



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112963722 A

(43) 申请公布日 2021.06.15

(21) 申请号 202110180882.4

(22) 申请日 2021.02.09

(71) 申请人 兰州空间技术物理研究所  
地址 730013 甘肃省兰州市城关区渭源路  
97号

(72) 发明人 于斌 赵积鹏 马天驹 张建军  
张海 顾森东 杨文博 张涛  
闫潇

(74) 专利代理机构 北京亿次方科创知识产权代  
理有限公司 11767  
代理人 吕晓蓉

(51) Int. Cl.  
F17C 1/04 (2006.01)  
F17C 1/00 (2006.01)  
F17C 13/00 (2006.01)

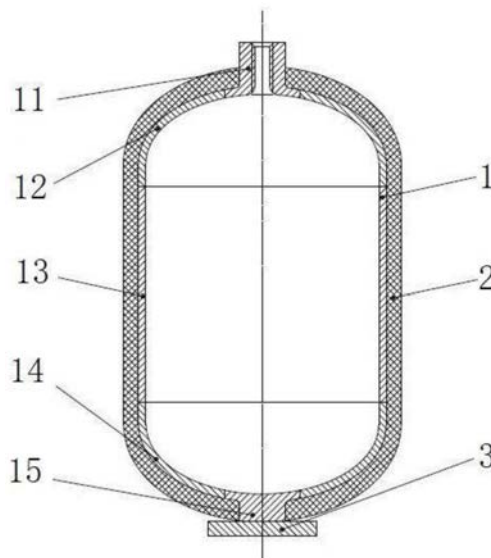
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶及其制造方法

(57) 摘要

本申请涉及复合材料气瓶技术领域,具体而言,涉及一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶及其制造方法,包括镍基合金内衬、碳纤维/环氧树脂复合层以及金属法兰,其中:镍基合金内衬由气口接头、气口端封头、筒体、密封端封头以及密封端接头焊接而成;碳纤维/环氧树脂复合层缠绕在镍基合金内衬的外表面;金属法兰与密封端封头底部连接。本发明结构简单、可靠性高、安全性高、承压能力强、本体质量小、介质储存范围宽、耐高低温环境强,能够同时满足高性能因子和高疲劳寿命的性能要求,满足航天、航空、船舶等领域对轻质高强复合材料气瓶的需求。



1. 一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,包括镍基合金内衬、碳纤维/环氧树脂复合层以及金属法兰,其中:

所述镍基合金内衬由气口端接头、气口端封头、筒体、密封端封头以及密封端接头焊接而成;

所述碳纤维/环氧树脂复合层缠绕在所述镍基合金内衬的外表面;

所述金属法兰与所述密封端封头底部连接。

2. 如权利要求1所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,所述镍基合金内衬为圆柱形或球形。

3. 如权利要求2所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,所述镍基合金内衬材料采用Inconel-718镍基合金。

4. 如权利要求3所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,所述Inconel-718镍基合金的抗拉强度 $\geq 1350\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 1000\text{MPa}$ 、弹性模量为 $210\text{GPa}$ ,断裂延伸率 $\geq 18\%$ ,断面收缩率 $\geq 28\%$ 。

5. 如权利要求2所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,所述镍基合金内衬的基础壁厚 $\leq 0.7\text{mm}$ ,直径 $\geq \text{Ø}330\text{mm}$ 。

6. 如权利要求1所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,所述碳纤维/环氧树脂复合层由连续螺旋缠绕层和环向缠绕层组成。

7. 如权利要求6所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,所述碳纤维/环氧树脂复合层中的纤维采用T1000碳纤维。

8. 如权利要求7所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,所述T1000碳纤维抗拉强度 $\geq 6000\text{MPa}$ 、弹性模量为 $290\text{GPa}$ 、断裂延伸率 $\geq 2.2\%$ 。

9. 如权利要求8所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,其特征在於,所述碳纤维/环氧树脂复合层中的环氧树脂热变形温度 $\geq 160^\circ\text{C}$ 。

10. 一种如权利要求1-9任一项所述的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶制造方法,其特征在於,包括如下步骤:

(1) 采用热冲压、车加工、电焊以及氩弧焊的方式加工制造镍基合金内衬;

(2) 向镍基合金内衬充入氮气;

(3) 以镍基合金内衬为芯模,采用T1000碳纤维进行缠绕,缠绕线型为环向和螺旋交替缠绕,缠绕工艺为纤维湿法缠绕,纤维张力控制采用逐层递减工艺;

(4) 将步骤3中T1000碳纤维缠绕气瓶半成品放入固化炉内进行固化,采用旋转固化方式,树脂固化温度不低于 $160^\circ\text{C}$ ,树脂固化度不低于 $87\%$ ;

(5) 将步骤4中固化完成的气瓶利用超压预紧工艺定型,超压压力实施后,气瓶在0压力下镍基合金内衬压缩应力达到弹性压缩极限的 $60\%-80\%$ ;

(6) 将步骤5完成的气瓶与金属法兰通过螺栓连接固定。

## 一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本申请涉及复合材料气瓶技术领域,具体而言,涉及一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 复合材料气瓶相对于全金属气瓶,具有质量轻、强度高、负载工作寿命长、失效模式安全等特点,使其在航天、航空等领域得到广泛应用。为满足轻质高强特性,航天等领域气瓶多采用超薄壁内衬设计,气瓶工作时内衬发生较大塑性变形,属于低周疲劳寿命设计,疲劳寿命一般小于100次,导致超薄壁内衬气瓶不能用于高疲劳寿命要求的工程领域。内衬壁厚越薄,气瓶性能因子越高,随着航天、航空等领域对气瓶性能因子和疲劳寿命要求的提高,急需研发一种能够满足高疲劳寿命要求的超薄壁内衬复合气瓶。

[0003] 随着航天技术的不断发展、载人登月技术的需求以及运载火箭、导弹、航空领域对高性能气瓶的需求,需要一种抗高低温环境能力强,储存介质范围广的多用途高性能气瓶定型产品。传统航天气瓶内衬采用钛合金,存在不能存储氧气、氢气、液氢、液氧等介质的问题,纯钛、铝合金、不锈钢材料弹性应变区间窄,不满足超薄壁内衬高疲劳寿命气瓶设计要求,不能同时满足性能因子高和疲劳寿命高的要求,传统气瓶复合层树脂热变形温度低,低温力学性能差,不能满足抗高低温环境要求,因此各领域急需一种多用途高性能超薄壁金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶。

### 发明内容

[0004] 针对背景技术中存在的问题,本发明提供了一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶及其制造方法,安全性高,承压能力强,能够同时满足高性能因子和高疲劳寿命。

[0005] 本申请提供的一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,包括镍基合金内衬、碳纤维/环氧树脂复合层以及金属法兰,其中:镍基合金内衬由气口端接头、气口端封头、筒体、密封端封头以及密封端接头焊接而成;碳纤维/环氧树脂复合层缠绕在镍基合金内衬的外表面;金属法兰与密封端封头底部连接。

[0006] 进一步的,镍基合金内衬为圆柱形或球形。

[0007] 进一步的,镍基合金内衬材料采用Incone1-718镍基合金。

[0008] 进一步的,Incone1-718镍基合金的抗拉强度 $\geq 1350\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 1000\text{MPa}$ 、弹性模量为 $210\text{GPa}$ ,断裂延伸率 $\geq 18\%$ ,断面收缩率 $\geq 28\%$ 。

[0009] 进一步的,镍基合金内衬的基础壁厚 $\leq 0.7\text{mm}$ ,直径 $\geq \text{Ø}330\text{mm}$ 。

[0010] 进一步的,碳纤维/环氧树脂复合层由连续螺旋缠绕层和环向缠绕层组成。

[0011] 进一步的,碳纤维/环氧树脂复合层中的纤维采用T1000碳纤维。

[0012] 进一步的,T1000碳纤维抗拉强度 $\geq 6000\text{MPa}$ 、弹性模量为 $290\text{GPa}$ 、断裂延伸率 $\geq 2.2\%$ 。

[0013] 进一步的,碳纤维/环氧树脂复合层中的环氧树脂热变形温度 $\geq 160^\circ\text{C}$ 。

[0014] 本申请还提供了一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶制造方法,包括如下步骤:(1)采用热冲压、车加工、电焊以及氩弧焊的方式加工制造镍基合金内衬;(2)向镍基合金内衬充入氮气;(3)以镍基合金内衬为芯模,采用T1000碳纤维进行缠绕,缠绕线型为环向和螺旋交替缠绕,缠绕工艺为纤维湿法缠绕,纤维张力控制采用逐层递减工艺;(4)将步骤3中T1000碳纤维缠绕气瓶半成品放入固化炉内进行固化,采用旋转固化方式,树脂固化温度不低于160℃,树脂固化度不低于87%;(5)将步骤4中固化完成的气瓶利用超压预紧工艺定型,超压压力实施后,气瓶在0压力下镍基合金内衬压缩应力达到弹性压缩极限的60%-80%;(6)将步骤5完成的气瓶与金属法兰通过螺栓连接固定。

[0015] 本发明提供的一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料及其制造方法,具有以下有益效果:

[0016] 本发明结构简单、可靠性高、安全性高、承压能力强、本体质量小、介质储存范围宽、耐高低温环境强,封头与筒体焊接、封头组件组焊装配都采用超薄衬环过渡连接工艺,焊接采用了单面焊双面成型的氩弧焊焊接工艺,较大程度的提高了薄壁金属内衬焊缝成型质量以及内衬同轴度、圆柱度等尺寸精度,提高了内衬强度以及螺旋纤维缠绕精度,同时采用纤维张力技术和纤维预紧应力技术,提高了纤维应力发挥系数以及内衬与复合层的应力应变协调性,最大程度的发挥纤维性能,解决了金属内衬复合气瓶整体性能发挥不好的问题,并且能够同时满足高性能因子和高疲劳寿命的性能要求,实现航天、航空、船舶等领域对轻质高强复合材料气瓶的需求。

## 附图说明

[0017] 构成本申请的一部分的附图用来提供对本申请的进一步理解,使得本申请的其它特征、目的和优点变得更明显。本申请的示意性实施例附图及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0018] 图1为本申请金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶的结构示意图;

[0019] 图中:1-镍基合金内衬、11-气口端接头、12-气口端封头、13-筒体、14-密封端封头、15-密封端接头、2-碳纤维/环氧树脂复合层、3-金属法兰。

## 具体实施方式

[0020] 为了使本技术领域的人员更好地理解本申请方案,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分的实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本申请保护的范畴。

[0021] 如图1所示,本申请提供的一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,包括镍基合金内衬1、碳纤维/环氧树脂复合层2以及金属法兰3,其中:镍基合金内衬1由气口端接头11、气口端封头12、筒体13、密封端封头14以及密封端接头15焊接而成;碳纤维/环氧树脂复合层2缠绕在镍基合金内衬1的外表面;金属法兰3与密封端封头14底部连接。

[0022] 具体的,本申请实施例提供的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶质量轻、强度高,抗高低温环境能力强,具有高性能因子以及高疲劳寿命,主要应用在航天航空等领域。镍基

合金内衬1主要用于密封工作介质,作为复合层缠绕的芯模以及提供工作介质输送和安装法兰连接的接口,碳纤维/环氧树脂复合层2主要用于承担内压载荷,金属法兰3主要作为气瓶的安装接口,优选采用TC4钛合金材料制作,通过3个M8的螺栓与镍基合金内衬1的密封端封头14连接。

[0023] 进一步的,镍基合金内衬1为圆柱形或球形。镍基合金内衬1可以设计制造成圆柱形或球形,当镍基合金内衬1设计为圆柱形时,内衬两端封头为等张力型或椭球形,碳纤维/环氧树脂复合层2由连续螺旋缠绕层和环向缠绕层组成,其中最内层和最外层为环向缠绕层,当镍基合金内衬1设计为球形时,碳纤维/环氧树脂复合层2采用平面缠绕线型。

[0024] 进一步的,镍基合金内衬1材料采用Inconel-718镍基合金。普通超薄壁金属内衬复合材料气瓶由于0压力至工作压力过程中,内衬分担压力载荷比例较低,内衬与复合层满足应变与位移协调性原则,复合层总弹性应变远远高于内衬弹性应变,内衬容易发生塑性应变而进入低周疲劳,因此存在疲劳寿命低的问题。而Inconel-718镍基合金具有高强度、高塑性以及弹性范围宽的特性,采用Inconel-718镍基合金制作内衬并施加预紧压力工艺,使0压力下内衬压缩应力达到弹性压缩极限的60%-80%,增加了弹性压缩应变,内衬0压力下弹性压缩应变与内衬总弹性拉伸应变大于工作压力下纤维复合层的弹性应变,因此内衬满足弹性设计,设计出来的整体气瓶满足高疲劳寿命的要求。此外,Inconel-718镍基合金与高压氩气、氮气、氙气、氢气、氧气、废气、空气以及液氢、液氧等低温介质都具有较好的相容性,也满足介质储存范围宽的多功能需求。

[0025] 进一步的,Inconel-718镍基合金的抗拉强度 $\geq 1350\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 1000\text{MPa}$ 、弹性模量为 $210\text{GPa}$ ,断裂延伸率 $\geq 18\%$ ,断面收缩率 $\geq 28\%$ 。本申请实施例中Inconel-718镍基合金的抗拉强度优选为 $1400\text{MPa}$ ,屈服强度优选为 $1050\text{MPa}$ ,断裂延伸率优选为 $20\%$ ,断面收缩率优选为 $30\%$ 。

[0026] 进一步的,镍基合金内衬1的基础壁厚 $\leq 0.7\text{mm}$ ,直径 $\geq \text{Ø}330\text{mm}$ 。本申请实施例中镍基合金内衬1的基础壁厚优选为 $0.7\text{mm}$ ,可以保证超薄壁内衬的高结构效率,直径优选为 $\text{Ø}330\text{mm}$ ,保证镍基合金内衬1在工作条件下始终处于弹性应力应变状态。

[0027] 进一步的,碳纤维/环氧树脂复合层2由连续螺旋缠绕层和环向缠绕层组成。碳纤维/环氧树脂复合层2以镍基合金内衬1为芯模,进行缠绕,缠绕线型环向和螺旋交替缠绕,缠绕工艺为纤维湿法缠绕,纤维张力控制采用逐层递减工艺,碳纤维单个缠绕层厚度为 $0.6\text{mm}\sim 0.8\text{mm}$ ,碳纤维/环氧树脂复合层2总厚度为 $5\text{mm}\sim 12\text{mm}$ 。

[0028] 进一步的,碳纤维/环氧树脂复合层2中的纤维采用T1000碳纤维。采用高强度的T1000碳纤维作为主承载结构层,能够满足轻质高强的要求。树脂采用环氧树脂,环氧树脂具有较高的热变形转化温度和较好的耐低温脆性。

[0029] 进一步的,T1000碳纤维抗拉强度 $\geq 6000\text{MPa}$ 、弹性模量为 $290\text{GPa}$ 、断裂延伸率 $\geq 2.2\%$ 。在本申请实施例中T1000碳纤维抗拉强度优选为 $6050\text{MPa}$ ,断裂延伸率为优选为 $2.5\%$ 。

[0030] 进一步的,碳纤维/环氧树脂复合层2中的环氧树脂热变形温度 $\geq 160^\circ\text{C}$ 。后续需要对半成品气瓶进行固化,固化时,复合层树脂材料需要满足较高的热变形转化温度要求和较好的耐低温脆性,因此,树脂固化温度不低于 $160^\circ\text{C}$ ,树脂固化度不低于 $87\%$ 。

[0031] 本申请还提供了一种金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶制造方法,包括如下步骤:

[0032] (1) 采用热冲压、车加工、电焊以及氩弧焊的方式加工制造镍基合金内衬1,首先分别制作气口端接头11、气口端封头12、筒体13、密封端封头14以及密封端接头15,其中气口端接头11、密封端接头15采用Inconel-718镍基合金棒料车加工成型,气口端封头12、密封端封头14采用板料热冲压成封头毛坯,再车加工成型,筒体13采用筒体13毛坯车加工方法制造,最后将制作好的气口接头、气口端封头12、筒体13、密封端封头14、密封端接头15采用电子束焊接工艺或氩弧焊焊接工艺组焊制造形成镍基合金内衬1;

[0033] (2) 向镍基合金内衬1充氮气,缠绕前需充氮气至一定压力,保证镍基合金内衬1最大应力小于拉伸弹性极限的80%。;

[0034] (3) 以镍基合金内衬1为芯模,采用T1000碳纤维进行缠绕,缠绕线型为环向和螺旋交替缠绕,缠绕工艺为纤维湿法缠绕,纤维张力控制采用逐层递减工艺,保证内衬不发生屈曲等变形;

[0035] (4) 将步骤3中T1000碳纤维缠绕气瓶半成品放入固化炉内进行固化,采用旋转固化方式,树脂固化温度不低于160℃,树脂固化度不低于87%;

[0036] (5) 将步骤4中固化完成的气瓶利用超压预紧工艺定型,超压压力实施后,气瓶在0压力下镍基合金内衬1压缩应力达到弹性压缩极限的60%-80%;

[0037] (6) 将步骤5完成的气瓶与金属法兰3通过3个M8的螺栓连接固定。

[0038] 采用本申请实施例方法制造得到的金属内衬碳纤维缠绕复合材料气瓶,气瓶的工作压力为10MPa~30MPa,最大预期工作压力 $\leq$ 40Mpa,气瓶的纤维应力断裂系数 $\geq$ 2,气瓶爆破系数 $\geq$ 2.2,气瓶性能因子 $\geq$ 30km,气瓶应力断裂寿命 $\geq$ 20年,气瓶疲劳寿命 $\geq$ 10000次,能够同时满足高性能因子和高疲劳寿命的要求,适应航天、航空、船舶等领域对轻质高强复合气瓶的需求。

[0039] 以上所述仅为本申请的优选实施例而已,并不用于限制本申请,对于本领域的技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化,凡在本申请的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。

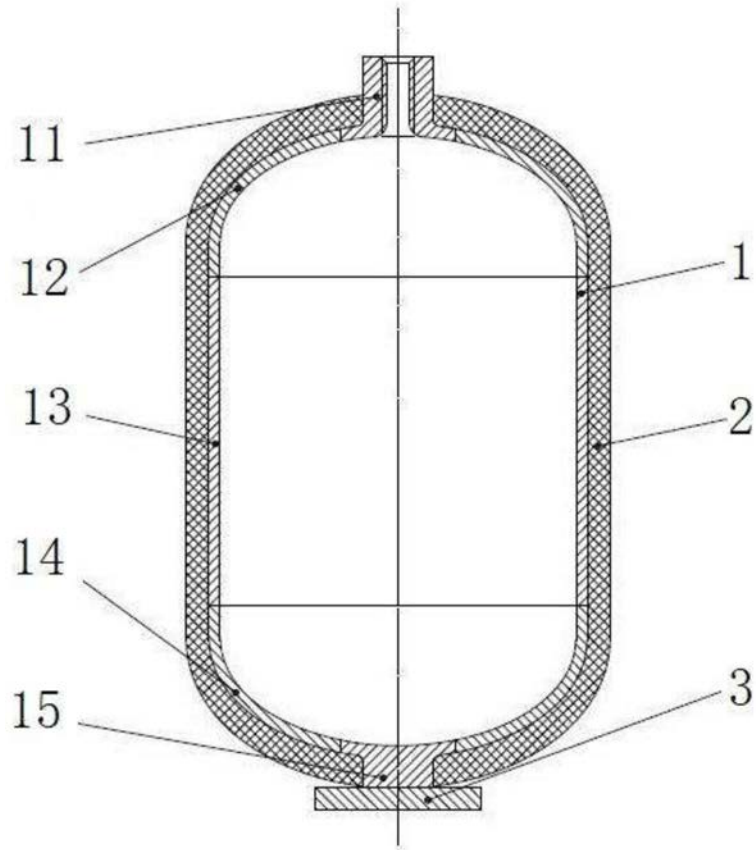


图1