

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
F17C 1/06 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480024239.7

[45] 授权公告日 2008 年 11 月 19 日

[11] 授权公告号 CN 100434788C

[22] 申请日 2004. 8. 26

[21] 申请号 200480024239. 7

[30] 优先权

[32] 2003. 8. 28 [33] JP [31] 305228/2003

[86] 国际申请 PCT/JP2004/012709 2004. 8. 26

[87] 国际公布 WO2005/022026 日 2005. 3. 10

[85] 进入国家阶段日期 2006. 2. 23

[73] 专利权人 三菱丽阳株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 杉浦直树 长束悟志 竹本秀博

松本诚 杉浦正行

[56] 参考文献

JP2002 - 69754A 2002. 3. 8

US2002/0088806A1 2002. 7. 11

JP2003 - 222299A 2003. 8. 8

CN1419642A 2003. 5. 21

JP2000 - 249294A 2000. 9. 12

审查员 石志超

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

代理人 钟 晶

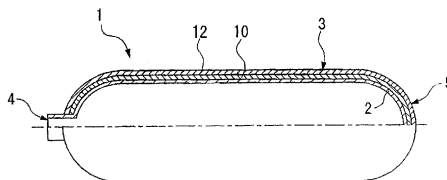
权利要求书 1 页 说明书 17 页 附图 2 页

[54] 发明名称

高性能压力容器及压力容器用碳纤维

[57] 摘要

本发明涉及压力容器和压力容器用碳纤维。所述压力容器具有容器本体和形成在该容器本体表面的纤维强化树脂层，所述纤维强化树脂层具有在强化纤维中浸透了树脂的纤维强化树脂，所述强化纤维的丝束弹性模量大于等于 305GPa，所述强化纤维的拉伸伸长率为 1.45 ~ 1.70%。所述压力容器用碳纤维，其丝束弹性模量大于等于 305GPa，并且拉伸伸长率为 1.45 ~ 1.70%。



1. 一种压力容器，具有容器本体和形成在该容器本体表面的纤维强化树脂层，所述纤维强化树脂层具有在强化纤维中浸透了树脂的纤维强化树脂，所述强化纤维的丝束弹性模量为 305GPa~420GPa，所述强化纤维的丝束的拉伸伸长率为 1.45~1.70%。
2. 根据权利要求 1 所述的压力容器，其中，所述容器本体为金属制。
3. 根据权利要求 1 所述的压力容器，其中，填充压力大于等于 30MPa。
4. 一种压力容器用碳纤维，其丝束弹性模量为 305GPa~420GPa，并且拉伸伸长率为 1.45~1.70%。
5. 根据权利要求 4 所述的压力容器用碳纤维，其中，具有多根平均直径小于等于 6 $\mu$ m 的单纤维。
6. 根据权利要求 4 所述的压力容器用碳纤维，其中，具有多根在表面具有最高部和最低部的高低差大于等于 40nm 褶皱的单纤维。

## 高性能压力容器及压力容器用碳纤维

### 技术领域

本发明涉及用作高压气体用储存容器等的压力容器以及用于该容器的碳纤维。

本申请针对 2003 年 8 月 28 日申请的日本国专利申请第 2003-305228 号主张优先权，在此引用其内容。

### 背景技术

以往，作为高压气体的储存容器，一般使用钢铁制的容器。

但是，由于钢铁制的储存容器的重量大，移动、运输等时需要巨大的劳力。

例如，对于使用气体燃料的汽车，为了降低车辆的重量，抑制燃料消耗量，正在谋求燃料储存容器的轻量化。

在这种情况下，用高压气体的储存容器代替以往的钢铁制，正在逐渐使用具有由强化纤维增强了树脂、金属制的衬材（容器本体）的复合材料的压力容器。这种具有纤维强化复合材料的压力容器可以提高填充压力，并且使轻量化成为可能。

在制造具有该纤维强化复合材料的压力容器的过程中，作为卷绕强化纤维用的代表性方法，有长纤维卷绕法（以下称为 FW 法）。

该方法是将浸透了树脂的连续强化纤维卷绕在衬材（容器本体）上，随后通过使树脂固化来制造具有纤维强化复合材料的压力容器的方法。

通过采用该 FW 方法，可以容易地制造压力容器。但是，在制造例如破裂压力（破坏压力）为超过 65MPa 的高压的压力容器时，有强化纤维强度体现率降低的倾向。为此，作为对策需要卷绕厚的强化纤维，其结果存在容器重量变大的问题。

因此，在特开平 8-285189 号公报中，提出使用了拉伸强度大于等于 5500MPa 的碳纤维的压力容器。对于该压力容器，为了获得高的填充压力，

使用了具有高强度的强化纤维。另外，在特开平 9-280496 号公报中，公开了通过使用弹性模量为 200GPa~350GPa、且强度为 4.5GPa~10GPa 的碳纤维，谋求高性能化的容器。

但是，上述的现有压力容器虽然可以获得充分的破坏压力，但是可以举出如下所述的其他问题。

作为压力容器所要求的特性，不仅破坏特性，而且疲劳特性也重要。

特别是使用了具有铝等金属的衬材（容器本体）的压力容器，通过在高压下进行自紧处理，可以对衬材产生压缩应力。通过进行自紧处理使该压缩应力处在衬材的线性特性范围内，可以提高疲劳特性。但是，重视对衬材产生的压缩应力而设计出的压力容器时，有时要在必要以上降低破坏压力。另一方面，重视破坏压力而设计出的压力容器时，变得不能加上必要的压缩应力。其结果是，为了获得合适的压力容器，必须增加强化纤维的使用量，存在容器重量增大等问题。

#### 发明内容

本发明的目的在于提供疲劳特性和破裂特性两种特性优异、并且轻量的压力容器以及用于该压力容器的强化纤维。

本发明为压力容器，其具有容器本体和形成在该容器本体表面的纤维强化树脂层，所述纤维强化树脂层具有在强化纤维中浸透了树脂的纤维强化树脂，所述强化纤维的丝束弹性模量大于等于 305GPa，所述强化纤维的拉伸伸长率为 1.45~1.70%。

根据上述发明，可以提供容器特性不偏的，而是疲劳特性和破裂特性两种特性均优异并且轻量的压力容器。

上述强化纤维的丝束弹性模量可以为 305GPa~420GPa。

上述容器本体可以为金属制。

填充压力可以大于等于 30MPa。

本发明为压力容器用碳纤维，其丝束弹性模量大于等于 305GPa，并且拉伸伸长率为 1.45~1.70%。

根据上述发明，通过在容器本体的表面形成具有浸透树脂的纤维的纤维强化树脂层，可以提供疲劳特性和破裂特性两种特性均优异并且轻量的压力

容器。

丝束弹性模量可以为 305GPa~420GPa。

压力容器用碳纤维可以具有多根平均直径小于等于  $6\mu\text{m}$  的单纤维。

压力容器用碳纤维可以具有多根在表面具有最高部和最低部的高低差大于等于 40nm 褶皱的单纤维。

附图说明

图 1 是表示本发明压力容器一实施例的部分截面图。

图 2A 是表示压力容器的制造方法中形成纤维强化树脂层工序的模式图。

图 2B 是表示压力容器的制造方法中使树脂层固化工序的模式图。

图 2C 是表示压力容器的制造方法中自紧处理工序的模式图。

具体实施方式

以下参照附图，对本发明的优选的实施例进行说明。但是，本发明并不限于以下的各实施例，例如也可以适宜组合这些实施例的各结构要素。

本发明的压力容器具有容器本体和形成在该容器本体表面的纤维强化树脂层。纤维强化树脂层具有在强化纤维中浸透了树脂的纤维强化树脂，作为该强化纤维使用特定的强化纤维。所谓特定的强化纤维是满足丝束弹性模量大于等于 305GPa、拉伸伸长率为 1.45~1.70% 的纤维。

强化纤维的丝束弹性模量小于 305GPa 时，为了获得足够的刚性，需要增大强化纤维的卷绕量，其结果是，形成厚壁的容器，容器重量变大。

强化纤维的拉伸伸长率小于 1.45% 时，由于强化纤维没有足够的强度，仍然必须增大强化纤维的卷绕量。因此，由于不得不厚壁化，结果形成具有重量大的过剩疲劳特性的容器。另一方面，强化纤维的拉伸伸长率大于 1.70% 时，强化纤维的强度是足够的，相反，由于没有与该强度相称的足够的弹性模量，从而对于纤维强化树脂层，刚性要比其他特性过高，结果形成破裂特性过剩的容器。

关于强化纤维的丝束弹性模量的上限，可以优选小于等于 420GPa。对于丝束弹性模量大于 420GPa 的强化纤维，即使减少卷绕在容器本体上的复合材料的量，也可以获得足够的刚性，因此可以得到轻量的压力容器。但是，得到的薄壁的压力容器存在冲击性能、火焰暴露性能差的问题。进而，与强

化纤维中浸透的树脂（基质树脂）的界面粘接性变得不充分，压力容器的性能（耐压性）降低。

对于使用了金属衬材的高压容器或者填充压力大于等于 30MPa 的高压容器，这样的强化纤维的性能平衡变得特别重要。这是由于，对于使用金属衬材、填充压力大于等于 30MPa 的高压容器，疲劳性能和破裂性能的平衡被破坏，容易产生仅某一方成为过剩性能，其结果是，为了满足另一方的特性，需要增加纤维强化树脂层的厚度，从而压力容器的重量增加。

从而，本发明中，考虑到强化纤维的弹性模量和强度的平衡，使用具有足够强度和与该强度相称的弹性模量的强化纤维。通过在容器本体上形成具有这样的强化纤维的纤维强化树脂层，压力容器的破裂特性、疲劳特性等特性平衡良好，并且强化纤维的使用量被抑制到最小限度，抑制了以往由壁厚引起的重量增加，可以提供浪费少的压力容器。

作为这样的压力容器用强化纤维，其是丝束弹性模量大于等于 305GPa、且拉伸伸长率为 1.45~1.70% 的纤维，例如可举出具有这些特性的碳纤维、硼纤维等。其中优选碳纤维。优选丝束弹性模量大于等于 310GPa，更优选大于等于 320GPa。拉伸伸长率优选为 1.50%~1.70%，更优选为 1.55%~1.70%。

进而更优选为丝束弹性模量小于等于 420GPa 的碳纤维。特别是丝束弹性模量超过 420GPa 的碳纤维，在制造时需要超过 2000℃ 的碳化温度。其结果是，压缩强度、剪切强度等容易变小，并且作为复合材料的各向异性变大，容易造成压力容器的机械特性降低。进而也容易产生作为纤维的处理性差，在长纤维卷绕法等成型工序中的作业性变差等问题。

丝束弹性模量的上限值优选为 400GPa，更优选 380GPa。

进而，构成碳纤维的单纤维更优选是平均直径小于等于 6 $\mu\text{m}$  的单纤维。平均直径越小的前驱体纤维，弹性模量的体现性越良好，其结果是，即使在制造相同丝束弹性模量的碳纤维束时，也可以通过更低的碳化温度进行制造。碳化温度低的情况，体现出高的丝束强度，并且剪切强度、压缩强度也高，可以制造机械特性优异的碳纤维束。因此，纤维直径细的碳纤维更适宜，特别是平均直径小于等于 6 $\mu\text{m}$  的碳纤维，进而优选小于等于 5.5  $\mu\text{m}$  的碳纤维。直径的下限没有特别限定，但是由于纤维直径越细，前驱体纤维的纺丝性越

差，因此优选大于等于  $3\mu\text{m}$ 。

通常，碳纤维形成 1000~50000 根左右的平均直径  $5\sim 8\mu\text{m}$  左右的单纤维汇集的形态。

构成碳纤维的各单纤维更优选在其表面上具有最高部和最低部的高低差大于等于  $40\text{nm}$  的多个褶皱。由于该表面的褶皱，碳纤维和基质树脂的润湿性提高，进而界面的粘接变得更加牢固。其结果是，可以稳定地获得具有优异的机械特性的压力容器，并可以制造品质稳定的压力容器。

进而，该褶皱的最高部和最低部的高低差更优选小于等于单纤维直径的 10%。

存在于碳纤维的单纤维表面的褶皱的深度定义为在圆周方向上长度  $2\mu\text{m}$  × 纤维轴方向上长度  $1\mu\text{m}$  的范围内的最高部和最低部的高低差。所谓单纤维的表面的褶皱是在某方向上具有大于等于  $1\mu\text{m}$  长度的凹凸的形态。另外，该方向没有特别限定，可以平行或者垂直于纤维轴方向，或者与纤维轴方向具有一定角度。在通过一般的碳纤维束的制造方法而得到的通常的碳纤维表面，存在与纤维轴方向基本平行的褶皱。

该褶皱的高低差可以基于使用扫描型原子力显微镜 (AFM) 测定的单纤维的表面形状的观察结果如下进行计测。

将数根碳纤维束的单纤维放在样品台上，固定两端，进而在周围涂布道蒂特 (dotite)，形成测定样品。对于 AFM 使用设置有在顶端形成探针的氮化硅制悬臂的原子力显微镜 (セイコーインスツルメンツ (株) 制造，SPI3700/SPA-300 (商品名))。用 AFM 模式在单纤维的纤维轴方向遍及  $1\mu\text{m}$  长度扫描探针，在单纤维的圆周方向长度  $2\sim 2.5\mu\text{m}$  上，一点一点挪动的同时反复进行该探针的扫描。由此测定单纤维表面的圆周方向上  $2\sim 2.5\mu\text{m}$ 、纤维轴方向上  $1\mu\text{m}$  范围的表面形状。用二维傅立叶变换对得到的图像除去低频成分后，进行逆变换。这样由除去了单纤维曲率的截面的平面图像，可以读取在圆周方向的长度  $2\mu\text{m}$  × 纤维轴方向的长度  $1\mu\text{m}$  的范围最高部和最低部的高低差。

图 1 是表示本发明压力容器一实施例的部分截面图。

图 1 所示的压力容器 1 中，在大致圆筒形的容器本体 2 上设置了具有上

述纤维强化树脂的纤维强化树脂层 10、12。在该例子中，除了容器本体 2 的开口部 4 以外的全部区域，即、形成纤维强化树脂层 10、12 以覆盖胴体部 3 和底部 5。

对于容器本体 2，只要是具有内部填充的气体难以泄漏的材质的本体，就没有特别限制，优选具有塑料或金属的本体。作为塑料可举出例如高密度聚乙烯，作为金属可举出例如铝合金、镁合金、铁等。特别是铝合金适宜于容器本体 2 的轻量化。

纤维强化树脂层可以是单层，但是优选像本例那样形成多层结构。

在此，形成如下 2 层结构：在卷绕纤维强化树脂使纤维的取向方向为容器本体 2 的圆周方向而所形成的纤维强化树脂层（圆周方向取向层）10 上，具有卷绕纤维强化树脂使纤维取向方向为容器本体 2 的长轴方向而所形成的纤维强化树脂（轴方向取向层）12。

在本发明中，纤维强化树脂层并不限于图示的结构，也可以形成圆周方向取向层和轴方向取向层在容器本体上交替层积的 3 层或 3 层以上的多层结构。

特别优选使纤维强化树脂层的最外层为圆周方向取向层，由此可以得到良好的外观状况。各层的数量及厚度可以根据容器的用途、内容物的种类、大小等任意选择。

作为浸透强化纤维的树脂（基质树脂），只要是通常用于纤维强化树脂层的树脂，就没有特别限制，例如可举出环氧树脂、乙烯酯树脂、酚树脂、丙烯酸类树脂等。

针对制造上述压力容器 1 的方法的一例进行说明。

#### （1）纤维强化树脂层的形成

如图 2A 所示，使储存在贮槽 18 内的基质树脂浸透强化纤维 16，得到纤维强化树脂 14。

接着，使容器本体 2 在圆周方向上旋转，同时将纤维强化树脂 14 卷绕在容器本体 2 上。由此形成圆周方向取向层 10 使纤维强化树脂 14 的纤维取向方向为容器本体 2 的圆周方向。

接着，形成轴方向取向层 12。在形成轴方向取向层 12 时，只要使纤维



强化树脂 14 的纤维取向方向为容器本体 2 的长轴方向即可。由此得到具有层积了圆周方向取向层 10 和轴方向取向层 12 的多层结构的纤维强化树脂层的中间体容器 20。

另外，要在轴方向取向层 12 上进一步形成层，重复上述方法即可。

### (2) 树脂层的固化

接着，如图 2B 所示，在加热炉 22 内加热中间体容器 20，使纤维强化树脂层 10、12 固化。

加热温度优选为 40~180℃。如果加热温度低于上述范围或者高于上述范围，则得到的压力容器 1 的疲劳特性和破裂特性会变差。

### (3) 自紧处理

随后，如图 2C 所示，使用自紧处理装置 24 进行自紧处理，使自紧后的容器表面的圆周方向的压缩应力为容器屈服点应力的 95% 左右。在此，所谓自紧处理是在提高中间体容器 20 的容器内压（此时的容器内压的最大值称为自紧处理压力），使衬材（容器本体 2）永久变形后，通过降低容器内压，利用纤维强化树脂层 10、12 的刚性对容器本体 2 赋予压缩应力的处理。

这样，可以制造压力容器。

### 实施例

以下，示出具体例来详细地说明本发明的压力容器。

强化纤维的评价方法如下所述。

（丝束强度、弹性模量、拉伸伸长率）

根据 JIS R7601 进行评价。

拉伸伸长率由丝束强度除以丝束弹性模量来计算。

（碳纤维束的单纤维截面的平均直径）

首先使用纤维束的细度、密度及纤维数（单纤维根数），由下面的式（1）计算出碳纤维束的单纤维截面的平均截面积。

在此，所谓纤维束的细度是碳纤维束的每单位长度的质量，根据 JIS R7601 进行测定。

纤维束的密度根据 JIS R7601 通过密度梯度管法进行测定。

式 (1):

$$A_{av} = \frac{1}{n} \times \frac{t}{\rho} \times 10^{-3}$$

$A_{av}$ : 单纤维的平均截面积

$n$ : 构成纤维束的单纤维根数

$t$ : 细度 (Tex)

$\rho$ : 密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

随后, 由得到的单纤维的平均截面积, 假定截面形状为正圆而计算出平均直径。

(碳纤维束的单纤维表面的褶皱的深度)

存在于碳纤维束的单纤维表面的褶皱的深度定义为单纤维表面中在圆周方向上长度  $2\mu\text{m}$  × 纤维轴方向上长度  $1\mu\text{m}$  的范围最高部和最低部的高低差。高低差基于使用扫描型原子力显微镜 (AFM) 在单纤维的表面扫描探针而得到的表面形状的测定结果来进行测定。具体如下所述。

将数根碳纤维束的单纤维放在样品台上, 固定两端, 进而在周围涂布道蒂特 (dotite), 形成测定样品。对于 AFM 使用设置有在顶端形成探针的氮化硅制悬臂的原子力显微镜 (セイコーインスツルメンツ (株) 制造, SPI3700/SPA-300 (商品名))。用 AFM 模式在单纤维的纤维轴方向遍及  $1\mu\text{m}$  长度扫描探针, 在单纤维的圆周方向长度  $2\sim 2.5\mu\text{m}$  上, 一点一点挪动的同时反复进行该探针的扫描。由此测定单纤维表面的圆周方向上  $2\sim 2.5\mu\text{m}$ 、纤维轴方向上  $1\mu\text{m}$  范围的表面形状。用二维傅立叶变换对得到的图像除去低频成分后, 进行逆变换。这样由除去了单纤维曲率的截面的平面图像, 读取在圆周方向的长度  $2\mu\text{m}$  × 纤维轴方向的长度  $1\mu\text{m}$  范围的最高部和最低部的高低差来进行评价。

(1) 强化纤维

准备以下所示的强化纤维 (i) ~ (viii)。

强化纤维 (i): 单纤维直径约为  $5\mu\text{m}$ , 纤维数为 24000 根, 丝束强度为 5250MPa, 丝束弹性模量为 350GPa, 伸长率为 1.50%。并且, 褶皱深度为 80nm。

强化纤维 (ii): 单纤维直径约为  $5\mu\text{m}$ , 纤维数为 24000 根, 丝束强度为

4960MPa, 丝束弹性模量为 320GPa, 伸长率为 1.55%。并且, 褶皱深度为 80nm。

强化纤维 (iii): 使用三菱丽阳株式会社制碳纤维 MR35E-12K。该碳纤维的单纤维直径为 7 $\mu$ m, 纤维数为 12000 根, 丝束强度为 4410MPa, 丝束弹性模量为 295GPa, 伸长率为 1.49%。并且, 褶皱深度为 100nm。

强化纤维 (iv): 使用三菱丽阳株式会社制碳纤维 HR40-12K。该碳纤维的单纤维直径为 6 $\mu$ m, 纤维数为 12000 根, 丝束强度为 4610MPa, 丝束弹性模量为 390GPa, 伸长率为 1.18%。并且, 褶皱深度为 20nm。

强化纤维 (v): 使用三菱丽阳株式会社制碳纤维 MR60H-24K。该碳纤维的单纤维直径约为 5 $\mu$ m, 纤维数为 24000 根, 丝束强度为 5800MPa, 丝束弹性模量为 290GPa, 伸长率为 2.00%。并且, 褶皱深度为 80nm。

强化纤维 (vi): 单纤维直径约为 5 $\mu$ m, 纤维数为 24000 根, 丝束强度为 5220MPa, 丝束弹性模量为 360GPa, 伸长率为 1.45%。并且, 褶皱深度为 80nm。

强化纤维 (vii): 碳纤维的单纤维直径约为 5 $\mu$ m, 纤维数为 24000 根, 丝束强度为 5250MPa, 丝束弹性模量为 320GPa, 伸长率为 1.64%。并且, 褶皱深度为 80nm。

强化纤维 (viii): 单纤维直径约为 5 $\mu$ m, 纤维数为 24000 根, 丝束强度为 5270MPa, 丝束弹性模量为 310GPa, 伸长率为 1.70%。并且, 褶皱深度为 80nm。

在此, 如下所述制造强化纤维 (i)、强化纤维 (ii)、强化纤维 (vi)、强化纤维 (vii) 及强化纤维 (viii)。

将丙烯腈系聚合物溶解在二甲基乙酰胺中而调制纺丝原液, 通过将该纺丝原液如下所述进行湿式纺丝, 制成碳纤维前驱体纤维束。首先, 在具有浓度 50~70 质量%、温度 30~50 $^{\circ}$ C 的二甲基乙酰胺水溶液的第一凝固浴中, 吐出纺丝原液, 制作凝固丝。接着, 在具有浓度 50~70 质量%、温度 30~50 $^{\circ}$ C 的二甲基乙酰胺水溶液的第二凝固浴中, 对凝固丝实施规定量的拉伸, 进而进行湿热拉伸, 使长度为拉伸前的 3.5 倍或 3.5 倍以上, 从而获得碳纤维前驱体纤维束。

碳纤维前驱体纤维束的截面平均直径、褶皱的深度根据改变凝固浴浓度和温度、还有拉伸条件来调整。另外, 为了维持纺丝工序中的稳定性, 可以

附着硅系油剂。

接着，将多根前驱体纤维束以一致平行的状态导入耐火化炉中，在大于等于-2.0%的伸长率下（收缩大于等于2.0%的条件下），通过将加热到200~300℃的空气等氧化性气体吹附到前驱体纤维束上，耐火化前驱体纤维束，得到耐火纤维束。接着，将该耐火纤维束导入碳化炉中，在惰性氛围中、于1300~2000℃的温度下，并在伸长率大于等于-5.0%的高伸长率下进行碳化，从而得到碳纤维束。在此，制造强化纤维（i）、强化纤维（ii）、强化纤维（vi）、强化纤维（vii）及强化纤维（viii）时的碳化温度分别为1800℃、1550℃、1950℃、1600℃和1550℃。

为了提高与树脂的亲合性，这些碳纤维束可以实施湿式电解氧化处理，在碳纤维束表面导入含氧官能团。进而，在碳纤维束上附着1.0质量%的表1所示组成的环氧系上胶剂后，卷绕在卷丝管上。

表 1

	化合物	组成	公司名
主剂	环氧树脂 828 (エポコート 828)	50	日本环氧树脂株式会社
	环氧树脂 1001	30	日本环氧树脂株式会社
乳化剂	PluronicF88 (プルロニック F88)	20	旭电化（株）

### （2）基质树脂

使用三菱丽阳株式会社制环氧树脂“#700B”（组成 Ep 828/XN1045/BYK-A506）。

### （3）容器本体

使用容量9升的铝制容器本体（全长540mm、胴体部长415mm、胴体部外径163mm、在胴体部中央的壁厚3mm）。

### 实施例 1

按照以下的步骤制作常用填充压力70MPa的压力容器。

如图2A所示，使基质树脂浸透强化纤维（i）（伸长率1.50%、弹性模量

350GPa), 得到纤维强化树脂 14。使用 Entec Composite Machines 公司制造的长纤维卷绕机将强化纤维树脂 14 卷绕在容器本体 2 上, 形成 5 层结构的纤维强化树脂层。

纤维强化树脂层从内侧(容器本体侧)向外侧(外方侧)具有圆周方向取向层(C)/轴方向取向层(H)/圆周方向取向层(C)/轴方向取向层(H)/圆周方向取向层(C)这 5 层结构。

在得到的中间体容器 20 的胴体部的中央部测定纤维强化树脂层的厚度结果为约 13mm。

接着, 如图 2B 所示, 将中间体容器 20 放入加热炉 22 中, 以 1°C/min 使炉内的温度从室温升至 135°C。

确认纤维强化树脂层的表面温度达到 135°C 后, 在该温度下放置 1 小时。

随后, 以 1°C/min 使炉内温度下降至 60°C, 从加热炉 22 中取出中间体容器 20, 将该中间体容器 20 放冷至室温。纤维强化树脂层的质量为 5612g。

随后, 如图 2C 所示, 使用自紧处理装置 24, 以自紧处理压力 158MPa 对中间体容器 20 进行自紧处理, 对容器本体 20 施加压缩应力, 得到压力容器 1。

针对得到的压力容器, 评价破裂特性、疲劳特性、轻量性。

#### (1) 破坏压力试验(破裂特性)

将压力容器固定在水压破坏试验机(三菱丽阳株式会社制)上, 在升压速度小于等于 1.4MPa 下对压力容器施加水压, 测定压力容器破裂时的压力。

一般来说, 作为常用填充压力 70MPa 的填充容器所要求的容器性能, 规格上定为破裂压力(破坏压力)大于等于 164.5MPa, 考虑到安全性, 破裂压力(破坏压力)要求大于等于 175MPa。

#### (2) 疲劳特性试验

将压力容器固定在水压循环试验机(三菱丽阳株式会社制)上, 使压力容器的内压从大气压升至常用填充压力的 5/3 倍的压力后, 通过以约 2 次/min 的速度反复进行回到大气压的压力变动操作, 使压力容器破裂, 测定直至破裂为止的压力变动操作的重复次数。

一般来说, 作为常用填充压力 70MPa 的填充容器所要求的容器性能, 规格上定为疲劳特性试验中大于等于 11250 次, 考虑到安全性, 疲劳特性要求大于等于 12500 次。

### (3) 轻量化

测定各压力容器的纤维强化树脂层的质量。

得到的压力容器 1 的破坏压力 (BP) 为 211MPa。该数值相当于常用填充压力 (FP) 的约 3 倍。此时的破裂状态均为仅在胴体部中央附近开孔而压力容器没有分开的理想破裂方式。

疲劳特性试验的结果是, 直至压力容器 1 破裂为止的压力变动操作的重复次数为 16190 次。此时的破裂位置发生在压力容器的直胴体部的衬材部。

可以知道, 该实施例 1 的压力容器 1 在破裂特性、疲劳特性方面得到优异的结果, 还具有可以进一步轻量化的可能性。

#### 实施例 2

按照以下的步骤制作常用填充压力 (FP) 70MPa 的压力容器。

与实施例 1 同样, 在容器本体 2 上形成具有使基质树脂浸透强化纤维(ii) (伸长率 1.64%、弹性模量 320GPa) 的纤维强化树脂 14 的纤维强化树脂层, 得到中间体容器 20。

纤维强化树脂层形成与实施例 1 同样的 5 层结构。在中间体容器 20 的胴体部的中央部测定纤维强化树脂层的厚度, 其结果约为 13mm。

与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行加热处理。纤维强化树脂层的质量为 5633g。

接着, 与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行自紧处理, 得到压力容器。自紧处理压力为 140MPa。

进行与实施例 1 相同的评价。

压力容器的破坏压力 (BP) 为 198MPa。该数值相当于常用填充压力 (FP) 的约 2.8 倍。此时的破裂状态均为仅在胴体部中央附近开孔而压力容器没有分开的理想破裂方式。

疲劳特性试验的结果是, 直至压力容器破裂为止的压力变动操作的重复次数为 13308 次。此时的破裂位置发生在压力容器的直胴体部的衬材部。

该压力容器虽然是使用弹性模量低、但具有理想的伸长率的强化纤维的例子, 但与一般而言的该类别的容器特性相比, 不论在规格上还是在考虑安全率时, 在破裂特性和疲劳特性方面也具有充分的性能。并且, 虽然是一些但是还存在轻量化的余地。

#### 实施例 3

按照以下的步骤制作常用填充压力 (FP) 70MPa 的压力容器。

与实施例 1 同样, 在容器本体 2 上形成具有使基质树脂浸透强化纤维(vi) (伸长率 1.45%、丝束弹性模量 360GPa) 的纤维强化树脂 14 的纤维强化树脂层, 得到中间体容器 20。

纤维强化树脂层形成与实施例 1 同样的 5 层结构。在中间体容器 20 的胴体部的中央部测定纤维强化树脂层的厚度, 结果约为 13mm。

与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行加热处理。纤维强化树脂层的质量为 5580g。

接着, 与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行自紧处理, 得到压力容器。自紧处理压力为 140MPa。

得到的压力容器 1 的破坏压力 (BP) 为 208MPa。该数值相当于常用填充压力 (FP) 的约 3 倍。此时的破裂状态均为仅在胴体部中央附近开孔而压力容器没有分开的理想破裂方式。

疲劳特性试验的结果是, 直至压力容器 1 破裂的压力变动操作的重复次数为 18310 次。此时的破裂位置发生在压力容器的直胴体部的衬材部。

可以知道, 该实施例 1 的压力容器 1 在破裂特性、疲劳特性方面得到优异的结果, 还具有可以进一步轻量化的可能性。

#### 实施例 4

按照以下的步骤制作常用填充压力 (FP) 70MPa 的压力容器。

与实施例 1 同样, 在容器本体 2 上形成具有使基质树脂浸透强化纤维(vii) (伸长率 1.64%、弹性模量 320GPa) 的纤维强化树脂 14 的纤维强化树脂层, 得到中间体容器 20。

纤维强化树脂层形成与实施例 1 同样的 5 层结构。在中间体容器 20 的胴体部的中央部测定纤维强化树脂层的厚度, 其结果约为 13mm。

与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行加热处理。纤维强化树脂层的质量为 5633g。

接着, 与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行自紧处理, 得到压力容器。自紧处理压力为 140MPa。

进行与实施例 1 相同的评价。

压力容器的破坏压力 (BP) 为 206MPa。该数值相当于填充压力的约 2.9 倍。此时的破裂状态均为仅在胴体部中央附近开孔而压力容器没有分开的理

想破裂方式。

疲劳特性试验的结果是，直至压力容器破裂的压力变动操作的重复次数为 13500 次。此时的破裂位置发生在压力容器的直胴体部的衬材部。

该压力容器虽然是使用弹性模量低、但具有理想的伸长率的强化纤维的例子，但是与一般而言的该类别的容器特性相比，不论在规格上还是在考虑安全率时，在破裂特性和疲劳特性方面也具有充分的性能。并且，虽然是一些但是还存在轻量化的余地。

#### 实施例 5

按照以下的步骤制作常用填充压力 70MPa 的压力容器。

与实施例 1 同样，在容器本体 2 上形成具有使基质树脂浸透强化纤维 (viii) (伸长率 1.70%、弹性模量 310GPa) 的纤维强化树脂 14 的纤维强化树脂层，得到中间体容器 20。

纤维强化树脂层形成与实施例 1 同样的 5 层结构。在中间体容器 20 的胴体部的中央部测定纤维强化树脂层的厚度，其结果约为 13mm。

与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行加热处理。纤维强化树脂层的质量为 5640g。

接着，与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行自紧处理，得到压力容器。自紧处理压力为 140MPa。

进行与实施例 1 相同的评价。

压力容器的破坏压力 (BP) 为 207MPa。该数值相当于常用填充压力的约 3 倍。此时的破裂状态均为仅在胴体部中央附近开孔而压力容器没有分开的理想破裂方式。

疲劳特性试验的结果是，直至压力容器破裂的压力变动操作的重复次数为 12600 次。此时的破裂位置发生在压力容器的直胴体部的衬材部。

该压力容器虽然是使用弹性模量低、但具有理想的伸长率的强化纤维的例子，但与一般而言的该类别的容器特性相比，不论在规格上还是在考虑安全率时，在破裂特性和疲劳特性方面也具有充分的性能。

#### 比较例 1

按照以下的步骤制作常用填充压力 (FP) 70MPa 的压力容器。该比较例中，使用具有理想的伸长率、但弹性模量对于压力容器有些低的强化纤维。

与实施例 1 同样，在容器本体 2 上形成具有使基质树脂浸透强化纤维 (iii)



(伸长率 1.5%、弹性模量 295GPa) 的纤维强化树脂 14 的纤维强化树脂层, 得到中间体容器 20。

纤维强化树脂层形成与实施例 1 同样的 5 层结构。在中间体容器 20 的胴体部的中央部测定纤维强化树脂层的厚度, 结果约为 13mm。

与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行加热处理。纤维强化树脂层的质量为 5648g。

接着, 与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行自紧处理, 得到压力容器。自紧处理压力为 130MPa。

压力容器的破坏压力 (BP) 为 179MPa。该数值相当于填充压力的约 2.56 倍。此时的破裂状态均为仅在胴体部中央附近开孔而压力容器没有分开的理想破裂方式。

疲劳特性试验的结果是, 直至压力容器破裂的压力变动操作的重复次数为 10533 次。此时的破裂位置发生在压力容器的直胴体部的衬材部。

该压力容器是使用了弹性模量低、但具有理想的伸长率的强化纤维的例子, 与一般而言的该类别的容器特性相比, 规格上可以满足, 但考虑到安全率时, 在疲劳特性方面不可否认有些不足。

#### 比较例 2

按照以下的步骤制作常用填充压力 (FP) 70MPa 的压力容器。

与实施例 1 同样, 在容器本体 2 上形成具有使基质树脂浸透强化纤维(iv) (伸长率 1.20%、弹性模量 390GPa) 的纤维强化树脂 14 的纤维强化树脂层, 得到中间体容器 20。

纤维强化树脂层形成与实施例 1 同样的 5 层结构。在中间体容器 20 的胴体部的中央部测定纤维强化树脂层的厚度, 结果约为 13mm。

与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行加热处理。纤维强化树脂层的质量为 5640g。

接着, 与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行自紧处理, 得到压力容器。自紧处理压力为 125MPa。

压力容器的破坏压力 (BP) 为 181MPa。该数值相当于填充压力的约 2.6 倍。此时的破裂状态为发生在胴体部中央部, 衬材自身仅在胴体部中央附近开孔, 但外侧的强化纤维树脂层分裂成 2 份或 2 份以上的破裂方式。

疲劳特性试验的结果是, 直至压力容器破裂的压力变动操作的重复次数

为 19821 次。此时的破裂位置发生在压力容器的直胴体部的衬材部。

该压力容器是使用了弹性模量高的强化纤维的例子。与一般的这种常用填充压力的容器特性比较时，可以认为满足考虑到容器特性的规格值、安全性时所要求的破裂特性和疲劳特性。但是疲劳特性必要以上充分的另一面，由于自紧处理压力和破坏压力的差小，通过强化纤维的强度的偏移，在自紧处理中可能发生破裂。因此，不能认为强化纤维的强度和弹性模量的平衡是充分的。

### 比较例 3

按照以下的步骤制作常用填充压力 (FP) 70MPa 的压力容器。

与实施例 1 同样，在容器本体 2 上形成具有使基质树脂浸透强化纤维 (v) (伸长率 2.0%、弹性模量 290GPa) 的纤维强化树脂 14 的纤维强化树脂层，得到中间体容器 20。

纤维强化树脂层形成与实施例 1 同样的 5 层结构。在中间体容器 20 的胴体部的中央部测定纤维强化树脂层的厚度，结果约为 13mm。

与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行加热处理。纤维强化树脂层的质量为 5652g。

接着，与实施例 1 同样地对中间体容器 20 进行自紧处理，得到压力容器。自紧处理压力为 125MPa。

压力容器的破坏压力 (BP) 为 228MPa。该数值相当于常用填充压力的约 3.3 倍。此时的破裂状态均为仅在胴体部中央附近开孔而压力容器没有分开的理想破裂方式。

疲劳特性试验的结果是，直至压力容器破裂的压力变动操作的重复次数为 9815 次。此时的破裂位置发生在压力容器的直胴体部的衬材部。

该压力容器是使用了强度比较高的强化纤维的例子。与一般的这种常用填充压力的容器特性比较时，破裂特性可以充分满足容器特性的规格值，但是对于疲劳特性并不满足。因此，不能认为强化纤维的强度和弹性模量的平衡是充分的。

上述实施例和比较例的结果如表 2 所示。

表 2

	强化纤维			基质树脂	压力容器		自紧处 理压力 (MPa)	破坏特性			疲劳特性	
	种类	弹性模量 (GPa)	伸长率 (%)		厚度 (mm)	重量 (g)		破坏压 力(MPa)	破裂 模式	BP/FP	疲劳次 数(N)	破裂 位置
实施例 1	(i)	350	1.50	#700B	13	5612	158	211	1 块	3.01	16190	直胴 体部
实施例 2	(ii)	320	1.64	#700B	13	5633	140	198	1 块	2.83	13308	直胴 体部
实施例 3	(vi)	360	1.45	#700B	13	5580	140	208	1 块	2.97	18310	直胴 体部
实施例 4	(vii)	320	1.64	#700B	13	5633	140	206	1 块	2.94	13500	直胴 体部
实施例 5	(viii)	310	1.70	#700B	13	5640	140	207	1 块	2.96	12600	直胴 体部
比较例 1	(iii)	295	1.50	#700B	13	5648	130	179	1 块	2.56	10533	直胴 体部
比较例 2	(iv)	390	1.20	#700B	13	5640	125	181	2 块或 其以上	2.59	19821	直胴 体部
比较例 3	(v)	290	2.00	#700B	13	5652	125	228	1 块	3.26	9815	直胴 体部

实施例 1、2 的压力容器，破裂特性和疲劳特性的平衡优异，弹性模量高、进一步轻量化的可能性被确认。

与此相反，强化纤维即使具有理想的伸长率，如果没有充分的弹性模量，则为了满足破裂特性、疲劳特性，需要增加纤维强化树脂层的厚度，从而存在重量增加的问题（比较例 1）。

另一方面，即使满足一般的破裂特性或者疲劳特性，由于破裂特性和疲劳特性的平衡并非良好，为了满足一方的特性，则需要增加纤维强化树脂层的厚度，从而存在重量增加的问题（比较例 2、3）。

产业上利用的可能性

根据本发明，可以实现高性能的压力容器的轻量化，特别适合于汽车等各种运输机器的燃料箱。

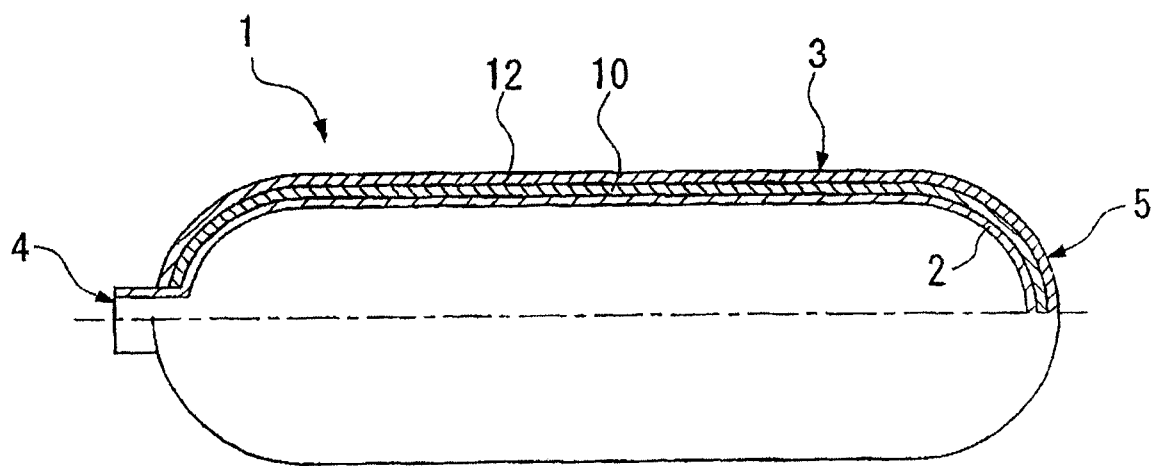


图1

图2A

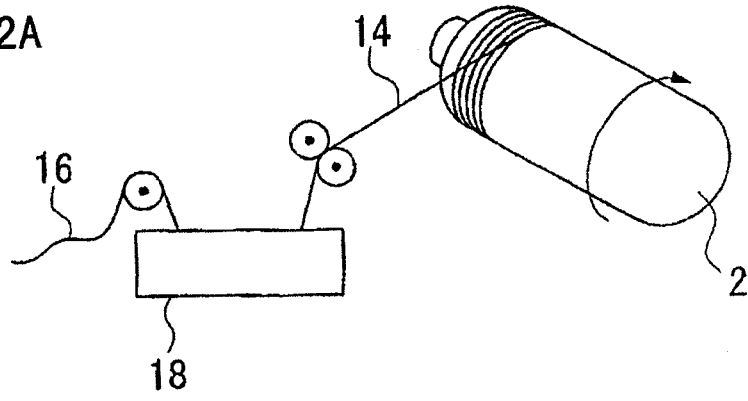


图2B

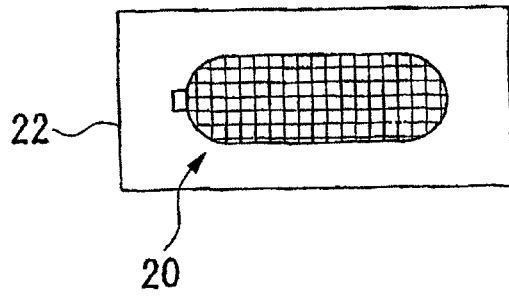


图2C

