



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111703091 B

(45) 授权公告日 2022.03.29

(21) 申请号 202010090786.6

(22) 申请日 2020.02.13

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111703091 A

(43) 申请公布日 2020.09.25

(30) 优先权数据

2019-050506 2019.03.18 JP

(73) 专利权人 三菱重工业株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 冈部良次 新藤健太郎 神谷昌美

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 吴秋明

(51) Int.Cl.

B29C 70/34 (2006.01)

B29L 31/08 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102767471 A, 2012.11.07

CN 108705829 A, 2018.10.26

JP H09303104 A, 1997.11.25

EP 1811129 A2, 2007.07.25

CN 102161782 A, 2011.08.24

TW 200900226 A, 2009.01.01

CN 105648836 A, 2016.06.08

TW 201338961 A, 2013.10.01

CN 104690985 A, 2015.06.10

CN 101842230 A, 2010.09.22

CN 104955996 A, 2015.09.30

EP 0541718 A1, 1993.05.19

US 5403153 A, 1995.04.04

EP 0754539 A2, 1997.01.22

FR 2653743 A1, 1991.05.03

审查员 陈聚阳

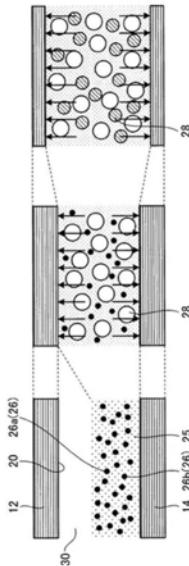
权利要求书1页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

复合材料叶片的成形方法

(57) 摘要

本发明提供一种复合材料叶片的成形方法，是通过利用发泡剂对复合材料叶片的内部空间适当进行加压，能够适宜地成形复合材料叶片的复合材料叶片的成形方法。一种通过使在强化纤维中含浸树脂而得的预浸渍体固化，来成形由复合材料构成的复合材料叶片的复合材料叶片的成形方法，复合材料叶片的内部空间(20)中配置的发泡剂(16)包含：通过加热而发泡的多个发泡体(26)；以及通过加热而固化的发泡剂树脂(25)，多个发泡体(26)包含：在固化工序中的低温区域进行发泡的低温侧发泡体(26a)；以及在与低温区域相比成为高温的高温区域进行发泡的高温侧发泡体(26b)。



1. 一种复合材料叶片的成形方法,通过使在强化纤维中含浸树脂而得的预浸渍体固化,来成形由复合材料构成的复合材料叶片,其特征在于,

所述复合材料叶片将成为背侧的部位的背侧部位和成为腹侧的腹侧部位重合而接合,

所述复合材料叶片的所述成形方法具备如下工序:

层叠工序,在用于成形所述背侧部位的背侧成形模具层叠所述预浸渍体来形成背侧层叠体,并且在用于成形所述腹侧部位的腹侧成形模具层叠所述预浸渍体来形成腹侧层叠体;

合模工序,将所述背侧成形模具和所述腹侧成形模具合模以便所述背侧层叠体与所述腹侧层叠体重合,并且在通过将所述背侧层叠体和所述腹侧层叠体重合而形成的内部空间配置发泡剂;以及

固化工序,加热所述发泡剂而使所述发泡剂膨胀,从而将所述背侧层叠体以及所述腹侧层叠体从内部向所述背侧成形模具以及所述腹侧成形模具进行加压,并且对所述背侧层叠体以及所述腹侧层叠体进行加热而使其固化,

所述发泡剂包含通过加热而发泡的多个发泡体;以及通过加热而固化的发泡剂树脂,

多个所述发泡体包含低温侧发泡体和高温侧发泡体,

所述低温侧发泡体和所述高温侧发泡体分别包含由树脂覆盖的发泡成分,并且通过使用作被膜的所述树脂不同而具有不同的发泡温度,

通过所述低温侧发泡体在固化工序中的低温区域进行发泡,从而所述内部空间成为给定的发泡压,

通过所述高温侧发泡体在固化工序中的与所述低温区域相比成为高温的高温区域进行发泡,从而所述内部空间成为高于所述低温侧发泡体的给定发泡压。

2. 根据权利要求1所述的复合材料叶片的成形方法,其中,

所述预浸渍体的所述树脂进行凝胶化的温度成为树脂凝胶化开始温度,

所述高温侧发泡体进行发泡的温度成为高温侧发泡开始温度,

所述高温侧发泡开始温度高于所述树脂凝胶化开始温度。

3. 根据权利要求1或2所述的复合材料叶片的成形方法,其中,

所述预浸渍体的所述树脂进行凝胶化的温度成为树脂凝胶化开始温度,

所述低温侧发泡体进行发泡的温度成为低温侧发泡开始温度,

所述低温侧发泡开始温度低于所述树脂凝胶化开始温度。

4. 根据权利要求3所述的复合材料叶片的成形方法,其中,

所述发泡剂的所述发泡剂树脂进行凝胶化的温度成为发泡剂凝胶化开始温度,

所述树脂凝胶化开始温度高于所述发泡剂凝胶化开始温度,

所述低温侧发泡开始温度低于所述发泡剂凝胶化开始温度。

复合材料叶片的成形方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种复合材料叶片的成形方法。

背景技术

[0002] 以往,作为复合材料叶片,已知一种具有从叶片端部向叶片根部延伸的叶片形部的燃气轮机叶片(例如,参照专利文献1)。叶片形部具有形成了表面凹陷的金属部、以及设置于金属部的表面凹陷的框架部,金属部以及框架部由复合材料表皮包围,与复合材料表皮接合。此外,在叶片形部设置有覆盖复合材料表皮的防腐蚀涂层。

[0003] 在先技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开平09-303104号公报

发明内容

[0006] 发明要解决的课题

[0007] 然而,在复合材料叶片中,对于叶片的形状,特别是叶片的表面形状,要求高精度的尺寸精度。关于专利文献1所记载的复合材料叶片,由于复合材料表皮的内部为金属部,因此,在将金属部和复合材料表皮一体地成形的情况下,考虑在复合材料表皮的外侧配置成形模具,并且在复合材料表皮的内部配置金属部。此外,在将金属部与复合材料表皮分开成形的情况下,考虑在高精度地成形复合材料表皮之后,配合成形的复合材料表皮的内部空间的形状,高精度地加工金属部。

[0008] 然而,在将金属部和复合材料表皮一体地成形的情况下,无法从复合材料表皮的内部朝向外侧进行加压,因此,有时难以高精度地成形复合材料表皮的表面形状。此外,在不对复合材料表皮进行加压的情况下,在复合材料表皮成形时,难以抑制在复合材料表皮的内部产生的空隙(void)的形成。另一方面,在将金属部和复合材料表皮分开成形的情况下,需要高精度地加工金属部,因此,金属部的加工成本变高,难以实现复合材料叶片的制造成本的抑制。此外,在任意一种情况下,都将复合材料叶片的内部作为金属部,因此难以实现轻量化,作为复合材料叶片的优点的轻量化的特点降低。

[0009] 因此,考虑了,不使用金属材料而使用复合材料来成形复合材料叶片。在成形复合材料叶片的情况下,为了高精度地成形复合材料叶片的表面形状,在复合材料叶片的内部配置发泡剂,在加热成形时使发泡剂进行发泡,由此,从复合材料叶片的内部向外部进行加压。

[0010] 这里,在作为在复合材料叶片中使用的树脂而使用具有耐热性的树脂的情况下,在用于使该树脂热固化的加热成形时(升温过程时),树脂产生低粘度化。此外,在加热成形时,由于树脂低粘度化的状态持续较长,因此,需要长时间地继续对复合材料叶片的加压。然而,基于发泡剂的发泡长时间进行保持是困难的,基于发泡的加压降低,因此,基于发泡剂的加压力不足,复合材料叶片可能变得成形不良。此外,由于发泡剂中也含有进行热固化

的发泡剂树脂，因此，若在加热成形时提高加热温度，则促进发泡剂的固化，阻碍发泡剂的发泡，由此，复合材料叶片可能变得成形不良。

[0011] 因此，本发明以提供一种通过利用发泡剂对复合材料叶片的内部空间适当进行加压，能够适宜地成形复合材料叶片的复合材料叶片的成形方法为课题。

[0012] 用于解决课题的手段

[0013] 本发明的复合材料叶片的成形方法是通过使在强化纤维中含浸树脂而得的预浸渍体固化，来成形由复合材料构成的复合材料叶片的复合材料叶片的成形方法，所述复合材料叶片将成为背侧的部位的背侧部位和成为腹侧的腹侧部位重合而接合，所述成形方法具备如下工序：层叠工序，在用于成形所述背侧部位的背侧成形模具层叠所述预浸渍体来形成背侧层叠体，并且在用于成形所述腹侧部位的腹侧成形模具层叠所述预浸渍体来形成腹侧层叠体；合模工序，将所述背侧成形模具和所述腹侧成形模具合模以便所述背侧层叠体与所述腹侧层叠体重合，并且在通过将所述背侧层叠体和所述腹侧层叠体重合而形成的内部空间配置发泡剂；固化工序，加热所述发泡剂而使所述发泡剂膨胀，从而将所述背侧层叠体以及所述腹侧层叠体从内部向所述背侧成形模具以及所述腹侧成形模具进行加压，并且对所述背侧层叠体以及所述腹侧层叠体进行加热而使其固化，所述发泡剂包含：通过加热而发泡的多个发泡体；以及通过加热而固化的发泡剂树脂，多个所述发泡体包含：在固化工序中的低温区域进行发泡的低温侧发泡体；以及在与所述低温区域相比成为高温的高温区域进行发泡的高温侧发泡体。

[0014] 根据该结构，在固化工序中，由于能够以多阶段进行基于发泡剂的发泡，因此，能够保持复合材料叶片的内部空间中的加压，能够通过发泡剂对复合材料叶片的内部空间适当进行加压。因此，能够抑制复合材料叶片的成形不良的产生，并能够适宜地成形复合材料叶片。此外，作为发泡体，例如，使用由热塑性树脂构成的被膜包覆发泡成分而得的发泡珠。

[0015] 此外，优选地，所述预浸渍体的所述树脂进行凝胶化的温度成为树脂凝胶化开始温度，所述高温侧发泡体进行发泡的温度成为高温侧发泡开始温度，所述高温侧发泡开始温度高于所述树脂凝胶化开始温度。

[0016] 根据该结构，高温侧发泡体在预浸渍体达到树脂凝胶化开始温度之后进行发泡。因此，即使在因预浸渍体固化并收缩导致内部空间扩大加压降低的情况下，通过在达到树脂凝胶化开始温度之后使高温侧发泡体发泡，能够维持内部空间的加压，能够抑制加压不足。

[0017] 此外，优选地，所述预浸渍体的所述树脂进行凝胶化的温度成为树脂凝胶化开始温度，所述低温侧发泡体进行发泡的温度成为低温侧发泡开始温度，所述低温侧发泡开始温度低于所述树脂凝胶化开始温度。

[0018] 根据该结构，低温侧发泡体在预浸渍体达到树脂凝胶化开始温度之前进行发泡。因此，通过加热预浸渍体，能够通过低温侧发泡体进行发泡这一情况来抑制伴随着预浸渍体的树脂的粘度降低的预浸渍体的层间的剥离。

[0019] 此外，优选地，所述发泡剂的所述发泡剂树脂进行凝胶化的温度成为发泡剂凝胶化开始温度，所述树脂凝胶化开始温度高于所述发泡剂凝胶化开始温度，所述低温侧发泡开始温度低于所述发泡剂凝胶化开始温度。

[0020] 根据该结构，由于树脂凝胶化开始温度变得比发泡剂凝胶化开始温度高，因此，相

比于预浸渍体的树脂，发泡剂的发泡剂树脂较早地固化。此时，在发泡剂树脂达到发泡剂凝胶化开始温度之前使低温侧发泡体发泡，由此，能够在发泡剂固化之前，使发泡剂在内部空间中扩散并填充。

附图说明

[0021] 图1是示意性表示通过实施方式1的复合材料叶片的成形方法而成形的复合材料叶片的俯视图。

[0022] 图2是示意性表示实施方式1的复合材料叶片的薄壁部分的剖面图。

[0023] 图3是示意性表示实施方式1的复合材料叶片的厚壁部分的剖面图。

[0024] 图4是在实施方式1的复合材料叶片的成形方法中使用的发泡剂所相关的图表。

[0025] 图5是表示在实施方式1的复合材料叶片的成形方法中使用的发泡剂的发泡状态的说明图。

[0026] 图6是实施方式1的复合材料叶片的成形方法所相关的说明图。

[0027] 图7是在实施方式2的复合材料叶片的成形方法中使用的发泡剂所相关的图表。

[0028] 图8是表示在实施方式2的复合材料叶片的成形方法中使用的发泡剂的发泡状态的说明图。

具体实施方式

[0029] 以下，基于附图对本发明的实施方式进行详细说明。此外，本发明并不受限于该实施方式。另外，下述实施方式中的结构要素中包括本领域技术人员能够且容易置换的要素或者实质上相同的要素。此外，以下记载的结构要素能够进行适当组合，另外，在实施方式存在多个的情况下，还能够将各个实施方式进行组合。

[0030] [实施方式1]

[0031] 实施方式1的复合材料叶片10的成形方法是使用由强化纤维以及树脂构成的复合材料来成形叶片的方法。作为复合材料叶片10，例如能够应用在燃气轮机或燃气涡轮发动机等中使用的动叶片或静叶片。此外，在实施方式1中，作为复合材料叶片10，应用于动叶片来进行说明，然而，复合材料叶片10的成形方法还能够应用于静叶片。

[0032] 图1是示意性表示通过实施方式1的复合材料叶片的成形方法而成形的复合材料叶片的俯视图。图2是示意性表示实施方式1的复合材料叶片的薄壁部分的剖面图，是图1的A-A剖面图。图3是示意性表示实施方式1的复合材料叶片的厚壁部分的剖面图，是图1的B-B剖面图。图4是在实施方式1的复合材料叶片的成形方法中使用的发泡剂所相关的图表。图5是表示在实施方式1的复合材料叶片的成形方法中使用的发泡剂的发泡状态的说明图。图6是实施方式1的复合材料叶片的成形方法所相关的说明图。

[0033] 首先，在说明复合材料叶片10的成形方法之前，对复合材料叶片10进行说明。如图1所示，复合材料叶片10是动叶片，从成为固定端的叶片根侧向成为自由端的叶片顶侧而延伸。这里，将叶片根侧与叶片顶侧连结的方向成为叶片长度方向，成为图1所示的L方向。此外，复合材料叶片10的与图1的叶片长度方向正交的方向的一侧成为前缘侧，另一侧成为后缘侧。并且，将前缘侧与后缘侧连结的方向成为叶片宽度方向，成为图1所示的W方向。

[0034] 此外，如图2以及图3所示，复合材料叶片10跨越叶片宽度方向地弯曲而形成，从复

合材料叶片10的内侧向外侧成为凸起的侧成为背侧,从复合材料叶片10的内侧向外侧成为凹陷的侧成为腹侧。这里,将背侧与腹侧连结的方向成为叶片厚度方向,成为图2以及图3所示的T方向。

[0035] 复合材料叶片10在叶片厚度方向的厚度在叶片根侧成为厚壁,随着朝向叶片顶侧而形成为薄壁。因此,复合材料叶片10如图2所示,在叶片顶侧成为叶片厚度方向的厚度薄的薄壁部分10a,如图3所示,在叶片根侧成为叶片厚度方向的厚度厚的厚壁部分10b。

[0036] 该复合材料叶片10在绕轴中心旋转的转子的外周,空出给定间隔地在圆周方向上排列多个而设置。并且,在复合材料叶片10彼此之间,流体从前缘侧向后缘侧而流通。

[0037] 如图2以及图3所示,复合材料叶片10具备:背侧的部位即背侧叶片构件(背侧部位)12;腹侧的部位即腹侧叶片构件(腹侧部位)14;以及在由背侧叶片构件12和腹侧叶片构件14形成的内部空间20设置的发泡剂16。

[0038] 背侧叶片构件12是将使树脂含浸到强化纤维而得的预浸渍体(pre-preg)以多个进行层叠并使其热固化而得的。背侧叶片构件12通过后述的背侧成形模具32而成形。背侧叶片构件12被形成为复合材料叶片10的外表面成为凸起的弯曲形状。此外,背侧叶片构件12被形成为复合材料叶片10的内表面成为凹陷的弯曲形状,成为构成内部空间20的内表面的一部分。

[0039] 腹侧叶片构件14与背侧叶片构件12同样地,是将使树脂含浸到强化纤维而得的预浸渍体以多个进行层叠并使其热固化而得的。腹侧叶片构件14通过后述的腹侧成形模具34而成形。腹侧叶片构件14被形成为复合材料叶片10的外表面成为凹陷的弯曲形状。此外,腹侧叶片构件14被形成为复合材料叶片10的内表面成为凸起的弯曲形状,成为构成内部空间20的内表面的一部分。

[0040] 并且,背侧叶片构件12的叶片宽度方向的两端部和腹侧叶片构件14的叶片宽度方向的两端部在成为包含复合材料叶片10的叶片厚度方向的中心的面的中性面P被接合。此外,背侧叶片构件12的叶片宽度方向的两端部之间的内表面和腹侧叶片构件14的叶片宽度方向的两端部之间的内表面相对于中性面P向外面侧偏离而形成,通过这些内表面形成了内部空间20。该内部空间20在复合材料叶片10的叶片根侧大,随着朝向复合材料叶片10的叶片顶侧而变小。

[0041] 这里,在实施方式1中,预浸渍体中包含的树脂在热固化后成为具有耐热性的材料。具体地,预浸渍体中包含的树脂是,固化开始的温度是170°左右,并在大致180°C下,温度被保持,由此来进行热固化的树脂。

[0042] 此外,在实施方式1中,使用了包含强化纤维以及树脂的预浸渍体,然而,例如,作为强化纤维,除了碳纤维以外,还可以应用玻璃纤维以及芳香族聚酰胺纤维,并不限于这些,还可以是塑料纤维或者金属纤维。此外,关于树脂,热固化性树脂是优选的,然而还可以是热塑性树脂。关于热固化性树脂,例示了环氧树脂、聚酯树脂以及乙烯基酯树脂。关于热塑性树脂,例示了聚酰胺树脂、聚丙烯树脂、ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯)树脂、聚醚醚酮(PEEK)、聚醚酮酮(PEKK)、以及聚苯硫醚(PPS)等。但是,强化纤维中含浸的树脂并不限于这些,还可以是其他树脂。

[0043] 发泡剂16被填充到内部空间20。该发泡剂16在发泡前被配置于内部空间20,之后被加热而发泡,由此,被填充到内部空间20。如图5所示,发泡前的发泡剂16包含发泡剂树脂

25和多个发泡体26而构成。发泡剂树脂25通过被加热而固化,可以设为与预浸渍体中包含的树脂相同。

[0044] 多个发泡体26通过被加热而发泡,例如,通过被加热,发泡体26成为碳酸气体等,在发泡剂树脂25内使气泡28产生。关于多个发泡体26,通过加热而发泡的发泡温度是不同的。也就是说,多个发泡体26包含:在热固化时,在加热温度成为低温的低温区域进行发泡的低温侧发泡体26a、以及在与低温区域相比成为高温的高温区域进行发泡的高温侧发泡体26b。此外,发泡体26例如使用了发泡珠(beads),是利用由热塑性树脂构成的被膜包覆发泡成分而得的。

[0045] 关于低温侧发泡体26a,作为在包覆发泡成分的被膜中使用的树脂,例如使用了聚乙烯或ABS树脂等。此外,关于高温侧发泡体26b,作为在包覆发泡成分的被膜中使用的树脂,例如使用了聚缩醛、尼龙6、聚偏二氯乙烯、或聚砜等。这样,多个发泡体26通过使包覆发泡成分的被膜的树脂不同,使发泡温度不同。

[0046] 此外,在发泡剂16中还可以添加纤维成分,以便成为使多个发泡体26的发泡不存在不均匀地稳定的发泡形态。

[0047] 接着,参照图4,说明发泡剂16的发泡。图4的上侧所示的图表是表示在热固化时(后述的固化工序S3)预浸渍体的树脂的温度变化的图表,横轴是时间,纵轴是温度。此外,图4的中央所示的图表是表示在热固化时预浸渍体的树脂的粘度变化的图表,横轴是时间,纵轴是粘度。此外,图4的下侧所示的图表是表示在热固化时发泡剂16的加压力即发泡压的变化的图表,横轴是时间,纵轴是发泡压。

[0048] 如图4所示,预浸渍体中包含的树脂产生凝胶化的温度成为预浸渍体凝胶化开始温度(树脂凝胶化开始温度)T1(以下,简称为温度T1)。在热固化时,对预浸渍体进行加热的加热温度随着时间经过而等速地升高。若加热温度到达温度T1,则在温度T1维持加热温度。关于预浸渍体的树脂的粘度,在成为温度T1之前粘度持续降低,在温度T1前后凝胶化(热固化)开始并且粘度增加,直至固化。

[0049] 这里,关于多个发泡剂16,低温侧发泡体26a进行发泡的温度成为低温侧发泡开始温度T2(以下,简称为温度T2),温度T2低于温度T1($T_2 < T_1$)。此外,高温侧发泡体26b进行发泡的温度成为高温侧发泡开始温度T3(以下,简称为温度T3),温度T3高于温度T1($T_3 > T_1$)。也就是说,温度T1、温度T2以及温度T3成为“ $T_2 < T_1 < T_3$ ”的关系。

[0050] 因此,在热固化时,发泡剂16在预浸渍体的树脂达到温度T1之前,低温侧发泡体26a进行发泡,由此,复合材料叶片的内部空间成为给定的发泡压。也就是说,在预浸渍体的树脂达到温度T1之前,产生了基于低温侧发泡体26a进行发泡这一情况的发泡压的第一个峰值。此外,在热固化时,发泡剂16在预浸渍体的树脂达到温度T1之后,高温侧发泡体26b进行发泡,由此,复合材料叶片的内部空间成为比低温侧发泡体26a高的给定的发泡压。也就是说,在预浸渍体的树脂达到温度T1之后,产生了基于高温侧发泡体26b进行发泡这一情况的发泡压的第二个峰值。

[0051] 接着,参照图5,具体说明发泡剂16的发泡状态。关于发泡剂16,图5的左侧所示的状态是发泡前的状态,图5的中央所示的状态是低温侧发泡体26a发泡后的状态,图5的右侧所示的状态是高温侧发泡体26b发泡后的状态。

[0052] 在固化前的背侧叶片构件12和腹侧叶片构件14之间形成的内部空间20中,配置有

图5的左侧所示的发泡前的发泡剂16，内部空间20具有空隙30。若对成为发泡前的状态的发泡剂16进行加热，则首先，低温侧发泡体26a进行发泡。此时，由于是预浸渍体的树脂达到温度T1之前，因而固化前的背侧叶片构件12以及腹侧叶片构件14未产生固化收缩。因此，发泡剂16通过低温侧发泡体26a进行发泡这一情况，对固化前的背侧叶片构件12以及腹侧叶片构件14从内侧向外侧以给定的发泡压进行加压。

[0053] 接着，若进一步对发泡剂16进行加热，则高温侧发泡体26b进行发泡。此时，由于是预浸渍体的树脂到达了温度T1之后，因此，背侧叶片构件12以及腹侧叶片构件14正在进行固化收缩。若背侧叶片构件12以及腹侧叶片构件14进行固化收缩，则内部空间20扩展。因此，发泡剂16即使在通过背侧叶片构件12以及腹侧叶片构件14的固化收缩而内部空间20扩展了的情况下，也可以通过高温侧发泡体26b进行发泡这一情况，对要固化的背侧叶片构件12以及腹侧叶片构件14从内侧向外侧以给定的发泡压进行加压。

[0054] 此外，若低温侧发泡体26a以及高温侧发泡体26b进行发泡，则形成气泡28，通过形成的气泡28，发泡剂16的容积膨胀。关于容积膨胀后的发泡剂16，发泡剂树脂25连同背侧叶片构件12以及腹侧叶片构件14一起进行固化。

[0055] 接着，参照图6，说明上述的复合材料叶片10的成形方法。实施方式1的复合材料叶片10的成形方法依次进行层叠工序S1、合模工序S2、固化工序S3、以及脱模工序S4。

[0056] 在层叠工序S1中，进行形成背侧叶片构件12成形前的背侧层叠体12a的背侧层叠工序S1a、和形成腹侧叶片构件14成形前的腹侧层叠体14a的腹侧层叠工序S1b。

[0057] 在背侧层叠工序S1a中，在用于成形背侧叶片构件12的背侧成形模具32层叠预浸渍体来形成背侧层叠体12a。背侧成形模具32具有成形背侧叶片构件12的外表面的背侧成形面32a、和在背侧成形面32a的周围设置的平坦的背侧合模面32b。为了将背侧叶片构件12的外表面成形为成为凸起的弯曲形状，背侧成形面32a凹陷地形成为凹状。在背侧层叠工序S1a中，背侧成形模具32载置背侧成形面32a以便朝向垂直方向上侧。然后，在背侧成形模具32的背侧成形面32a层叠预浸渍体，来形成背侧层叠体12a。在背侧层叠工序S1a中，通过将预浸渍体层叠数层来进行抽真空，形成背侧层叠体12a。

[0058] 在腹侧层叠工序S1b中，在用于成形腹侧叶片构件14的腹侧成形模具34层叠预浸渍体来形成腹侧层叠体14a。腹侧成形模具34具有成形腹侧叶片构件14的外表面的腹侧成形面34a、和在腹侧成形面34a的周围设置的平坦的腹侧合模面34b。为了将腹侧叶片构件14的外表面成形为成为凹陷的弯曲形状，腹侧成形面34a突出地形成为凸状。在腹侧层叠工序S1b中，腹侧成形模具34载置腹侧成形面34a以便朝向垂直方向上侧。然后，在腹侧成形模具34的腹侧成形面34a层叠预浸渍体，来形成腹侧层叠体14a。在腹侧层叠工序S1b中，与背侧层叠工序S1a同样地，通过将预浸渍体层叠数层来进行抽真空，形成腹侧层叠体14a。

[0059] 在合模工序S2中，将背侧成形模具32和腹侧成形模具34进行合模，并且配置发泡剂16。具体地，在合模工序S2中，通过将背侧成形模具32的背侧合模面32b和腹侧成形模具34的腹侧合模面34b进行重合，在背侧成形模具32层叠的背侧层叠体12a和在腹侧成形模具34层叠的腹侧层叠体14a在中性面P重合。然后，通过重合的背侧层叠体12a和腹侧层叠体14a来形成中空的内部空间20。此外，在本实施方式的合模工序S2中，将腹侧成形模具34以与腹侧层叠工序S1b同样的状态配置在下方侧，此外，将背侧成形模具32从背侧层叠工序S1a的状态上下反转而配置于腹侧成形模具34的上方侧，来进行背侧成形模具32和腹侧成

形模具34的合模。

[0060] 此外,在合模工序S2中,在背侧层叠体12a和腹侧层叠体14a的重合之前,在内部空间20设置发泡前的发泡剂16。发泡前的发泡剂16被形成为薄片状。此外,发泡剂16还可以是糊状。成为薄片状的发泡前的发泡剂16可以配置成至少包含在叶片宽度方向上内部空间20的温度上升最低的部位,然而对于发泡剂16的配置并未特别地限制。作为温度上升最低的部位,例如是内部空间20的中央部位、叶片厚度方向中的内部空间20最厚的部位、各层叠体12a、14a最厚的部位等。在本实施方式的合模工序S2中,向由位于下方侧的成形模具形成的层叠体设置发泡剂16。例如,在腹侧成形模具34位于背侧成形模具32的下方侧的情况下,在腹侧层叠体14a的上表面设置发泡前的发泡剂16。

[0061] 在固化工序S3中,一边在靠近背侧成形模具32和腹侧成形模具34的方向上加压,一边对背侧层叠体12a、腹侧层叠体14a以及发泡剂16进行加热。这里,如上述那样,通过低温侧发泡体26a以及高温侧发泡体26b进行发泡这一情况,发泡剂16进行2阶段的发泡。因此,在固化工序S3中,通过对背侧层叠体12a、腹侧层叠体14a以及发泡剂16进行加热,在预浸渍体的树脂固化之前,发泡剂16的低温侧发泡体26a发泡。若低温侧发泡体26a发泡,则由低温侧发泡体26a产生气泡28,由此,固化前的发泡剂树脂25膨胀。因此,由于通过发泡剂16的膨胀来施加内部空间20的内部的压力,因而,固化前的背侧层叠体12a以及腹侧层叠体14a通过发泡剂16向背侧成形模具32以及腹侧成形模具34加压。

[0062] 然后,在发泡剂16的低温侧发泡体26a发泡后,若预浸渍体的树脂达到温度T1,则连同预浸渍体的树脂一起发泡剂16的发泡剂树脂25的固化开始。在预浸渍体的树脂的固化开始后,发泡剂16的高温侧发泡体26b发泡。若高温侧发泡体26b发泡,则由高温侧发泡体26b产生气泡28,由此,固化开始后的发泡剂树脂25膨胀。因此,由于通过发泡剂16的膨胀来施加内部空间20的内部的压力,因而,固化开始后的背侧层叠体12a以及腹侧层叠体14a通过发泡剂16向背侧成形模具32以及腹侧成形模具34加压。然后,连同预浸渍体的树脂一起发泡剂16的发泡剂树脂25进行热固化,由此,发泡剂16与背侧层叠体12a以及腹侧层叠体14a成为一体,成形了复合材料叶片10。

[0063] 在脱模工序S4中,通过使背侧成形模具32和腹侧成形模具34在远离的方向上移动,使成形了的复合材料叶片10从背侧成形模具32和腹侧成形模具34离模。

[0064] 如以上那样,根据实施方式1,在固化工序S3中,能够以2阶段来进行基于发泡剂16的发泡,因此,能够保持在复合材料叶片10的内部空间20中的加压,能够通过发泡剂16适当地对复合材料叶片10的内部空间20进行加压。因此,能够抑制复合材料叶片10的成形不良的产生,能够适宜地成形复合材料叶片10。

[0065] 此外,根据实施方式1,高温侧发泡体26b在预浸渍体达到温度T1之后进行发泡。因此,即使在因预浸渍体固化并收缩导致内部空间20扩大加压降低的情况下,通过在达到温度T1之后使高温侧发泡体26b发泡,能够维持内部空间20的加压,能够抑制加压不足。

[0066] 此外,根据实施方式1,低温侧发泡体26a在预浸渍体达到温度T1之前进行发泡。因此,通过加热预浸渍体,能够通过低温侧发泡体26a进行发泡这一情况来抑制伴随着预浸渍体的树脂的粘度降低的预浸渍体的层间的剥离。

[0067] 此外,在实施方式1中,将基于发泡剂16的发泡设为2阶段,然而以多阶段的发泡即可,还可以设为以3阶段以上的发泡。

[0068] [实施方式2]

[0069] 接下来,参照图7以及图8,说明实施方式2的复合材料叶片10的成形方法。此外,在实施方式2中,为了避免重复的记载,说明与实施方式1不同的部分,针对与实施方式1相同的结构的部分,赋予相同符号来说明。图7是在实施方式2的复合材料叶片的成形方法中使用的发泡剂所相关的图表。图8是表示在实施方式2的复合材料叶片的成形方法中使用的发泡剂的发泡状态的说明图。

[0070] 在实施方式1的复合材料叶片10的成形方法中,将低温侧发泡体26a的发泡设为在温度T1之前,然而在实施方式2的复合材料叶片10的成形方法中,将低温侧发泡体26a的发泡设为在发泡剂树脂25进行凝胶化的温度之前。

[0071] 如图7所示,发泡剂16中包含的发泡剂树脂25进行凝胶化的温度成为发泡剂凝胶化开始温度T4(以下,简称为温度T4)。这里,温度T4成为比温度T1低的温度。因此,发泡剂树脂25在预浸渍体的树脂进行凝胶化之前,开始凝胶化。

[0072] 在实施方式2中,在热固化时,对预浸渍体以及发泡剂16进行加热的加热温度随着时间经过而匀速地上升。若加热温度达到温度T1,则在温度T1维持加热温度。关于发泡剂树脂25的粘度,在达到温度T4之前,粘度持续降低,在温度T4前后,凝胶化(热固化)开始并且粘度增加,直至固化。此后,关于预浸渍体的树脂的粘度,在达到温度T1之前,粘度持续降低,在温度T1前后,凝胶化(热固化)开始并且粘度增加,直至固化。

[0073] 这里,低温侧发泡体26a进行发泡的温度T2比温度T4低($T4 < T1$)。此外,与实施方式1同样地,高温侧发泡体26b进行发泡的温度T3比温度T1高($T3 > T1$)。也就是说,温度T1、温度T2、温度T3以及温度T4成为“ $T2 < T4 < T1 < T3$ ”的关系。

[0074] 因此,如图8所示,在热固化时(固化工序S3),将发泡剂16从在复合材料叶片10的内部空间20中配置的状态(步骤S11)起进行加热。于是,发泡剂16通过在发泡剂树脂25达到温度T4之前,低温侧发泡体26a进行发泡,复合材料叶片10的内部空间20成为给定的发泡压。也就是说,在发泡剂树脂25达到温度T4之前,低温侧发泡体26a进行发泡,由此,产生发泡压的第一个峰值。该情况下,由于发泡剂树脂25成为低粘度,因此,通过低温侧发泡体26a进行发泡,使发泡剂树脂25填充到内部空间20(步骤S12)。之后,通过发泡剂树脂25达到温度T4,发泡剂树脂25的凝胶化开始,进而,预浸渍体的树脂达到温度T1,由此,预浸渍体的凝胶化开始。然后,与实施方式1同样地,在热固化时,发泡剂16通过在预浸渍体的树脂达到温度T1之后,高温侧发泡体26b进行发泡,复合材料叶片10的内部空间20成为比低温侧发泡体26a高的给定的发泡压(步骤S13)。也就是说,在预浸渍体的树脂达到温度T1之后,高温侧发泡体26b进行发泡,由此,产生发泡压的第二个峰值。

[0075] 如以上那样,根据实施方式2,由于预浸渍体凝胶化开始温度T1变得比发泡剂凝胶化开始温度T4高,因此,相比于预浸渍体的树脂,发泡剂16的发泡剂树脂25较早地固化。此时,在发泡剂树脂25达到温度T4之前使低温侧发泡体16a发泡,由此,能够在发泡剂16固化之前,使发泡剂16在复合材料叶片10的内部空间20中扩散并填充。

[0076] -符号说明-

[0077] 10 复合材料叶片

[0078] 10a 薄壁部分

[0079] 10b 厚壁部分

- [0080] 12 背侧叶片构件
- [0081] 12a 背侧层叠体
- [0082] 14 腹侧叶片构件
- [0083] 14a 腹侧层叠体
- [0084] 16 发泡剂
- [0085] 25 发泡剂树脂
- [0086] 26 发泡体
- [0087] 26a 低温侧发泡体
- [0088] 26b 高温侧发泡体
- [0089] 28 气泡
- [0090] 32 背侧成形模具
- [0091] 34 腹侧成形模具。

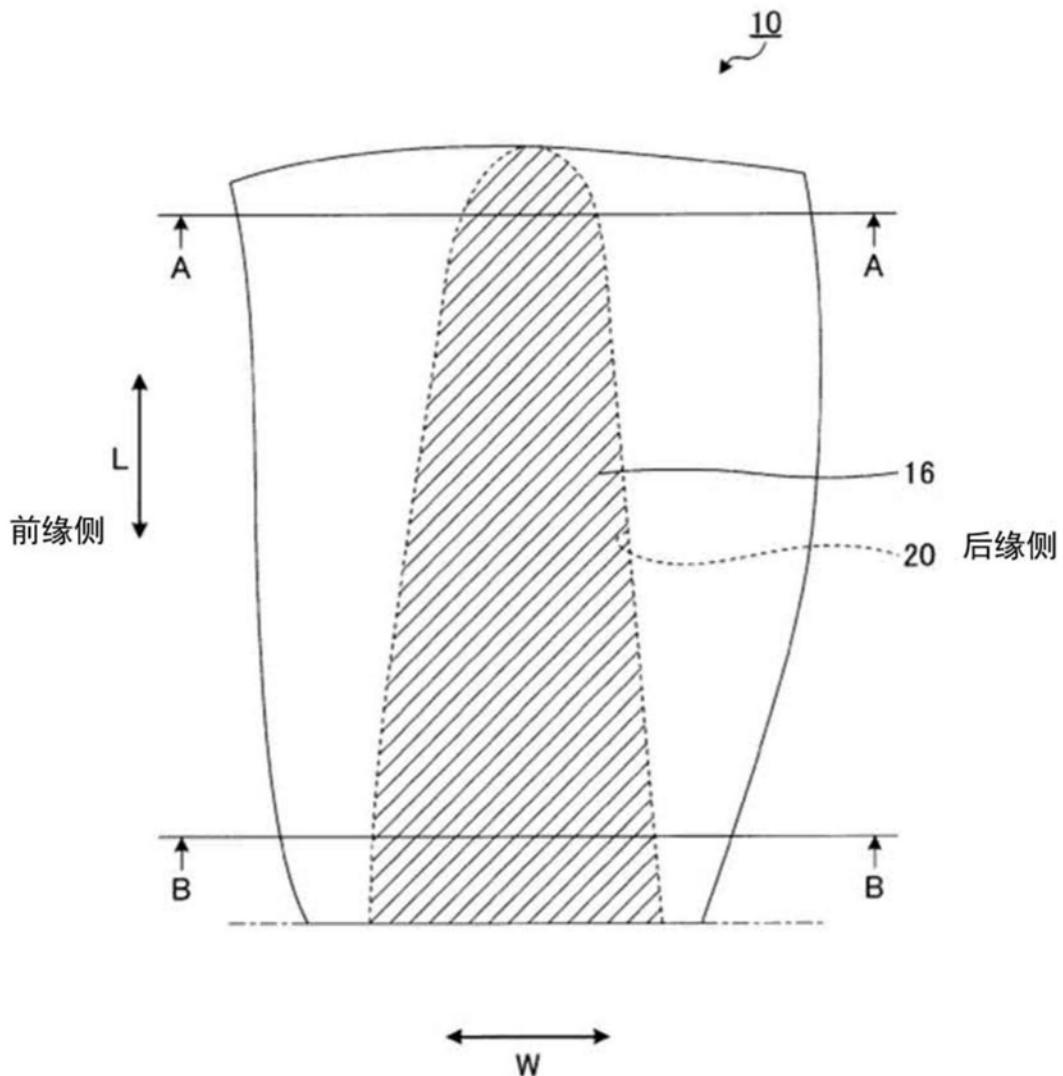


图1

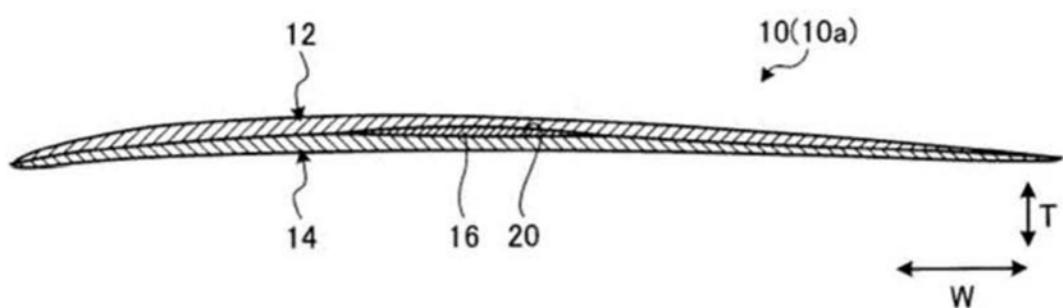


图2

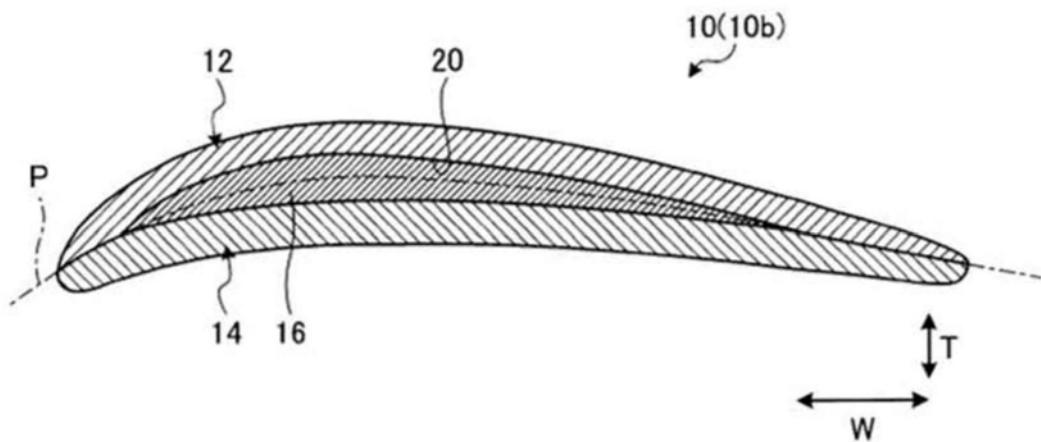


图3

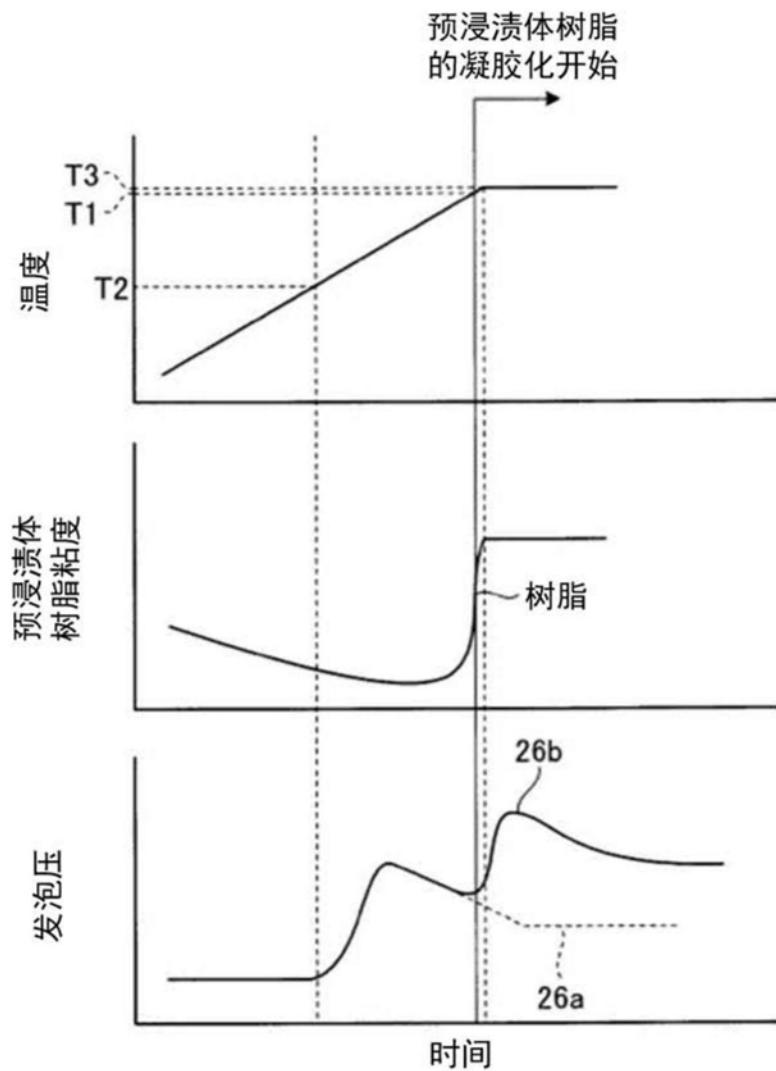


图4

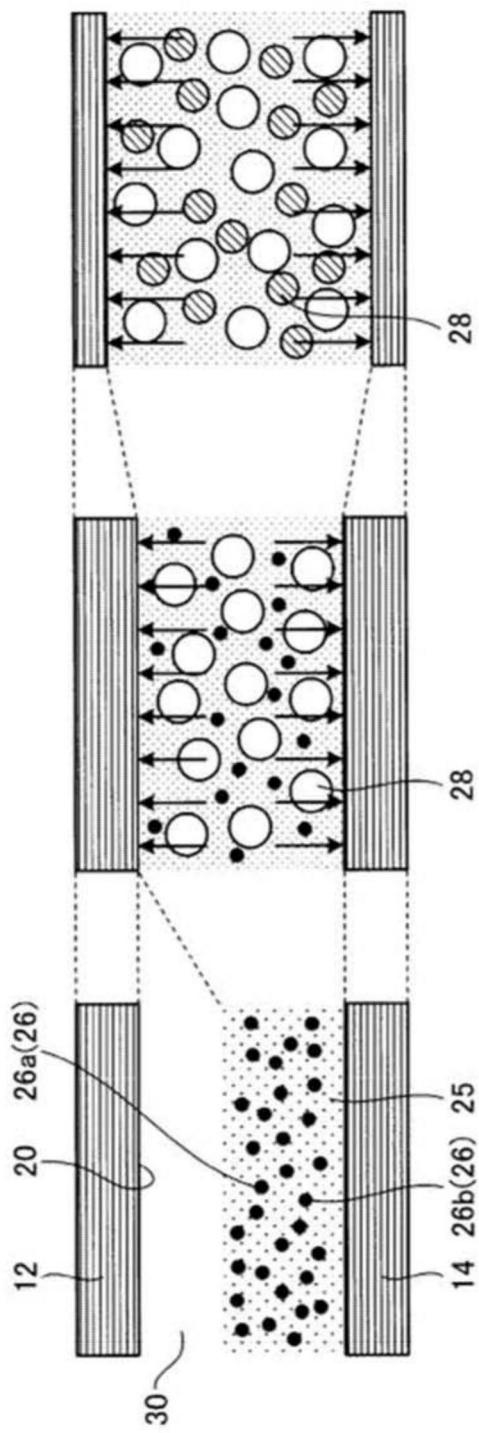


图5

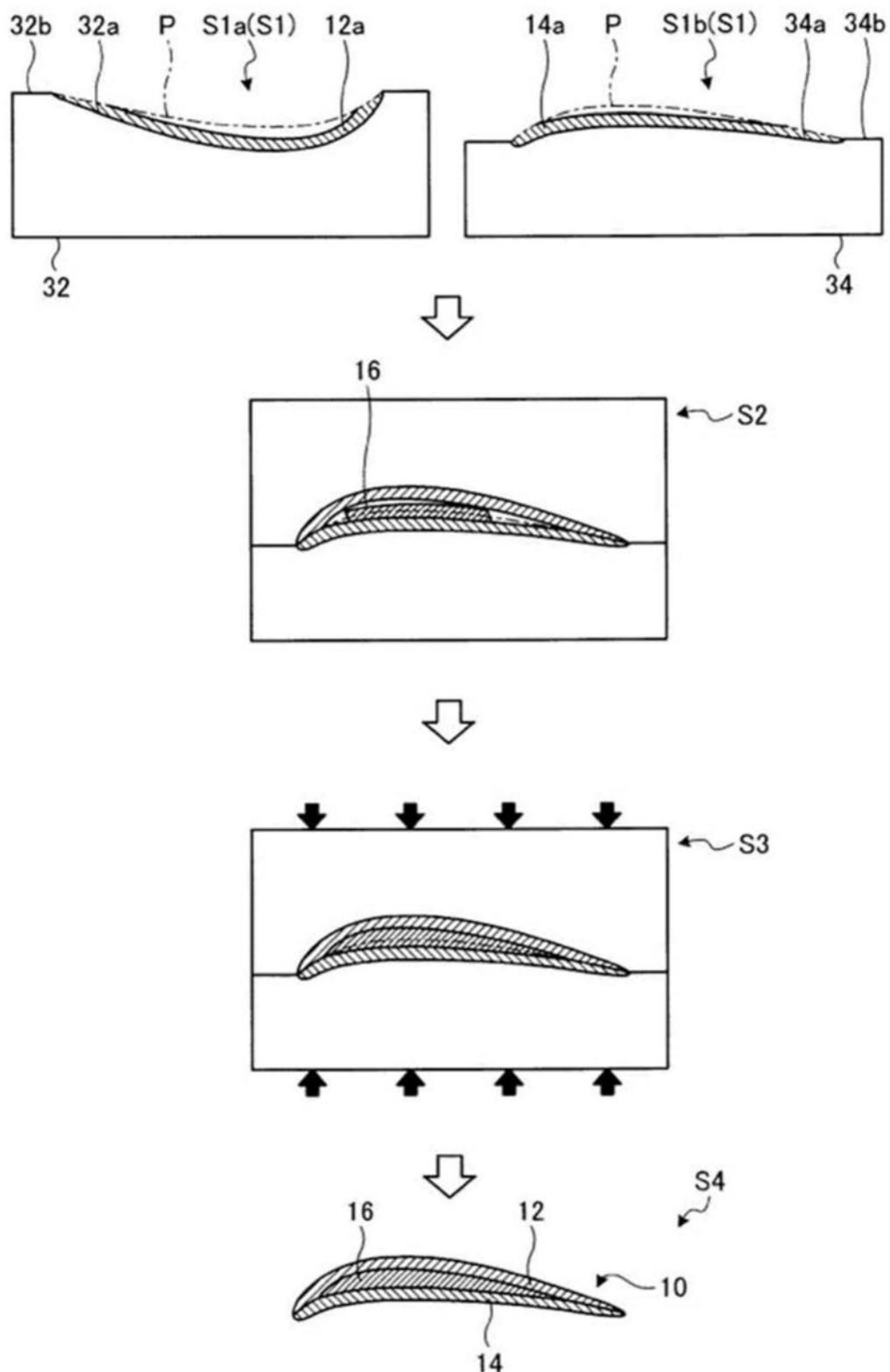


图6

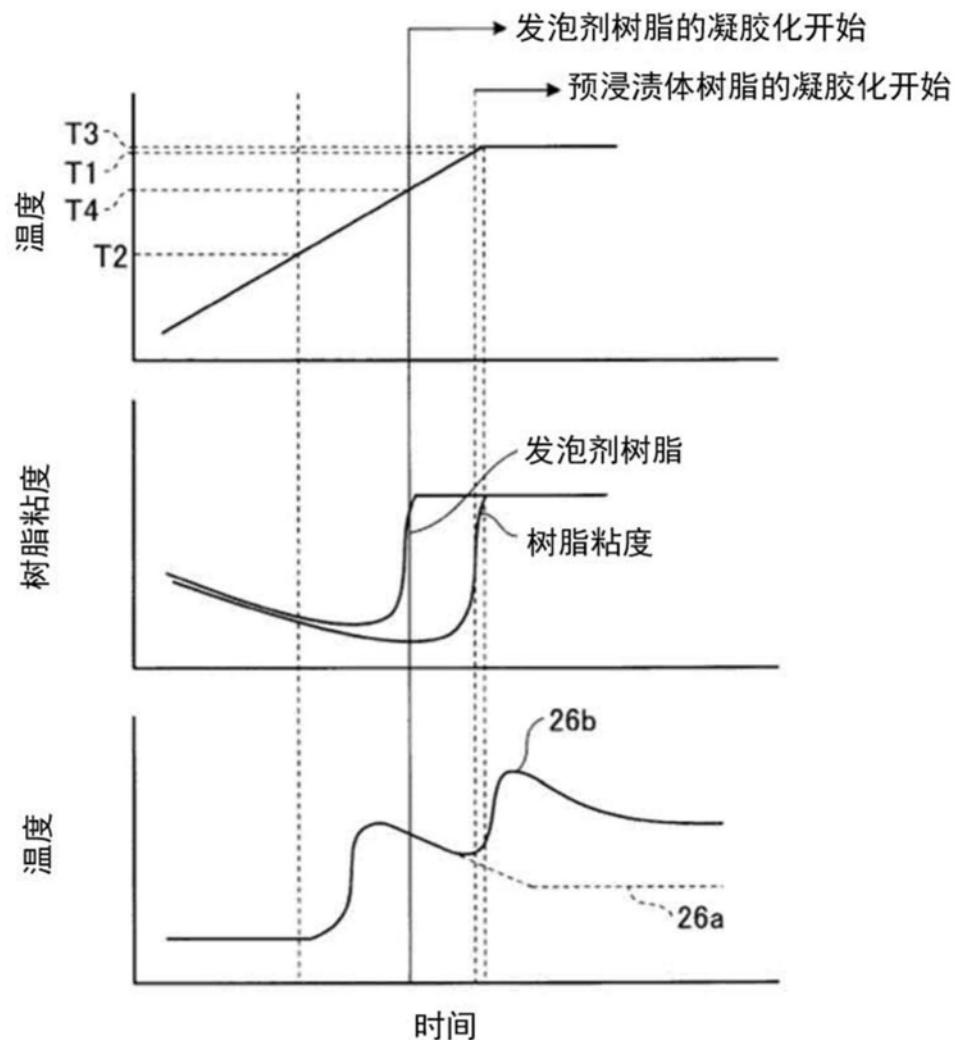


图7

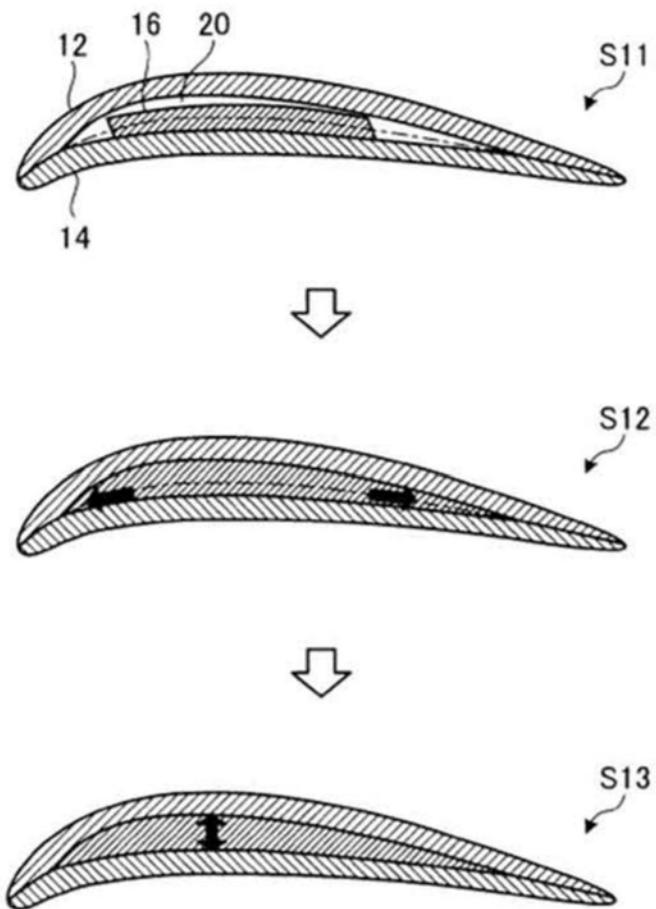


图8