



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103499502 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 02

(21) 申请号 201310452061. 7

CN 102262020 A, 2011. 11. 30,

(22) 申请日 2013. 09. 28

CN 102346113 A, 2012. 02. 08,

CN 102346114 A, 2012. 02. 08,

(73) 专利权人 中国科学院金属研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区文化路  
72 号

审查员 杨敏

(72) 发明人 刘侠和 吴欣强 韩恩厚 王翔

(74) 专利代理机构 沈阳优普达知识产权代理事  
务所(特殊普通合伙) 21234

代理人 张志伟

(51) Int. Cl.

G01N 3/56(2006. 01)

G01N 17/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102288492 A, 2011. 12. 21,

CN 202101810 U, 2012. 01. 04,

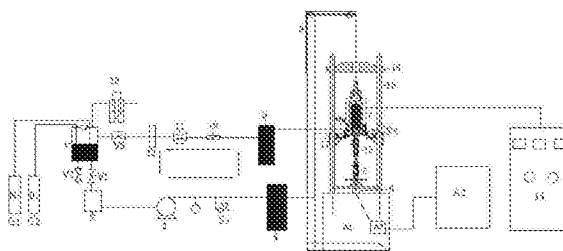
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种带高温高压循环水的慢拉伸实验装置及  
使用方法

(57) 摘要

本发明属于材料实验研究领域,具体为一种带高温高压循环水的慢拉伸实验装置及使用方法。该装置主要由高温高压循环水系统、慢拉伸加载装置、水化学控制系统、加载监控系统四部分组成。高温高压循环水系统能够提供动态高温高压水环境,慢拉伸加载装置对高压釜内的试样进行不同应变速率拉伸,水化学控制系统控制高温高压循环水系统水化学参数,加载监控系统用来调控和记录釜内试样的拉伸曲线。高压釜内试样固定在夹具上,加载轴上端连接夹具,下端连接转接装置。转接装置下端连接拉伸试验机,通过拉伸试验机实现试样的慢应变速率加载。本发明能在高温高压循环水环境下测试材料应力腐蚀行为,解决现有技术中存在的结构复杂、维护麻烦等问题。



1. 一种带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,其特征在于:该装置设有高温高压循环水系统、慢拉伸加载装置,其中:

高温高压循环水系统包括:储水罐(1)、过滤器(2)、高压泵(3)、预热器(4)、高压釜(7)、冷凝器(9)、过滤阀(10)、背压阀(11)、流量计(12),储水罐(1)的水流循环回路上依次设置过滤器(2)、高压泵(3)、预热器(4)、高压釜(7)、冷凝器(9)、过滤阀(10)、背压阀(11)、流量计(12);储水罐(1)的水经过滤器(2)过滤后进入高压泵(3)、预热器(4),然后进入高压釜(7),从高压釜(7)流出后进入冷凝器(9)冷却,经过滤阀(10)、背压阀(11)、流量计(12),最后返回储水罐(1);

慢拉伸加载装置包括高温拉伸组件(15)、转接组件(5)、拉伸试验机(A1);高温拉伸组件(15)包括试样夹具固定组件、紧凑拉伸试样(15d)、试样夹具、水冷加载轴,转接组件(5)包括加载轴转接部件(5a)、加载轴转接部件(5a)与万向转接头(5c)的转接件(5b)、万向转接头(5c)、防漏接水盘(5d)、万向转接头(5c)与力传感器(5f)的转接件(5e)、力传感器(5f);

试样夹具固定组件直接固定在高压釜(7)内侧的高压釜釜盖(15g)上,紧凑拉伸试样(15d)固定于试样夹具:上夹具(15e)和下夹具(15f)之间;下夹具(15f)下方与水冷加载轴(15i)螺纹连接,加载轴(15i)外部安装水冷套(15h),加载轴(15i)下端与转接组件(5)中的加载轴转接部件(5a)螺纹连接,通过转接组件(5)连接拉伸试验机(A1)的传动装置;

转接组件(5)中加载轴转接部件与万向转接头的转接件(5b)下端开内螺纹,加载轴转接部件与万向转接头的转接件(5b)下连万向转接头(5c);力传感器(5f)设置于下活动横梁(5g)上面,转接组件(5)中万向转接头与力传感器的转接件(5e)外侧部配合防漏接水盘(5d);

试样夹具固定组件设有上夹具固定螺帽(15a)、支座(15b)、支柱(15c),支柱(15c)的一端与高压釜釜盖(15g)连接,支柱(15c)的另一端通过支座固定螺母安装支座(15b);上夹具(15e)的一端穿过支座(15b),通过上夹具固定螺帽(15a)紧固于支座(15b),上夹具(15e)的另一端夹持紧凑拉伸试样(15d)的一端;下夹具(15f)的一端与加载轴(15i)连接,下夹具(15f)的另一端夹持紧凑拉伸试样(15d)的另一端;

储水罐(1)的下端有两个进气口,分别连接一个氮气罐(G1)和一个氧气罐(G2),储水罐(1)的下端还有一个出液口和一个排液口,储水罐(1)的上部设有加液口和出气口,储水罐(1)的出气口连有排气装置(13);

高压泵(3)前后端分别连接一个过滤器(2)和一个安全阀(S1),背压阀(11)前后端分别连接一个过滤阀(10)和一个流量计(12);

高压釜(7)下端的高压釜釜盖(15g)固定在拉伸试验机立柱(16)上的高压釜固定平台(17)上,高压釜釜盖(15g)与此高压釜固定平台(17)用螺栓相连,高压釜釜盖(15g)下方有三个调平螺栓,保证高压釜釜盖水平;高压釜(7)的进、出水口设在高压釜釜盖(15g)的侧面,高压釜(7)内侧的出水口上连接不锈钢管,不锈钢管伸入高压釜釜体底部,高压釜(7)外侧的进水口连接压力表和爆破阀(S2);

拉伸试验机(A1)的立柱(16)加长,通过加长的立柱(16)增加高压釜(7)的固定空间,以及高压釜釜盖(15g)和高压釜釜体的开合操作空间;

高压釜(7)的釜体底部与穿过上固定横梁(18)中心孔位置的单升降吊臂(8)连接,通

过单升降吊臂(8)实现升降；

还设有水化学控制系统和加载监测系统,水化学控制系统为控制柜(14),加载监测系统包括前置变形检测探头(A2)、同步记录电脑(A3);控制柜(14)连接高压泵(3)、预热器(4)、高压釜(7),控制柜(14)分别控制高压泵(3)的开关、预热器(4)的控温、高压釜(7)的控温;拉伸试验机(A1)和加载监测系统连接。

2. 一种权利要求 1 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置的使用方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1)、储水罐注水

关闭储水罐(1)的手动调节阀 V1、V2,打开储水罐(1)上面的加液口,注入实验用水;当水位到达储水罐(1)高度的 9/10 时,注水完毕;

(2)、装试样

通过单升降吊臂(8)使高压釜釜体上移,分开高压釜釜体和高压釜釜盖后,将紧凑拉伸试样(15d)放入试样夹具:上夹具(15e)、下夹具(15f)之间,使用两个销子连接紧凑拉伸试样(15d)和试样夹具,拧紧上夹具固定螺帽(15a),紧凑拉伸试样(15d)通过四个支柱(15c)固定在高压釜内侧的高压釜釜盖(15g)上;

(3)、拧紧高压釜

装完试样后,通过单升降吊臂(8)使高压釜釜体下移,拧出高压釜釜盖(15g)上起顶螺栓,使高压釜釜体和高压釜固定平台(17)上高压釜釜盖(15g)充分结合,然后拧紧高压釜(7)下面的主螺栓,使高压釜完全密封;

(4)、通循环水

打开储水罐(1)的手动调节阀 V1 和水流循环回路进出液管道的手动调节阀,使储水罐(1)与水流循环回路接通,打开控制柜(14),打开高压泵(3)的开关按钮,将储水罐(1)的水送入水流循环回路;

(5)、循环水升压

当循环水开始流回储水罐(1)时,向内拧紧背压阀(11),此时压力逐渐上升,直到达到实验压力;

(6)、循环水加热

加热前打开冷凝器(9)和加载轴水冷套(15h)的自来水开关,设定实验温度,然后开启控制柜(14)上的预热器(4)和高压釜(7)控温按钮,此时釜内的温度逐渐上升,直到温度稳定;

(7)、试样加载

开启同步记录电脑(A3)的拉伸控制软件,设定拉伸实验的参数,通过拉伸控制软件调整转接组件(5)位置,销连接高温拉伸组件(15)和转接组件(5),原始应力应变数值归零后设定拉伸曲线保存位置和名字,开启自动加载;此时同步记录电脑(A3)控制拉伸试验机(A1)的运行,实验数据自动保存预定电脑硬盘位置;

(8)、停止实验

当拉伸实验达到设定的条件后,停止同步记录电脑(A3)上的拉伸控制软件,保存实验数据,通过同步记录电脑(A3)的拉伸控制软件微量上调下活动横梁(5g)位置清除剩余力,取出转接组件(5)中销子,然后关闭控制柜(14)上的预热器(4)和高压釜(7)的加热开关,

此时釜内温度逐渐降低,当到达室温后,向外调节背压阀(11),使压力降低为零,关闭高压泵(3),然后关闭冷凝器(9)和加载轴水冷套(15h)的冷却水,实验结束。

3. 按照权利要求 2 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置的使用方法,其特征在于,实验结束后取试样:

拧紧水流循环回路进出液管道的手动调节阀,拧开高压釜(7)侧面进出水口侧路加载的手动调节阀,通气排除高压釜(7)釜内溶液,松开高压釜釜盖(15g)下面的主螺栓,拧进高压釜釜盖(15g)上起顶螺栓使高压釜釜盖(15g)与高压釜釜体分离,通过单升降吊臂(8)使高压釜釜体上升,松开上夹具固定螺帽(15a),拔出试样和试样夹具连接销子,取出试样清洗、干燥、备用。

## 一种带高温高压循环水的慢拉伸实验装置及使用方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于材料实验研究领域,更确切的说,涉及到一种带高温高压循环水的慢应变腐蚀开裂实验装置及使用方法。

### 背景技术

[0002] 核电是一种高效、清洁的能源,发展核电是解决我国经济发展与能源分布不均衡矛盾的一个重要途径。目前商用核电站主要采用轻水堆,由于轻水堆核电站的服役环境为高温高压水(280-343℃、8-16MPa),其压力边界如压力容器、蒸汽发生器、主管道等均承受一定的服役应力。实践表明,核电服役高温高压水中的应力腐蚀开裂是影响核电设备长期安全运行的关键问题之一。因此,在实验室中模拟核电高温高压水环境来研究压力边界材料的应力腐蚀或环境致裂具有重要的意义。而开展这类研究首先必须解决高温高压水条件下慢拉伸实验装置问题。由于高温高压水实验环境苛刻,对试验装置的高温高压密封性要求非常高,设备成套和技术难度大。目前该类成套设备被国外少数几家大公司垄断的局面,而且因为结构复杂,价格昂贵,使用和维护都非常麻烦。国内相关设备厂家尚没有制造该类成套设备的能力。

### 发明内容

[0003] 本发明目的在于提供一种带高温高压循环水的慢拉伸实验装置及使用方法,能在高温高压循环水环境下测试材料应力腐蚀行为,解决现有技术中存在的结构复杂、维护麻烦等问题。

[0004] 本发明的技术方案如下:

[0005] 一种带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,该装置设有高温高压循环水系统、慢拉伸加载装置,其中:

[0006] 高温高压循环水系统包括:储水罐、过滤器、高压泵、预热器、高压釜、冷凝器、过滤阀、背压阀、流量计,储水罐的水流循环回路上依次设置过滤器、高压泵、预热器、高压釜、冷凝器、过滤阀、背压阀、流量计;储水罐的水经过滤器过滤后进入高压泵、预热器,然后进入高压釜,从高压釜流出后进入冷凝器冷却,经过滤阀、背压阀、流量计,最后返回储水罐;

[0007] 慢拉伸加载装置包括高温拉伸组件、转接组件、拉伸试验机;高温拉伸组件包括试样夹具固定组件、紧凑拉伸试样、试样夹具、水冷加载轴,转接组件包括加载轴转接部件、加载轴转接部件与万向转接头的转接件、万向转接头、防漏接水盘、万向转接头与力传感器的转接件、力传感器;

[0008] 试样夹具固定组件直接固定在高压釜内侧的高压釜釜盖上,紧凑拉伸试样固定于夹具:上夹具和下夹具之间;下夹具下方与水冷的加载轴螺纹连接,加载轴外部安装水冷套,加载轴下端与转接组件中的加载轴转接部件螺纹连接,通过转接组件连接拉伸试验机的传动装置;

[0009] 转接组件中转接件下端开内螺纹,转接件下连万向转接头;力传感器设置于下活

动横梁上面,转接组件中转接件外侧部配合上防漏接水盘。

[0010] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,试样夹具固定组件设有上夹具固定螺帽、支座、支柱,支柱的一端与高压釜釜盖连接,支柱的另一端通过支座固定螺母安装支座;上夹具的一端穿过支座,该端通过夹具固定螺母紧固于支座,上夹具的另一端夹持紧凑拉伸试样的一端;下夹具的一端与加载轴连接,下夹具的另一端夹持紧凑拉伸试样的另一端。

[0011] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,储水罐的下端有两个进气口,分别连接一个氮气罐和一个氧气罐,储水罐的下端还有一个出液口和一个排液口,储水罐的上部设有加液口和出气口,储水罐的出气口连有排气装置。

[0012] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,高压泵前后端分别连接一个过滤器和一个安全阀,背压阀前后端分别连接一个过滤阀和一个流量计。

[0013] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,高压釜下端的高压釜釜盖固定在拉伸试验机立柱上的高压釜固定平台上,高压釜釜盖与此高压釜固定平台用螺栓相连,高压釜釜盖下方有三个调平螺栓,保证高压釜釜盖水平;高压釜的进、出水口设在高压釜釜盖的侧面,高压釜内侧的出水口上连接不锈钢管,不锈钢管伸入高压釜釜体底部,高压釜外侧的进水口连接压力表和爆破阀。

[0014] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,拉伸试验机的立柱加长,通过加长的立柱增加高压釜的固定空间,以及高压釜釜盖和高压釜釜体的开合操作空间。

[0015] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,高压釜的釜体底部与穿过上固定横梁中心孔位置的单升降吊臂连接,通过单升降吊臂实现升降。

[0016] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,还设有水化学控制系统和加载监测系统,水化学控制系统为控制柜,加载监测系统包括前置变形检测探头、同步记录电脑;高温高压循环水控制柜连接高压泵、预热器、高压釜,控制柜分别控制高压泵的开关、预热器的控温、高压釜的控温;拉伸试验机和加载监测系统连接。

[0017] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置的使用方法,包括如下步骤:

[0018] (1)、储水罐注水

[0019] 关闭储水罐的两个手动调节阀 V1、V2,打开储水罐上面的加液口,注入实验用水;当水位到达储水罐高度的 9/10 时,注水完毕;

[0020] (2)、装试样

[0021] 通过单升降吊臂使高压釜釜体上移,分开高压釜釜体和高压釜釜盖后,将紧凑拉伸试样放入夹具:上夹具、下夹具之间,使用两个销子连接紧凑拉伸试样和夹具,拧紧上夹具固定螺帽,紧凑拉伸试样通过四个支柱固定在高压釜内侧的高压釜釜盖上;

[0022] (3)、拧紧高压釜

[0023] 装完试样后,通过单升降吊臂使高压釜釜体下移,拧出高压釜釜盖上起顶螺栓,使高压釜釜体和高压釜固定平台上高压釜釜盖充分结合,然后拧紧高压釜下面的主螺栓,使高压釜完全密封;

[0024] (4)、通循环水

[0025] 打开储水罐的手动调节阀和循环回路进出液管道的手动调节阀,使储水罐与回路接通,打开高温高压循环水控制柜,打开高压泵的开关按钮,将储水罐的水送入回路;

[0026] (5)、循环水升压

[0027] 当循环水开始流回储水罐时,向内拧紧背压阀,此时压力逐渐上升,直到达到实验压力;

[0028] (6)、循环水加热

[0029] 加热前打开冷凝器和加载轴水冷套的自来水开关,设定实验温度,然后开启控制柜上的预热器和高压釜控温按钮,此时釜内的温度逐渐上升,直到温度稳定;

[0030] (7)、试样加载

[0031] 开启同步记录电脑的拉伸控制软件,设定拉伸实验的参数,通过控制软件调整转接组件位置,销连接高温拉伸组件和转接组件,原始应力应变数值规零后设定拉伸曲线保存位置和名字,开启自动加载;此时同步记录电脑控制拉伸试验机的运行,实验数据自动保存预定电脑硬盘位置;

[0032] (8)、停止实验

[0033] 当拉伸实验达到设定的条件后,停止同步记录电脑上的拉伸控制软件,保存实验数据,通过同步记录电脑的拉伸控制软件微量上调下活动横梁位置清除剩余力,取出转接组件中销子,然后关闭高温高压循环水控制柜上的预热器和高压釜的加热开关,此时釜内温度逐渐降低,当到达室温后,向外调节背压阀,使压力降低为零,关闭高压泵,然后关闭冷凝器和加载轴水冷套的冷却水,实验结束。

[0034] 所述的带高温高压循环水的慢拉伸实验装置的使用方法,实验结束后取试样:

[0035] 拧紧循环回路进出液管道的手动调节阀,拧开高压釜侧面进出水口侧路加载的手动调节阀,通气排除高压釜釜内溶液,松开高压釜釜盖下面的主螺栓,拧进高压釜釜盖上起顶螺栓使高压釜釜盖与高压釜釜体分离,通过单升降吊臂使高压釜釜体上升,松开上夹具固定螺帽,拔出试样和夹具连接销子,取出试样清洗、干燥、备用。

[0036] 本发明的有益效果是:

[0037] 1、一种带高温高压循环水的慢拉伸试验装置,该装置设有高温高压循环水系统、慢拉伸加载装置、水化学控制系统、加载监控系统四部分组成。高温高压循环水系统能够提供动态高温高压水环境,慢拉伸加载装置对高压釜内的试样进行不同应变速率的拉伸,水化学控制系统控制高温高压循环水系统水化学参数,加载监控系统用来调控和记录釜内试样的拉伸曲线。本发明直接改造自国产常温慢拉伸试验机,成本低廉、操作简单、稳定安全。

[0038] 2、本发明实现计算机自动控制和数据采集试样拉伸曲线,运行稳定,安全可靠。

[0039] 3、本发明的高温高压水循环水系统可以控制实验溶液的温度、压力、流速等参数,根据实验要求可以加入特殊离子。

[0040] 4、本发明的高温高压水循环水系统的储水罐经过特殊改进,能较快调节实验溶液中的气体含量。

[0041] 5、本发明的加载轴水冷套采用特殊的压力平衡设计,保证加载轴在拉伸实验过程中不受高压釜内的压力影响,使实验更加精确。

[0042] 6、本发明可以通过调平螺栓调平高压釜釜盖,通过转接组件使载荷的重心在加载轴的延长线上,保证试样只受垂直向下的力。

[0043] 7、本发明可以防止高温部分的水泄漏引起拉伸试验机失效问题。

[0044] 8、本发明原位于低温拉伸试验机的固定横梁中心位置的力传感器被移到下活动

横梁上面,用来检测加上立柱间高压釜后作用于试样上的力。

[0045] 9、本发明水化学控制系统可以控制预热器、高压釜中水溶液的温度、压力、溶解氧(DO)等,控制高压泵的启动,并且提供超压保护。加载监控系统主要包括前置变形检测探头、同步记录电脑,可以自动调控和记录试样变形曲线。

### 附图说明

[0046] 图1为本发明整个装置结构图。图1中,1、储水罐;2、过滤器;3、高压泵;4、预热器;5、转接组件;6、下横梁活动区;7、高压釜;8、单升降吊臂;9、冷凝器;10、过滤阀;11、背压阀;12、流量计;13、排气装置;14、控制柜;15、高温拉伸组件;16、立柱;17、高压釜固定平台;18、上固定横梁;V1、V2、V3为手动调节阀;S1为安全阀;S2为爆破阀;G1、G2为N<sub>2</sub>罐和O<sub>2</sub>罐;A1为拉伸试验机;A2为前置变形检测探头;A3为同步记录电脑。

[0047] 图2为本发明高温拉伸组件的示意图。图2中,15a、上夹具固定螺帽;15b、支座;15c、支柱;15d、紧凑拉伸试样;15e、上夹具;15f、下夹具;15g、高压釜釜盖;15h、水冷套;15i、加载轴。

[0048] 图3为本发明转接组件的示意图。图3中,5a、加载轴转接部件;5b是加载轴转接部件5a与万向转接头5c的转接件;5c、万向转接头;5d、防漏接水盘;5e是万向转接头5c与力传感器5f的转接件;5f、力传感器;5g、下活动横梁。

[0049] 图4为实验测得的高温高压循环B+Li水中304不锈钢的慢应变拉伸曲线。

### 具体实施方式

[0050] 如图1所示,本发明提供了一种能在高温高压循环水环境下为材料提供慢应变速率拉伸的试验装置,该装置主要由高温高压循环水系统、慢拉伸加载装置、水化学控制系统、加载监控系统四部分组成。高温高压循环水系统能够提供动态高温高压水环境,慢拉伸加载装置对高压釜内的试样进行不同应变速率的拉伸,水化学控制系统控制高温高压循环水系统的水化学参数,加载监控系统用来调控和记录釜内试样的慢应变拉伸曲线,具体如下:

[0051] 高温高压循环水系统主要由储水罐1、过滤器2、高压泵3、预热器4、高压釜7、冷凝器9、过滤阀10、背压阀11、流量计12、排气装置13组成,储水罐1的水流循环回路上依次设置过滤器2、高压泵3、预热器4、高压釜7、冷凝器9、过滤阀10、背压阀11、流量计12,储水罐1的水经过过滤器2过滤后进入高压泵3、预热器4,然后进入高压釜7,从高压釜7流出后进入冷凝器9冷却,经过背压阀11、流量计12,最后返回储水罐1;其中,循环回路的一段:高压泵3与预热器4为常温高压段;循环回路的另一段:预热器4、高压釜7与冷凝器9为高温高压段;循环回路的另一段:冷凝器9、过滤阀10与背压阀11为常温高压段;其他部分为常温常压段。

[0052] 慢拉伸加载装置包括高温拉伸组件15、转接组件5、拉伸试验机A1,高温拉伸组件15主要包括上夹具固定螺帽15a、固定支座15b、支柱15c、紧凑拉伸试样15d(CT试样)、试样夹具(上夹具15e和下夹具15f)、水冷加载轴(加载轴15i和水冷套15h),转接组件5包括加载轴转接部件5a、加载轴转接部件5a与万向转接头5c的转接件5b、万向转接头5c、防漏接水盘5d、万向转接头5c与力传感器5f的转接件5e、力传感器5f、销子。本发明中,拉

伸试验机 A1 为由西安力创材料检测技术有限公司生产的 WDML-50KN 微机控制低温应力腐蚀慢拉伸试验机。

[0053] 本发明带高温高压循环水的慢拉伸实验装置,还设有水化学控制系统和加载监测系统,水化学控制系统为控制柜 14,加载监测系统主要包括前置变形检测探头 A2、同步记录电脑 A3。高温高压循环水控制柜 14 连接高压泵 3、预热器 4、高压釜 7,可以控制高压泵 3 的开关、预热器 4 的控温、高压釜 7 的控温,并提供过压等安全保护,拉伸试验机和加载监测系统连接。

[0054] 高温高压循环水系统中有一个 10L 的不锈钢储水罐 1,储水罐 1 为这个循环水回路提供水源,试验后的水经过一系列冷却过滤后又重新回到储水罐 1,整个高温高压循环水形成一个封闭的回路。细长储水罐 1 下端有两个进气口,这两个进气口分别连接一个氮气罐 G1 和一个氧气罐 G2,可以调节储水罐 1 中的气体含量,储水罐 1 上端有一个加液口、一个出气口,出气口连接一个排气装置 13,可将储水罐 1 中的空气排出,而又使外界空气无法进入储水罐 1。这样的储水罐形状设计,可以较快调节实验溶液中的气体含量。储水罐 1 的下端还有一个出液口和一个排液口:所述的出液口上有一个手动调节阀 V1,用来控制进入循环水回路中溶液的流量;所述的排液口上也有一个手动调节阀 V2,用来控制是否排出储水罐 1 中的水。高压泵 3 前后端分别连接一个过滤器 2 和一个安全阀 S1,背压阀 11 前后端分别连接一个过滤阀 10 和一个流量计 12。

[0055] 打开储水罐 1 下部出水口前面的手动调节阀 V1,溶液进入过滤器 2,过滤器 2 可以过滤溶液中的大颗粒杂质。然后溶液进入高压泵 3,经预热器 4 加热后进入高压釜 7。高压釜 7 自身带有加热装置,可对水进行二次加热。水流出高压釜 7 后进入冷凝器 9 冷却至室温,经过滤阀 10 到背压阀 11,过滤阀 10 可过滤杂质来保护背压阀 11。水经背压阀 11 后变为常压,经过流量计 12 最后流回储水罐 1 的回液口,储水罐 1 的回液口处设有手动调节阀 V3,用来控制是否向储水罐 1 回液。

[0056] 高压釜 7 为 316 不锈钢釜,容积 3L,设计温度和压力为 360°C、25MPa。为了便于加载,高压釜 7 倒置于拉伸试验机 A1 的底座上两立柱 16 之间,即高压釜釜盖 15g 朝下,高压釜釜底朝上。高压釜釜盖 15g 部位连接的拉伸组件 15 下方设置与高压釜 7 内试样连接的转接组件 5,转接组件 5 下方为下横梁活动区 6,下横梁活动区 6 能通过拉伸试验机 A1 的底座内部安装的电机同步上下传动。高压釜 7 下端的高压釜釜盖 15g 固定在拉伸试验机立柱 16 上的高压釜固定平台 17 上,高压釜釜盖 15g 与高压釜固定平台 17 用螺栓相连,高压釜釜盖 15g 下方有三个调平螺栓,保证高压釜釜盖 15g 水平。高压釜 7 的进、出水口设在高压釜釜盖 15g 的侧面,高压釜釜盖 15g 上预留三个高温电化学电极接口并有堵头封死。高压釜内侧的出水口上连接不锈钢管,不锈钢管伸入高压釜釜体底部,高压釜 7 外侧的进水口连接安全压力表和爆破阀 S2。高压釜 7 外侧进出水口分别加有一个通气手动调节阀和一个排液手动调节阀。为了提供相应的高压釜 7 的固定空间和方便高压釜釜盖 15g 和高压釜釜体的开合操作,原低温慢拉伸试验机 A1 的立柱 16 进行了一定量的加长。高压釜釜体底部与穿过上固定横梁 18 中心孔位置的单升降吊臂 8 连接,通过单升降吊臂 8 实现高压釜 7 的升降。

[0057] 如图 2 所示,本发明提供高温高压循环水环境慢应变拉伸试验装置的高温拉伸组件 15,具体如下:

[0058] 试样固定组件包括：1 个上夹具固定螺母 15a、1 个支座 15b、4 根支柱 15c、4 个支座固定螺母，试样固定组件直接固定在高压釜 7 内侧的高压釜釜盖 15g 上，利用试样夹具固定组件将紧凑拉伸试样 15d（CT 试样）固定于夹具（上夹具 15e 和下夹具 15f）之间。下夹具 15f 下方与加载轴 15i 螺纹连接，通过转接组件 5 连接拉伸试验机的传动装置。加载轴 15i 外部安装水冷套 15h，加载轴 15i 与水冷套 15h 形成水冷加载轴，加载轴 15i 下端与转接组件 5 中加载轴转接组件 5a 螺纹连接（见图 3）。加载轴 15i 有压力平衡设计，在实验过程中加载轴 15i 上的压力就能保持平衡，使得釜内的高压对加载轴没有影响，加载轴 15i 和水冷套 15h 之间采用密封组合，使得加载轴 15i 在运动时保持良好的动密封性能。

[0059] 本发明试样夹具固定组件的上夹具固定螺帽 15a、支座 15b、支柱 15c 中，支柱 15c 的一端与高压釜釜盖 15g 连接，支柱 15c 的另一端通过支座固定螺母安装支座 15b；上夹具 15e 的一端穿过支座 15b，该端通过夹具固定螺母 15a 紧固于支座 15b，上夹具 15e 的另一端夹持紧凑拉伸试样 15d 的一端；下夹具 15f 的一端与加载轴 15i 连接，下夹具 15f 的另一端夹持紧凑拉伸试样 15d 的另一端。

[0060] 如图 3 所示，本发明提供高温高压循环水环境慢应变拉伸试验装置的转接组件 5，具体如下：

[0061] 加载轴转接部件 5a 上端开内螺纹，与加载轴 15i 连接。加载轴转接部件 5a 下端开槽，并在槽侧面打通孔，可与转接件 5b 通过销子连接，通过下横梁活动区 6 中的上下活动，方便高压釜的相关开合操作。原来力传感器 5f 在原国产拉伸试验机 A1 上固定横梁 18 中心位置，为了检测加上立柱间高压釜 7 后，作用于紧凑拉伸试样 15d（CT 试样）上的力，力传感器 5f 被移到下活动横梁 5g 上面。加载轴转接部件 5a 与万向转接头 5c 的转接件 5b 下端开有内螺纹，转接件 5b 下连万向转接头 5c，安装万向转接头 5c 避免加载轴 15i 与拉伸试验机 A1 传动轴上力传感器 5f 上端内螺孔的中心偏离问题，保证拉伸力在加载轴 15i 的延长线上。万向转接头 5c 与力传感器 5f 的转接件 5e 用于连接万向转接头 5c 和力传感器 5f，转接件 5e 的外侧部配合上防漏接水盘 5d。防漏接水盘 5d 的作用在于，预防水冷套 15h 内部冷却水和高压水泄漏下坠引起拉伸试验机中的拉伸件生锈和导线短路。力传感器 5f 下端内部开孔与下横梁活动区 6 的可伸缩拉伸件螺纹连接。

[0062] 本发明运行这套带高温高压循环水的慢拉伸实验装置，包括如下步骤：

[0063] 1、储水罐注水。关闭手动调节阀 V1、V2，打开储水罐 1 上面的加液口，注入实验用水。当水位到达储水罐 1 高度约 9/10 时，注水完毕。

[0064] 2、装试样。通过单升降吊臂 8 使高压釜釜体上移，分开高压釜釜体和高压釜釜盖后，将紧凑拉伸试样 15d 放入夹具：上夹具 15e、下夹具 15f 之间，使用两个销子连接紧凑拉伸试样 15d 和夹具，拧紧上夹具固定螺帽 15a，紧凑拉伸试样 15d 通过四个支柱 15c 固定在高压釜内侧的高压釜釜盖 15g 上。

[0065] 3、拧紧高压釜。装完试样后，通过单升降吊臂 8 使高压釜釜体下移，拧出高压釜釜盖 15g 上起顶螺栓，使高压釜釜体和高压釜固定平台 17 上高压釜釜盖 15g 充分结合，然后拧紧高压釜 7 下面的主螺栓，使高压釜完全密封。

[0066] 4、通循环水。打开储水罐 1 手动调节阀 V1 和循环回路进出液管道的手动调节阀，使储水罐 1 与回路接通，打开高温高压循环水控制柜 14，打开高压泵 3 的开关按钮，将储水罐 1 的水送入回路；

[0067] 5、循环水升压。当循环水开始流回储水罐 1 时, 向内缓慢拧紧背压阀 11, 此时压力逐渐上升, 直到达到实验压力。

[0068] 6、循环水加热。加热前打开冷凝器 9 和加载轴水冷套 15h 的自来水开关, 设定实验温度, 然后开启控制柜 14 上的预热器 4 和高压釜 7 控温按钮, 此时釜内的温度逐渐上升, 直到温度稳定。

[0069] 7、试样加载。开启同步记录电脑 A3 的拉伸控制软件, 设定拉伸实验的参数(如控制模式、拉伸速率、停机条件等), 通过控制软件调整转接组件 5 位置, 销连接高温拉伸组件 15 和转接组件 5, 原始应力应变数值规零后设定拉伸曲线保存位置和名字, 开启自动加载。此时同步记录电脑 A3 控制拉伸试验机 A1 的运行, 实验数据自动保存预定电脑硬盘位置。

[0070] 8、停止实验。当拉伸实验达到设定的条件后, 停止同步记录电脑 A3 上的拉伸控制软件, 保存实验数据, 通过同步记录电脑 A3 的拉伸控制软件微量上调下活动横梁 5g 位置清除剩余力, 取出转接组件 5 中销子, 然后关闭高温高压循环水控制柜 14 上的预热器 4 和高压釜 7 的加热开关, 此时釜内温度逐渐降低, 当到达室温后, 向外调节背压阀 11, 使压力降低为零, 关闭高压泵 3, 然后关闭冷凝器 9 和加载轴水冷套 15h 的冷却水, 实验结束。

[0071] 9、取试样。拧紧循环回路进出液管道的手动调节阀, 拧开高压釜 7 侧面进出水口侧路加载的手动调节阀, 通气排除高压釜 7 釜内溶液, 松开高压釜釜盖 15g 下面的主螺栓, 拧进高压釜釜盖 15g 上起顶螺栓使高压釜釜盖 15g 与高压釜釜体分离, 通过单升降吊臂 8 使高压釜釜体上升, 松开上夹具固定螺帽 15a, 拔出试样和夹具连接销子, 取出试样清洗、干燥、备用。

[0072] 实施例 1

[0073] 国产核级 304 不锈钢在 300℃、10MPa、溶氧(DO)饱和的高温高压循环 B+Li 水中的慢拉伸试验。

[0074] 实验材料为敏化态国产核级 304 不锈钢。热处理制度为固溶态 304 不锈钢 650℃保温 24h, 随炉冷。根据 ASTM E399, 1/2T 紧凑拉伸试样(CT 试样)加工厚度(B)为 12.5mm, 宽度(W)为 25mm, 长度(H)为 24mm。1/2T 紧凑拉伸试样(CT 试样)表面经过打磨抛光, 然后再空气中进行疲劳使其产生预制 4mm 长的裂纹。把试样固定在夹具上, 拧紧高压釜, 通循环溶液。等溶液流回储水罐时, 然后调节背压阀使压力为 10MPa, 预热器设定温度为 320℃, 高压釜设定温度为 300℃, 启动加热开关。实验溶液中含有 1500mg/kg 的 B、2.3mg/kg 的 Li, 实验溶液达到预定温度稳定后, 原始应力应变数值清零, 通过拉伸试验机将试样以  $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  和  $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  拉伸速率加载。实验进行 24h 后停止加热, 停止记录拉伸数据, 开始降温, 关闭循环水。图 4 为 300℃、10MPa、DO 饱和的高温高压循环 B+Li 水中 304 不锈钢的拉伸曲线。从图中可以看出, 高温水中 304 不锈钢拉伸率增加时, 最大抗拉强度基本维持不变, 延伸率增加。应变速率降低, 位错运动更加困难, 304 不锈钢的延伸率有所减少, 预示着高温水环境 304 不锈钢应力腐蚀敏感性增加。整个实验过程中系统运行稳定, 该装置结构简单, 使用维护都比较方便, 没有出现泄露问题。

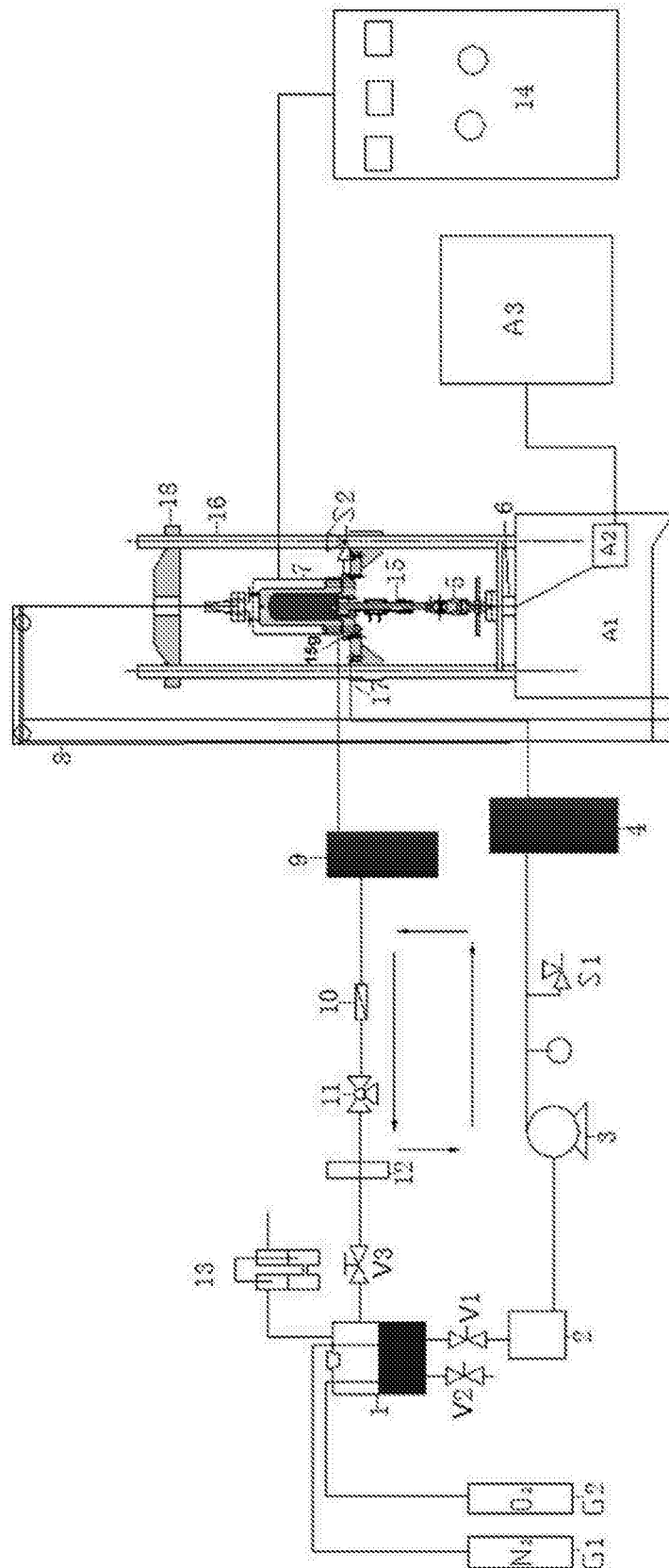


图 1

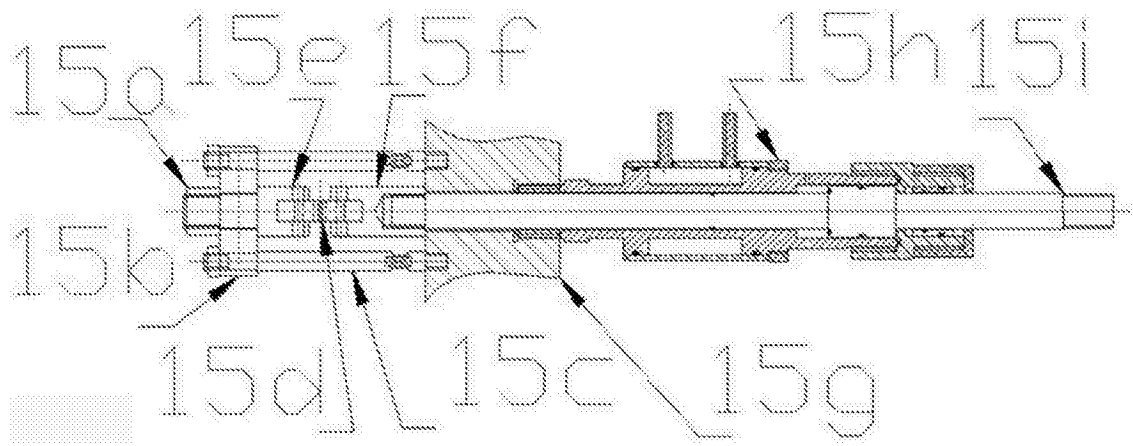


图 2

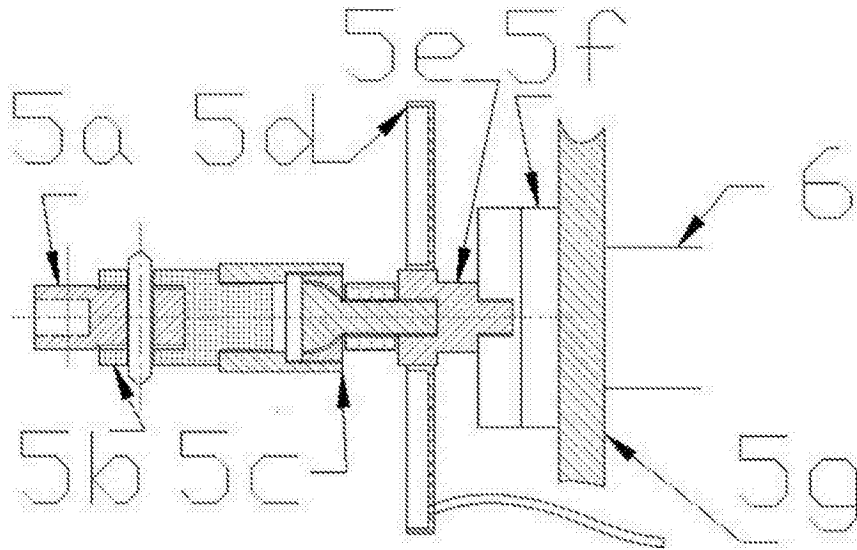


图 3

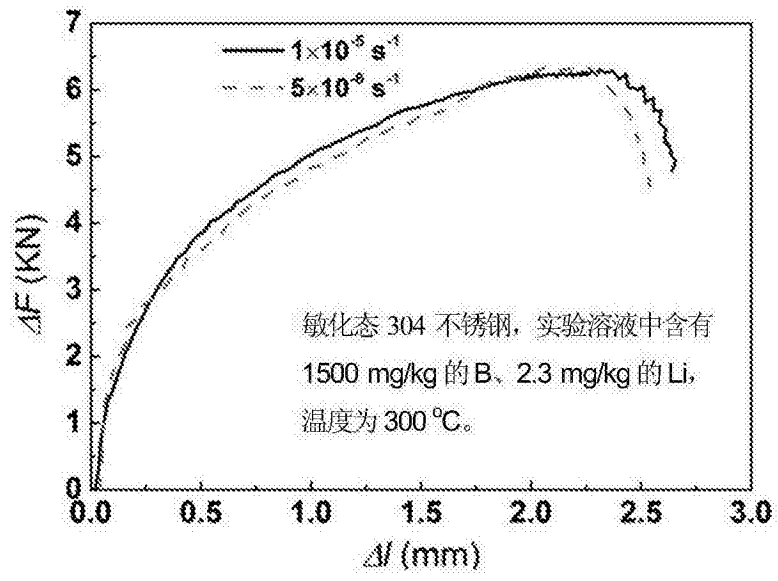


图 4