，焊条电弧焊填充和盖面；焊接过程层间温度控制在200℃-350℃范围内；

(5)全部焊接完成后，先将焊件缓冷至150-200℃保温1-2h，然后缓慢升温至450℃-550℃、保温1h-2h；

(6)冷却至室温，进行超声检测，检查合格后进行焊后热处理；

(7)磨光焊缝表面，利用超声检测、TOFD和相控阵方法进行检测；

步骤(4)中手工钨极氩弧焊所用焊丝为ER90S-G，规格Φ2.4mm；焊条电弧焊所用焊条为MTS616，规格为Φ2.5mm和Φ3.2mm。

2.根据权利要求1所述焊接方法，其特征在于，步骤(1)，坡口为综合型、U型或双V型。

3.根据权利要求2所述的焊接方法，其特征在于，坡口是综合型，利用坡口机加工成综合型坡口，内外壁距坡口边缘20mm长露出金属光泽。

4.根据权利要求1所述焊接方法，其特征在于，步骤(2)中，对口后采用电阻加热方式进行预热，利用热电偶进行测温，预热温度为200℃-300℃，保温时间为1-2h。

5.根据权利要求1所述焊接方法，其特征在于，步骤(3)中，焊接之前制作P92钢管专用充氩封闭装置，所述装置由圆柱状软纸壳和垂直于圆柱底面且均匀分布于圆柱底面圆周的4个支撑架组成，使用时将封闭装置装于P92钢管内壁两端，在圆柱状纸壳侧面打密封胶与钢管内壁粘附，对钢管进行封闭；氩气纯度99.99%，氩气流量6L-20L/min。

6.根据权利要求1所述焊接方法，其特征在于，步骤(4)中，焊接前手工钨极氩弧焊点焊固定，点焊数量三处，互成120°，尺寸≥20mm×3mm；焊条按说明书要求在300-350℃温度下烘焙2h，放入80-110℃保温桶带入现场随用随取。

7.根据权利要求1所述焊接方法，其特征在于，步骤(4)中焊接采用双人对称施焊，小线能量多层多道焊，焊缝单层增厚不超过焊条直径，焊道宽度不超过焊条直径的4倍。

8.根据权利要求1所述焊接方法，其特征在于，步骤(5)中，全部焊接完成后，先将焊件缓冷至150-200℃保温1-2h，然后缓慢升温至450℃-550℃、保温1h-2h，升降温速度≤90℃/h。

9.根据权利要求1所述焊接方法，其特征在于，步骤(6)中，冷却至室温，进行超声检测，检查合格，采用电阻加热方式进行高温回火处理，升降温速度≤90℃/h，至150℃以下可保温层内冷却至室温。

一种避免P92钢焊缝金属微细裂纹的焊接工艺

技术领域

[0001] 本发明属于金属材料领域，涉及一种焊条电弧焊焊接工艺，尤其是涉及一种避免P92钢焊缝金属微细裂纹的焊接工艺。

背景技术

[0002] 超超临界机组因具有节能、环保等优势成为目前火力发电的主要趋势，中国已成为世界上超超临界火电机组最多的国家。超超临界机组快速稳步发展的关键技术之一是高蠕变强度耐热钢的选择、制造和安装过程中的焊接及热处理工艺研究、运行后的组织性能变化规律和部件损伤后的修复技术研究。P92铁素体型耐热钢因具有较高的高温强度和抗蠕变性能，成为我国超超临界机组联箱和主蒸汽管道的首选材料。

[0003] 由于锅炉中的P92钢部件主要依靠焊接方式进行连接，而且随着机组容量的增大，焊接的工作量也不断增多，在焊接条件下，钢材要经历多次焊接热循环的作用，使得焊接接头的组织和性能极不均匀，从而可能导致焊接接头在运行过程中发生早期失效，成为材料应用的薄弱环节。目前国内已有多起P92钢部件失效示例，尤其是焊缝金属极易形成微细裂纹问题仍然是机组安全稳定运行的重大隐患。从最初发现微细裂纹产生于配管厂厂家焊缝，到现场安装焊缝中有大量微细裂纹存在，表明该类裂纹在现有焊接条件下具有普遍性特征，这类微细裂纹长度0.5-2mm不等；它不仅产生于焊缝表面，而且在焊缝内部也会存在，其走向既有沿晶也有穿晶，形态呈蠕虫状，往往在一个微小区域内有多条裂纹存在，焊态下该区域的硬度明显增高。分析裂纹产生的机制，裂纹的产生与P92钢的成分和焊缝的组织状态密切相关，它对焊接工艺有较高的敏感性，现有的焊接工艺难以确保焊缝金属不形成该类裂纹，更为严重的是，该类裂纹大多尺寸小，现有的无损检测技术难以判定焊缝中该类裂纹的性质，对机组的安全稳定运行构成威胁。

发明内容

[0004] 针对上述现有技术存在的问题，本发明是提供一种避免P92钢焊缝金属微细裂纹的焊接工艺，利用“模拟产生P92钢焊缝金属微细裂纹方法”专利技术(CN103008855B)和实际工程中P92钢焊缝存在的微细裂纹得出的P92钢焊缝金属微细裂纹形成机制，并依据P92钢马氏体相变的特点和实际工况，提出了避免P92钢的焊缝金属内部微细裂纹的焊接工艺。

[0005] 具体的，本发明涉及以下技术方案：

[0006] 一种避免P92钢焊缝金属微细裂纹的焊接工艺，其特征在于，包括如下步骤：

[0007] (1)开坡口，并对坡口表面进行清理；

[0008] (2)组装对口后进行预热，预热温度为200℃-300℃，保温时间为1-2h；

[0009] (3)内部充氩气保护；

[0010] (4)焊接方法：手工钨极氩弧焊打底，焊条电弧焊填充和盖面；焊接过程层间温度控制在200℃-350℃范围内；

[0011] (5)全部焊接完成后，先将焊件缓冷至150-200℃保温1-2h，然后缓慢升温至450

℃-550℃、保温1h-2h；

[0012] (6)冷却至室温，进行超声检测，检查合格后进行焊后热处理。

[0013] 本发明所述焊缝金属微细裂纹与传统的焊缝金属热裂纹和延迟裂纹不同，该类微细裂纹是焊缝金属在冷却过程中产生的低温脆性裂纹，形态呈蠕虫状，走向曲折有断续，尖端呈钝化形态，长宽比小，长度0.5-2mm mm。该类裂纹对焊接工艺条件有较高的敏感性，现有的焊接工艺难以确保焊缝金属不形成该类裂纹。本发明通过在现有P92钢焊接工艺的基础上，进行大量的实验探索，发现通过焊接工艺参数的改进(包括预热温度、焊接温度控制、中温处理等)，能够避免焊缝金属微细裂纹的产生。

[0014] 优选的，本发明所述工艺还包括：步骤(7)磨光焊缝表面，利用超声检测、TOFD和相控阵方法进行检测。

[0015] 优选的，步骤(4)中，以Φ370mm×68mm规格管道为例，所用的焊接材料为：手工钨极氩弧焊所用焊丝为ER90S-G，规格Φ2.4mm；焊条电弧焊所用焊条为MTS616，规格为Φ2.5mm和Φ3.2mm。

[0016] 具体焊接参数如下：

[0017] 第1-3层手工钨极氩弧焊焊层，焊接方法为GTAW，焊丝选用ER90S-G，规格为Φ2.4mm，焊接电流为70-120A，电压为10-14V，单层厚度为1-3mm；

[0018] 第4-25层焊条电弧焊，焊接方法为SMAW，焊条选用MTS616，第4-5层采用焊条规格为Φ2.5mm，第6-25层采用焊条规格为Φ3.2mm，焊接电流为80-140A，电压为20-24V，单层厚度为1-3mm。焊缝单层增厚不超过焊条直径，焊道宽度不超过焊条直径的4倍。

[0019] 更优选的，焊接参数为：

[0020] 第1-3层手工钨极氩弧焊焊层，焊接方法为GTAW，焊条选用ER90S-G，规格为Φ2.4mm，

[0021] 第1层焊接电流为70-110A，电弧电压为10-14V，单层厚度为2-3mm，

[0022] 第2-3层焊接电流为80-120A，电弧电压为10-14V，单层厚度为1-2mm；

[0023] 第4-25层焊条电弧焊焊层，焊接方法为SMAW，焊条选用MTS616，第4-5层采用焊条规格为Φ2.5mm，第6-25层采用焊条规格为Φ3.2mm，

[0024] 第4-5层焊接电流为80-120A，电弧电压为20-24V，单层厚度为1.5-3mm，

[0025] 第6-25层焊接电流为110-140A，电弧电压为20-24V，单层厚度为1-3mm。

[0026] 优选的，本发明所述P92钢为Φ370mm×68mm规格的钢管或规格为Φ644mm×106mm的钢管；

[0027] 优选的实施方案中，步骤(1)，坡口为综合型、U型或双V型，优选的是综合型，利用坡口机加工成综合型坡口，内外壁距坡口边缘20mm长露出金属光泽。

[0028] 优选的，步骤(2)中，对口后采用电阻加热方式进行预热，利用热电偶进行测温，预热温度为200℃-300℃，保温时间为1-2h；

[0029] 步骤(3)中，为达到良好的充氩效果，焊接之前制作P92钢管专用充氩封闭装置，所述装置由圆柱状软纸壳和垂直于圆柱底面且均匀分布于圆柱底面圆周的4个支撑架组成，使用时将封闭装置装于P92钢管内壁两端，在圆柱状纸壳侧面打密封胶与钢管内壁粘附，对钢管进行封闭。P92钢管专用充氩封闭装置如图2所示；

[0030] 氩气纯度99.99％，氩气流量6L-20L/min。

[0031] 步骤(4)中，焊接前手工钨极氩弧焊点焊固定，点焊数量三处，互成120°，尺寸≥20mm×3mm；

[0032] 焊条按说明书要求在300-350℃温度下烘焙2h，放入80-110℃保温桶带入现场随用随取；

[0033] 本发明焊接过程中优选采用双人对称施焊，小线能量多层多道焊，焊缝单层增厚不超过焊条直径，焊道宽度不超过焊条直径的4倍。层间温度控制在200℃-350℃范围内。

[0034] 优选的，步骤(5)中，全部焊接完成后，先将焊件缓冷至150-200℃保温1-2h，然后缓慢升温至450℃-550℃、保温1h-2h(升降温速度≤90℃/h)。

[0035] 步骤(6)中，冷却至室温，进行超声检测，检查合格，采用电阻加热方式进行高温回火处理，升降温速度≤90℃/h，至150℃以下可保温层内冷却至室温。

[0036] 步骤(7)中，磨光焊缝表面，利用超声检测、TOFD和相控阵方法进行检测。

[0037] 发明人通过反复试验验证，发现采用上述焊接参数结合上述工艺条件，可以有效避免焊缝金属微细裂纹的产生。

[0038] 本发明取得了以下有益效果：

[0039] (1)本发明通过控制焊接工艺，特别是控制预热温度、层间温度、中温处理和焊接热输入，可获得性能良好的焊接接头；

[0040] (2)本发明焊接工艺提高P92钢预热温度至300℃，层间温度提升至350℃，减小脆性马氏体的形成；焊后缓冷至150-200℃，在焊接热处理前增加450-550℃处理工艺，增加奥氏体转化成马氏体的体积分数，有效地避免了P92钢焊缝金属微细裂纹的产生，消除了超超临界机组安全稳定运行的隐患。

附图说明

[0041] 图1 P92钢管综合型坡口示意图，钝边P＝2mm，R＝3mm，坡口面角度α＝20°-25°，β＝5°，根部间隙b＝2-5mm

[0042] 图2 P92钢管专用充氩封闭装置图，a为正视图，b为侧视图，1-软纸壳；2-支撑架；3-密封胶。

[0043] 图3本发明Φ370mm×68mm规格的P92钢管热处理温度曲线

[0044] 图4 P92钢管“U”型坡口示意图，钝边P＝0.5-2mm，根部半径R＝5mm，坡口面角度α＝13°，根部间隙b＝2-5mm

[0045] 图5实施例3Φ364×57mm的P92钢管热处理温度曲线

[0046] 图6实施例1的P92钢焊缝组织金相图

[0047] 图7a实施例3的P92钢焊缝组织金相图

[0048] 图7b实施例3的P92钢焊缝组织扫描电镜

具体实施方式

[0049] 实施例1

[0050] 一种P92钢的焊接工艺，步骤如下：

[0051] (1)P92钢管规格为Φ370mm×68mm，利用坡口机加工成“U”型坡口如图4所示，钝边P＝0.5-2mm，根部半径R＝5mm，坡口面角度α＝13°，根部间隙b＝2-5mm。内外壁距坡口边缘

20mm长露出金属光泽。

[0052] (2)为达到良好的充氩效果，焊接之前制作P92钢管专用充氩封闭装置，如图2所示。

[0053] (3)对口后采用电阻加热方式进行预热，利用热电偶进行测温，预热温度为200℃-300℃，保温时间为2h。

[0054] (4)内部充氩气保护，氩气纯度99.99％，氩气流量6L-20L/min；钨极型号为铈钨极，规格为Φ2.5mm。

[0055] (5)手工钨极氩弧焊点焊固定，点焊数量三处，互成120°，尺寸≥20mm×3mm。

[0056] (6)焊接方法：手工钨极氩弧焊打底，焊条电弧焊填充和盖面。

[0057] (7)焊接材料：焊丝ER90S-G，规格Φ2.4mm；焊条为MTS616，规格为Φ2.5mm和Φ3.2mm；焊条按说明书要求在300-350℃温度下烘焙2h，放入80-110℃保温桶带入现场随用随取。

[0058] (8)P92钢管焊接工艺参数如表1所示。

[0059] 表1 P92钢管焊接工艺参数

[0060]

层号	焊接方法	焊材牌号	焊材规格	电流(A)	电压(V)	每层填充金属厚度（mm）
1	GTAW	ER90S-G	Φ2.4	70-110	10-14	2~3
2~3	GTAW	ER90S-G	Φ2.4	80-120	10-14	1~2
4~5	SMAW	MTS616	Φ2.5	80-120	20-24	1.5~3
6~25	SMAW	MTS616	Φ3.2	110-140	20-24	1~3

[0061] (9)焊接过程中采用双人对称施焊，小线能量多层多道焊，层间温度控制在200℃-350℃范围内。焊缝单层增厚不超过焊条直径，焊道宽度不超过焊条直径的4倍。

[0062] (10)全部焊接完成后，先将焊件缓冷至200℃保温1.5h，然后缓慢升温至480℃保温2h(升降温速度≤90℃/h)。

[0063] (11)冷却至室温，进行超声检测，检查合格。

[0064] (12)采用电阻加热方式进行(760±5)℃×6.5h高温回火处理，升降温速度≤90℃/h，降温至150℃以下可保温层内冷却至室温。

[0065] (13)磨光焊缝表面，利用超声检测、TOFD和相共振方法进行检测，未发现有缺陷波。

[0066] 实施例2

[0067] 一种现场安装P92钢的焊接工艺，步骤如下：

[0068] (1)P92钢管规格为Φ644mm×106mm，利用坡口机加工成“综合型”坡口，如图1所示，钝边P＝2mm，R＝3mm，坡口面角度α＝20°-25°，β＝5°，根部间隙b＝2-5mm，内外壁距坡口边缘20mm长露出金属光泽。

[0069] (2)为达到良好的充氩效果，焊接之前制作P92钢管专用充氩封闭装置(图2所示)，对钢管进行封闭，在P92钢管内壁制作专用充气腔室。

[0070] (3)组装对口后采用电阻加热方式进行预热，利用热电偶进行测温，预热温度为200℃-300℃，保温时间为2h。

[0071] (4)内部充氩气保护，氩气纯度99.99%，氩气流量10L-20L/min；钨极型号为铈钨极，规格为Φ2.5mm。

[0072] (5)手工钨极氩弧焊点焊固定，点焊数量三处，互成120°，尺寸≥20mm×3mm。

[0073] (6)焊接方法：手工钨极氩弧焊打底，焊条电弧焊填充和盖面。

[0074] (7)焊接材料：焊丝ER90S-G，规格Φ2.4mm；焊条为MTS616，规格为Φ2.5mm和3.2mm；焊条按说明书要求在300-350℃温度下烘焙2h，放入80-110℃保温桶带入现场随用随取。

[0075] (8)P92钢管焊接工艺规范参数同实施例1，焊接层数为38层，焊接工艺参数如表2所示。

[0076] 表2 P92钢管焊接工艺参数

[0077]

层号	焊接方法	焊材牌号	焊材规格	电流(A)	电压(V)	每层填充金属厚度（mm）
1	GTAW	ER90S-G	Φ2.4	70-110	10-14	2~3
2~3	GTAW	ER90S-G	Φ2.4	80-120	10-14	1~2
4~5	SMAW	MTS616	Φ2.5	80-120	20-24	1.5~3
6	SMAW	MTS616	Φ3.2	110-140	20-24	1~2
7~38	SMAW	MTS616	Φ3.2	110-140	20-24	1.5~3

[0078] (9)焊接过程中采用双人对称施焊，小线能量多层多道焊，层间温度控制在200℃-350℃范围内。焊缝单层增厚不超过焊条直径，焊道宽度不超过焊条直径的4倍。

[0079] (10)全部焊接完成后，先将焊件缓冷至160℃保温2h，然后缓慢升温至520℃、保温1h(升降温速度≤55℃/h)。

[0080] (11)冷却至室温，进行超声检测，检查合格。

[0081] (12)采用电阻加热方式进行(760±5)℃×10h高温回火处理，升降温速度≤55℃/h，降温至150℃以下可保温层内冷却至室温。

[0082] (13)磨光焊缝表面，利用超声检测、TOFD和相共振进行检测，未发现有缺陷波。

[0083] 实施例3

[0084] 一种现场安装P92钢的焊接工艺，步骤如下：

[0085] (1)P92钢管规格为Φ364×57mm，利用坡口机加工成“U”型坡口，如图4所示，钝边P＝0.5-2mm，R＝5mm，坡口面角度α＝13°，根部间隙b＝2-5mm。内外壁距坡口边缘20mm长露出金属光泽。

[0086] (2)为达到良好的充氩效果，焊接之前制作P92钢管专用充氩封闭装置，如图2所示。

[0087] (3)对口后采用电阻加热方式进行预热，利用热电偶进行测温，预热温度为150℃-200℃，保温时间为2h。

[0088] (4)内部充氩气保护，氩气纯度99.99%，氩气流量6L-20L/min；钨极型号为铈钨极，规格为Φ2.5mm。

[0089] (5)手工钨极氩弧焊点焊固定，点焊数量三处，互成120°，尺寸≥20mm×3mm。

[0090] (6)焊接方法：手工钨极氩弧焊打底，焊条电弧焊填充和盖面。

[0091] (7)焊接材料:焊丝MTS616,规格Φ2.4mm;焊条为MTS616,规格为Φ2.5mm、Φ3.2mm、Φ4mm;焊条按说明书要求在300-350℃温度下烘焙2h,放入80-110℃保温桶带入现场随用随取。

[0092] (8)P92钢管焊接工艺参数如表3所示。

[0093] 表3 P92钢管焊接工艺参数

[0094]

层号	焊接方法	焊材牌号	焊材规格	电流(A)	电压(V)	每层填充金属厚度(mm)
1	GTAW	MTS616	Φ2.4	85~90	10~12	2~3
2~3	GTAW	MTS616	Φ2.4	90~100	10~12	2~2.5
4-10	SMAW	MTS616	Φ2.5	85~90	20~22	2.5~3
11-16	SMAW	MTS616	Φ3.2	110~120	21~23	2.5~3.5
17-20	SMAW	MTS616	Φ4	140~160	22~24	2.5~4
21~22	SMAW	MTS616	Φ3.2	110~120	21~23	2.5~3

[0095] (9)焊接过程中采用双人对称施焊,小线能量多层多道焊,层间温度控制在150℃-250℃范围内。

[0096] (10)全部焊接完成后,先将焊件缓冷至80-120℃保温2h。

[0097] (11)采用电阻加热方式进行高温回火处理,曲线如图5所示。升降温速度≤100℃/h,降温至300℃以下可保温层内冷却至室温。

[0098] (12)割管取样后磨光焊缝表面,利用超声检测、TOFD和相共振方法进行检测,发现有缺陷波

[0099] 实施例4

[0100] 对实施例1P92钢优选焊接工艺以及实施例3现场安装P92钢焊接工艺后割管取样,在金相显微镜和扫描电镜下观察焊缝金属的组织。图6和图7是两个实施例P92钢焊缝金属试样经研磨抛光后采用三氯化铁盐酸水溶液侵蚀后,在金相显微镜和扫描电镜下观察到的焊缝金属的组织,P92钢焊缝金属为回火马氏体,在焊缝金属的结晶方向上,马氏体板条的长度远大于其它方向上马氏体板条的长度。

[0101] 试验证明现有现场焊接工艺无法达到避免P92钢焊缝金属微细裂纹产生,图7中为部分P92钢焊缝微细裂纹照片,图7a为金相照片,图7b为扫描电镜照片,裂纹呈蠕虫状,长宽比小尖端钝化,走向既有沿晶也有穿晶。

[0102] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

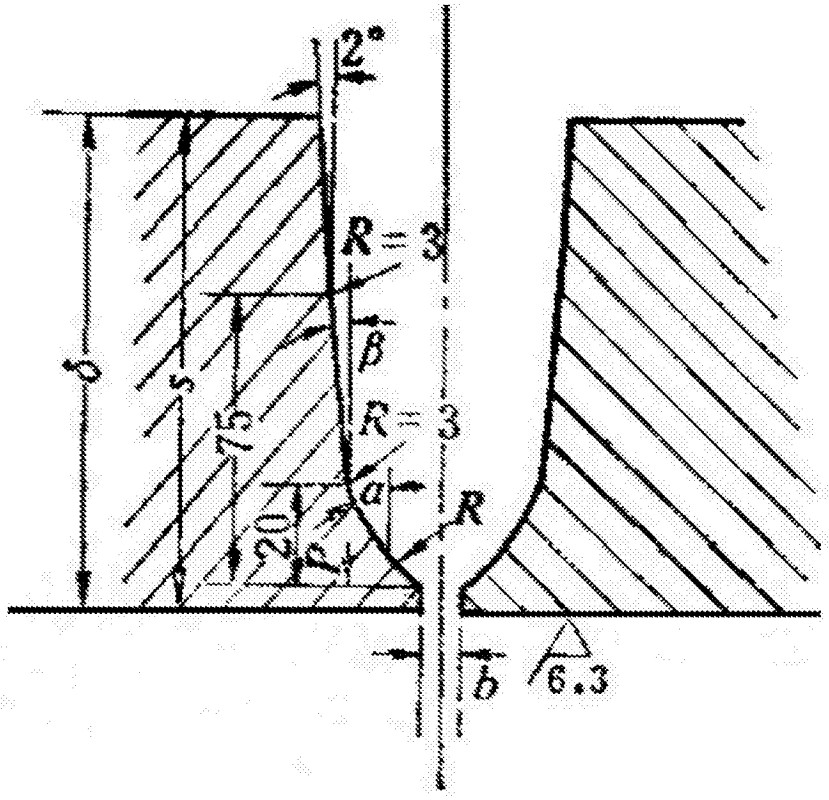
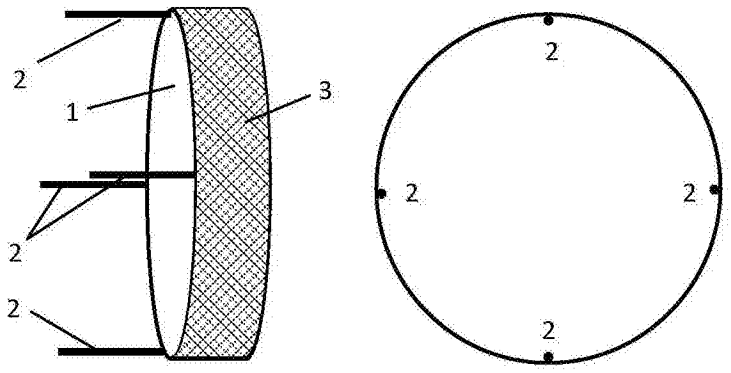


图1



a b

图2

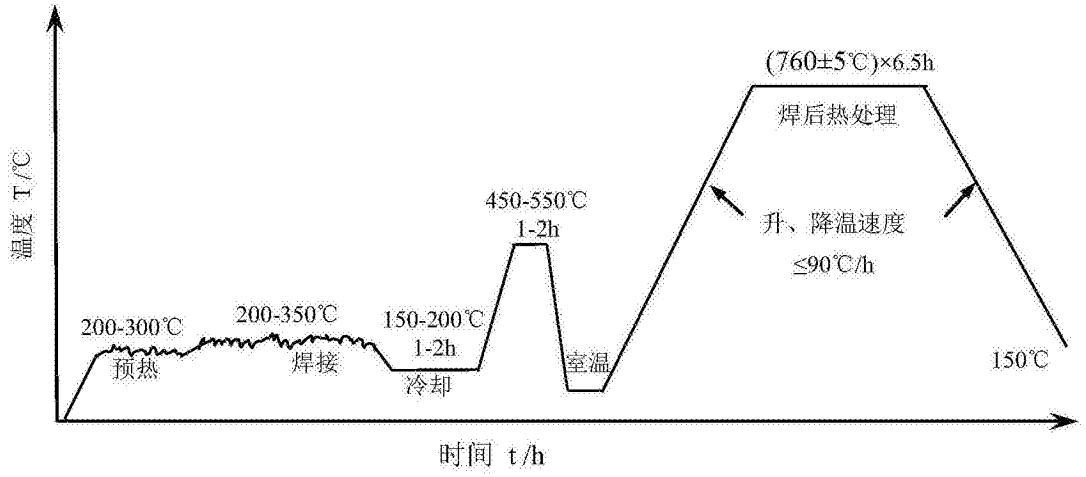

温度 T/℃
200-300℃
预热
200-350℃
焊接
150-200℃
1-2h
冷却
450-550℃
1-2h
室温
(760±5℃)×6.5h
焊后热处理
升、降温速度
≤90℃/h
150℃
时间 t/h

图3

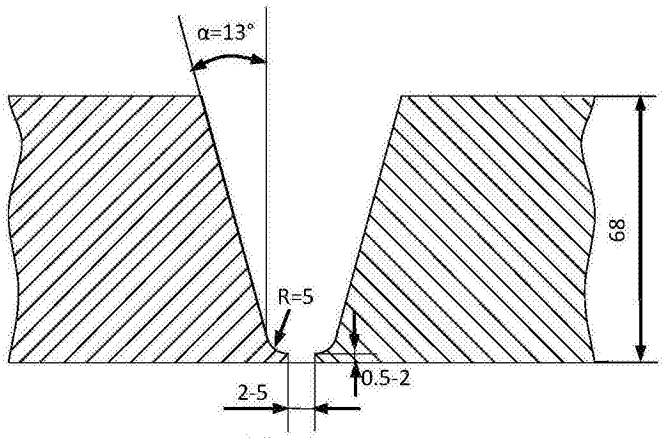

α=13°
68
R=5
0.5-2
2-5

图4

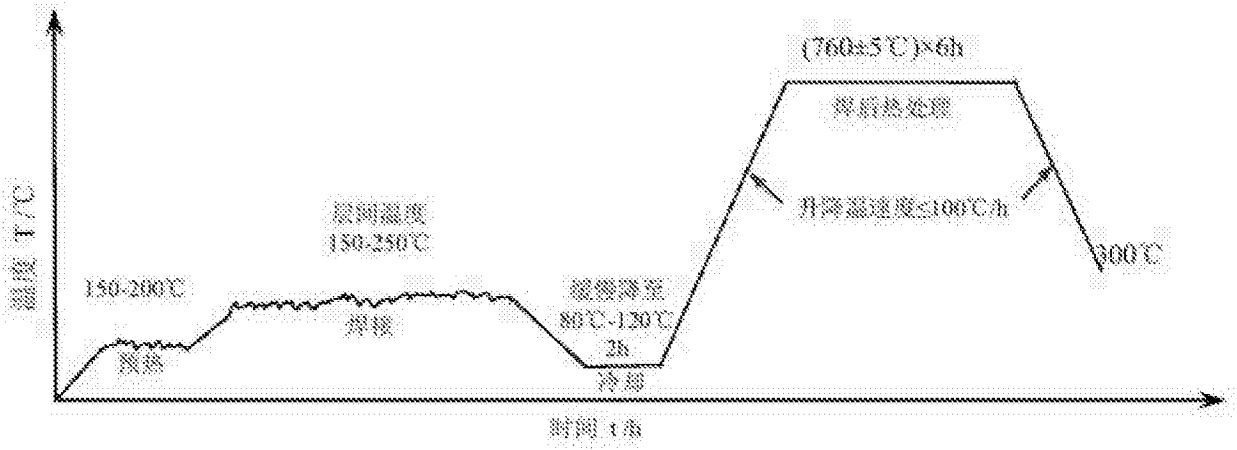

温度 T/℃
150-200℃
预热
层间温度
150-250℃
焊接
缓慢降至
80℃-120℃
2h
冷却
(760±5℃)×6h
焊后热处理
升降温速度≤100℃/h
300℃
时间 t/h

图5

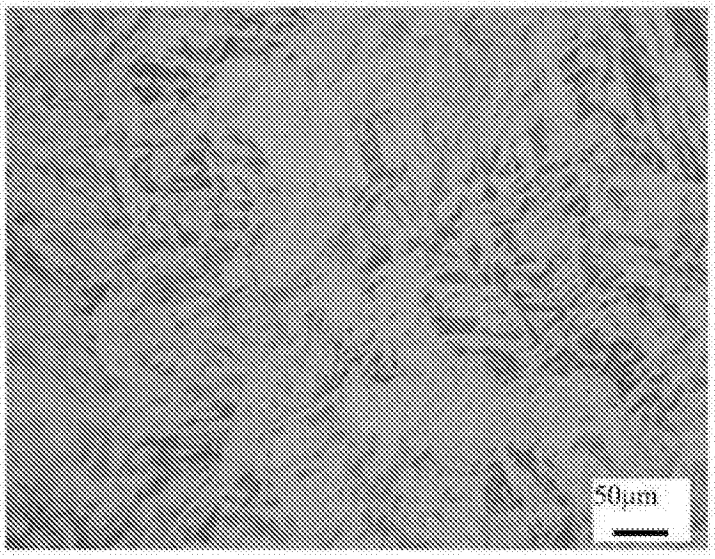


图6

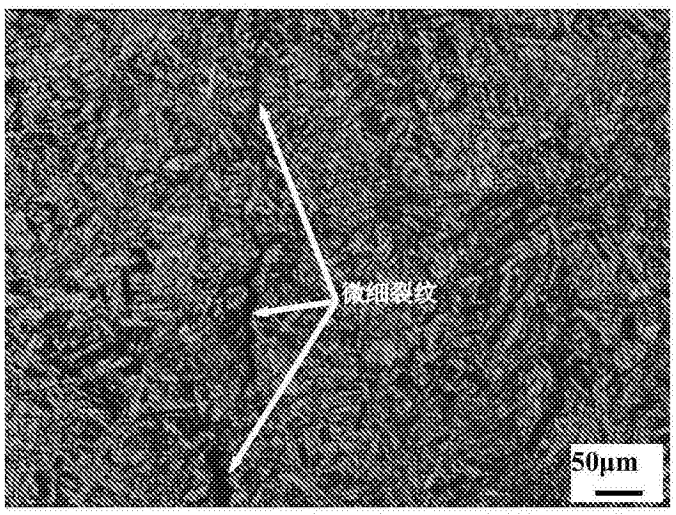


图7a

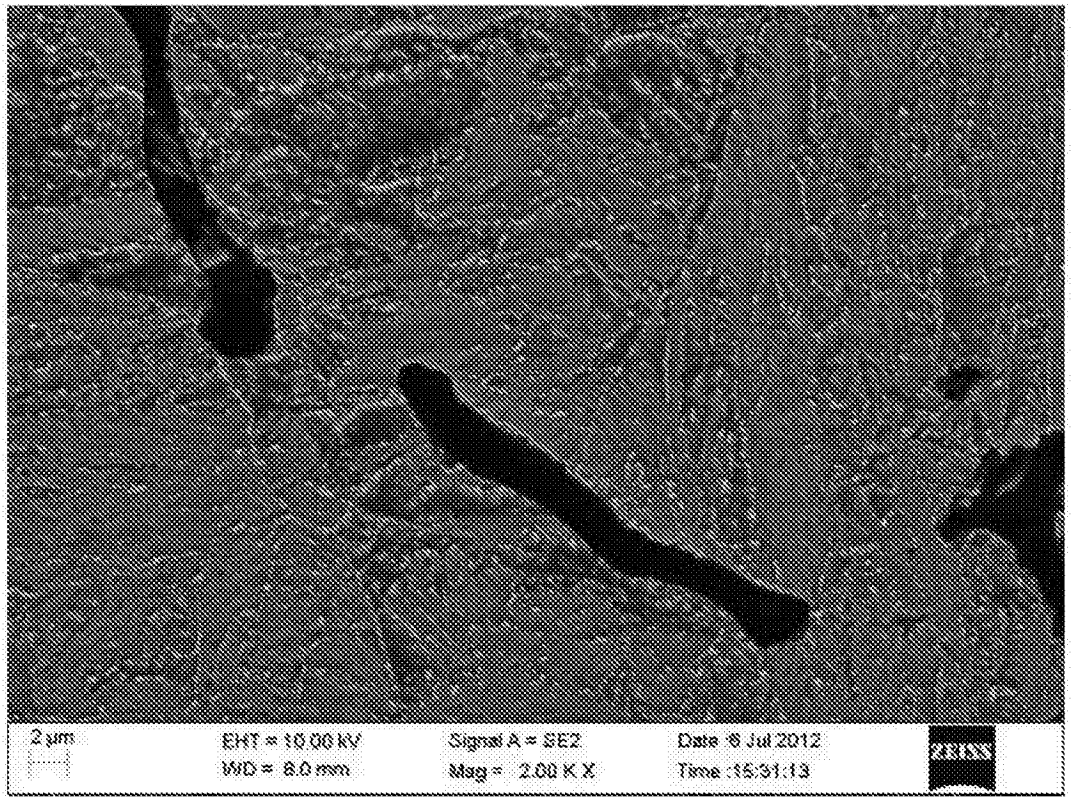

2 µm
EHT = 10.00 kV
WD = 8.0 mm
Signal A = SE2
Mag = 2.00 K X
Date :6 Jul 2012
Time :15:31:13
ZEISS

图7b