



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106001825 B

(45)授权公告日 2018.03.30

(21)申请号 201610532317.9

(22)申请日 2016.07.08

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106001825 A

(43)申请公布日 2016.10.12

(73)专利权人 中国科学院上海应用物理研究所

地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路2019号

专利权人 中国航空工业集团公司北京航空材料研究院

(72)发明人 玉昆 邹文江 李志军 程耀永

黎超文 陈双建

(74)专利代理机构 江苏永衡昭辉律师事务所

32250

代理人 杨楠

(51)Int.Cl.

B23K 1/008(2006.01)

B23K 1/20(2006.01)

B23K 9/167(2006.01)

B23K 9/235(2006.01)

B23K 31/02(2006.01)

B23K 35/30(2006.01)

B23K 101/14(2006.01)

(56)对比文件

CN 104439639 A,2015.03.25,

GB 1303641,1973.01.17,

CN 1153690 A,1997.07.09,

CN 1629597 A,2005.06.22,

吕彪等.不锈钢真空钎焊管板连接微观特征及残余应力有限元分析.《轻工机械》.2011,第29卷(第1期),

经敬楠等.BNi7镍基钎料真空钎焊316L不锈钢接头钎缝的显微组织和显微硬度.《机械工程材料》.2013,第37卷(第1期),

审查员 赵锐敏

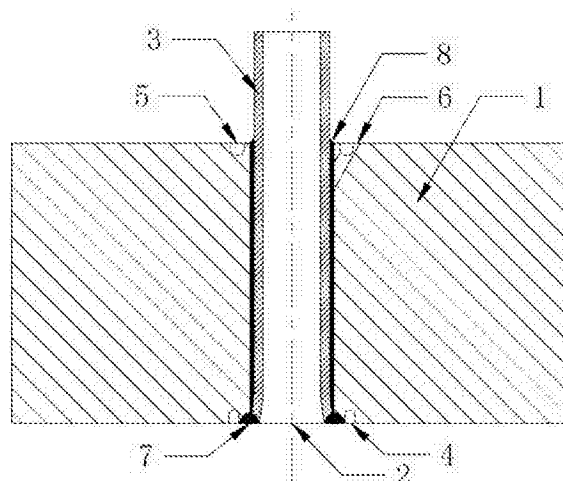
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

耐腐蚀高温合金管-管板连接方法及换热器

(57)摘要

本发明公开了一种耐腐蚀高温合金管-管板连接方法。该方法包括:1、在管板上加工出管孔,在管板上侧围绕管孔加工用于放置钎料环的U型环状喂料凹槽,U型环状喂料凹槽的内径不小于管子外径+1mm,并设置连通U型环状喂料凹槽和管孔且沿管孔周向均匀分布的多个喂料孔;2、将管子穿过管孔并使得管子下端突出管板下侧平面,然后对管子下端突出部分进行胀管,最后将管子下端突出部分压入管孔;3、对管子下端与管板下侧结合处进行熔焊焊接,焊缝熔深不小于管子的壁厚;4、在U型环状喂料凹槽中置入钎料环后进行真空钎焊。本发明还公开了一种耐腐蚀高温合金换热器。本发明可确保管子与管板之间形成全厚度的冶金结合。



1. 耐腐蚀高温合金管-管板连接方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、在管板上加工出直径比管子外径大0.08~0.16mm的管孔,在管板上侧围绕所述管孔加工用于放置钎料环的U型环状喂料凹槽,U型环状喂料凹槽的内径不小于管子外径+1mm,并设置连通U型环状喂料凹槽和管孔且沿管孔周向均匀分布的多个喂料孔;

步骤2、将管子穿过管孔并使得管子下端突出管板下侧平面,然后对管子下端突出管板下侧平面的部分进行胀管,使得胀管后管子外径最大处比管孔直径大0.5mm,最后将管子下端压入管孔,使管子下端直至与管板下侧平面平齐;

步骤3、对管子下端与管板下侧结合处进行熔焊焊接,焊缝熔深不小于管子的壁厚;

步骤4、在所述U型环状喂料凹槽中置入钎料环后进行真空钎焊。

2. 如权利要求1所述管-管板连接方法,其特征在于,所述钎料环的材料为金镍合金。

3. 如权利要求2所述管-管板连接方法,其特征在于,所述金镍合金的质量配比为82%Au和18%Ni。

4. 如权利要求3所述管-管板连接方法,其特征在于,所述真空钎焊的工艺参数具体如下:真空钎焊的真空度 10^{-2} 帕以上,升温速度不大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$,中间过程 900°C 保温20min,钎焊温度 $1000\sim 1020^{\circ}\text{C}$,保温时间 $20\sim 60\text{min}$,以不大于 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降至 400°C 以下的温度后出炉。

5. 如权利要求1所述管-管板连接方法,其特征在于,在管板下侧围绕所述管孔预先加工有用于减小熔焊焊接应力的U型环凹槽,该U型环凹槽的内径不小于管子外径+2倍管子壁厚,U型环凹槽宽度不小于管子壁厚,U型环凹槽深度不小于管子壁厚。

6. 如权利要求1所述管-管板连接方法,其特征在于,所述喂料孔的轴线与管孔轴线之间成 30° 角。

7. 如权利要求1所述管-管板连接方法,其特征在于,步骤2中使用硬质合金压头对管子下端突出管板下侧平面的部分进行液压胀管,然后使用液压机将管子下端压入管孔。

8. 如权利要求1所述管-管板连接方法,其特征在于,所述熔焊焊接为钨极氩弧焊,其工艺参数具体如下:氩气的流量为 $15\text{L}/\text{min}$,电极至工件距离1mm,焊接电流45A,焊接速度 $10\text{mm}/\text{s}$ 。

9. 如权利要求1所述管-管板连接方法,其特征在于,所述耐腐蚀高温合金为熔盐堆用镍基高温合金。

10. 如权利要求9所述管-管板连接方法,其特征在于,所述熔盐堆用镍基高温合金为Hastelloy N合金或GH3535合金。

11. 一种耐腐蚀高温合金换热器,包括与管板连接的一组管子,其特征在于,所述管板与管子通过权利要求1~10任一项所述连接方法连接。

耐腐蚀高温合金管-管板连接方法及换热器

技术领域

[0001] 本发明涉及管-管板连接方法,尤其涉及一种耐腐蚀高温合金管-管板连接方法。

背景技术

[0002] 第四代核反应堆-熔盐堆因其具有固有安全性及高效等优点,成为了未来核电领域的重要发展方向。该反应堆运行温度为600℃~700℃,采用腐蚀性强的熔盐作为冷却剂,以抗熔盐腐蚀的镍基高温合金(例如美国橡树岭实验室开发的Hastelloy N合金或我国科研单位开发的GH3535合金)作为结构材料,建造核反应堆需要确保制造出高质量的核设备,而熔盐换热器作为反应堆的核心设备,其制造的可靠性,尤其是换热器管-管板连接的可靠性显得尤为重要。

[0003] 传统的换热器管-管板接头的连接方法主要有三种:(1)管板端部与管子的钨极氩弧焊,该焊接方式仅获得一定熔深的焊缝,存在较大的管子与管板间的间隙,该间隙的存在导致焊缝根部存在大的应力集中以及存在间隙腐蚀的危险,在苛刻恶劣的服役环境下管-管板接头容易发生失效;(2)管子与管板的胀接焊,即胀接+焊接的方式,该焊接方式应用于运行温度低于350℃以下的压水堆的蒸发器中,但胀接属于机械结合而非冶金结合,在更高温度下材料会发生蠕变松弛等现象,因此胀接部位易发生松脱,进而导致焊缝应力集中而失效;(3)管子与管板内孔焊技术,该焊接方式需要配有专用的焊枪深入管内进行焊接,由于熔盐堆换热器换热管内径仅约10mm,目前市场上尚未有成熟的焊枪可用于内孔焊的焊接。

[0004] 因此,针对耐腐蚀高温合金的材料特性以及高温高腐蚀的工况,如何提供一种管-管板的连接方法,避免接头的应力集中开裂及缝隙腐蚀的危险,提高换热器的使用寿命及安全性是本领域技术人员需解决的问题。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术不足,提供一种耐腐蚀高温合金管-管板连接方法,可确保管子与管板之间形成全厚度的冶金结合,避免接头应力集中开裂,防止发生缝隙腐蚀,从而提高类似熔盐堆换热器这样的设备的使用寿命及安全性。

[0006] 本发明所提出的耐腐蚀高温合金管-管板连接方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1、在管板上加工出直径比管子外径大0.08~0.16mm的管孔,在管板上侧围绕所述管孔加工用于放置钎料环的U型环状喂料凹槽,U型环状喂料凹槽的内径不小于管子外径+1mm,并设置连通U型环状喂料凹槽和管孔且沿管孔周向均匀分布的多个喂料孔;

[0008] 步骤2、将管子穿过管孔并使得管子下端突出管板下侧平面,然后对管子下端突出管板下侧平面的部分进行胀管,使得胀管后管子外径最大处比管孔直径大0.5mm,最后将管子下端压入管孔,直至与管板下侧平面平齐;

[0009] 步骤3、对管子下端与管板下侧结合处进行熔焊焊接,焊缝熔深不小于管子的壁厚;

- [0010] 步骤4、在所述U型环状喂料凹槽中置入钎料环后进行真空钎焊。
- [0011] 优选地,所述钎料环的材料为金镍合金;优选的质量配比为82%Au和18%Ni。
- [0012] 优选地,所述真空钎焊的工艺参数具体如下:真空钎焊的真空度 10^{-2} 帕以上,升温速度不大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$,中间过程 900°C 保温20min,钎焊温度 $1000\sim 1020^{\circ}\text{C}$,保温时间20~60min,以不大于 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降至 400°C 以下的温度后出炉。
- [0013] 优选地,所述喂料孔的轴线与管孔轴线之间成 30° 角。
- [0014] 优选地,步骤2中使用锥度 30° 的硬质合金压头对管子下端突出管板下侧平面的部分进行液压胀管,然后使用液压机将管子下端压入管孔。
- [0015] 进一步地,在管板下侧围绕所述管孔预先加工有用于减小熔焊焊接应力的U型环凹槽,该U型环凹槽的内径不小于管子外径+2倍管子壁厚,U型环凹槽宽度不小于管子壁厚,U型环凹槽深度不小于管子壁厚。采用该方案可有效减小熔焊焊接的焊接应力。
- [0016] 所述耐腐蚀高温合金可以为现有或将有的各类耐腐蚀高温合金,例如Hastelloy N合金或GH3535合金。管板与管子所使用的耐腐蚀高温合金材料可以相同,也可以不同。
- [0017] 根据相同的发明思路还可以得到一种耐腐蚀高温合金换热器,包括与管板连接的一组管子,所述管板与管子通过上述任一技术方案所述连接方法连接。
- [0018] 相比现有技术,本发明具有以下有益效果:
- [0019] 本发明可实现大厚度的耐腐蚀高温合金管板与管子的全厚度冶金连接,管板厚度可达130mm,这是现有技术所无法达到的;
- [0020] 本发明方法连接的管-管板接头避免了应力集中开裂和缝隙腐蚀的危险,有效提高了熔盐堆换热器等在高温高腐蚀环境下所使用设备的使用寿命及安全性。

附图说明

- [0021] 图1为本发明方法一个优选实施例的示意图;其中,1为管板,2为管孔,3为管子,4为管板下侧的U型环凹槽,5为管板上侧的U型环状喂料凹槽,6为喂料孔,7为管板下侧与管子结合处的氩弧焊焊缝,8为钎焊焊缝。

具体实施方式

- [0022] 下面结合附图对本发明的技术方案进行详细说明:
- [0023] 本发明针对现有技术所难以完成的耐腐蚀高温合金管-管板可靠连接问题,提出了一种新的连接方法,将胀接、熔焊、钎焊等工艺有机结合,从而实现了厚度可达130mm的管板与管子的全厚度连接,且管-管板接头避免了应力集中开裂和缝隙腐蚀的危险,连接性能完全满足熔盐堆换热器等在高温高腐蚀环境下所使用设备的安全运行要求。本发明技术方案具体如下:
- [0024] 步骤1、在管板上加工出直径比管子外径大 $0.08\sim 0.16\text{mm}$ 的管孔,在管板上侧围绕所述管孔加工用于放置钎料环的U型环状喂料凹槽,U型环状喂料凹槽的内径不小于管子外径+1mm,并设置连通U型环状喂料凹槽和管孔且沿管孔周向均匀分布的多个喂料孔;
- [0025] 步骤2、将管子穿过管孔并使得管子下端突出管板下侧平面,然后对管子下端突出管板下侧平面的部分进行胀管,使得胀管后管子外径最大处比管孔直径大0.5mm,最后将管子下端压入管孔,直至与管板下侧平面平齐;

[0026] 步骤3、对管子下端与管板下侧结合处进行熔焊焊接,焊缝熔深不小于管子的壁厚;

[0027] 步骤4、在所述U型环状喂料凹槽中置入钎料环后进行真空钎焊。

[0028] 为了便于公众理解,下面以一个优选实施例来对本发明技术方案进行详细说明。

[0029] 本实施例以熔盐堆换热器的管板和管子连接为例,管板和管子所使用材料均为GH3535合金,换热器管板的厚度达到130mm,管子外径为13.72mm;本实施例中管板与管子的连接过程如图1所示,具体如下:

[0030] 步骤1、管板的加工:在管板上加工出直径比管子外径大0.08~0.16mm的管孔,在管板上侧围绕所述管孔加工用于放置钎料环的U型环状喂料凹槽,U型环状喂料凹槽的内径不小于管子外径+1mm,并设置连通U型环状喂料凹槽和管孔且沿管孔周向均匀分布的多个喂料孔;

[0031] 本实施例中,如图1所示,首先在130mm厚管板1上加工管孔2,管孔2直径13.80mm;管板1上侧围绕管孔2加工用于放置钎料环的U型环状喂料凹槽5,凹槽的具体尺寸依据钎焊所需钎料而定,本实施例中凹槽5的内径为16mm,宽度为2.5mm,深度为2.5mm;沿管孔2周向每120°加工一个连通U型环状喂料凹槽5和管孔2且与管孔轴线成30°的喂料孔6,本实施例中每个喂料孔6的直径为2.3mm。

[0032] 本发明还可进一步在管板下侧围绕管孔加工U型环凹槽以减小氩弧焊的焊接应力,该U型环凹槽的内径不小于管子外径+2倍管子壁厚,U型环凹槽宽度不小于管子壁厚,U型环凹槽深度不小于管子壁厚;如图1所示,本实施例中U型环凹槽4的内径为17.12mm,宽度为1.8mm,深度为2.3mm。

[0033] 步骤2、将管子穿过管孔并使得管子下端突出管板下侧平面,然后对管子下端突出管板下侧平面的部分进行胀管,使得胀管后管子外径最大处比管孔直径大0.5mm,最后将管子下端压入管孔,直至与管板下侧平面平齐;

[0034] 先将管子3穿过管孔2并使得管子3下端突出于管板1下侧平面,然后对管子3下端突出管板2下侧平面的部分进行胀管。本实施例中用去污剂和丙酮等清洗干净管子3和管板1,采用锥度30°的硬质合金压头对管子3下端突出管板2下侧平面的部分进行液压胀管,胀管压力约15KN,使得胀管后的管子3外径最大处比管孔2直径大0.5mm;然后利用液压机将胀管后的管子3的下端突出部分压入管孔2,直至管子3的下端与管板1下侧平面平齐;液压时尽量保证管子3和管孔2同心,以确保钎焊的合理间隙。

[0035] 步骤3、端部熔焊焊接:对管子下端与管板下侧结合处进行熔焊焊接,焊缝熔深不小于管子的壁厚;

[0036] 可采用氩弧焊、等离子弧焊、激光焊等熔焊焊接方式对管子下端与管板下侧结合处进行焊接,本实施例中采用钨极氩弧焊,其工艺参数具体如下:通入流量为15L/min的高纯氩保护气,电极至工件距离1mm,焊接电流45A,焊接速度10mm/s。如图1所示,所得到的氩弧焊焊缝7的熔深略大于管子3的壁厚。预先设置于管板1下侧的U型环凹槽4可有效消除熔焊焊接的焊接应力。

[0037] 步骤4、管子与管板的真空钎焊:在所述U型环状喂料凹槽中置入钎料环后进行真空钎焊;

[0038] 针对耐腐蚀高温合金的材料特性以及及其特殊的使用环境,本发明优选采用金镍

合金钎料对管子与管板进行真空钎焊,其中,金镍合金钎料的优选质量配比为82%Au和18%Ni。具体地,完成钨极氩弧焊后,在管板上侧的U型环状喂料凹槽5中放入82Au-18Ni的钎料环,然后将管板与管子整体放入真空钎焊炉进行真空钎焊,真空钎焊的工艺参数:真空度 10^{-2} 帕以上,升温速度不大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$,中间过程 900°C 保温20min,钎焊温度 1020°C ,保温时间60min,以不大于 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降至 400°C 以下的温度后出炉。在钎焊过程中,82Au-18Ni的钎料转变为液态,通过喂料孔6填充入管板1与管子3之间的间隙并与管板1和管子3的GH3535合金相互扩散,最终形成图1中的钎焊焊缝8。

[0039] 为了验证上述连接方法的效果,对完成连接的管-管板接头进行检测,具体为:对管-管板接头进行液体渗透检测和超声检测,接头质量符合ASME NB一级部件的验收要求,此外,对接头进行5.5MPa、保压10min的水压测试,接头无泄漏。检测结果证明换热器管-管板连接质量完全满足熔盐堆工况使用要求。

[0040] 以上实施例充分说明本发明方法完全可满足耐腐蚀高温合金管-管板间的可靠连接,对于先进核反应堆的发展具有重要意义;尤其是本发明方法可实现厚度达到130mm厚的大厚度管板与管子的安全可靠连接,从而大幅提高熔盐堆换热器的使用寿命及安全性,这是现有技术所无法实现的。

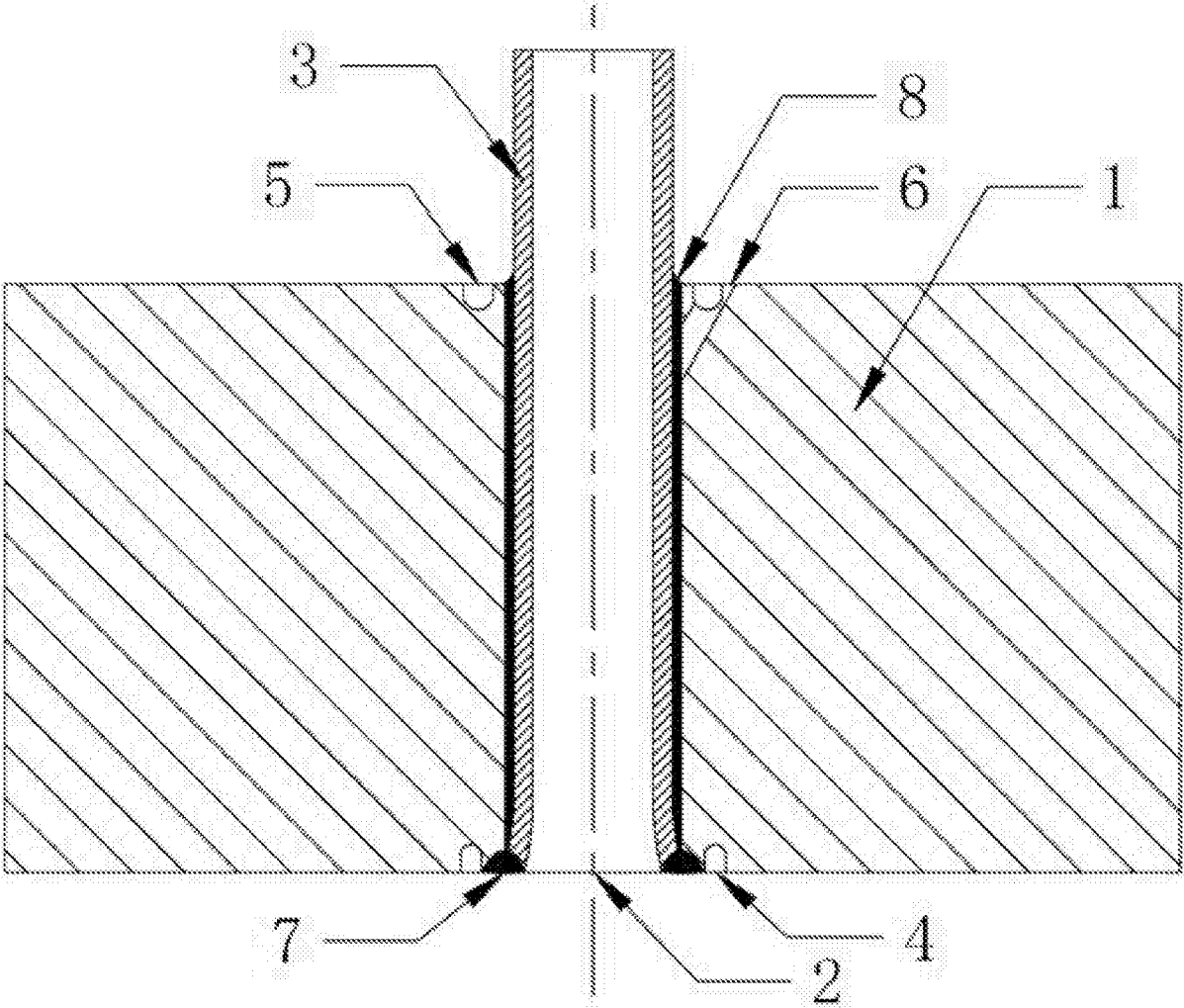


图1