

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C22C 49/06 (2006.01)

C22C 47/08 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01812749.5

[45] 授权公告日 2008 年 11 月 12 日

[11] 授权公告号 CN 100432273C

[22] 申请日 2001.2.22 [21] 申请号 01812749.5

[30] 优先权

[32] 2000. 7. 14 [33] US [31] 09/616,594

[86] 国际申请 PCT/US2001/005604 2001.2.22

[87] 国际公布 WO2002/006549 英 2002.1.24

[85] 进入国家阶段日期 2003.1.13

[73] 专利权人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 C·麦卡洛 D·C·卢恩伯格

P·S·温纳 H·E·迪福

M·W·卡彭特 K·L·亚里纳

[56] 参考文献

WO9302782A 1983.8.18

WO9700976A1 1997.1.9

审查员 刘俊香

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 张宜红

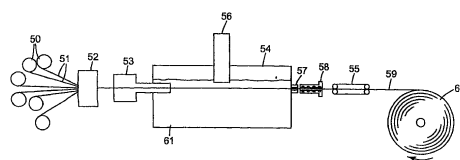
权利要求书 3 页 说明书 22 页 附图 3 页

[54] 发明名称

金属基体复合导线、电缆以及制备方法

[57] 摘要

金属基体复合导线(59)，包括金属基体中的至少一股含有许多基本连续的、纵向定位纤维(51)的丝束。所述纤维选自陶瓷纤维、碳纤维和它们的混合物。所述导线具有某些规定性能如圆度值、圆度均匀值和/或直径均匀值。



1. 制备在金属基体中含有许多基本连续的、纵向定位的纤维的金属基体复合导线的方法，该方法包括：

提供所含体积的熔融金属基体材料，在所述熔融金属基体材料表面下方具有出口管；

将至少一股含许多基本连续纤维的丝束浸没在所含体积的熔融金属基体材料中，所述纤维选自陶瓷纤维、碳纤维和它们的混合物，

利用超声波使至少一部分所含体积的熔融金属基体材料振动，使至少一部分熔融金属基体材料渗透进入许多纤维中，形成许多渗透了熔融金属材料的纤维，

在能使所述熔融金属基体材料固化的条件下通过所述出口管从所含体积的熔融金属基体材料中拉出许多渗透了熔融金属基体材料的纤维，形成金属基体复合导线，所述金属基体复合导线包括在金属基体中的至少一股丝束，该丝束含有许多基本连续的、纵向定位纤维的至少一种，所述导线在至少 100 米的长度内，具有至少 0.9 的圆度、不超过 2%的圆度均匀值和不超过 1%的直径均匀值。

2. 制备在金属基体中含有许多基本连续的、纵向定位的纤维的金属基体复合导线的方法，该方法包括：

提供所含体积的熔融金属基体材料，在所述熔融金属基体材料表面下方具有出口管；

将至少一股含许多基本连续纤维的丝束浸没在所含体积的熔融金属基体材料中，所述纤维选自陶瓷纤维、碳纤维和它们的混合物，

利用超声波使至少一部分所含体积的熔融金属基体材料振动，使至少一部分熔融金属基体材料渗透进入许多纤维中，形成许多渗透了熔融金属材料的纤维，

在能使所述熔融金属基体材料固化的条件下通过所述出口管从所含体积的熔融金属基体材料中拉出许多渗透了熔融金属基体材料的纤维，形成金属基体复合导线，所述金属基体复合导线包括在金属基体中的至少一股丝束，该丝束含有许多基本连续的、纵向定位纤维的至少一种，所述导线在至少 100 米的长度内，具有至少 0.85 的圆度、不超过 1.5%的圆度均匀值和不超过 0.5%的直径均匀值。

3. 权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于将所述许多渗透了熔融金属基体材料的纤维通过圆形模子从所含体积的熔融金属基体材料中拉出。

4. 权利要求 3 所述的方法, 其特征在于所述许多渗透了熔融金属基体材料的纤维离开圆形模子后被冷却。

5. 权利要求 1~4 任一项所述的方法, 其特征在于许多基本连续的纤维在浸入熔融基体材料之前汇聚成圆形束。

6. 金属基体复合导线, 它包含金属基体中的至少一股丝束, 所述丝束含有许多基本连续的、纵向定位的陶瓷纤维或碳纤维中的至少一种, 所述导线在至少 100 米的长度内, 具有至少 0.9 的圆度、不超过 2% 的圆度均匀值、不超过 1% 的直径均匀值。

7. 权利要求 6 所述的复合导线, 其特征在于所述圆度均匀值在至少 100 米的长度内不超过 1.5%。

8. 金属基体复合导线, 它包含金属基体中的至少一股丝束, 所述丝束含有许多基本连续的、纵向定位的陶瓷纤维或碳纤维中的至少一种, 所述导线在至少 100 米的长度内, 具有至少 0.85 的圆度、不超过 1.5% 的圆度均匀值、不超过 0.5% 的直径均匀值。

9. 权利要求 6 或 8 所述的复合导线, 其特征在于至少 85 数目% 的纤维是基本连续的。

10. 权利要求 6 或 8 所述的复合导线, 其特征在于以导线的总体积计, 所述复合导线含有至少 15 体积% 且不超过 70 体积% 的纤维。

11. 权利要求 6 或 8 所述的复合导线, 其特征在于所述纤维是多晶 α 氧化铝基纤维。

12. 权利要求 6 或 8 所述的复合导线, 其特征在于所述金属基体包括铝、锌、锡或者它们的合金。

13. 权利要求 6 或 8 所述的复合导线, 其特征在于所述纤维是陶瓷纤维。

14. 权利要求 6 或 8 所述的复合导线, 其特征在于所述纤维是陶瓷氧化物纤维。

15. 权利要求 6 或 8 所述的复合导线, 其特征在于所述金属基体包括铝或者它的合金。

16. 包含权利要求 6~15 任一项所述的至少一种金属复合导线的电缆。

17. 权利要求 16 所述的电缆, 其特征在于所述电缆包括缆芯和外壳, 所述缆

芯中装有复合导线，所述外壳中装有次级导线。

金属基体复合导线、电缆以及制备方法

发明领域

本发明涉及在金属基体中用基本连续的纤维增强的复合导线和装有这种导线的电缆。

发明背景

金属基体复合物(MMC)由于其高强度和高硬度以及低比重的综合特性,长久以来一直被认为是具有前途的材料。MMC 通常包括用纤维增强的金属基体。金属基体复合物的例子包括铝基体复合导线(例如,铝基体中为碳化硅、碳、硼或者多晶 α 氧化铝纤维)、钛基体复合带(例如,钛基体中为碳化硅纤维)和铜基体复合带(例如,铜基体中为碳化硅纤维)。

使用某些金属基体复合导线作为在裸露架空电力传输电缆中的增强部件是尤其引人注意的。由于负荷增长和因调节失当导致电流的改变,提高现有传输基础设施的电传输容量的需求推动了需要在这种电缆中使用新材料。

要提供更加均匀装填的电缆结构,就要求能用截面圆形的导线。而 to 提供直径更加均匀的电缆结构,也要求能用沿其长度方向直径更加均匀的圆形导线。因此,需要一种具有圆形截面且直径均匀的基本连续的金属基体复合导线。

发明概述

本发明涉及基本连续的纤维金属基体复合物。本发明的实施方式涉及在金属基体中含有基本连续的、纵向定位纤维的金属基体复合物(例如,复合导线)。本发明的金属基体复合物可以形成具有一定弹性模量、密度、热膨胀系数、电导率和强度等所需性能的导线。

本发明提供金属基体复合导线,该导线包含金属基体中的至少一股丝束(通常有许多股丝束),所述丝束含有许多基本连续的、纵向定位的纤维。所述纤维选自陶瓷纤维、碳纤维和它们的混合物。值得注意的是,所述导线在指定长度范围内,具有特定圆度、圆度均匀性和/或直径均匀性的这些性能。

本发明的一个优选实施方式,为在金属基体中含有许多至少一根基本连续

的、纵向定位陶瓷纤维或碳纤维的至少一股丝束(通常有许多股丝束)的金属基体复合导线,所述导线在至少100米长度内(宜为至少200米,更好是300米)具有至少为0.9的圆度值,不超过2%的圆度均匀值和不超过1%的直径均匀值。适宜的是,按优选递增的顺序,所述圆度值至少为0.91、0.92、0.93、0.94或0.95,所述圆度均匀值不超过1.9%、1.8%、1.7%、1.6%或1.5%,所述直径均匀值不超过0.95%、0.9%、0.85%、0.8%、0.75%、0.7%、0.65%、0.6%、0.55%或0.5%。通常,所述圆度值宜为约0.92~0.95。

本发明的另一优选实施方式为在金属基体中含有许多至少一根基本连续的、纵向定位陶瓷纤维或碳纤维的至少一股丝束(通常有许多股丝束)的金属基体复合导线,所述导线在至少100米长度内(宜为至少200米,更好是300米)具有至少为0.85的圆度值,不超过1.5%的圆度均匀值和不超过0.5%的直径均匀值。适宜的是,按优选递增的顺序,所述圆度值至少为0.86、0.87、0.88、0.89、0.9、0.91、0.92、0.93、0.94或0.95,所述圆度均匀值不超过1.4%、1.3%、1.2%、1.1%或1%,所述直径均匀值不超过0.85%、0.8%、0.75%、0.7%、0.65%、0.6%、0.55%或0.5%。通常,所述圆度值宜为约0.92~0.95。

在另一实施方式中,提供一种制备本发明复合导线的方法。此方法包括提供所含体积的熔融金属基体材料,将至少一股含许多基本连续纤维的丝束(通常许多股丝束)浸没在所含体积的该熔融金属基体材料中,所述纤维选自陶瓷纤维、碳纤维和它们的混合物;施加超声波能量使至少一部分所含体积的熔融金属基体材料振动,使至少一部分熔融金属基体材料渗透进入许多纤维中,形成许多渗透了熔融金属基体材料的纤维;从所含体积的熔融金属基体材料中拉出所述许多渗透了熔融金属基体材料的纤维,所用的条件能使所述熔融金属基体材料固化形成本发明的金属基体复合导线。

在再一实施方式中,提供包括至少一根本发明金属基体复合导线的电缆。在此电缆结构中本发明导线实施方式的优点是由于导线形状和直径的均匀性使得例如在电缆内层中导线能很均匀地装填。这种形状和直径的均匀性也会降低电缆诸如在外部导线层中导线间产生缝隙或导线缩细的缺陷。

定义

本文所用的下列术语定义为:

“基本连续纤维”是指具有相比平均纤维直径长度相对无穷大的纤维。通

常，这是指纤维具有至少约为 1×10^5 的纵横比(即纤维长度和纤维平均直径的比)，宜至少约为 1×10^6 ，更好至少约为 1×10^7 。通常，这种纤维具有至少大约 50 米的长度，甚至具有几千米或更长的长度。

“纵向定位”是指所述纤维取向在导线长度上的方向。

“圆度值”，是用于表征导线横截面接近圆形程度的量度，如以下实施例所述，它是由在指定长度内所测许多单个圆度值的平均来定义的。

“圆度均匀值”，是所测在指定长度内单个圆度值的差异系数，如以下实施例所述，它是所测圆度值的标准偏差除以所测圆度值的平均所得的比值。

“直径均匀值”，是在指定长度内平均直径的差异系数，如以下实施例所述，它是所测平均直径的标准偏差除以平均直径的比值。

附图简要说明

图 1 是使用超声波装置使熔融金属渗透纤维所用的制备复合导线设备示意图。

图 2 和 3 是两个具有复合金属基体导线缆芯的架空输电电缆的实施方式示意截面图。

图 4 是在围绕许多导线束使用保持装置之前，绞合电缆实施方式的端视图。

图 5 是输电电缆实施方式的端视图。

优选实施方式的详细说明

本发明提供包含纤维增强金属基体复合物的导线和电缆。本发明的复合导线包含至少一股含许多基本连续的、纵向定位的增强纤维如陶瓷(如， Al_2O_3 基)增强纤维的丝束，所述纤维包埋在含一种或多种金属(如，高纯度单质铝或者纯铝和其它元素如铜的合金)的基体中。适宜的是，在本发明的导线中至少约 85 数目%的纤维是基本连续的。至少一根本发明的导线可以装在电缆中，适宜的是输电电缆。

所述基本连续的增强纤维宜具有至少大约 5 微米的平均直径。所述纤维的直径通常不超过约 50 微米，更好不超过约 25 微米。

适宜的是，所述纤维具有不超过约 100Gpa 的模量，更好是不超过约 420Gpa。纤维宜具有大于 70Gpa 的模量。

可用于制造本发明金属基体复合材料的基本连续纤维的例子包括陶瓷纤

维, 如金属氧化物(例如氧化铝)纤维、碳化硅纤维和碳纤维。所述陶瓷氧化物纤维通常是结晶陶瓷和/或结晶陶瓷和玻璃的混合物(即纤维可以含有结晶陶瓷和玻璃这两种相)。

所述陶瓷纤维宜具有至少约 1.4Gpa, 较好至少约 1.7Gpa, 更好至少约 2.1Gpa, 最好至少约 2.8Gpa 的平均拉伸强度。所述碳纤维宜具有至少约 1.4Gpa, 较好至少约 2.1Gpa, 更好至少约 3.5Gpa, 最好至少约 5.5Gpa 的平均拉伸强度。

丝束在纤维技术中是人们熟知的, 是指许多根(单的)聚集成绳状的纤维, 至少宜为 100 根纤维, 更好至少为 400 根纤维。每股丝束宜含有至少 780 根纤维, 更好至少 2600 根纤维。陶瓷纤维丝束可有各种长度, 其中纤维的截面形状可以是圆形或者椭圆形。

在本技术领域已知制备氧化铝纤维的方法, 包括美国专利 No. 4, 954, 462 (Wood 等)揭示的方法, 其揭示的内容参考结合于此。

所述氧化铝纤维宜为多晶 α 氧化铝基纤维, 以理论氧化物基准, 按氧化铝纤维的总重计, 包含大于约 99 重量% Al_2O_3 和约 0.2~0.5 重量% SiO_2 。在另一方面, 优选的多晶 α 氧化铝基纤维包含具有小于 1 微米(更好是小于 0.5 微米)的平均粒度的 α 氧化铝。在另一方面, 优选的多晶 α 氧化铝基纤维具有至少 1.6Gpa(宜为至少 2.1Gpa, 更好为 2.8Gpa)平均晶拉伸强度。优选的 α 氧化铝纤维可以以“NEXTEL 610”商品从 St. Paul, Mn 的 3M Company 购得。

在美国专利 No. 4, 047, 965 (Karst 等)中, 揭示了合适的硅酸铝纤维, 其揭示的内容参考结合于此。以理论氧化物基准, 以所述硅酸铝纤维的总重计, 所述硅酸铝纤维宜含有约 67~85 重量% Al_2O_3 和约 33~15 重量% SiO_2 。一些优选的硅酸铝纤维以理论氧化物基准并以所述硅酸铝纤维的总重计, 包含约 67~77 重量% Al_2O_3 和 33~23 重量% SiO_2 。一种优选的硅酸铝纤维, 以理论氧化物基准, 按硅酸铝纤维的总重计, 包含约 85 重量% Al_2O_3 和约 15 重量% SiO_2 。另一种优选的硅酸铝纤维, 以理论氧化物基准, 按硅酸铝纤维的总重计, 包含约 73 重量% Al_2O_3 和约 27 重量% SiO_2 。优选的硅酸铝纤维可以以“NEXTEL 440”、“NEXTEL 550”、“NEXTEL 720”等商品的陶瓷氧化物纤维从 3M Company 购得。

在美国专利 No. 3, 795, 524 (Sowman)中, 揭示了合适的硼铝硅酸盐纤维, 其揭示的内容参考结合于此。所述硼铝硅酸盐纤维, 以理论氧化物基准, 按其总

重计,宜包含约 35~75 重量%(更好约为 55~75 重量%) Al_2O_3 、大于 0 重量%(更好至少为 15 重量%)而小于约 50 重量%(更好是小于约 45 重量%,最好是小于约 44 重量%)的 SiO_2 、大于 5 重量%(较好是小于约 25 重量%,更好为约 1~5 重量%,最好是 10~20 重量%)的 B_2O_3 。优选的硼铝硅酸盐纤维可以以“NEXTEL 312”商品从 3M Company 购得。

合适的碳化硅纤维,可以例如以每股丝束中有 500 根纤维的“NICALON”商品从 San Diego, CA 的 COI Ceramics、以“TYRANNO”商品从日本的 Ube Industries 和以“SYLRAMIC”商品从 Midland, MI 的 Dow Corning 购得。

合适的碳纤维可以例如以每股丝束中有 2000、4000、5000 和 12000 根纤维的“THORNEL CARBON”商品从 Alpharetta, GA 的 Amoco Chemicals、以“PYROFIL”商品从 Hexcel Corporation of Stamford, CT、Grafil Inc. of Sacramento, CA (subsidiary of Mitsubishi Rayon Co.)、以“TORAYCA”商品从日本的 Toray of Tokyo、以“BESFIGHT”商品从 Toho Rayon of Japan, Ltd.、以“PANEX”和“PYRON”的商品从 St. Louis, MO 的 Zoltek Corporation 以及以“12K20”和“12K50”商品(覆镍碳纤维)从 Wyckoff, NJ 的 Inco Special Products 购得。

购得的纤维通常包含在纤维制造过程中加入其中的有机上浆材料,用以提供润滑性并在处理过程中保护纤维线束。所述上浆剂认为可以减少纤维的断裂,降低静电并减少在例如制成织物过程中灰尘的量。上浆剂可以通过例如溶解或燃烧来除去。上浆剂宜在形成本发明金属基体复合导线之前除去。这样在形成铝基体复合导线之前,陶瓷氧化物纤维上面就不会含有上浆剂。

在纤维上有涂层也在本发明的范围内。使用涂层可以例如提高纤维的湿润性,降低或者防止纤维和熔融金属基体材料之间的反应。在纤维和金属基体复合物的技术中,已知这种涂层和提供涂层的方法。

本发明的导线以纤维和基体材料的总体积计,宜含有至少 15 体积%(按优选递增的顺序,更好至少为 20、25、30、35、40 或 50 体积%)纤维。本发明金属基体复合导线,以所述纤维和基体材料的总体积计,通常含有约 30~70 (宜为 40~60) 体积%的纤维。

本发明制得的优选金属基体复合导线,按优选递增的顺序,宜具有至少约 100 米、至少约 200 米、至少约 300 米、至少约 400 米、至少约 500 米、至少约 600 米、至少约 700 米、至少约 800、至少约 900 米的长度。

本发明导线的平均直径宜至少约 0.5 毫米(mm)，较好至少约 1 毫米，更好至少约 1.5 毫米。

可以选择合适的基体材料，使其不会和纤维材料发生明显的化学反应(即相对于纤维材料是化学惰性的)，以例如消除在纤维外面提供保护性涂层的必要性。优选的金属基体材料包括铝、锌、锡以及它们的合金(例如，铝和铜的合金)。基体材料更适宜是铝及其合金。对于铝基体材料来说，它宜含有至少 98 重量%铝，较好至少 99 重量%铝、更好至少 99.9 重量%铝和最高为 2 重量%铜。虽然高纯的金属往往优选用于制造拉伸强度更高的导线，但是也可以使用纯度较低的金属。

合适的金属可以商业购得。例如，铝可以以“SUPER PURE ALUMINUM 99.99%Al”从 Pittsburgh, PA 的 Alcoa 购得。铝合金(例如，Al-含 2 重量%铜和 0.03 重量%杂质)可以从 Belmont Metals, New York, NY 获得。锌和锡可以从例如 Metal Services, St. Paul, MN(“纯锌”99.999%纯度，“纯锡”99.95%纯度)获得。锡合金的例子有 92 重量%锡-8 重量%铝，例如其制备方法可以是往 550°C 熔融锡的熔池中加入铝，然后在使用前将混合物保持 12 小时)。锡合金的例子还有 90.4 重量%锡-9.6 重量%铝，例如其制备方法可以往 550°C 熔融锡的熔池中加入铝，然后在使用前将混合物保持 12 小时。

选择制备本发明金属基体复合导线具体的纤维、基体材料和方法步骤，使所得的金属基体复合导线具有所需的性质。例如，选择纤维和金属基体材料使它们之间充分相容，并且选择导线制造方法制得所需的导线。关于优选的制造铝和铝合金基体复合物的技术，例如，在美国 No. 08/492,960 的待审批申请和公布于 1996 年 5 月 21 日的公布号为 No. W097/00976 的 PCT 申请中揭示了其另外一些细节。

本发明连续复合导线可以通过例如金属基体连续浸渗的方法来制备。在图 1 中显示了制备本发明导线优选设备的示意图。基本连续的陶瓷和/或碳纤维 51 由一些供料筒 50 提供，汇聚成为圆形截面的线束，并经过管炉 52 加热净化。然后这些纤维在真空室 53 中抽以真空，再进入装有金属基体材料 61 熔体(也称为“熔融金属”)的坩埚 54。这些纤维由履带式牵引器 55 从供料筒 50 上拉出。将超声波棒置于熔体中靠近纤维的位置，促进熔体渗透到丝束 51 中。导线中的熔融金属从出口模子 57 离开坩埚 54 之后，就冷却并固化。但当它完全离开坩埚 54 之前会受到一定程度的冷却。导线 59 的冷却可以通过气流或液流

58 来加强。导线 59 则在卷筒 60 上收集。

加热净化所述纤维可以帮助除去或者减少存在于纤维表面上的上浆剂、吸收的水分和其它不稳定或者易挥发物质的量。适宜的是，将纤维加热净化直到纤维表面的碳含量少于 22 面积%。通常，管炉的温度至少约为 300℃，更好至少为 1000℃，并使纤维受热至少几秒钟。当然具体的温度和时间由例如所用具体纤维的净化要求来决定。

适宜的是，在进入熔体之前对纤维进行抽真空，因为已经观察到，使用这种抽真空方法可以减少或消除诸如干燥纤维汇聚不均匀区域等缺陷的形成。按优选递增的顺序，纤维宜在不超过 20 托、不超过 10 托、不超过 1 托和不超过 0.7 托的真空中抽以真空。

合适真空系统的一个例子，包括一根进口管，其大小与纤维丝束的直径配合。例如，所述进口管为不锈钢或者铝管，通常至少 30 厘米长。合适的真空室宜具有约 2~20 厘米的直径，约 5~100 厘米的长度。真空泵的容量宜至少为 0.2~0.4 立方米/分钟。被拉的纤维通过真空系统插入铝浴池的管子引入熔体中(即被拉的纤维在引入熔体中时是处于真空条件)，虽然所述熔体通常处于基本上大气的压力下。所述出口管的内径基本符合纤维束的直径。出口管的一部分浸在熔融铝中。管子宜大约有 0.5~5 厘米的长度浸在熔融铝中。选择所述管子的材料应稳定保持在熔融金属材料中。合适管子的例子包括氮化硅管和氧化铝管。

熔融金属往纤维的渗透通常可以使用超声波来强化。例如，将一个振动喇叭放在靠近纤维的熔融金属中。纤维宜在喇叭头子 2.5 毫米距离内，更好是 1.5 毫米距离内。所述喇叭头子宜由铌或者铌合金，如 95 重量%Nb-5 重量%Mo 或 91 重量%Nb-9 重量%Mo 制得。关于使用超声波制造金属基体复合物的另外一些细节可见例如美国专利 Nos. 4,649,060(Ishikawa 等)、4,779,563(Ishikawa 等)和 4,877,643(Ishikawa 等)、No. 08/492,960 的美国申请以及公布于 1996 年 5 月 21 日，公布号为 No. W097/00976 的 PCT 申请，其所揭示的内容参考结合于此。

熔融金属宜在进行渗透时和/或之前进行脱气(例如，减少溶解在熔融金属中的气体如氢气的量。对熔融金属进行脱气的技术在金属工艺中是人们熟知的。将熔体脱气可以减少导线中的气体孔隙率。对熔融铝来说，熔体中的氢含量按优选的顺序，宜少于 0.2、0.15、0.1 立方厘米/100 克铝。

出口模子的结构应能形成所需的导线直径。通常，要求在其长度内能通过均匀圆度的导线。出口模子的直径通常比导线的直径稍小。例如，用于含有约 50 体积%氧化铝纤维的铝复合导线的氮化硅出口模子，其直径约比导线的直径小 3%。虽然也可以使用其它材料，但是出口模子宜由氮化硅制得。在本技术领域其它可用作出口模子的材料有常规的氧化铝。但是本申请人发现，氮化硅出口模子的磨损比常规氧化铝出口模子明显要低，因此，更有利于形成所需直径和形状的导线，尤其在导线长度内。

形成的导线离开出口模子之后，宜将其和液体(如，水)或者气体(如，氮气、氩气或空气)接触来冷却。这种冷却措施有助于提供所需的圆度和均匀性。

本发明导线的平均直径宜为至少 1 毫米、更好为 1.5 毫米、2 毫米、2.5 毫米、3 毫米或 3.5 毫米。

本发明金属基体复合导线可以用于各种用途。它们在架空输电电缆中尤其有用。

虽然此处不打算拘泥于什么理论解释，但是对于传统金属导线来说，控制直径是很重要的，因为导线拉伸强度的变化直接和导线横截面积的变化成比例；但是复合导线的拉伸强度很大程度上由导线中含有的纤维量来控制，而不是由横截面积的变化来控制。

电缆可以经受拉伸应力和弯曲应力的共同作用，这些应力转而会导致制造电缆的材料(如导线)的伸长(也称为应变)。本领域技术人员知道总的应变是加在所述材料上的各种机械负载(例如，拉伸、扭转和弯曲)产生的应变分量的叠加。虽然拉伸应变分量在导线横截面上是均匀的，但弯曲应变分量在导线横截面上不均匀，在横截面的外径位置最大，在导线中心轴位置最小。结果，导线直径的任何差异都可能导致施加在导线上弯曲应变的差异。当加在材料上的总应变超过某一值时，就称为“应变破坏”，材料将折断破坏。在金属基体复合物上叠加有大的拉伸负载和弯曲负载的严重负载情况下，直径的差异会导致在电缆在最大弯曲位置出现导线过早的破坏。

导线的直径由于几何上的原因也很重要。为了导线能在电缆中更好地装填，需要具有圆形截面的导线。而且，单根导线直径的变化可能导致整个电缆本身不适宜的变化。

本发明的电缆可以是均质的(即仅包含一种类型的金属基体复合导线)或者非均质的(即包含许多次级导线，如金属导线)。作为非均质电缆的例子，其

缆芯中可以有许多本发明的导线，还有内装许多次级导线（例如铝导线）的外壳。

可以绞合制成本发明的电缆。绞合电缆通常包括一根中心导线和围绕中心导线的第一层螺旋绞合的导线。电缆绞合过程是将单根绞合导线以螺旋排列的方式结合生产最终电缆的方法（见例如美国专利 Nos. 5, 171, 942 (Powers) 和 5, 554, 826 (Gentry)，其揭示的内容参考结合于此）。所得的螺旋绞合导线绳能提供比具有相同截面积的实心棒大得多的柔韧性。所述螺旋排列也比较有利，因为当电缆在运储、安装和使用中弯曲时，所述绞合电缆能保持其总的圆截面形状。螺旋绞合电缆可以少到只有 7 根绞合的导线，到含有 50 或更多根绞合导线的普遍结构。

在图 2 中显示了本发明一个示范性输电电缆，其中，本发明的输电电缆 130 可以是具有 19 根复合金属基体导线 134 的缆芯 132，它由 30 根铝或者铝合金导线 138 组成的夹套 136 包围。类似地，如图 3 所示，作为许多替换方案中的一个，本发明的架空输电电缆 140 可以是具有 37 根复合金属基体导线 144 的缆芯 142，它由 21 根铝或者铝合金导线 148 组成的夹套 146 包围。

图 4 表示了绞合电缆 80 的另一实施方式。在这一实施方式中，所述绞合电缆包括一根中心的金属基体复合导线 81A 和螺旋绞合在中心一些金属基体复合导线 81A 周围的金属基体复合导线的第一层 82A。这一实施方式还包括螺旋绞合在第一层 82A 周围的一些金属基体复合导线 81 的第二层 82B。在任一层中可以有任意合适根数的金属基体复合导线 81。若需要的话，在绞合电缆 80 中可以有多于两层的金属基体复合导线。

本发明的电缆可以用作裸露的电缆，也可以用作更大直径电缆的缆芯。同时，本发明的电缆可以是在许多导线周围存在保持装置的绞合电缆。所述保持装置可以是外包装带，如图 4 中的 83，例如可以带有或者不带粘合剂或者胶粘剂。

本发明的绞合电缆可以在许多用途中使用。可以认为，这种绞合电缆由于其比重低、强度高、导电性良好、热膨胀系数低、使用温度高、耐腐蚀性好等的综合性能，尤其适合用于架空输电电缆中。

在图 5 中显示了这种输电电缆 90 的一个优选实施方式的端视图。这种输电电缆包括一个缆芯 91，它可以是本文所述任何绞合缆芯。所述输电电缆 90 也包括至少一层绞合缆芯 91 周围的导体层。如图所示，所述输电电缆包括两

层导体层 93A 和 93B。若需要的话可以使用更多的导体层。适宜的是，每个导电层中有许多本技术领域已知的导线。合适的导线材料包括铝和铝合金。这些导线可以通过本技术领域已知的合适绞合设备围绕绞合缆芯 91 进行绞合。

绞合电缆本身就可以用作最终制品，或者用作另一种后续制品的中间制品或者部件的其它用途中，优选使用在许多金属基体复合导线 81 周围没有导体层的绞合电缆。

关于由金属基体复合导线制得的电缆，例如在本申请同一天提交的美国顺序号 No. 09/616,784 的申请和美国顺序号 No. 08/492,960 的申请以及公布于 1996 年 5 月 21 日，公布号为 WO 97/00976 的 PCT 申请中，揭示了其另外一些细节，其揭示的内容参考结合于此。关于制造金属基体复合材料和装有该金属基体复合材料的电缆，例如在本申请同一天提交的美国顺序号 Nos. 09/616,589、09/616,593 和 09/616,741 的待审批中申请，揭示了其另外一些细节。

实施例

本发明还通过以下一些实施例进行说明，但是在这些实施例中所述的具体材料及其用量，以及其它条件和细节不应限制本发明。本发明的各种修改和替换对于本技术领域的技术人员来说是显而易见的。除另有说明外，所有的份数和百分数均以重量为基准。

测试步骤

圆度值

圆度值，是表征所述导线截面形状接近圆形程度的量度，定义为指定长度内所测一个个圆度值的平均。用于计算平均值的一个个圆度值如下使用旋转激光测微计（以“ODAC 30J ROTATING LASER MICROMETER”的商品名从 Zumbach Electronics Corp., Mount Kisco, NY 购得，软件：“USYS-100” BARU13A3 版本）来测定，设定测微计使测微计记录在导线每旋转 180°的过程中每 100 毫秒时的导线直径。每次 180°旋转要花费 10 秒。所述测微计将从每次 180°旋转获得的 100 个数据报告发送到操作数据库中。所述数据库含有在旋转周期中收集的 100 个数据点的最小值、最大值和平均值。所述导线速度为 1.5 米/分钟（5 英尺/分钟）。一个所测的圆度值是在旋转周期中收集的 100 个数据点中最小

值和最大值的比值。报告的圆度值是在指定长度内所测一个个圆度值的平均值。而一个平均圆度值是 100 个数据点的平均值。

圆度均匀值

圆度均匀值，是所测得的在指定长度内许多单个圆度值的差异系数，是所测许多个圆度值的标准偏差除以所测许多个圆度值平均所得的比值。所述标准偏差由以下方程式确定：

$$\text{标准偏差} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (1)$$

式中：

n 是样品的数目(即，为了计算用于确定直径均匀值所测一个个圆度值的标准偏差，n 是在指定长度内所测圆度值的数目)。

x 是样品的测量值(即，为了计算用于确定直径均匀值所测一个个圆度值的标准偏差，x 是指定长度内所测的圆度值)。

用于确定平均值的一个个圆度值，其获得方法已在圆度值的小节中作了叙述。

直径均匀值

直径均匀值，是所测的在指定长度内平均直径的差异系数，是所测平均直径的标准偏差除以所测平均直径的比值。所测平均直径是如上所述用于圆度值的方法获得 100 数据点的平均值。所述标准偏差可以用方程式(1)计算而得。

实施例 1

按如下方法制备实施例 1 的铝复合导线。参考图 1，将 32 根 3000 但尼尔的氧化铝纤维(“NEXTEL 610”商品，从 3M Company 购得，在其 1996 年产品手册中其杨氏模量为 373Gpa)汇聚成圆形丝束。将其以 1.5 米/分钟的速度通过处于空气中，温度为 1000°C 的 1 米长管炉(从 ATS, Tulsa OK 购得)来加热净化所述圆形丝束。然后使该线束穿过氧化铝进口管(直径 2.7 毫米，长度 30 厘米，其直径符合纤维束的直径)进入真空室(直径 6 厘米，长度 20 厘米)中，在 1.0 托的真空度对纤维束抽真空。所述真空室装备有机械真空泵，其泵出量为 0.4

立方米/分钟。离开真空室以后，经过真空处理的纤维束通过氧化铝管(内径为2.7毫米，长度为25厘米)进入熔融铝的浴池，所述氧化铝管部分地浸没在熔融铝的浴池中(约5厘米)。所述熔融铝浴池是在726°C熔化铝(99.94%纯度的铝，从NSA ALUMINIUM, HAWESVILLE, KY购得)形成的。所述熔融铝保持在约726°C，并通过从浸没在铝浴池中的碳化硅多孔管(从Stahl Specialty Co., kingsville, MO购得)以800立方厘米/分钟吹入氩气来进行连续脱气。熔融铝氢含量的测量是将在0.64厘米×12.7厘米×7.6厘米内部体积的铜坩埚中的熔融铝样品进行淬冷，再使用标准化质量分光测试分析仪(从LECO Corp., St. Joseph, MI购得)分析所得固化铝锭的氢含量。

熔融铝往纤维束中的渗透，使用了超声波渗透来促进进行。超声波振动是由一个连接于超声波换能器(从Sonics & Materials, Danbury CT购得)上的导波管产生的。所述导波管由直径25毫米，长90毫米的91重量%Nb-9重量%Mo圆柱体，和其所连接的一个10毫米中心螺杆组成，该螺杆又拧在长482毫米，直径25毫米的钛导波管(90重量%Ti-6重量%Al-4重量%V)上。所述Nb-9重量%Mo的圆柱体由PMTI, Inc., Large, PA提供。所述钨棒位于距纤维束中心线2.5毫米距离内。所述波导管在20千赫下操作，在其端头发生20微米的位移。由履带式牵引器(从Tulsa Power Products, Tulsa OK购得)以1.5米/分钟的速度将纤维束通过熔融铝浴池拉出。

所述渗透了铝的纤维束通过氮化硅出口管(内径为2.5毫米，外径为19毫米，长度为12.7毫米，从Branson and Bratton Inc., Burr Ridge, IL购得)离开坩埚。当离开熔融铝浴池后，使用两股氮气流辅助导线的冷却。具体地说，两根一头堵塞的内径4.8毫米的管子，在其管壁各打上5个孔。这些孔的直径为1.27毫米，在30毫米的长度上相隔6毫米配置。氮气以100升/分钟的流量经过管子，从周边的小孔离开。每个管子上的第一个孔定位在离出口模子50毫米，并且离导线约6毫米的位置。这两个管子位于导线的两侧。经氮气喷吹冷却后导线绕在卷筒上。用感应耦合等离子体分析仪测出，实施例1的铝基体组成为0.03重量%Fe、0.02重量%Nb、0.03重量%Si、0.01重量%Zn、0.003重量%Cu和余量的Al。在制造导线时，铝浴池的氢含量约为0.07立方厘米/100克铝。

进行了14次铝复合导线的制备试验。导线的直径为2.5毫米。每次试验制得的导线至少长300米。由标准金相技术测量纤维的体积百分数。将导线的

横截面抛光,然后使用密度仿形函数,采用由 Research Services Branch of the National Institutes of Health 制定的称为 NIH IMAGE(版本 1.61)的电脑程序测量纤维的体积百分数,该程序是个公众领域图像加工程序(从 [Http://rsb.info.nih.gov/nih-image](http://rsb.info.nih.gov/nih-image) 获得)。这一软件测量的是导线截面代表性区域的平均灰度强度。

对于每次试验,将一根导线镶装在树脂(以“EPOXICURE”的商品名从 Buehler Inc., Lake Bluff, IL 购得)中。使用一常规研磨/抛光机,在最终抛光步采用一种常规金刚石浆液(“DIAMOND SPRAY”商品,从 Struers, West Lake, OH 购得),抛光获得所述镶装的导线截面样品,该浆液含有 1 微米的金刚石颗粒。在 150x 放大倍数获得抛光导线截面的扫描电子显微镜(SEM)照片。当摄制 SEM 显微照片时,调节图像的阈限使得所有纤维为零亮度,获得含两种区域的图像。使用 NIH IMAGE 软件分析 SEM 显微照片,将此图像的平均亮度除以最大亮度获得纤维的体积百分数。用于确定纤维体积百分数的这个方法,其精度为 $\pm 2\%$ 。导线的平均纤维含量测定为 54 体积%。

如上所述,以 100 米、300 米和各种其它长度间隔,测量导线的圆度、圆度均匀值和直径均匀值。在下表 1、2 和 3 中列出了所得的结果。

表 1

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.9385	1.02%	0.23%	100
2	0.9408	1.16%	0.22%	100
3	0.9225	1.37%	0.27%	100
4	0.9441	1.14%	0.22%	100
5	0.9365	1.40%	0.24%	100
6	0.9472	1.02%	0.21%	100
7	0.9457	1.21%	0.24%	100
8	0.9419	1.12%	0.27%	100
9	0.9425	1.21%	0.23%	100
10	0.9493	1.28%	0.29%	100
11	0.9387	1.11%	0.25%	100
12	0.9478	0.94%	0.26%	100
13	0.9376	1.45%	0.36%	100
14	0.9421	1.35%	0.44%	100

表 2

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.9416	1.01%	0.29%	300
2	0.9383	1.20%	0.29%	300
3	0.9220	1.55%	0.28%	300
4	0.9412	1.19%	0.22%	300
5	0.9354	1.25%	0.25%	300
6	0.9451	1.16%	0.21%	300
7	0.9443	1.18%	0.25%	300
8	0.9439	1.15%	0.24%	300
9	0.9420	1.21%	0.23%	300
10	0.9494	1.08%	0.27%	300
11	0.9355	1.03%	0.25%	300
12	0.9473	1.02%	0.24%	300
13	0.9373	1.38%	0.34%	300
14	0.9425	1.22%	0.42%	300

表 3

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.9427	1.00%	0.38%	496
2	0.9344	1.69%	0.43%	914
3	0.9168	1.66%	0.38%	600
4	0.9378	1.88%	1.53%	834
5	0.9306	1.50%	0.33%	544
6	0.9432	1.20%	0.34%	466
7	0.9399	1.24%	0.54%	836
8	0.9407	2.03%	0.82%	916
9	0.9366	2.99%	0.90%	811
10	0.9517	0.96%	0.26%	826
11	0.9327	1.03%	0.26%	676
12	0.9475	1.01%	0.23%	374
13	0.9367	1.39%	0.37%	876
14	0.9364	1.36%	1.15%	909

对比例 A

除了使用 36 根 1500 但尼尔纤维(“NEXTEL610”)的丝束以外,基本如 PCT/US96/07286 的实施例 2 所述(其内容参考结合于此),进行 12 次长度至少为 300 米的铝基体复合导线制备试验,所述导线直径为 2.0 毫米,导线纤维含量为 45 体积%。

如上所述,以 100 米、300 米和各种其它长度间隔,测量导线的圆度、圆度均匀值和直径均匀值。在下表 4、5 和 6 中列出了所得的结果。

表 4

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.8120	4.23%	0.88%	100
2	0.8470	2.83%	0.58%	100
3	0.8614	2.69%	0.57%	100
4	0.8589	3.95%	1.11%	100
5	0.8971	3.05%	0.69%	100
6	0.8841	2.43%	0.68%	100
7	0.8747	3.01%	1.12%	100
8	0.8465	2.43%	0.61%	100
9	0.8449	5.41%	1.46%	100
10	0.8501	3.01%	0.67%	100
11	0.8508	2.54%	0.78%	100
12	0.8576	5.66%	1.42%	100

表 5

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.8365	3.86%	0.68%	300
2	0.8527	2.73%	0.58%	300
3	0.8637	2.89%	0.72%	300
4	0.8929	4.39%	0.99%	300
5	-	-	-	<300
6	0.8974	2.43%	0.69%	300
7	0.8641	3.98%	1.16%	300
8	0.8460	2.38%	0.65%	300
9	-	-	-	<300
10	0.8558	2.99%	0.95%	300
11	0.8540	3.61%	1.16%	300
12	0.8701	5.02%	1.38%	300

表 6

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.8369	3.85%	0.68%	305
2	0.8532	2.68%	0.61%	341
3	0.8668	3.03%	0.71%	332
4	0.895	4.41%	0.99%	318
5	0.9008	2.83%	0.77%	283
6	0.8964	2.68%	0.83%	463
7	0.8644	4.28%	1.25%	436
8	0.8479	2.44%	0.63%	545
9	0.8571	4.81%	2.42%	255
10	0.8546	3.45%	1.11%	465
11	0.8556	3.18%	1.19%	466
12	0.8706	4.95%	1.36%	311

对比例 B

对比例 B 是从 Nippon Carbon Co. 获得的 300 米长的铝基体复合导线。所述导线据报告是使用 SiC 纤维(“HI-NICALON”商品, 以前从 Dow Corning 购得, 现在从 COI Ceramics, San Diego, CA 购得)制得的。如实施例 1 所述, 测出导线的纤维含量为 52.5 体积%。导线的直径为 0.082 毫米。

如上所述, 测量导线的圆度、圆度均匀值和直径均匀值, 在 100 米的长度内分别为 0.869、2.45%和 1.08%; 在 300 米的长度内分别为 0.872、2.56%和 1.08%; 在 474 米的长度内分别为 0.877、2.58%和 1.03%。

对比例 c

除了使用 54 根 1500 但尼尔纤维(“NEXTEL610”)的丝束以外, 基本如 PCT/US96/07286 的实施例 2 所述, 进行 20 次长度至少为 300 米铝基体复合导线的制备试验, 所述导线直径为 2.5 毫米, 导线纤维含量为 45 体积%。

如上所述, 以 100 米、300 米和各种其它长度间隔, 测量导线的圆度、圆度均匀值和直径均匀值。在下表 7、8 和 9 中列出了所得的结果。

表 7

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.8305	3.60%	1.47%	100
2	0.8772	2.63%	0.59%	100
3	0.8989	3.06%	0.66%	100
4	0.8772	3.04%	0.86%	100
5	0.8437	2.60%	0.73%	100
6	0.8936	2.69%	0.37%	100
7	-	-	-	<100
8	0.9016	2.54%	0.50%	100
9	0.8565	3.36%	0.59%	100
10	0.8659	2.37%	0.42%	100
11	0.8578	2.09%	1.02%	100
12	0.8618	2.22%	0.63%	100
13	0.8987	2.08%	0.76%	100
14	0.8719	2.89%	0.66%	100
15	0.8891	3.74%	1.12%	100
16	0.8416	3.16%	0.97%	100
17	0.8416	2.24%	0.48%	100
18	0.8334	2.48%	0.61%	100
19	0.8845	4.28%	0.88%	100
20	0.8834	2.71%	1.59%	100

表 8

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	-	-	-	<300
2	0.8663	2.65%	0.67%	300
3	0.8676	3.67%	0.64%	300
4	0.8558	4.38%	0.94%	300
5	0.8512	3.54%	0.99%	300
6	0.8720	3.55%	0.57%	300
7	-	-	-	<300
8	0.8684	4.62%	0.84%	300
9	0.8526	3.35%	0.66%	300
10	-	-	-	<300
11	0.8906	3.73%	1.45%	300
12	0.8876	4.06%	0.85%	300
13	0.8910	2.06%	0.83%	300
14	0.8420	3.69%	1.05%	300
15	0.8942	2.90%	0.82%	300
16	-	-	-	<300
17	0.8526	2.67%	0.60%	300
18	0.8566	4.00%	0.69%	300
19	0.8609	5.06%	1.10%	300
20	0.8712	3.91%	1.20%	300

表 9

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.8606	4.42%	1.11%	311
2	0.8664	2.62%	0.67%	334
3	0.8615	4.38%	0.69%	315
4	0.8568	4.35%	0.95%	311
5	0.8525	3.55%	0.98%	310
6	0.8714	3.57%	0.57%	32
7	0.8789	2.00%	0.39%	311
8	0.8667	4.65%	0.82%	347
9	0.8531	3.35%	0.68%	283
10	0.8628	2.52%	0.55%	314
11	0.8913	3.68%	1.46%	313
12	0.8886	4.04%	0.83%	312
13	0.891	2.03%	0.84%	313
14	0.839	4.03%	1.30%	312
15	0.8949	2.88%	0.81%	311
16	0.8452	2.71%	0.88%	272
17	0.851	2.78%	0.61%	314
18	0.853	4.06%	0.68%	312
19	0.8587	5.26%	1.13%	317
20	0.8713	3.87%	1.18%	310

对比例 D

除了使用 84 根 1500 但尼尔纤维(“NEXTEL610”)的丝束以外,基本如 PCT/US96/07286 的实施例 2 所述(其内容参考结合于此),进行 10 次长度至少为 300 米的铝基体复合导线的制备试验,所述导线直径为 3.0 毫米,导线纤维含量为 45 体积%。

如上所述,以 100 米、300 米和各种其它长度间隔,测量导线的圆度、圆度均匀值和直径均匀值。在下表 10、11 和 12 中列出了所得的结果。

表 10

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.8710	3.32%	0.62%	100
2	0.9176	2.03%	0.59%	100
3	0.9261	2.76%	0.92%	100
4	0.8885	1.97%	0.66%	100
5	0.8599	4.54%	1.60%	100
6	0.9017	2.85%	0.78%	100
7	0.8884	3.59%	0.77%	100
8	0.8772	2.24%	0.62%	100
9	-	-	-	<100
10	0.8285	1.99%	1.05%	100

表 11

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	-	-	-	<300
2	0.9103	2.26%	1.52%	300
3	0.8954	3.30%	1.39%	300
4	0.886	2.05%	0.60%	300
5	0.8705	4.43%	1.57%	300
6	0.9028	2.67%	1.05%	300
7	0.8702	3.64%	1.02%	300
8	0.8925	2.29%	0.59%	300
9	-	-	-	<300
10	0.8589	3.53%	0.94%	300

表 12

试验 No.	圆度值	圆度均匀值	直径均匀值	导线长度, 毫米
1	0.8754	3.12%	1.04%	244
2	0.9102	2.23%	1.59%	309
3	0.8942	3.24%	1.45%	324
4	0.886	2.01%	0.60%	311
5	0.871	4.37%	1.58%	314
6	0.9025	2.64%	1.05%	311
7	0.8707	3.48%	1.14%	336
8	0.8931	2.27%	0.59%	312
9	0.8293	1.40%	0.54%	74
10	0.8597	3.52%	0.94%	314

在不背离本发明范围和精神的前提下，本发明的各种修改和替换对于本技术领域的技术人员来说是显而易见的，应当理解本发明决不受本文阐述的说明性实施方式的限制。

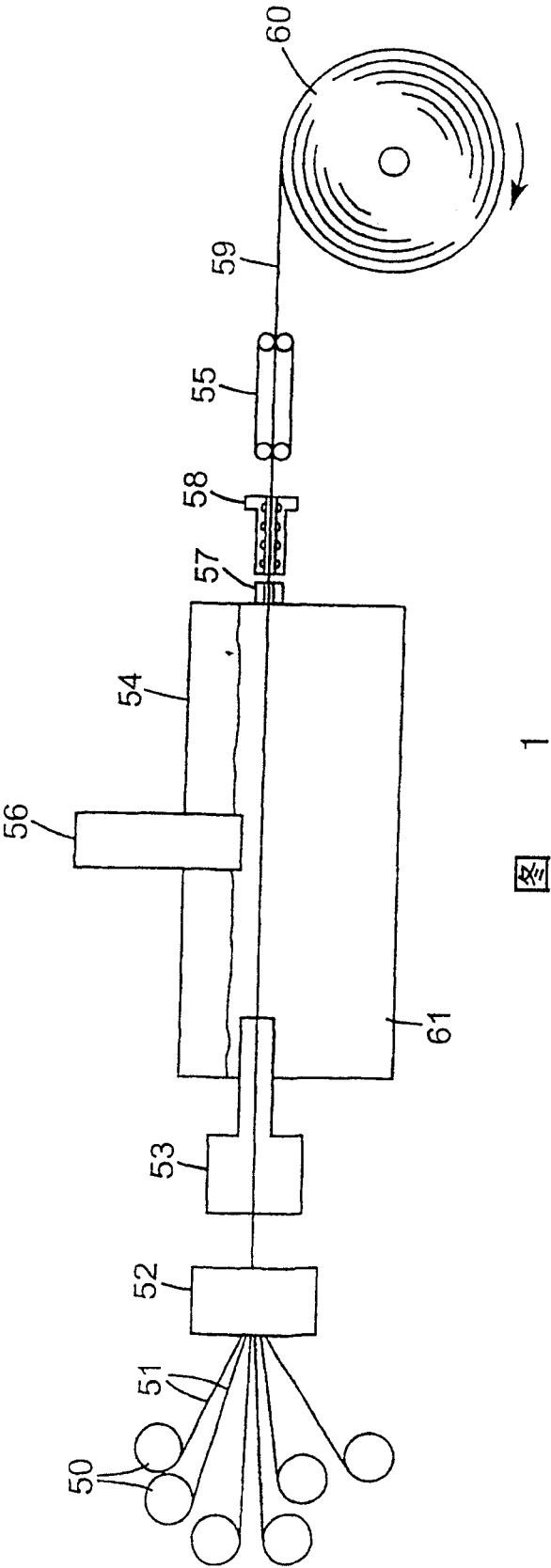


图 1

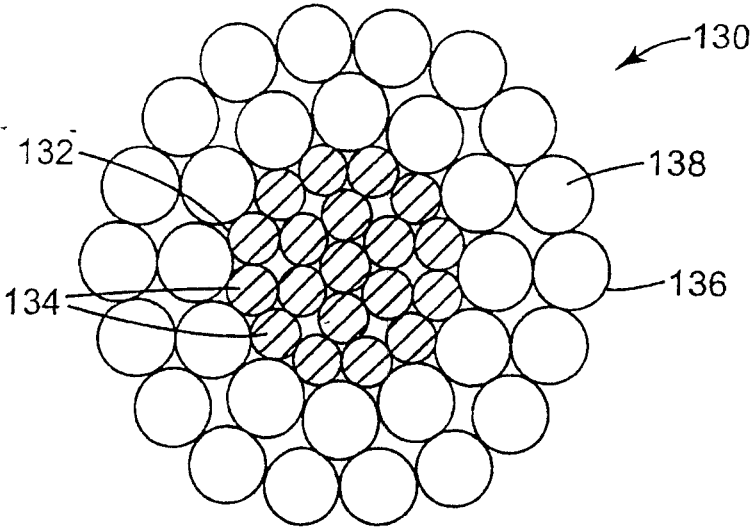


图 2

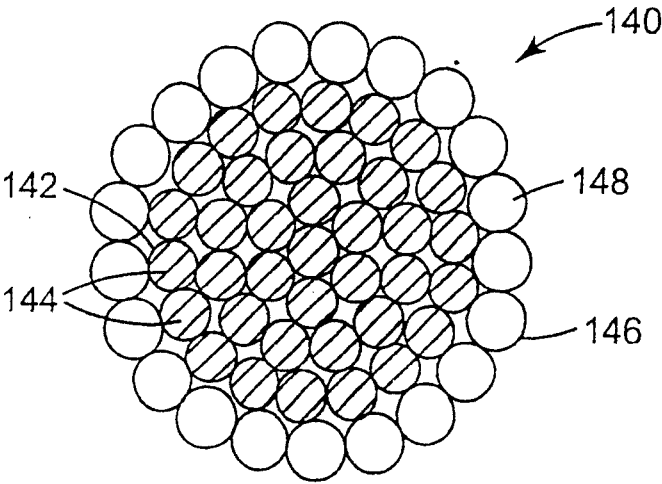


图 3

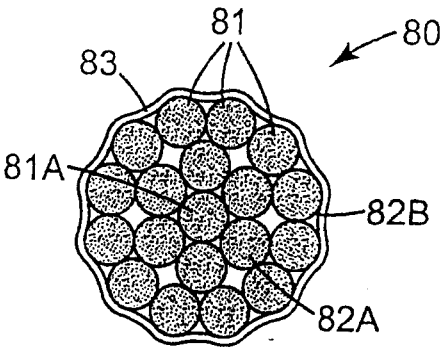


图 4

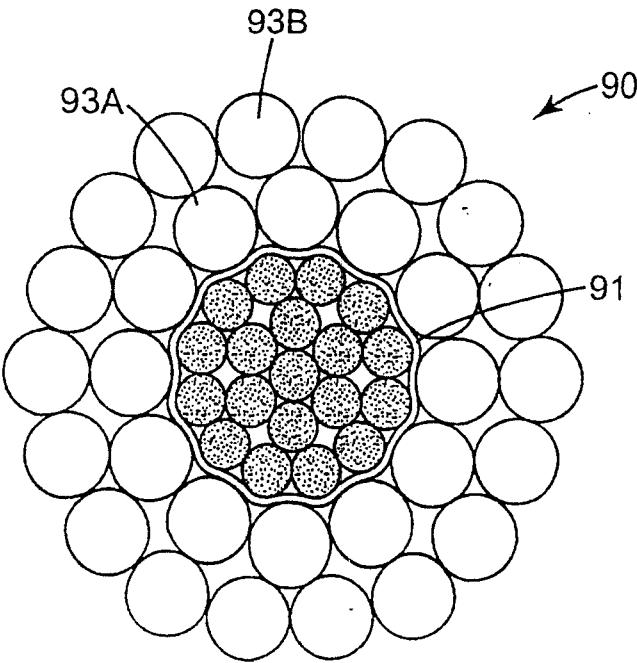


图 5