



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110612392 B

(45) 授权公告日 2022. 07. 12

(21) 申请号 201880031421.7

(22) 申请日 2018.03.13

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110612392 A

(43) 申请公布日 2019.12.24

(30) 优先权数据  
1752045 2017.03.13 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2019.11.12

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/FR2018/050590 2018.03.13

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02018/172656 FR 2018.09.27

(73) 专利权人 阿科玛法国公司  
地址 法国科隆布

(72) 发明人 V.博茨扎克 G.克莱达 P.格拉尔  
M.希姆斯特拉 H.明内马  
D.J.库特斯特拉

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
72001  
专利代理师 段家荣 黄念

(51) Int.Cl.  
B29C 70/02 (2006.01)  
F03D 1/06 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 2017058864 A1, 2017.03.02  
US 2017058864 A1, 2017.03.02  
CN 103998211 A, 2014.08.20  
CN 102116253 A, 2011.07.06  
US 2016177917 A1, 2016.06.23

审查员 黄晶华

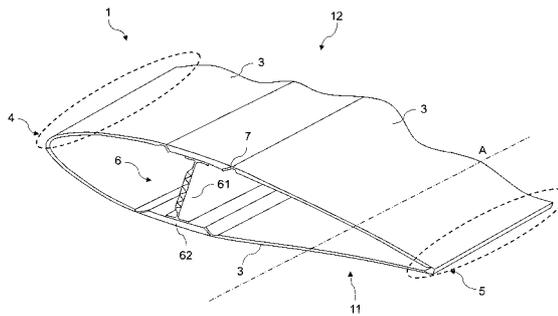
权利要求书3页 说明书13页 附图5页

(54) 发明名称

热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片、所述叶片的部件和制造方法

(57) 摘要

本发明涉及风力涡轮机叶片(1),其包含至少部分由热塑性聚合物复合材料的板材(3)形成的外壳,该外壳限定了该风力涡轮机叶片的前缘(4)和后缘(5),以及至少一个由聚合物复合材料制成的加强构件(6),所述加强构件(6)沿该风力涡轮机叶片的纵轴在所述风力涡轮机叶片(1)内部延伸,所述加强构件(6)设置在限定该前缘(4)的至少一个板材与限定后缘(5)的至少一个板材之间,其特征主要在于该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,并且在于热塑性聚合物复合材料的至少一个板材(3)通过焊接型界面(7)连接到该加强构件(6)上。



1. 风力涡轮机叶片(1),所述风力涡轮机叶片(1)包含至少部分由热塑性聚合物复合材料的板材(3)形成的外壳,所述外壳限定了所述风力涡轮机叶片的由单个整块部件形成的前缘(4)和后缘(5),以及至少一个由聚合物复合材料制成的加强构件(6),所述加强构件(6)沿所述风力涡轮机叶片的纵轴(A)在所述风力涡轮机叶片(1)内部延伸,所述加强构件(6)设置在限定所述前缘(4)的至少一个板材与限定后缘(5)的至少一个板材之间,其特征在于所述热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,并且在于热塑性聚合物复合材料的至少一个板材(3)通过焊接型界面(7)连接到所述加强构件(6)上,其中风力涡轮机叶片不包含超过10重量%的热固性粘合剂。

2. 如权利要求1所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述纤维增强材料基于纵横比为至少1000的纤维。

3. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于其不包含超过50重量%的热固性聚合物。

4. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于其不包含超过15重量%的热固性聚合物。

5. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于其不包含超过8重量%的热固性粘合剂。

6. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于其不包含超过6重量%的热固性粘合剂。

7. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物选自聚甲基丙烯酸甲酯或甲基丙烯酸甲酯的共聚物或其混合物。

8. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述纤维增强材料包含单独或混合物形式的选自碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维或基于聚合物的纤维、或植物纤维的纤维。

9. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述热塑性聚合物基质还包含一种或多种添加剂或填料。

10. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物具有50°C至160°C的玻璃化转变温度。

11. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述加强构件(6)具有“工字”梁形式,包括腹板(61)和通过腹板(61)彼此连接的两个翼缘(62)。

12. 如权利要求11所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述翼缘(62)由热塑性聚合物复合材料制成的条带(63)堆叠形成,或由低压注塑或灌注模塑的复合部件形成。

13. 如权利要求11所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述翼缘(62)通过焊接型界面(7)连接到腹板(61)上。

14. 如权利要求11所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述翼缘(62)通过环氧物或聚酯或聚氨酯粘合剂连接到腹板(61)上。

15. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述焊接型界面(7)具有大于或等于0.5 mm的厚度。

16. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征在于所述前缘由焊接到所述加强构件(6)上的单个整块部件形成。

17. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征不在于构成所述外壳的热塑性聚合物复合材料的板材(3)封装低密度结构(8)。

18. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征不在于其包含至少一个位于焊接型界面(7)处的电阻丝。

19. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征不在于所述焊接型界面具有大于5米的长度。

20. 如权利要求1或2所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征不在于所述焊接型界面(7)沿所述风力涡轮机叶片的纵轴(A)延伸。

21. 如权利要求12所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征不在于所述翼缘(62)由预浸渍的热塑性聚合物复合材料制成的条带(63)的堆叠形成,或由低压注塑或灌注模塑的复合部件形成。

22. 如权利要求17所要求保护的风力涡轮机叶片,其特征不在于构成所述低密度结构(8)选自木材、蜂窝结构或膨胀塑料。

23. 用于形成如前述权利要求任一项所要求保护的风力涡轮机叶片(1)的由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件(2),其特征不在于所述热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质。

24. 如权利要求23所要求保护的由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件(2),其特征不在于所述热塑性聚合物复合材料至少部分覆盖有至少1 mm厚的(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物层。

25. 由至少两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件制造如权利要求1至22任一项所要求保护的风力涡轮机叶片(1)的方法(200),所述热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,所述方法包括以下步骤:

- 在组装界面(71)处相邻或重叠布置(220)至少两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件(2),

- 在组装界面(71)处加热(230)以熔融所述(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,和

- 在界面处施加(240)压力以便将所述至少两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件焊接在一起,由此形成焊接型界面(7)。

26. 如权利要求25所要求保护的方法,其特征不在于其还包括制造(210)风力涡轮机叶片部件的在先步骤,其包括以下子步骤:

- 用液体(甲基)丙烯酸类组合物浸渍(211)纤维增强材料,

- 聚合(212)浸渍所述纤维增强材料的液体(甲基)丙烯酸类组合物。

27. 如权利要求26所要求保护的方法,其特征不在于所述液体(甲基)丙烯酸类组合物包含(甲基)丙烯酸类单体、前体(甲基)丙烯酸类聚合物和自由基引发剂。

28. 如权利要求27所要求保护的方法,其特征不在于所述液体(甲基)丙烯酸类组合物中的(甲基)丙烯酸类单体以所述液体(甲基)丙烯酸类组合物的至少40重量%的量存在。

29. 如权利要求27所要求保护的方法,其特征不在于所述液体(甲基)丙烯酸类组合物中的前体(甲基)丙烯酸类聚合物以所述液体(甲基)丙烯酸类组合物的至少10重量%的量存在。

30. 如权利要求27所要求保护的方法,其特征不在于所述液体(甲基)丙烯酸类组合物中

的前体(甲基)丙烯酸类聚合物以所述液体(甲基)丙烯酸类组合物的至多60重量%的量存在。

31. 如权利要求27所要求保护的方法,其特征在于,化合物以下列重量百分比混入:

- (甲基)丙烯酸类单体以(甲基)丙烯酸类单体和前体(甲基)丙烯酸类聚合物所组成的组合物的40重量%至90重量%的比例存在,

- 前体(甲基)丙烯酸类聚合物以(甲基)丙烯酸类单体和前体(甲基)丙烯酸类聚合物所组成的组合物的10重量%至60重量%的比例存在。

32. 如权利要求25至31任一项所要求保护的方法,其特征在于热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件(2)通过低压注塑、灌注成型或通过模塑以(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物复合材料预浸渍的条带来制造。

33. 如权利要求25至31任一项所要求保护的方法,其特征在于热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件(2)在小于150°C的温度下制造。

34. 如权利要求25至31任一项所要求保护的方法,其特征在于所述热塑性聚合物基质通过选自以下的技术来熔融(230):超声波焊接、感应焊接、电阻丝焊接、搅拌摩擦焊接、激光焊接、通过红外或紫外辐射加热。

35. 如权利要求33所要求保护的方法,其特征在于热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件(2)在小于100°C的温度下制造。

36. 如权利要求34所要求保护的方法,其特征在于所述热塑性聚合物基质通过选自以下的技术来熔融(230):通过电阻丝焊接。

37. 如权利要求25至31任一项所要求保护的方法,其特征在于在加热步骤(230)过程中,组装界面(71)处的温度为160至300°C。

## 热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片、所述叶片的部件和制造方法

[0001] 本发明涉及风力涡轮机领域,更特别涉及由热塑性聚合物复合材料制造的风力涡轮机的叶片。本发明涉及风力涡轮机叶片、所述风力涡轮机叶片的部件以及制造所述风力涡轮机叶片的方法。

[0002] [现有技术]

[0003] 目前,风力涡轮机叶片主要由聚合物复合材料组成,其中纤维增强材料混在聚合物基质中。实际上,风力涡轮机叶片所需的性质特别是轻便、相对高的结构强度和拉伸强度。这主要与以下事实相关——风力涡轮机叶片在风力涡轮机运行过程中,尤其是在存在强阵风的情况下必须承受高机械负荷。纤维增强材料的纤维通常由玻璃、碳、陶瓷组成,但是也可能是天然纤维。聚合物基质主要包含聚合物并确保纤维保持在适当位置,在纤维之间传递张力,并保护纤维对抗外部机械和化学影响。聚合物基质通常是热固性的,由热固性聚合物复合材料制成的部件彼此用热固性树脂(例如环氧或聚酯或聚氨酯粘合剂)相互连接。

[0004] 但是,热固性复合材料有几个缺点,如回收这些材料时的高成本,以及如果无法回收的话将积累大量废弃物。例如在申请W02010025830中已经提出了混入热塑性材料的风力涡轮机叶片;然而,所提出的热塑性塑料基本上被提议用于形成风力涡轮机叶片的各个部件之间的接合,并且它们具有对水分相对较高的敏感性或高熔点。申请US2017/0058864描述了由热固性和/或热塑性材料构建的可调节的风力涡轮机叶片。该热固性-热塑性界面被焊接;然而,叶片含有大比例的热固性材料。因此,仍然需要主要包含热塑性塑料的风力涡轮机叶片,其因此是可回收的,同时提供满足风能领域要求的机械和化学性质。

[0005] 当例如通过低压注塑或灌注成型来构建由聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片时,使用热固性树脂通常导致较长的循环时间。此外,由聚合物复合材料制成的这些部件随后在工业过程中组装,随后运送至安装现场。鉴于在制造部件过程中和在组装过程中使用热固性聚合物基质所观察到的较长循环时间,必须识别能够缩短循环时间并因此将缩短风力涡轮机叶片的生产时间的聚合物。

[0006] 此外,风力涡轮机叶片通常具有大约40米或更大、有时大约90米或100米的长度。由此,运送叶片需要不寻常的负荷运输。为了便于风力涡轮机叶片的管理和安装,合意的是能够容易和快速地在安装现场进行至少一部分组装。

[0007] [技术问题]

[0008] 本发明因此旨在克服现有技术的缺点。特别地,本发明旨在提供一种由热塑性聚合物复合材料制得的风力涡轮机叶片,其可以比常规风力涡轮机叶片更快地制造,同时优选主要是可回收的,并耐受风力涡轮机叶片在运行中遇到的机械和化学应力。

[0009] 本发明的另一目的是提供比现有方法更快地制造风力涡轮机叶片或风力涡轮机叶片的部件的方法,并能够在安装现场快速和容易地进行组装、维修或调整。

[0010] [发明概述]

[0011] 为此,本发明涉及一种风力涡轮机叶片,该风力涡轮机叶片包含至少部分由热塑

性聚合物复合材料的板材形成的外壳,该外壳限定了该风力涡轮机叶片的前缘和后缘,以及至少一个由聚合物复合材料制成的加强构件,所述加强构件沿该风力涡轮机叶片的纵轴在所述风力涡轮机叶片内部延伸,所述加强构件设置在限定该前缘的至少一个板材与限定后缘的至少一个板材之间,其特征主要在于该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,并且在于热塑性聚合物复合材料的至少一个板材通过焊接型界面连接到该加强构件上。

[0012] 实际上,特别是与常规用于这些领域的热固性聚合物相比,使用包含(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物的聚合物复合材料能够减少循环时间。此外,在本发明的背景下使用的(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物可用于最常用的工业过程,因此,不同于诸如聚酰胺的热塑性塑料,其不需要修改目前用于构建风力涡轮机叶片的工业设备。

[0013] 此外,不同于包含由通常用于该领域的热固性聚合物复合材料制成的板材的叶片,这些风力涡轮机叶片易于回收。最后,焊接型界面的存在经由提高界面温度提供了在不需要特别安装的情况下在安装现场制造组装件、进行板材位置调整或维修的可能性。

[0014] 根据该方法的其它任选特征:

[0015] - 该纤维增强材料基于纵横比为至少1000的纤维。此类纵横比使得能够获得具有改善的机械性质的风力涡轮机叶片。

[0016] - 该风力涡轮机叶片不包含超过50%、优选不超过40%、更优选不超过30%、甚至更优选不超过20%、更有利地不超过15重量%和甚至更有利地不超过10重量%的热固性聚合物如环氧树脂。由此,本发明的风力涡轮机叶片在生产时间方面具有非常显著的收益,并具有提高的再循环能力。同样,该风力涡轮机叶片不包含超过10%、优选不超过8%、有利地不超过7重量%、更有利地不超过6重量%和甚至更有利地不超过5重量%的热固性粘合剂。

[0017] - 该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物选自热塑性聚合物树脂,通常称为“浆液”,其用于浸渍增强材料,例如纤维增强材料,并以良好的转化率快速聚合(例如30秒至3小时)以提高生产率。一旦聚合,该热塑性聚合物浆液构成该复合材料的基质。包含(甲基)丙烯酸类单体和前体(甲基)丙烯酸类聚合物的液体组合物或浆液描述在W0 2013/056845和W0 2014/013028中。这些(甲基)丙烯酸类聚合物特别适于用于制造风力涡轮机叶片的现有工业方法,并赋予风力涡轮机叶片令人满意的机械和化学性质。特别地,该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物选自聚(甲基丙烯酸甲酯)(PMMA)或甲基丙烯酸甲酯(MMA)的共聚物,或其混合物。

[0018] - 该纤维增强材料包含单独或混合物形式的选自碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维或基于聚合物的纤维、或植物纤维的纤维。

[0019] - 该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质还包含一种或多种添加剂或填料。所有任选的添加剂和填料在浸渍和/或聚合之前添加到该液体(甲基)丙烯酸类浆液中。该热塑性聚合物复合材料还可以包含其它添加剂和其它填料。作为添加剂,可以提及有机添加剂如冲击改性剂或嵌段共聚物、热稳定剂、UV稳定剂、润滑剂及其混合物。该冲击改性剂为具有弹性体芯和至少一个热塑性壳的微细粒子形式,该粒子的尺寸通常小于1  $\mu\text{m}$ 并有利地为50至300 nm。该冲击强度改性剂通过乳液聚合来制备。热塑性聚合物基质中冲击改性剂的比例为0至50重量%、优选0至25重量%、有利地为0至20重量%。作为填料,可以提及碳纳米管或矿物填料,包括矿物纳米填料( $\text{TiO}_2$ 、二氧化硅)。

[0020] - 该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物具有50°C至160°C、优选70°C至140°C和甚至更优选90°C至120°C的玻璃化转变温度(Tg)。此外,该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物或一部分(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物具有小于20克/10分钟的根据ISO 1133(230°C/3.8千克)的熔体流动指数(MFI)。该熔体流动指数优选小于18克/10分钟、更优选小于16克/10分钟、有利地小于13克/10分钟。这使得能够促进风力涡轮机叶片的生产,以便能够在安装现场容易地进行组装、调整或维修。

[0021] - 该加强构件具有“工字”梁形式,包括腹板和通过腹板彼此连接的两个翼缘。

[0022] - 该翼缘优选由优选预浸渍的热塑性聚合物复合材料制成的条带的堆叠形成,或由低压注塑或灌注模塑的复合部件形成。该堆叠可以通过焊接来加固。

[0023] - 该翼缘通过焊接型界面连接到腹板上。

[0024] - 该翼缘通过环氧粘合剂连接到腹板上。

[0025] - 该前缘由焊接到加强构件上的单个整块部件形成。事实上,使用(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物和焊接型界面使得能够设想新的风力涡轮机叶片设计,尤其是具有由焊接到加强构件上的单个整块部件形成的前缘的叶片,从而便于组装并提高在前缘上的耐磨性。

[0026] - 构成该外壳的热塑性聚合物复合材料的板材封装低密度结构,如木材(例如轻木)、蜂窝结构或膨胀塑料。

[0027] - 该风力涡轮机叶片包含至少一个位于焊接型界面处的电阻丝。

[0028] - 该焊接型界面具有大于5米、优选大于10米、更优选大于20米的长度。

[0029] - 该焊接型界面沿该风力涡轮机叶片的纵轴延伸。

[0030] 本发明还涉及用于形成本发明的风力涡轮机叶片的由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件,其特征主要在于该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质。

[0031] 有利地,该风力涡轮机叶片部件的热塑性聚合物复合材料至少部分覆盖有至少0.5 mm、优选至少1 mm、更优选至少2 mm、甚至更优选至少3 mm厚的(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物层。该热塑性聚合物复合材料例如可以在其意在被焊接的表面上覆盖有此类(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物的层。这特别使得能够避免在焊接型界面处出现具有较低浓度树脂的区域,而这可能导致风力涡轮机叶片变脆。

[0032] 本发明还涉及由至少两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件制造本发明的风力涡轮机叶片的方法,该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,所述方法包括以下步骤:

[0033] - 在组装界面处相邻或重叠布置至少两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件,

[0034] - 在组装界面处加热以熔融该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,和

[0035] - 在界面处施加压力以便将所述至少两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件焊接在一起,由此形成焊接型界面。

[0036] 根据该方法的其它任选特征:

[0037] - 该方法还包括制造风力涡轮机叶片部件的在先步骤,其包括以下子步骤:

[0038] - 用液体(甲基)丙烯酸类组合物浸渍纤维增强材料,

- [0039] - 聚合浸渍所述纤维增强材料的液体(甲基)丙烯酸类组合物。
- [0040] - 热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件通过低压注塑、灌注成型或通过模塑用(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物复合材料预浸渍的条带来制造。
- [0041] - 热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件在小于150℃、优选小于120℃、甚至更优选小于100℃的温度下制造。实际上,在由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件的制造过程中使用的液体(甲基)丙烯酸类组合物在远低于常规热塑性塑料的常规熔点的温度下为液体。由此,这使得能够生产非常大尺寸的风力涡轮机叶片部件,而无需实施将所述部件加热至高温的过程。
- [0042] - 该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质通过选自以下的技术来熔融:超声波焊接、感应焊接、电阻丝焊接、搅拌摩擦焊接、激光焊接、通过红外或紫外辐射加热,优选通过电阻丝焊接。
- [0043] - 在加热步骤过程中,组装界面处的温度为160至300℃。
- [0044] 本发明的其它优点和特征将在参照附图阅读作为说明性和非限制性实例给出的以下描述时变得显而易见,所述附图描绘了:
- [0045] 图1:风力涡轮机安装。
- [0046] 图2:风力涡轮机叶片的截面的简化透视图,其包含(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物复合材料和焊接型界面。
- [0047] 图3:包含焊接型界面的(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物复合材料板材与加强构件之间的连接区域的放大简化视图。
- [0048] 图4:本发明的制造方法的优选实施方案的流程图。具有虚线的步骤是任选的。
- [0049] 图5:描述构成风力涡轮机叶片的不同部件的分解透视图的简化图。
- [0050] [发明详述]
- [0051] 在说明书的剩余部分中,“焊接型界面”对应于部件、或部件的一部分之间的焊接接头。其是指熔融区域,也就是说热塑性聚合物在焊接操作过程中称为液态的区域。本发明的焊接可以在提供或不提供热塑性填充材料,尤其是(甲基)丙烯酸类热塑性填充材料的情况下进行。
- [0052] 本发明的“工字梁”对应于具有I或H形式的横截面的结构。“I”的水平元件被称为翼缘,而垂直元件被称为腹板。本发明的工字梁优选由热塑性聚合物复合材料形成。
- [0053] 对本发明而言,术语“电阻丝”是指包含电阻率在20℃下大于 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ 、例如在20℃下大于 $0.1 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ 的材料的长丝。该电阻丝例如可以包含金属或金属合金或基于碳的任何其它有机导电元件,如基于炭黑、碳纳米管、石墨烯的导电聚合物膜或线材。优选地,该电阻丝具有高熔点,大于本发明的(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物的软化点或倾点(例如玻璃化转变温度)。该电阻丝的的熔点优选大于300℃、更优选大于500℃、例如大于750℃。在导电聚合物膜或线材的情况下,其必须具有至少等于该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物的倾点。
- [0054] 对本发明而言,表述“聚合物复合材料”表示包含至少两种不混溶的组分的多组分材料,其中至少一种组分是聚合物,另一种组分可以例如是纤维增强材料。
- [0055] 对本发明而言,“纤维增强材料”或“纤维质基材”是指多个纤维、单向粗纱或连续长丝毡、织物、毛毡或无纺织物,其可以为条带、网幅、穗带、股线或部件形式。

[0056] “基质”是指充当粘合剂的材料,其能够将力传递至该纤维增强材料。“聚合物基质”包含聚合物,但还可以包含其它化合物或材料。由此,该“(甲基)丙烯酸类聚合物基质”是指丙烯酸和甲基丙烯酸类的任何类型的化合物、聚合物、低聚物、共聚物或嵌段共聚物。但是,如果(甲基)丙烯酸类聚合物基质包含至多10重量%、优选小于5重量%的其它非丙烯酸类单体的话,将不脱离本发明的范围,所述非丙烯酸类单体选自例如:丁二烯、异戊二烯、苯乙烯、取代苯乙烯如 $\alpha$ -甲基苯乙烯或叔丁基苯乙烯、环硅氧烷、乙烯基萘和乙烯基吡啶。

[0057] “聚合物”是指共聚物或均聚物。“共聚物”是指几种不同的单体单元组合在一起的聚合物,“均聚物”是指相同的单体单元组合在一起的聚合物。“嵌段共聚物”是指包含每种单独的聚合物实体的一个或多个不间断序列的聚合物,该聚合物序列在化学上彼此不同,并通过共价键彼此键合。这些聚合物序列也被称为聚合物嵌段。

[0058] 对本发明而言,术语“自由基引发剂”是指可以启动/引发一种或多种单体的聚合反应的化合物。

[0059] 对本发明而言,术语“聚合”是指单体或单体的混合物转化为聚合物的过程。

[0060] 对本发明而言,术语“单体”是指可以发生聚合的分子。

[0061] 对本发明而言,“热塑性聚合物”是指在室温下通常为固体的聚合物,其是结晶、半结晶或无定形的,该聚合物在升温过程中,特别是在达到其玻璃化转变温度(Tg)后软化,并在更高温度下流动,并在达到其“熔点”(Tm)(当其为半结晶的时)可以表现出明显的熔融,在低于其熔点且低于其玻璃化转变温度的降温过程中再次变成固体。这也适用于通过(甲基)丙烯酸酯“浆液”的配方中以优选小于10%、优选小于5%和更优选小于2%的重量比存在多官能单体或低聚物而略微交联的热塑性聚合物,其在加热至高于软化点时可以热成形。

[0062] 对本发明而言,“热固性聚合物”是指通过聚合不可逆地转化为不溶性聚合物网络的塑料材料。

[0063] “(甲基)丙烯酸类单体”是指任何类型的丙烯酸和甲基丙烯酸类单体。

[0064] “(甲基)丙烯酸类聚合物”是指基本上包含(甲基)丙烯酸类单体的聚合物,该单体占所述(甲基)丙烯酸类聚合物的至少50重量%或更多。

[0065] 对本发明而言,术语“PMMA”表示甲基丙烯酸甲酯(MMA)的均聚物和共聚物,PMMA中MMA的重量比优选对MMA共聚物为至少70重量%。

[0066] 在说明书的剩余部分中,相同的附图标记用于指示相同的元件。

[0067] 根据第一方面,本发明涉及风力涡轮机叶片,其结构包含含有纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质的热塑性聚合物复合材料。

[0068] 构成渗透纤维增强材料的基质的一部分的(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物可以选自丙烯酸类的聚合物和共聚物,如聚丙烯酸酯。它们更特别选自聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)或其衍生物或甲基丙烯酸甲酯(MMA)的共聚物,或其混合物。

[0069] 优选地,构成该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质的(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物具有50°C至160°C、优选70°C至140°C和甚至更优选90°C至120°C的玻璃化转变温度(Tg)。这方面赋予其超出其它热塑性聚合物如聚胺的优势。实际上,聚胺通常具有非常高的熔点,即200°C至更高,这不像本发明的方法那样有利于现场组装。玻璃化转变温度或熔点可以通过本领域技术人员公知的方法来测量。优选地,这些温度通过差示扫描量热法根据用于Tg的标准ISO 11357-2/2013和用于Tm的标准ISO 11357-3/2011中规定的条件测得。此外,该

(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物或一部分(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物具有小于20克/10分钟的根据ISO 1133 (230°C/3.8 kg)的熔体流动指数(MFI)。优选地,该熔体流动指数小于18克/10分钟、更优选小于16克/10分钟、有利地小于13克/10分钟。

[0070] 此外,优选地,本发明的风力涡轮机叶片不包含超过50重量%、更优选不超过40重量%、更优选不超过30重量%、有利地不超过20重量%、更有利地不超过15重量%和甚至更有利地不超过10重量%的热固性聚合物如环氧或聚酯或聚氨酯树脂。迄今为止,热固性聚合物通常用于制造用于形成风力涡轮机叶片或风力涡轮机叶片部件的聚合物复合材料。同样,优选地,本发明的风力涡轮机叶片不包含超过10重量%、更优选不超过9重量%和甚至更优选不超过8重量%、有利地不超过7重量%、更有利地不超过6重量%和甚至更有利地不超过5重量%的粘合剂,优选热固性粘合剂。实际上,通常用环氧树脂类型的热固性结构粘合剂来进行不同的风力涡轮机叶片部件的粘性粘结。

[0071] 在本发明的背景下,使用包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质的热塑性聚合物复合材料板材能够显著降低风力涡轮机叶片中使用的热固性聚合物的量,并开辟了尚未考虑用于热固性聚合物复合材料的板材的可能性,如大部分叶片的回收以及便利的现场安装或维修。

[0072] 如下文将要详细描述的那样,该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质可以获自包含(甲基)丙烯酸类单体或(甲基)丙烯酸类单体的混合物、前体(甲基)丙烯酸类聚合物和至少一种自由基引发剂的液体(甲基)丙烯酸类组合物的聚合。

[0073] 该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质由(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物构成,但是可以进一步包含一种或多种添加剂和/或一种或多种填料。

[0074] 该碳质填料特别可以是活性炭、天然无烟煤、合成无烟煤、炭黑、天然石墨、合成石墨、碳质纳米填料或其混合物。它们优选选自碳质纳米填料,特别是石墨烯和/或碳纳米管和/或碳纳米微纤丝或其混合物。这些填料能够导电和导热,并因此能够在加热时改善该聚合物基质的润滑。它们随后能够缩短循环时间或便于在安装现场的组装、调整或维修。

[0075] 该矿物填料特别包括金属氢氧化物,其更特别为三水合氧化铝( $Al(OH)_3$ )或氢氧化镁( $Mg(OH)_2$ )或氧化镁( $MgO$ )的形式,氢氧化钙和矿物填料如碳酸钙、二氧化钛或二氧化硅或矿物纳米填料如纳米二氧化钛或纳米二氧化硅。

[0076] 作为添加剂,可以提及有机添加剂如冲击强度改性剂或嵌段共聚物、热稳定剂、UV稳定剂、润滑剂、粘度改性剂、pH调节剂(氢氧化钠)、粒度调节剂(硫酸钠)、杀生物剂及其混合物。这些添加剂特别能够改善该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质的流变、化学和粘附性质。

[0077] 所有添加剂和填料相对于(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质的总重量的重量百分比优选小于30%、优选小于10%。

[0078] 纤维增强材料通常是指多个纤维、单向粗纱或连续长丝毡、织物、毛毡或无纺布,其可以为条带、网幅、穗带、股线或部件形式。

[0079] 纤维增强材料包含一种或多种纤维,通常为数种纤维的组装件,所述组装件可以具有不同的形式和尺寸;一维、二维或三维。一维形式对应于线性长纤维。该纤维可以是不连续的或连续的。该纤维可以以连续长丝形式随机地或彼此平行地排列。二维形式对应于非织造增强材料或纤维毡或织造粗纱或纤维束,其也可以是编织的。即使二维形式具有特

定的厚并因此在原则上时三维的,其根据本发明也被视为二维的。三维形式例如对应于堆叠或折叠的非织造增强材料或纤维毡或织造粗纱或纤维束,或其混合物;一种二维形式在三维中的组装件。

[0080] 该纤维可以是不连续的或连续的。当该纤维是连续的时,其组装件形成织物。优选地,该纤维增强材料基于连续纤维。纤维由其纵横比来定义,纵横比是纤维长度与直径之间的比。本发明中使用的纤维是获自连续纤维的长纤维,或连续纤维。该纤维具有至少1000、优选至少1500、更优选至少2000、有利地至少3000和更有利地为至少5000、甚至更有利地为至少6000、甚至更有利地为至少7500和最有利地为至少10 000的纵横比。该连续纤维具有至少1000的纵横比。纤维的尺寸可以通过本领域技术人员公知的方法来测量。优选地,这些尺寸根据标准ISO 137通过显微镜法来测量。

[0081] 构成该纤维增强材料的纤维的来源可以是天然或合成的。可以提及的天然材料包括植物纤维、木纤维、动物纤维或矿物纤维。植物纤维是例如剑麻、黄麻、大麻、亚麻、棉花、椰子和香蕉纤维。动物纤维是例如羊毛或毛皮。矿物纤维也可以选自玻璃纤维(特别是E、R或S2型)、玄武岩纤维、碳纤维、硼纤维或二氧化硅纤维。

[0082] 可以提及的合成材料包括选自热固性聚合物纤维、热塑性聚合物或其混合物的聚合物纤维。该聚合物纤维可以由聚酰胺(脂族或芳族)、聚酯、聚乙烯醇、聚烯烃、聚氨酯、聚氯乙烯、聚乙烯、不饱和聚酯、环氧树脂和乙烯基酯组成。

[0083] 优选地,本发明的纤维增强材料单独或以混合物形式包含植物纤维、木纤维、动物纤维、矿物纤维、合成聚合物纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维和碳纤维。更优选地,本发明的纤维增强材料包含碳纤维或玻璃纤维。更优选地,本发明的纤维增强材料基本上由碳纤维或玻璃纤维组成。

[0084] 该纤维增强材料的纤维具有例如0.005  $\mu\text{m}$ 至100  $\mu\text{m}$ 、优选1  $\mu\text{m}$ 至50  $\mu\text{m}$ 、更优选5  $\mu\text{m}$ 至30  $\mu\text{m}$ 和有利地为10  $\mu\text{m}$ 至25  $\mu\text{m}$ 的直径。

[0085] 优选地,本发明的纤维增强材料的纤维对该纤维增强材料的一维形式而言选自连续纤维,或对该纤维增强材料的二维或三维形式而言选自长纤维或连续纤维。

[0086] 图1显示了具有水平轴的常规风力涡轮机100,其包含桅杆101、机舱102和具有基本水平的转子轴的转子。该转子包含轮毂103和三个由该轮毂103径向延伸的风力涡轮机叶片1,各自具有最靠近轮毂103的风力涡轮机叶片的根部104和最远离轮毂103的风力涡轮机叶片的尖端105。该转子由风能驱动;其直接或间接(经由齿轮倍速器)连接到机械系统上,所述机械系统将利用收集的能量(泵、发电机等等)。

[0087] 如图1中可见,风力涡轮机叶片1通常具有在风力涡轮机叶片的尖端105与根部104之间改变的横截面形状,对应于连接区域。该风力涡轮机叶片1包含限定下表面11和上表面12以及前缘4和后缘5的外壳。该外壳(至少部分限定了风力涡轮机叶片1的外表面)至少部分由热塑性聚合物复合材料的板材3形成。该外壳例如更特别地由与加强构件6相连的热塑性聚合物复合材料的板材3形成。或者,该加强构件6可以完全被热塑性聚合物复合材料的板材3包围并由此不参与形成该外壳。

[0088] 热塑性聚合物复合材料的板材3可以采用各种形式,如条带、片材、板材或更广义而言的刚性聚合物复合材料部件。

[0089] 热塑性聚合物复合材料的板材3可以进一步施以后续处理,其目的在于强化外壳

和改善其机械与化学性质。该处理可以例如特别位于风力涡轮机叶片1的外表面的某些区域上,如沿着前缘4。在这种情况下,该处理可以包括沉积覆盖该前缘4的塑料或金属的保护层。

[0090] 如图2中所示,该风力涡轮机叶片1在所述风力涡轮机叶片1内部还包含至少一个由热塑性聚合物复合材料制成的纵向加强构件6,其沿着该风力涡轮机叶片的纵轴A延伸。该加强构件6设置在限定该前缘4的至少一个板材与限定该后缘5的至少一个板材之间。

[0091] 如图2中所示,本发明的风力涡轮机叶片可以具有由焊接到加强构件6上的单个整块部件形成的前缘。实际上,本发明,至少部分基于使用包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质的热塑性聚合物复合材料,能够产生在形式方面如图2中所示具有由焊接到加强构件6上的单个整块部件形成的前缘的形式方面和将在下文详述的组装方法方面新颖的风力涡轮机叶片设计。

[0092] 该板材元件3和加强构件连接以便一起形成该风力涡轮机叶片的外壳的至少一部分。

[0093] 与单独的热塑性聚合物复合材料板材相比,该加强构件6提供了提高的稳定性和局部刚度。该加强构件6在所述风力涡轮机叶片1内部沿着该风力涡轮机叶片的纵轴A延伸,以稳定其结构。优选地,该加强构件6包含热塑性聚合物复合材料,该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质。

[0094] 如图2中所示,该加强构件6具有“工字”梁形式,包括腹板51和通过腹板61彼此连接的两个翼缘62。该腹板可以由包含封装低密度结构的热塑性聚合物复合材料的组装件来形成。这种设置形成了夹心型结构,其中低密度结构被热塑性聚合物复合材料的一个或多个板材包围。或者,该加强构件6可以采取截面具有四边形形状(优选正方形或矩形)的管的形式,该形式由此可以对应于包含两个腹板和两个翼缘的加强构件。

[0095] 如图3中所示,该翼缘62可以由热塑性聚合物复合材料制成的条带63的堆叠形成,该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质。优选地,该翼缘62通过焊接型界面7连接到腹板61上。或者,该翼缘62可以通过环氧或聚酯或聚氨酯粘合剂连接到该腹板61上。

[0096] 图3描绘了将热塑性聚合物复合材料的板材连接到加强构件6上的焊接型界面7的放大视图。

[0097] 该焊接型界面7具有大于或等于0.5 mm、优选大于或等于1 mm、更优选大于或等于2 mm的厚度。

[0098] 该焊接型界面7的厚度可以通过常规方法,例如由所述焊接型界面7的垂直界面测得。

[0099] 当焊接型界面7能够将热塑性聚合物复合材料的板材连接到加强构件6上时,其沿着风力涡轮机叶片的纵轴A延伸。图3仅描绘了焊接型界面7的截面图,但后者优选在该加强构件的整个长度上延伸。由此,该焊接型界面可以具有大于5米、优选大于10米和甚至更优选大于20米的长度。

[0100] 在图3的描述中,还有可能了解在两个热塑性聚合物复合材料的板材3之间存在低密度结构8。实际上,优选地,至少部分构成外壳的热塑性聚合物复合材料的板材3封装低密度结构8。这种设置形成了夹心型结构,其中低密度结构8被一个或多个热塑性聚合物复合

材料的板材3包围。该低密度结构通常具有小于 $200 \text{ kg/m}^3$ 、优选小于 $150 \text{ kg/m}^3$ 和甚至更优选小于 $75 \text{ kg/m}^3$ 的密度。该低密度结构例如选自木材(如轻木)、蜂窝结构或膨胀或发泡的塑料(如膨胀聚苯乙烯或PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯)泡沫,或PVC(聚氯乙烯)泡沫)。

[0101] 根据另一方面,本发明涉及用于形成本发明的风力涡轮机叶片1的由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件2,其中该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质。

[0102] 优选地,该风力涡轮机叶片部件2的热塑性聚合物复合材料至少覆盖有至少1 mm、优选至少2 mm、更优选至少3 mm厚的(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物层,例如在意在被焊接的表面上。该热塑性聚合物复合材料更特别地在意在形成未来的焊接型界面的组装界面区域处覆盖有(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物的层。这尤其能够避免出现具有较低浓度的热塑性聚合物的区域。或者,该风力涡轮机叶片部件2可以具有至少一个覆盖有(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物的层的面。

[0103] 根据另一方面并如图5中所示,本发明涉及由至少两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件制造本发明的风力涡轮机叶片1的方法,该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,所述方法包括以下步骤:

[0104] - 在组装界面71处相邻或重叠布置220两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件,

[0105] - 在组装界面71处加热230以熔融该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,和

[0106] - 在界面处施加240压力以便将所述至少两个由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件焊接在一起,由此形成焊接型界面7。

[0107] 该(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质可以通过选自以下的技术来熔融:超声波焊接、感应焊接、电阻丝焊接、搅拌摩擦焊接、激光焊接、通过红外或紫外辐射加热。优选通过电阻丝焊接来熔融。本发明的焊接可以在提供或不提供(甲基)丙烯酸类热塑性填充材料的情况下进行。

[0108] 优选地,在加热步骤230的过程中,组装界面71处的温度为 $160$ 至 $300^\circ\text{C}$ 。该温度可以通过红外测温仪常规地测量。

[0109] 此外,用于制造本发明的风力涡轮机叶片的方法200可以包括制造由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件的在先步骤210,该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质。

[0110] 制造风力涡轮机叶片部件的步骤210方法包括以下子步骤:

[0111] - 用液体(甲基)丙烯酸类组合物浸渍211纤维增强材料,

[0112] - 聚合212浸渍所述纤维增强材料的液体(甲基)丙烯酸类组合物。

[0113] 本发明的优点之一在于由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件2可以在小于 $150^\circ\text{C}$ 、优选小于 $140^\circ\text{C}$ 、甚至更优选小于 $125^\circ\text{C}$ 、有利地小于 $120^\circ\text{C}$ 、更有利地小于 $110^\circ\text{C}$ 和甚至更有利地小于 $100^\circ\text{C}$ 的温度下制造。例如,用液体(甲基)丙烯酸类组合物浸渍该纤维增强材料的步骤在小于 $150^\circ\text{C}$ 、优选小于 $120^\circ\text{C}$ 、甚至更优选小于 $100^\circ\text{C}$ 或小于 $80^\circ\text{C}$ 的温度下进行。实际上,用于制造由热塑性聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件2的液体(甲基)丙烯酸类组合物在远低于常规热塑性塑料的常规熔点的温度下为液体。由此,这使得能够生产非常大尺寸的风力涡轮机叶片部件,而无需实施将所述部件加热至高温的过

程。由此,应当理解的是,可用于制造这些部件的方法不需要像使用常规热塑性塑料的情况那样的在高温下加热的步骤。

[0114] 制造风力涡轮机叶片部件2的步骤210还可以包含沉积(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物的层的子步骤213。这种沉积可以优选在意在形成未来的焊接型界面的组装界面区域处。或者,该沉积在整个风力涡轮机叶片部件2上进行。

[0115] 关于制造风力涡轮机叶片部件的步骤210,可以采用不同的方法来制造这些部件。可以提及真空辅助树脂灌注(VARI)、拉挤成型、真空灌注成型、加压灌注成型、高压釜成型、树脂传递成型(RTM)及其变体(如HP-RTM、C-RTM、I-RTM)、反应注塑成型(RIM)、增强反应注射成型(R-RIM)及其变体、冲压成型、压缩成型、液体压缩成型(LCM)或片材成型(SMC)或块状成型(BMC)。优选地,该聚合物复合材料制成的风力涡轮机叶片部件通过低压注塑、灌注成型或通过模塑(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物复合材料的条带,例如预浸渍条带来制造。

[0116] 制造风力涡轮机叶片部件的第一优选制造方法是通过在模具中浸渍该纤维增强材料将液体(甲基)丙烯酸类组合物转移到该纤维增强材料上的方法。需要模具的方法列举在上文中,并包括术语成型。

[0117] 制造风力涡轮机叶片部件的第二优选制造方法是在拉挤成型工艺中使用该液体组合物的方法。引导该纤维经过包含本发明的组合物的树脂浴(原文batch疑为bath之误)。纤维增强材料形式的纤维例如为单向粗纱或连续长丝毡的形式。在树脂浴中浸渍后,将湿纤维拉过加热的模头,在那里发生聚合。

[0118] 第三优选制造方法是真空辅助树脂灌注(VARI)。

[0119] 制造风力涡轮机叶片部件以及机械或结构部件或产品的方法可以进一步包括后成型步骤。后成型包括弯曲以及修改复合材料部件的形状。制造风力涡轮机叶片部件的方法可以进一步包括轧制步骤。

[0120] 通过本发明的方法获得的热塑性部件可以在本发明的液体组合物聚合后进行后成型。成型包括弯曲和修改复合材料部件的形状。

[0121] 关于该液体(甲基)丙烯酸类组合物,其可以如WO 2013/056845和WO 2014/013028中所述包含(甲基)丙烯酸类单体、前体(甲基)丙烯酸类聚合物和自由基引发剂。

[0122] 此外,在浸渍过程中,在制备聚合物复合材料时,必须调节和调整该液体(甲基)丙烯酸类组合物或浸渍浆液的粘度,以使其不会流动性太高或粘性太高,以便正确地浸渍该纤维增强材料的每根纤维。当由于浆液的流动性太高或粘性太高而部分润湿时,分别出现“裸露”区域(即未浸渍区域)和在该纤维上形成聚合物液滴的区域,这是气泡形成的原因。这些“裸露”区域和这些气泡导致在最终复合材料中出现缺陷,这些缺陷尤其是导致最终复合材料的机械强度降低的原因。此外,在不浸渍而使用的情况下,为了提高生产率,合意的是具有以良好的转化率快速聚合的液体组合物。

[0123] 由此,所述液体(甲基)丙烯酸类组合物在25°C下的动态粘度优选为10 mPa\*s至1000 mPa\*s。该液体组合物或该(甲基)丙烯酸类浆液的动力学黏度为10 mPa\*s至10000 mPa\*s、优选20 mPa\*s至7000 mPa\*s和有利地为20 mPa\*s至5000 mPa\*s。该液体(甲基)丙烯酸类组合物或液体(甲基)丙烯酸类浆液的粘度可以用流变仪或粘度计容易地测量。动态粘度在25°C下测量。如果该液体(甲基)丙烯酸类浆液表现出牛顿特性,即不发生剪切稀化,则该动态粘度与流变仪中的剪切或粘度计中心轴的速度无关。如果液体组合物表现出非牛顿行

为,即发生剪切稀化,该动态粘度在25℃下以 $1\text{ s}^{-1}$ 的剪切速率测量。

[0124] 作为(甲基)丙烯酸类单体,该单体选自丙烯酸、甲基丙烯酸、烷基丙烯酸类单体、烷基甲基丙烯酸类单体、羟烷基丙烯酸类单体和羟烷基甲基丙烯酸类单体,及其混合物。

[0125] 优选地,该(甲基)丙烯酸类单体选自丙烯酸、甲基丙烯酸、羟烷基丙烯酸类单体、羟烷基甲基丙烯酸类单体、烷基丙烯酸类单体、烷基甲基丙烯酸类单体及其混合物,该烷基基团含有1至22个直链、支链或环状的碳;该烷基优选含有1至12个直链、支链或环状的碳。

[0126] 有利地,该(甲基)丙烯酸类单体选自甲基丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸乙酯、丙烯酸甲酯、丙烯酸乙酯、甲基丙烯酸、丙烯酸、丙烯酸正丁酯、丙烯酸异丁酯、甲基丙烯酸正丁酯、甲基丙烯酸异丁酯、丙烯酸环己酯、甲基丙烯酸环己酯、丙烯酸异冰片酯、甲基丙烯酸异冰片酯、丙烯酸羟乙酯和甲基丙烯酸羟乙酯,及其混合物。

[0127] 根据一个优选实施方案,该(甲基)丙烯酸类单体的至少50重量%和优选至少60重量%是甲基丙烯酸甲酯。

[0128] 根据第一更优选的实施方案,该单体的至少50重量%、优选至少60重量%、更优选至少70重量%、有利地为至少80重量%和甚至更有利地为90重量%是甲基丙烯酸甲酯任选与至少一种其它单体的混合物。

[0129] 关于该前体(甲基)丙烯酸类聚合物,可以提及聚甲基丙烯酸烷基酯或聚丙烯酸烷基酯。根据一个优选实施方案,该前体(甲基)丙烯酸类聚合物是聚(甲基丙烯酸甲酯)(PMMA)。

[0130] 根据一个实施方案,该甲基丙烯酸甲酯(MMA)均聚物或共聚物包含至少70%、优选至少80%、有利地为至少90%和更有利地为至少95重量%的甲基丙烯酸甲酯。

[0131] 根据另一实施方案,该PMMA是MMA的至少一种均聚物和至少一种共聚物的混合物、或具有不同平均分子量的MMA的至少两种均聚物或两种共聚物的混合物、或具有不同单体组成的MMA的至少两种共聚物的混合物。

[0132] 甲基丙烯酸甲酯(MMA)的共聚物包含70重量%至99.7重量%的甲基丙烯酸甲酯和0.3重量%至30重量%的至少一种含有至少一个可以与甲基丙烯酸甲酯共聚的烯键式不饱和的单体。

[0133] 这些单体是公知的,并且特别可以提及丙烯酸和甲基丙烯酸以及(甲基)丙烯酸烷基酯,其中该烷基含有1至12个碳原子。例如可以提及丙烯酸甲酯和(甲基)丙烯酸乙酯、丁酯或2-乙基己酯。优选地,该共聚单体是丙烯酸烷基酯,其中该烷基含有1至4个碳原子。

[0134] 根据第一优选的实施方案,甲基丙烯酸甲酯(MMA)的共聚物包含80重量%至99.7重量%、有利地为90重量%至99.7重量%和更有利地为90重量%至99.5重量%的甲基丙烯酸甲酯,和0.3重量%至20重量%、有利地为0.3重量%至10重量%和更有利地为0.5重量%至10重量%的至少一种单体,该单体含有至少一个可以与该甲基丙烯酸甲酯共聚的烯键式不饱和。优选地,该共聚单体选自丙烯酸甲酯和丙烯酸乙酯及其混合物。

[0135] 该前体(甲基)丙烯酸类聚合物的重均分子量应当较高,意味着大于 $50\ 000\text{ g/mol}$ 、优选大于 $100\ 000\text{ g/mol}$ 。该重均分子量可以通过尺寸排阻色谱法测得。

[0136] 该前体(甲基)丙烯酸类聚合物完全溶于(甲基)丙烯酸类单体或溶于(甲基)丙烯酸类单体的混合物。这可以提高(甲基)丙烯酸类单体或(甲基)丙烯酸类单体的混合物的粘度。获得的液体组合物或溶液通常被称为“浆液”或“预聚物”。该液体(甲基)丙烯酸类浆液

的动态粘度值为10 mPa.s至10 000 mPa.s。该浆液的粘度可以用流变仪或粘度计容易地测量。动态粘度在25℃下测量。有利地,该液体(甲基)丙烯酸类浆液不含有意加入的附加溶剂。

[0137] 该液体(甲基)丙烯酸类组合物或该液体(甲基)丙烯酸类浆液中(甲基)丙烯酸类单体或(甲基)丙烯酸类单体的混合物以液体(甲基)丙烯酸类组合物中至少40重量%、优选至少45重量%、更优选至少50重量%、有利地为至少60重量%和更有利地为至少65重量%的量存在。

[0138] 该液体(甲基)丙烯酸类组合物或该液体(甲基)丙烯酸类浆液中的前体(甲基)丙烯酸类聚合物以液体(甲基)丙烯酸类组合物中至少10重量%、优选至少15重量%、有利地为至少18重量%和更有利地为至少20重量%的量存在。

[0139] 该液体(甲基)丙烯酸类组合物或该液体(甲基)丙烯酸类浆液中的前体(甲基)丙烯酸类聚合物以液体(甲基)丙烯酸类组合物中至多60重量%、优选至多50重量%、有利地为至多40重量%和更有利地为至多35重量%的量存在。

[0140] 该液体(甲基)丙烯酸类组合物或该浆液,该浆液化合物以下列重量百分比混入:

[0141] • 该液体组合物或该(甲基)丙烯酸类浆液中的(甲基)丙烯酸类单体以(甲基)丙烯酸类单体和(甲基)丙烯酸类聚合物所组成的组合物的40重量%至90重量%和优选45重量%至85重量%的比例存在,

[0142] • 该液体组合物或该(甲基)丙烯酸类浆液中的(甲基)丙烯酸类聚合物以(甲基)丙烯酸类单体和(甲基)丙烯酸类聚合物所组成的组合物的10重量%至60重量%和有利地为15重量%至55重量%的比例存在;优选地,该液体组合物中的(甲基)丙烯酸类聚合物以(甲基)丙烯酸类单体和(甲基)丙烯酸类聚合物所组成的组合物的18重量%至30重量%、更优选20重量%至25重量%的比例存在。

[0143] 关于自由基引发剂,可以提及优选水溶性的自由基聚合引发剂或脂溶性的或部分脂溶性的自由基聚合引发剂。

[0144] 水溶性自由基聚合引发剂特别是过硫酸氢钠、钾或铵,单独使用或在还原剂如焦亚硫酸钠或连二亚硫酸氢钠、硫代硫酸钠、甲醛次硫酸氢钠、2-羟基-2-亚磺基乙酸、亚硫酸钠和2-羟基-2-磺基乙酸的二钠盐的混合物、或羟基亚磺基乙酸的二钠盐和羟基磺基乙酸的二钠盐的混合物的存在下使用。

[0145] 脂溶性或部分脂溶性的自由基聚合引发剂特别是过氧化物或氢过氧化物和偶氮二异丁腈的衍生物。过氧化物或氢过氧化物与上述还原剂组合使用,以降低其活化温度。

[0146] 引发剂相对于单体混合物的总重量的重量百分比优选为0.05重量%至3重量%、优选0.1重量%至2重量%。

[0147] 如图5中所示,本发明的风力涡轮机叶片1可以包含多个由热塑性聚合物复合材料制成的部件2,其中该热塑性聚合物复合材料包含纤维增强材料和(甲基)丙烯酸类热塑性聚合物基质,并且其中所述风力涡轮机叶片部件2具有组装界面区域71,使得能快速和容易地将它们焊接到加强构件6上。

[0148] 由此,本发明提供了可以比常规风力涡轮机叶片更快制造的风力涡轮机叶片,同时是可回收的,并且在机械和化学稳定性方面令人满意。本发明还可以在安装现场容易和快速地组装、维修或调整。

[0149] 所有这些优点因此有助于降低此类风力涡轮机的生产和安装成本。

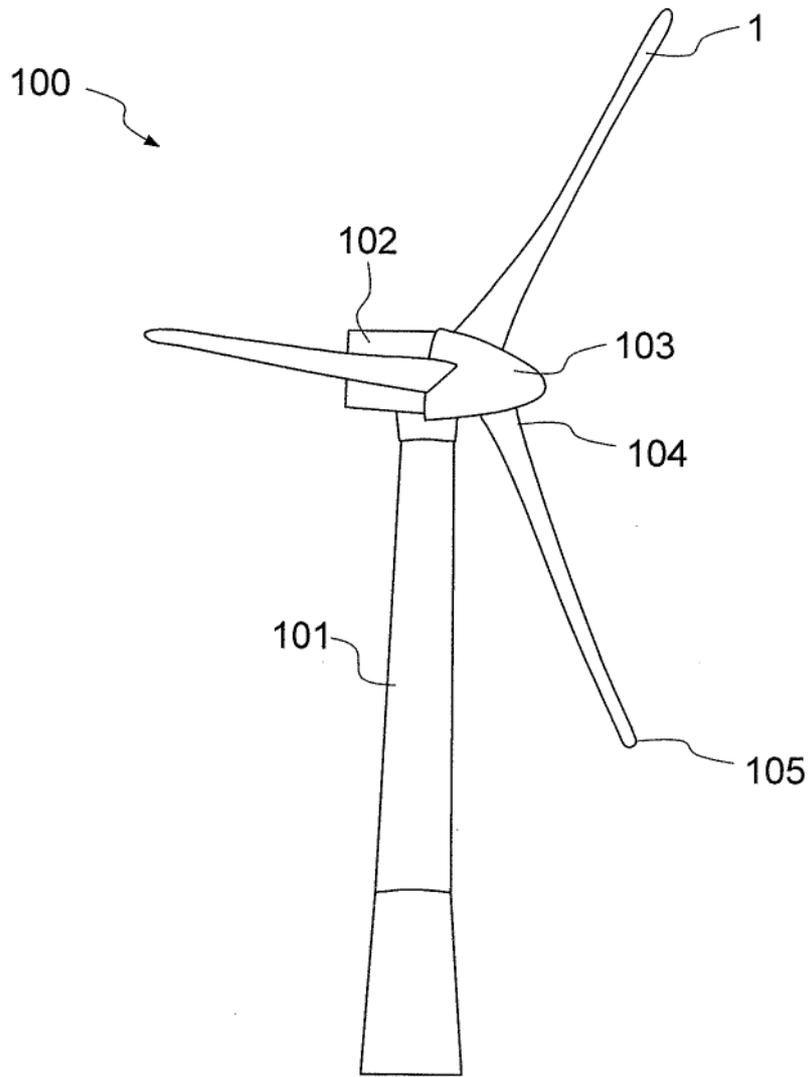


图 1

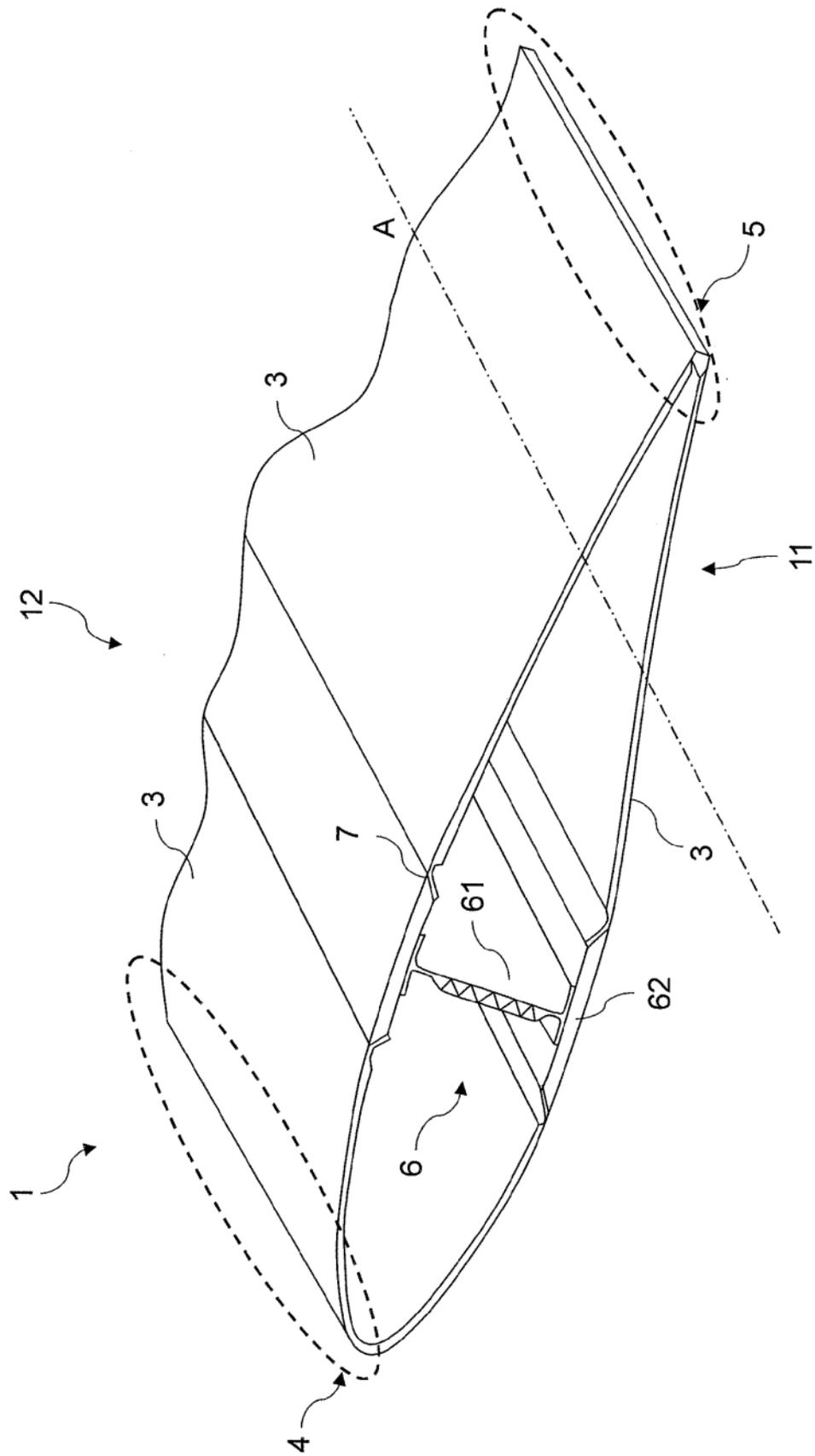


图 2

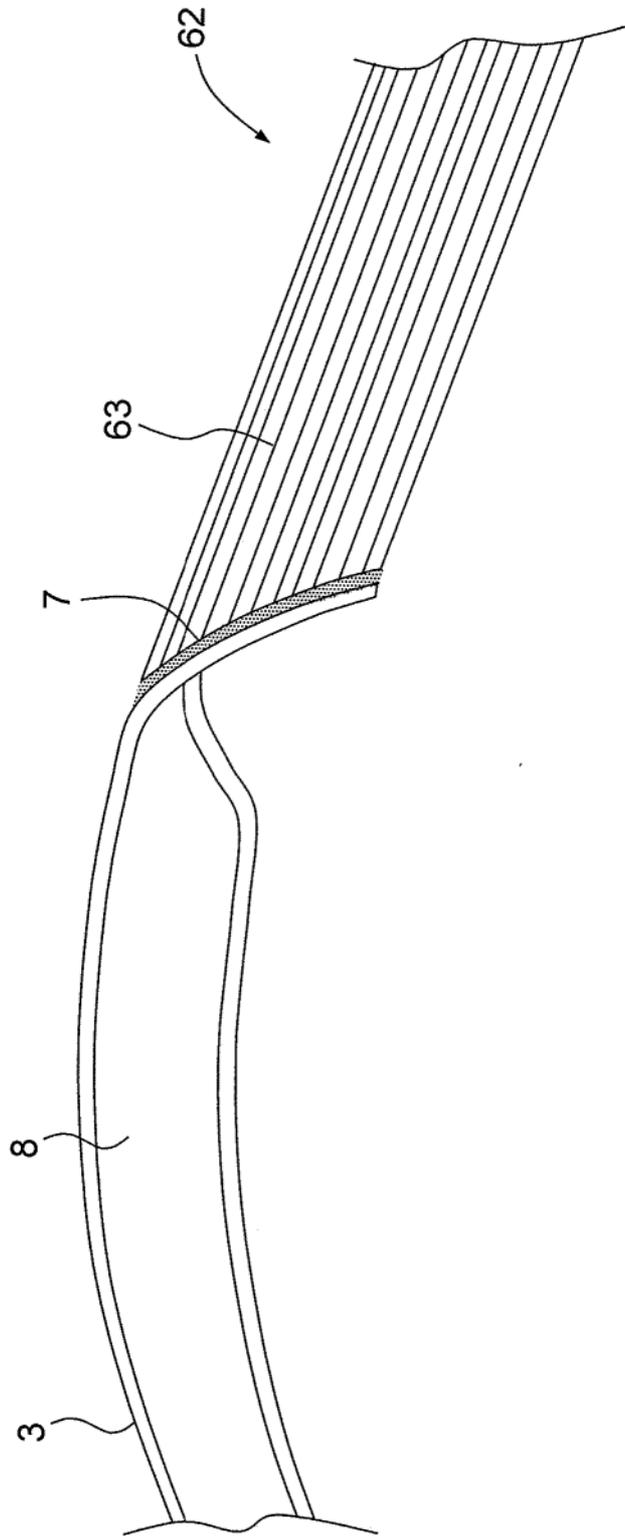


图 3

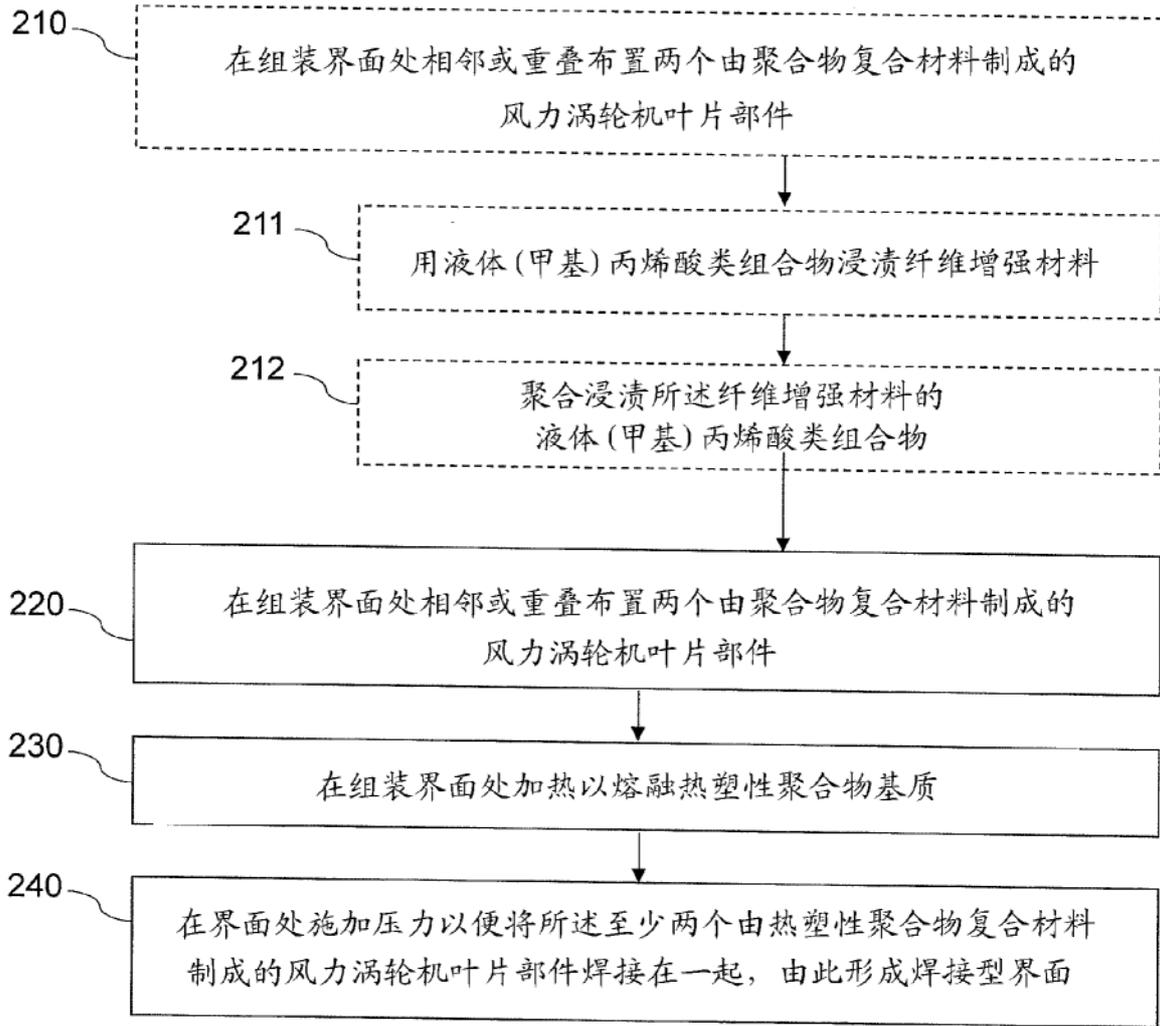


图 4

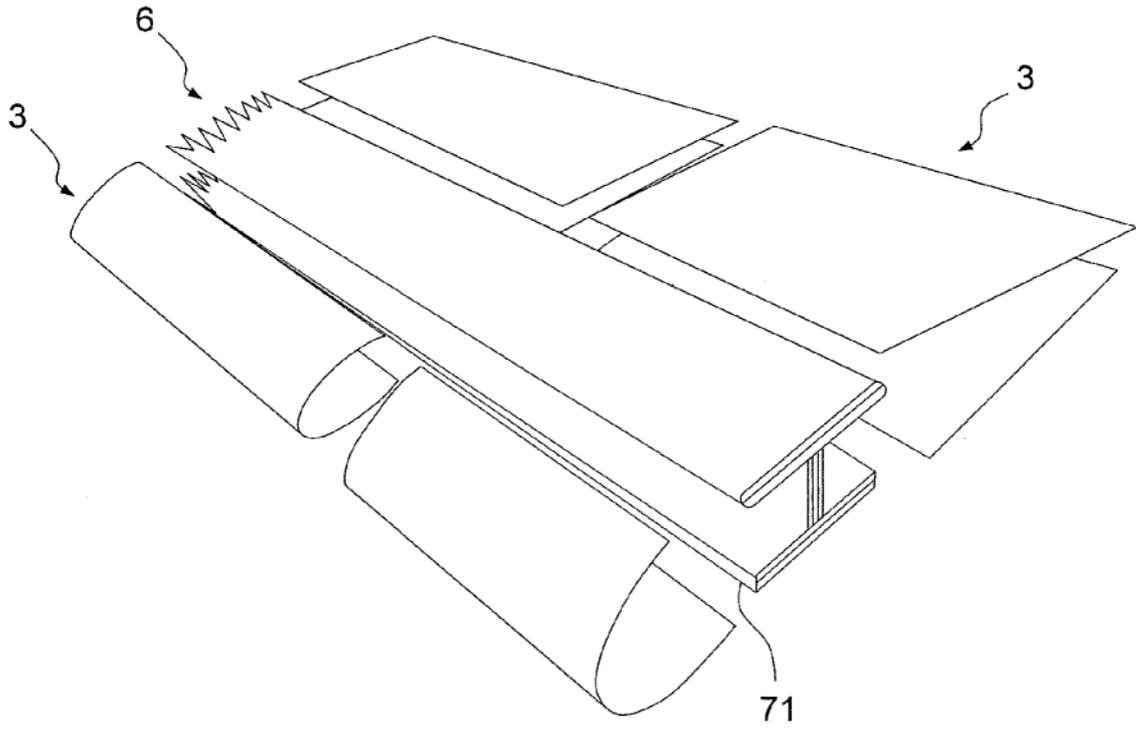


图 5