

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102834876 A

(43) 申请公布日 2012. 12. 19

(21) 申请号 201180015403. 8

(22) 申请日 2011. 01. 24

(30) 优先权数据

61/291, 665 2010. 02. 01 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 09. 24

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/022208 2011. 01. 24

(87) PCT申请的公布数据

W02011/094146 EN 2011. 08. 04

(71) 申请人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 道格拉斯·E·约翰逊

詹姆士·P·瑟伦森

佩尔·M·纳尔逊

迈克尔·F·格雷瑟

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

代理人 梁晓广 关兆辉

(51) Int. Cl.

H01B 5/10(2006. 01)

D07B 1/02(2006. 01)

H01B 13/02(2006. 01)

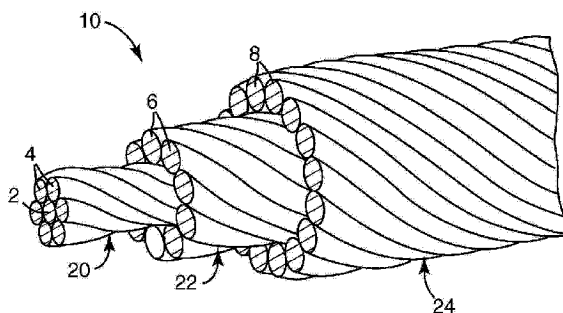
权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 3 页

(54) 发明名称

绞合热塑性聚合物复合缆线及其制备和使用方法

(57) 摘要

螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 (10) 包括限定中心纵向轴线的单个线材 (2)、围绕所述单个线材 (2) 螺旋绞合的多个第一热塑性聚合物复合线材 (4) 和围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材 (4) 螺旋绞合的多个第二聚合物复合线材 (6)。所述螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 (10) 可用作中间制品, 所述中间制品随后结合到最终制品中, 例如电力输送缆线, 包括水下缆绳和水上脐带缆。还描述了制备和使用所述螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的方法。



1. 一种绞合缆线,所述绞合缆线包括:
单个线材,所述单个线材限定中心纵向轴线;
多个第一热塑性聚合物复合线材,所述多个第一热塑性聚合物复合线材围绕所述单个线材沿第一捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第一捻角螺旋绞合并且具有第一捻距;
和
多个第二热塑性聚合物复合线材,所述多个第二热塑性聚合物复合线材围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材沿第二捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第二捻角螺旋绞合并且具有第二捻距。
2. 根据权利要求 1 所述的绞合缆线,其中所述单个线材具有沿与所述中心纵向轴线基本上垂直的方向截取的横截面,并且其中所述单个线材的横截面形状为圆形或椭圆形。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的绞合缆线,其中所述单个线材为聚合物复合线材、热塑性聚合物复合线材或可延展金属线材。
4. 根据权利要求 3 所述的绞合缆线,其中所述聚合物复合线材中的每个为基本上连续的,并且为至少 150m 长。
5. 根据权利要求 1-4 中任一项所述的绞合缆线,其中每个热塑性聚合物复合线材具有沿与所述中心纵向轴线基本上垂直的方向截取的横截面,并且其中每个聚合物复合线材的横截面形状选自圆形、椭圆形和梯形。
6. 根据权利要求 5 所述的绞合缆线,其中所述热塑性聚合物复合线材中的每个的所述横截面形状均为圆形,并且其中每个热塑性聚合物复合线材的直径为约 1mm 至约 4mm。
7. 根据权利要求 1-6 中任一项所述的绞合缆线,其中所述多个第一热塑性聚合物复合线材和所述多个第二热塑性聚合物复合线材中的每个具有 10 至 150 的捻制因子。
8. 根据权利要求 7 所述的绞合缆线,其中所述第一捻向与所述第二捻向相同。
9. 根据权利要求 8 所述的绞合缆线,其中所述第一捻角和所述第二捻角之间的相对差大于 0° 并且不大于约 4° 。
10. 根据权利要求 1-9 中任一项所述的绞合缆线,还包括多个第三热塑性聚合物复合线材,所述多个第三热塑性聚合物复合线材围绕所述多个第二热塑性聚合物复合线材沿第三捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第三捻角螺旋绞合并且具有第三捻距。
11. 根据权利要求 10 所述的绞合缆线,其中所述多个第三热塑性聚合物复合线材和所述多个第二热塑性聚合物复合线材中的每个具有 10 至 150 的捻制因子。
12. 根据权利要求 11 所述的绞合缆线,其中所述第三捻向与所述第二捻向相同。
13. 根据权利要求 12 所述的绞合缆线,其中所述第三捻角和所述第二捻角之间的相对差大于 0° 并且不大于约 4° 。
14. 根据权利要求 1-13 中任一项所述的绞合缆线,还包括多个第四聚合物复合线材,所述多个第四聚合物复合线材围绕所述多个第三聚合物复合线材沿第四捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第四捻角螺旋绞合并且具有第四捻距。
15. 根据权利要求 14 所述的绞合缆线,其中所述多个第三热塑性聚合物复合线材和所述多个第二热塑性聚合物复合线材中的每个具有 10 至 150 的捻制因子。
16. 根据权利要求 15 所述的绞合缆线,其中所述第四捻向与所述第三捻向相同。
17. 根据权利要求 16 所述的绞合缆线,其中所述第四捻角和所述第三捻角之间的相对

差大于 0° 并且不大于约 4° 。

18. 根据权利要求 1-17 中任一项所述的绞合缆线,其中所述聚合物复合线材中的每个包括纤维强化聚合物基质。

19. 根据权利要求 18 所述的绞合缆线,其中所述纤维强化聚合物基质用纤维丝束或单丝纤维之一强化。

20. 根据权利要求 19 所述的绞合缆线,其中所述纤维强化聚合物基质包括选自金属纤维、聚合物纤维、碳纤维、陶瓷纤维、玻璃纤维或它们的组合的至少一个纤维。

21. 根据权利要求 20 所述的绞合缆线,其中所述至少一个纤维包括钛、钨、硼、形状记忆合金、碳、碳纳米管、石墨、碳化硅、芳香族聚酰胺、聚(对亚苯基-2,6-苯并双噁唑)、或它们的组合。

22. 根据权利要求 20 所述的绞合缆线,其中所述至少一个纤维包括选自碳化硅、氧化铝或硅铝酸盐的陶瓷。

23. 根据权利要求 18-22 中任一项所述的绞合缆线,其中所述纤维强化聚合物基质包括(共)聚合物,所述(共)聚合物选自:环氧树脂、酯、乙烯基酯、聚酰亚胺、聚酯、氰酸酯、酚醛树脂、双-马来酰亚胺树脂、聚醚醚酮、以及它们的组合。

24. 根据权利要求 18-23 中任一项所述的绞合缆线,其中所述纤维强化聚合物基质包括热塑性(共)聚合物。

25. 根据权利要求 1-24 中任一项所述的绞合缆线,还包括至少一个纤维强化金属基质复合线材,所述至少一个纤维强化金属基质复合线材进一步包括位于金属基质中的至少一个连续纤维,其中所述热塑性聚合物复合线材中的至少一部分围绕所述至少一个纤维强化金属基质复合线材。

26. 根据权利要求 25 所述的绞合缆线,其中所述至少一个连续纤维包括选自以下的材料:陶瓷、玻璃、碳纳米管、碳、碳化硅、硼、铁、钢、铁合金、钨、钛、形状记忆合金、以及它们的组合。

27. 根据权利要求 25 或 26 所述的绞合缆线,其中所述金属基质包括铝、锌、锡、镁、它们的合金或者其组合。

28. 根据权利要求 27 所述的绞合缆线,其中所述金属基质包括铝,所述至少一个连续纤维包括陶瓷纤维。

29. 根据权利要求 28 所述的绞合缆线,其中所述陶瓷纤维包括多晶 α - Al_2O_3 。

30. 根据权利要求 1-29 中任一项所述的绞合缆线,还包括围绕限定中心纵向轴线的所述单个线材绞合的多个可延展金属线材。

31. 根据权利要求 30 所述的绞合缆线,其中所述多个可延展金属线材的至少一部分沿所述第一捻向螺旋绞合。

32. 根据权利要求 30 所述的绞合缆线,其中所述多个可延展金属线材的至少一部分沿与所述第一捻向相反的第二捻向螺旋地绞合。

33. 根据权利要求 32 所述的绞合缆线,其中所述多个可延展金属线材围绕所述中心纵向轴线以围绕所述热塑性聚合物复合线材的多个径向层绞合。

34. 根据权利要求 33 所述的绞合缆线,其中每个径向层沿与相邻径向层的捻向相反的捻向绞合。

35. 根据权利要求 30-34 中任一项所述的绞合缆线,其中每个可延展金属线材具有沿与所述中心纵向轴线基本上垂直的方向截取的横截面,并且其中每个可延展线材的横截面形状选自圆形、椭圆形、梯形、S 形和 Z 形。

36. 根据权利要求 30-35 中任一项所述的绞合缆线,其中所述多个可延展金属线材包括选自如下的至少一种金属:铁、钢、铅、铜、锡、镉、铝、锰、锌、钴、镍、铬、钛、钨、钒、它们彼此的合金、它们与其他金属的合金、它们的硅合金、以及上述各项的组合。

37. 根据权利要求 1-36 中任一项所述的绞合缆线,其中所述第一捻角和所述第二捻角之间的相对差大于 0° 并且不大于约 4° 。

38. 根据权利要求 37 所述的绞合缆线,其中所述第一捻角和所述第二捻角之间的相对差不大于 0.5° 。

39. 根据权利要求 1-38 中任一项所述的绞合缆线,其中所述第一捻距等于所述第二捻距。

40. 一种缆线,所述缆线包括芯和围绕所述芯的导体层,其中所述芯包括根据权利要求 1-39 中任一项所述的绞合缆线。

41. 根据权利要求 40 所述的缆线,其中所述导体层包括多个绞合导体线材。

42. 根据权利要求 39-41 中任一项所述的缆线,用于电力输送。

43. 根据权利要求 42 所述的缆线,选自架空电力输送缆线、地下电力输送缆线和水下电力输送缆线。

44. 根据权利要求 43 所述的缆线,其中所述水下电力输送缆线为水下缆绳或水下脐带缆。

45. 一种制备根据权利要求 1-44 中任一项所述的缆线的方法,所述方法包括:

围绕限定中心纵向轴线的单个线材螺旋绞合多个第一热塑性聚合物复合线材,其中沿第一捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第一捻角实施螺旋绞合所述多个第一热塑性聚合物复合线材,并且其中所述多个第一热塑性聚合物复合线材具有第一捻距;和

围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材螺旋绞合多个第二热塑性聚合物复合线材,其中沿所述第一捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第二捻角实施螺旋绞合所述多个第二热塑性聚合物复合线材,并且其中所述多个第二热塑性聚合物复合线材具有第二捻距;和

将螺旋绞合的所述多个第一和多个第二热塑性聚合物复合线材加热至足够的温度,以使得在冷却至 25°C 时能够将螺旋绞合的所述聚合物复合线材保持为螺旋绞合构型。

46. 根据权利要求 45 所述的方法,其中所述第一捻角和所述第二捻角之间的相对差大于 0° 并且不大于约 4° 。

47. 根据权利要求 45 或 46 所述的方法,还包括围绕限定中心纵向轴线的所述单个线材绞合多个可延展金属线材。

绞合热塑性聚合物复合缆线及其制备和使用方法

[0001] 相关专利申请的交叉引用

[0002] 本专利申请要求提交于 2010 年 2 月 1 日的美国临时专利申请 No. 61/291,665 的优先权,该专利申请的公开内容以引用方式全文并入本文。

技术领域

[0003] 本发明整体涉及绞合缆线及其制造和使用方法。本发明还涉及具有螺旋绞合聚合物复合线材的绞合缆线及其制造和使用方法。此类螺旋绞合聚合物复合缆线可用于电力输送缆线、水下缆绳和水下脐带缆以及其他应用。

背景技术

[0004] 缆线绞合是这样一种过程,其中单独的线材通常以螺旋布置方式组合,以产生成品缆线。例如,参考美国专利 No. 5,171,942 和 No. 5,554,826。所得的绞合缆线或钢缆提供的柔性远大于横截面面积相等的实心杆所获得的柔性。绞合结构也是有利的,因为缆线在处理、安装和使用过程中经历弯曲时,螺旋绞合缆线可维持其整体圆形横截面形状。这样的螺旋绞合缆线用在各种应用中,例如升降缆线、航空缆线和动力输送缆线。

[0005] 螺旋绞合缆线通常由诸如钢、铝或铜的可延展金属制成。在一些情况下,例如裸露的架空电力输送缆线,螺旋绞合线材芯被线材导体层包围。螺旋绞合线材芯可包括由诸如钢的第一材料制成的可延展金属线材,并且外部动力传导层可包括由诸如铝的另外的材料制成的可延展金属线材。在一些情况下,螺旋绞合线材芯可以是预绞合的缆线,所述预绞合的缆线用作制造更大直径的电力输送缆线的输入材料。螺旋绞合缆线通常可以包括至少七根单独的线材,到更通用的包括 50 根或更多线材的构造。

[0006] 在缆线绞合处理期间,可延展金属线材受到的应力超过金属材料的屈服应力但低于极限或破坏应力。这个应力作用成使得当金属线材围绕较小半径的前一线材层或中心线材螺旋缠绕时金属线材塑性变形。近来引入的可用缆线使用由这样的材料制作的线材制成,所述材料不易于塑性变形成新形状并且可为易碎的。

[0007] 这种复合缆线的一个例子由包含纤维强化金属基质复合线材的金属基质复合缆线提供。这种金属基质复合线材是有吸引力的,因为其相比于可延展金属线材具有改善的机械性能,而可延展金属线材在其应力应变响应中主要为弹性的。一些包含纤维强化聚合物基质线材的聚合物复合缆线也是本领域已知的,例如美国专利 No. 6,559,385 和 No. 7,093,416;以及 PCT 国际公布 No. WO 97/00976 中公开的热塑性聚合物基质复合线材。绞合复合缆线(例如包含聚合物基质复合材料或金属基质复合线材的缆线)的一种用途是作为裸露电力输送缆线的强化构件。

发明内容

[0008] 在一个方面,本发明提供一种改进的绞合热塑性聚合物复合缆线。在一些示例性实施例中,所述绞合热塑性聚合物复合缆线包括:限定中心纵向轴线的单个线材;围绕所

述线材沿第一捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第一捻角绞合并且具有第一捻距的多个第一热塑性聚合物复合线材；以及围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材沿第二捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第二捻角绞合并且具有第二捻距的多个第二热塑性聚合物复合线材。

[0009] 在其他示例性实施例中,所述绞合缆线还包括围绕所述多个第二热塑性聚合物复合线材沿第三捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第三捻角绞合并且具有第三捻距的多个第三热塑性聚合物复合线材。在其他示例性实施例中,所述绞合缆线还包括围绕所述多个第三热塑性聚合物复合线材沿第四捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第四捻角绞合并且具有第四捻距的多个第四热塑性聚合物复合线材。在其他示例性实施例中,所述绞合热塑性聚合物复合缆线还可包括围绕所述多个第四聚合物复合线材绞合的附加热塑性聚合物复合线材。

[0010] 在任何上述示例性实施例中,第一捻向可与第二捻向相同,第三捻向可与第二捻向相同,第四捻向可与第三捻向相同,并且通常任何外层捻向可与相邻内层捻向相同。

[0011] 在其他示例性实施例中,第二捻向与第一捻向相反,第三捻向与第二捻向相反(即第三捻向与第一捻向同向),第四捻向与第三捻向相反(即第四捻向与第二捻向同向),并且通常任何外层捻向可选择为与相邻内层方向相反。此外,在某些当前优选的实施例中,第一捻角和第二捻角之间的相对差可大于 0° 并且不大于约 4° ,第三捻角和第二捻角之间的相对差可大于 0° 并且不大于约 4° ,第四捻角和第三捻角之间的相对差可大于 0° 并且不大于约 4° ,并且通常任何内层捻角和相邻外层捻角之间的相对差可大于 0° 并且不大于约 4° ,更优选不大于 3° ,最优选不大于 0.5° 。

[0012] 在其他实施例中,为以下中的一个或多个:第一捻距小于或等于第二捻距,第二捻距小于或等于第三捻距,第四捻距小于或等于紧后续的捻距,和/或各个后续捻距小于或等于之前紧接着的捻距。在其他实施例中,为以下中的一个或多个:第一捻距等于第二捻距,第二捻距等于第三捻距,和第三捻距等于第四捻距。在一些示例性实施例中,优选的是使用平行捻,这是现有技术中公知的。

[0013] 在另一方面,本发明提供了绞合电力输送缆线的可替代实施例,所述绞合电力输送缆线包括芯和围绕所述芯的导体层,并且其中所述芯包括上述的绞合热塑性聚合物复合缆线中的任一种。在一些示例性实施例中,所述绞合缆线还包括围绕绞合热塑性聚合物复合缆芯的绞合热塑性聚合物复合线材绞合的多个可延展金属线材。

[0014] 在某些示例性实施例中,所述多个可延展金属线材围绕所述中心纵向轴线以围绕热塑性聚合物复合缆芯的热塑性聚合物复合线材的多个径向层绞合。在另外的示例性实施例中,所述多个可延展金属线材的至少一部分沿第一捻向以相对于所述中心纵向轴线的捻角并且以可延展金属线材的第一捻距绞合。在其他示例性实施例中,所述多个可延展金属线材的至少一部分沿第二捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的捻角并且以可延展金属线材的第二捻距绞合。

[0015] 在螺旋绞合聚合物复合缆线的上述实施例和其相关的绞合电力输送缆线的实施例中的任一个中,可以有利地采用以下示例性实施例。从而,在一个示例性实施例中,所述单个线材的沿与所述中心纵向轴线基本上垂直的方向截取的横截面形状为圆形或椭圆形。在某些示例性实施例中,所述单个线材是聚合物复合线材。在某些当前优选的实施例中,所

述单个线材为可延展金属线材或热塑性聚合物复合线材。在另外的示例性实施例中,每个聚合物复合线材和/或可延展线材沿与所述中心纵向轴线基本上垂直的方向截取的横截面选自圆形、椭圆形和梯形。

[0016] 在另一方面,本发明提供了一种制造以上方面和实施例中任一者所述的绞合缆线的方法,所述方法包括:围绕限定中心纵向轴线的单个线材螺旋绞合多个第一热塑性聚合物复合线材,其中沿第一捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第一捻角实施螺旋绞合所述多个第一热塑性聚合物复合线材,并且其中所述多个第一线材具有第一捻距;围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材螺旋绞合多个第二热塑性聚合物复合线材,其中沿所述第一捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第二捻角实施螺旋绞合所述多个第二热塑性聚合物复合线材,并且其中所述多个第二线材具有第二捻距;以及将所述螺旋绞合的多个第一和多个第二热塑性聚合物复合线材加热至足够的温度,并保持足够的时间以使得在冷却至 25℃ 时可以将螺旋绞合的所述聚合物复合线材保持为螺旋绞合构型。当前优选的温度为 300℃。

[0017] 在某些当前优选的示例性实施例中,第一捻角和第二捻角之间的相对差大于 0° 并且不大于约 4°。在一个具体实施例中,所述方法还包括围绕所述热塑性聚合物复合线材绞合多个可延展金属线材。

[0018] 根据本发明的绞合热塑性聚合物复合缆线的示例性实施例具有使其能够使用且在多种应用中具有优点的多种特征和特性。例如,在一些示例性实施例中,与其他复合缆线相比,根据本发明的绞合热塑性聚合物复合缆线可以呈现在制造或使用期间在较低的缆线拉伸应变值下发生过早断裂或失效的趋势降低。此外,与常规的绞合可延展金属线材缆线相比,根据一些示例性实施例的绞合热塑性聚合物复合缆线可以呈现改进的抗腐蚀性、环境耐久性(例如,抗紫外线和抗湿气)、阻止高温下强度损失、抗蠕变、以及较高的弹性模量、低密度、低热膨胀系数、高电导率、高抗下垂性和高强度。

[0019] 在一些示例性实施例中,相比于现有技术的复合缆线,根据本发明的实施例制得的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可表现出具有 10% 或更大的拉伸强度的增加。根据本发明某些实施例的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线还能够以较低的成本制造,这是因为在满足用于某些重要应用中(例如用在电力输送应用中)的最小拉伸强度要求的缆线绞合方法中成品率提高。在某些当前优选的示例性实施例中,根据本发明的示例性螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可用作架空电力输送缆线、地下电力输送缆线和水下电力输送缆线(包括水下缆绳或水下脐带缆)。

[0020] 在一些示例性实施例中,根据本发明的实施例制得的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可有利地以比此前可用的捻距短得多的捻距绞合而没有观察到缆线强度大幅降低,这在使用常规的弹性绞合复合线材的情况下经常观察到。这种常规的弹性绞合复合线材缆线表现出的强度降低通常与绞合复合线材的线材半径和弯曲半径的比率成比例。因此弯曲应变导致的强度损失与复合材料的弯曲应变和失效应变的比率成比例。因为弯曲应变与捻距成反比例,所以当捻距变短时,常规的弹性绞合复合线材缆线中的弯曲应变增加,从而降低了缆线强度。

[0021] 通常弹性绞合线材不能具有为线材半径的约 1000 分之一的捻距,所述线材半径相当于线材中的 0.05% 弯曲应变。用于复合线材的典型复合材料的失效应变介于 0.5% 至

2% 之间,这对于具有 0.5% 失效应变的线材而言相当于绞合导致的强度降低 20%,而对于具有 2% 失效应变的线材而言相当于强度降低 5%。然而,根据本发明的绞合复合缆线的一些示例性实施例可以相当低的捻角绞合,相当低的捻角对于由塑性变形的可延展(如金属)线材构造的非复合缆线而言更加典型。此前含有弹性绞合复合线材的缆线的如此短的捻距在本领域中是无法获得的,因为弯曲应变将会超过复合材料的失效应变,从而阻止在不破坏线材的情况下绞合聚合物复合线材。具有较短捻距和 / 或交替层间捻角的热塑性聚合物复合缆线对于保持缆线整体性、缆线中扭矩平衡以及改善柔韧性可为优选的。

[0022] 对本发明的示例性实施例的各个方面和优点已经进行了总结。上述发明内容并非意图描述本发明呈现的某些示例性实施例的每一个图示实施例或每种实施方式。随后的附图和具体实施方式将更具体地举例说明使用本文所公开的原理的某些优选实施例。

附图说明

[0023] 参照附图进一步描述本发明的示例性实施例,在附图中:

[0024] 图 1A 为根据本发明的某些示例性实施例的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的透视图。

[0025] 图 1B 为根据本发明的某些替代性示例性实施例的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的透视图。

[0026] 图 2A-2F 为根据本发明示例性实施例的各种螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的剖视端视图。

[0027] 图 3 是用来制造根据本发明另外示例性实施例的缆线的示例性绞合设备的示意图。

[0028] 附图中的类似附图标记指示类似的元件。本文中的附图未按比例绘制,并且在附图中,热塑性聚合物复合缆线的构件被以强调选定特征的尺寸显示。

具体实施方式

[0029] 在整个说明书和权利要求书中采用的某些术语大部分是人们所熟知的,但可能仍然需要作一些解释。应当了解,如本文所使用,称某“线材”为“易碎”意指该线材在拉伸载荷下会以最小塑性变形断裂。

[0030] 术语“可延展”在用于涉及线材的变形时,指的是线材在弯曲而不断裂或破裂期间基本承受的塑性变形。

[0031] 术语“(共)聚物”是指均聚物或共聚物。

[0032] 术语“(甲基)丙烯酸酯”是指丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯。

[0033] 术语“复合线材”是指由成分或形式不同的材料的组合形成的线材,这些材料结合在一起。

[0034] 术语“聚合物复合线材”是指这样的复合线材,其包括一种或多种结合到包括一个或多个聚合物相的基质中的强化材料,所述聚合物相可包括热固性聚合物或热塑性聚合物。

[0035] 术语“热塑性聚合物复合线材”是指这样的复合线材,其包括一种或多种结合到包括一个或多个热塑性聚合物相的基质中的强化纤维材料,并且其在加热至足以使热塑性聚

合物相软化的温度时可表现可延展行为。

[0036] 术语“陶瓷聚合物复合线材”是指这样的复合线材,其包括一种或多种结合到包括一个或多个聚合物相的基质中的强化陶瓷纤维材料。

[0037] 术语“金属基质复合线材”是指这样的复合线材,其包括一种或多种结合到包括一个或多个金属相的基质中的强化材料,并且其具有非延展行为且为易碎的。

[0038] 术语“弯曲”在用于指线材的变形时包括二维和 / 或三维弯曲变形,例如在绞合期间使线材螺旋地弯曲。当涉及具有弯曲变形的线材时,这不排除线材还具有由于拉伸力和 / 或扭转力产生的变形的可能性。

[0039] “显著的弹性弯曲”变形指的是线材弯曲成曲率半径直到线材半径的 10,000 倍时发生的弯曲变形。当应用于圆形横截面的线材时,这个显著的弹性弯曲变形将在线材的外纤维处赋予至少 0.01% 的应变。

[0040] 术语“卷缆”和“绞合”可以互换使用,“卷缆的”和“绞合的”也可以互换使用。

[0041] 术语“捻制”说明了线材在螺旋绞合缆线的绞合层中被缠绕成螺旋的方式。

[0042] 术语“捻向”是指线材股线在螺旋绞合层中的绞合方向。为了确定螺旋绞合层的捻向,当缆线离开观察者时观察者看螺旋绞合线材层的表面。如果当股线离开观察者时线材股线呈现为沿顺时针方向转动,那么缆线被称为具有“右手捻制”。如果当股线离开观察者时线材股线呈现为沿逆时针方向转动,那么缆线被称为具有“左手捻制”。

[0043] 术语“中心轴线”和“中心纵向轴线”可互换地用来表示径向地定位在多层螺旋绞合缆线的中心处的共同纵向轴线。

[0044] 术语“捻角”是指由绞合线材相对于螺旋绞合缆线的中心纵向轴线形成的角度。

[0045] 术语“相交角度”指的是螺旋绞合线材缆线的相邻线材层的捻角之间的相对(绝对)差。

[0046] 术语“捻距”是指螺旋绞合层中的单个线材围绕螺旋绞合缆线的中心纵向轴线完成一个完全螺旋回传的绞合缆线长度。

[0047] 术语“陶瓷”指的是玻璃、晶体陶瓷、玻璃陶瓷、以及它们的组合。

[0048] 术语“多晶”指的是主要具有多个结晶颗粒的材料,其中颗粒的尺寸小于颗粒所在的纤维的直径。

[0049] 术语“连续纤维”指的是当与平均纤维直径相比长度相对无限大的纤维。通常,这意味着纤维的纵横比(即,纤维的长度与纤维平均直径的比)为至少 1×10^5 (在某些实施例中,为至少 1×10^6 , 或者甚至为至少 1×10^7)。通常,这种纤维具有大约至少约 15cm 到至少几米量级的长度,并且甚至可以具有大约几千米或者更长量级的长度。

[0050] 在一些应用中,期望进一步改进绞合复合缆线的构造及其制造方法。在某些应用中,期望改进螺旋绞合复合缆线的物理性能,例如其针对缆线失效的拉伸强度以及伸长率。在一些特定应用中,还期望提供便利的装置,以在将绞合复合线材结合到接下来的物品(例如电力输送缆线)中之前保持绞合复合线材的螺旋布置。这种保持螺旋绞合布置的装置在使用塑性变形可延展金属线材或复合线材制得的现有绞合缆线中已不是必要的,所述复合线材可使用保持装置(例如通过使聚合物基质固化或通过用粘合带绕扎绞合复合线材)保持为绞合构型,从而保持绞合后的线材的螺旋布置。

[0051] 因此,本发明的一些示范性实施例涉及包括热塑性聚合物基质的热塑性聚合物复

合线材,所述热塑性聚合物基质可在不使用上述保持装置的情况下保持绞合后的热塑性聚合物复合线材的螺旋布置。本发明的其他实施例涉及绞合热塑性聚合物复合缆线以及在共同捻向上螺旋绞合热塑性聚合物复合线材层的方法,相比于在每个聚合物复合线材层之间使用交替捻向螺旋绞合的常规复合缆线,所述方法可产生聚合物复合缆线的拉伸强度的意想不到的增加。对于采用共同捻向绞合的常规可延展的(例如,金属或其他非聚合物复合)线材而言,在拉伸强度方面不具有这种意想不到的增加。此外,通常还不容易想到对常规可延展线材缆线的绞合线材层使用共同的捻向,因为可延展金属线材可能易于塑性变形,并且这样的缆线通常使用较短的捻距,对此,交替的捻向对保持缆线整体性而言可能是优选的。

[0052] 现在将具体参照附图描述本发明的各种示例性实施例。本发明的示例性实施例可以在不脱离本发明的精神和范围的情况下进行多种修改和更改。因此,应当理解,本发明的实施例不应限于以下所述的示例性实施例,但应受权利要求书及其任何等同物中示出的限制的控制。

[0053] 因此在一个方面,本发明提供螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线。参见附图,图 1A 示出根据本发明的一个示例性实施例的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 10 的透视图。如图所示,所述螺旋绞合聚合物复合缆线 10 包括限定中心纵向轴线的单个线材 2,包括围绕单个线材 2 沿第一捻向(示出为顺时针,对应于右手捻制)绞合的多个第一热塑性聚合物复合线材 4 的第一层 20,和包括围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材 4 沿第一捻向绞合的多个第二热塑性聚合物复合线材 6 的第二层 22。

[0054] 如图 1A 所示,任选地,包括多个第三热塑性聚合物复合线材 8 的第三层 24 可以围绕所述多个第二热塑性聚合物复合线材 6 沿第一捻向绞合,从而形成聚合物复合缆线 10。在其他示例性实施例中,任选的第四层(未示出)或甚至更多附加层的聚合物复合线材可以围绕所述多个第二热塑性聚合物复合线材 6 沿第一捻向绞合。

[0055] 任选地,单个线材 2 为热塑性聚合物复合线材,但在其他实施例中,单个线材 2 可为非热塑性线材(例如金属线材)或非热塑性复合线材(例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材)。

[0056] 在本发明的示例性当前优选的实施例中,热塑性聚合物复合线材(例如 4、6、8 等)的两个或更多个绞合层(例如 20、22、24 等)可以围绕限定中心纵向轴线的单个中心线材 2 螺旋绞合,使得热塑性聚合物复合线材的每个连续层以与每个前一线材层相同的捻向缠绕。此外,应当理解,虽然图 1A 中针对每层(20、22 和 24)示出为右手捻制,但左手捻制可作为另外一种选择用于每层(20、23、24 等),如针对图 1B 示出的示例性螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线所示。

[0057] 因此,图 1B 示出根据本发明的一个替代性示例性实施例的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 10' 的透视图。如图所示,螺旋绞合聚合物复合缆线 10' 包括限定中心纵向轴线的单个线材 1(其例如可为热塑性聚合物复合线材或非热塑性线材,包括例如金属线材、热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),包括围绕单个线材 1 沿第一捻向(示出为逆时针,对应于左手捻制)绞合的多个第一热塑性聚合物复合线材 4 的第一层 20、包括围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材 4 沿与第一捻向相反的第二捻向绞合的多个第二非热塑性聚合物复合线材 5(其例如可为金属线材、热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材)

的第二层 23、和包括围绕所述多个第二非热塑性线材 5 沿第一捻向绞合的多个第三热塑性聚合物复合线材 8 的第三层 24, 从而形成聚合物复合缆线 10'。

[0058] 在其他示例性实施例中, 任选的第四层(未示出)可以围绕所述多个第二非热塑性聚合物复合线材 5 沿第二捻向绞合。在本发明的示例性当前优选的实施例中, 热塑性聚合物复合线材(例如 4 和 8)和非热塑性线材(例如 5)的两个或更多交替绞合层可以围绕限定中心纵向轴线的单个中心线材 1 螺旋缠绕, 使得热塑性聚合物复合线材的每个连续层以与每个前一线材层相同的捻向缠绕, 如图 1A 所示。此外, 应当理解, 虽然图 1B 中针对层 5 示出为左手捻制, 并且针对层 4 和 8 示出为右手捻制, 但右手捻制可作为另外一种选择用于层 5, 并且左手捻制可作为另外一种选择用于层 15、16 等。

[0059] 任选地, 在任何上述实施例中, 单个线材 2 可为热塑性聚合物复合线材, 但在其他实施例中, 单个线材 2 可为非热塑性线材(例如金属线材)或非热塑性复合线材(例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材)。

[0060] 在上述示例性实施例中, 第一捻向优选与第二捻向相同, 第三捻向优选与第二捻向相同, 第四捻向可与第三捻向相同, 并且通常任何外层捻向优选与相邻内层捻向相同。然而, 在其他示例性实施例中, 第一捻向可与第二捻向相反, 第三捻向可与第二捻向相反, 第四捻向可与第三捻向相反, 并且通常任何外层捻向可与相邻内层捻向相反。

[0061] 在任何上述示例性实施例的某些当前优选的实施例中, 第一捻角和第二捻角之间的相对差优选大于 0° 并且不大于约 4° , 第三捻角和第二捻角之间的相对差优选大于 0° 并且不大于约 4° , 第四捻角和第三捻角之间的相对差优选大于 0° 并且不大于约 4° , 并且通常任何内层捻角和相邻外层捻角之间的相对差优选大于 0° 并且不大于约 4° , 更优选不大于 3° , 最优选不大于 0.5° 。

[0062] 在其他当前优选的示例性实施例中, 为以下中的一个或多个: 第一捻距优选小于或等于第二捻距, 第二捻距优选小于或等于第三捻距, 第四捻距优选小于或等于紧后续的捻距, 和 / 或各个后续捻距优选小于或等于之前紧接着的捻距。在其他实施例中, 为以下中的一个或多个: 第一捻距等于第二捻距, 第二捻距等于第三捻距, 和第三捻距等于第四捻距。在一些示例性实施例中, 优选的是使用平行捻, 这是现有技术中公知的。

[0063] 在其他示例性实施例(图中未示出)中, 螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线还可包括围绕多个第三热塑性聚合物复合线材 8 沿第一捻向以相对于共用纵向轴线限定的一定捻角(图中未示出)螺旋绞合热塑性聚合物复合线材的附加(例如后续的)层(例如, 第四层、第五层或附加后续层), 其中各层中的聚合物复合线材具有特征性捻距(图中未示出), 第三捻角和第四或后续捻角之间的相对差大于 0° 并且不大于约 4° 。采用四个或更多个绞合聚合物复合线材层的实施例优选地使用直径为 0.5mm 或更小的聚合物复合线材。

[0064] 螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的多种构型通过图 2A-2F 中的剖视图示出。这些示例性实施例目的仅为了进行例示; 另外的构型也在本公开的范围内。在图 2A-2F 的各个图示实施例中, 应当理解, 热塑性聚合物复合线材(例如 4、6 和 8)围绕限定中心纵向轴线(未示出)的单个线材(图 2A 和 3C 中的 2; 图 3B 和 3D 中的 1)沿一定捻向(未示出)绞合。这种捻向可为顺时针(右手捻制)或逆时针(左手捻制)。此外, 这种捻向可对于各个后层绞合线材而言为相同的, 如图 1A-1B 中所示, 或在各个后层绞合线材中交替为相反捻向(图中未示出)。还应当理解, 热塑性聚合物复合线材的各层都具有捻距(图 2A-2F 中未示出), 并

且各个线材层的捻距可以是不同的,或者优选地可以具有相同的捻距。

[0065] 图 2A 示出示例性螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 11 的剖视图,所述缆线包括限定中心纵向轴线的单个线材 2(示出为热塑性聚合物复合线材,但其可替代性地为非热塑性复合线材,例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材,或金属线材),围绕单个线材 2 螺旋绞合的多个热塑性聚合物复合线材 4,和围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材 4 螺旋绞合的多个第二热塑性聚合物复合线材 6。

[0066] 图 2B 示出图 1A 中所示的另一示例性螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 10 的剖视图,所述缆线包括限定中心纵向轴线的单个线材 2(示出为热塑性聚合物复合线材,但其可替代性地为非热塑性复合线材,例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),围绕单个线材 2 螺旋绞合的多个第一热塑性聚合物复合线材 4,围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材 4 螺旋绞合的多个第二热塑性聚合物复合线材 6,以及围绕所述多个第二热塑性聚合物复合线材 6 螺旋绞合的多个第三热塑性聚合物复合线材 8。

[0067] 图 2C 示出另一示例性螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 12 的剖视图,所述缆线包括限定中心纵向轴线的单个线材 2(示出为热塑性聚合物复合线材,但其可替代性地为非热塑性复合线材,例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),围绕单个线材 2 螺旋绞合的多个第一热塑性聚合物复合线材 4,围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材 4 螺旋绞合的多个第二热塑性聚合物复合线材 6,围绕所述多个第二热塑性聚合物复合线材 6 螺旋绞合的多个第三热塑性聚合物复合线材 8,以及围绕所述多个第三热塑性聚合物复合线材 8 螺旋绞合的多个第四热塑性聚合物复合线材 16。

[0068] 图 2D 示出螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 13 的示例性替代性构型的剖视图,所述缆线包括限定中心纵向轴线的单个非热塑性线材 1(示出为金属线材,但其可替代性地为非热塑性复合线材,例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),围绕单个非热塑性线材 1 螺旋绞合的多个第一非热塑性线材 3(包括例如金属线材、热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),和围绕所述多个第一非热塑性线材 3 螺旋绞合的多个第二热塑性聚合物复合线材 6。

[0069] 图 2E 示出螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 14 的另一示例性替代性构型的剖视图,所述缆线包括限定中心纵向轴线的单个非热塑性线材 1(示出为金属线材,但其可替代性地为非热塑性复合线材,例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),围绕单个线材 2 螺旋绞合的多个第一非热塑性线材 3(包括例如金属线材、热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),围绕所述多个第一非热塑性线材 3 螺旋绞合的多个第二热塑性聚合物复合线材 6,以及围绕所述多个第二非热塑性线材 6 螺旋绞合的多个第三热塑性聚合物复合线材 8。

[0070] 图 2F 示出图 1B 中所示的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 10' 的另一示例性替代性构型的剖视图,所述缆线包括限定中心纵向轴线的单个非热塑性线材 1(示出为金属线材,但其可替代性地为非热塑性复合线材,例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),围绕单个线材 2 螺旋绞合的多个第一热塑性聚合物复合线材 4,围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材 4 螺旋绞合的多个第二非热塑性线材 5(包括例如金属线材、热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材),以及围绕所述多个第二非热塑性线材 5 螺旋绞合的多个第三热塑性聚合物复合线材 8。

[0071] 虽然图 2A-2C 各自示出限定中心纵向轴线(未示出)的单个中心热塑性聚合物复合线材 2, 但还应当理解, 单个线材 2 可为非热塑性线材, 例如复合线材(例如热固性聚合物复合线材或金属基质复合线材)、或金属线材或可延展金属线材 1 (如图 2D-2F 中所示)。

[0072] 此外, 还应当理解, 在任何上述实施例中, 各个热塑性聚合物复合线材的沿与所述中心纵向轴线基本上垂直的方向截取的横截面形状通常可为圆形、椭圆形或梯形。在某些示例性实施例中, 每个热塑性聚合物复合线材都具有大致圆形的横截面形状, 并且每个聚合物复合线材的直径都为至少约 0.1mm, 更优选地为至少 0.5mm; 还更优选地为至少 1mm, 还更优选地为至少 2mm, 最优选地为至少 3mm; 并且至多为约 15mm, 更优选地为至多 10mm, 还更优选地为至多 5mm, 甚至更优选地为至多 4mm, 最优选地为至多 3mm。在其他示例性实施例中, 每个热塑性聚合物复合线材的直径可为小于 1mm, 或大于 5mm。

[0073] 通常, 具有大致圆形横截面形状的单个中心线材的平均直径的范围为从约 0.1mm 至约 15mm。在一些实施例中, 单个中心线材的平均直径期望地为至少 0.1mm, 至少 0.5mm, 至少 1mm, 至少 2mm, 至少 3mm, 至少 4mm, 或者甚至高达约 5mm。在其他实施例中, 单个中心线材的平均直径小于约 0.5mm, 小于 1mm, 小于 3mm, 小于 5mm, 小于 10mm, 或小于 15mm。

[0074] 在图 2A-2F 未示出的其他示例性实施例中, 螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可包括围绕限定中心纵向轴线的单个线材的热塑性聚合物复合线材的超过三个的绞合层。在某些示例性实施例中, 在螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的各层中的各个热塑性聚合物复合线材可具有相同构造和形状; 然而, 这不是获得本文所述的有益效果所要求的。

[0075] 在某些示例性实施例中, 螺旋绞合热塑性聚合物复合线材(例如 2、4、6、8 等)各自在热塑性聚合物基质中包含多个连续纤维, 这将在下文中进行更为详细地讨论。由于所述线材为热塑性聚合物复合材料, 所以在卷揽操作期间(或之后)对其加热时, 它们可发生塑性变形, 而与常规金属基质或陶瓷基质复合线材不同。因此, 例如可以进行常规卷揽处理以将聚合物复合线材永久性地塑性变形形成其螺旋布置方式, 从而不需要用于保持螺旋绞合热塑性聚合物复合线材的螺旋绞合构型的保持装置。

[0076] 本发明的使用热塑性聚合物复合线材来形成螺旋绞合缆线因而可提供比常规非热塑性聚合物复合线材优越的所需特性。使用热塑性聚合物复合线材使得螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可以便利地处理为最终缆线制品, 或在结合到后续最终缆线制品中之前便利地处理为中间缆线制品。

[0077] 在示例性实施例中, 热塑性聚合物复合线材在热塑性聚合物基质中包含至少一种连续纤维。在一些示例性实施例中, 所述至少一种连续纤维包括金属、聚合物、陶瓷、玻璃、碳、以及它们的组合。在某些当前优选的实施例中, 所述至少一种连续纤维包括钛、钨、硼、形状记忆合金、碳纳米管、石墨、碳化硅、硼、芳香族聚酰胺、聚(对亚苯基-2,6-苯并双噁唑)、以及它们的组合。

[0078] 在另一些示例性实施例中, 聚合物复合线材的聚合物基质包括(共)聚合物, 所述(共)聚合物选自: 环氧树脂、酯、乙烯基酯、聚酰亚胺、聚酯、氰酸酯、酚醛树脂、双马来酰亚胺树脂、以及它们的组合。在某些当前优选的实施例中, 热塑性聚合物复合线材的聚合物基质包括热塑性(共)聚合物, 所述热塑性(共)聚合物选自: (甲基)丙烯酸酯、乙烯基酯、聚酯、氰酸酯、聚醚醚酮(PEEK)、以及它们的组合。优选高温热塑性(共)聚合物。当前优选的高温热塑性(共)聚合物为 PEEK。

[0079] 在一些示例性实施例中,所述聚合物基质可另外包括一种或多种热塑性含氟聚合物。合适的热塑性含氟聚合物包括氟化乙烯丙烯共聚物(FEP)、聚四氟乙烯(PTFE)、乙烯四氟乙烯(ETFE)、乙烯氯三氟乙烯(ECTFE)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、聚氟乙烯(PVF)、四氟乙烯聚合物(TFV)。特别合适的含氟聚合物为以商品名DYNEON THV FLUOROPLASTICS、DYNEON ETFE FLUOROPLASTICS、DYNEONFEP FLUOROPLASTICS、DYNEON PFA FLUOROPLASTICS、和DYNEON PVDF FLUOROPLASTICS(全部可得自3M公司(St. Paul, MN))出售的那些。

[0080] 虽然本发明可用任何合适的热塑性聚合物复合线材来实施,但在某些示例性实施例中,各个热塑性聚合物复合线材选择为纤维强化热塑性聚合物复合线材,所述纤维强化热塑性聚合物复合线材在热塑性聚合物基质中包含连续纤维丝束或连续单丝纤维中的至少一种。在一些实施例中,热塑性聚合物复合线材中至少85%(在一些实施例中,为至少90%,或者甚至至少95%)的纤维都是连续的。在一些当前优选的实施例中,热塑性聚合物复合线材的失效拉伸应变优选为至少0.4%,更优选地为至少0.7%。

[0081] 另外,至少所述单个线材2可为热固性聚合物复合线材。合适的热固性聚合物复合线材公开于例如美国专利No. 6, 180, 232; No. 6, 245, 425; No. 6, 329, 056; No. 6, 336, 495; No. 6, 344, 270; No. 6, 447, 927; No. 6, 460, 597; No. 6, 544, 645; No. 6, 559, 385; No. 6, 723, 451; 和No. 7, 093, 416中。

[0082] 热塑性聚合物复合线材的当前优选实施例在热塑性聚合物基质中包含多根连续陶瓷纤维。可以与本发明一起使用的其他纤维包括玻璃纤维、碳化硅纤维、碳纤维、以及这些聚合物复合线材的组合。合适的陶瓷纤维的例子包括金属氧化物(例如,氧化铝)纤维、氮化硼纤维、碳化硅纤维和任何这些纤维的组合。通常,氧化陶瓷纤维为结晶陶瓷和/或结晶陶瓷和玻璃的混合物(即纤维可包含结晶陶瓷和玻璃相)。通常,此类纤维的长度为大约至少50米,并且可能甚至为大约上千米或更长。通常,连续陶瓷纤维的平均纤维直径在约5微米至约50微米、约5微米至约25微米、约8微米至约25微米或者甚至约8微米至20微米的范围内。在一些实施例中,结晶陶瓷纤维的平均拉伸强度为至少1.4GPa、至少1.7GPa、至少2.1GPa或者甚至至少2.8GPa。在一些实施例中,结晶陶瓷纤维的弹性模量大于70GPa到大约不大于1000GPa,或者甚至不大于420GPa。

[0083] 合适的陶瓷纤维的例子包括碳化硅纤维。通常,碳化硅单丝纤维为结晶陶瓷和/或结晶陶瓷和玻璃的混合物(即纤维可包含结晶陶瓷和玻璃相)。通常,此类纤维的长度为大约至少50米,并且可能甚至为大约上千米或更长。通常,连续碳化硅单丝纤维的平均纤维直径在约100微米至约250微米的范围内。在一些实施例中,结晶陶瓷纤维的平均抗张强度为至少2.8GPa、至少3.5GPa、至少4.2GPa或者甚至至少6GPa。在一些实施例中,结晶陶瓷纤维的弹性模量大于250GPa到大约不大于500GPa,或者甚至不大于430GPa。

[0084] 一种当前优选的陶瓷纤维包括多晶 α - Al_2O_3 。合适的氧化铝纤维在例如美国专利No. 4, 954, 462 (Wood 等人)和No. 5, 185, 299 (Wood 等人)中有所描述。示例性 α -氧化铝纤维以商品名“NEXTEL 610”(3M公司(St. Paul, MN))出售。在一些实施例中,氧化铝纤维是多晶 α -氧化铝纤维,并且包含(根据理论氧化物)大于99重量%的 Al_2O_3 和0.2-0.5重量%的 SiO_2 (基于氧化铝纤维的总重量)。在另一方面,一些可取的多晶 α -氧化铝纤维包含平均晶粒尺寸小于1微米(或者甚至在一些实施例中小于0.5微米)的 α -氧化铝。在另一方面,在一些实施例中,多晶 α -氧化铝纤维具有至少1.6GPa(在一些实施例中,为至少

2. 1GPa, 或者甚至至少 2. 8GPa) 的平均拉伸强度。

[0085] 合适的硅铝酸盐纤维在(例如)美国专利 No. 4, 047, 965 (Karst 等人)中有所描述。示例性硅铝酸盐纤维由 3M 公司 (St. Paul, MN) 以商品名“NEXTEL 440”、“NEXTEL 550”和“NEXTEL 720”出售。铝硼硅酸盐纤维在(例如)美国专利 No. 3, 795, 524 (Sowman) 中有所描述。示例性铝硼硅酸盐纤维由 3M 公司以商品名“NEXTEL 312”出售。氮化硼纤维可以如例如美国专利 No. 3, 429, 722 (Economy) 和 No. 5, 780, 154 (Okano 等人)中所述制成。示例性碳化硅纤维由(例如)COI Ceramics (San Diego, CA) 以商品名为“NICALON”的每束有 500 根纤维的纤维束出售, 由日本宇部兴产公司 (Ube Industries of Japan) 以商品名“TYRANNO”出售, 以及由密歇根州米德兰道康宁公司 (Dow Corning (Midland, MI)) 以商品名“SYLRAMIC”出售。

[0086] 合适的玻璃纤维的例子包括 A- 玻璃、B- 玻璃、C- 玻璃、D- 玻璃、S- 玻璃、AR- 玻璃、R- 玻璃、玻璃纤维和仿玻璃, 如本领域公知的。也可以使用其他玻璃纤维; 这个列表是非限制性的, 并且存在许多不同类型的市售玻璃纤维, 例如购自 Corning Glass Company (Corning, NY) 的玻璃纤维。

[0087] 在一些示例性实施例中, 连续玻璃纤维可以是优选的。通常, 连续玻璃纤维的平均纤维直径在约 3 微米至约 19 微米的范围内。在一些实施例中, 玻璃纤维的平均抗拉强度为至少 3GPa、4GPa, 或者甚至至少 5GPa。在一些实施例中, 玻璃纤维的弹性模量在约 60GPa 至 95GPa 的范围内, 或者在约 60GPa 至约 90GPa 的范围内。

[0088] 合适的碳纤维包括市售碳纤维, 例如商品名为 PANEX[®]和 PYRON[®](得自密苏里州布里奇的卓尔泰克公司 (ZOLTEK, Bridgeton, MO)), THORNEL(得自新泽西州西帕特森的氰特工业公司 (CYTEC Industries, Inc., West Paterson, NJ)), HEXTOW(得自康涅狄格州绍斯伯里的赫氏公司 (HEXCEL, Inc. (Southbury, CT)), 和东丽 TORAYCA(得自日本东京的东丽 TORAY 有限公司 (TORAY Industries, Ltd. Tokyo, Japan)) 的纤维。这样的碳纤维可以衍生自聚丙烯腈 (PAN) 前体。其他合适的碳纤维包括 PAN-IM、PAN-HM、PAN UHM、PITCH 或人造丝副产品, 如本领域公知的。

[0089] 另外合适的市售纤维包括 ALTEX(得自日本大阪府的住友化学株式会社 (Sumitomo Chemical Company, Osaka, Japan)) 和 ALCEN(得自日本东京的 Nitivy 有限公司 (Nitivy Company, Ltd., Tokyo, Japan))。合适的纤维也包括形状记忆合金(即, 经历了马氏体转变的合金, 使得合金能够在转变温度以下通过孪晶机制而变形, 其中当孪生结构在加热到转变温度之上的情况下回复到初始相时, 这种变形是可逆的)。市售形状记忆合金纤维是可获得的, 例如, 得自宾夕法尼亚州西怀特兰的庄信万丰公司 (Johnson Matthey Company (West Whiteland, PA))。

[0090] 在一些实施例中, 陶瓷纤维是成束的。丝束在纤维领域中是已知的, 并且是指收集成粗纱形式的多根(单独的)纤维(通常为至少 100 根纤维, 更典型的是为 400 根纤维)。在一些实施例中, 纤维束包括每束至少 780 根单纤维, 并且在一些情况下, 每束至少 2600 根单纤维, 而在其他情况下, 每束至少 5200 根单纤维。陶瓷纤维的丝束通常有多种长度可供选择, 包括 300 米、500 米、750 米、1000 米、1500 米、2500 米、5000 米、7500 米以及更长。纤维的横截面形状可以是圆形或椭圆形。

[0091] 市售纤维通常可以包括有机施胶材料, 其在制造期间添加到纤维中, 从而提供润

滑性并且在处理期间保护纤维股线。胶料可以(例如)通过溶解或灼热胶料使之从纤维上脱离来移除。通常,希望在形成金属基质聚合物复合线材之前移除胶料。纤维还可以具有涂层,所述涂层用来例如提高纤维的可湿性,降低或抑制纤维和熔化的金属基质材料之间的反应。这样的涂层和提供这种涂层的技术是纤维和聚合物复合材料领域中公知的。

[0092] 根据本发明的当前优选热塑性聚合物复合线材的纤维密度可为约 3.90-3.95 克/立方厘米。美国专利 No. 4,954,462 (Wood 等人)中描述了那些优选的纤维。优选的纤维可以商品名“NEXTEL 610” α 氧化铝基纤维商购获得(得自 3M 公司 (St. Paul, MN))。热塑性聚合物基质优选选择成使其不会与纤维材料发生明显的化学反应(也就是说,相对于纤维材料是较为化学惰性的),从而不需要在纤维外部上提供保护性涂层。

[0093] 在其他示例性实施例中,所述螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可另外包括一个或多个纤维强化金属基质复合线材。一个当前优选的纤维强化金属基质复合线材为陶瓷纤维强化铝基质复合线材。陶瓷纤维强化铝基质复合线材优选地包括多晶 α - Al_2O_3 的连续纤维,所述连续纤维被包封于基本上纯的元素铝的基质中,或者被包封于纯铝与至多约 2 重量%(基于基质总重量计)的铜的合金的基质中。优选的纤维包括尺寸小于约 100nm 且纤维直径的范围为约 1-50 微米的等轴晶粒。约 5-25 微米的纤维直径范围是优选的,而约 5-15 微米的范围是最优选的。

[0094] 在纤维强化金属基质复合线材的某些当前优选实施例中,使用包括基本上纯的元素铝或者元素铝与至多约 2 重量%(基于基质总重量计)的铜的合金的基质,已经显示出形成成功的线材。本文所用的术语“基本上纯的元素铝”、“纯铝”和“元素铝”可互换,均用来意指含有小于约 0.05 重量%的杂质的铝。

[0095] 在一个当前优选的实施例中,纤维强化金属基质复合线材在基本上为元素铝的基质内包含约 30-70 体积%的多晶 α - Al_2O_3 纤维(基于所述纤维强化金属基质复合线材的总体积计)。当前优选的是,基于基质的总重量计,基质包含小于约 0.03 重量%的铁,并且最优选的是包含小于约 0.01 重量%的铁。优选纤维含量为约 40-60%的多晶 α - Al_2O_3 纤维。已经发现,形成有屈服强度小于约 20MPa 的金属基质和纵向拉伸强度为至少约 2.8GPa 的纤维的这样的纤维强化金属基质复合线材具有优良的强度特性。

[0096] 基质还可以由元素铝与至多约 2 重量%(基于基质总重量计)的铜的合金形成。如同其中使用基本上纯的元素铝基质的实施例中一样,具有铝/铜合金基质的纤维强化金属基质复合线材优选地包括基于聚合物复合材料总体积计约 30-70 体积%的多晶 α - Al_2O_3 纤维,并且因此更优选地包括约 40-60 体积%的多晶 α - Al_2O_3 纤维。此外,基于基质的总重量计,基质优选地包含小于约 0.03 重量%的铁,并且最优选的是包含小于约 0.01 重量%的铁。铝/铜合金基质优选地具有小于约 90MPa 的屈服强度,并且如上所述,多晶 α - Al_2O_3 纤维具有至少约 2.8GPa 的纵向拉伸强度。

[0097] 纤维强化金属基质复合线材优选由基本上连续的多晶 α - Al_2O_3 纤维形成,所述纤维包含于基本上纯的元素铝基质中或者包含于由元素铝和至多约 2 重量%的铜的合金形成的基质中,如上所述。这类线材通常通过这样的工序制备,其中将布置于纤维丝束中的基本上连续的多晶 α - Al_2O_3 纤维的线轴拉引通过熔融的基质材料浴。然后,所产生的区段凝固,从而提供封装在基质中的纤维。

[0098] 示例性的金属基质材料包括铝(例如高纯度(即大于 99.95%)元素铝)、锌、锡、镁、

及其合金(例如,铝和铜的合金)。通常,基质材料选择成使得基质材料与纤维不发生明显的化学反应(也就是说,相对于纤维材料是较为化学惰性的),(例如)以消除在纤维外部上提供保护性涂层的需要。在一些实施例中,基质材料有利地包含铝及其合金。

[0099] 在一些实施例中,金属基质包含至少 98 重量%的铝、至少 99 重量%的铝、大于 99.9 重量%的铝、或者甚至大于 99.95 重量%的铝。示例性的铝和铜的铝合金包括至少 98 重量%的 Al 和至多 2 重量%的 Cu。在一些实施例中,可用的合金是 1000、2000、3000、4000、5000、6000、7000 和 / 或 8000 系列的铝合金(铝协会标号)。虽然制备高拉伸强度线材倾向于需要高纯度金属,但是低纯度形式的金属也是可用的。

[0100] 适用的金属可商购获得。例如,铝可以商品名“超纯铝 ;99.99% 铝”(SUPER PURE ALUMINUM;99.99%Al) 得自 Alcoa(Pittsburgh, PA)。铝合金(例如, Al-2 重量%Cu (0.03 重量%的杂质)) 可购自(例如) Belmont Metals(New York, NY)。锌和锡可得自(例如) MetalServices(St. Paul, MN) (“纯锌”;99.999% 纯度和“纯锡”;99.95% 纯度)。例如,镁可以商品名“PURE”得自 Magnesium Elektron(Manchester, England)。镁合金(例如, WE43A、EZ33A、AZ81A 和 ZE41A) 可以购自(例如) TIMET(Denver, CO)。

[0101] 纤维强化金属基质复合线材通常包括至少 15 体积%(在一些实施例中,为至少 20、25、30、35、40、45 或者甚至 50 体积%)的纤维(基于纤维和基质材料的总组合体积)。更常见的是聚合物复合线芯和线材包含 40 至 75 (在一些实施例中,为 45 至 70) 体积%范围内的纤维(基于纤维和基质材料的总组合体积)。

[0102] 合适的纤维强化金属基质复合线材可以使用本领域公知的技术来制备。例如,连续金属基质复合线材可采用连续金属基质浸渗方法制备。一种适用的方法在(例如)美国专利 No. 6, 485, 796(Carpenter 等人)中有所描述。包括热塑性聚合物和强化纤维的热塑性聚合物复合线材还可以使用本领域公知的挤拉成型法来制备。例如,美国专利 No. 4, 680, 224 描述了“a process for preparing shaped objects of continuous fiber strand material in a poly(arylene sulfide)matrix and the shaped objects prepared thereby (在聚(亚芳基硫醚)基质中制备连续纤维股线材料的成形物品的方法以及由此制备成形物品)”。此外,PCT 专利公开 No. WO 2005/123999 描述了制备具有 PEEK 基质的连续长度纤维强化复合材料的挤拉成型法:“成形物品通过挤拉成型法来制备,所述挤拉成型法包括:选择单向连续高强度纤维;将所述纤维用细粉形式的超高分子量聚乙烯浸渍以形成复合物;向复合物中任选地添加添加剂或纤维;和围绕所述纤维形成所述超高分子量聚乙烯的连续基质。”

[0103] 围绕螺旋绞合热塑性聚合物复合线芯绞合以提供螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线(例如根据本发明的某些实施例的电力输送缆线)的可延展金属线材是本领域公知的。优选的可延展金属包括铁、钢、铅、铜、锡、镉、铝、锰和锌;它们与其他金属和 / 或硅的合金;等等。铜线材可商购自例如 Southwire Company(Carrolton, GA)。铝线材可以商品名“1350-H19 ALUMINUM”和“1350-H0 ALUMINUM”商购自例如 Nexans(Weyburn, Canada) 或 Southwire Company(Carrolton, GA)。

[0104] 通常,在至少从约 20°C 至约 800°C 的温度范围内,铜线材的热膨胀系数在约 12ppm/°C 至约 18ppm/°C 的范围内。铜合金(例如青铜,如 Cu-Si-X、Cu-Al-X、Cu-Sn-X、Cu-Cd;其中 X=Fe、Mn、Zn、Sn 和 / 或 Si;可商购自(例如) Southwire Company(Carrolton, GA.)) ;氧

化物分散体强化铜,可以商品名“GLIDCOP”线材得自(例如)北卡罗来纳州三角研究园的OMG Americas公司(OMG Americas Corporation, Research Triangle Park, NC)。在一些实施例中,在至少从约20°C至约800°C的温度范围内,铜合金线材的热膨胀系数在约10ppm/°C至约25ppm/°C的范围内。线材可以具有任意的各种形状(例如,圆形、椭圆形和梯形)。

[0105] 通常,在至少从约20°C至约500°C的温度范围内,铝线材的热膨胀系数在约20ppm/°C至约25ppm/°C的范围内。在一些实施例中,铝线材(例如,“1350-H19 ALUMINUM”)的拉伸断裂强度为至少138MPa(20ksi)、至少158MPa(23ksi)、至少172MPa(25ksi)或者至少186MPa(27ksi)或至少200MPa(29ksi)。在一些实施例中,铝线材(例如,“1350-H0 ALUMINUM”)的拉伸断裂强度大于41MPa(6ksi)至不大于97MPa(14ksi),或者甚至不大于83MPa(12ksi)。

[0106] 铝合金线材是市售的,例如,以商品名“ZTAL”、“XTAL”和“KTAL”(得自日本大阪府的住友电气工业株式会社(Sumitomo Electric Industries, Osaka, Japan))或以“6201”(得自佐治亚州卡洛尔的Southwire公司(Southwire Company, Carrolton, GA))出售的铝-镁合金线材。在某些实施例中,在至少从约20°C至约500°C的温度范围内,铝合金线材的热膨胀系数在约20ppm/°C至约25ppm/°C的范围内。

[0107] 在另外的示例性实施例中,一些或所有的可延展金属线材在基本上与中心纵向轴线垂直的方向上可具有“Z”或“S”形(未示出)的横截面形状。这种形状的材料是本领域公知的,并且是期望的,例如以形成缆线的互锁外层。

[0108] 本发明的示例性实施例优选提供非常长的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线。另外优选的是在所述螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线10内的热塑性聚合物复合线材自身为连续贯穿绞合缆线的长度的。在一个优选的实施例中,热塑性聚合物复合线材为基本上连续的,并为至少150米长。更优选地,热塑性聚合物复合线材在螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线中为连续的并为至少250米长,更优选地为至少500米长,还更优选地为至少750米长,最优选地为至少1000米长。

[0109] 在另外的示例性实施例中,本发明提供了一种制造任何上述实施例中所述的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的方法,所述方法包括:围绕限定中心纵向轴线的单个线材螺旋绞合多个第一热塑性聚合物复合线材,其中沿第一捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第一捻角实施螺旋绞合所述多个第一热塑性聚合物复合线材,并且其中所述多个第一线材具有第一捻距;围绕所述多个第一热塑性聚合物复合线材螺旋绞合多个第二热塑性聚合物复合线材,其中沿所述第一捻向以相对于所述中心纵向轴线限定的第二捻角实施螺旋绞合所述多个第二热塑性聚合物复合线材,并且其中所述多个第二线材具有第二捻距;以及将所述螺旋绞合的多个第一和多个第二热塑性聚合物复合线材加热至足够的温度,并保持足够的时间以使得在冷却至25°C时可以将螺旋绞合的所述聚合物复合线材保持为螺旋绞合构型。当前优选的温度为300°C。

[0110] 在一个优选的实施例中,螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线包括多个热塑性聚合物复合线材,所述多个热塑性聚合物复合线材沿一定捻向螺旋绞合,以具有从6至150的捻制因子。绞合缆线的“捻制因子”是通过将其中单个线材12完成一次螺旋回转的绞合缆线的长度除以包括该股线的层的标称外径而确定的。

[0111] 虽然可以使用任何合适尺寸的热塑性聚合物复合线材,但对于许多实施例和多种

应用而言优选的是热塑性聚合物复合线材具有 1mm 至 4mm 的直径,然而也可以使用更大或更小的热塑性聚合物复合线材。

[0112] 热塑性聚合物复合线材可以如本领域中已知的绞合或螺旋地缠绕在任何合适的缆线绞合设备上,例如得自意大利贝加莫省的 Cortinovis, Spa 公司 (Cortinovis, Spa, of Bergamo, Italy) 以及新泽西州帕特森的沃森机械设备国际公司 (Watson Machinery International, of Patterson, NJ) 的行星式缆线绞合器。在一些实施例中,可能有利的是采用刚性绞合器或绞盘来实现大于 100kg 的线芯张力,如本领域公知的。

[0113] 在一些示例性实施例中,使用热塑性聚合物复合线材改进了使用热固性聚合物复合线材的常规绞合工艺。示例性热固性绞合工艺在(例如)美国专利 No. 5, 126, 167 中有所描述。该工艺使用热固性聚合物复合线材,所述热固性聚合物复合线材在聚合物复合线材的聚合物基质中包含未固化的热固性树脂。相比于处理完全成形和固化的热塑性聚合物复合线材,处理、在线轴上卷绕以及加工包含未固化树脂的线材比较困难。使用热塑性聚合物复合线材还可以降低制造成本。此外,可以利用常规设备和线轴。

[0114] 在缆线绞合过程中,具有一个或多个缠绕在其上的附加层的中心线材或中间非成品螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线被拉引通过各个滑架的中心,其中每个滑架向绞合缆线增加一个层。将作为一个层增加的各个线材同时从其相应线轴上拉引,同时通过马达驱动的滑架围绕缆线的中心轴线旋转。对于各个期望的层而言,这是顺序进行的。结果得到螺旋绞合的热塑性聚合物复合线芯。

[0115] 用于制备根据本发明实施例的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的示例性设备 80 示于图 3 中。通常,根据本发明的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可以通过围绕单个线材沿相同的捻向绞合聚合物复合线材来制备,如上所述。单个线材可以包括聚合物复合线材或可延展线材。通过围绕单个线材芯绞合热塑性聚合物复合线材来优选形成至少两个热塑性聚合物复合线材层,例如,19 或 37 根线材围绕单个中心线材形成在至少两个层中,如图 1B 中所示。

[0116] 用于提供螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的单个中心线材 2 的线材线轴 81 设置在常规行星式绞合机 80 的头部,其中线轴 81 自由旋转,并且张力能够通过制动系统施加,在制动系统中张力可在放线期间施加至线芯(在一些实施例中,所述张力在 0-91kg(0-200lbs.) 的范围内)。单个线材 90 螺旋通过线轴滑架 82、83、通过闭合模具 84、85、围绕绞盘轮 86 并且附接到卷线轴 87。线材线轴 81 可包括复合线材,例如热固性聚合物复合线材、热塑性聚合物复合线材或金属基质复合线材。或者,线材线轴 81 可包括金属线材,例如可延展金属线材。

[0117] 在示例性实施例中,绞合热塑性复合缆线通过(如螺旋通过)热源 96 和 97。闭合模具 84 和 85 也可以包含加热元件。热源提供足够的热并保持足够的时间以使得线材塑性变形。热源可为足够长以提供常驻加热时间,所述常驻加热时间足以将聚合物复合缆线加热至使得热塑性聚合物复合线材塑性变形的温度。

[0118] 可以使用各种加热方法,包括(例如)用空气对流加热以及如管式炉的辐射加热。或者可将缆线通过加热液体浴。或者可将绞合缆线缠绕在线轴上,然后在烘箱中加热足够的温度和时间段以使得线材塑性变形。

[0119] 在施加外绞合层之前,各个热塑性聚合物复合线材设置在分开的线轴 88 上,所述

线轴 88 捻在绞合设备的多个马达驱动的滑架 82、83 中。在一些实施例中,从线轴 88 拉引热塑性聚合物复合线材 89A、89B 所需的张力的范围通常为 4.5-22.7kg(10-50lbs.)。通常,针对完成的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的每个层都有一个滑架。每个层的热塑性聚合物复合线材 89A、89B 在闭合模具 84、85 处的每个滑架的出口处被聚在一起,并且被布置成覆盖中心线材或覆盖前一个层。

[0120] 构成螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的热塑性聚合物复合线材层如此前所述螺旋地绞合。在绞合过程中,具有一个或多个缠绕在其上的附加层的中心线材或中间非成品螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线被拉引通过各个滑架的中心,其中每个滑架向绞合缆线增加一个层。将作为一个层增加的单独线材被同时从其相应线轴上拉动,同时通过马达驱动的滑架围绕缆线的中心轴线转动。对于各个期望的层而言,这是顺序进行的。结果得到螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线 91,该复合缆线可以被便利地切割和处理,而不会发生形状变化或散开。

[0121] 在一些示例性实施例中,螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线包括螺旋绞合热塑性聚合物复合线材,所述螺旋绞合热塑性聚合物复合线材的长度为至少 100 米、至少 200 米、至少 300 米、至少 400 米、至少 500 米、至少 1000 米、至少 2000 米、至少 3000 米或者甚至至少 4500 米或更长。

[0122] 单个中心线材材料和用于指定层的热塑性聚合物复合线材通过闭合模具而紧密接触。参见图 3,闭合模具 84、85 的尺寸通常形成为使得缠绕的层的热塑性聚合物复合线材上的变形应力最小化。闭合模具的内径被调控至外部层直径的尺寸。为了最小化层的线材上的应力,闭合模具的尺寸形成为使其处于比缆线外径大 0-2.0% 的范围内。(也就是说,模具内径处于缆线外径的 1.00 至 1.02 倍的范围内)。示例性闭合模具为圆柱体,并且利用例如螺栓或其他合适的连接件保持就位。模具可以由例如硬化工具钢制成。

[0123] 所获得的成品螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可以在需要时穿过其他绞合工位,并且最终缠绕到卷线轴 87 上,卷线轴 87 的直径足以避免缆线损坏。在一些实施例中,本领域中公知的用于矫直缆线的技术可能是期望的。例如,成品缆线可以穿过矫直装置,所述矫直装置包括辊(每个辊都例如 10-15cm(4-6 英寸),直线地布置成两层,每层中有例如 5-9 辊。两层辊之间的距离可以改变成使得辊正好撞击在缆线上或者引起缆线的严重弯曲。两层辊定位在缆线的相对侧上,同时一层中的辊与另一层中相对的辊产生的空间匹配。从而,两个层可以彼此偏移。随着螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线穿过矫直装置,缆线在所述辊上来回弯曲,以允许导体中的股线拉伸至相同长度,从而减少或消除股线松散。

[0124] 在一些示例性实施例中,可能有利的是在环境温度(例如 22°C)之上的高温(例如至少 25°C、50°C、75°C、100°C、125°C、150°C、200°C、250°C、300°C、400°C,或者甚至,在一些实施例中,至少 500°C)下提供单个中心线材。单个中心线材可以通过例如加热成卷的线材(例如,在烘箱中加热几个小时)而加热到期望的温度。加热的成卷线材被放置在绞合机的放线线轴(见例如图 3 中的放线线轴 81)上。有利地,高温下的线轴处于绞合过程中,同时线材仍然处于或接近期望的温度(通常在约 2 个小时内)。

[0125] 在另外一些示例性实施例中,可能有利的是在环境温度(例如 22°C)之上的高温(例如至少 25°C、50°C、75°C、100°C、125°C、150°C、200°C、250°C、300°C、400°C,或者甚至,在一些实施例中,至少 500°C)下提供所有的线材。线材可以通过例如加热成卷的线材(例如,

在烘箱中加热几个小时) 而加热到期望的温度。加热的成卷线材被放置在绞合机的放线线轴(见例如图 3 中的放线线轴 81 以及线轴 88A 和 88B) 上。有利地, 高温下的线轴处于绞合过程中, 同时线材仍然处于或接近期望的温度(通常在约 2 个小时内)。

[0126] 在某些示例性实施例中, 可能有利的是在绞合过程中, 单个线材和形成热塑性聚合物复合材料外层的热塑性聚合物复合线材之间存在温度差。在其他实施例中, 可能有利的是利用至少为 100kg、200kg、500kg、1000kg 或甚至至少 5000kg 的单个线材张力进行绞合。

[0127] 处理螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的能力是期望的特性。虽然不希望受到任何具体理论的束缚, 但据信螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线保持其螺旋绞合布置方式是因为在制造期间, 当加热热塑性线材时, 热塑性聚合物复合线材经受的应力(包括弯曲应力) 超过线材材料的屈服应力但低于极限或破坏应力。该应力在热塑性聚合物复合线材围绕较小半径的前一层或中心线材螺旋缠绕时施加。在闭合模具 84、85 处施加额外的应力, 闭合模具 84、85 在制造期间向缆线施加径向力和剪切力。然而, 当加热至足够的温度, 热塑性聚合物复合线材塑性变形, 并且线材内的应力变得松弛。如果将螺旋绞合聚合物复合缆线中的绞合聚合物复合线材加热至足以软化绞合线材内的聚合物基质的温度, 则在绞合期间聚合物复合线材中的弯曲应力和施加的其他应力可因而大大降低或甚至消除(即降低至零), 从而导致聚合物复合线材彼此粘附, 并从而在冷却至 25°C 时保持其螺旋绞合构型。

[0128] 因此, 在某些当前优选的示例性实施例中, 将热塑性聚合物复合线材加热至至少高于形成所述热塑性聚合物复合线材的(共) 聚合物基质材料的玻璃化转变温度的温度并保持足够的时间以使得热塑性聚合物发生应力弛豫。在一些示例性实施例中, 将螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线中的热塑性聚合物复合线材加热到至少 50°C, 更优选地至少 100°C、150°C、200°C、250°C、300°C、350°C、400°C、450°C 或甚至至少 500°C 的温度。

[0129] 优选地, 将螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线中的热塑性聚合物复合线材加热至不高于热塑性(共) 聚合物基质的熔融温度的温度。在一些实施例中, 所述常驻加热时间可小于一分钟。在其他示例性实施例中, 将螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线中的热塑性聚合物复合线材加热至少 1 分钟、2 分钟、5 分钟、10 分钟、20 分钟、半小时、更优选地 1 小时、1.5 小时、或甚至两小时的一段时间。

[0130] 本发明的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可用于许多应用中。由于此类螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线结合了重量轻、强度高、导电性好、热膨胀系数较低、使用温度高和抗腐蚀, 所以, 相信此类螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线尤其理想地适于用作电力输送缆线, 所述电力输送缆线可包括架空、地下和 underwater 电力输送缆线。

[0131] 因此, 在另一个方面, 本发明提供绞合电力输送缆线的多个实施例, 所述绞合电力输送缆线包括螺旋绞合热塑性聚合物复合线芯和围绕所述螺旋绞合热塑性聚合物复合线芯的导体层, 并且其中所述螺旋绞合热塑性聚合物复合线芯包括上述螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线中的任一种。在一些实施例中, 电力输送缆线可用作架空电力输送缆线、地下电力输送缆线、或水下电力输送缆线, 诸如水下缆绳或水下脐带缆。在某些示例性实施例中, 导体层包括金属层, 所述金属层接触螺旋绞合热塑性聚合物复合缆芯的基本上整个表面。在其他示例性实施例中, 导体层包括围绕螺旋绞合热塑性聚合物复合缆芯绞合的多个可延展金属导体线材。

[0132] 所述螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线可用作中间制品,所述中间制品随后可以通过围绕线芯绞合多个可延展金属线材而结合到最终制品(例如拖缆、起重吊缆、电力输送缆线等)中,所述线芯包括螺旋绞合热塑性聚合物复合线材,例如此前所述的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线或其他螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线。例如,如上所述,可以通过利用本领域公知的技术围绕单个中心线材(2)来螺旋绞合两个或多个热塑性聚合物复合线材层(4、6、8)来制成所述线芯。通常,这样的螺旋绞合热塑性聚合物复合缆芯往往包括少至19个单独的线材到50或更多个线材。

[0133] 电力输送缆线(或用于形成螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的任何单个线材)可任选地被绝缘层或绝缘外皮围绕。铠装层或外皮还可用于围绕和保护电力输送缆线(或用于形成螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线的任何单个线材)。

[0134] 电力输送缆线可以包括两个或多个任选的可延展金属导体线材层。可根据需要使用更多的可延展金属导体线材层(图中未示出)。当用作电力输送缆线时,任选的可延展金属线材可以充当电导体,即可延展金属线材导体。优选地,每个导体层包括多个可延展金属导体线材,如本领域公知的。用于可延展金属导体线材的合适材料包括铝和铝合金。可延展金属导体线材可以通过本领域公知的合适缆线绞合设备(见例如图3)围绕螺旋绞合热塑性聚合物复合线芯绞合。

[0135] 聚合物复合线材在电力输送缆线中的重量百分比将取决于输送线路的设计。在电力输送缆线中,铝或铝合金导体线材可以是架空电力输送领域中公知的任意各种材料,包括但不限于1350 Al (ASTM B609-91)、1350-H19 Al (ASTM B230-89) 或者6201 T-81 Al (ASTM B399-92)。

[0136] 电力输送缆线的当前优选应用为架空电力输送缆线、地下电力输送缆线、或水下电力输送缆线,例如水下缆绳或水下脐带缆。对于合适的架空电力输送缆线、地下电力输送缆线、水下电力输送缆线、水下缆绳和水下脐带缆的说明,参见(例如)共同待审的美国临时专利申请 No. 61/226, 151 (“INSULATED COMPOSITE POWER CABLE AND METHOD OF MAKING AND USING SAME (绝缘复合电缆及其制造和使用方法)”,提交于2009年7月16日)以及共同待审的美国临时专利申请 No. 61/226, 056 (“SUBMERSIBLE COMPOSITE CABLE AND METHODS (潜水复合电缆和方法)”,提交于2009年7月16日)。对于可以采用本发明的绞合缆线的合适的电力输送缆线和方法的说明,参见(例如)同心捻制绞合铝导体、涂覆、强化(ACSR)的标准规范 ASTM B232-92;或者美国专利 No. 5, 171, 942 和 No. 5, 554, 826。

[0137] 在这些电缆输送应用中,构成热塑性聚合物复合线材的聚合物基质的热塑性(共)聚合物应当根据应用选择成在至少100°C、或240°C、或300°C的温度下使用。就这一点而言,聚醚醚酮是用于热塑性聚合物复合线材的聚合物基质中的当前优选(共)聚合物。

[0138] 在其他应用中,其中螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线自身将用作最终制品,或其中其将用作不同后续制品中的中间制品或组件,可能优选的是螺旋绞合热塑性聚合物复合缆线不含有围绕多个热塑性聚合物复合线材的电力导体层。

[0139] 将参照下面的详细实例进一步描述本发明的操作。这些实例提供成进一步说明各种具体的和优选的实施例和技术。然而,应当理解,可以在不脱离本发明范围的前提下进行多种变型和更改。

[0140] 实例

[0141] 实例 1

[0142] 通过将两个 10,000 粗纱的 NEXTEL 610 α 氧化铝纤维(购自明尼苏达州圣保罗的 3M 公司 (3M Company, St. Paul, MN)) 用聚醚醚酮 (PEEK) 热塑性聚合物(得自宾夕法尼亚州西康舍霍肯的威格斯公司 (VITREX PLC, West Conshohocken, PA)) 浸润来制备 NEXTEL/PEEK 聚合物复合线材。制备连续长度的纤维强化聚合物复合线材的方法是本领域公知的(参见例如美国专利 No. 4,680,224 和 PCT 专利公开 W02005/123999)。使用这种常规复合线材制造方法(在马萨诸塞州汤顿的 Tencate Advanced Composites 公司 (Tencate Advanced Composites, Taunton, MA)) 来制造这种聚合物复合线材。

[0143] 使用台式、手动操作的线材绞合机由 NEXTEL/PEEK 聚合物复合线材来制备螺旋绞合缆线。构造了有 7 根股线的缆线,其由围绕中心聚合物复合芯线材螺旋绞合的 6 根外部聚合物复合线材组成。制备了若干种缆线长度,一个区段具有 6 英寸 (15.24cm) 的捻距,其他区段具有 3 英寸 (7.62cm) 的捻距。所用的聚合物复合线材的直径为 0.05 英寸 (1.27mm)。制备的聚合物复合缆线的直径为 0.15 英寸 (3.81mm)。缆线末端用粘合带绕扎以防止各个聚合物复合线材回弹和松开。在该过程的这个时候,线材仅发生弹性变形。

[0144] 将不同长度缆线在 200°C、250°C 和 300°C 的温度下退火 1 小时。随后对退火的绞合聚合物复合缆线进行评价以确定缆线中的线材发生永久变形的程度。将保持绞合聚合物复合线材末端的粘合带移除,释放缆线末端。

[0145] 对退火的绞合聚合物复合缆线对于其永久变形的保持进行定性评级,所述评级范围为未变形、一些变形、更多变形、至几乎完全变形。结果总结在表 1 中。

[0146] 表 1

样品 ID	捻距 (英寸/厘米)	温度 (°C)	永久变形的程度
1	3 (7.62)	未加热	未变形
2	3 (7.62)	200	一些变形
3	3 (7.62)	250	更多变形
4	3 (7.62)	300	几乎完全变形
5	6 (15.24)	未加热	未变形
6	6 (15.24)	200	一些变形
7	6 (15.24)	250	更多变形
8	6 (15.24)	300	几乎完全变形

[0147] 如表 1 中可见,通过将绞合聚合物复合线材暴露于热并保持足以至少部分地软化聚合物基质的一段时间来使绞合 NEXTEL/PEEK 聚合物复合缆线退火的过程,导致缆线中的聚合物复合线材发生永久的螺旋变形,从而使得当聚合物复合线材末端无约束时缆线会保持其绞合整体构型。通过改变退火温度和时间可获得各种程度的变形。通常,较高的退火温度和较长的退火时间往往会增加聚合物复合缆线中的螺旋绞合聚合物复合线材的变形程度。然而,应当理解,所述时间和温度应当保持低于导致聚合物基质或强化纤维的任何实

质性降解的条件。

[0149] 整个说明书中提及的“一个实施例”、“某些实施例”、“一个或多个实施例”或“实施例”，无论在术语“实施例”前是否包括术语“示例性”，都意指结合该实施例描述的特定特征、结构、材料、或特性被包括于本发明的某些示例性实施例中的至少一个实施例内。因此，在本说明书全文的各处出现的如“在一个或多个实施例中”、“在某些实施例中”、“在一个实施例中”或“在实施例中”等短语未必是指本发明的某些示例性实施例的相同实施例。另外，具体的特征、结构、材料或特点可以任何适合的方式结合到一个或多个实施例中。

[0150] 虽然本说明书详细描述了某些示例性实施例，但应当理解，本领域的技术人员在理解上述内容后，可以易于设想这些实施例的更改形式、变型形式和等同形式。因此，应当理解，本发明不应不当地受限于以上示出的示例性实施例。特别地，如本文所用，通过端点进行的数值范围的表述旨在包括在该范围内所包括的所有数值（如 1 至 5 包括 1、1.5、2、2.75、3、3.80、4 和 5）。另外，本文所用的所有数都被认为是被术语“约”修饰。

[0151] 此外，本文引用的所有出版物和专利全文以引用方式并入本文，犹如被特别地和单独地指出的各个出版物或专利，都以引用方式并入。各种示例性实施例已经进行了说明。这些以及其他实施例都归于以下权利要求书的范围以内。

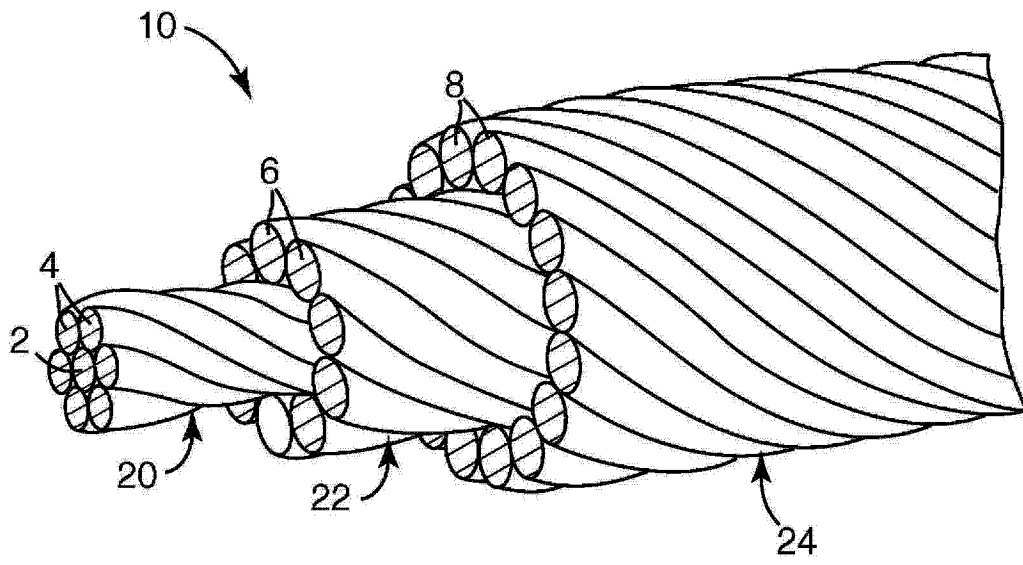


图 1A

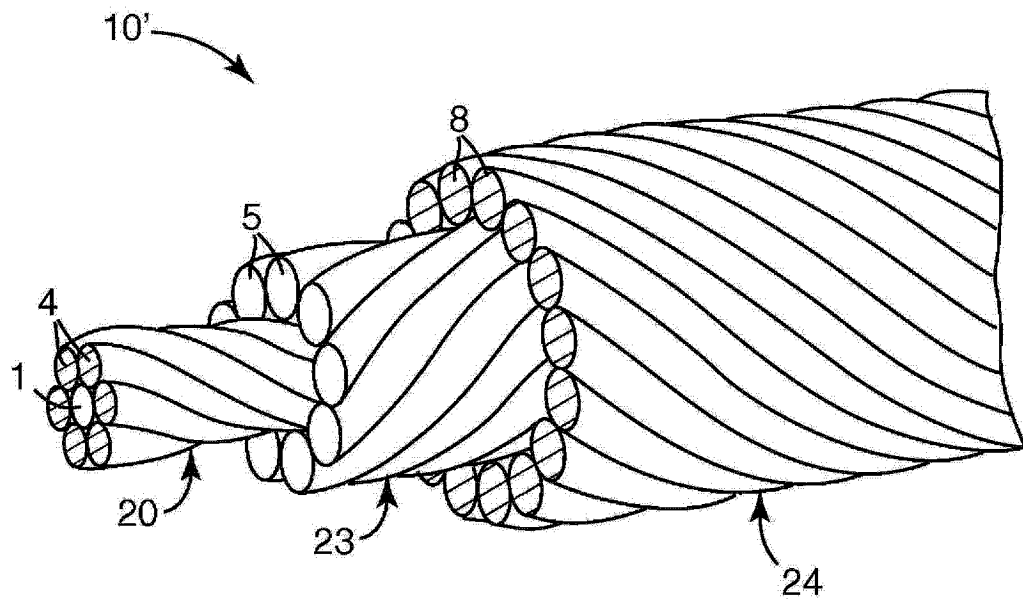


图 1B

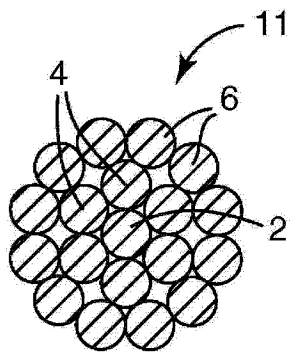


图 2A

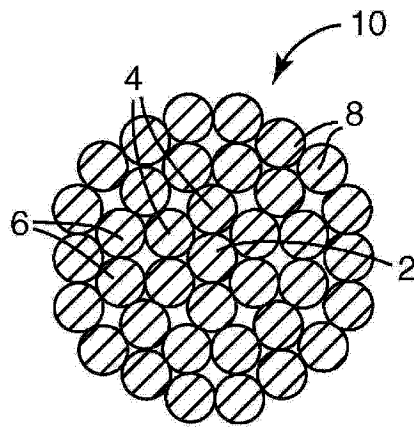


图 2B

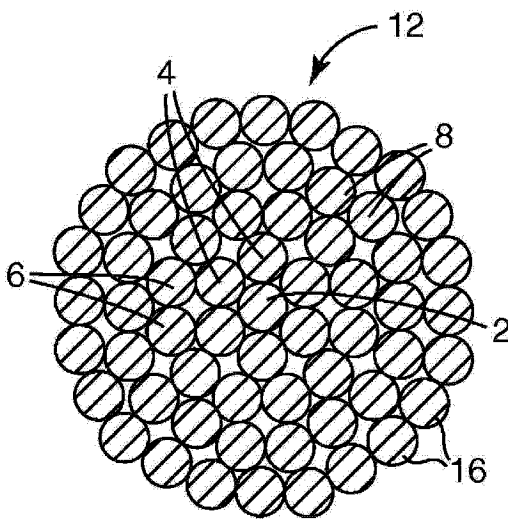


图 2C

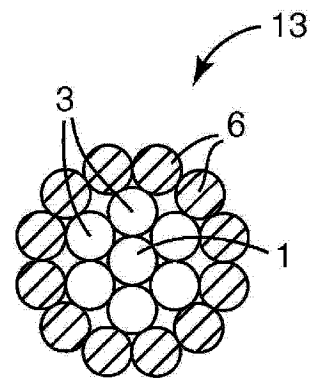


图 2D

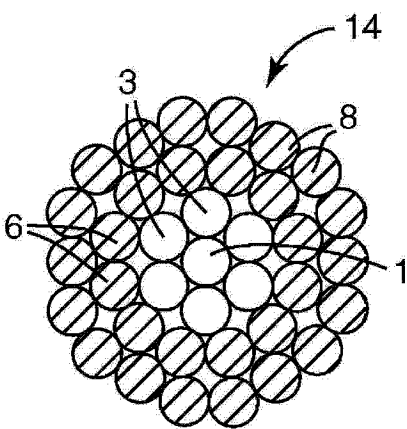


图 2E

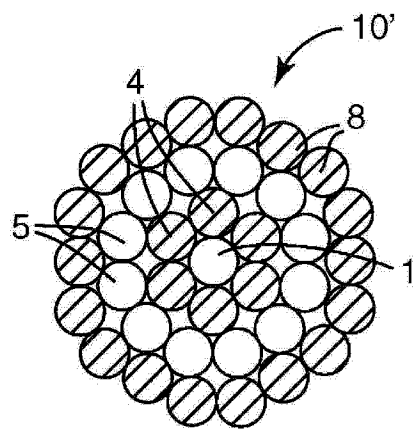


图 2F

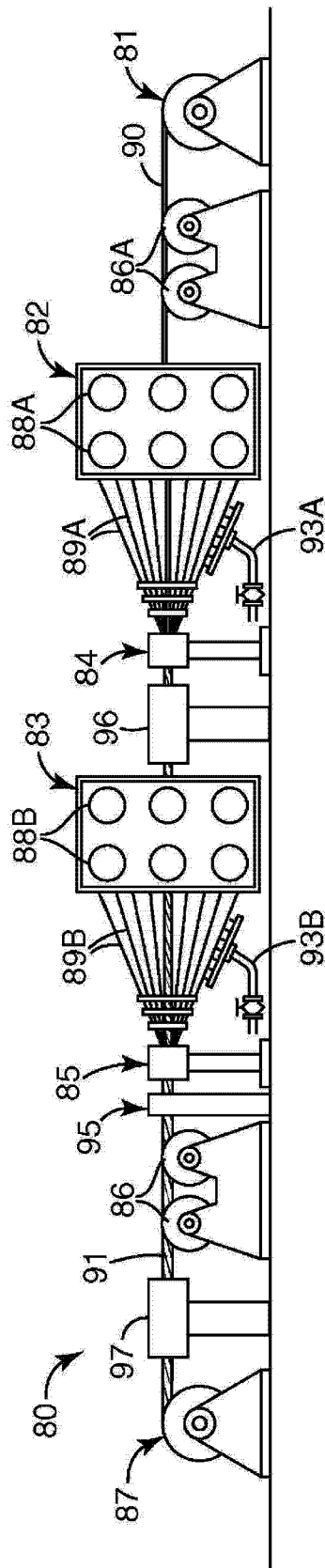


图 3