



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115151701 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 04

(21) 申请号 202180016674.9

(22) 申请日 2021.02.25

(30) 优先权数据

62/981,760 2020.02.26 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.08.25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/019571 2021.02.25

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2021/173776 EN 2021.09.02

(71) 申请人 欧文斯科宁知识产权资产有限公司

地址 美国俄亥俄

(72) 发明人 J·普里斯特 D·哈特曼

M·科文埃德森 M·纳加拉简

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所

有限公司 11038

专利代理师 王海宁

(51) Int.Cl.

E04C 5/07 (2006.01)

B29C 70/52 (2006.01)

B29D 99/00 (2006.01)

B44C 3/00 (2006.01)

C03C 13/00 (2006.01)

C04B 14/42 (2006.01)

B29C 59/02 (2006.01)

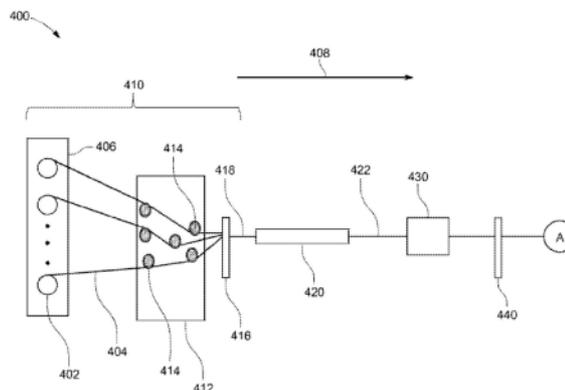
权利要求书2页 说明书14页 附图11页

(54) 发明名称

具有改进模量的复合材料部件

(57) 摘要

公开了一种高模量复合材料部件,其包含聚合物树脂和多个高性能单向玻璃纤维。所述高性能单向玻璃纤维具有至少89GPa的弹性模量以及至少4000MPa的拉伸强度,根据ASTM D2343-09。所述复合材料部件包含不超过88%的纤维重量分数(FWF)以及至少60GPa的弹性模量,根据ASTM D7205。



1. 一种高模量复合材料部件,包含:
聚合物树脂;和
多个高性能单向玻璃纤维,其弹性模量为至少89GPa,拉伸强度为至少4000MPa,根据ASTM D2343-09;所述复合材料部件包含不超过88%的纤维重量分数(FWF),和至少60GPa的弹性模量,根据ASTM D7205。
2. 根据权利要求1所述的高模量复合材料部件,其中所述聚合物树脂选自聚氨酯、丙烯酸、聚酯、乙烯基酯和环氧树脂。
3. 根据权利要求1所述的高模量复合材料部件,其中所述高模量复合材料部件包括增强筋、栏杆、电杆、管道、横臂、基础设施、电缆、电信应用、梯栏。
4. 根据权利要求1任一项所述的高模量复合材料部件,其中所述高性能玻璃纤维由基本上不含 B_2O_3 和氟的组合物形成。
5. 根据权利要求1所述的高模量复合材料部件,其中所述高性能玻璃纤维的拉伸强度为至少4800MPa,根据ASTM D2343-09。
6. 根据权利要求1所述的高模量复合材料部件,其中所述高性能玻璃纤维的弹性模量为至少90GPa。
7. 根据权利要求1所述的高模量复合材料部件,其中所述高性能玻璃纤维的比模量为约32.0MJ/kg至约37.0MJ/kg。
8. 根据权利要求1所述的高模量复合材料部件,其中所述高模量复合材料部件包含至少60GPa的弹性模量,根据ASTM D7205。
9. 根据权利要求1所述的高模量复合材料部件,其中所述高模量复合材料部件包含至少50GPa的弯曲模量,根据ASTM D790。
10. 根据权利要求1所述的高模量复合材料部件,其中所述高模量复合材料部件包含至少50GPa的拉伸模量,根据ASTM D7205。
11. 一种用于形成高模量复合材料部件的方法,包括:
从输入源拉拔一束高性能单向玻璃纤维,所述纤维包含至少89GPa的弹性模量和至少4500MPa的拉伸强度,根据ASTM D2343-09;
使该束通过聚合物树脂材料浴,形成树脂涂覆的束;
牵引所述树脂涂覆的束穿过成型模具;和
固化所述树脂涂覆的束,形成高模量复合材料部件,其包含不超过88%的纤维重量分数(FWF)和至少60GPa的弹性模量,根据ASTM D7205。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中所述聚合物树脂选自聚酯、乙烯基酯和环氧树脂。
13. 根据权利要求11所述的方法,其中所述高模量复合材料部件包括增强筋、栏杆、电杆、管道、横臂、基础设施、电缆、电信应用、梯栏。
14. 根据权利要求11所述的方法,其中所述高性能玻璃纤维由基本上不含 B_2O_3 和氟的组合物形成。
15. 根据权利要求11所述的方法,其中所述高性能玻璃纤维具有至少4800MPa的拉伸强度。
16. 根据权利要求11所述的方法,其中所述高性能玻璃纤维具有至少90GPa的弹性模

量。

17. 根据权利要求11所述的方法,其中所述高性能玻璃纤维具有约32.0MJ/kg至约37.0MJ/kg的比模量。

18. 根据权利要求11所述的方法,其中所述高模量复合材料部件包含至少60GPa的弹性模量,根据ASTM D7205。

19. 根据权利要求11所述的方法,其中所述高模量复合材料部件包含至少50GPa的弯曲模量,根据ASTM D790。

20. 根据权利要求11所述的方法,其中所述高模量复合材料部件包含至少50GPa的拉伸模量,根据ASTM D7205。

具有改进模量的复合材料部件

相关申请的交叉引用

[0001] 本申请要求2020年2月26日提交的美国临时专利申请第62/981,760号的优先权和所有权益,通过引用将其整体公开完全并入本文。

技术领域

[0002] 本发明总体上涉及复合材料部件,更具体地涉及由高性能玻璃纤维构成的高模量复合材料部件,例如用于混凝土的加强筋(“增强筋”)。

背景技术

[0003] 混凝土是最常见的建筑材料之一。它用于各种结构,例如桥梁、墙壁、地板、建筑支撑物、道路和跑道等。混凝土具有优异的抗压强度,但是具有很差的拉伸强度。因此,如果混凝土结构将承受拉伸应力,例如由弯曲载荷产生的那些应力,则几乎总是需要加强混凝土结构。传统上,通过将金属(通常以钢筋的形式)纳入混凝土中来提供这种加强,以便改善混凝土结构的拉伸强度。

[0004] 至少在某些应用中,混凝土结构中的钢筋存在许多缺点。例如,当暴露于水和盐时,钢筋会随着时间推移而腐蚀。随着钢腐蚀,由于锈层的形成,它往往会膨胀,这导致混凝土开裂和混凝土结构衰败。因此,人们试图采用至少部分由非金属材料制成的筋代替钢筋。例如,已经开发了包括嵌入连续纤维的热固性树脂的挤拉复合加强材料。

[0005] 纤维加强的复合材料(例如复合增强筋)典型包括嵌入树脂基质(例如聚合物,如不饱和聚酯或环氧乙烯基酯)中的纤维加强材料(例如玻璃纤维、聚合物纤维或碳纤维)。纤维加强材料典型包括纱线或丝束(它们各自都包括大量纤维或纤丝)以及一个或多个纤维垫或纤维网。

[0006] 此类纤维加强复合材料通常是通过拉挤工艺生产,并且具有线性或均匀轮廓。传统的拉挤工艺涉及从加强材料的来源拉拔一束加强材料,通过使加强材料通过开放式槽中的树脂浴来润湿和浸渍纤维(优选地用热固性聚合物树脂),将树脂润湿和浸渍的纤维束牵引通过成型模具以便排列纤维束并将其操控成适当的横截面构造,并在模具中固化树脂,同时保持纤丝上的张力。

[0007] 一些纤维加强的复合材料,例如增强筋(rebar),需要耐腐蚀,并且传统上使用耐腐蚀性玻璃纤维(或E-CR玻璃纤维)制造。E-CR型玻璃纤维是一类铝硅酸盐玻璃,其表现出高的耐水性、耐酸性和耐碱性。已知E-CR玻璃是无硼的改性E-玻璃组合物,其具有较高的耐酸腐蚀性,包含铝硅酸钙和约1%的碱金属氧化物。在需要强度、导电性和耐酸腐蚀的情况下典型使用E-CR玻璃。

[0008] 无硼E-CR玻璃纤维的一个例子以商标 **ADVANTEK[®]** (Owens Corning, Toledo, Ohio, USA) 出售。这样的无硼纤维(公开于美国专利US 5,789,329并且通过引用将其整体并入本文)与含硼的E玻璃相比提供了工作温度的显著改善。E-CR玻璃纤维属于ASTM对用于一般用途的E-玻璃纤维的定义。

[0009] 为了使复合材料部件成为目前的钢解决方案的可行替代,该复合材料部件必须表现出提高的模量和优异的碱腐蚀耐受性。

[0010] 近期,已开发出一类玻璃纤维,称为高性能玻璃纤维,其关注于改善玻璃的力学性能。与传统的E玻璃纤维相比,高性能玻璃纤维具有更高的强度和刚度。弹性模量(与“杨氏模量”可互换)是纤维刚度的量度,定义了施加到材料的应力与该材料所产生的应变之间的关系。刚性材料具有高的弹性模量,并且在弹性载荷下其形状仅发生轻微变化。柔性材料具有低的弹性模量并且显著改变其形状。特别地,对于一些产品,刚度对模制和性能是至关重要的。

[0011] 虽然高性能玻璃是众所周知的,但这种性能改进是以耐腐蚀性能为代价。传统的高性能玻璃使用助熔剂来降低熔点并改善其成型窗口或德尔塔T(“ ΔT ”)。已知这些助熔剂(如锂、硼和氟)对碱性腐蚀性能具有负面影响。因此,传统的高性能玻璃在增强筋应用中的使用受到了限制。事实上,目前还没有可用于需要耐腐蚀性的纤维加强复合材料的高性能类型玻璃。因此,期望开发利用高性能玻璃的纤维加强复合材料,同时保持碱腐蚀耐受性,从而改善复合材料部件(例如增强筋和梯栏)的物理性能。

发明内容

[0012] 考虑随后的详细描述,本发明的上述和其它目的、特征和优点将在下文中将更充分地呈现。

[0013] 本发明构思的各个方面针对于一种高模量复合材料部件,其包含聚合物树脂和多个高性能单向玻璃纤维。所述高性能单向玻璃纤维的弹性模量为至少89GPa,并且拉伸强度为至少4500MPa,根据ASTM D2343-09。所述复合材料部件的纤维重量分数(FWF)不大于88%,并且弹性模量为至少60GPa,根据ASTM D7205测量。

[0014] 在一些示例性实施方案中,聚合物树脂选自聚氨酯、丙烯酸、聚酯、乙烯基酯和环氧树脂。

[0015] 所述高模量复合材料部件可以包括增强筋、栏杆、电杆、管道、横臂、基础设施、电缆、电信应用、梯栏等。

[0016] 在一些示例性实施方案中,所述高模量复合材料包含由基本不含 B_2O_3 和氟的组合物形成的玻璃纤维。在这些或其它实施方案中,组合物不含 Li_2O 。

[0017] 高性能玻璃纤维的拉伸强度为至少4800MPa,并且弹性模量为至少90GPa。在一些示例性实施方案中,高性能玻璃纤维的比模量(即,用密度归一化的模量)为约32.0MJ/kg至约37.0MJ/kg。

[0018] 使用这样的高性能玻璃纤维形成的高模量复合材料部件包括至少60GPa的弹性模量(根据ASTM D7205),并且可包括至少50GPa的弯曲模量和至少50GPa的拉伸模量中的一种或多种(根据ASTM D7205),这具体取决于纤维含量和密度。

[0019] 本发明构思的各个方面还针对于一种用于形成高模量复合材料部件的方法,该方法包括从输入源拉拔一束高性能单向玻璃纤维。所述纤维包含至少89GPa的弹性模量和至少4500MPa的拉伸强度,根据ASTM D2343-09。该方法还包括使该束通过聚合物树脂材料浴,形成树脂涂覆的束;牵引所述树脂涂覆的束穿过成型模具;并且固化所述树脂涂覆的束,从而形成高模量复合材料部件,该部件包含不超过88%的纤维重量分数(FWF)和至少60GPa的

弹性模量,根据ASTM D7205。

[0020] 在一些示例性实施方案中,聚合物树脂选自聚酯、乙烯基酯和环氧树脂。

[0021] 在一些示例性实施方案中,高性能玻璃纤维由基本上不含 B_2O_3 和氟的组合物形成。在这些或其它实施方案中,该组合物可以不含 Li_2O 。

[0022] 在一些示例性实施方案中,高性能玻璃纤维的拉伸强度为至少4800MPa并且弹性模量为至少90GPa。

[0023] 在一些示例性实施方案中,高性能玻璃纤维的比模量为约32.0MJ/kg至约37.0MJ/kg。

[0024] 使用这样的高性能玻璃纤维形成的高模量复合材料部件包含至少60GPa的弹性模量,并且可以包含至少50GPa的弯曲模量和至少50GPa的拉伸模量中的一种或多种。

附图说明

[0025] 下面参考附图以示例的方式更详细地描述一般发明概念及其实施方案和优点,其中:

[0026] 图1A和1B是根据示例性实施方案用于制造复合材料杆的拉挤生产线的图示。

[0027] 图2图解示出了增强筋的有效弹性模量相对于用常规E-CR玻璃和高性能玻璃形成的复合材料的纤维重量分数的关系。

[0028] 图3A和3B示出了在不饱和聚酯和聚氨酯树脂中使用常规E-CR玻璃和高性能玻璃形成的复合材料部件的弯曲模量。

[0029] 图4A和4B示出了在不饱和聚酯和聚氨酯树脂中使用常规E-CR玻璃和高性能玻璃形成的复合材料部件的弯曲强度。

[0030] 图5A和5B示出了在不饱和聚酯和聚氨酯树脂中使用常规E-CR玻璃和高性能玻璃形成的复合材料部件的拉伸模量。

[0031] 图6A和6B示出了在不饱和聚酯和聚氨酯树脂中使用常规E-CR玻璃和高性能玻璃形成的复合材料部件的层间剪切强度。

具体实施方式

[0032] 尽管一般发明概念容许以许多不同形式的实施方案,在附图中显示并且将在本文中详细描述其具体实施方案,但是应理解,本公开内容应被认为是一般发明构思的原理的示例化。

[0033] 除非另有定义,否则本文使用的所有技术和科学术语具有与这些示例性实施方案所属领域的普通技术人员通常理解相同含义。在本文的描述中使用的术语仅用于描述示例性实施方案,并不意图限制所述示例性实施方案。因此,一般发明概念并不意图限于本文所示的具体实施方案。尽管在本发明的实施或测试中可以使用与本文所述类似或等效的其它方法和材料,但本文描述了优选的方法和材料。

[0034] 如说明书和所附权利要求书中所使用,单数形式“a”、“an”和“该”意图也包括复数形式,除非上下文另有明确说明。

[0035] 除非另有说明,否则说明书和权利要求书中使用的表示成分的量、化学和分子性质、反应条件等的所有数字应被理解为在所有情况下都被术语“约”修饰。因此,除非另有说

明,否则说明书和所附权利要求书中阐述的数值参数是近似值,其可根据寻求通过当前示例性实施方案获得的期望特性而变化。至少地应根据有效位数和普通舍入方法来解释每个数值参数。

[0036] 尽管阐述示例实施方案的宽广范围的数值范围和参数是近似值,但具体实例中阐述的数值尽可能精确地报告。然而,任何数值都固有地包含一定误差,这些误差必然是由于在它们各自的测试测量中存在的标准偏差而导致的。在本说明书和权利要求书中给出的每个数值范围将包括落入该较宽数值范围内的每个较窄数值范围,如同这些较窄数值范围均被明确写入本文。此外,实施例中报道的任何数值可用于限定本文所公开的较宽组成范围的上端点或下端点。

[0037] 本公开涉及一种高模量纤维加强复合材料部件(“高模量复合材料”),其包含聚合物基体和耐腐蚀、高性能玻璃,用于改善性能和成本效率,以及生产此类高模量复合材料的系统和方法。所述高模量复合材料实现了至少60GPa的模量,依照ASTM D7205测量,并且具有不大于85%的纤维重量分数(“FWF”)玻璃加载量。

[0038] 通过拉挤工艺(如下所述)形成所述高模量复合材料,其中连续的高性能玻璃纤维被供给通过模具,从而形成具有期望横截面的杆、条或其它线性加强构件。所述高模量复合材料可包括本领域已知的任何类型的拉挤复合材料,包括但不限于增强筋、栏杆、电杆、管道、横臂、基础设施、电缆、电信应用、梯栏等。

[0039] 典型地,加强构件的形状为具有圆形横截面的杆。这些杆可被切割成任何期望的长度。在一些示例性实施方案中,所述杆可被成形(例如弯曲)和/或与其它杆连接以形成更复杂的形状和结构。

[0040] 所述高模量复合材料包括连续高性能玻璃纤维的输入。“高性能玻璃纤维”是指玻璃纤维耐腐蚀,根据ASTM D2343-09,其拉伸强度为至少4000MPa,在某些情况下为至少4500MPa),弹性模量为至少89GPa。可以通过对依照以下报告中概述的声波测量工序测量的五个单玻璃纤维的测量值取平均来确定玻璃纤维的弹性模量:“Glass Fiber and Measuring Facilities at the U.S.Naval Ordnance Laboratory”,报告编号NOLTR 65-87,1965年6月23日。

[0041] 传统的高性能玻璃使用助熔剂,例如锂、硼和氟,已知这些助熔剂对耐腐蚀性具有负面影响。相比之下,本发明的高性能玻璃组合物包括低水平或至少基本上不含 B_2O_3 、 Li_2O 和氟。如本文所用,基本上不含 B_2O_3 、 Li_2O 和氟是指 B_2O_3 、 Li_2O 和氟的存在量总和可小于组合物的1.0重量%。 B_2O_3 、 Li_2O 和氟的存在量总和可小于组合物的约0.5重量%,包括小于约0.2重量%、小于约0.1重量%和小于约0.05重量%。然而,在一些示例性实施方案中,可以包括低水平的锂,例如0.1至2.0重量%。

[0042] 已惊奇地发现,可以开发出高性能玻璃纤维输入,其弹性模量为至少89GPa,并且耐腐蚀性(在腐蚀性介质中浸泡24小时之后表现出小于12%的重量损失,或者在腐蚀性介质中浸泡32天之后具有大于75%的强度保持率)足以用于传统上利用性能较低的传统E-CR玻璃纤维的应用,例如复合增强筋。

[0043] 纤维拉伸强度在本文中也简称为“强度”。在一些示例性实施方案中,根据ASTM D2343-09使用Instron拉伸测试设备在原始纤维(即,未施胶和未接触的实验室生产的纤维)上测量拉伸强度。示例性玻璃纤维的纤维拉伸强度可为至少4500MPa、至少4800MPa、至

少4900MPa、至少4950MPa、至少5000MPa、至少5100MPa、至少5150MPa和至少5200MPa。在一些示例性实施方案中,由上述组合物形成的玻璃纤维的纤维拉伸强度为约3500至约5500MPa,包括约4000至约5300MPa、约4600至约5250MPa。有利地,高性能玻璃纤维的拉伸强度为至少4800MPa,包括至少4900MPa和至少5000MPa。

[0044] 所述高性能玻璃纤维的弹性模量可为至少约85GPa,包括至少约88GPa、至少约88.5GPa、至少约89GPa和至少约89.5GPa。在一些示例性实施方案中,示例性玻璃纤维的弹性模量为约85GPa至约95GPa,包括约87GPa至约92GPa,以及约88GPa至约91GPa。可以通过对依照以下报告中概述的声波测量工序测量的五个单玻璃纤维的测量值取平均来确定玻璃纤维的弹性模量:“Glass Fiber and Measuring Facilities at the U.S.Naval Ordnance Laboratory”,报告编号NOLTR65-87,1965年6月23日。

[0045] 在一个或多个示例性实施方案中,所述高性能玻璃纤维的中高弹性模量为约90GPa至约92GPa。在一些示例性实施方案中,所述高性能玻璃纤维的弹性模量为至少90.5GPa,例如至少90.6GPa、至少90.8GPa、至少91.0GPa、至少91.2GPa。在一些示例性实施方案中,所述高性能玻璃纤维的弹性模量为约90.2GPa至约92GPa,包括约90.5GPa至约91.9GPa,以及约90.7GPa至约91.8GPa。

[0046] 然后可以使用该模量来测定比模量。期望具有尽可能高的比模量,以获得增加最终制品刚度的轻质复合材料。在产品刚度是一个重要参数的应用中,如混凝土用加强筋,比模量很重要。如本文所用,通过以下公式计算比模量:

$$\text{比模量 (MJ/kg)} = \text{模量 (GPa)} / \text{密度 (kg/m}^3\text{)}$$

[0047] 高性能玻璃纤维的比模量可为约32.0MJ/kg至约37.0MJ/kg,包括约33MJ/kg至约36MJ/kg,和约33.5MJ/kg至约35.5MJ/kg。

[0048] 可以通过本领域公知且普遍接受的任何方法测量密度,例如阿基米德法(ASTM C693-93(2008)),在未退火的块状玻璃上进行。玻璃纤维的密度为约2.0至约3.0g/cc。在其它示例性实施方案中,玻璃纤维的密度为约2.3至约2.8g/cc,包括约2.4至约2.7g/cc和约2.5至约2.65g/cc。

[0049] 此外,高性能玻璃纤维具有改进的碱腐蚀耐受性。可以通过本领域公知且普遍接受的任何方法来量化耐腐蚀性,例如通过测量玻璃纤维在下列之一中浸泡24小时后的重量损失(%):pH 12.88NaOH,10%HCl,或10%H₂SO₄。浸泡24小时后重量损失小于12%的玻璃纤维被认为具有改进的耐腐蚀性。也可以根据在下列之一中浸泡32天后的强度保持百分比(%)来量化耐腐蚀性:pH 12.88NaOH、10%HCl或10%H₂SO₄。浸泡32天后保持至少75%干纤维束强度的玻璃纤维被认为是耐腐蚀的。

[0050] 在一些示例性实施方案中,输入高性能玻璃纤维的直径在13μm至35μm的范围内。在一些示例性实施方案中,输入高性能玻璃纤维的直径在17μm至32μm的范围内。输入材料(例如,玻璃纤维、碳纤维)将典型具有施加于其上的胶料(sizing),该胶料与用于形成复合材料杆的树脂基体相容。

[0051] 在一些示例性实施方案中,玻璃含量将不大于拉挤杆的88重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃或混合纤维的含量将在拉挤杆的50重量%至88重量%的范围内。在一些示例性实施方案中,玻璃含量将在55重量%至86重量%的范围内,包括58重量%至85重量%,以及60重量%至80重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃含量将在拉挤部件的80重

量%至86重量%的范围内。

玻璃组合物

示例性玻璃组合物I

[0052] 所述高性能玻璃组合物可包括约55.0至约65.0重量%的 SiO_2 、约17.0至27.0重量%的 Al_2O_3 、约8.0至15.0重量%的 MgO 、约7.0至12.0重量%的 CaO 、约0.0至约1.0重量%的 Na_2O 、0至约2.0重量%的 TiO_2 、0至约2.0重量%的 Fe_2O_3 和不大于0.5重量%的 Li_2O 。

[0053] 在一些示例性实施方案中,玻璃组合物可包含约57.0至约62.0重量%的 SiO_2 、约19.0至约25.0重量%的 Al_2O_3 、约10.5至约14.0重量%的 MgO 、约7.5至约10.0重量%的 CaO 、约0.0至约0.5重量%的 Na_2O 、0.2至约1.5重量%的 TiO_2 、0至约1.0重量%的 Fe_2O_3 和不大于0.1重量%的 Li_2O 。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括小于2的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 比率和至少1.25的 MgO/CaO 比率。

[0054] 在一些示例性实施方案中,玻璃组合物可包含约57.5至约60.0重量%的 SiO_2 、约19.5至约21.0重量%的 Al_2O_3 、约11.0至约13.0重量%的 MgO 、约8.0至约9.5重量%的 CaO 、约0.02至约0.25重量%的 Na_2O 、0.5至约1.2重量%的 TiO_2 、0至约0.5重量%的 Fe_2O_3 和不大于0.05重量%的 Li_2O 。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括不大于1.8的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 比率和至少1.25的 MgO/CaO 比率。

[0055] 玻璃组合物包括至少55重量%,但不大于65重量%的 SiO_2 。包括大于65重量%的 SiO_2 导致玻璃组合物的粘度增加到不利的水平。此外,包括小于55重量%的 SiO_2 增加液相线温度和结晶倾向。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括至少57重量%的 SiO_2 ,包括至少57.5重量%、至少58重量%、至少58.5重量%和至少59重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括不大于60.5重量%的 SiO_2 ,包括不大于60.3重量%、不大于60.2重量%、不大于60重量%、不大于59.8重量%和不大于59.5重量%。

[0056] 为了同时实现期望的力学性能和纤维化性能,玻璃组合物的一个重要方面是具有至少19.0重量%且不大于27重量%的 Al_2O_3 浓度。包括大于27重量%的 Al_2O_3 导致玻璃液相线增加到高于纤维化温度的水平,从而这导致负的 ΔT 。包括小于19重量%的 Al_2O_3 形成具有不利低模量的玻璃纤维。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括至少19.5重量%的 Al_2O_3 ,包括至少19.7重量%、至少20重量%、至少20.25重量%和至少20.5重量%。

[0057] 玻璃组合物有利地包括至少8.0重量%且不大于15重量%的 MgO 。包括大于15重量%的 MgO 会导致液相线温度升高,这也增加玻璃的结晶倾向。如果用 CaO 替代,包括小于8.0重量%会形成具有不利低模量的玻璃纤维,如果用 SiO_2 替代,则粘度不利地增加。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括至少9.5重量%的 MgO ,包括至少10重量%、至少10.5重量%、至少11重量%、至少11.10重量%、至少11.25重量%、至少12.5重量%和至少13重量%的 MgO 。

[0058] 能够实现期望的力学性能和纤维化性能的本主题玻璃组合物的另一个重要方面是具有不大于2.0的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 比率。已经发现,在其它方面具有类似组成范围但 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 比率大于2.0的玻璃纤维不能实现至少4800MPa的拉伸强度,根据ASTM D2343-09。在某些示例性方面,至少19重量%的 Al_2O_3 浓度和不大于2(例如不大于1.9和不大于1.85)的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 比率的组合,能够实现具有期望纤维化性能和至少4800MPa的拉伸强度的玻璃纤维,根据ASTM D2343-09。

[0059] 所述玻璃组合物有利地包括至少7.0重量%且不大于12重量%的CaO。包括大于12重量%的CaO形成具有低弹性模量的玻璃。包括小于7重量%的氧化钙将不利地增加液相线温度或粘度,这取决于CaO被什么替代。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括至少8.0重量%的CaO,包括至少8.3重量%、至少8.5重量%、至少8.7重量%和至少9.0重量%。

[0060] 在一些示例性实施方案中, SiO_2 、 Al_2O_3 、MgO和CaO的总量为至少98重量%,或至少99重量%,并且不大于99.5重量%。在一些示例性实施方案中, SiO_2 、 Al_2O_3 、MgO和CaO的总量为98.3重量%至99.5重量%,包括98.5重量%至99.4重量%和98.7重量%至99.3重量%。

[0061] 在一些示例性实施方案中,MgO和CaO的总浓度为至少10重量%且不大于22重量%,包括13重量%至21.8重量%和14重量%至21.5重量%。在一些示例性实施方案中,MgO和CaO的总浓度为至少20重量%。

[0062] 玻璃组合物可以包括至多约2.0重量%的 TiO_2 。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括约0.01重量%至约1.0重量%的 TiO_2 ,包括约0.1重量%至约0.8重量%和约0.2重量%至约0.7重量%。

[0063] 玻璃组合物可以包括至多约2.0重量%的 Fe_2O_3 。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括约0.01重量%至约1.0重量%的 Fe_2O_3 ,包括约0.05重量%至约0.6重量%和约0.1重量%至约0.5重量%。

[0064] 在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括小于2.0重量%的碱金属氧化物 Na_2O 和 K_2O ,包括0至1.5重量%。玻璃组合物可以有利地包括 Na_2O 和 K_2O 两者,且每种氧化物的量大于0.01重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括约0至约1重量%的 Na_2O ,包括约0.01至约0.5重量%、约0.03至约0.3重量%和0.04至约0.1重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括约0至约1重量%的 K_2O ,包括约0.01至约0.5重量%、约0.03至约0.3重量%和0.04至约0.1重量%。

示例性玻璃组合物II

[0065] 在一些示例性实施方案中,所述高性能玻璃纤维由包括至少57重量%但不大于62重量%的 SiO_2 的玻璃组合物形成。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括至少或大于57.25重量%的 SiO_2 ,包括至少或大于57.5重量%、至少或大于58重量%以及至少或大于58.25重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括不大于60.5重量%的 SiO_2 ,包括不大于60.3重量%、不大于60.2重量%、不大于60重量%、不大于59.8重量%以及不大于59.5重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包含57.5重量%至小于59重量%的 SiO_2 。

[0066] 在这些或其它示例性实施方案中,为了实现期望的力学性能和纤维化性能,玻璃组合物的一个重要方面是 Al_2O_3 浓度为至少19.0重量%且不大于25.0重量%。包括小于19.0重量%的 Al_2O_3 会导致形成具有不利低模量的玻璃纤维。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括至少19.5重量%的 Al_2O_3 ,包括至少19.7重量%、至少20.0重量%、至少20.05重量%和至少20.10重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括不大于22.0重量%的 Al_2O_3 ,包括不大于21.8重量%、不大于21.6重量%、不大于21.2重量%、不大于21.1重量%和不大于21重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包含20.0重量%至小于21重量%的 Al_2O_3 。包括较高水平的 Al_2O_3 会增加结晶倾向。

[0067] 所述玻璃组合物有利地包括至少8.0重量%且不大于15重量%的MgO。包括大于15

重量%的MgO将导致液相线温度升高,这也增加了玻璃的结晶倾向。如果用CaO替代,包括小于8.0重量%会形成具有不利低模量的玻璃纤维,如果用SiO₂替代,则粘度不利地增加。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括至少9.5重量%的MgO,包括至少10重量%、至少10.5重量%、至少11重量%、至少11.10重量%和至少11.20重量%的MgO。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括不大于12.5重量%的MgO,例如不大于12.0重量%、不大于11.9重量%或不大于11.8重量%。在各种示范性实施方案中,玻璃组合物的MgO浓度为10.5重量%至小于12.0重量%。

[0068] 所述玻璃组合物有利地包括至少7.0重量%且不大于12重量%的CaO。包括大于12重量%的CaO会形成具有低弹性模量的玻璃。包括小于7重量%将不利地增加液相线温度或粘度,这取决于CaO被什么氧化物替代。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括至少8.0重量%的CaO,包括至少8.1重量%和至少8.2重量%。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括不大于11.5重量%的CaO,例如不大于10.0重量%、不大于9.8重量%、不大于9.5重量%和不大于9.0重量%。在各种示范性实施方案中,玻璃组合物的CaO浓度为7.9重量%至小于9.0重量%。

[0069] 在一些示范性实施方案中, SiO₂、Al₂O₃、MgO和CaO的总量为至少98重量%,或至少99重量%,并且不大于99.5重量%。在一些示范性实施方案中, SiO₂、Al₂O₃、MgO和CaO的总量为97.5重量%至小于99.5重量%,包括98.0重量%至小于99.0重量%,以及98.05重量%至98.8重量%。

[0070] 所述玻璃组合物可包括0至约2.0重量%的Li₂O。Li₂O的存在降低了玻璃组合物的纤维化温度并增加由此形成的玻璃纤维的弹性模量。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括约0.2重量%至约1.0重量%的Li₂O,包括约0.4重量%至0.8重量%和约0.5重量%至约0.7重量%。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括大于0.45重量%且小于0.8重量%的Li₂O。

[0071] 所述玻璃组合物可包括至多约2.0重量%的TiO₂。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括约0.05重量%至约1.5重量%的TiO₂,包括约0.4重量%至约1.0重量%以及约0.5重量%至约0.7重量%。

[0072] 所述玻璃组合物可包括至多约2.0重量%的Fe₂O₃。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括约0.05重量%至约1.0重量%的Fe₂O₃,包括约0.2重量%至约0.8重量%和约0.3重量%至约0.6重量%。

[0073] 在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括小于2.0重量%的碱金属氧化物Na₂O和K₂O,包括0至1.5重量%。玻璃组合物可以有利地包括Na₂O和K₂O两种,且每种氧化物的量大于0.01重量%。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括约0至约1重量%的Na₂O,包括约0.01至约0.5重量%、约0.03至约0.3重量%和0.04至约0.1重量%。在一些示范性实施方案中,玻璃组合物包括约0至约1重量%的K₂O,包括约0.01至约0.5重量%、约0.03至约0.3重量%和0.04至约0.2重量%。

任选添加剂

[0074] 在一些示范性实施方案中,形成高性能玻璃纤维的玻璃组合物还可包括杂质和/或痕量材料,而不会对玻璃或纤维产生不利影响。这些杂质可能作为原料杂质进入玻璃中,或者也可能是熔融玻璃与炉成分发生化学反应而形成的产物。痕量材料的非限制性实

例包括锌、锶、钡及其组合。痕量材料可以按其氧化物形式存在,并且还可以包括氟和/或氯。在一些示例性实施方案中,本发明的玻璃组合物包含小于1.0重量%的BaO、SrO、ZnO、ZrO₂、P₂O₅和SO₃中的每一种,包括小于0.5重量%、小于0.2重量%和小于0.1重量%。特别地,玻璃组合物可以包含小于约5.0重量%的BaO、SrO、ZnO、ZrO₂、P₂O₅和/或SO₃的组合,其中BaO、SrO、ZnO、ZrO₂、P₂O₅和SO₃中的每一种(如果存在的话)的存在量小于1.0重量%。

[0075] 在一些示例性实施方案中,形成高性能玻璃纤维的玻璃组合物包括小于2.0重量%的以下改性组分(统称):CeO₂、Li₂O、Fe₂O₃、TiO₂、WO₃和Bi₂O₃。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物包括小于1.5重量%的改性组分。

[0076] 在一些示例性实施方案中,形成高性能玻璃纤维的玻璃组合物包括小于1.0重量%的稀土氧化物:Y₂O₃、Ga₂O₃、Sm₂O₃、Nd₂O₃、La₂O₃、Ce₂O₃和Sc₂O₃(“R₂O₃”)和Ta₂O₅、Nb₂O₅或V₂O₅(“R₂O₅”),包括0至0.9重量%,或0至0.5重量%。在一些示例性实施方案中,玻璃组合物不含稀土氧化物。

[0077] 如本文所用,术语“重量百分比”、“重量%”、“wt.%”和“重量百分数”可以互换使用,并且意图表示基于总组合物的重量百分比(或重量百分数)。

树脂粘合剂

[0078] 通过树脂粘合剂(也称为基质树脂)将高性能输入玻璃纤维保持在一起,当固化(如下所述)时,树脂粘合剂将纤维相对于彼此固定并形成高模量复合材料。在一些示例性实施方案中,树脂粘合剂包括聚酯(PE)树脂、乙烯基酯(VE)树脂、丙烯酸树脂、聚氨酯树脂和环氧(EP)树脂中的一种或多种,它们是用于形成聚合物复合材料的常用基质树脂或粘合剂。在一些示例性实施方案中,树脂粘合剂包括乙烯基酯和环氧树脂中的一种。由于复合材料通常在恶劣环境或其它腐蚀性环境(例如靠近海水)中用作加强物,因此选择能够耐受这种环境的树脂是重要的设计考虑因素。

[0079] 已发现乙烯基酯树脂的适当配制或改性是重要的。例如,少量添加聚氨酯或酚醛树脂或丙烯酸互穿网络或用于苯乙烯的其它反应性单体改性可以进一步增强耐腐蚀性。通过从筋棒的富含树脂的表面移除树脂和/或施加水合抑制剂,例如丙烯酸酯、氯乙烯、辛基硅烷和/或甲硅烷基化的聚氮酰胺(polyazamide),可进一步改进高耐腐蚀性。此类添加剂与混凝土一同起作用,例如,作为与混凝土的界面和复合材料的用于实现进一步耐腐蚀性的屏障。

[0080] 还可以进一步包括其它添加剂,例如n,n-二甲基乙醇胺或吗啉相关胺的辛酸盐,它们是有效的表面腐蚀抑制剂,可作为涂层施加到增强筋以提供改善的混凝土结合界面。在增强筋界面处的混凝土裂缝萌生期间,也可施加其它迁移试剂,以阻挡进一步腐蚀。此外,某些玻璃纤维界面施胶组分,如丙烯酸、盐、四氟硼酸钠或四氟硼酸铵、或交联剂季戊四醇或衣康酸中的一种或多种,或高度交联的硅烷/硅烷醇(例如辛基硅烷)形成稳定的钝化层,或者可与玻璃聚缩合硅酸盐表面一起作为界面变质层来阻挡或抑制水和碱的侵入。玻璃/变质层界面在防止水侵入方面比玻璃本身更有效。在原生和变质的玻璃中的水迁移率受到与固相的化学相互作用的强烈影响。在氧化硅饱和条件下,重组的变质层与本体溶液和孔溶液实现了平衡,并且由于玻璃表面附近的传输限制效应,残余腐蚀速率显著降低。对于稳定的钝化层,理想条件典型低于90℃并且7<pH<9.5,氧化硅饱和溶液,这对于与增强筋的粘合界面处的混凝土水合是最佳的。

[0081] 其它添加剂可包括用于各种目的的多功能填料,如颜色和表面美观,强度和韧性的粘附/内聚特性,降低的收缩率,抗紫外线,耐腐蚀性,以及具有一致的部件公差固结均匀性。示例性填料可包括炭黑、铁黑、三水合铝、碳酸钙、脂肪酸的金属盐(包括硬脂酸锌和硬脂酸钙)以及粘土(例如高岭土)。可以调节填料的特定物理性质和功能特性以及复合材料部件中的填料量从而实现期望的属性或功能目的。

[0082] 高模量复合材料部件中可包括的填料量为约0至20phr,包括约3至约16phr、约5至约13phr以及约6至约10phr。在一些示例性实施方案中,填料以10至16phr的量包括在高模量复合材料部件中。

[0083] 在一些示例性实施方案中,在玻璃含量为71体积%的高模量乙烯基酯复合材料部件中包括约5-10phr的粘土填料,改善了固结均匀性并降低了收缩率,同时保持拉伸强度大于1000MPa,并且在某些情况下大于1200MPa,根据ASTM-D7205。

拉挤工艺

[0084] 通过拉挤工艺形成本发明的高模量复合材料。通过拉挤生产线、系统等进行拉挤工艺。在一些示例性实施方案中,使用拉挤工艺来形成复合增强筋。如图1A和1B所示,根据示例性实施方案,拉挤生产线400可用于形成复合增强筋490。拉挤生产线400包括进料模块410、树脂浴420、任选的在线卷绕机430、一个或多个预成型机440、一个或多个模具450、控制站460、牵引段470和切割段480。如下文进一步所述,还可以提供表面处理站(未示出)。表面处理可以在切割段480处切割拉挤杆之前和/或之后进行。

[0085] 拉挤生产线400确保在纤维进料、树脂配制、树脂浸渍、纤维结构、通过预成型机对齐、干燥和加热、润湿、湿透、固结和固化中仔细控制输入材料(如玻璃纤维)及其相关加工,以形成连续杆。

[0086] 进料模块410组织输入材料,例如,位于粗纱架406等上的玻璃纤维404的一批粗纱402(例如,30®型粗纱,可获自俄亥俄州托莱多市的Owens Corning),用于拉挤工艺。粗纱402可以是单端粗纱和/或多端粗纱。

[0087] 在进料模块410的一个示例性实施方案中,如图1A和1B所示,根据期望的杆直径使用多个粗纱402。每个粗纱402的一端沿箭头408所示的拉挤方向朝向树脂浴420进料。

[0088] 在该实施方案中,纤维404通过笼412或其它结构进料,使得纤维404与设置在其中的筋棒414接合。当将纤维404被拉拔通过笼412时,筋棒414向纤维404赋予初始张力。笼412还用于在纤维404的端部通过引导件416进给之前开始将纤维404的端部定位成彼此靠近。

[0089] 引导件416包括多个孔。每个纤维404的一端被供给穿过引导件416中的一个孔。以这种方式,当在加工方向408上拉拔纤维404时,纤维404彼此更靠近并且彼此相对平行地定位。因此,当纤维404离开引导件416时,它们已经开始形成绳状构件418(下文称为“绳”)。

[0090] 然后将绳418拉拔通过树脂浴420,使得树脂浴420中的树脂包围绳418并渗入形成绳418的纤维404之间的空间。绳418离开树脂浴420成为浸渍绳422。

[0091] 树脂浴420含有乙烯基酯或改性热固性树脂,其断裂伸长率大于4%。重要的是,树脂具有低的固化收缩率(例如,3-7%,取决于配方),而没有导致空隙、碎裂或分裂的显著残余应力,从而导致因加载环境所致的过早失效或耐久性问题。在一个示例性实施方案中,树脂组合是基于Ashland 1398乙烯基酯树脂基质(由肯塔基州科文顿市Ashland Inc.提供)或Interplastic 692或433(由明尼苏达州圣保罗市Interplastic Corporation提供)

的改性树脂,其交联密度由用于自由基自催化固化的添加苯乙烯单体的比率设定,以实现100℃至130℃范围内的T_g。丙烯酸类、酚醛类或双环戊二烯(DCPD)单体替代一部分(例如10%至30%)苯乙烯可以改善韧性、耐湿性,并且满足火灾烟雾毒性(FST)标准。这些树脂组合物的设计选择应与它们的成本和对以下性质的影响平衡:T_g、模量、以及因固化速率过高而在大于0.8mm的杆横截面中的碎裂/开裂。

| 乙烯基酯树脂FFU | 测试标准 | 性能 |
|-------------|----------------|----------------------|
| 耐久性-无聚酯 | ASTM D7957 5.2 | 满足物理和耐久性要求 |
| 玻璃化转变(或HDT) | ASTM E1356 | T _g >120℃ |
| 拉伸伸长率或断裂 | ASTM D638 | >4.5% |
| 拉伸模量 | ASTM D638 | >3200MPa |
| 体积收缩 | | <7% |

[0092] 如上所述,来自进料模块410的玻璃纤维404穿过树脂浴420,使得玻璃纤维404被树脂涂覆(即,润湿),并且相邻纤维之间的空间被树脂充分填充(即,湿透或浸透)。更具体地,拉挤生产线400使用多级预成型,其中玻璃纤维404竖向和水平对齐,以便在它们穿过树脂浴420后定位在预成型机440中。以这种方式,当纤维404穿过模具450时,拉挤生产线400的每个不连续阶段将各自的纤维束合并成按重量计70%或更大、80%或更大、或83%或更大的玻璃含量或按体积计68%或更大的玻璃含量。

[0093] 预成型机440有助于实现包括树脂的输入材料的定位和对齐。预成型机440也有助于以避免与输入材料成束、缠结和其它不期望问题的方式将纤维堆垛在一起。

[0094] 使用多级预成型还能够选择性放置不同类型的纤维(例如,玻璃和碳纤维,不同玻璃类型的组合,不同纤维直径的组合),以便生产混合杆,从而改善弹性模量或其它属性。在输入材料中使用不同的纤维直径也可有助于实现输入材料含量的增加。

[0095] 在拉挤生产线400中,可以使用在线卷绕机430(例如一个或多个从动辊)作为张力调节装置。例如,如果在拉挤工艺的早期需要更大的拉力(例如,用以将玻璃纤维404拉拔通过树脂浴420),则可以使用卷绕机430。此外,调节玻璃纤维404上的张力的能力可以促进玻璃纤维404在进入预成型机440之前的合并/堆垛。

[0096] 拉挤生产线400采用连续准直粗纱的预成型、预加热和预润湿,以便合并至大于85重量%的玻璃含量并且具有高的对准(即,小于5度的偏离方向,均匀地通过横截面)。

[0097] 在一些示例性实施方案中,在拉挤模具452之前使用一个或多个脱离器模具450。在一些示例性实施方案中,脱离器模具450和拉挤模具452是同一组模。当使用多个脱离器模具450时,每个脱离器模具450中的孔将典型地小于前一个脱离器模具450中的孔。脱离器模具450从浸渍纤维中去除过多的树脂,并在形成杆454时进一步合并纤维404。

[0098] 玻璃的预热可驱除残留水分,并且能够降低玻璃表面的树脂粘度以改善润湿和透湿。可以利用向玻璃施加热的任何合适手段。可以沿拉挤生产线400的多个位置发生这种预热。

[0099] 通过直接加热树脂或以其它方式控制浸渍浴420中的树脂的粘度,或者通过预成型机440中的位置施加来促进玻璃纤维的预润湿,以更好地实现树脂润湿,从而在乙烯基酯树脂凝胶化之前通过限制和/或张力实现更致密的合并。作为替代,可以通过间接(例如射频)加热来实现加热,这可允许更均匀的从内向外加热。不同的玻璃特克斯(tex)和纤维直

径组合可用于进一步改善均匀的玻璃堆垛,从而实现更高的玻璃纤维体积。

[0100] 一旦进入作为最终合并点的模具450,452,来自模具450和/或452的热量使热固性树脂交联,从而导致合并纤维422内的放热以形成杆状构件454(此处称为“杆”)。在一些示例性实施方案中,向杆454施加(例如,玻璃纤维的)螺旋缠绕,以保持其内的纤维404的合并和布置。

[0101] 拉挤生产线400通常包括控制站460,要么作为拉挤生产线400的一部分,要么位于其附近(例如现场)。可以为分布式控制系统(DCS)的控制站460允许对拉挤生产线400和相关的工艺变量和条件进行计算机化和/或手动的控制和管理。

[0102] 杆454离开拉挤模具452并朝向牵拉器系统470前进。杆454在其到达牵拉器系统470时冷却,使得其不会在牵拉器接触点处变形。牵拉段470有助于施加拉挤工艺所需的拉力,即,在形成杆454时在其上维持必要的张力。

[0103] 最后,杆454前进到切割段480,在这里将其切割成一定长度,并收集以便进一步处理,如表面处理操作。杆454可以被切割成任何合适的长度,该长度通常由预期应用决定。在一些示例性实施方案中,杆454被切割成10英尺至75英尺的长度。在一些示例性实施方案中,杆454被切割成20英尺至60英尺的长度。一旦切割,对其进行或不进行任何进一步处理,杆454被认为是复合增强筋490。

[0104] 因此,拉挤生产线400采用连续准直粗纱的预成型、预加热和预润湿,以便合并至大于85重量%的玻璃含量并且具有高的对准(小于5度的偏离方向,均匀地通过横截面),与高性能玻璃纤维相结合,以实现具有至少60GPa的增加模量的高模量复合材料。

[0105] 在一些示例性实施方案中,杆横截面的至少一部分可以是空心的或泡沫芯的,而不是实心的,例如通过使用合适的模具结构和/或构造或其它加工技术。

高模量复合材料部件

[0106] 可以形成高模量复合材料,其包含各种纤维重量分数(“FWF”)的纤维加强物。尽管FWF可以在大于1%至约90%之间的任何地方变化,但是某些示例性实施方案包含至少70%的FWF,包括至少72%、至少75%、至少77%和至少80%。在任何示例性实施方案中,高模量复合材料可具有75%至90%的FWF,包括77%至88%,以及80%至86%。

[0107] 与使用常规ECR型玻璃纤维形成的加强复合材料相比,根据本发明构思形成的高模量复合材料具有改进的物理性能和耐腐蚀性。如上所述,高模量复合材料部件包含至少60GPa的改进弹性模量,包括至少64GPa、至少65GPa、至少66GPa和至少68GPa。在一些示例性实施方案中,高模量复合材料部件包含60GPa至75GPa的弹性模量,包括64GPa至73GPa,以及65GPa至70GPa。根据ASTM D7205测量复合材料部件的弹性模量。

[0108] 在一些示例性实施方案中,根据本发明构思形成的高模量复合材料包含至少50GPa的弯曲模量,包括至少52GPa、至少55GPa和至少56GPa。根据本发明构思形成的高模量复合材料包含至少1220MPa的改进弯曲强度,包括至少1250MPa、至少1285MPa、至少1300MPa、至少1350MPa、至少1400MPa、至少1450MPa、至少1500MPa和至少1550MPa。根据ASTM D790测量弯曲模量和弯曲强度两者。

[0109] 在一些示例性实施方案中,根据本发明构思形成的高模量复合材料包含至少50GPa的拉伸模量,包括至少62GPa、至少65GPa、至少67GPa和至少70GPa。在一些示例性实施方案中,所述高模量复合材料具有约60至约75GPa的拉伸模量。根据ASTM D7205测量复合材

料部件的拉伸模量。

[0110] 在一些示例性实施方案中,根据本发明构思形成的高模量复合材料具有高的耐腐蚀性,这延长了复合材料部件的寿命。

实施例

[0111] 应当理解,一般发明概念的范围并不意图限于本文所示和所述的特定示例性实施方案。从所给出的公开内容,本领域技术人员不仅将理解该一般发明概念及其伴随的优点,而且还将发现对所公开的方法和系统的明显的各种变化和修改。因此,试图涵盖落入本文所描述和要求保护的一般发明概念的精神和范围内的所有此类变化和修改,及其任何等同物。

实施例1

[0112] 制备了示例性的纤维加强拉挤增强筋部件,其包含各种纤维重量分数(“FWF”)的纤维加强物。用弹性模量为89.5GPa的高性能玻璃(“HP玻璃”)和弹性模量为82GPa的常规E-CR玻璃制备样品。图2示出不同纤维加载水平下的增强筋样品的弹性模量。正如所示,在相同加载水平下,包含HP玻璃的增强筋样品实现了比包含E-CR玻璃的增强筋样品更高的弹性模量。例如,根据ASTM-D7205,纤维重量分数为0.843的E-CR玻璃加强的增强筋实现了64.6GPa的弹性模量(横截面积为283.9mm²的6号增强筋),而HP玻璃加强的增强筋在相同的纤维加载水平下实现了70.4GPa的弹性模量。

实施例2

[0113] 制备了示例性的纤维加强拉挤平板,其包含以下两者:1) HP玻璃纤维和2) 常规E-CR玻璃纤维。拉挤平板包含加载水平为80%FWF的单向纤维。测试中使用了两种不同的树脂,聚酯和聚氨酯。然后根据ASTM-D790测试拉挤部件的性能,包括弯曲模量和弯曲强度;根据ASTM D7205测试拉伸模量,并且根据ASTM D2344测试层间剪切强度(“ILSS”)。测试结果如图3-6所示。

[0114] 图3A和3B示出包含E-CR单向纤维的拉挤平板的弯曲模量,与包含HP纤维的拉挤平板进行对比,在不饱和聚酯和聚氨酯树脂中。如图所示,与E-CR加强板相比,HP加强板在聚酯树脂中表现出14%的弯曲模量增加,在聚氨酯树脂中表现出10%的增加。示例性HP加强板在不饱和聚酯中实现56GPa的弯曲模量,并且在聚氨酯中实现59GPa。

[0115] 图4A和4B示出包含E-CR单向纤维的拉挤平板的弯曲强度,与包含HP纤维的拉挤平板进行对比,在不饱和聚酯和聚氨酯树脂中。如图所示,与E-CR加强板相比,HP加强板在聚酯树脂中表现出8%的弯曲强度增加,在聚氨酯树脂中表现出4%的增加。示例性HP加强板在不饱和聚酯中实现1296MPa的弯曲强度,并且在聚氨酯中实现1572MPa。

[0116] 图5A和5B示出包含E-CR单向纤维的拉挤平板的拉伸模量,与包含HP纤维的拉挤平板进行对比,在不饱和聚酯和聚氨酯树脂中。如图所示,与E-CR加强板相比,HP加强板在聚酯树脂中表现出13%的拉伸模量增加,在聚氨酯树脂中表现出8%的增加。示例性HP加强板在不饱和聚酯中实现70GPa的拉伸模量,并且在聚氨酯中实现62GPa。

[0117] 图6A和6B示出包含E-CR单向纤维的拉挤平板的层间剪切强度(ILSS),与包含HP纤维的拉挤平板进行对比,在不饱和聚酯和聚氨酯树脂中。由于ILSS主要依赖于树脂,结果表明玻璃/树脂界面处的相容性。示例性HP加强板在不饱和聚酯中实现50MPa的ILSS,并且在聚氨酯中实现81MPa,这与使用E-CR玻璃形成的板一致(并且实际上略有改进)。

[0118] 在上文中一般性地和关于具体实施方案对本申请的发明进行了描述。尽管已在被认为是优选实施方案的内容中阐述了本发明,但可以在一般公开内容中选择本领域技术人员已知的各种替代方案。除下面所述的权利要求书的陈述之外,本发明不受其它限制。

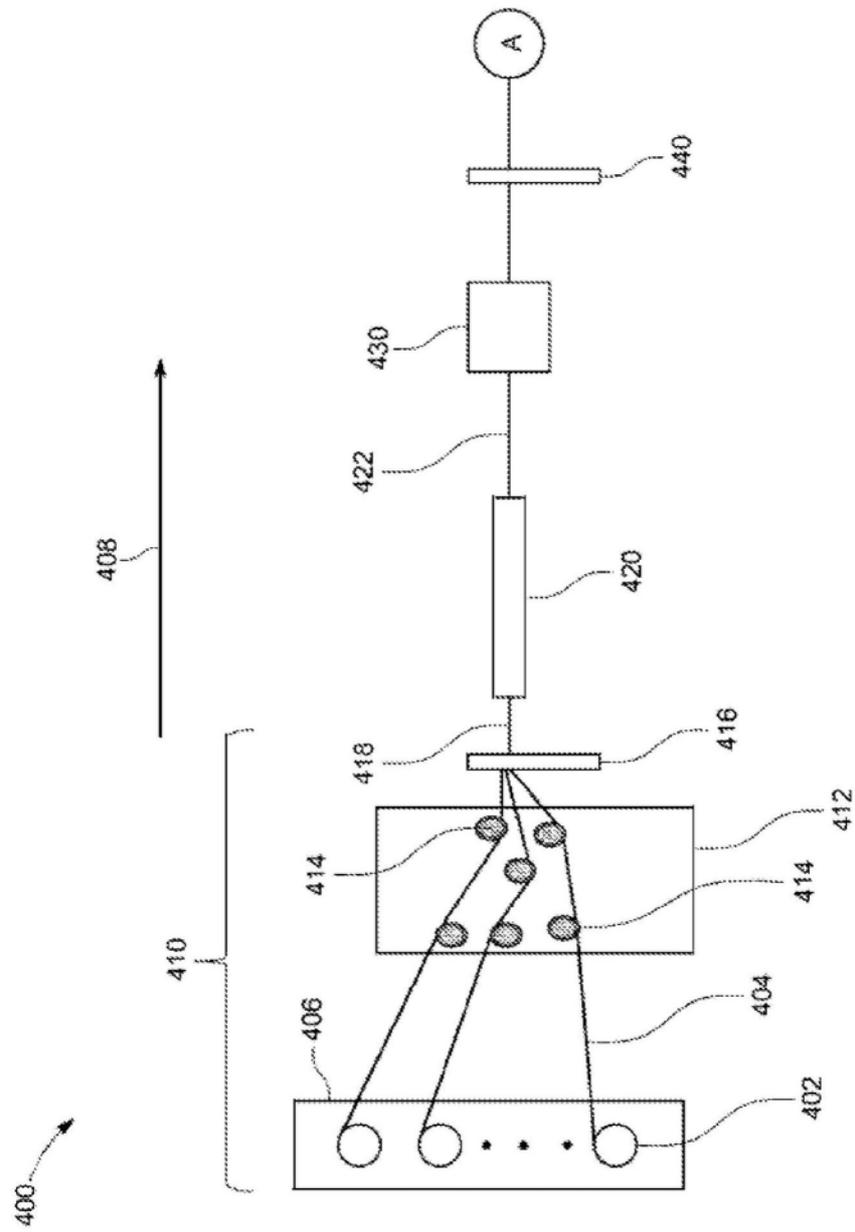


图1A

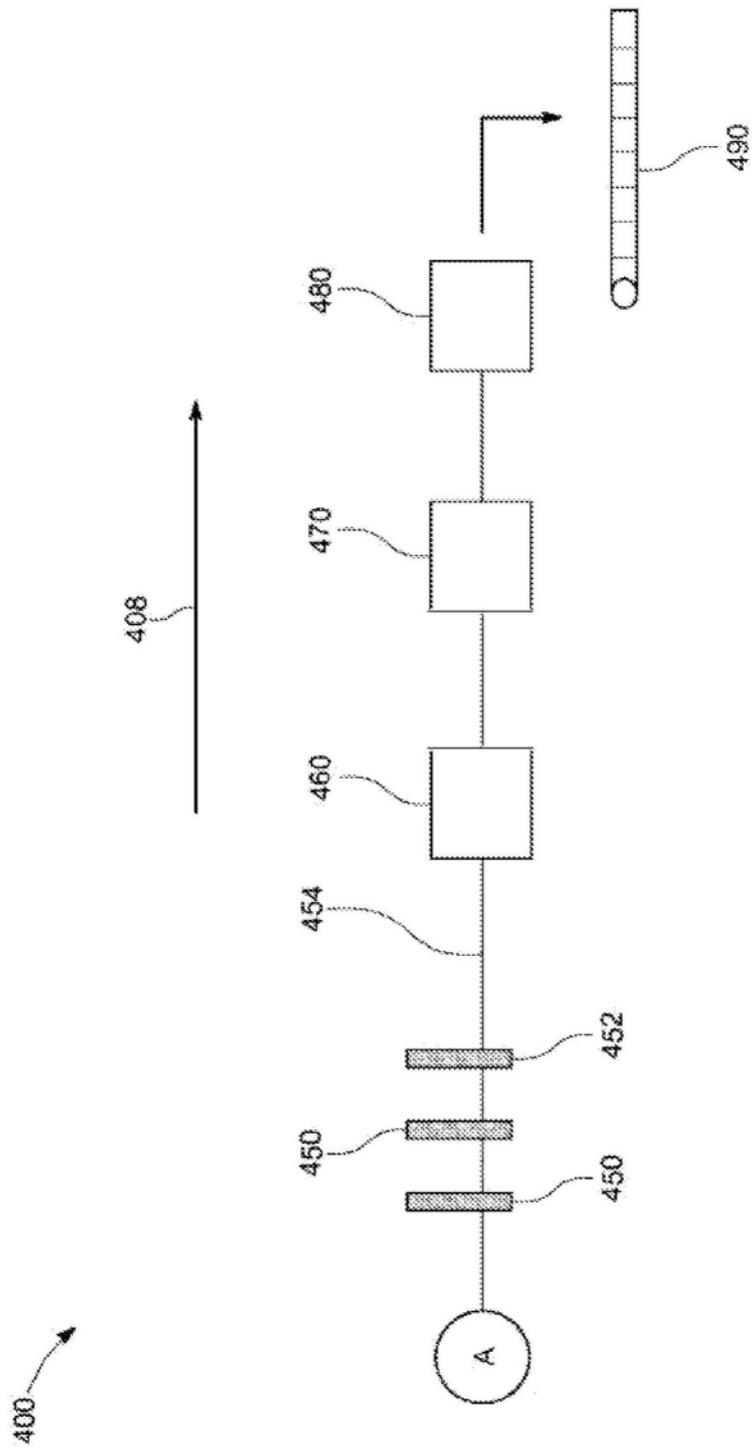


图1B

增强筋弹性模量相对于纤维重量分数

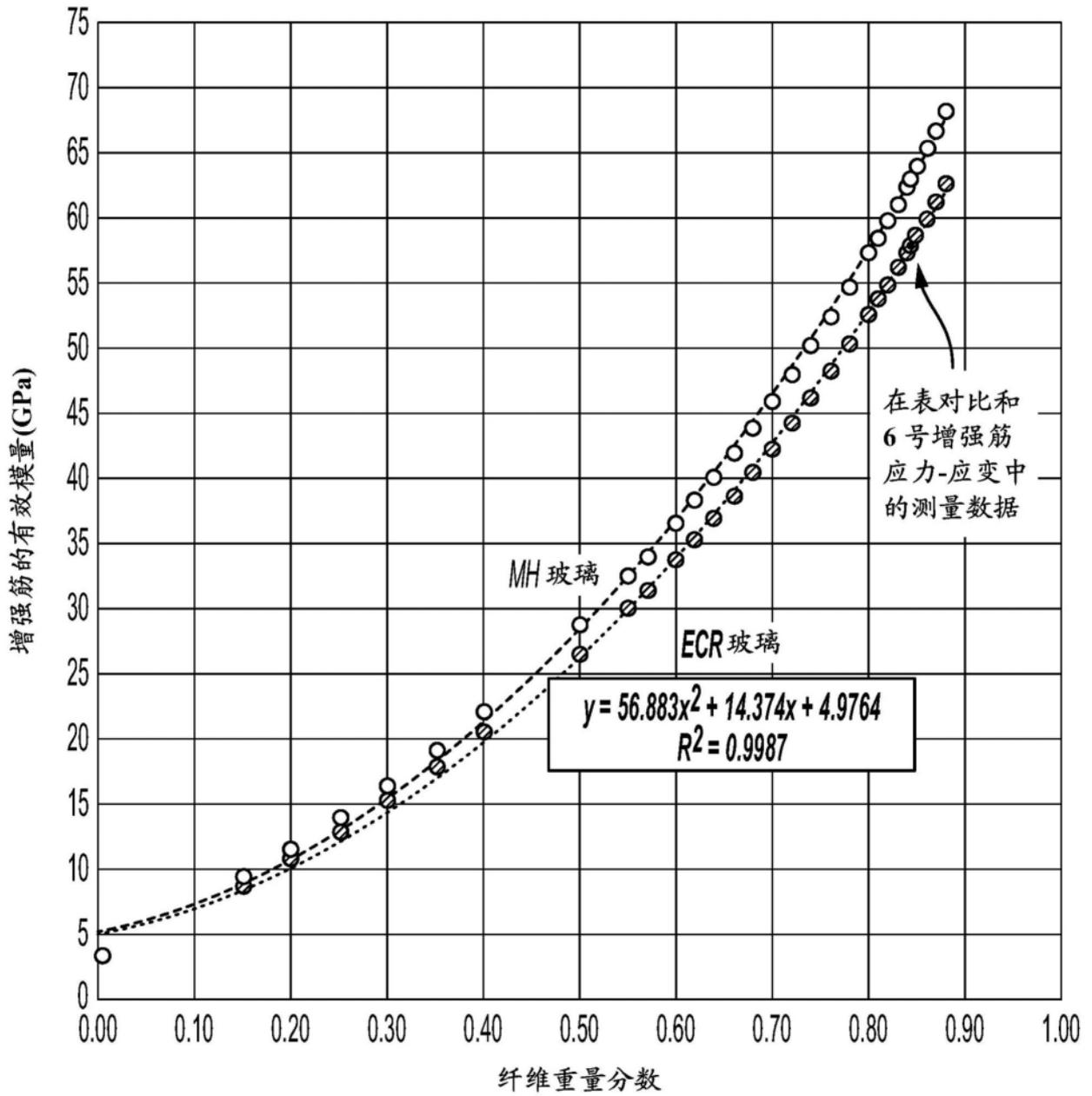


图2

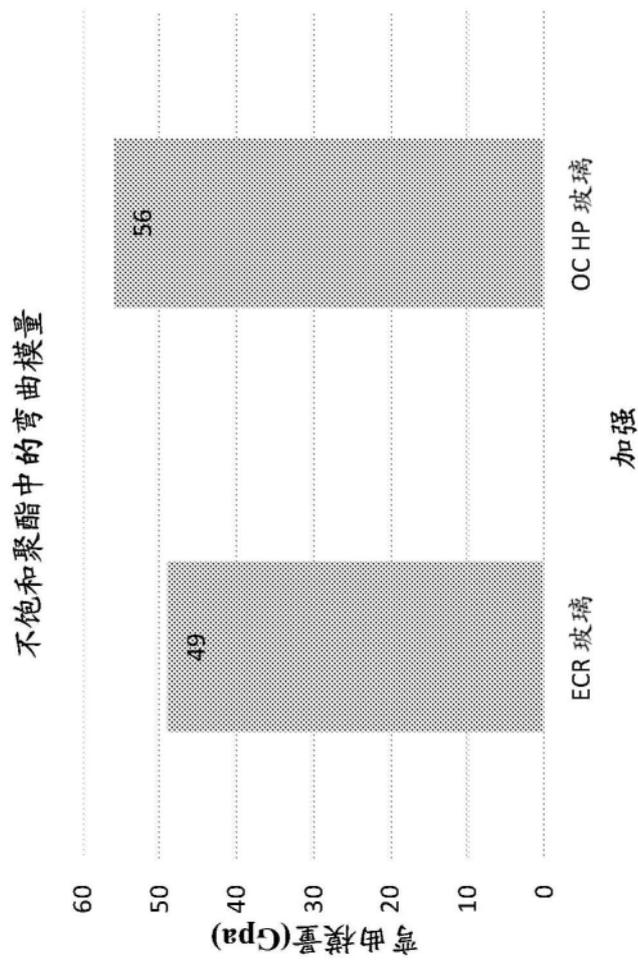


图3A

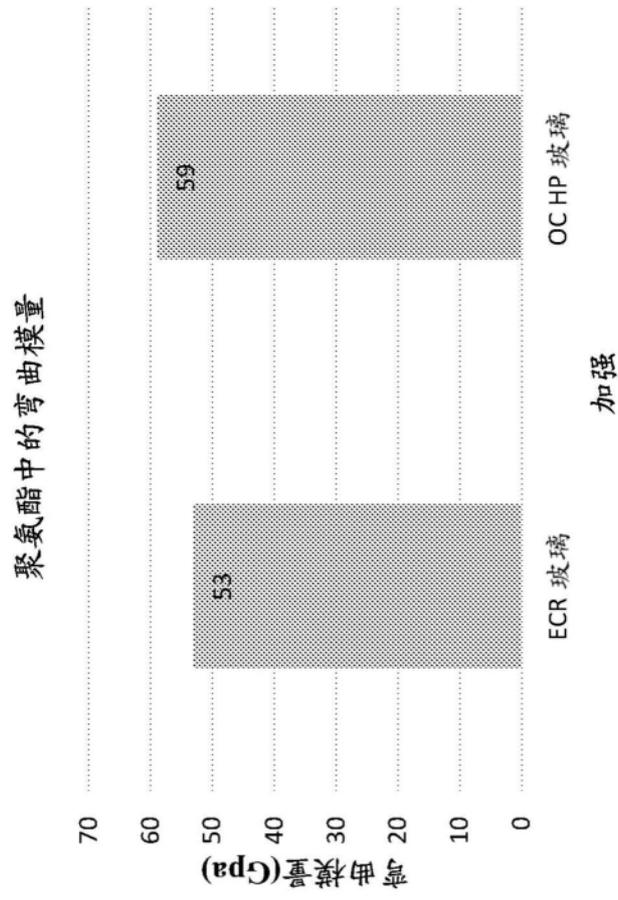


图3B

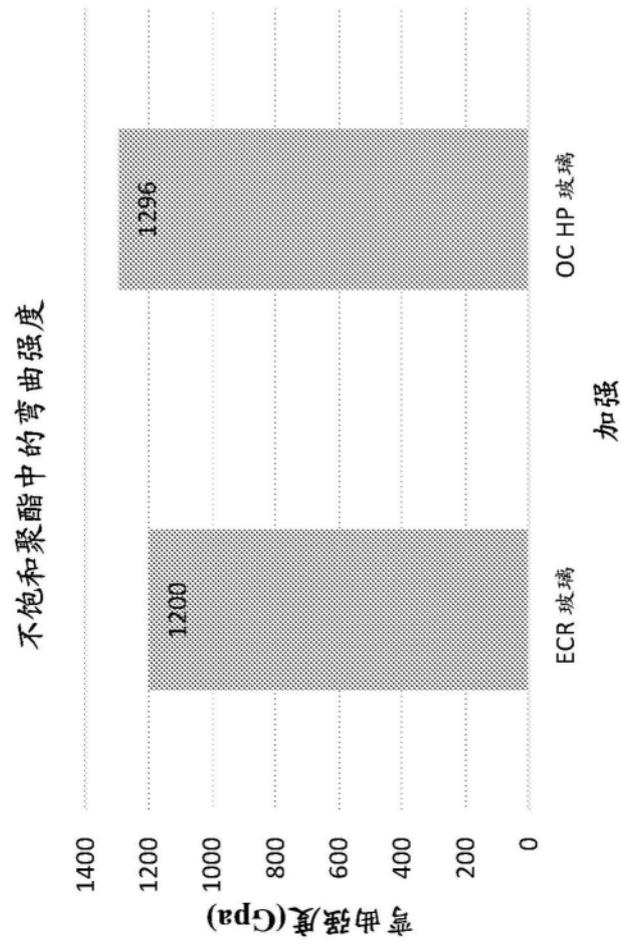


图4A

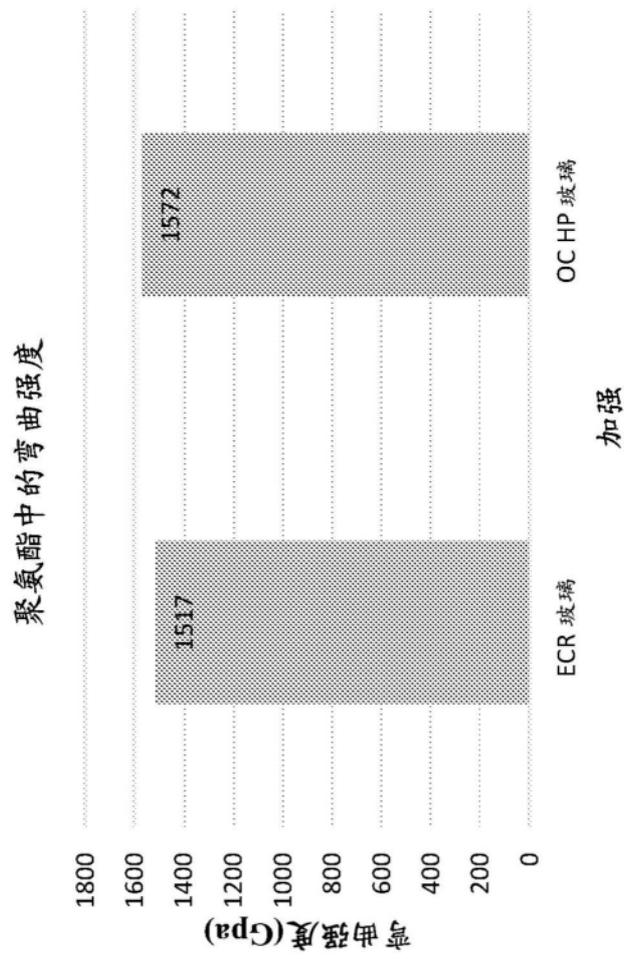


图4B

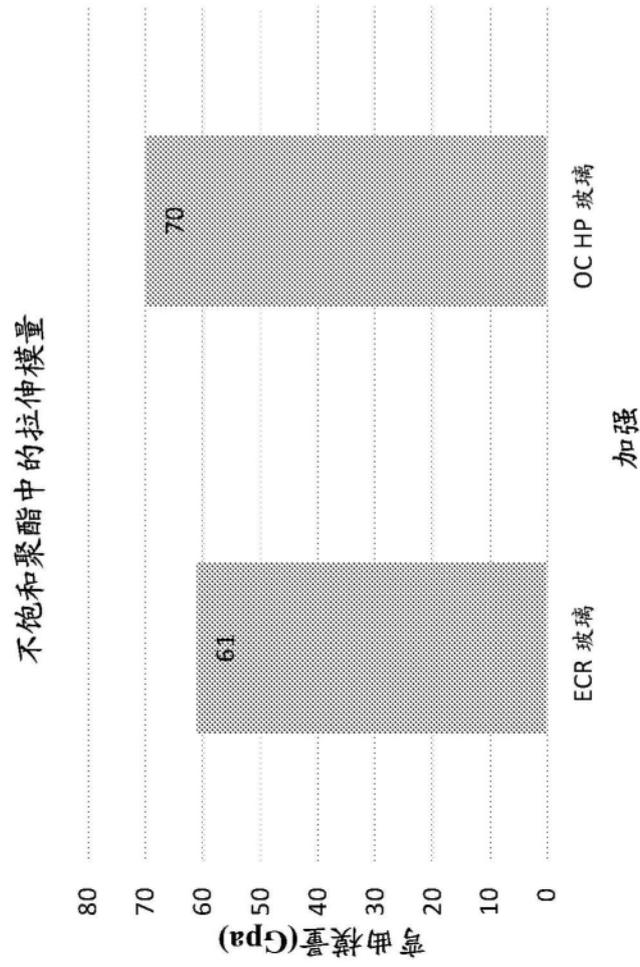


图5A

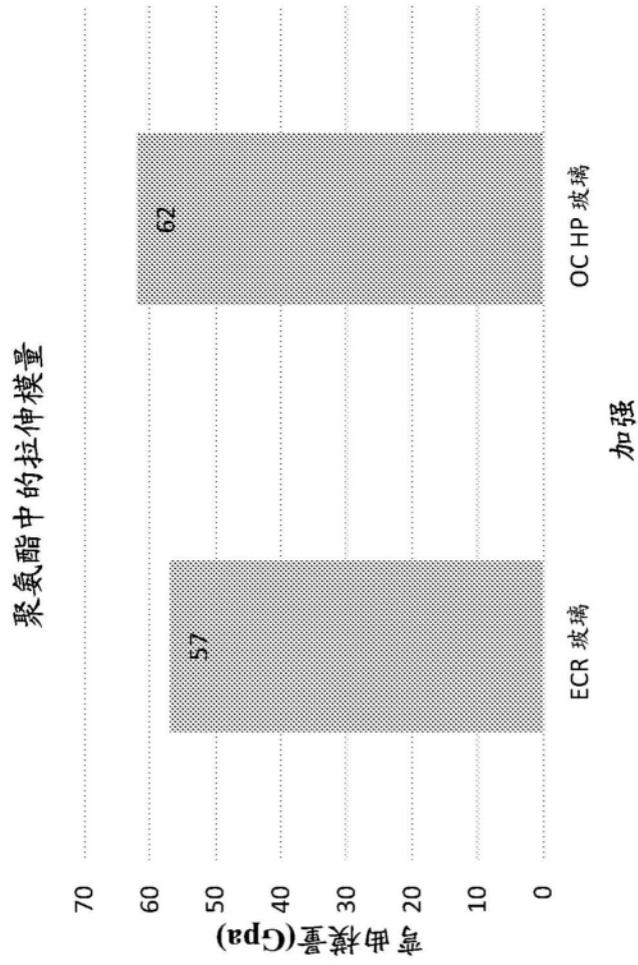


图5B

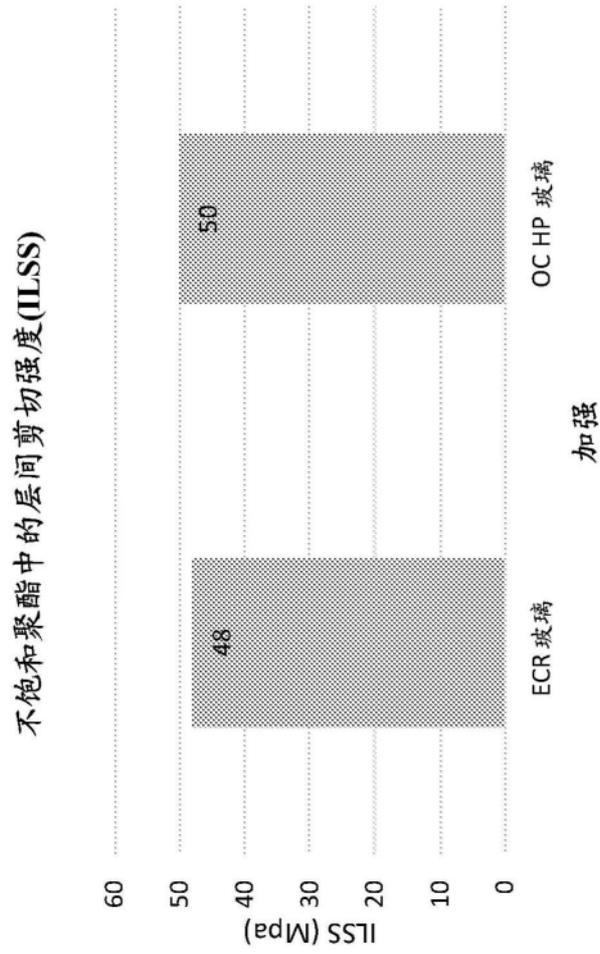


图6A

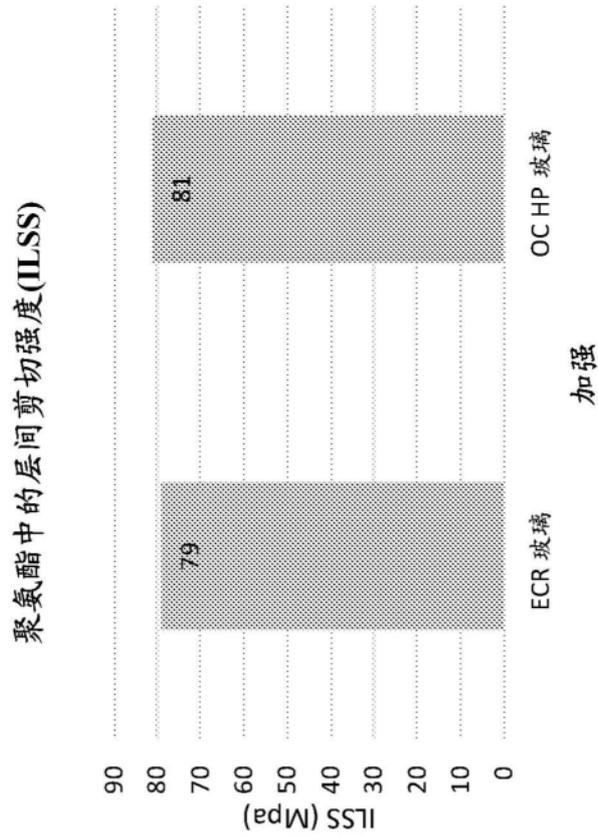


图6B