



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1898085 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 17

(21) 申请号 200480038529. 7

(22) 申请日 2004. 10. 22

(30) 优先权数据

10/691, 447 2003. 10. 22 US

10/692, 304 2003. 10. 23 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2006. 06. 22

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2004/035201 2004. 10. 22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02005/040017 EN 2005. 05. 06

(73) 专利权人 CTC 电缆公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 克莱门特·希尔

乔治·科齐尼奥夫斯基

戴维·布赖恩特

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 陶凤波 侯宇

(51) Int. Cl.

B32B 27/04 (2006. 01)

B05D 3/02 (2006. 01)

B05D 1/18 (2006. 01)

D04H 3/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 2000027082 A, 2000. 01. 25,

审查员 王晓燕

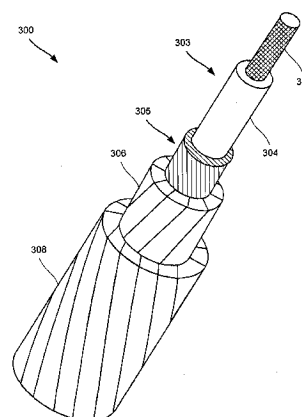
权利要求书2页 说明书17页 附图4页

(54) 发明名称

铝导体复合材料芯增强电缆及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种铝导体复合材料芯增强电缆 (ACCC) 及其制备方法。ACCC 电缆 (300) 具有由外部膜 (305) 和至少一层铝导体 (306) 围绕的复合材料芯。该复合材料芯 (303) 包括在一种或多种基体材料中的多根纤维, 该纤维来自至少一种纤维类型。根据本发明, 可以使用独特的处理技术如 B- 阶段和 / 或涂膜技术, 以将生产率由每分钟几英尺提高至每分钟 60 英尺或更高。



1. 一种用于电力传输缆的复合芯,包括:
 - a. 内芯,由先进复合材料构成,该先进复合材料包括嵌入固化的树脂基体的至少一种基本连续增强纤维;
 - b. 外芯,围绕内芯,由低模量复合材料构成,该低模量复合材料包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续并且纵向定向的增强纤维;和
 - c. 保护膜,围绕所述外芯,其中,所述复合芯包括至少 160Ksi 的拉伸强度。
2. 根据权利要求 1 的复合芯,其中所述复合材料芯具有至少 50% 的纤维对树脂体积分数以生产具有一组预定的力学性质的复合芯材料。
3. 根据权利要求 1 的复合芯,其中内芯的纤维包括碳纤维。
4. 根据权利要求 1 的复合芯,其中所述内芯包括碳纤维,并且所述复合芯进一步包括外芯,所述外芯围绕所述内芯并包括玻璃纤维。
5. 根据权利要求 1 的复合芯,其中所述内芯的纤维包括范围为约 22 ~ 45Msi 的弹性模量。
6. 根据权利要求 1 的复合芯,其中内芯包括碳纤维,并且所述复合芯进一步包括外芯,所述外芯包括具有约 6 ~ 15Msi 的弹性模量。
7. 根据权利要求 1 的复合芯,其中树脂用陶瓷、热固性树脂或热塑性树脂之一形成。
8. 根据权利要求 1 的复合芯,其中树脂可调整以实现一组预定的力学性质。
9. 根据权利要求 1 的复合芯,其中内芯的纤维具有至少约 250Ksi 的拉伸强度。
10. 根据权利要求 1 的复合芯,复合芯包括包括碳纤维的内芯和包括玻璃纤维的外芯,复合芯具有碳纤维对玻璃纤维比例,该碳纤维对玻璃纤维比例可以被改变以变化复合芯的至少一种力学性质。
11. 根据权利要求 1 的复合芯,复合芯还包括在内芯内的内层,该内层包括与内芯的所述纤维的类型不同的基本连续增强纤维。
12. 一种用于电缆的复合芯,包括:
 - a. 第一部分,由先进复合材料构成,该先进复合材料包括嵌入固化的树脂基体的至少一种基本连续增强纤维;
 - b. 其他部分,围绕第一部分,由低模量复合材料构成,该低模量复合材料包括嵌入固化的树脂基体的至少一种基本连续增强纤维;和
 - c. 保护膜,围绕所述固化的树脂基体,其中内和外芯的纤维纵向定向且基本连续,且其中第一部分的纤维和其他部分的纤维不同,所述复合芯包括至少 160Ksi 的拉伸强度。
13. 根据权利要求 12 的复合芯,其中第一部分由嵌入基体的多个碳纤维形成。
14. 根据权利要求 12 的复合芯,其中包括其他部分的纤维包括玻璃纤维。
15. 根据权利要求 12 的复合芯,其中基体材料为陶瓷、热固性树脂或热塑性树脂之一。
16. 根据权利要求 12 的复合芯,其中第一部分包括嵌入树脂的多个碳纤维和具有至少约 250Ksi 的拉伸强度的至少一种其他纤维。
17. 根据权利要求 16 的复合芯,其中包括其他部分的多个纤维是玻璃。

18. 根据权利要求 12 的复合芯,其中所述芯包括至少 50%体积分数的纤维对树脂比例。

19. 根据权利要求 12 的复合芯,所述芯还包括第一部分,第一部分包括由第二部分围绕的多个碳纤维,第二部分包括嵌入树脂基体的多个玻璃纤维,其中纤维和树脂基体包括碳 / 玻璃比例。

20. 根据权利要求 19 的复合芯,其中碳 / 玻璃比例可以被改变。

21. 根据权利要求 12 的复合芯,复合芯还包括在第一部分内的内层,该内层包括与第一部分的所述纤维的类型不同的基本连续增强纤维。

22. 一种用于电缆的复合芯,包括:

- a. 内芯,包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续增强碳纤维;
- b. 外芯,围绕内芯,包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续增强玻璃纤维;和
- c. 保护膜,围绕所述外芯,

其中内芯和外芯的纤维纵向定向且基本连续,且其中复合芯包括一组力学性质,所述复合芯包括至少 160Ksi 的拉伸强度。

23. 根据权利要求 22 的复合芯,其中复合芯具有至少 50%纤维对树脂体积分数,且还包括碳对玻璃纤维的比例。

24. 根据权利要求 23 的复合芯,其中纤维对树脂体积分数可以被改变以变化复合芯的力学性质。

25. 根据权利要求 23 的复合芯,其中碳纤维对玻璃纤维的比例可以被调整以变化芯的力学性质。

26. 根据权利要求 22 的复合芯,复合芯还包括在内芯内的内层,该内层包括与内芯的所述纤维的类型不同的基本连续增强纤维。

27. 一种用于电缆的复合芯,包括:

- a. 第一部分,包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续增强碳纤维;
- b. 其他部分,围绕第一部分,包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续增强玻璃纤维;

和

- c. 保护膜,围绕所述其他部分,

其中第一部分和其他部分的纤维纵向定向且基本连续,且其中复合芯包括一组力学性质,

所述复合芯包括至少 160Ksi 的拉伸强度。

28. 根据权利要求 27 的复合芯,其中芯具有至少 50%纤维对树脂体积分数,且还包括碳对玻璃纤维的比例。

29. 根据权利要求 28 的复合芯,其中碳纤维对玻璃纤维的比例可以被调整以改变芯的力学性质。

30. 根据权利要求 27 的复合芯,复合芯还包括在第一部分内的内层,该内层包括与第一部分的所述纤维的类型不同的基本连续增强纤维。

铝导体复合材料芯增强电缆及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种铝导体复合材料芯 (ACCC) 增强电缆及其制备方法。更具体地, 本发明涉及一种用于供电的电缆, 其具有由能够承载增加的载流容量并在高温下工作的铝导线围绕的复合材料芯, 该复合材料芯由纤维增强体 (fiber reinforcement) 和基体构成。

背景技术

[0002] 人们曾经尝试开发由单一类型的纤维和热塑性树脂构成的复合材料芯。其目的在于提供利用增强塑料复合材料芯作为电缆中的承重构件的输电电缆, 及提供通过利用内部增强塑料芯的输电电缆传输电流的方法。所述单一纤维 / 热塑性复合材料芯未能实现这些目的。一种纤维 / 热塑性系统不具有在防止电缆下垂的同时有效地传递载荷所需的物理特性。其次, 包含玻璃纤维和热塑性树脂的复合材料芯未能满足载流容量增加所需的工作温度, 即, 90°C 和 240°C 之间, 或者更高的温度。

[0003] 热塑性复合材料芯物理性能还受处理方法限制。以前的处理方法不能实现高的纤维与树脂体积或重量比例。这些方法不会产生将实现电缆所需强度的富纤维芯。而且, 以前的处理方法的处理速度受到方法本身的固有特性限制。例如, 常规的挤出 / 拉挤成型模具长为大约 36 英寸, 其具有恒定的横截面。较长的模具引起复合材料和模具之间的摩擦力增加, 延缓了处理时间。在用于热塑性 / 热固性树脂的这种系统中的处理时间为约 3 ~ 12 英寸 / 分钟。利用聚酯和乙烯基酯树脂的处理速度能够以高达 72 英寸 / 分钟生产复合材料。在需要数千英里的电缆的情况下, 这些缓慢的处理速度未能以经济上可以接受的方式满足需要。

[0004] 因此需要设计经济上可行的电缆, 其使得载流容量容易增加, 而不会产生相应的电缆下垂。还需要利用这样的方法处理复合材料芯, 即, 使复合材料芯在处理过程中成形和调整, 并且能够以高达或超过 60 英尺 / 分钟的速度进行处理。

发明内容

[0005] 技术问题

[0006] 在常规铝导体钢增强电缆 (ACSR) 中, 铝导体传输电能, 钢芯提供强度构件 (strength member)。导体电缆受到组分的固有物理特性抑制; 这些组分限制载流容量。载流容量为通过电缆送电力的量度。电缆中电流或功率增加引起导体的工作温度的相应增加。过多的热将引起常规电缆下垂至低于允许的水平, 因为结构芯较高的热膨胀系数引起构件膨胀, 导致电缆下垂。一般的 ACSR 电缆能够在至多 75°C 的温度下连续工作, 而不使与下垂有关的导体的物理性能发生重大变化。在高于 100°C 下工作任何长的时间, ACSR 电缆经受塑性的 (plastic-like) 和永久性的伸长, 以及强度的大幅降低。这些物理变化引起过多的线下垂。线下垂被认为是 2003 年美国东北停电的主要原因之一。温度限制将用 795kcmil ACSR ‘Drake’ 导体架设的一般 230-kV 线的电力负载额定值抑制至约 400MVA, 相应于 1000A 的电流。因此, 为了增加输电电缆的负荷能力, 必须利用具有允许载流容量增加

而不引起过多线下垂的固有特性的组分设计电缆本身。

[0007] 虽然载流容量增益可以通过增加围绕输电电缆的钢芯的导体面积获得,但是导体体积增加会提高电缆的重量并有助于下垂。而且,重量提高需要电缆在电缆支架基础结构中使用增加的张力。这种重量大幅提高一般会需要输电塔和电线杆的结构加强或替换。基础结构变更在经济上一般是不可行的。因而,在利用现有的输电结构和电线的同时,增加输电电缆上的负荷容量,存在着经济目的。

[0008] 技术方案

[0009] 铝导体复合材料芯 (ACCC) 增强电缆能够改善现有技术中的问题。ACCC 电缆为具有复合材料芯的电缆,该复合材料芯包含一种或多种嵌入基体中的纤维类型增强体。所述复合材料芯包覆有电导线。ACCC 增强电缆为高温、低弛度导体,其能够在高于 100℃ 的温度下工作,同时具有稳定的拉伸强度和蠕变伸长性质。在示例性实施方案中,ACCC 电缆能够在高于 100℃ 的温度下工作,在一些实施方案中,在高于 240℃ 的温度下工作。具有相似外径的 ACCC 电缆的线额定值 (line rating) 可能比现有技术电缆增加至少 50%,而不明显改变导体的总重量。

[0010] 根据本发明,在一个实施方案中,ACCC 电缆包括芯,该芯包含由保护性涂层围绕的复合材料。该复合材料包含多根纤维,该纤维选自一种或多种纤维类型并嵌入基体中。所述 ACCC 电缆的重要特性为结构芯的较高的弹性模量和较低的热膨胀系数。ACCC 芯还比以前的芯设计直径更小、重量更轻、且更牢固,且在大约相等的重量下,通过在相同的总面积中增加额外的导体材料,使导体电缆的载流容量增加。还需要设计具有长期耐力的复合材料芯。在高工作温度和其将要暴露的其它环境条件下,复合材料强度构件应该工作最少 40 年,更优选为它的 2 倍。

[0011] 在一个实施方案中,本发明公开一种用于电缆的复合材料芯,其包括由先进复合材料构成的内芯,该先进复合材料包含嵌入固化的树脂基体的至少一种基本连续的增强纤维;由低模量复合材料构成的围绕内芯的外芯,该低模量复合材料包含嵌入固化的树脂基体的至少一种基本连续的增强纤维;及保护膜,围绕所述外芯,其中,所述复合芯包括至少 160Ksi 的拉伸强度。

[0012] 在又一个实施方案中,公开一种用于电缆的复合材料芯,其包括:第一部分,由先进复合材料构成,该先进复合材料包括嵌入固化的树脂基体的至少一种基本连续增强纤维;其他部分,围绕第一部分,由低模量复合材料构成,该低模量复合材料包括嵌入固化的树脂基体的至少一种基本连续增强纤维;和保护膜,围绕所述其他部分。其中内和外芯的纤维纵向定向且基本连续,且其中第一部分的纤维和其他部分的纤维不同,所述复合芯包括至少 160Ksi 的拉伸强度。

[0013] 在又一个实施方案中,公开一种用于电缆的复合芯,其包括:内芯,包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续增强碳纤维;外芯,围绕内芯,包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续增强玻璃纤维;和保护膜,围绕所述外芯。其中内芯和外芯的纤维纵向定向且基本连续,且其中复合芯包括一组力学性质,所述复合芯包括至少 160Ksi 的拉伸强度。

[0014] 在又一个实施方案中,公开一种用于电缆的复合材料芯,其包括:第一部分,包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续增强纤维;其他部分,围绕第一部分,包括嵌入固化的树脂基体的多个基本连续增强纤维;和保护膜,围绕所述其他部分。其中第一部分和其他

部分的纤维纵向定向且基本连续,且其中复合芯包括一组力学性质,所述复合芯包括至少 160Ksi 的拉伸强度。

[0015] 在各种实施方案中,所述保护性涂层在制备过程中有助于芯的拉挤成型,并起着保护芯不受包括例如环境条件和对构成芯的树脂的影响在内的各种因素干扰。

附图说明

[0016] 通过参照结合附图的本发明的详细说明,本发明的这些和其它特征得到最好地理解,附图中:

[0017] 图 1 为根据本发明的铝导体复合材料芯 (ACCC) 增强电缆的一个实施方案示意图,该电缆具有由两层铝导体围绕的内部复合材料芯和外部复合材料芯。

[0018] 图 1B 为根据本发明的铝导体复合材料芯 (ACCC) 增强电缆的一个实施方案示意图,该电缆具有由外部保护层和两层铝导体围绕的内部复合材料芯和外部复合材料芯。

[0019] 图 2 为根据本发明五种可能的复合材料芯截面几何形状的剖视图。

[0020] 图 3 为根据本发明处理复合材料芯的方法的一个实施方案的剖视图。

[0021] 为了清楚起见,各图均包括附图标记。这些附图标记遵循共同的命名法。附图标记将有 3 位数。第一位数表示首次使用该附图标记的图号。例如,首次用于图 1 中的附图标记将具有如同 1XX 的数字,而首先用于图 4 的数字将具有如同 4XX 的数字。另外两位数表示图中的特定元件。图 1 中的一个元件可以为 101,而另一个元件可以为 102。用于后面图中的同样的附图标记表示相同的元件。例如,图 3 中的附图标记 102 为与图 1 中所示相同的元件。另外,附图不一定按比例绘制,而只要构造得能清楚地说明本发明即可。

具体实施方式

[0022] 根据本发明的 ACCC 增强电缆的实例如下。ACCC 增强电缆包括四层组分,其构成如下:内部碳/环氧层,其次玻璃-纤维/环氧层,Kapton 表面材料,及两层或多层四面体形铝绞线。强度构件由直径为约 0.28 英寸的先进复合材料 T700S 碳/环氧构成,该先进复合材料被层直径 (layer diameter) 为约 0.375 英寸的 250 得量 (yield) Advantex E-玻璃-纤维/环氧外层围绕。该玻璃-纤维/环氧层被 9 条直径为约 0.7415 英寸的梯形铝绞线内层和 13 条直径为约 1.1080 英寸的梯形铝绞线外层围绕。碳的总面积为约 0.06in^2 ,玻璃的总面积为约 0.05in^2 ,内层铝的总面积为约 $.315\text{in}^2$,外层铝的总面积为约 $.53\text{in}^2$ 。内部碳强度构件中纤维与树脂的重量比例为 65/35,外部玻璃层纤维与树脂的重量比例为 60/40。

[0023] 详细说明总结于下表中:

[0024] E-玻璃

[0025]

Advantex 粗纱 (250 得量)	
拉伸强度, Ksi	770
断裂伸长率, %	4.5

拉伸模量, Msi	10.5
-----------	------

[0026] 碳 (石墨)

[0027]

碳 :Toray T700S (得量 24K)	
拉伸强度, Ksi	711
拉伸模量, Msi	33.4
断裂伸长率, %	2.1%
密度 lbs/ft ³	0.065
丝直径, in	2.8E-04

[0028] 环氧基体体系

[0029]

Araldite MY 721	
环氧值, equ./kg	8.6-9.1
环氧得量, g/equ.	109-
粘度 @50C, cPs	3000-6000
密度 @25C lb/gal.	1.1501.18
硬化剂 99-023	
粘度 @25C, cPs	75-300
密度 @25C, lb/gal	1.19-1.22
促进剂 DY070	
粘度 @25C, cPs	< 50
密度 @25C, lb/gal	0.95. 1.05

[0030] 在可供选择的实施方案中, S- 玻璃可以代替上述实施例中的全部或部分 E- 玻璃。S- 玻璃的值示于下表中。

[0031]

S- 玻璃	
-------	--

拉伸强度, Ksi	700
断裂伸长率, %	5.6
拉伸模量, Msi	12.5

[0032] 发明的实施方式

[0033] 现在将在下文中参照附图更充分地描述本发明, 附图中图示了本发明的示例性实施方案。然而, 本发明可以体现为许多不同的形式, 并不应该解释为限于本文中所提出的实施方案; 相反, 提供这些实施方案, 使得公开将向本领域的技术人员全面地转达本发明的范围。

[0034] ACCC 增强电缆

[0035] 本发明涉及一种增强复合材料芯构件, 其中所述构件还包括外表面涂层。在一个实施方案中, 所述复合材料芯包括由多根嵌入到基体中的纤维增强体制成的复合材料, 该纤维增强体来自一种或多种纤维类型。本发明的另一个实施方案将复合材料芯用于一种铝导体复合材料芯增强 (ACCC) 电缆中。这些 ACCC 电缆可以为电力分配装置作准备, 其中该电力分配装置包括分配和输电电缆。图 1 图示了 ACCC 增强电缆 300 的实施方案。图 1 中的实施方案图示了 ACCC 增强电缆, 其包括被第一层铝导体 306 围绕的复合材料芯 303, 该复合材料芯进一步包括碳纤维增强体和环氧树脂复合材料内芯 302 及玻璃纤维增强体和环氧树脂复合材料外芯 304。该实施方案中的导体包括多条螺旋形围绕复合材料芯的梯形铝绞线。第一层铝还被第二层梯形铝导体 308 围绕。

[0036] 图 1B 所示的本发明的又一个实施方案图示了 ACCC 增强电缆 300, 其包括被保护性涂层或膜 305 围绕的复合材料芯 303, 该复合材料芯 303 进一步包括碳纤维增强体和环氧树脂复合材料内芯 302 及玻璃纤维增强体和环氧树脂复合材料外芯 304。所述保护性涂层将在下面进一步讨论。该保护性涂层还被第一层导体 306 围绕。该第一层还被第二层导体 308 围绕。

[0037] 本发明的复合材料芯的拉伸强度可以大于 200 Ksi, 更优选为约 200 ~ 380Ksi; 其弹性模量大于 7 Msi, 更优选为约 7~37 Msi; 工作温度能力大于 -45℃, 更优选为约 -45 ~ 240℃或更高; 及热膨胀系数低于 $1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, 更优选为约 $1.0 \times 10^{-5} \sim -0.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

[0038] 为了获得上述范围内的复合材料芯, 可以使用不同的基体材料和纤维类型。在下面进一步解释基体和纤维性质。首先, 基体材料使纤维嵌入。换言之, 基体包裹纤维并与其固定在一起作为一个单元 - 载荷构件。基体协助纤维充当单一单元, 以经受住作用于 ACCC 电缆上的物理力。所述基体材料可以为能够将纤维嵌入并包裹到复合材料芯中的任何类型的无机或有机材料。基体可以包括, 但不限于, 诸如胶、陶瓷、金属基体、树脂、环氧、改性环氧、泡沫、弹性体、环氧酚醛树脂混合物或其它高性能聚合物的材料。本领域的技术人员将会认识到可以用作基体材料的其它材料。

[0039] 虽然可以使用其它材料, 但是本发明的示例性实施方案采用改性的环氧树脂。在整个本发明的余下部分, 可以使用术语树脂或环氧表示基体。然而, 使用术语环氧和树脂并不是将本发明限制于那些实施方案, 而是所有其它类型的基体材料也包含在本发明中。本发明的复合材料芯可以包括物理性能可调的树脂, 以实现本发明的目的。而且, 根据本发明

的树脂包含多种组分,该组分可以根据本发明进行调节和改性。

[0040] 本发明可以采用任何适宜的树脂。另外,在各种实施方案中,设计树脂以便容易制备。根据本发明,为了高反应性和较快的生产线速度,可以优化各种树脂粘度。在一个实施方案中,可以采用环氧酸酐体系。为了芯所需的性质以及制备而优化树脂体系的重要方面是选择最佳的催化剂组合。例如,根据本发明,应该优化催化剂(或‘促进剂’),以在短时间内产生大量的树脂组分的固化,同时发生最少量的能够产生裂纹的副反应。另外,还期望催化剂为了增加贮存期在低温下是不活泼的并且为了制备过程中最快的拉拔时间在高温下是非常活泼的。

[0041] 在一个实施方案中,可以特别对于高温固化工艺设计乙烯基酯树脂。另一个实例为液体环氧树脂,其为环氧氯丙烷和双酚-A的反应产物。另一个实例为高纯度双酚-A缩水甘油醚。其它实例包括聚醚酰胺,双马来酰亚胺(bismalimide),各种酸酐,或者酰亚胺。另外,可以根据最终复合材料芯构件所需的性质和处理方法来选择固化剂。例如,固化剂可以为脂肪族聚胺、聚酰胺及其改性型式。其它适宜的树脂可以包括热固性树脂、热塑性树脂或热塑改性的树脂、增韧树脂(toughened resin)、弹性改性的树脂、多功能树脂、橡胶改性的树脂、氰酸酯、或者聚氰酸酯树脂。某些热固性和热塑性树脂可以包括,但不限于,酚醛,环氧,聚酯,高温聚合物(聚酰亚胺),尼龙,含氟聚合物,聚乙烯(polyethylene),乙烯基酯等。本领域的技术人员将会认识到在本发明中可以使用其它树脂。

[0042] 依据计划中的电缆应用,根据所需电缆性质来选择适宜的树脂,以使所述复合材料芯在高温工作中具有长期耐力。还可以根据复合材料芯的形成方法选择适宜的树脂,以使处理过程中摩擦最小,从而增加处理速度,及实现在最终的复合材料芯中适当的纤维与树脂的比例。根据本发明,树脂的粘度可以为约 50 ~ 10000cps,优选为约 500 ~ 3000cps,更优选为约 800 ~ 1800cps。

[0043] 本发明的复合材料芯包括具有良好力学性质和耐化学品性的树脂。这些树脂在使用的至少 40 年内,能够在长期暴露于环境下发挥作用。更优选地,本发明的复合材料芯可以包括在使用的至少约 80 年内在长期暴露下具有良好力学性质及耐化学品性、耐水性和耐 UV 性的树脂。而且,本发明的复合材料芯包括这样的树脂,其可以在 -45 ~ 240℃或更高的温度下,在任何地方工作,并且在温度极限下,具有下降最小的结构性能特性。

[0044] 根据本发明,为了优化复合材料芯的性质和制备过程,树脂可以包括多种组分。在各种实施方案中,树脂包括一种或多种硬化剂/促进剂,以在固化过程中给予帮助。选择的促进剂取决于树脂和制备过程中模具温度。而且,为了改善生产线速度和表面质量,树脂可以包括表面活性剂以有助于降低表面张力。树脂还可以包括粘土或其它填料。这些成分对于树脂增加了体积,并起着降低成本的作用,同时保持树脂的物理性能。还可以加入额外的添加剂,例如,使树脂耐 UV 的耐 UV 添加剂,及着色添加剂(coloring additive)。

[0045] 通常,树脂体系的伸长性质应该超过所采用的玻璃、碳或其它纤维的伸长性质。例如,环氧体系的实施方案可以包括利用酸酐硬化剂和咪唑促进剂的低粘度多功能环氧树脂。这种类型的环氧体系的实例可以为由 Huntsman Inc. 制造的 **Araldite®** MY721/硬化剂 99-023/促进剂 DY070 热固化环氧基体体系,并且在 2002 年 9 月的同样标题的数据表中对其作出说明。所述树脂具有 N, N, N', N' - 四缩水甘油基 -4,4' - 亚甲基二苯胺(methylenebisbenzenamine)的化学名称。所述硬化剂描述为 1H-咪唑,1-甲基-1-甲基

咪唑。特别对于 ACCC 应用而改性的该示例性树脂环氧体系可以具有下列性质:约 3.0~5% 的拉伸伸长率;约 16.5~19.5Ksi 的挠曲强度;约 6.0~7.0Ksi 的拉伸强度;约 450~500Ksi 的拉伸模量;及约 4.5~6.0% 的挠曲伸长率。环氧树脂体系的另一个实施方案可以为多功能环氧及脂环族-胺混合硬化剂。该类型的环氧体系的实例可以为由 JEFFCO Products Inc. 制造的用于浸渍的 JEFFCO 1401-16/4101-17 环氧体系,并在 2002 年 7 月的同样标题的数据表中对其作出说明。该示例性树脂环氧体系可以具有下列性质:约 88D 的肖氏 D 硬度;9.7Ksi 的极限拉伸强度;在拉伸强度下约 4.5~5.0% 的伸长率;约 7.5~8.5% 的极限伸长率;约 15.25Ksi 的挠曲强度;及约 14.5Ksi 的压缩极限强度。环氧树脂体系的这些实施方案是示例性,并不是将本发明限于这些具体的环氧树脂体系。本领域的技术人员将会认识到其它环氧体系也可以生产出本发明范围内的复合材料芯。

[0046] 本发明的复合材料芯可以包括这样的树脂,其足够强韧而能经受住绞接操作(splicing operation),而不使复合材料体破裂。本发明的复合材料芯可以包括净树脂断裂韧度(net resin fracture toughness)为至少约 $0.96\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 的树脂。

[0047] 本发明的复合材料芯可以包括具有低热膨胀系数的树脂。低的热膨胀系数降低所得到的电缆的弛度。本发明的树脂可以具有小于约 $4.2\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 和可能小于 $1.5\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数。本发明的复合材料芯可以包括伸长率大于约 3% 或更优选约 4.5% 的树脂。

[0048] 其次,复合材料芯包括多根纤维增强体,该纤维增强体来自一种或多种纤维类型。纤维类型可以选自:碳(石墨)纤维-HM 和 HS(沥青基)、凯夫拉纤维、玄武岩纤维、玻璃纤维、芳族聚酰胺纤维、硼纤维、液晶纤维、高性能聚乙烯纤维、或者碳纳米纤维、硬钢丝(steel hardwire filament)、钢丝、钢纤维、具有或不具有附着优化涂层的高碳钢丝绳(carbon steel cord)、或者纳米管。几种类型的碳、硼、凯夫拉和玻璃纤维从商业上可以得到。各种纤维类型可以具有亚型,其能够不同地组合以实现具有一定特性的复合材料。例如,碳纤维可以为选自下列中的任何类型的产品:Zoltek Panex[®]、Zoltek Pyron[®]、Hexcel、Toray、或者 Thome1 系列。这些碳纤维可以来自 PAN 碳纤维或聚丙烯腈(PAN)前体。其它碳纤维会包括,PAN-IM,PAN-HM,PAN-UHM,PITCH,或者人造纤维副产品。有许多不同类型的碳纤维,本领域的技术人员会认识到许多碳纤维可以用于本发明。也有许多不同类型的玻璃纤维。例如,在本发明中可以使用 A-玻璃、B-玻璃、C-玻璃、D-玻璃、E-玻璃、S-玻璃、AR-玻璃、R-玻璃或玄武岩纤维。也可以使用纤维玻璃和 paraglass。如同碳纤维一样,也有许多不同类型的玻璃纤维,本领域的技术人员会认识到许多玻璃纤维可以用于本发明。要指出的是,这些仅仅是可以满足本发明的特定特性的纤维的实例,因此本发明不仅限于这些纤维。可以使用满足本发明所需物理特性的其它纤维。

[0049] 为了实现这些物理特性,根据本发明的复合材料芯可以仅包括一种类型的纤维。复合材料芯可以是由一种纤维类型和一种基体类型形成的均匀的部分或层。例如,复合材料芯可以是嵌入到树脂中的碳纤维。所述芯还可以是嵌入到聚合物中的玻璃纤维,芯还可以是嵌入到乙烯基酯中的玄武岩。然而,在本发明范围内,大多数电缆可以包括至少两种截然不同的纤维类型。

[0050] 该两种纤维类型可以为一般的纤维类型,纤维族(fiber class),纤维类型亚型,或者纤维类型属(fiber type genera)。例如,复合材料芯可以利用碳和玻璃形成。然而,当实施方案提及两种或多种纤维类型时,纤维类型不需要是不同族的纤维,像碳和玻璃。相反,

所述两种纤维类型可以在一种纤维族或纤维系列 (fiber family) 内。例如,芯可以由 E- 玻璃和 S- 玻璃构成,其为玻璃纤维系列或纤维族内的两种纤维类型或纤维亚型。在另一个实施方案中,复合材料可以包括两种类型的碳纤维。例如,复合材料可以由 IM6 碳纤维和 IM7 碳纤维构成。本领域的技术人员将会认识到利用两种或多种类型的纤维的其它实施方案。

[0051] 相对于常用于电力传输和分配系统中的电缆的常规材料,如常规钢非复合材料,两种或多种纤维类型组合成复合材料芯构件提供了强度与重量比的实质上的提高。组合纤维类型还可以使复合材料芯具有充足的刚度和强度,但保持了部分柔性。

[0052] 本发明的复合材料芯可以包括具有较高得量或较小 K 数的纤维束。纤维束是一束连续的微纤维,其中所述纤维束的构成由它的得量或 K 数表示。例如,12K 碳纤维束具有 12000 根单根微纤维,900 得量 (yield) 玻璃纤维束对于每一磅的重量具有 900 码的长度。理想地,微纤维利用树脂浸湿,使得在该束或纤维束内各微纤维的外周涂布树脂。复合材料中纤维束的浸湿和渗透对于所得到的复合材料的性能具有至关重要的意义。浸湿不完全导致在纤维复合材料内产生裂纹 (flaw) 或干点,其降低复合材料产品的强度、耐久性和寿命。还可以根据所述方法能够处理的纤维束的尺寸选择纤维束。

[0053] 本发明的碳纤维束可以选自 2K 及以上,但是更优选约 4 ~ 50K。玻璃纤维束可以为 50 得量及以上,但是更优选约 115 ~ 1200 得量。

[0054] 对于玻璃纤维,根据本发明的单根纤维尺寸直径可以低于 15mm,或者更优选为约 8 ~ 15mm,直径最优选为约 10mm。碳纤维直径可以低于 10mm,或者更优选为约 5 ~ 10mm,最优选为约 7mm。对于其它类型的纤维,适宜的尺寸范围根据所需的物理性能确定。该范围是基于最佳浸湿特性和使用的可行性而进行选择。

[0055] 各种类型纤维的相对量可以依据复合材料芯所需的物理特性而变。例如,具有较高弹性模量的纤维能够形成高强度和高刚度的复合材料芯。举例来说,碳纤维的弹性模量为 15Msi 及以上,但是更优选为约 22 ~ 45Msi;玻璃纤维被认为是低模量纤维,其弹性模量为约 6 ~ 15Msi,更优选为约 9 ~ 15Msi。本领域的技术人员将会认识到,可以选择能够实现复合材料芯所需的物理性能的其它纤维。在一个实施例中,复合材料芯可以包括被显著薄的外层低模量玻璃纤维围绕的内部先进复合材料的大部分。通过改变纤维类型的具体组合和比例,也可以实现所完成的芯的预拉伸 (pre-tensioning),以提供芯的极限强度的综合的改善。例如,具有非常低的热膨胀系数和较低伸长率的碳纤维能够与具有较高热膨胀系数和较大伸长率的 e- 玻璃 (举例来说) 组合。通过改变树脂化学组成和处理温度,能够“调整”所得到的“固化”产品,以提供比各纤维类型的单独强度的总和更大的强度。在较高的处理温度下,玻璃纤维膨胀,而碳纤维基本上不膨胀。在处理模具的控制的几何形状中,结果是,随着产品离开模具并开始冷却至室温,基于纤维混合物的比例和树脂的物理特性,努力恢复它的初始长度的玻璃开始压缩碳纤维,而仍然保持部分的预张力 (pre tension)。所得到的产品具有显著提高的拉伸强度和挠曲强度特性。

[0056] 本发明的复合材料芯可以包括具有较高拉伸强度的纤维。在高架的电力输电电缆中初始架设的弛度与跨度长度的平方成正比,与电缆的拉伸强度成反比。拉伸强度的增加能够有效地降低 ACCC 电缆的弛度。举例来说,可以选择这样的碳或石墨纤维,其拉伸强度为至少 250Ksi,更优选为约 350 ~ 1000Ksi,但是最优选为 710 ~ 750Ksi。并且举例来说,可以选择这样的玻璃纤维,其拉伸强度为至少约 180Ksi,更优选为约 180 ~ 800Ksi。通过

结合具有较低拉伸强度的玻璃纤维与具有较高拉伸强度的碳纤维,能够调整复合材料芯的拉伸强度。两种类型的纤维的性质可以结合,形成具有一组更需要的物理特性的新电缆。

[0057] 本发明的复合材料芯可以具有各种纤维与树脂的体积分数。该体积分数为纤维的面积除以横截面的总面积。本发明的复合材料芯可以包括嵌入到树脂中的纤维,其体积分数为至少 50%,优选为至少 60%。纤维与树脂的比例影响复合材料芯构件的物理性能。具体地,拉伸强度、挠曲强度和热膨胀系数为纤维与树脂的体积比的函数。通常,复合材料中纤维的体积分数越高,复合材料的性能越高。纤维和树脂基体的重量将确定纤维与树脂的重量比。

[0058] 所述复合材料芯的任何层或部分都可以具有不同于其它层或部分的纤维与树脂的重量比。这些不同可以通过选择和选定用于适当树脂类型的适当数量的纤维来完成,以实现所需的纤维与树脂的比例。例如,复合材料芯构件具有 3/8 英尺的直径截面,由被外部玻璃和环氧层围绕的碳纤维和环氧层构成,其可以包括 28 卷 (spools of) 250 得量玻璃纤维和在 50℃ 下粘度为约 1000 ~ 2000cps 的环氧树脂。该纤维与树脂选择能够产生约 65/45 的纤维与树脂的重量比。树脂可以优选被改性,以实现用于形成工艺的所需的粘度。示例性复合材料还可以具有 28 卷 24K 碳纤维和在 50℃ 下粘度为约 1000 ~ 2000cps 的环氧树脂。该选择能够产生约 65/35 的纤维与树脂的重量比。改变纤维的卷数会改变纤维与树脂的重量比,从而能够改变复合材料芯的物理特性。作为选择,可以调整树脂以增加或降低树脂粘度,从而改善纤维的树脂浸渍。

[0059] 在各种实施方案中,所述复合材料芯可以包括多种几何形状中的任何一种。将在下文解释各种几何形状的部分不同的实施方案。另外,复合材料芯还可以包括具有各种定向或定位的纤维。连续的纤维束 (towing) 能够沿着电缆纵向地定向纤维。所述芯可以具有沿电缆长度方向延伸的纵轴。在本领域中,该纵轴称为 0° 定向。在大部分芯中,纵轴沿芯的中心延伸。纤维能够与该纵轴平行排列;该定向常称为 0° 定向或单向定向。然而,为了各种优化目的,可以引入其它定向,以调整例如如挠曲强度的变量。

[0060] 复合材料芯中的纤维可以以各种方式排列在芯内。除了 0° 定向之外,纤维可以具有其它排列。一些实施方案可以包括离轴的几何形状。所述复合材料芯的一个实施方案可以具有围绕复合材料芯的纵轴螺旋形缠绕的纤维。纤维的缠绕可以为离开 0° 定向接近 0° 到接近 90° 的任意角度。该缠绕可以在 + 和 - 方向或者 + 或 - 方向。换言之,纤维可以沿着顺时针或逆时针方向缠绕。在示例性实施方案中,纤维会以与纵轴成某一角度围绕纵轴螺旋形缠绕。在一些实施方案中,芯不会形成在径向层中。相反,芯可以具有两层或多层平层,其一起紧密结合成芯。在该构造中,除了 0° 定向之外,纤维还可以具有其它纤维定向。在任何层中,纤维都可以以与 0° 定向成某一角度放置。而且,该角度可以为从接近 0° 到接近 90° + 或 - 的任意角度。在一些实施方案中,一根纤维或一组纤维可以具有一个方向,而另一根纤维或另一组纤维可以具有第二方向。因而,本发明包括所有多方向的几何形状。本领域的技术人员将会认识到其它可能角度的定向。

[0061] 在各种实施方案中,纤维可以是交织的 (interlaced) 或编织的 (braided)。例如,一组纤维可以在一个方向螺旋形缠绕,而第二组纤维在相反方向缠绕。在纤维缠绕时,一组纤维可以与其它组纤维改变位置。换言之,所述纤维会编织或交叉。这些组螺旋形缠绕的纤维也可能不是编织的或交织的,但是可能在芯中形成同心层。在另一个实施方案中,可以

在芯上放置编织套并将其嵌入到最终的芯结构中。并且,纤维可以本身或者以纤维组扭转(twisted)。本领域的技术人员将会认识到纤维定向不同的其它实施方案。那些不同的实施方案包括在本发明的范围内。

[0062] 除了纤维的定向之外,其它几何形状也是可能的。所述复合材料芯可以形成于不同的层和部分中。在一个实施方案中,复合材料芯包括两层或多层。例如,第一层可以具有第一纤维类型和第一类型的基体。随后的层可以包括不同于第一层的纤维类型和基体。所述不同的层可以成束并紧密结合成最终的复合材料芯。举例来说,所述复合材料芯可以由下列构成:由碳和环氧制成的层、玻璃纤维和环氧层、以及玄武岩纤维和环氧层。在另一个实例中,芯可以包括四层:玄武岩内层、下一碳层、下一玻璃层和玄武岩外层。所有这些不同的排列能够产生复合材料芯的不同的物理性能。本领域的技术人员将会认识到许多其它层结构是可能的。

[0063] 另一种芯排列可以在芯中包括不同的部分来代替层。图2图示了复合材料芯的五种可能的可供选择的实施方案。这些横截面表明所述复合材料芯可以以两个或更多部分排列,而不使那些部分分层。因而,依据所需的物理特性,复合材料芯能够具有含某种复合材料的芯的第一部分和含有不同复合材料的一个或多个其它部分。这些部分可以分别由嵌入到一种或多种类型基体中的多根纤维制成,该多根纤维来自一种或多种纤维类型。所述不同的部分可以成束和紧密结合成最终的芯构造。

[0064] 在各种实施方案中,所述层或部分可以包括不同的纤维或不同的基体。例如,一部分芯可以为嵌入到热固性树脂中的碳纤维。另一个部分可以为嵌入到热塑性部分中的玻璃纤维。各部分中基体和纤维类型可以一致。然而,所述部分和层也可以混杂。换言之,任何部分或层都可以由两种或多种纤维类型构成。因而,举例来说,所述部分或层可以为由嵌入到树脂中的玻璃纤维和碳纤维制成的复合材料。因而,本发明的复合材料芯可以形成仅具有一种纤维类型和一种基体的复合材料芯,仅具有含两种或多种纤维类型和一种或多种基体的一层或部分的复合材料芯,或者由各自含一种或多种纤维类型和一种或多种基体类型的两个或多个层或部分形成的复合材料芯。本领域的技术人员将会认识到复合材料芯的几何形状的可能。

[0065] 复合材料芯的物理特性也可以通过调整复合材料芯构件内各组分的面积百分比来调节。例如,通过从0.0634平方英寸减小前面提到的复合材料芯中碳的总面积,并从0.0469平方英寸增加玻璃层的面积,复合材料芯构件产品可以减小刚度并增加柔性。

[0066] 先进的复合材料纤维可以选自具有下列的特性的材料:拉伸强度为至少约250Ksi,优选为约350~1000Ksi;弹性模量为至少15Msi,优选为约22~45Msi;热膨胀系数为至少约 $-0.6 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$;屈服伸长百分率为约2~4%;介电性能(dielectric)为约0.31~0.04W/m·K;及密度为约0.065~0.131lb/in³。

[0067] 低模量纤维可以选自具有下列的特性的材料:拉伸强度为约180~800Ksi;弹性模量为约6~15,更优选约9~15Msi;热膨胀系数为约 $5 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;屈服伸长百分率为约3~6%;介电性能为约0.034~0.04W/m·K;及密度为约0.0601lb/in³及以上,但是更优选为约0.065~0.131lb/in³。

[0068] 在一个实施方案中,复合材料芯可以包括散置的高弹性模量纤维和低弹性模量纤维。依据断裂应变比,该类型的芯可以为混杂复合材料的单一部分或层,或者它可以以几个

部分的单一纤维复合材料形成。

[0069] 根据本发明,包括复合材料基体的树脂可以被定制,以实现用于处理的某些性质以及实现最终产品所需的物理性能。同样,可以确定纤维和定制的树脂断裂应变比。

[0070] 复合材料芯还可以包括对复合材料芯或在复合材料芯周围的膜进行的其它表面涂布或表面处理。例如,参照图 1B,膜 305 或涂层围绕复合材料芯 303。膜可以包括任何涂布于芯上的化学品或材料,其保护芯 303 不受环境因素干扰,保护芯 303 不受磨损,或者制备芯 303 以进行进一步处理。某些这些类型的处理可以包括,但不限于:凝胶涂层、防护漆或其它后涂布或预涂布的表面、或者膜如 Kapton、Teflon、Tefzel、Tedlar、Mylar、Melonex、Tednex、PET、PEN 等。

[0071] 根据本发明,保护膜提供至少两个作用。首先,膜附着到芯上,以保护芯不受环境因素干扰,从而可能增加寿命。其次,膜使与模具接触的芯的外部润滑,以便容易制备并增加处理速度。在各种实施方案中,该材料会防止通常像粘合剂一样的树脂基体与模具的内表面接触,从而能够大大提高处理速度。效果实质上是,在实际上为动态的环境内产生了静态处理环境。在各种实施方案中,膜可以为单膜或多层膜,其中所述多层包括多样的尺寸和/或物理特性。例如,在结合芯 303 的方面,内层的物理性能可能是相容的,而外层可能简单地用作不相容的处理助剂。

[0072] 某些材料涂布可以包括,但不限于:涂布于芯上的表面罩(surface veil)、涂布于芯上的垫子(mat)、或者包覆在芯周围的保护性或导电性带(tape)。该带可以包括干的或湿的带。所述带可以包括,但不限于:纸或纸制品带、金属带(如铝带)、聚合物带、橡胶带等。任何这些产品都可以保护芯不受环境力如水分、热、冷、UV 辐射或腐蚀成分干扰。膜的某些实例可以包括 Kapton, Tefzel (Teflon 和 Kapton 的混合物), VB-3, Teflon, PEN 和 PET (聚酯膜,聚酯等)。对芯进行的其它涂布和处理将为本领域的技术人员所认识并包括在本发明中。

[0073] 另一个问题出现在某些钢增强或金属增强电缆中。钢增强电缆需要测量连续的塔或电线杆结构之间电缆的下垂。线中的下垂使得电缆发生振动或摇摆,并且在某些情况下,下垂可能经受电缆中的谐波振动,风激(风-引发的)振动,或过度摇摆。在某一风速下或者由于环境力,电缆可能以谐频或在这样的力作用下振动,该力使得电缆或支撑结构由于应力和应变而磨损或变弱。能够引起破坏性振动的某些环境力可以包括,但不限于:风、雨、地震、潮汐作用、波浪作用、河川径流作用、附近的汽车通行、附近的船只、或者附近的飞机。本领域的技术人员将会认识到可能引起破坏性振动的其它力量。另外,本领域的技术人员将会认识到谐波或破坏性振动为电缆中的材料、弛度、跨度的长度(the length of the span)和引发振动的力量的函数。

[0074] 对横越或靠近铁路轨道的电缆而言,出现了一个特别的问题。火车沿着铁路轨道的运动和来自大功率柴油机的振动引起铁路轨道和轨道周围的地面的振动。地面振动引发支撑电缆的电线杆和支撑结构的振动。电缆又由于振动的支撑结构而振动。在有些情况下,电缆中的振动以谐波发生,该谐波引起剧烈或破坏性的振动和摇摆。该谐波或破坏性振动在电缆和支撑结构中产生应力。ACSR 或相似的电缆的下垂放大了振动的作用。在某些情况下,下垂使得来自火车的谐波振动发生。接近火车轨道的 ACCC 电缆不受相同的振动作用影响。相反,平行或接近轨道或者跨越轨道的 ACCC 电缆可以具有较少的线下垂。复合材料芯

的减小的线下垂或不同性质减小,抑制,或者减轻火车引起的振动的作用。

[0075] 本发明有助于防止由于风或其它力量,如通过火车而引起的电缆中谐波或破坏性的摇摆或振动。首先,由于它的强度与重量比特性增加,ACCC 电缆可以不同地架设。ACCC 电缆可以横跨长距离而下垂较少。由于上述内芯的性质提高,可以制造比钢增强电缆更轻和更硬的 ACCC 电缆。因而,与钢增强电缆相比,对于 ACCC 电缆来说,产生问题的频率可能是不同的。可以改变弛度以调节电缆中能够引起破坏性振动或摇摆的频率。可以减少电缆下垂,以改变可能在电缆中引发的谐波或破坏性频率。另外,可以改变电缆跨度。由于某些 ACCC 电缆的强度增加,可以改变电线杆之间的距离,以调节破坏性频率。本领域的技术人员将会认识到 ACCC 电缆提供的其它架设可能性,其有助于减小或消除振动或摇摆,特别是谐波或破坏性振动。

[0076] 其次,可以调节所述复合材料芯中所使用的材料以阻尼电缆中的振动。例如,可以将弹性体或其它材料用于层、部分中,或者用作复合材料芯的部分基体材料。弹性体或其它材料的存在可以充当阻尼成分,其吸收振动或消散振动。另外,可以调节纤维类型来阻尼振动。例如,可以使用更加弹性的纤维类型如聚合物纤维,以吸收或消散振动。因而,所述复合材料芯的组成可以防止或减轻振动力量。本领域的技术人员将会认识到对复合材料芯进行其它改变,其可以减小或消除振动或摇摆,特别是谐波或破坏性振动。

[0077] 第三,作为单一或多样外形的芯的几何形状可以用来提供自-阻尼特性,因为它的平滑表面在它们本身和/或铝导体绞线之间相互作用。该相互作用“吸收”跨越宽范围的频率和振幅的振动,其还可以通过改变芯组成的几何形状和/或 ACCC 电缆的架设张力来调节。

[0078] 根据本发明制备的复合材料电缆具有物理性能,其中这些确定的物理性能可以通过改变复合材料芯形成过程中的参数进行控制。更具体地,复合材料芯形成过程是可调节的,以实现最终的 ACCC 电缆中所需的物理特性。

[0079] 用于 ACCC 增强电缆的复合材料芯的制备方法:

[0080] 可以存在几种产生复合材料芯的形成方法,但是在下文中说明一种示例性方法。该示例性方法为复合材料芯的高速制备方法。包括所述示例性方法在内的许多方法可以用于形成几种不同的复合材料芯,其具有前面提及或描述的几种不同的芯结构。然而,随后的说明选择就产生具有玻璃纤维外层的碳纤维芯,具有单向性纤维,及均匀的层状、同心复合材料芯方面来说明该高速方法。本发明不限于该实施方案,而是包括利用高速方法形成上述复合材料芯所需的所有修改。本领域的技术人员将会认识到这些修改。

[0081] 根据本发明,多阶段形成方法由大量连续长度的适宜的纤维束和可热处理的树脂产生复合材料芯构件。在产生适当的芯之后,所述复合材料芯构件可以用高导电材料包覆。

[0082] 根据本发明制备用于 ACCC 电缆的复合材料芯的方法描述如下。参照图 3,显示了本发明的导体芯形成方法,并且其通常由附图标记 400 标明。采用该形成方法 400 以由适宜的纤维束或粗纱和树脂制备连续长度的复合材料芯构件。所得到的复合材料芯构件包括混杂的同心芯,其具有内层和外层的均匀分布的实质上平行的纤维。

[0083] 将仅简单描述操作的开始阶段,因为在 US 部分继续申请 (CIP) 10/691447 和 US 部分继续申请 10/692304 以及 PCT/US03/12520 中对它进行了详细讨论,所述各专利引入本文中作为参考。在开始操作中,激活拉拔和缠绕线轴 (spool) 机构以开始拉拔。在一个实施

方案中,在操作的开始阶段,未浸渍的初始纤维束充当引线 (leader),以从线轴 (未示出) 通过纤维束导向体和复合材料芯处理系统 400 拉拔纤维束 402 (和 401),所述初始纤维束包括从所述过程的出口端伸出的多根纤维。所示的纤维束 402 包括中心部分的碳纤维 401,其由玻璃纤维 402 的外部纤维束围绕。

[0084] 参照图 3,多卷纤维束 401 和 402 包含在分配托架系统内并穿过纤维束导向体 (未示出)。该纤维可以是未卷绕的并且取决于芯所需的特性,在该方法中,纤维可以保持平行或者纤维可以扭转。优选地,在设备末端的拉出器 (未示出) 将纤维拉过该设备。各分配托架可以包括允许调整各线轴张力的装置。例如,各托架可以具有在分配托架上的小制动器,以单独地调整各线轴的张力。当纤维移动时,张力调整使纤维的悬链和跨接最小并有助于浸湿工艺。在一个实施方案中,可以将纤维束 401/402 拉过导向体 (未示出) 并拉入预热炉中,该预热炉消除水分。优选地,预热炉利用连续的循环气流和加热元件,以保持温度恒定。预热炉优选高于 100°C。

[0085] 在一个实施方案中,纤维束 401/402 被拉入浸湿系统中。该浸湿系统可以为任何能够用树脂浸润纤维或浸渍纤维的方法或装置。浸湿系统可以包括引入固体形式的树脂,该固体形式将在后面的加热过程中液化。例如,热塑性树脂可以形成为几种纤维。这些纤维可以与示例性实施方案的碳和玻璃纤维散置。当向纤维束加热时,热塑性纤维液化或熔化,并浸渍或浸润碳和玻璃纤维。

[0086] 在另一个实施方案中,碳和玻璃纤维可以具有围绕纤维的树皮状 (bark) 或皮肤状表面;该树皮状表面保持或包含粉末形式的热塑性或其它类型树脂。当对纤维加热时,树皮状表面熔化或蒸发,粉末状的树脂熔化,熔化的树脂浸润纤维。在另一个实施方案中,树脂为施加到纤维上的膜,然后熔化从而浸润纤维。在另一个实施方案中,纤维已经浸有树脂 - 在本领域中这些纤维已知为预浸渍材料纤维束。如果使用该预浸渍材料纤维束,就不使用浸湿罐或装置。浸润系统的实施方案为浸润罐。在下文中,浸润罐将用于本说明书中,但是本发明不限于该实施方案。相反,浸润系统可以为浸润纤维的任何装置。浸润罐填充有树脂,以浸渍纤维束 401/402。在经过浸润罐出口过程中,从纤维束 401/402 中除去过量的树脂,最后作为材料拉入初始固化模具中。

[0087] 可以采用本领域中已知的各种选择性技术来用树脂涂布或浸渍纤维。该技术例如包括例如,喷涂,浸涂,反向涂布 (reverse coating),刷涂,及树脂注射。在可供选择的实施方案中,超声波活化利用振动来改善纤维的浸润能力。在另一个实施方案中,可以使用浸渍罐浸润纤维。浸渍罐含有投入到充满树脂的罐中的纤维。当纤维从充满树脂的罐中显露出来时,纤维已经被浸润。又一个实施方案可以包括注射模具组件。在该实施方案中,纤维进入充满树脂的加压罐。罐内的压力有助于浸润纤维。当仍然在加压罐内时,纤维可以进入用于形成复合材料的模具中。本领域的技术人员将会认识到可以使用的其它类型的罐和浸润系统。

[0088] 通常,可以将各种已知树脂组合物中的任何一种用于本发明中。在示例性实施方案中,可以使用可热固化的热固性聚合物。树脂可以为例如,PEAR (聚醚酰胺树脂),双马来酰亚胺,聚酰亚胺,液晶聚合物 (LCP),乙烯基酯,基于液晶技术的高温环氧,或相似的树脂材料。本领域的技术人员将会认识到可用于本发明中的其它树脂。依据方法和复合材料芯所需的物理特性来选择树脂。

[0089] 而且,树脂的粘度影响形成速率。为了实现所需的用于形成复合材料芯构件的纤维与树脂的比例,树脂的粘度范围在 20℃ 优选为约 50 ~ 3000 厘泊。更优选地在 20℃ 粘度为约 800 ~ 1200 厘泊。优选的聚合物提供耐宽范围的腐蚀性化学品性,并具有非常稳定的介电性能和绝缘性质。还优选聚合物满足 ASTM E595 除气要求和 UL94 可燃性试验,并且能够在 180 ~ 240℃ 或更高的温度下间歇性地工作,而不热或机械地破坏构件的强度。

[0090] 为了获得所需的纤维与树脂浸润比,浸润罐的上游可以包括从纤维中取出过量树脂的装置。在一个实施方案中,可以在浸润系统的末端之后放置一组擦拭器 (wiper),其优选由镀铬的钢 (steel chrome plated) 擦拭条制成。该擦拭器可以是用于除去过量树脂的“刮片”或其它器件。

[0091] 在浸润过程中,各束纤维包含的树脂为最终产品所需的树脂的 3 倍。为了获得复合材料芯构件的横截面中合适比例的纤维和树脂,计算纯纤维的量。设计模具或系列模具或擦拭器,以除去过量树脂并控制纤维与树脂的体积比。作为选择,可以设计模具和擦拭器,以使任何体积比的纤维与树脂通过。在另一个实施方案中,该器件可以为取出树脂的一组条或挤出衬套。这些树脂取出器件还可以用于其它浸润系统中。另外,本领域的技术人员将会认识到可以用于取出过量树脂的其它装置。优选地,将过量树脂收集并再循环到浸润罐中。

[0092] 优选地,再循环塔盘优选纵向延伸到浸润罐下以收集溢流树脂。更优选地,浸润罐包括具有溢流容量的辅助罐。溢流树脂通过重力经过管道返回辅助罐。作为选择,罐溢流可以通过溢流通道收集并通过重力返回罐中。在又一个可供选择的实施方案中,该方法可以利用排出泵系统将树脂从辅助罐再循环到浸润罐中。优选地,计算机系统控制罐内树脂的水平。传感器检测低树脂水平并激活泵以将树脂泵入罐中,从辅助混合罐进入处理罐。更优选地,存在位于浸润罐区域内的混合罐。将树脂在混合罐中混合并泵入树脂浸润罐中。

[0093] 将纤维束 401/402 拉入模具 406 中,压紧并使纤维束 401 和 402 成形。可以使用一种或多种模具压紧,以将空气赶出复合材料,并将纤维成形为复合材料芯。在示例性实施方案中,复合材料芯由两组纤维束制成 - 内部段由碳构成,而外部段由玻璃构成。第一模具 406 还起着从纤维树脂基体中除去过量树脂的作用,并且可以开始树脂的催化 (catalyzation) (或者“B- 阶段 (Staging)”)。模具的长度为纤维和树脂所需特性的函数。根据本发明,模具 406 的长度可以为约 1/2 英寸到约 6 英尺。依据所需的线速度,模具 406 的长度优选为约 3 ~ 36 英寸。模具 406 还包括加热元件,以使模具 406 的温度能够发生变化。例如,在各种树脂体系中,需要在模具内具有一个或多个加热区域,以活化各种硬化剂或促进剂。

[0094] 根据本发明所使用的树脂可以使该方法实现达到或超过 60 英尺/分钟的速度。在本发明的一个实施方案中,芯从第一模具 406 中拉出并包覆有保护性的带、涂层或膜。虽然带、涂层和膜可以用于描述不同的实施方案,但是本文中使用的术语“膜”来简化说明,并且不是限制性的。

[0095] 在图 3 中,两大辊的带 408 将带引入到第一梳理板 (carding plate) 410 中。该梳理板 410 排列所述带使得彼此平行围绕芯。将该芯 409 拉拔至第二梳理板 412。该梳理板 412 的作用在于使带向中心芯 409 逐渐地折叠。将芯 409 拉过第三梳理板 414。梳理板 414 起着使带向中心芯 409 折叠的作用。再次参照图 3,将芯 409 拉过第四梳理板 416,梳理板

416 起着进一步将带包覆在芯 409 周围的作用。虽然该示例性实施方案包括 4 个梳理板,但是本发明可以包括任意多个板,以促进所述包覆。各模具之间的面积也可以温度控制,以帮助树脂催化和处理。

[0096] 在可供选择的实施方案中,带被涂布机构取代。该机构起着用保护性涂层涂布芯 409 的作用。在各种实施方案中,涂层可以通过设备喷涂或辊压在芯上,该设备经调整从相对于复合材料芯的任意多个角度施加涂层。例如,凝胶漆可以像油漆一样利用反向涂布法涂布。优选涂层具有快速固化时间,使得它在芯和涂层在工艺末端到达缠绕轮时变干。

[0097] 一旦芯 409 用带包覆,就将芯 409 拉过第二模具 418。第二模具 418 起着进一步压缩和成形芯 409 的作用。所有纤维束 401/402 的压紧产生了均匀分布、层状和同心的最终复合材料芯,其具有要求的外径。该第二模具还使催化过程能够完成。

[0098] 作为选择,复合材料芯 409 可以经过第二 B- 阶段炉拉拔至其中所述复合材料芯构件进行固化的下一个炉处理系统。该工艺确定了固化热。固化热在整个固化工艺中保持恒定。在本发明中,固化的优选温度为约 350 ~ 500F。该固化工艺优选横跨约 3 到约 60 英尺的范围。更优选地,所述固化工艺横跨约 10 英尺的长度。

[0099] 固化后,将复合材料芯拉过冷却阶段。优选地,复合材料芯构件在到达过程末端的拉出器之前,在约 8 到约 15 英尺的距离内通过空气对流冷却。作为选择,可以将芯拉拔至下一个用于在高温下后固化的炉处理系统。该后固化工艺促进树脂内的交联,导致复合材料构件的物理特性改善。该方法通常可以允许加热和冷却过程之间有间隔,以及在过程末端的拉拔设备自然地或通过对流冷却产品,使得用于抓住和拉拔产品的所述拉拔设备不会损坏产品。所述拉拔设备以精确控制的速度拉拔产品通过该工艺。

[0100] 在拉拔芯 409 通过该工艺后,芯可以利用缠绕系统进行缠绕,由此纤维芯包覆在用于储存或运输的轮子周围。对于芯构件的强度来说,关键在于缠绕没有通过弯折对芯过度施压。在一个实施方案中,芯没有任何扭转,但是纤维是单向的。标准缠绕轮的直径为 3.0 英尺,具有储存长达 100000 英尺的芯材料的能力。设计轮子以适应复合材料芯构件的刚度,而不迫使芯构件形成太紧的构造。缠绕轮还必须满足运输的要求。因而,轮子必须按规定的尺寸制作以适于桥下和在半拖车车厢或火车车厢上运输。在又一个实施方案中,缠绕系统包括防止轮子由缠绕向解绕逆向转动的装置。该装置可以为防止轮子方向反转的任何装置,例如离合或制动系统。

[0101] 在又一个实施方案中,所述方法包括质量控制系统,该质量控制系统包括生产线检查系统。质量控制方法保证了一致的产品。质量控制系统可以包括:复合材料芯构件的超声波检查;记录最终产品中的纤维束数;监控树脂的品质;在各个阶段期间监控炉子和产品的温度;测量构成;或者测量拉拔工艺的速度。例如,各批的复合材料芯构件具有支持数据,以保持该方法最优化进行。作为选择,质量控制系统还可以包括标记系统。该标记系统可以包括诸如唯一嵌入的纤维的系统,以用大量的具体产品信息来标记复合材料芯构件。而且,复合材料芯构件可以根据特定品质分为不同的等级,例如, A 等、B 等和 C 等。

[0102] 用于处理复合材料芯构件的纤维可以互换,以满足最终的复合材料芯构件产品所需的规格。例如,所述方法允许替换复合材料芯构件中的纤维,该复合材料芯构件具有包含高等级碳和玻璃的碳芯和玻璃纤维外芯。由于所需的纤维和小的芯尺寸的组合,所述方法允许使用较贵且性能较好的纤维代替便宜的纤维。在一个实施方案中,纤维的组合产生具

有最小导电性的高强度内芯,其被低模量非导电性外部绝缘层围绕。在另一个实施方案中,外部绝缘层有助于复合材料芯构件的柔性并使芯构件能够在运输轮上缠绕、储存和运输。外部非铁的芯材料还会减轻通常在常规金属芯和不同的导线(一般为铝合金)之间发现的电解现象。

[0103] 改变复合材料芯的设计可能影响内芯的刚度和强度。作为优点,可以设计芯几何形状以实现最终 ACCC 电缆所需的最佳物理特性。本发明的另一个实施方案,允许再设计所述复合材料芯横截面,以适应复合材料芯构件变化的物理性能并增加复合材料芯构件的柔性。再次参考图 2,不同的复合材料形状改变复合材料芯构件的柔性。纤维类型和基体材料的构造也可以改变柔性。本发明包括能够缠绕在缠绕轮(winding wheel)上的复合材料芯。该缠绕轮或运输轮可以为商业上可以得到的缠绕轮或卷筒。这些轮子一般由木头或金属构成,其内径为 30 ~ 48 英寸。

[0104] 较硬的芯可能需要较大的轮子直径,其在商业上不是可行的。另外,较大的缠绕轮不可能满足运输标准以通过桥下或装上半拖车。因而,硬芯是不实用的。为了增加复合材料芯的柔性,芯可以扭转或分段(segment),以实现可以接受的包覆直径。在一个实施方案中,对于围绕轮子的芯的每一次缠绕,芯可以包括纤维的一次 360 度扭转,以防止破裂。扭转的纤维包括在本发明的范围内,并且包括单独扭转的纤维或作为组扭转的纤维。换言之,纤维可以作为纤维的粗纱、束或若干份扭转。作为选择,芯可以为扭转和直的纤维的组合。扭转可以由轮子直径极限确定。纤维上的张力和压紧应力通过每一次缠绕的单次扭转来平衡。

[0105] 通过生产分段的芯减小缠绕应力。图 2 图示了与图 1 所示的芯的实施方案不同的芯的实施方案的某些实例,即,被外部同心芯围绕的内部同心芯。利用所述方法制备的所述分段的芯通过固化该部分作为单独部分形成,其中该单独部分然后集中在一起。分段所述芯使得具有大于 0.375 英寸芯的复合材料构件产品能够实现所需的缠绕直径,而不对构件产品产生额外的应力。

[0106] 复合材料芯构件中横截面可变的几何形状可以加工为多流(multiple stream)处理。设计处理系统以适应各平行片段的形成。优选地,各片段通过把系列连续的衬套或模具换成用于各通道的具有预定构造的衬套或模具而形成。具体地,可以改变通道的尺寸以适应或多或少的纤维,可以改变通道的排列以便使得不同构造的纤维能够结合在最终产品中,并且在多个连续的衬套或模具内可以加入更多的衬套,以促进复合材料芯构件中变化的几何横截面的形成。在处理系统的末端,各部分在工艺末端结合,形成完整的复合材料电缆芯,其形成整体(单体)。作为选择,片段可以是扭转的,以增加柔性并促进缠绕。

[0107] 最终的复合材料芯可以被包覆在重量轻的高导电性铝中,形成复合材料电缆。尽管在本发明的标题和本说明书中使用了铝,但是导体可以由任何高度导电的物质构成。具体地,导体可以为任何适于电缆的金属或金属合金。尽管铝是最普遍的,但是也可以使用铜。还可以设想使用贵金属,如银、金或铂,但是这些金属对于这种类型的应用来说是非常昂贵的。在示例性实施方案中,复合材料芯电缆包括具有外部绝缘玻璃纤维复合材料层的内部碳芯和两层铝的梯形绞线。

[0108] 在一个实施方案中,内层铝包括多个梯形铝片段,其沿逆时针方向围绕复合材料芯构件螺旋形缠绕或者包覆。设计各梯形部分,以使铝的量最优化并增加导电性。梯形片

段的几何形状使得各片段能够一起紧密地配合在复合材料芯构件周围。

[0109] 在又一个实施方案中,外层铝包括多个梯形铝片段,其沿顺时针方向围绕复合材料芯构件螺旋形缠绕或者包覆。包覆的反方向防止最终电缆的扭转。各梯形铝部件紧密地配合围绕内层铝层包覆的梯形铝构件。该紧密配合使铝的量最优化并减少高电导性所需的铝。

[0110] 最终的 ACCC 增强电缆是通过用电导体围绕复合材料芯产生的。

[0111] 工业实用性

[0112] 本发明涉及输电电缆。根据本发明的铝导体复合材料芯增强电缆通过利用具有使得载流容量增加而不引发过度线下垂的固有特性的材料,能够提高输电电缆的负荷能力。而且,根据本发明的电缆仍然可以使用现有的输电结构和电线,因而促进现有的电缆输电线的替换。

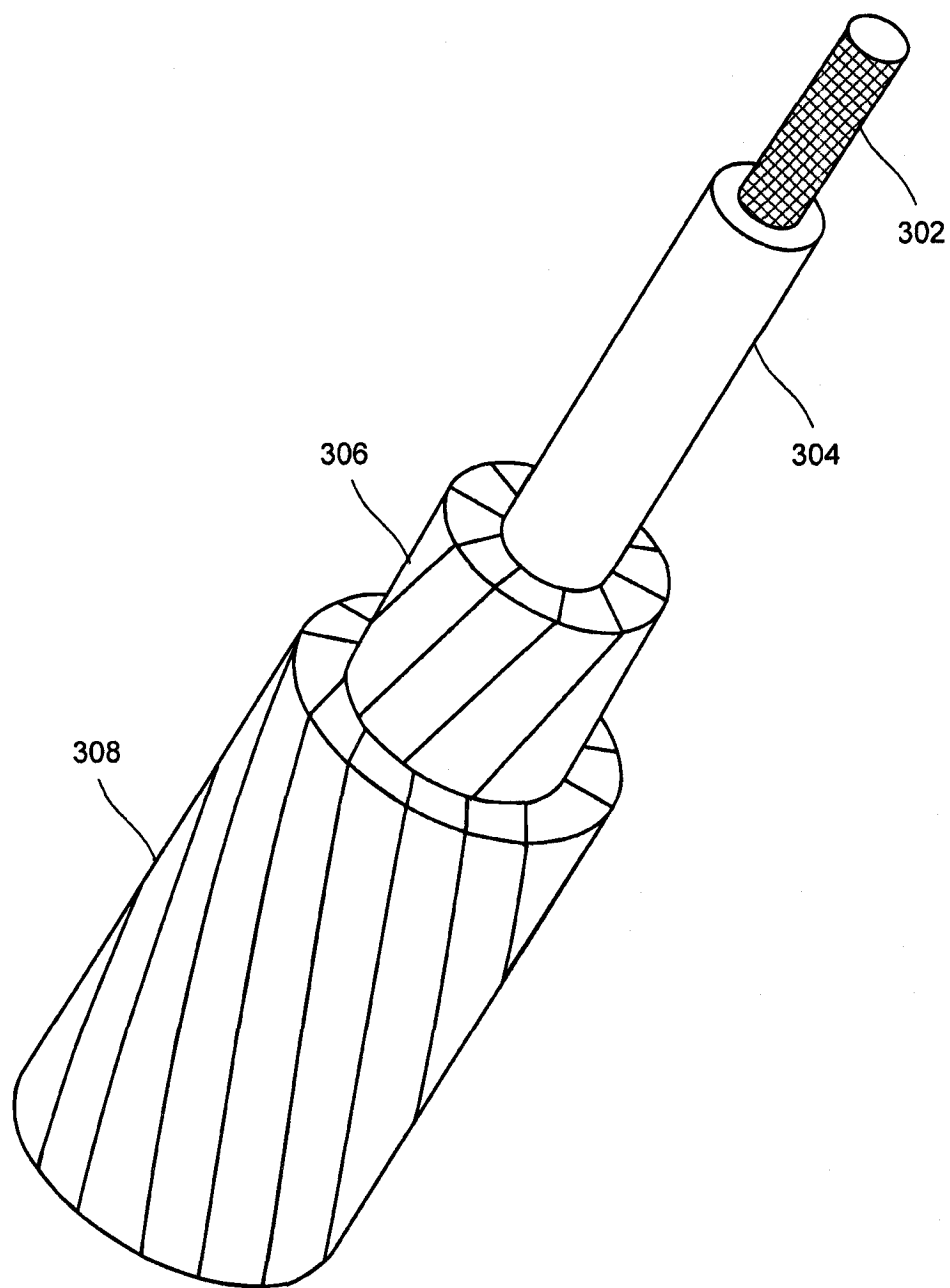


图 1

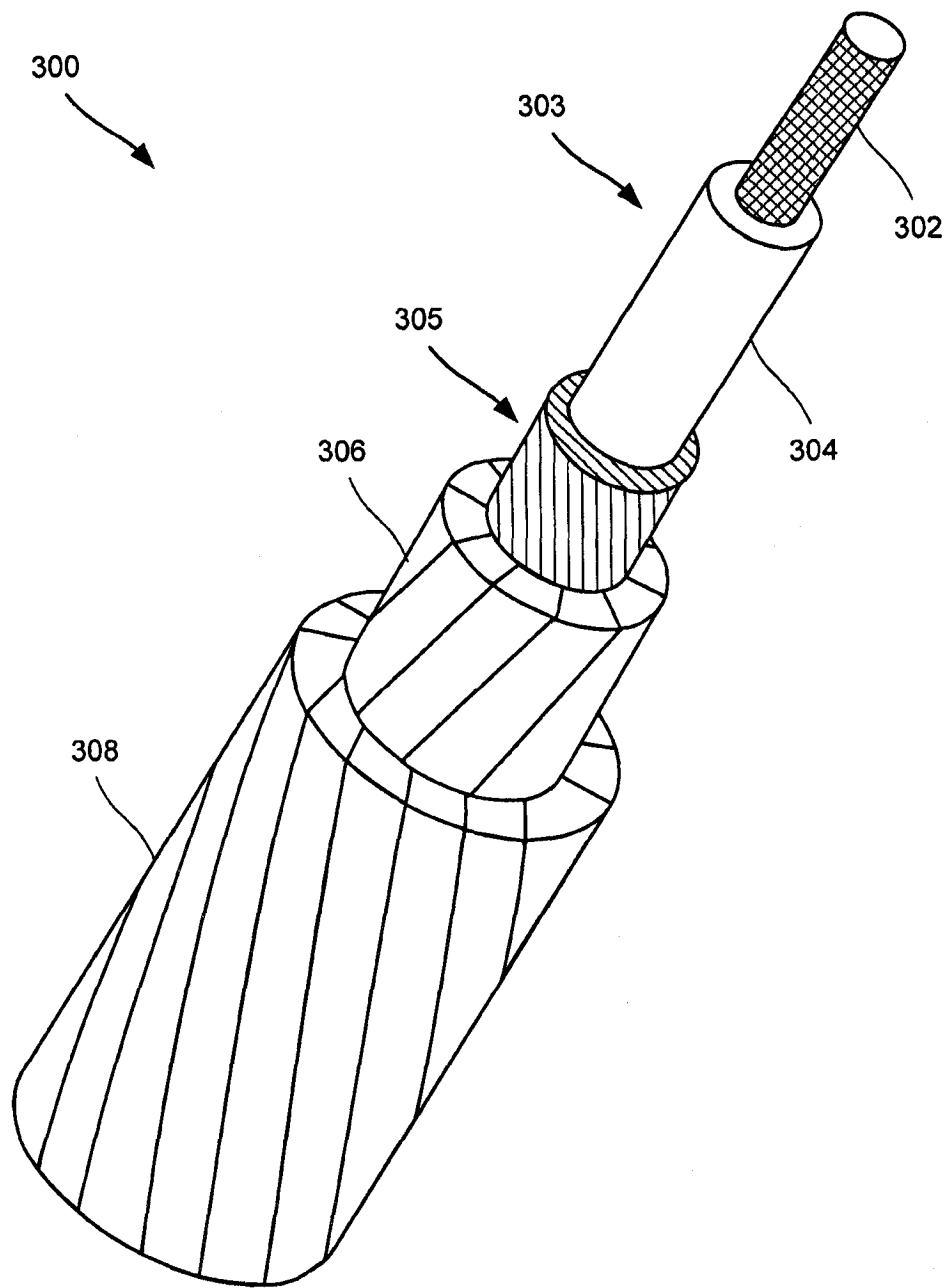


图 1B

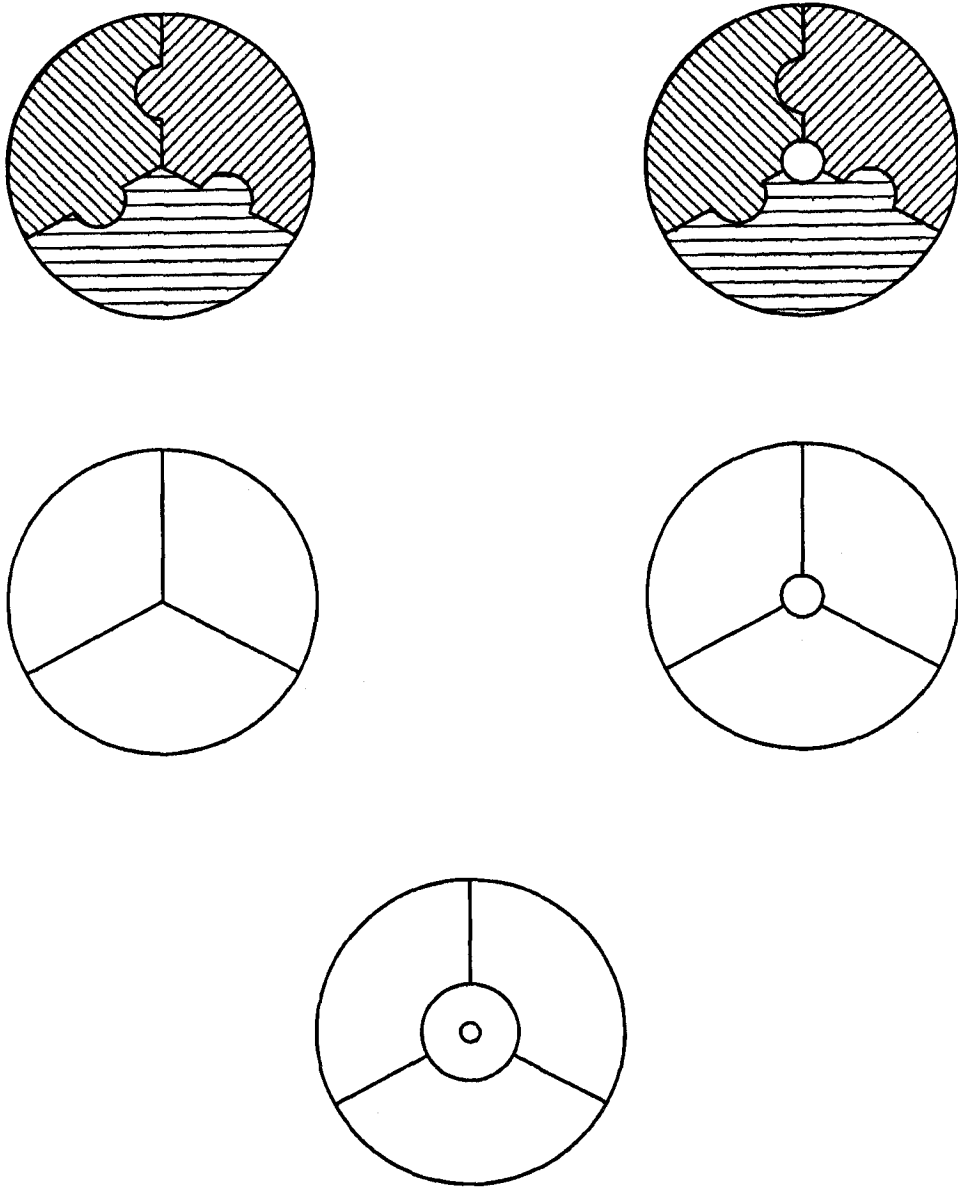


图 2

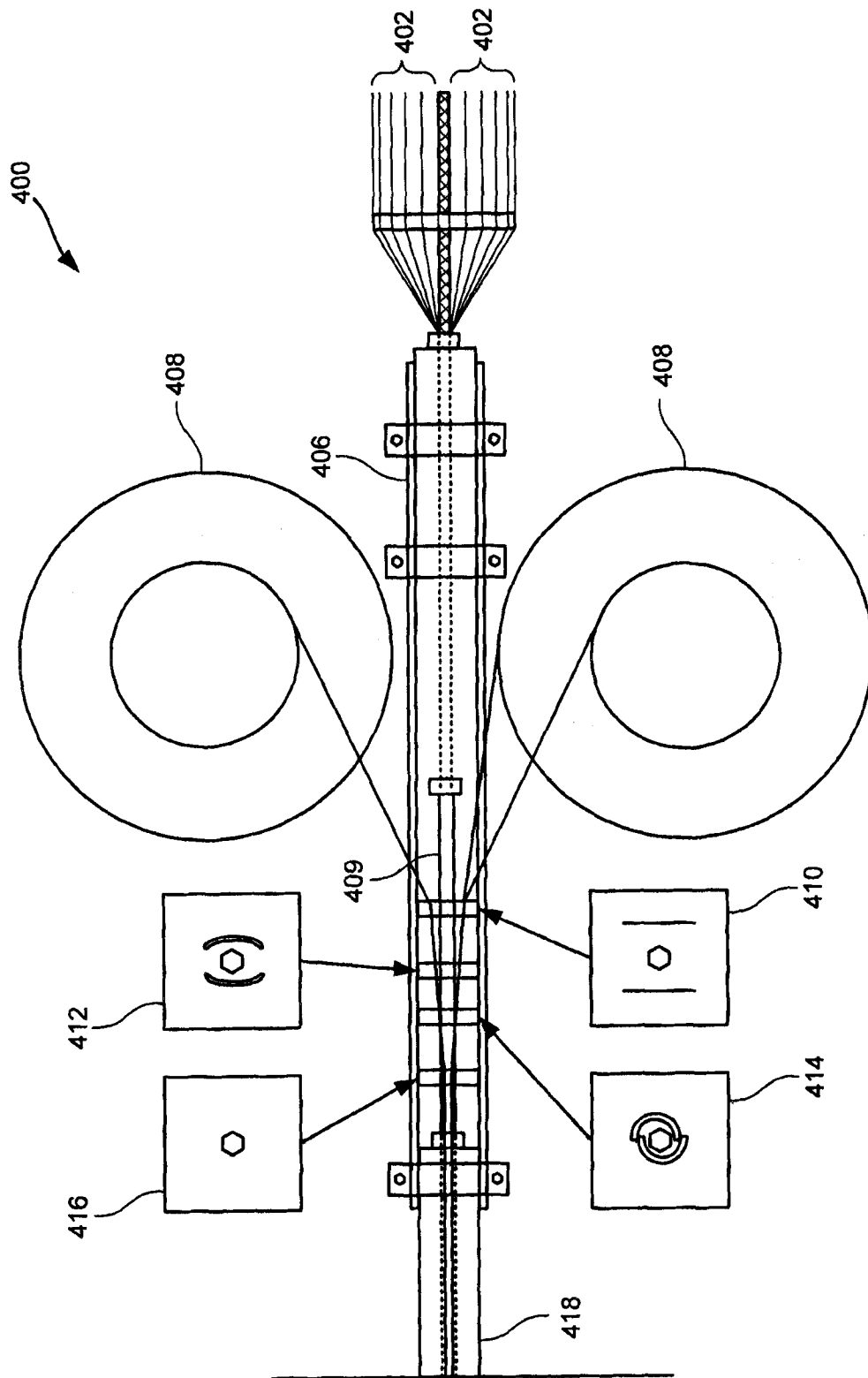


图 3