



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106896140 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 13

(21) 申请号 201510954839.3

F25B 41/31 (2021.01)

(22) 申请日 2015.12.17

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106896140 A

CN 104266914 A, 2015.01.07

CN 103105017 A, 2013.05.15

CN 205280637 U, 2016.06.01

(43) 申请公布日 2017.06.27

CN 104931373 A, 2015.09.23

(73) 专利权人 中国科学院金属研究所

CN 103454165 A, 2013.12.18

地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区文化路
72号

CN 102645377 A, 2012.08.22

CN 104568610 A, 2015.04.29

(72) 发明人 周宇 张波 赵东杨 王俭秋

柯伟 韩恩厚

JP H05142294 A, 1993.06.08

CN 101551682 A, 2009.10.07

CN 104535410 A, 2015.04.22

(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

CN 104237007 A, 2014.12.24

CN 103884603 A, 2014.06.25

专利代理师 张志伟

王亮等. 直流电位法检测高温合金的疲劳裂
纹扩展性能.《理化检验(物理分册)》.2011,(第
08期),第480-482页.

(51) Int. Cl.

G01N 27/00 (2006.01)

F25B 1/10 (2006.01)

F25B 41/24 (2021.01)

审查员 肖向阳

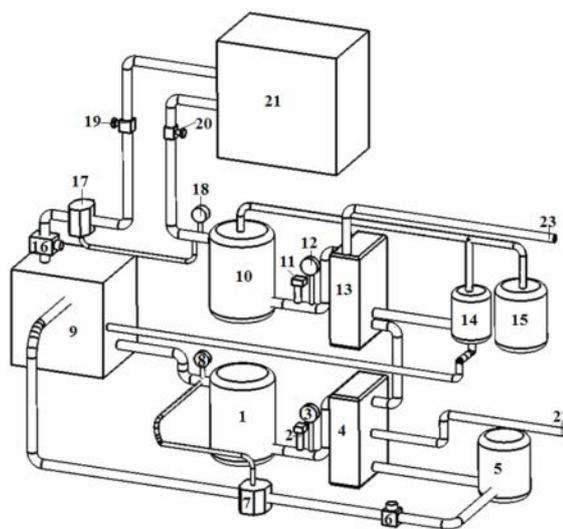
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种低温疲劳裂纹扩展速率试验装置及其
使用方法

(57) 摘要

本发明涉及低温疲劳裂纹扩展速率测试领
域,具体为一种金属材料低温疲劳裂纹扩展试
验装置及其使用方法,适用于直流电位降法测
量金属材料的低温疲劳裂纹扩展速率及疲劳
裂纹扩展门槛值。本发明装置包括低温制冷
系统、温度控制系统和裂纹测量系统,采用双
级压缩机制冷方式实现低温环境,可以实现
从室温至-60℃的低温,温度控制准确,操
作简便,充入的R23环保型氟利昂冷媒属
于HFC类物质,对臭氧层无损害,可节约能
源。本发明适用于低温空气环境下DCPD
法计算材料的疲劳裂纹扩展速率及门槛值,
温度控制准确,裂纹长度测量可靠性高,适
合在实验室中推广使用,在钢铁、有色等
大规模工业生产、检测分析等领域也可广
泛应用。



CN 106896140 B

1. 一种低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,其特征在于,该装置包括低温制冷系统、温度控制系统和裂纹测量系统,其中:

低温制冷系统设有一级压缩机、压力开关I、压力表I、冷凝器I、储液罐I、电磁阀I、膨胀阀I、压力表II、中间冷却器、二级压缩机、压力开关II、压力表III、冷凝器II、油水分离器、储液罐II、电磁阀II、膨胀阀II、压力表IV、截止阀I、截止阀II、蒸发器、冷却水进口、冷却水出口;

一级压缩机一方面通过管路与冷凝器I连通,在所述管路上设置压力开关I和压力表I;冷凝器I通过管路与储液罐I连通,冷凝器I上设有冷却水进口;储液罐I通过管路与中间冷却器连通,在所述管路上设置电磁阀I、膨胀阀I;一级压缩机另一方面通过管路与中间冷却器连通,所述管路上设置压力表II,膨胀阀I位于储液罐和中间冷却器之间,膨胀阀I的感温包捆绑在一级压缩机吸气端的管子上;

二级压缩机一方面通过管路与冷凝器II连通,在所述管路上设置压力开关II和压力表III;冷凝器II上设有冷却水出口,冷凝器II通过管路与油水分离器连通;储液罐II通过管路与二级压缩机顶部连通,油水分离器顶部与储液罐II和二级压缩机之间的管路连通,油水分离器底部通过管路与中间冷却器连通;二级压缩机另一方面通过管路与蒸发器连通,在所述管路上设置压力表IV、截止阀II;蒸发器通过管路与中间冷却器连通,在所述管路上设置电磁阀II、膨胀阀II、截止阀I,膨胀阀II位于中间冷却器和蒸发器之间,膨胀阀II的感温包捆绑在二级压缩机吸气端的管子上,使高温高压的液态制冷剂经过膨胀阀II的节流后,成为低温低压的雾状蒸汽;

温度控制系统设有环境温度控制箱,环境温度控制箱四周侧壁内填充加热电阻丝和保温石棉,热电偶通过环境温度控制箱上端口插入环境温度控制箱内部,热电偶与温度控制器连接;在环境温度控制箱内部安装均温器,环境温度控制箱上下面分别设有CT试样夹具穿入口;环境温度控制箱侧面设有CT试样导线引出口;

裂纹测量系统设有紧凑拉伸CT试样,CT试样的开口侧上下设置工作电压测量正极、工作电压测量负极,CT试样的另一侧设置参考电压测量正极、参考电压测量负极;导线与CT试样通过导线连接模块I和导线连接模块II连接;

还包括电压信号数据采集系统,该系统设有恒流源、反向电流模块、纳伏表、数据采集卡、电脑,恒流源通过导线连接模块I和导线连接模块II向CT试样输入稳定的直流电源;纳伏表精确测量CT试样的工作电压测量正极、工作电压测量负极、参考电压测量正极和参考电压测量负极的电压信号;数据采集卡从纳伏表采集数据并输出到电脑保存记录;在恒流源的输出端与CT试样连接前加入反相电流模块,通过反相电流模块反转电流;

导线连接模块I的一端插装导线,导线连接模块I的另一端设置外螺纹,导线连接模块I通过外螺纹与CT试样连接,导线连接模块I的侧面开设导线连接柱,导线伸至导线连接柱中,通过导线旋紧螺栓与导线连接柱螺纹连接压紧导线,导线连接模块II与导线连接模块I结构相同;

二级压缩机制冷系统的蒸发器被安装于环境温度控制箱内部,当二级压缩机工作时,通过蒸发器吸收环境温度控制箱内部空气的热量,实现温度降低,达到制冷的目的;当一级压缩机启动后,二级压缩机始终处于持续工作状态,环境温度控制箱内二级压缩机的蒸发器不断吸收箱内空气温度,持续制冷,箱内温度不断降低,极限温度可达-70℃。

2. 按照权利要求1所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,其特征在于,导线旋紧螺栓和导线连接柱选用与CT试样相同的材料加工而成。

3. 按照权利要求1所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,其特征在于,导线连接模块针对于电阻率小的铝合金CT试样,选用电阻率更低的无氧铜作为导线,采用侧面旋紧方式将铜导线与铝合金试样连接在一起。

4. 按照权利要求1所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,其特征在于,一级压缩机内充R404氟利昂,将温度降至 -30°C ;二级压缩机内充R23氟利昂,将温度降至 -60°C 。

5. 按照权利要求1所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,其特征在于,环境温度控制箱内壁带有电阻丝加热,与温度控制表连接,实现箱内温度的恒定控制,实现温度范围: $-60^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

6. 按照权利要求1所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,其特征在于,CT试样通过包裹陶瓷管的销钉与U型夹具连接,避免试样与夹具导通,起到绝缘作用。

一种低温疲劳裂纹扩展速率试验装置及其使用方法

技术领域

[0001] 本发明涉及低温疲劳裂纹扩展速率测试领域,具体为一种金属材料低温疲劳裂纹扩展试验装置及其使用方法,适用于直流电位降(DCPD)法测量金属材料的低温疲劳裂纹扩展速率及疲劳裂纹扩展门槛值。

背景技术

[0002] 金属材料的低温疲劳裂纹扩展速率测试技术的关键在于实现低温环境和测量疲劳裂纹长度。目前国内外发表的文章表明,低温环境的实现是通过采取液氮制冷,尽管这种方法降温迅速,但是液氮使用后不可回收,造成试验成本的增加。另外,液氮降温过程不稳定,可控性差,液氮的膨胀比较高,蒸发温度低,在使用过程中容易发生因操作不当而引发爆炸、物料凝固堵塞管道等事故。已有报道采用压缩机制冷方式实现低温环境,但是采用的单级压缩机难以实现 -60°C 的低温,这是因为制冷系统的冷凝温度(或冷凝压力)决定于冷却剂(或环境)的温度,而蒸发温度(或蒸发压力)取决于制冷要求。因此,在很多制冷实际应用中,压缩机要在高压端压力(冷凝压力)对低压端压力(蒸发压力)的比值(即压缩比)很高的条件下进行工作。由理想气体的状态方程 $PV/T=C$ 可知,此时若采用单级压缩制冷循环,则压缩终了过热蒸汽的温度必然会很高(V 一定, $P\uparrow\rightarrow T\uparrow$),会造成压缩机的单位制冷量和单位容积制冷量都大为降低以及压缩机的功耗增加,制冷系数下降。还有的报道采用了双级压缩机制冷,且采用氨气作为冷媒,存在泄露的风险,易造成事故。这些制冷方式通常利用在大型冷库和冷冻设备,无法直接应用于试验室研究。

[0003] 疲劳裂纹长度的测量通常采用显微镜观测法、柔度法和DCPD法,但观测法自动化程度低,需要耗费较大的人力,并且观测法还需要考虑低温环境的保温问题,以及观测窗口结霜的问题。柔度法也是一种常用的裂纹扩展测试方法,但该方法在进行低温疲劳裂纹长度测量时需要考虑低温环境对引伸计精度的影响。目前国际上常用直流电位降法(DCPD)测量极端环境下(高温、高压、腐蚀溶液)金属材料的裂纹扩展速率,DCPD技术的物理原理清晰:通恒电流,随着裂纹扩展金属材料的有效截面减小导致电阻增大,因此电压值增高,电场是试样几何形状的函数。基于数值分析和有限元模拟可以得到不同形状裂纹体试样的裂纹长度和电位关系的封闭解。GB/T 6398《金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法》已给出了紧凑拉伸(CT)试样裂纹归一化长度 a/W 与电位之间的关系如下式:

$$[0004] \quad a/W=C_0+C_1(V/V_r)^1+C_2(V/V_r)^2+C_3(V/V_r)^3$$

[0005] 其中, a 为裂纹长度; W 为CT试样宽度; V 为实测端电压; V_r 为参考端电压; $C_0=-0.5051$, $C_1=0.8857$, $C_2=-0.1398$; $C_3=0.0002398$ 。

[0006] DCPD测量裂纹长度时还需要考虑导线与试样的连接问题,通常采用焊接的方式将导线与试样连接在一起,但是由于铝合金润湿度较低,导线难以焊接在铝合金试样表面,给DCPD测量裂纹长度带来一定的困难。

[0007] DCPD法的另一难点在于,测量得到的电压信号的分辨率以及数据的采集与存储。在实际应用中,常常需要采集大量的电压信号,并将这些数据采集模块采集的数据传输到

主机上进行处理,由主机根据这些处理的结果,将控制信号传输给现场执行模块进行各种操作。在数据采集及处理行业快速发展的今天,数据采集已经广泛应用于各个领域。国外各种数据采集器的先后问世,将数据采集带入了一个全新的时代。如果单片机本身带数模转换(A/D)功能,则不必进行系统扩展。目前,得益于计算机和电子行业的快速发展,高精度电压表(纳伏表)已经能够稳定的测量纳伏级的电压信号。电压信号的采集和存储也可以通过高精度的数据采集卡(National instrument)和与之配套的商业软件(LabView)实现。

[0008] 低温下使用的机器设备和结构,其可靠性在眼大程度上取决于温度条件。从S-N曲线上发现低温的有利影响是与温度降低时材料的强度提高有关。但是降低温度同时,也会引起材料的塑性韧性降低,当温度低于其韧脆转化温度时,将会导致冷脆。因此,对于低温下使用的金属材料,仅按S-N曲线的结果进行设计是不够的。合理测定铝合金低温疲劳裂纹扩展速率,是进行高寒动车材料疲劳损伤容限设计与安全评价的重要基础工作之一。

[0009] 截止到目前,鲜有报道使用双级压缩机制冷方式的结合DCPD方法测量金属材料尤其是铝合金的低温疲劳裂纹扩展速率方法。

发明内容

[0010] 针对现有技术中存在的问题,本发明主要目的在于提供一种低温疲劳裂纹扩展试验装置及其使用方法,解决现有技术中制冷剂不经济、不环保,温度控制不准确,导线与低润湿性金属试样的连接不牢固等问题,该装置可以准确测量金属材料的低温疲劳裂纹长度。

[0011] 本发明的技术方案如下:

[0012] 一种低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,该装置包括低温制冷系统、温度控制系统和裂纹测量系统,其中:

[0013] 低温制冷系统设有一级压缩机、压力开关I、压力表I、冷凝器I、储液罐I、电磁阀I、膨胀阀I、压力表II、中间冷却器、二级压缩机、压力开关II、压力表III、冷凝器II、油水分离器、储液罐II、电磁阀II、膨胀阀II、压力表IV、截止阀I、截止阀II、蒸发器、冷却水进口、冷却水出口;一级压缩机一方面通过管路与冷凝器I连通,在所述管路上设置压力开关I和压力表I;冷凝器I通过管路与储液罐I连通,冷凝器I上设有冷却水进口;储液罐I通过管路与中间冷却器连通,在所述管路上设置电磁阀I、膨胀阀I;一级压缩机另一方面通过管路与中间冷却器连通,所述管路上设置压力表II;二级压缩机一方面通过管路与冷凝器II连通,在所述管路上设置压力开关II和压力表III;冷凝器II上设有冷却水出口,冷凝器II通过管路与油水分离器连通;储液罐II通过管路与二级压缩机顶部连通,油水分离器顶部与储液罐II和二级压缩机之间的管路连通,油水分离器底部通过管路与中间冷却器连通;二级压缩机另一方面通过管路与蒸发器连通,在所述管路上设置压力表IV、截止阀II;蒸发器通过管路与中间冷却器连通,在所述管路上设置电磁阀II、膨胀阀II、截止阀I;

[0014] 温度控制系统设有环境温度控制箱,环境温度控制箱四周侧壁内填充加热电阻丝和保温石棉,热电偶通过环境温度控制箱上端口插入环境温度控制箱内部,热电偶与温度控制器连接;在环境温度控制箱内部安装均温器,环境温度控制箱上下面分别设有CT试样夹具穿入口;环境温度控制箱侧面设有CT试样导线引出口;

[0015] 裂纹测量系统设有紧凑拉伸CT试样,CT试样的开口侧上下设置工作电压测量正

极、工作电压测量负极,CT试样的另一侧设置参考电压测量正极、参考电压测量负极;导线与CT试样通过导线连接模块I和导线连接模块II连接。

[0016] 所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,还包括电压信号数据采集系统,该系统设有恒流源、反向电流模块、纳伏表、数据采集卡、电脑,恒流源通过导线连接模块I和导线连接模块II向CT试样输入稳定的直流电源;纳伏表精确测量CT试样的工作电压测量正极、工作电压测量负极、参考电压测量正极和参考电压测量负极的电压信号;数据采集卡从纳伏表采集数据并输出到电脑保存记录;在恒流源的输出端与CT试样连接前加入反相电流模块,通过反相电流模块反转电流。

[0017] 所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,导线连接模块I的一端插装导线,导线连接模块I的另一端设置外螺纹,导线连接模块I通过外螺纹与CT试样连接,导线连接模块I的侧面开设导线连接柱,导线伸至导线连接柱中,通过导线旋紧螺栓与导线连接柱螺纹连接压紧导线,导线连接模块II与导线连接模块I结构相同。

[0018] 所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,导线旋紧螺栓和导线连接柱选用与CT试样相同的材料加工而成。

[0019] 所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,导线连接模块针对于电阻率小的铝合金CT试样,选用电阻率无氧铜作为导线,采用侧面旋紧方式将铜导线与铝合金试样连接在一起。

[0020] 所述的低温疲劳裂纹扩展速率试验装置,一级压缩机内充R404氟利昂,将温度降至-30℃;二级压缩机内充R23氟利昂,将温度降至-60℃。

[0021] 所述的低温疲劳裂纹扩展试验装置,二级压缩机制冷系统的蒸发器被安装于环境温度控制箱内部,当二级压缩机工作时,通过蒸发器吸收环境温度控制箱内部空气的热量,实现温度降低,达到制冷的目的;当一级压缩机启动后,二级压缩机始终处于持续工作状态,环境温度控制箱内二级压缩机的蒸发器不断吸收箱内空气温度,持续制冷,箱内温度不断降低,极限温度可达-70℃。

[0022] 所述的低温疲劳裂纹扩展试验装置,环境温度控制箱内壁带有电阻丝加热,与温度控制表连接,实现箱内温度的恒定控制,实现温度范围:-60℃~150℃。

[0023] 所述的低温疲劳裂纹扩展试验装置,CT试样通过包裹陶瓷管的销钉与U型夹具连接,避免试样与夹具导通,起到绝缘作用。

[0024] 所述的低温疲劳裂纹扩展试验装置的使用方法,一级压缩机将低温低压气体压缩成高温高压气体,高温高压气体经过冷凝器I,在冷凝器I中冷凝成低温高压液体,低温高压液体经过储液罐I平缓冷凝器I的负荷,调节和保证系统运行所需制冷剂的循环量,保证流到膨胀阀I是液体,再经膨胀阀I节流后进入中间冷却器;

[0025] 中间冷却器应用于双级压缩制冷系统的一级压缩机与二级压缩机之间,从一级压缩机集成于中间冷却器内的蒸发器出来的蒸汽被一级压缩机吸入,压缩到中间压力并与中间冷却器出来的干饱和蒸汽在管路中进行混合,使从一级压缩机排出的过热蒸汽被冷却后再进入二级压缩机,经二级压缩机压缩到冷凝压力并进入冷凝器II;经冷凝器I冷凝后的低温高压液体进入中间冷却器集成于中间冷却器内的蛇形盘管进行再冷却,然后与从一级压缩机的蒸发器出来的低温低压蒸汽进行热交换,使从中间冷却器中出来的过冷液体再一次得到冷却,最后经膨胀阀II进入蒸发器,在蒸发器中吸热蒸发而成为高温低压的蒸汽,从而

完成制冷循环。

[0026] 本发明具有如下的优点和有益效果：

[0027] 1. 制冷方式，为了实现-50℃低温环境，采用了带有中间冷却器的双级压缩机制冷方式；其中一级压缩机充入R404氟利昂作为冷媒，可实现-20℃的低温，二级压缩机充入R23环保型氟利昂（属于HFC类物质，氢氟碳族，完全不破坏臭氧层），在一级压缩机基础上进一步制冷，实现了-50℃的低温。选用环保型氟利昂作为冷媒，环境污染小，可往复循环使用。

[0028] 2. 低温环境箱，低温环境箱带有均温装置、加热装置和温度控制器，可以准确控制从150℃至-50℃之间的任意温度。

[0029] 3. 导线与铝合金试样的连接，由于铝合金的润湿性低并且电阻率小，因此选用电阻率更低的无氧铜作为导线，采用侧面旋紧方式将铜导线与铝合金试样连接在一起，连接紧固、不宜脱落，并且有效降低信号损失率。

[0030] 4. 电压信号采集及存储，采用Keithley-6221恒流源提供稳定的直流电源，采用Keithley-2182A纳伏表精准采集电压信号，采用National Instruments公司的数据采集卡，从纳伏表采集数据，选用National Instruments公司的LabView软件保存采集到的电压值，软件与硬件匹配性好。同时可选择利用该软件采集卡发送指令控制恒流源的电流和电压输出值，自动化程度高。

[0031] 5. 热电势的消除，由于DCPD法收到有温度变化引起的热电势的影响，通过在恒流源输出端加入反相电流模块反转电流，可有效消除温度对电压型号的影响。

[0032] 6. 绝缘性，CT试样与U型夹具通过销钉连接，在销钉外套有氧化锆陶瓷管，可有效解决绝缘问题造成的电信号失准。

[0033] 7. 结果有效性判断，按照GB/T 6398提供的裂纹归一化长度 a/W 与电压之间的函数关系： $a/W=C0+C1(V/Vr)+C2(V/Vr)^2+C3(V/Vr)^3$ ，并结合试验结束后在断口上直接测量裂纹长度的方式，对公式中的系数进行修正。

[0034] 总之，现有的液氮制冷技术，液氮无法循环使用，降温过程不稳定，可控性差，液氮的膨胀比较高且蒸发温度低，在使用过程中容易发生因操作不当而引发的爆炸、物料凝固堵塞管道等事故。现有的单级压缩机制冷技术难以实现-60℃的低温。现有的双级压缩机制冷技术，采用氨气作为冷媒，存在泄露的风险，也容易造成事故。这些制冷方式通常用于大型冷库和冷冻设备，无法直接应用于试验室研究。裂纹长度的测量通常采用显微镜观测法、柔度法和DCPD法，但观测法自动化程度低，需要耗费较大的人力，并且观测法还需要考虑低温环境的保温问题，以及观测窗口结霜的问题；柔度法在进行低温疲劳裂纹长度测量时需要考虑低温环境对引伸计精度的影响。DCPD法测量裂纹长度时需要考虑导线与试样的连接问题，通常采用焊接的方式将导线与试样连接在一起，但是对于铝合金等润湿度较低，电导率较大的材料，导线难以焊接在铝合金试样表面，给DCPD测量裂纹长度带来一定的困难。本发明采用双级压缩机制冷方式实现低温环境，可以实现从室温至-60℃的低温，温度控制准确，操作简便，充入的R23环保型氟利昂冷媒属于HFC类物质，对臭氧层无损害，可节约能源。

附图说明

[0035] 图1、图2、图3、图4和图5为本发明的结构示意图。其中：

[0036] 图1为低温制冷系统示意图；

[0037] 图2为环境温度控制箱示意图；

[0038] 图3为CT试样与导线连接示意图；

[0039] 图4为导线连接模块示意图；

[0040] 图5为电压信号数据采集系统示意图。

[0041] 图中,1一级压缩机;2压力开关I;3压力表I;4冷凝器I;5储液罐I;6电磁阀I;7膨胀阀I;8压力表II;9中间冷却器;10二级压缩机;11压力开关II;12压力表III;13冷凝器II;14油水分离器;15储液罐II;16电磁阀II;17膨胀阀II;18压力表IV;19截止阀I;20截止阀II;21蒸发器;22冷却水进口;23冷却水出口;24环境温度控制箱;25温度控制器;26均温器;27热电偶;28夹具穿入口;29导线引出口;30-CT试样;31导线连接模块I;32导线连接模块II;33工作电压测量正极;34工作电压测量负极;35参考电压测量正极;36参考电压测量负极;37导线旋紧螺栓;38导线连接柱;39导线;40恒流源;41反相电流模块;42纳伏表;43数据采集卡;44电脑;45外螺纹。

[0042] 图6为使用本发明低温环境系统测试的一种铝合金低温疲劳S-N曲线。图中,横坐标fatigue life(cycles)代表疲劳寿命,纵坐标stress range(MPa)代表疲劳强度。

[0043] 图7为使用本发明DCPD法测试的一种铝合金低温疲劳裂纹扩展速率(da/dN)与应力强度因子范围(ΔK)之间的关系曲线。

具体实施方式

[0044] 下面结合附图和实施例对本发明进一步详细阐述。

[0045] 实施例

[0046] 如图1至图5所示,本实施例的低温疲劳裂纹扩展试验装置,主要包括低温制冷系统、温度控制系统和裂纹测量系统。CT试样置于低温环境箱24内,通过U型夹具对CT试样进行加载,具体结构和使用过程如下:

[0047] 低温制冷系统设有一级压缩机1(内充R404氟利昂)、压力开关I2、压力表I3、冷凝器I4、储液罐I5、电磁阀I6、膨胀阀I7、压力表II8、中间冷却器9、二级压缩机10(内充R23氟利昂)、压力开关II11、压力表III12、冷凝器II13、油水分离器14、储液罐II15、电磁阀II16、膨胀阀II17、压力表IV18、截止阀I19、截止阀II20、蒸发器21、冷却水进口22、冷却水出口23等。

[0048] 一级压缩机1一方面通过管路与冷凝器I4连通,在所述管路上设置压力开关I2和压力表I3。冷凝器I4通过管路与储液罐I5连通,冷凝器I4上设有冷却水进口22。储液罐I5通过管路与中间冷却器9连通,在所述管路上设置电磁阀I6、膨胀阀I7。一级压缩机1另一方面通过管路与中间冷却器9连通,所述管路上设置压力表II8,膨胀阀I7位于储液罐5和中间冷却器9之间,膨胀阀I7的感温包捆绑在一级压缩机1吸气端的管子上,起到调节管路内制冷剂流量的作用。需要指出的是,膨胀阀I7内充入的制冷剂必须与压缩机1内的制冷剂(R404氟利昂)一致,否则膨胀系数不同会造成膨胀阀无法正常工作,也可以采用毛细管的方式替代膨胀阀。

[0049] 二级压缩机10一方面通过管路与冷凝器II13连通,在所述管路上设置压力开关II11和压力表III12。冷凝器II13上设有冷却水出口23,冷凝器II13通过管路与油水分离器14连通,冷凝器II13通过管路与和冷凝器I4通过管路连通,可以实现其作用是:当循环水从冷

却水入口22充入并从冷却水出口23流出时,可以同时将冷凝器I4和冷凝器II13的热量带走。储液罐II15通过管路与二级压缩机10顶部连通,油水分离器14顶部与储液罐II15和二级压缩机10之间的管路连通,油水分离器14底部通过管路与中间冷却器9连通。二级压缩机10另一方面通过管路与蒸发器21连通,在所述管路上设置压力表IV18、截止阀II20。蒸发器21通过管路与中间冷却器9连通,在所述管路上设置电磁阀II16、膨胀阀II17、截止阀I19,膨胀阀II17位于中间冷却器9和蒸发器21之间,膨胀阀II17的感温包捆绑在二级压缩机10吸气端的管子上,使高温高压的液态制冷剂经过膨胀阀II17的节流后,成为低温低压的雾状蒸汽,然后在低温环境箱内的蒸发器21中吸收周围环境的热量实现制冷的作用。需要指出的是,膨胀阀II17内充入的制冷剂必须与二级压缩机10内的制冷剂(R23氟利昂)一致,否则膨胀系数不同会造成膨胀阀无法正常工作,也可以采用毛细管的方式替代膨胀阀。

[0050] 一级压缩机1将低温低压气体压缩成高温高压气体,高温高压气体经过冷凝器I4,在冷凝器I4中冷凝成低温高压液体,低温高压液体经过储液罐I5平缓冷凝器I4的负荷,调节和保证系统运行所需制冷剂的循环量,保证流到膨胀阀I7是液体,再经膨胀阀I7节流后进入中间冷却器9。

[0051] 二级压缩机的制冷系统的蒸发器被安装于环境温度控制箱内部,当二级压缩机工作时,通过蒸发器吸收环境温度控制箱内部空气的热量,实现温度降低,达到制冷的目的;当一级压缩机启动后,二级压缩机始终处于持续工作状态,因此环境温度控制箱内二级压缩机的蒸发器不断吸收箱内空气温度,持续制冷,箱内温度不断降低,极限温度可达-70℃。

[0052] 中间冷却器9应用于双级压缩制冷系统的第一级压缩(一级压缩机1)与第二级压缩(二级压缩机10)之间,从一级压缩机1的蒸发器(集成于中间冷却器9内)出来的蒸汽被一级压缩机1吸入,压缩到中间压力并与中间冷却器9出来的干饱和蒸汽在管路中进行混合,使从一级压缩机1排出的过热蒸汽被冷却后再进入二级压缩机10,经二级压缩机10压缩到冷凝压力并进入冷凝器II13。经冷凝器I4冷凝后的低温高压液体进入中间冷却器9的蛇形盘管(集成于中间冷却器9内)进行再冷却,然后与从一级压缩机1的蒸发器出来的低温低压蒸汽进行热交换,使从中间冷却器9中出来的过冷液体再一次得到冷却,最后经膨胀阀II17进入低温环境箱中的蒸发器21,在蒸发器中吸热蒸发而成为高温低压的蒸汽,从而完成制冷循环。

[0053] 其中,电磁阀I6和电磁阀II16用于控制流体的方向;压力开关I2和压力开关II11用于被测压力超过额定值时,改变开关元件的通断状态,进而控制被测压力;油水分离器14用于将管路内气体中无用或有害的液体分离出来;截止阀I19和截止阀II20用于调节管路内流体的节流和全开或全关;压力表I3和压力表II8为一级压缩回路中显示高压和低压数值;压力表III12和压力表IV18为二级压缩回路中显示高压和低压数值;循环水从冷却水进口22充入,从冷却水出口23流出,可以同时将冷凝器I4和冷凝器II13的热量带走。

[0054] 如图2所示,本发明温度控制系统设有环境温度控制箱24,环境温度控制箱24四周侧壁内填充加热电阻丝和保温石棉,热电偶27通过环境温度控制箱24上端口插入环境温度控制箱24内部,热电偶27与温度控制器25连接,实现温度的自动控制;均温器26为一安装在环境温度控制箱24内部的风扇,用于循环环境温度控制箱24内部冷气流,实现温度均衡;环境温度控制箱24上下面分别设有CT试样夹具穿入口28;环境温度控制箱24侧面设有CT试样导线引出口29。

[0055] 如图3-图5所示,本发明裂纹测量系统设有紧凑拉伸CT试样30,CT试样30的开口侧上下设置工作电压测量正极33、工作电压测量负极34,CT试样30的另一侧设置参考电压测量正极35、参考电压测量负极36;导线连接模块I31(电流输入端)和导线连接模块II32(电流输出端),用来将导线39与CT试样30连接在一起;恒流源40通过导线连接模块I31和导线连接模块II32向CT试样30输入稳定的直流电源;纳伏表42用来精确测量CT试样30的工作电压测量正极33、工作电压测量负极34、参考电压测量正极35和参考电压测量负极36的电压信号;数据采集卡43从纳伏表42采集数据并输出到电脑44(计算机)保存记录;由于选用的是一款可编程操控的恒流源40,因此可通过数据采集卡43将采集到的电流信号反馈到电脑44,进而直接控制恒流源40的输出电流大小,也可以直接在恒流源上设置输出电流大小。在恒流源40的输出端与CT试样30连接前加入反相电流模块41,通过反相电流模块41反转电流,消除温度对电压型号的影响。

[0056] 本发明设计一种新型的导线与试样的连接方式,能够牢固地将导线与铝合金试样连接在一起。如图4所示,导线连接模块I31的一端插装导线39,导线连接模块I31的另一端设置外螺纹45,导线连接模块I31通过外螺纹45与CT试样30连接;导线连接模块I31的侧面开设导线连接柱38,导线39伸至导线连接柱38中,通过导线旋紧螺栓37与导线连接柱38螺纹连接压紧导线39,导线连接模块II32与导线连接模块I31结构相同。导线旋紧螺栓37和导线连接柱38选用与CT试样30相同的材料加工而成,避免电偶腐蚀,且体积不宜过大,直径为3mm,避免因导线39与CT试样30电压信号测量端接触面积过大造成的信号失真。导线连接模块(导线连接模块I31和导线连接模块II32)是针对于铝合金等润湿性低并且电阻率小的材料,选用电阻率更低的无氧铜作为导线,采用侧面旋紧方式将铜导线与铝合金试样连接在一起,连接紧固、不宜脱落,并且有效降低信号损失率。

[0057] 如图6所示,从铝合金低温疲劳S-N曲线可以看出,采用本发明低温环境温度控制稳定。

[0058] 如图7所示,从DCPD法测试的铝合金低温疲劳裂纹扩展速率(da/dN)与应力强度因子范围(ΔK)之间的关系曲线可以看出,采用本发明裂纹测量系统能够准确的测量材料的低温裂纹扩展速率。

[0059] 实施例结果表明,本发明装置可实现 -50°C 的低温疲劳S-N试验和低温疲劳裂纹扩展速率试验。使用的压缩机双级制冷方式安全可靠,稳定性好,采用R23环保型氟利昂作为冷媒,可循环使用,无污染排放,经济环保。从而,避免了液氮制冷技术中液氮无法循环使用,降温过程不稳定,膨胀比较高且蒸发温度低等缺点,以及单级压缩机制冷技术难以实现 -60°C 的低温的问题。另外,本发明装置DCPD法测量裂纹长度准确性高,导线与试样采用的螺栓式连接方式连接牢固,有效解决了低润湿性金属难以与导线焊接的问题。本发明适用于低温空气环境下DCPD法计算材料的疲劳裂纹扩展速率及门槛值,温度控制准确,裂纹长度测量可靠性高,适合在实验室中推广使用,在钢铁、有色等大规模工业生产、检测分析等领域也可广泛应用。

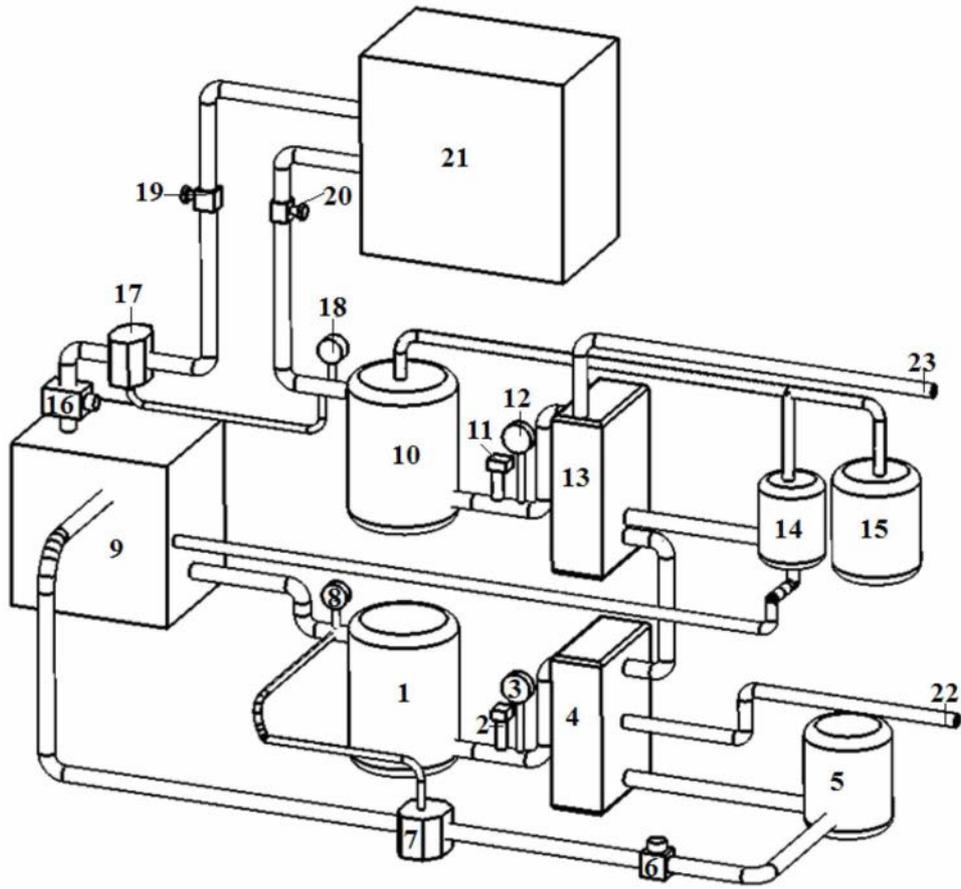


图1

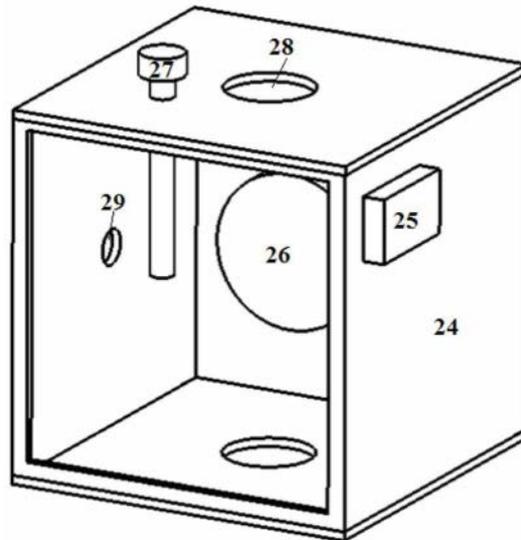


图2

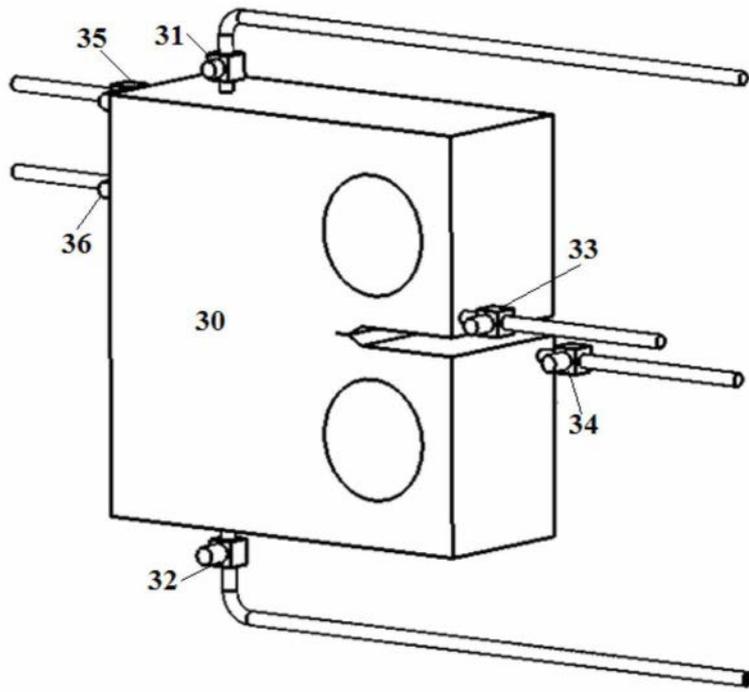


图3

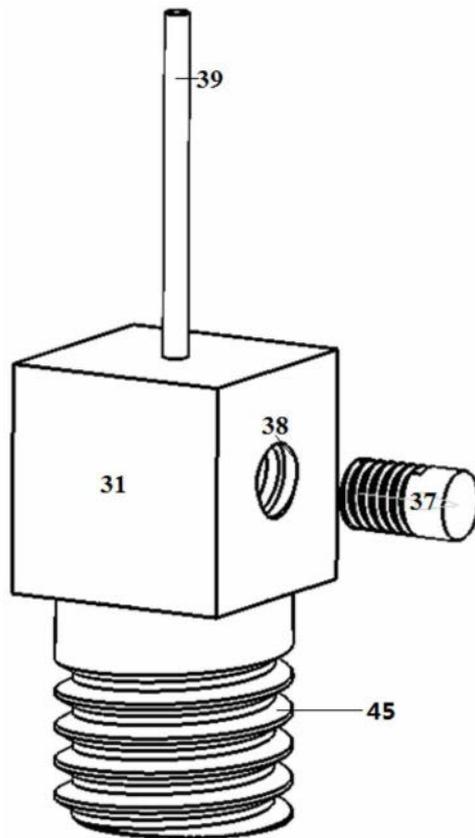


图4

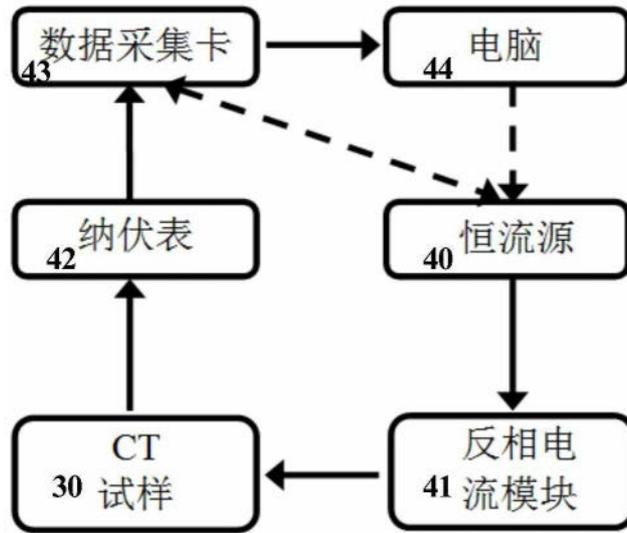


图5

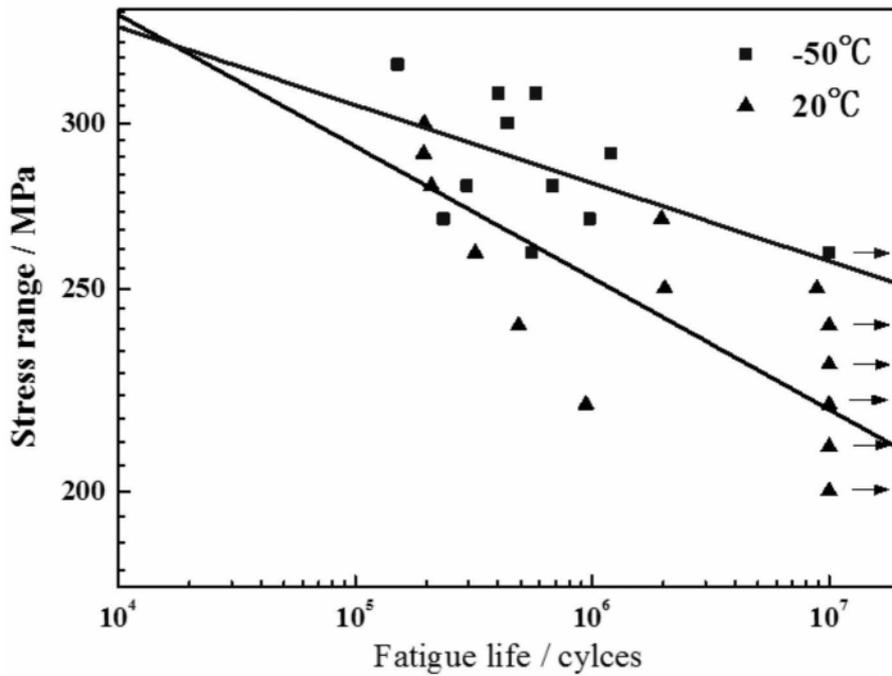


图6

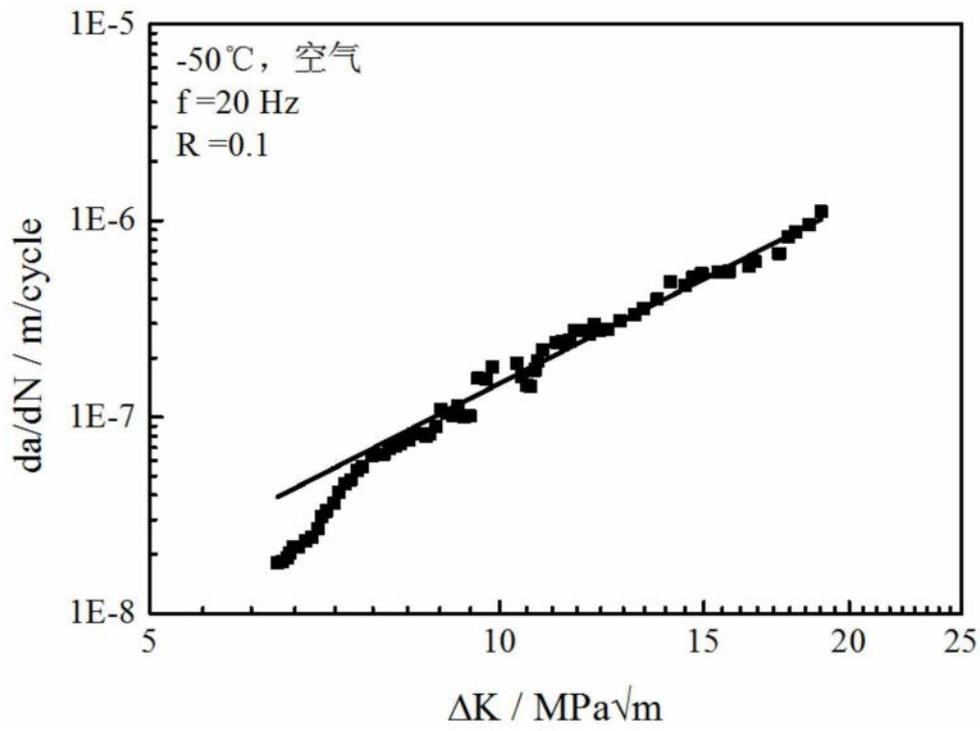


图7