

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01B 5/10 (2006.01)

H01B 13/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580020109.0

[45] 授权公告日 2009 年 12 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 100576367C

[22] 申请日 2005.4.7

[21] 申请号 200580020109.0

[30] 优先权

[32] 2004. 6. 17 [33] US [31] 10/870,263

[86] 国际申请 PCT/US2005/011667 2005.4.7

[87] 国际公布 WO2006/006973 英 2006.1.19

[85] 进入国家阶段日期 2006.12.18

[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 道格拉斯·E·约翰逊

兹齐斯劳·M·科瑟克

科林·麦卡洛

[56] 参考文献

CN1443250A 2003.9.17

CN1454386A 2003.11.5

CN1441853A 2003.9.10

审查员 向 莉

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 黄启行 穆德骏

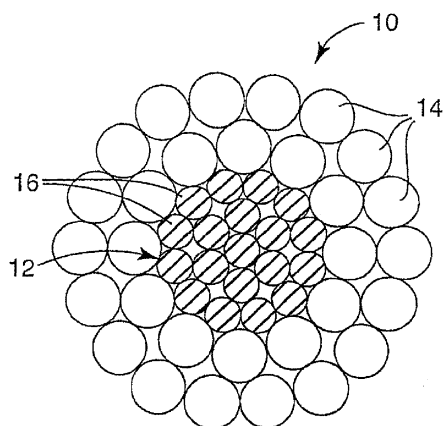
权利要求书 2 页 说明书 34 页 附图 6 页

[54] 发明名称

电缆及其制造方法

[57] 摘要

本申请公开了电缆及其方法。 电缆的实施例可
用于，例如高架电力传输线。



1. 一种电缆，包括：

纵向芯，其具有热膨胀系数，并包括金属基质复合材料电线；以及

共同地具有大于所述芯的热膨胀系数的热膨胀系数的多条电线，其中该多条电线包括铝线、铜线、铝合金线或铜合金线中的至少一种，并且其中该多条电线围绕所述芯绞合，并且其中该电缆具有不大于5 MPa的应力参数。

2. 根据权利要求1的所述电缆，其中所述芯包括连续结晶陶瓷纤维。

3. 根据权利要求2的所述电缆，其中所述金属基质基于所述基质的全部重量，包括至少98%重量的铝。

4. 根据权利要求3的所述电缆，其中所述结晶陶瓷纤维为基于多晶 α 氧化铝的纤维，基于各个纤维的全部金属氧化物含量，所述纤维包括至少99%重量的 Al_2O_3 。

5. 根据权利要求2的所述电缆，其中所述结晶陶瓷纤维为基于多晶 α 氧化铝的纤维，基于各个纤维的全部金属氧化物含量，所述纤维包括至少99%重量的 Al_2O_3 。

6. 根据权利要求5的所述电缆，其中所述金属基质复合材料电线基于各个金属基质复合材料电线的全部体积，包括40%到70%体积百分比范围中的纤维。

7. 根据权利要求5的所述电缆，其中所述电缆具有不大于3MPa的应力参数。

8. 根据权利要求1的所述电缆，其中其中构成所述芯的金属基质电线具有在从1mm到4mm范围内的直径。

9. 根据权利要求8的所述电缆，其中所述芯的电线螺旋形地绞合以具有在从10到150范围内的捻系数。

10. 根据权利要求1的所述电缆，其中所述电缆具有不大于3MPa的应力参数。

11. 根据权利要求1的所述电缆，其中所述电缆具有不大于1MPa的应力参数。

12. 根据权利要求1的所述电缆，其中所述电缆具有不大于0MPa的应力参数。

13. 根据权利要求1的所述电缆，其中所述电缆具有在从0 MPa到5MPa范围中的应力参数。

14. 根据权利要求1的所述电缆，其中围绕所述芯绞合的所述电线的形状是梯形。

电缆及其制造方法

技术领域

本发明涉及电缆及其制造方法。

背景技术

通常，已知复合材料（包括金属基质复合材料（MMC））。复合材料典型地包括利用纤维、微粒、晶须或纤维（例如短纤维或长纤维）增强的基质。金属基质复合材料的例子包括铝基质复合材料电线（例如嵌入在铝基质中的金刚砂、碳、硼或多晶 α 氧化铝纤维）、钛基质复合材料带（例如嵌入在钛基质中的金刚砂纤维）以及铜基质复合材料带（例如嵌入到铜基质中的金刚砂或硼纤维）。聚合物基质复合材料的例子包括在环氧树脂基质中的碳或石墨纤维、在聚酯树脂中的玻璃或芳族聚酰胺纤维，以及在环氧树脂中的碳和玻璃纤维。

复合材料电线（例如金属基质复合材料电线）的一种使用是作为在裸高架电力传输电缆中的增强部件。对于电缆的一种典型需求由增加现存传输基础结构的电力传输容量的需求而驱动。

对于用于高架电力传输应用的电缆的期望性能需求包括抗腐蚀性、环境耐受力（例如UV和湿度）、在高温处对于强度损失的抵抗力、抗蠕变力，以及相对较高的弹性模量、低密度、低热膨胀系数、高电导率和高强度。虽然已知包括铝基质复合材料电线的高架电力传输电缆，对于一些应用还有持续的需求，例如更优良的垂度特性（sag property）。

发明内容

在一个方面，本发明提供一种电缆，其包括：

纵向芯，其具有热膨胀系数并且包括金属基质复合材料电线；以及多条电线，其共同地具有大于芯的热膨胀系数的热膨胀系数，其中该多条电线包括铝电线、铜电线、铝合金电线或铜合金电线的至少一种，并且其中该多条电线围绕芯绞合，并且其中该电缆具有不大于20 MPa（在一些实施例中，不大于19 MPa、18 MPa、17 MPa、16 MPa、15 MPa、14 MPa、13 MPa、12 MPa、11 MPa、10 MPa、9 MPa、8 MPa、7 MPa、6 MPa、5 MPa、4 MPa、3 MPa、2 MPa、1 MPa，或甚至不大于0 MPa；在一些实施例中，在从0 MPa到20 MPa、0 MPa到15 MPa、0 MPa到10 MPa或0 MPa到5 MPa的范围内）的应力参数。在一些实施例中，该多条电线具有至少90 MPa或甚至至少100 MPa的抗拉强度（根据ASTM B557/B557M（1999）计算）。

在另一方面，本发明提供制造根据本发明的电缆的方法，该方法包括：

围绕纵向芯绞合多条电线，其中该多条电线包括铝电线、铜电线、铝合金电线或铜合金电线的至少一种，以提供预绞合电缆，该芯包括金属基质复合材料电线；以及

将预绞合的电缆经受闭式模具以提供电缆，其中该闭式模具有内径，其中该电缆具有外径，并且其中内部模具直径为外部电缆直径的1.00到1.02倍的范围内。

如在这里使用的，以下的术语定义为如同表示的那样，除非在这里另外指出：

“陶瓷”表示玻璃、结晶陶瓷、微晶玻璃以及它们的组合。

“连续纤维”表示具有与平均纤维直径比相对极大的长度的纤维。典型地，这表示该纤维具有至少 1×10^5 （在一些实施例中至少 1×10^6 ，或甚至至少 1×10^7 ）的纵横比（也就是纤维的长度和纤维的平均直径的比率）。典型地，这样的纤维具有在至少50米量级的长度，并且甚至可以具有千米量级或更多的长度。

根据本发明的电缆是有用的，例如用作电力传输电缆。典型地，根据本发明的电缆显现出改进的垂度特征（也就是减少的垂度）。

附图说明

图1-5为根据本发明的电缆的示例性实施例的示意横截面图。

图6为根据本发明的用于利用熔化金属浸渗纤维的示例性超声浸渗设备的示意图。

图7、7A和7B为用于制造根据本发明的电缆的示例性绞合设备的示意图。

图8为比较例子的电缆垂度数据的图示。

图9为例子3的电缆垂度数据的图示。

图10为电缆的示例性实施例的示意横截面图。

具体实施方式

本发明涉及电缆和制造电缆的方法。根据本发明的示例性电缆10的横截面图显示在图1中。电缆10包括芯12以及两层绞合圆形电线14，其中芯12包括金属基质复合材料电线16。

根据本发明的另一种示例性电缆20的横截面视图显示在图2中。电缆20包括芯22和三层绞合电线24，其中芯22包括金属基质复合材料电线26。

根据本发明的另一种示例性电缆30的横截面视图显示在图3中。电缆30包括芯32和绞合梯形电线34，其中芯32包括金属基质复合材料电线36。

根据本发明的另一种示例性电缆40的横截面视图显示在图4中。电缆40包括芯42和绞合电线44。

在一些实施例中，芯在至少从大约-75°C到大约450°C的温度范围

上具有从大约5.5 ppm/°C到大约7.5 ppm/°C的范围中的纵向热膨胀系数。

在一些实施例中,陶瓷纤维具有至少1.5 GPa、2 GPa、3 GPa、4 GPa、5 GPa、6 GPa或甚至至少6.5 GPa的平均抗拉强度。在一些实施例中,陶瓷纤维具有从140 GPa到大约500 GPa的或者甚至从140 GPa到大约450 GPa的范围中的模数。

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、金刚砂纤维和任何这些纤维的组合。典型地,陶瓷氧化物纤维是结晶陶瓷和/或结晶陶瓷与玻璃的混合物(也就是纤维可以包括结晶陶瓷和玻璃相)。典型地,这样的纤维具有至少50米量级的长度,并且甚至可以具有千米量级或更多的长度。典型地,该连续陶瓷纤维具有从大约5微米到大约50微米、从大约5微米到大约25微米、从大约8微米到大约25微米或甚至从大约8微米到大约20微米的范围内的平均纤维直径。在一些实施例中,结晶陶瓷纤维具有至少1.4 GPa、至少1.7 GPa、至少2.1 GPa以及或者甚至至少2.8 GPa的平均抗拉强度。在一些实施例中,结晶陶瓷纤维具有大于70 GPa到不大于约1000 GPa或甚至不大于420 GPa的模数。

单丝陶瓷纤维的例子包括金刚砂纤维。典型地,该金刚砂单丝纤维为结晶和/或结晶陶瓷与玻璃的混合物(也就是纤维可以包括结晶陶瓷和玻璃相)。典型地,这样的纤维具有大约至少50米的长度,并甚至可以具有千米量级或更多的长度。典型地,该连续金刚砂单丝纤维具有在从大约100微米到大约250微米的范围中的平均纤维直径。在一些实施例中,该结晶陶瓷纤维具有至少2.8 GPa、至少3.5 GPa、至少4.2 GPa以及或者甚至至少6 GPa的平均抗拉强度。在一些实施例中,结晶陶瓷纤维具有大于250 GPa到不大于约500 GPa或到甚至不大于430 GPa的模数。

此外，示例性玻璃纤维可以从例如Corning Glass, Corning, NY获得。典型地，连续玻璃纤维具有在从大约3微米到大约19微米的范围内的平均纤维直径。在一些实施例中，该玻璃纤维具有至少3 GPa、4 GPa以及甚至至少5 GPa的平均抗拉强度。在一些实施例中，该玻璃纤维具有在从大约60 GPa到95 GPa或大约60 GPa到大约90 GPa的范围中的模数。

在一些实施例中陶瓷纤维成绳。绳在纤维工艺中已知并且表示以粗纱状形式聚集的多根（单根）纤维（典型地至少100根纤维、更典型地至少400根纤维）。在一些实施例中，这些绳每绳包括至少780根单根纤维，而在一些情况下，每绳包括至少2600根单根纤维。陶瓷纤维绳可在多种长度下得到，包括300米、500米、750米、1000米、1500米、1750米以及更长。该纤维可以具有圆形或椭圆形的横截面形状。

氧化铝纤维在例如美国专利号No. 4,954,462（Wood等）和No. 5,185,29（Wood等）中进行描述。在一些实施例中，氧化铝纤维是多晶 α 氧化铝纤维，并且基于理论氧化物基础，基于氧化铝纤维的全部重量，包括大约99%重量的 Al_2O_3 和0.2-0.5%重量的 SiO_2 。在另一方面，一些期望的多晶体、 α 氧化铝纤维包括具有小于1微米（或甚至在一些实施例中小于0.5微米）的平均粒度的 α 氧化铝。在另一方面，在一些实施例中，多晶体、 α 氧化铝纤维具有至少1.6 GPa（在一些实施例中至少2.1 GPa或甚至至少2.8 GPa）的平均抗拉强度。示例性的 α 氧化铝纤维由3M公司, St.Paul, MN以“NEXTEL 610”商业名称出售。

铝硅酸盐纤维在例如美国专利No. 4,047,965（Karst等）)中进行描述。示例性的铝硅酸盐纤维由St, Paul, MN的3M公司以“NEXTEL 440”、“NEXTEL 550”和“NEXTEL 720”商业名称出售。

铝硼硅酸盐纤维在例如美国专利No. 3,795,524（Sowman）中进行描述。示例性的铝硼硅酸盐纤维由3M公司以“NEXTEL 312”商业名

称出售。

氮化硼纤维可以例如按照在美国专利号No. 3,429,722 (Economy) 和5,780,154 (Okano等) 中所描述那样来制造。

示例性的金刚砂纤维由 San Diego,CA 的 COI Ceramics 以 “NICALON” 商业名称以500根纤维的绳、从日本的Ube Industries公司以 “TYRANNO” 商业名称以及从 Midland,MI 的 Dow Corning 以 “SYLRAMIC” 商业名称下出售。

可以购买到的纤维典型地包括在制造期间添加到纤维的有机胶料，以提供润滑性和在处理期间保护纤维绞线。胶料可以通过例如从纤维溶解或烧除该胶料来去除。典型地，期望在形成金属基质复合材料电线之前除去该胶料。

纤维可以具有涂层，例如用于增强纤维的润湿性、减少或阻止在纤维和熔化的金属基质材料之间的反应。这样的涂层和用于提供这样涂层的技术在纤维和复合材料领域中是已知的。

在一些实施例中，在金属基质复合材料芯中至少85%（在一些实施例中至少90%或甚至至少95%）的数量的纤维是连续的。

示例性金属基质材料包括铝（例如高纯度（例如大于99.95%）的元素铝）、锌、锡、镁和它们的合金（例如铝和铜的合金）。典型地，基质材料被选择为使得该基质材料不与纤维起明显的化学反应（也就是对于纤维材料是相对化学惰性的），例如，以消除在纤维外部上提供保护涂层的需求。在一些实施例中，该基质材料理想地包括铝和其合金。

在一些实施例中，该金属基质包括至少98%重量的铝、至少99%重

量的铝、大于99.9%重量的铝或甚至大于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以及达到2%重量的Cu。在一些实施例中，有用的合金为1000、2000、3000、4000、5000、6000、7000和/或8000系铝合金（铝协会标准）。虽然需要更高纯度的金属来制造更高抗拉强度的电线，较低纯形式的金属也是有用的。

可以购买到合适的金属。例如，铝可以从Pittsburgh,PA的Alcoa在“SUPER PURE ALUMINUM; 99.99% Al”的商业名称下购买到。铝合金（例如Al-2wt% Cu（0.03%重量的杂质））可以从例如Belmont Metals, New York, NY获得。锌和锡可以从例如Metal Services, St. Paul, MN（“纯锌”；99.999%纯度和“纯锡”；99.95%纯度）获得。例如，镁可以从Magnesium Elektron, Manchester, England在“PURE”的商业名称下获得。镁合金（例如WE43A、EZ33A、AZ81A和ZE41A）可以从例如TIMET, Denver, CO获得

金属基质复合材料电线典型地基于纤维和基质材料的全部组合体积，包括至少15%体积（在一些实施例中至少20%、25%、30%、35%、40%、45%或甚至50%的体积）的纤维。更典型地，基于纤维和基质材料的全部组合体积，复合材料芯和电线包括在从40%到75%（在一些实施例中45%到70%）范围中的体积的纤维。

典型地，芯的平均直径在从大约1mm到大约15mm的范围中。在一些实施例中，期望的芯的平均直径为至少1mm、至少2mm或甚至达到大约3mm。典型地，复合材料电线的平均直径在从大约1mm到4mm的范围中。在一些实施例中，期望的复合材料电线的平均直径为至少1mm、至少1.5mm、2mm、3mm、4mm、5mm、6mm、7mm、8mm、9mm、10mm、11mm或甚至至少12mm。

金属基质复合材料电线可以使用在本领域中已知的技术制造。连续金属基质复合材料电线可以例如通过连续金属基质浸渗处理来制

造。一种合适的处理在例如美国专利号No.6,485,796（Carpenter等）中进行描述。包括聚合物和纤维的电线可以利用现有技术中已知的拉挤工艺来制造。

用于制造连续金属基质电线的示例性设备60的示意图在图6中显示。连续纤维绳61从供应线轴62提供，并校准到圆形束，并且在这些纤维通过管炉63的同时对纤维进行热净化。纤维绳61然后在进入包括金属基质材料的熔体65（在这里也称为“熔化的金属”）的坩锅67之前，在真空室64中抽真空。纤维绳61利用拔丝机（caterpuller）70从供应线轴62拉出。超声探头66布置在纤维附近的熔体65中，以协助将熔体65浸渗至纤维绳61。电线71的熔化金属在通过出口模具68离开坩锅67之后冷却和凝固，虽然一些冷却可能发生在电线71完全离开坩锅67之前。电线71的冷却利用通过冷却装置69传输的冲击电线71的气体或液体流得到增强。电线71收集到线轴72上。

如前所述，热净化纤维帮助除去或减少胶料、吸收的水和其他可能出现在纤维表面上的不稳定的或挥发性材料的总量。典型地，期望将纤维热净化直到在纤维表面上的碳含量小于22%的面积量。典型地，管炉63的温度为至少300°C，更典型地至少1000°C，并且该纤维在该温度下在管炉63中驻留至少几秒钟，虽然该具体的温度和时间可能取决于例如正在使用的特定纤维的热净化需求。

在一些实施例中，纤维绳61在进入熔体67之前抽真空，因为观察到这种抽真空的使用将减少或消除缺陷的形成，这些缺陷例如具有干纤维的局部区域（也就是基质没有浸渗的纤维区域）。典型地，纤维绳61在一些实施例中在不大于20托、不大于10托、不大于1托或甚至不大于0.7托的真空中进行抽真空。

示例性的合适的真空系统64具有尺寸与纤维绳61的束直径匹配的进口管。进口管可以为例如不锈钢管或氧化铝管，并且典型地至少大

约20-30 cm长。合适的真空室64典型地具有在大约2-20 cm的范围中的直径，以及在大约5-100 cm的范围中的长度。真空泵的容量在一些实施例中为至少大约0.2-1 立方米/分。抽真空的纤维绳61通过在真空系统64上的管插入熔体65中，该真空系统64的该管插入金属熔池（也就是抽真空的纤维绳61的束在引入熔体65时处于真空中），虽然熔体65典型地在大气压下。出口管的内径基本上匹配纤维绳61的束直径。出口管的部分浸入在熔化的金属中。在一些实施例中，大约该管的0.5-5 cm浸入在熔化的金属中。该管被选择为在熔化的金属材料中是稳定的。典型地合适的管的例子包括金刚砂管和氧化铝管。

熔化金属65对于纤维绳61的束的渗透典型地通过超声的使用来增强。例如，振动喇叭66布置在熔化的金属65中，这样其相当接近纤维绳61的束。

在一些实施例中，驱动喇叭66以在大约19.5-20.5kHz的范围中振动，并且在空气中的振幅为大约0.13-0.38 mm（0.005-0.015 in）。此外，在一些实施例中，该喇叭连接到钛波导，而钛波导接着又连接到超声换能器（可以从例如Sonics&Materials, Danbury CT获得）。

在一些实施例中，纤维绳61的束处于喇叭末端的大约2.5mm（在一些实施例中在大约1.5mm）内。该喇叭末端在一些实施例中由铌或铌合金制成，例如95wt.%的Nb-5wt.%的Mo以及91wt.%的Nb-9wt.%的Mo，且可以从例如PMTI, Pittsburgh, PA获得。该合金可以铸造成例如长度12.7cm（5 in）和直径2.5cm（1 in）的圆柱体。该圆柱体可以通过改变其长度调谐为期望振动频率（例如大约19.5-20.5 KHz）。关于涉及用于制造金属基质复合材料物品的超声使用的另外细节，可以参看例如美国专利号No.4,649,060（Ishikawa等）、No.4,779,563（Ishikawa等）、No.4,877,643（Ishikawa等）、No.6,180,232（McCullough等）、No.6,245,425（McCullough等）、No.6,336,495（McCullough等）、No.6,329,056（Deve等）、No.6,344,270（McCullough等）、No.6,447,927（McCullough等）、

No.6,460,597 (McCullough等)、No.6,485,796 (Carpenter等)和No.6,544,645 (McCullough等); 在2000年7月14提交的具有序列号No.09/616,741的美国申请, 以及在2002年1月24日公开的具有公开号No.WO02/06550的PCT申请。

典型地, 熔化的金属65被脱气(例如减少在浸渗期间或浸渗之前溶解在熔化的金属65中的气体(例如氢气)的量)。用于对熔化的金属65脱气的技术在金属加工技术中是已知的。脱气熔体65将减少在电线中的气孔。对于熔化的铝, 在一些实施例中熔体65的氢浓度小于大约0.2、0.15或甚至小于大约0.1 cm³/100克铝。

出口模具68配置为提供期望电线直径。典型地, 期望得到沿着其长度的均匀圆形电线。例如, 用于包括58%体积百分比的氧化铝纤维的铝复合材料电线的金刚砂出口模具的直径和电线71的直径相同。在一些实施例中, 出口模具68理想地由金刚砂制成, 虽然其他一些材料也可以使用。其他的在现有技术中用做出口模具的材料包括传统的氧化铝。然而申请人已经发现, 金刚砂出口模具磨损明显小于传统氧化铝模具, 并因此对于尤其在电线的较长长度上提供期望的电线直径和形状更为有用。

典型地, 电线71在离开出口模具68之后, 通过使得电线71接触冷却装置69传输的液体(例如水)或气体(例如氮气、氩气或空气)来进行冷却。这样的冷却帮助提供期望的圆度和均匀性特征, 并且不会产生中空。电线71被收集到线轴72上。

已知在金属基质复合材料电线中存在缺陷, 例如金属间相、干纤维、做为收缩或内部气体(例如氢气或水汽)中空的结果的多孔性, 可能导致损坏的特性, 例如电线强度。因此, 期望减少或最小化这样特性的存在。

对于由电线构成的芯，在一些实施例中，利用例如具有或没有粘合剂的包装带或捆绑器（见例如美国专利号No.6,559,385 B1（Johnson等）），将电线维持在一起。例如，根据本发明的另一示例性的具有缠绕有包带的芯的电缆50的横截面图显示在图5中。电缆50包括芯52和两层绞合线54，其中芯52包括包括缠绕有包带55的电线56（如所示，复合材料电线）。例如，芯可以使用现有技术中已知的技术通过围绕中心电线绞合（例如螺旋形缠绕）一层电线来制成。典型地，螺旋形绞合的芯将包括7条单独的电线到50或更多条电线。绞合设备在现有技术中已知（例如可以从 Bergamo, Italy 的 Cortinovis, Spa 和从 Watson Machinery International, Patterson, NJ 获得的行星式电缆绞线机）。在螺旋形地缠绕在一起之前，各个电线提供在单个的绕线筒上，绕线筒然后布置在绞合设备的许多电机驱动支架中。典型地，针对完成绞合的电缆的每层具有一个支架。每层的电线在每个支架的出口处汇合，并且布置在第一中心电线上或布置在之前层上。在电缆绞合过程期间，中心电线，或将绕其缠绕有另外的一或更多层的中间的未完成绞合的电缆被拉伸通过各个支架的中心，每个支架添加一层到绞合电缆。要做为一层添加的各个电线利用电机驱动支架，在围绕电缆的中心轴旋转的时候同时地从它们各自的绕线筒拉出。顺次对每个期望层完成这些处理。结果得到螺旋形绞合的芯。包带，例如，可以施加到形成的绞合芯，以协助将绞合的电线维持在一起。一个示例性的用于施加包带的机器可以从 Watson Machine International（例如型号300同心式包带头）得到。示例性的包带包括金属箔带（例如铝箔带（可以在“箔/玻璃布带363”的商业名称下从例如3M公司, St Paul, MN 获得））、聚酯背衬带以及具有玻璃增强背衬的包带。在一些实施例中，该包带具有从0.05mm到0.13mm（0.002到0.005英寸）的范围中的厚度。

在一些实施例中，这样缠绕包带，使得每个连续的缠绕邻接之前的缠绕而不具有间隙和交迭。在一些实施例中，例如该带可以缠绕使得连续的缠绕隔开以在每个缠绕之间留下间隙。

芯、复合材料电线、电缆等具有至少100米、至少200米、至少300米、至少400米、至少500米、至少600米、至少700米、至少800米或甚至至少900米的长度。

用于围绕芯绞合以形成根据本发明的电缆的电线在现有技术中已知。铝线可以在“1350-H19 ALUMINUM”和“1350-H0 ALUMINUM”的商业名称下从例如Nexans, Weyburn, Canada或Southwire 公司, Carrolton, GA获得。典型地, 铝线至少在从大约20°C到大约500°C的温度范围上具有在从大约20 ppm/°C到大约25 ppm/°C的范围中的热膨胀系数。在一些实施例中, 铝线(例如“1350-H19 ALUMINUM”)具有至少138 MPa (20 ksi)、至少158 MPa (23 ksi)、至少172 MPa (25 ksi)或至少186 MPa (27 ksi)或至少200 MPa (29 ksi)的抗拉强度。在一些实施例中, 铝线(例如“1350-H0 ALUMINUM”)具有大于41 MPa (6 ksi)到不大于97 MPa (14 ksi)或甚至不大于83 MPa (12 ksi)的抗拉强度。铝合金线可以在“ZTAL”的商业名称下从例如Sumitomo Electric Industries, Osaka, Japan购买到, 或在“6201”的名称下从Southwire Company, Carrolton, GA购买到。在一些实施例中, 铝合金线至少在从大约20°C到大约500°C的温度范围上具有在从大约20 ppm/°C到大约25 ppm/°C的范围中的热膨胀系数。铜线可以例如从Carrolton, GA的Southwire公司购买到。典型地, 铜线至少在从大约20°C到大约800°C的温度范围上具有从大约12 ppm/°C到大约18 ppm/°C的范围内的热膨胀系数。铜合金(例如, 铜青铜例如Cu-Si-X、Cu-Al-X、Cu-Sn-X、Cu-Cd; 其中X=Fe、Mn、Zn、Sn和或Si; 可以从例如Carrolton, GA的Southwire公司购买到; 可以在“GLIDCOP”的名称下从例如OMG Americas Corporation, Research Triangle Park, NC获得的氧化物弥散强化铜)线。在一些实施例中, 铜合金线在至少从大约20°C到大约800°C的范围上具有从大约10 ppm/°C到大约25 ppm/°C的范围中的热膨胀系数。该线可以是多种形状(例如圆形、椭圆形和梯形)的任何一种。

通常, 根据本发明的电缆可以通过在芯上绞合电线来制造。该芯

可以包括例如单条电线或绞合线（螺旋形缠绕的线）。在一些实施例中，例如，7、19或37条电线。示例性的用于制造根据本发明的电缆的设备80显示在图7、7A和7B中。芯材料的线轴81提供在传统行星式绞合机80的头部，其中线轴81可以利用能够经由制动系统施加的拉力来自由转动，在放线期间拉力可以施加到芯（在一些实施例中，在0-91 kg（0-200 lbs.）的范围中）。芯90穿过绕线筒支架82、83，通过闭式模具84、85，环绕绞轮86并附着到收线线轴87。

在施加外部绞合层之前，各个线提供在布置在绞合设备的很多电机驱动支架82、83中的单个绕线筒88上。在一些实施例中，从绕线筒88拔出线89A、89B需要的拉力范围典型地为4.5-22.7 kg（10-50 lbs.）。典型地，对于完成绞合的电缆的每层具有一个支架。每层的线89A、89B在闭式模具84、85处的每个支架的出口处集合到一起，并布置在中心电线或之前层的上面。在相对方向上螺旋形地绞合层，这样外层导致右旋捻。在电缆绞合过程期间，中心电线或将绕其缠绕有一层或多层另外层的中间未完成绞合的电缆被牵引穿过多个支架的中心，每个支架向绞合的电缆添加一层。要作为一层添加的各个电线在围绕该电缆的中心轴旋转的同时利用电机驱动支架从它们各自的绕线筒同时拔出。对于每个期望的层顺次完成这些处理。结果得到螺旋形绞合的电缆91，其可以方便地切割和操作而不损害形状或不需要拆开。

操作绞合的电缆的能力是一种需要的特征。虽然不需要受到理论的限制，但是电缆维持其螺旋形绞合的布置，因为在制造期间，该金属线遭受应力，包括大于电线材料的屈服应力但小于极限应力或破坏应力的弯曲应力。该应力因为电线围绕之前层或中心线的较小半径成螺旋形地缠绕而被分散。另外的应力在制造期间在向电缆施加径向力和剪切力的闭式模具84、85处被分散。电线因此塑性变形并维持它们的螺旋形绞合形状。

用于给定层的芯材料和电线经由闭式模具紧密接触。参考图7A和

7B, 闭式模具84A、85A典型地规定大小以最小化缠绕的层的电线上的变形应力。调整闭式模具的内径以适应外层直径的大小。为了最小化层的电线上的应力, 闭式模具的尺寸为相对于电缆的外部直径大0-2.0%的范围内(也就是内部模具直径在外部电缆直径的1.00到1.02倍的范围内)。在图7A和7B中显示的示例性闭式模具是圆柱形, 并且例如使用螺栓或其他合适的连接装置固定在适当位置。该模具可以例如由硬化工具钢制成。

最终完成的电缆如果需要可以通过其他绞合台, 并最终缠绕到充足直径的收线线轴87上以避免电缆损害。在一些实施例中, 可能需要在现有技术中已知的用于矫直电缆的技术。例如, 完成的电缆可以通过矫直装置, 其由线性布置成两排的辊子构成(每个辊子为例如10-15cm(4-6 英寸)), 每排中具有例如5-9个辊子。在两排辊子之间的距离可以改变, 这样辊子正好紧密接触电缆或致使该电缆的严重挠曲。两排辊子布置在电缆的相对侧, 在一排中的辊子与由在另一排中的相对辊子创建的空间匹配。因此, 该两排可以相对彼此偏移。随着电缆通过矫直装置, 电缆在辊子上来回挠曲, 允许在导线中的绞合线伸展到同样长度, 从而减少或消除松弛的绞合线。

在一些实施例中, 可能需要在大于环境温度(例如22°C)的高温下(例如至少25°C、50°C、75°C、100°C、125°C、150°C、200°C、250°C、300°C、400°C或甚至在一些实施例中至少500°C)提供芯。该芯可以例如通过在炉中加热缠绕的芯(例如在金属(例如钢)上的芯)几个小时, 来使该芯达到期望温度。该加热的缠绕的芯布置在绞合机的放线线轴(见例如图7中的放线线轴81)上。期望在芯依然在或接近期望温度的同时(典型地在大约2个小时内), 在高温下的线轴处于绞合过程中。此外可能期望在形成电缆的外层的放线线轴上的电线处于环境温度下。也就是, 在一些实施例中, 可能期望在绞合过程期间在芯和形成外层的电线之间具有温度差。

在一些实施例中，可能期望利用至少100 kg、200 kg、500 kg、1000 kg或甚至至少5000 kg的芯拉力来实施绞合。

在根据本发明的电缆的一些实施例中（例如具有小于零的应力参数的电缆），期望利用具有或不具有粘合剂的包装带或利用捆绑器来将围绕芯绞合的电线固定在一起。例如，根据本发明的另一示例性的电缆110的横截面图显示在图10中。电缆110包括具有电线116的芯112和两层绞合线114，其中电缆110缠绕有包带118。包带，例如，可以施加到形成的绞合电缆以协助将绞合的电线固定在一起。在一些实施例中，电缆使用传统捆扎设备以带粘性的包带来进行缠绕。一种施加包带的示例性机器可以从Watson Machine International（例如型号300同心式包带头）获得。示例性的包带包括金属箔带（例如铝箔带（可以在“箔/玻璃布带363”的商业名称下从例如3M公司, St Paul, MN获得）），聚酯背衬带；以及具有玻璃增强背衬的包带。在一些实施例中，包带具有从0.05mm到0.13mm（0.002至0.005英寸）范围内的厚度。

在一些实施例中，这样缠绕包带，使得每个连续的缠绕交迭之前的缠绕。在一些实施例中，这样缠绕包带，使得每个连续的缠绕与之前的缠绕邻接，没有间隙且没有邻接。在一些实施例中，例如，该包带可以这样缠绕，使得连续的缠绕隔开以在每个缠绕之间留下间隙。

在一些实施例中，在绞合处理期间，在电缆在拉力作用的同时进行缠绕。参考图7，例如，包带设备将布置在最终闭式模具85和绞盘86之间。

测量垂度的方法

导线的长度选择为30-300米的长度并且利用传统环氧接头终止，确保层充分地保持与在制造状态中相同的相对位置。外部电线延伸通过环氧接头并穿出另一侧，并然后重新构建以允许使用传统终端连接器连接到AC电源。该环氧接头灌注到连接到螺丝扣的铝粗锌插口中用

于保持张力。在一侧，载荷传感器连接到螺丝扣，然后在两端处，螺丝扣都连接到拉孔。该孔连接到较大的混凝土柱，该混凝土柱大到足够当在拉力作用下时最小化系统的端部变形。对于该测试，拉力拉伸到在从导线额定断裂强度的10%到30%的范围中的值。温度使用九个热电偶在沿着导线的长度的三个位置处（在全部（拉孔到拉孔）跨距的1/4、1/2和3/4处）进行测量。在每个位置处，该三个热电偶布置在导线中的三个不同径向位置：在外部电线绞合线之间、在内部电线绞合线之间以及邻近（也就是接触）外部芯电线。垂度值使用拉线式电位计（可以从SpaceAge Control, Inc, Palmdale, CA获得）在沿着导线的长度的三个位置处（在跨距的1/4、1/2和3/4距离处）测量。布置这些电位计以测量三个位置的垂直移动。AC电流施加到导线以将温度增加到期望值。导线的温度以在60-120°C/分（140-248°F/分）的范围内的速度从室温（大约20°C（68°F））增加到大约240°C（464°F）。所有热电偶的最高温度用做控制。

导线的垂度值（ Sag_{total} ）从室温（大约20°C（68°F））到大约240°C（464°F）每间隔一度使用以下等式来计算：

$$Sag_{total} = Sag_{1/2} - \left(\frac{Sag_{1/4} + Sag_{3/4}}{2} \right) \quad (1)$$

其中，

$Sag_{1/2}$ =在导线跨距的1/2距离处测量的垂度

$Sag_{1/4}$ =在导线跨距的1/4距离处测量的垂度

$Sag_{3/4}$ =在导线跨距的3/4距离处测量的垂度

有效的“内部跨距”长度为1/4位置和3/4位置之间的水平距离。这是用于计算垂度的跨距长度。

应力参数的推导

测量的垂度和温度数据绘制为垂度相对于温度的图。计算的曲线使用可以在“SAG10”（版本3.0更新3.9.7）的商业名称下从Alcoa

Fujikura Ltd., Greenville, SC的软件程序中获得的Alcoa Sag10 图形方法来拟合到测量的数据。应力参数为在“SAG10”中标记为“内置铝应力”的拟合参数，如果使用铝之外的材料（例如铝合金），其可以被改变以拟合其他参数，并且其调节在预测曲线图上的拐点位置以及还有在高温拐点后区域的垂度值。应力参数理论的描述提供在Alcoa Sag10 用户手册（版本2.0）中：ACSR的铝中的压应力理论。需要以下的导线参数以输入Sag10软件：面积、直径、每单位长度的重量以及额定断裂强度。需要以下的线路负载条件以输入Sag10软件：跨距长度、在室温（20-25°C）下的初始拉力。需要以下的参数以输入Sag10软件来运行压应力计算：内置线应力、电线面积（做为总面积的分数）、在导线中的电线层的数量、在导线中的电线绞合线的数量、芯绞合线的数量、每个电线层的绞合系数（stranding lay ratio）。需要应力应变系数作为表格（见下表1）来输入“SAG10”软件。

表1

初始电线					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
最终电线（10年蠕变）					
B0	B1	B2	B3	B4	α (A1)
初始芯					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
最终芯（10年蠕变）					
D0	D1	D2	D3	D4	α (芯)

还指定一个参数TREF，其为参考系数所在的温度。

应力应变曲线多项式的定义

头五个数字A0-A4为表示初始电线曲线乘以面积比率的4阶多项式的系数：

$$\frac{A_{Wire}}{A_{total}} \cdot \sigma_{InitialWire} = A0 + A1\varepsilon + A2\varepsilon^2 + A3\varepsilon^3 + A4\varepsilon^4 \quad (2)$$

AF为电线的最终模数

$$\frac{A_{Wire}}{A_{total}} \cdot \sigma_{FinalWire} = AF\varepsilon \quad (3)$$

其中 ε 为以%计算的导线伸长率，而 σ 为以psi为单位的应力。

B0-B4是表示电线的最终10年蠕变曲线乘以面积比率的4阶多项式的系数：

$$\frac{A_{Wire}}{A_{total}} \cdot \sigma_{FinalWire} = B0 + B1\varepsilon + B2\varepsilon^2 + B3\varepsilon^3 + B4\varepsilon^4 \quad (4)$$

$C \propto (A1)$ 为该电线的热膨胀系数。

C0-C4为表示初始曲线只乘以复合材料芯的面积比率的4阶多项式的系数。

CF是复合材料芯的最终模数。

D0-D4为表示复合材料芯的最终10年蠕变曲线乘以面积比率的4阶多项式的系数。

α (芯) 是复合材料芯的热膨胀系数。

在拟合计算数据和测量数据中，最佳拟合 (i) 通过改变应力参数的值来将计算曲线匹配到测量数据，这样曲线在高温 (140-240°C) 处匹配，以及 (ii) 测量曲线的挠曲点 (拐点) 紧密匹配计算曲线，以及 (iii) 要求初始计算的垂度匹配初始测量的垂度 (也就是在24°C (75°F)) 处的初始张力为1432kg，产生12.5cm (5英寸) 的垂度)。由此导出得到与测量数据的最佳拟合的应力参数的值。该结果为用于电缆的“应力参数”。

根据本发明的电缆可以用在各种应用中，包括高架电力传输电缆。

本发明的优点和实施例通过以下的例子进一步描述，但是在这些例子中详述的特殊材料和材料总量，以及其他条件和细节，不应该解释为过度地限制本发明。所有部分和百分比按重量计算除非另外指出。

示例

比较例

如下制备用于比较例电缆的电线。该电线使用图6中所示的设备制造。十一(11)个10,000丹尼尔 α 氧化铝纤维绳(由3M Company, St.Paul在“NEXTEL 610”的商业名称下出售)从供应线轴62提供，校准为圆形束，并以305 cm/min (120 in/min)的速度穿过加热到1100°C的1.5m (5 ft)长的氧化铝管63进行热净化。热净化的纤维61然后在进入坩锅67之前在真空室64中抽真空，该坩锅67包括金属铝(99.99%铝)基质材料(从Beck Aluminum Co., Pittsburgh, PA得到)的熔体(熔化金属)65。纤维利用拔丝机70从供应线轴62拔出。超声探头66布置在纤维附近的熔体65中，以协助将熔体65浸渗到纤维绳61中。电线71的熔化金属在通过出口模具68离开坩锅67之后冷却和凝固，虽然一些冷却可能发生在电线71完全离开坩锅67之前。此外，电线71的冷却利用通过冷却装置69传输的冲击电线71的氮气流得到增强。电线71被收集到线轴72上。

纤维61在进入熔体67之前抽真空。在真空室中的压力为大约20 torr。真空系统64具有25cm长的氧化铝进口管，其尺寸匹配纤维61的束直径。真空室64长度为21cm，直径为10cm。真空泵的容量为0.37 m³/分。抽真空的纤维61通过真空系统64上穿入金属熔池的管插入熔体65中(也就是抽真空的纤维61当引入熔体54时处于真空中)。出口管的内径匹配纤维束61的直径。出口管的部分浸入熔化的金属到5cm的深度。

熔化金属65到纤维61中的浸渗通过使用布置在熔化金属65中的振动喇叭66得到增强，这样其紧密接近纤维61。驱动喇叭66使得其以19.7 kHz并且以0.18 mm (0.007 in) 的振幅在空气中振动。喇叭连接到钛波导，其顺次连接到超声换能器（从Sonics & Materials, Danbury, CT获得）。

纤维61在喇叭末端的2.5mm内。该喇叭末端由91wt.%的Nb-9wt.%的Mo的复合材料的铌合金制造（从PMTI, Pittsburgh, PA获得）。合金被铸成长度为12.7cm (5 in) 而直径为2.5cm (1 in) 的圆柱体。该圆柱体通过改变其长度调谐为期望的19.7 kHz的振动频率。

熔化金属65在浸渗之前进行脱气（例如减少溶解在熔化金属中的气体的量（例如在铝中的氢气））。使用从Brummund Foundry Inc, Chicago, IL可以获得的便携式旋转排气单元。使用的气体为氩气，氩气流动速度为每分钟1050升，该速度由空气流动速度提供给设置为每分钟50升的电机，并且持续时间为60分钟。

氮化硅出口模具68配置为提供期望的电线直径。出口模具的内径为2.67mm (0.105 in)。

绞合芯在来自加拿大的Montreal的Wire Rope Company的绞合设备上绞合。电缆在中心具有一条电线，并且在第一层中具有利用右旋捻的六条电线。在被螺旋形缠绕到一起之前，各个电线提供到单个绕线筒上，而绕线筒然后布置到该绞合设备的电机驱动支架中。支架为完成绞合的电缆的层固定该六个绕线筒。该层的电线在支架的出口处集中到一起并布置在中心电线上。在电缆绞合处理期间，中心线通过支架的中心被拔出，支架向该绞合电缆添加一层。作为一层添加的各个电线利用电机驱动支架，在围绕电缆的中心轴旋转的同时，同时地从它们分别的绕线筒拔出。结果为螺旋形绞合芯。

绞合芯使用传统包带设备（来自Watson Machine International, Paterson, NJ的型号300 同心式包带头）缠绕胶带。包带的背衬为具有纤维玻璃的铝箔带，并且具有压敏型硅树脂粘合剂（从3M公司, St. Paul, MN在“箔/玻璃布带363”的商业名称下获得）。包带18的全部厚度为0.0072 in（0.18 mm）。该包带为0.75 in（1.90cm）宽。

完成的芯的平均直径为0.324英寸（8.23 mm），并且绞合层的捻距为21.3英寸（54.1cm）。

第一梯形铝合金线从铝/锆杆（直径为0.375英寸（9.53mm）；在“ZTAL”的商业名称下从 Lamifil N.V., Hemiksem, Belguim获得）制备，其具有18,470psi（127.35MPa）的抗拉强度、10.8%的伸长率和60.5 %IACS的电导率。第二梯形线从（0.375英寸；（9.53mm）；“ZTAL”）的具有19,466 psi（134.21 Mpa）的抗拉强度、12.2%的伸长率和60.5%IACS的电导率的铝/锆杆制备。如在现有技术中所知的，在室温下使用五个中间模具，并最终使用梯形成形模具拉丝该杆。拉丝模具由碳化钨制成。碳化钨模具的几何形状具有60°的进口角、16-18°的圆锥角、模具直径的30%的轴承长度和60°的背部出口角。模具表面高度抛光。模具使用拉丝油润滑和冷却。拉丝系统以设置在在60-100升/分钟/模具的范围中的速度传输该油，并且使得温度设置在40-50°C的范围中。最后成形模具包括两个具有高度抛光工作表面的水平硬化钢（60 RC硬度）成形轧辊。辊开槽的设计基于需要的梯形轮廓。该辊被安装到布置在拉丝盒和外部拉丝卷筒之间的旋转架上。最终成形轧辊的轧薄将电线的面积减少大约23.5%。面积减少量足够将金属移动进入辊开槽的角落并充分地填充在成形轧辊之间的间隔。成形轧辊对齐并安装，这样梯形电线的封盖面对拉丝卷筒和绕线筒鼓的表面。在成形后，电线轮廓使用样板来检查和验证。

该导线然后缠绕到绕线筒上。形成的导线的多个特性列举在以下

的表2中。梯形形状的“有效直径”指的是具有与梯形形状的横截面面积相同的面积的圆的直径。在绞合设备中加载20个绕线筒（第一电线的8个用于绞合第一内层），第二电线的12个用于绞合第二外层，并且从这些绕线筒的子集取出电线用于检测，该子集为“取样绕线筒”。

表2

取样绕线筒	有效直径, mm (英寸)	抗拉强度, Mpa (psi)	伸长率, %	电导率, %IACS
第一电线				
电线第1绕线筒	4.33 90.1706)	168.92 (24,499)	3.9	60.4
电线第4绕线筒	4.34 (0.1707)	165.30 (23,974)	4.3	60.3
电线第8绕线筒	4.33 (0.1706)	166.50 (24,149)	4.2	60.3
第二电线				
电线第1绕线筒	4.48 (0.1763)	169.47 (24,579)	4.3	60.4
电线第4绕线筒	4.48 (0.1763)	168.90 (24,497)	4.3	60.3
电线第8绕线筒	4.48 (0.1763)	168.05 (24,373)	4.2	60.3
电线第12绕线筒	4.48 (0.1763)	170.10 (24,661)	4.7	60.4

电缆由Nexans, Weyburn, SK使用传统行星式绞合机和以上描述用于比较例的芯和（内部和外部）电线而制造。用于制造电缆的设备80的示意图显示在图7、7A和7B中。

芯81的线轴提供在传统行星式绞合机80的头部，其中线轴81可以利用可以经由制动系统施加的拉力自由转动。在放线期间施加到芯的拉力为45kg（100 lbs.）。该芯在室温（大约23°C（73°F））下放入。芯穿过绕线筒支架82、83的中心、通过闭式模具84、85、环绕绞轮86并连接到收线线轴87。

在应用外部绞合层之前，各个电线提供在独立绕线筒88上，绕线筒88布置在绞合设备的许多电机驱动支架82、83中。从绕线筒88拔出

电线89A、89B所需要的拉力范围设置在11-14kg (25-30 lbs.) 的范围内。绞合台由支架和闭式模具构成。在每个绞合台处，每层的电线89A、89B分别在闭式模具84、85处的每个支架的出口处集中到一起，并分别地布置在中心电线上或之前层上。由此，芯通过两个绞合台。在第一台处，8条导线以左旋捻的方式绞合在芯上。在第二台处，12条导线以右旋捻的方式绞合在之前的层上。

芯材料和用于给定层的电线经由闭式模具84、85接触，如可适用的。闭式模具为圆柱体（见图7A和7B）并使用螺栓固定到位。该模具由硬化工具钢制成，并能够完全闭合。

完成的电缆通过绞轮86，并最终缠绕在（直径为91cm（36英寸）的）收线线轴87上。完成的电缆通过矫直装置，该矫直装置由线性布置的两排辊子（每个辊子为12.5cm（5英寸））构成，每排具有7个辊子。在两排辊子之间的距离设置为使得辊子刚好紧密接触电缆。两排辊子布置在电缆的相对侧上，使得在一排中的辊子匹配由在另一排中的相对辊子创建的间隔。因此，两排从彼此偏移。随着电缆通过该矫直装置，电缆在辊子上前后挠曲，允许导线中的绞合线拉伸到相同的长度，因此消除松弛的绞合线。

内部铝层由具有8条梯形电线构成，该电线的外层直径为15mm（0.589英寸），单位长度的质量为316kg/km（212.8 lbs./kft），并具有23.6 cm（9.3 in.）的左旋捻。用于内层的闭式块（由硬化工具钢制成）具有14.5mm（0.57 in）的内径。因此该闭式块设置为比电缆直径小0.05mm（0.02 in）。

由12条梯形导线构成外层，外层直径为2.18cm（0.859英寸），单位长度的质量为507.6kg/km（341.2 lbs./kft.），并具有11 in（27.9cm）的右旋捻。铝合金的单位长度的全部质量为554 lbs./kft（824 kg/km），芯的单位长度的全部质量为138kg/km（92.5 lbs./kft），且单位长度的全

部导线质量为961.8kg/km(646.5 lbs./kft)。用于外层的闭式块有21.3mm(0.84 in.)的内径。因此闭式块设置为比最终电缆直径小0.05mm(0.02 in.)。

来自放线绕线筒的内部和外部铝线拉力使用手持测力计(可以从McMaster-Card,Chicago,IL获得)进行测量,并设置在11.3-13.6 kg(25-30 lbs.)的范围内,并且芯的放线拉力通过制动器使用与绕线筒相同的测量方法设置在大约45.4 kg(100 lbs.)。

绞合机使用传统绞轮、标准矫直装置和传统152 cm(60 in.)直径的收线线轴驱动,以15m/min.(49ft/min.)的速度运行。

形成的导线使用以下“切端测试方法”测试。要测试的导体的部分笔直地展开在地面上,而3.1-4.6m(10-15 ft.)长的子部分在两端夹住。然后切割导线以分离该部分,在两端依然夹住。然后释放一个夹具,导线来回弯曲4-5次,这样导线端移动通过至少60°的角度。然后对该导线部分检查以得到层相对于彼此的移动。每层的移动使用标尺进行测量,以确定相对于芯的移动量。外部铝层相对于复合材料芯缩回;使用芯做为零基准位置,内部铝层缩回0.16 in.(4mm)而外层缩回0.31 in.(8mm)。

比较例的电缆还由Kinectrics, Inc. Toronto, Ontario, Canada使用以下的“垂度测试方法I”进行评估。导线的长度利用传统环氧接头终止,确保各层充分保持与制造状态中相同的相对位置,除非铝/铝线伸长通过环氧接头并穿出另一侧,然后重新构成以允许使用传统终端连接器连接到AC电源。该环氧接头注入连接到螺丝扣的铝粗锌插座中,用于维持拉力。在一侧,载荷传感器(5000千克(kg)容量)连接到螺丝扣,然后在两端处该螺丝扣连接到拉孔。拉孔连接到较大的混凝土柱,该混凝土柱足够大以在拉力作用下时能够最小化系统的端部变形。对于该测试,拉力被拉到导线额定断裂强度的15%。由此1432kg(3150 lb)

施加到电缆。在沿着导线长度的三个位置处（在全部（拉孔到拉孔）跨距的1/4、1/2和3/4距离处）使用九个热电偶（在每个位置处有三个；可以从Omega Corporation, Stamford, CT购买到的J型）测量温度。在每个位置处，该三个热电偶布置在导线中的三个不同径向位置：外部铝绞合线之间、内部铝绞合线之间以及邻近（也就是接触）外部芯电线。使用拉线式电压计（可以从SpaceAge Control, Inc, Palmdale, CA购买得到）在沿着导线长度的三个位置处（在跨距的1/4、1/2和3/4距离处）测量垂度值。布置这些以测量三个位置的垂直移动。AC电流被施加到导线以将温度增加到期望值。导线的温度以在60-120°C/分（140-248°F/分）的范围内的速度从室温（大约20°C（68°F））上升到大约240°C（464°F）。所有热电偶的最高温度使用做为控制。需要大约1200 amp来达到240°C（464°F）。

导体的垂度值（ Sag_{total} ）使用以下的等式在多个温度下进行计算：

$$Sag_{total} = Sag_{1/2} - \left(\frac{Sag_{1/4} + Sag_{3/4}}{2} \right) \quad (1)$$

其中：

$Sag_{1/2}$ =在导体跨距的1/2距离处测量的垂度

$Sag_{1/4}$ =在导体跨距的1/4距离处测量的垂度

$Sag_{3/4}$ =在导体跨距的3/4距离处测量的垂度

表3（以下）总结了固定的输入测试参数。

表3

参数	值
全部跨距长度	39.22 m (128.67 ft.)
有效跨距长度*-m (ft.)	37.32 m (122.45 ft.)
北固定点的高度	2.36 m (93.06 in.)
南固定点的高度	2.47 m (97.25 in.)
导线重量	0.97 kg/m (0.65 lbs./ft.)
初始拉力 (@15%RTS)	1432 kg (3150 lb)
载荷传感器容量	5000 kg 载荷传感器

*有效跨距为在1/4和3/4位置之间的跨距长度

得到的垂度和温度数据（比较例的“结果数据”）绘制在图上，然后计算的曲线使用来自 Alcoa Fujikura Ltd., Greenville, SC 的在“SAG10”（版本3.0更新3.9.7）的商业名称下的软件程序中可以得到的 Alcoa Sag10 绘图方法进行拟合。应力参数是在“SAG10”中标记为“内置铝应力”的拟合参数，其调节在预测曲线图上的拐点的位置，还调节拐点后区域在高温中的垂度量。对于应力参数理论的描述提供在 Alcoa Sag10 用户手册（版本2.0）中：ACSR 的铝中的压应力理论。如表4-7(以下)所示的用于 596 kcmil 电缆的导线参数输入到 Sag10 软件。最佳拟合 (i) 通过改变应力参数的值，将计算曲线匹配到实验数据，这样曲线在高温下（140-240°C）处匹配，以及 (ii) “结果数据”曲线的挠曲点（拐点）紧密匹配计算的曲线，以及 (iii) 需要初始计算的垂度来匹配初始“结果数据”垂度（也就是在 24°C（75°F）处的初始拉力为 1432 kg，产生 12.5 cm（5 英寸）的垂度）。对于该例子，应力参数的 55 Mpa（8000 psi）值提供对于“结果数据”的最佳拟合。图8显示了利用 Sag10 计算的垂度（线82）和测量的垂度（绘制的数据83）。

以下的导线数据输入到“SAG10”软件中：

表4

导线参数

面积	41.3 mm ² (0.5290 sq.in.)
直径	26.2 cm (0.86 in.)
重量	0.97 kg/m (0.650 lbs./ft.)
RTS:	9,665 kg (21,263 lbs.)

表5

线路载荷条件

跨距长度	37.3 m (122.5 ft.)
初始拉力 (在75°F处)	1432 kg (3,157 lbs.)

表6

压应力计算的选项

内置铝应力	55 MPa (8000 psi)
铝面积 (以全部面积的分数计)	.860
铝层的数量:	2
铝绞合线的数量	20
芯绞合线的数量	7
绞合系数	
外层	11
内层	13

用于Sag10的应力应变参数；系数被参考的温度 (“TREF”) = 22°C
(71°F)

软件运行的输入参数（见表格7，如下）

初始铝					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
17.5	55,546.8	-10,755.3	-153,206.4	170,710.1	78,043.9
最终铝（10年蠕变）					
B0	B1	B2	B3	B4	α (Al)
0	26,708.7	-3,470.9	139,778.5	-300,527.4	0.00128
初始芯					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
-107.9	43,870.0	-45,482.6	98,904.3	-70,431.8	37,960.9
最终芯（10年蠕变）					
D0	D1	D2	D3	D4	α (芯)
-107.9	43,870.0	-45,482.6	98,904.3	-70,431.8	0.000353

应力应变曲线多项式的定义

头五个数A0-A4为表示初始铝曲线乘以面积比率的4阶多项式的系数：

$$\frac{A_{Wire}}{A_{total}} \cdot \sigma_{InitialWire} = A0 + A1\varepsilon + A2\varepsilon^2 + A3\varepsilon^3 + A4\varepsilon^4 \quad (2)$$

AF为电线的最终模数

$$\frac{A_{Wire}}{A_{total}} \cdot \sigma_{FinalWire} = AF\varepsilon \quad (3)$$

其中 ε 为以%计的导体伸长率而 σ 为以psi计的拉力。

B0-B4为表示电线的最终10年蠕变曲线乘以面积比率的4阶多项式的系数：

$$\frac{A_{Wire}}{A_{total}} \cdot \sigma_{FinalWire} = B0 + B1\varepsilon + B2\varepsilon^2 + B3\varepsilon^3 + B4\varepsilon^4 \quad (4)$$

$C\alpha$ (A1) 为电线的热膨胀系数。

C0-C4为表示初始曲线仅仅乘以复合材料芯的面积比率的4阶多项式的系数。

CF为复合材料芯的最终模数。

D0-D4为表示复合材料芯的最终10年蠕变曲线乘以其面积比率的4阶多项式的系数。

α (芯) 为复合材料芯的热膨胀系数。

例子1

电缆在Nexans, Weyburn, SK除了如下所述, 使用如上所述的用于比较例的方法制造。用在内层上的梯形电线从铝/锆杆(直径为9.53 mm (0.375 英寸))制备; 该梯形电线具有153.95 MPa (22,183 psi) 的抗拉强度、13.3%的伸长率和60.4%IACS的电导率。使用在外层上的梯形电线从铝/锆杆(直径为9.53 mm (0.375英寸)); “ZTAL”)制备, 并具有132.32 MPa (19,191 psi) 的抗拉强度、10.4%的伸长率和60.5%IACS的电导率。杆如在比较例子中所述在室温下拉丝, 以提供梯形电线。多个电线特性列举在如下的表8中。

表8

	有效直径,mm (英寸)	抗拉强度, MPa (psi)	伸长率, %	导电率, IACS%
内层				
电线第1绕线筒	4.54 (0.1788)	168.92 (24,499)	5.1	59.92
电线第4绕线筒	4.54 (0.1788)	159.23 (23,095)	4.3	60.09
电线第8绕线筒	4.54 (0.1788)	163.39 (23,697)	4.7	60.18
外层				
电线第1绕线筒	4.70 (0.1851)	188.32 (27,314)	4.7	60.02
电线第4绕线筒	4.70 (0.1851)	186.27 (27,016)	4.3	60.09
电线第8绕线筒	4.70 (0.1851)	184.73 (26,793)	4.3	60.31
电线第12绕线筒	4.70 (0.1851)	185.50 (26,905)	4.7	59.96

内层由8条梯形电线构成, 这些电线具有0.608 in. (15.4 mm) 的外

层直径、具有20.3 cm (8 in.) 的左旋捻的237 lbs./kft. (353 kg/km) 的每单位长度的质量。用于内层的闭式块 (从硬化工具钢制成; 硬度为60 Rc) 设置为15.4 mm (0.608 in.) 的内径。由此该闭式块设置为和电缆直径完全相同。

该外层由12条梯形电线构成, 这些电线具有22.9 mm (0.9015 in.) 的外层直径、具有25.9 cm (10.2 in.) 的右旋捻的507.6 kg/km (341.2 lbs./kft) 每单位长度的质量。铝合金线的每单位长度的全部质量为928.8 kg/km (624.3 lbs./kft.), 芯的每单位长度的全部质量为136.4 kg/km (91.7 lbs./kft.), 每单位长度的全部导线质量为1065 kg/km (716 lbs./kft.)。用于外层的闭式块 (由硬化工具钢制成; 硬度为60Rc) 设置为22.9 mm (0.9015 in.) 的内径。因此闭式块设置为和最终电缆直径完全相同。

内部电线和外部电线拉力 (如放线绕线筒) 使用手持测力计 (可用的McMaster-Card, Chicago, IL) 进行测量, 并设置到13.5-15 kg (29-33 lbs.) 的范围内, 并且芯放线拉力通过制动器使用和绕线筒相同的测量方法设置到大约90 kg (198 lbs.)。此外, 没有使用矫直器, 并且该电缆没有缠绕而是维持笔直走向并展开在地面上。该芯在室温 (大约23°C (73°C)) 下放入。

形成的导线使用以上所述的用于比较例的切端测试方法进行测试。没有观察到层的移动。

例子2

例子2的电缆按照对于例子1的描述制备, 除了形成的导线缠绕到传统152 cm (60 in.) 直径的收线线轴上。

形成的例子2导线使用在比较例中描述的切端测试方法进行测试。没有观察到层的移动。

例子3

例子3的电缆按照对于例子1的描述制备，除了形成的导线如在例子2中那样缠绕并且使用在比较例1中描述的矫直装置。

形成的例子3导线使用在比较例中描述的切端测试方法进行测试。没有观察到层的移动。

例子3的电缆由Kinectrics, Inc. Toronto, Ontario, Canada使用如在比较例中描述的以下垂度测试方法进行评估。

表9（以下）总结了固定的输入测试参数。

表9

参数	值
全部跨距长度	68.6 m (225 ft.)
有效跨距长度*-m (ft.)	65.5 m (215 ft.)
北固定点的高度	2.36 m (93.06 in.)
南固定点的高度	2.47 m (97.25 in.)
导线重量	1.083 kg/m (0.726 lbs./ft.)
初始拉力 (@20%RTS*)	2082 kg (4590 lb)
载荷传感器容量	5000 kg (1100 lbs) 载荷传感器

*额定抗拉强度

得到的垂度和温度数据（例子3的“结果数据”）绘制在图上，然后计算的曲线使用来自 Alcoa Fujikura Ltd., Greenville, SC 的在“SAG10”（版本3.0更新3.9.7）的商业名称下的软件程序中可用的 Alcoa Sag10绘图方法进行拟合。应力参数为在“SAG10”中标记为“内置铝应力”的拟合参数，其调节在预测曲线图上的拐点的位置，还调节拐点后区域在高温中的垂度总量。对于应力参数理论的描述提供在 Alcoa Sag10用户手册（版本2.0）中：ACSR的铝中的压应力理论。如

表10-13（以下）中所示的用于675 kcmil电缆的以下导线参数输入到Sag10软件中。最佳拟合（i）通过改变应力参数的值，将计算的曲线匹配到“结果数据”，这样曲线在高温（140-240°C）下匹配，以及（ii）“结果数据”曲线的挠曲点（拐点）紧密地匹配计算的曲线，以及（iii）需要初始计算垂度以匹配初始“结果数据”垂度（也就是在22°C（72°F）下的初始拉力为2082kg，产生27.7 cm（10.9英寸）的垂度）。对于该例子，应力参数的3.5 MPa（500 psi）的值提供与“结果数据”的最佳拟合。图9显示了利用Sag10计算的垂度（线92）和测量的垂度（绘制数据（93））。

以下的导线数据输入到“SAG10”软件中：

表10

在SAG10中的导线参数

面积	381.6 mm ² (0.5915 in ²)
直径	2.3 cm (0.902 in)
重量	1.083 kg/m (0.726 lb./ft.)
RTS:	10,160 kg (22,400 lbs.)

表11

线路载荷条件

跨距长度	65.5 m (215 ft.)
初始拉力（在22°C（72°F）下）	2082 kg (4,590 lbs.)

表12

用于压应力计算的选项

内置铝应力	(3.5 MPa (500psi))
铝面积（做为全部面积的分数）	0.8975
铝层的数量	2
铝绞合线的数量	20
芯绞合线的数量	7

绞合系数

外层

11

内层

13

用于Sag10的应力应变参数；TREF=22°C（71°F）

软件运行的输入参数（见表13，以下）

表13

初始铝					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
17.7	56350.5	-10910.9	-155423	173179.9	79173.1
最终铝（10年蠕变）					
B0	B1	B2	B3	B4	α （Al）
0	27095.1	-3521.1	141800.8	-304875.5	0.00128
初始芯					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
-95.9	38999.8	-40433.3	87924.5	-62612.9	33746.7
最终芯（10年蠕变）					
D0	D1	D2	D3	D4	α （芯）
-95.9	38999.8	-40433.3	87924.5	-62612.9	0.000353

例子4

例子4的电缆按照对于例子3的描述进行制备，除了芯在绞合之前预热。在测试开始之前使用的风扇驱动液态丙烷加热器（从McMaster-Card, Chicago, IL获得）应用30分钟完成加热。缓慢地旋转芯放线线轴，以尝试更均匀地加热芯材料。芯、内层和外层的温度使用热电偶（从Omega Engineering, Stamford, CT得到的J-型）来监控。芯的温度在43-51°C的范围内变化，同时环境温度从23°C到25°C变化。铝层的温度在闭式块与移动电缆接触达3-4秒之后立即使用热电偶监控。内铝层的温度在内层接近块之后为39-43°C，同时外铝层的温度在外层接近块之后为35-36°C。使用较长接触时间（10-15秒）的在固定电缆上的

连续温度测量显示：测量的移动测量表现出2-3°C的偏低。缠绕在收线轴上之后，电缆具有和环境空气相同的温度（23°C）。

形成的导线使用对比较例描述的切端测试方法进行测试。没有观察到层的移动。

本发明的多种修改和改变对于本领域技术人员变得显而易见，并且不偏离本发明的范围和精神，并且应该知道本发明不应不适当地受限于这里提出的描述性实施例。

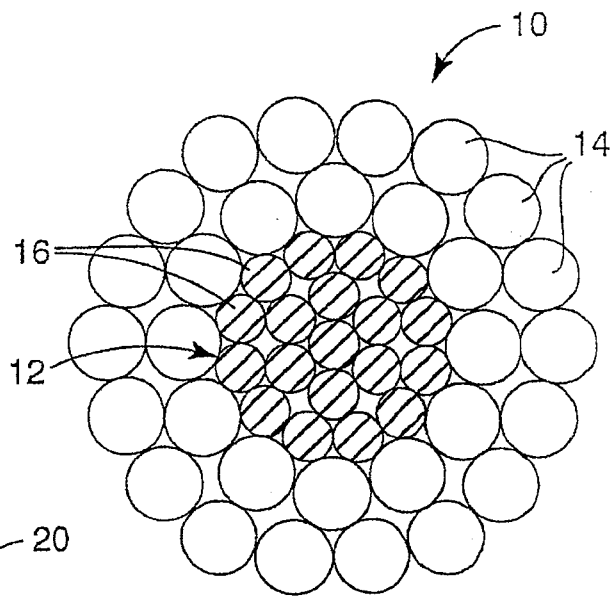


图1

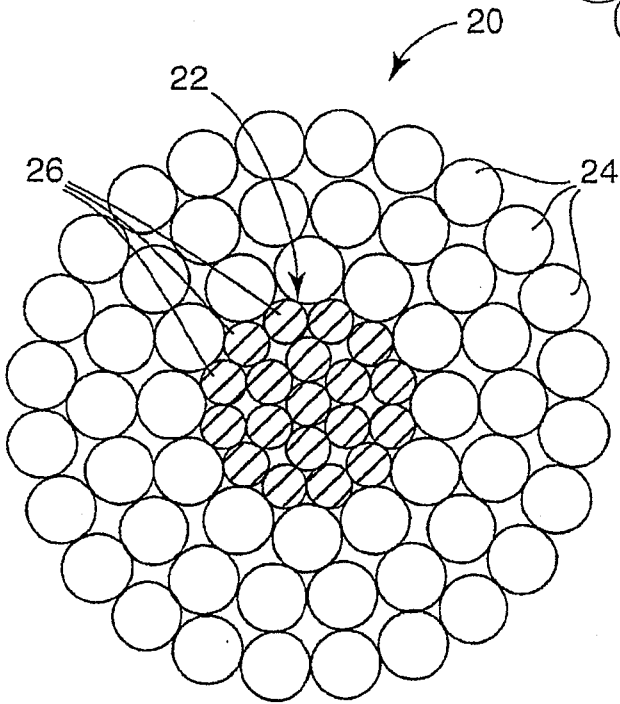


图2

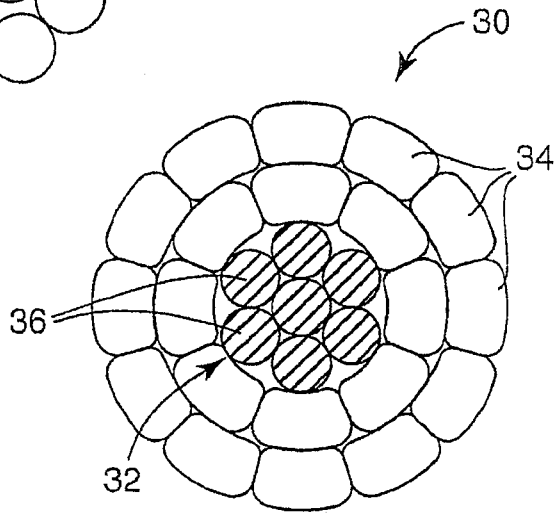


图3

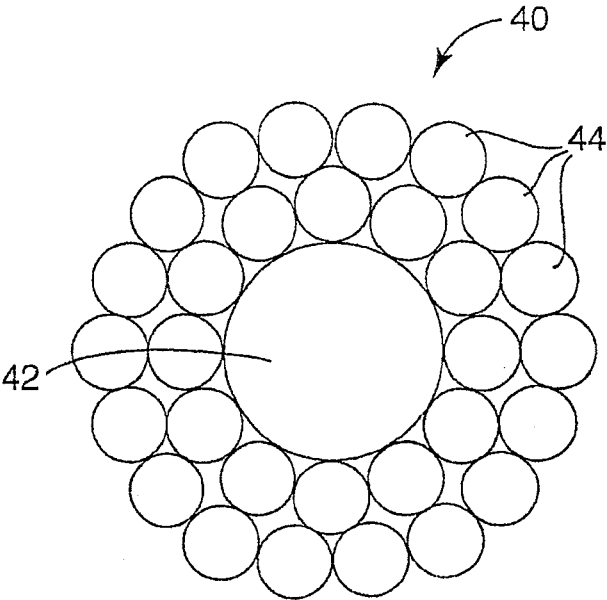


图4

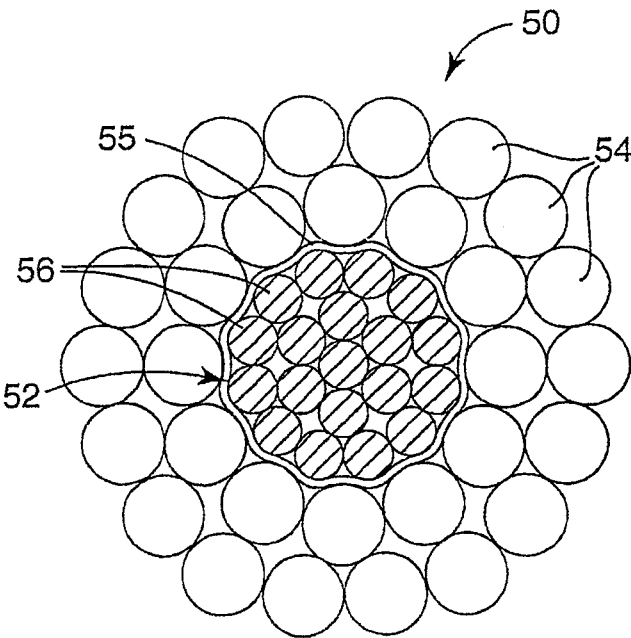


图5

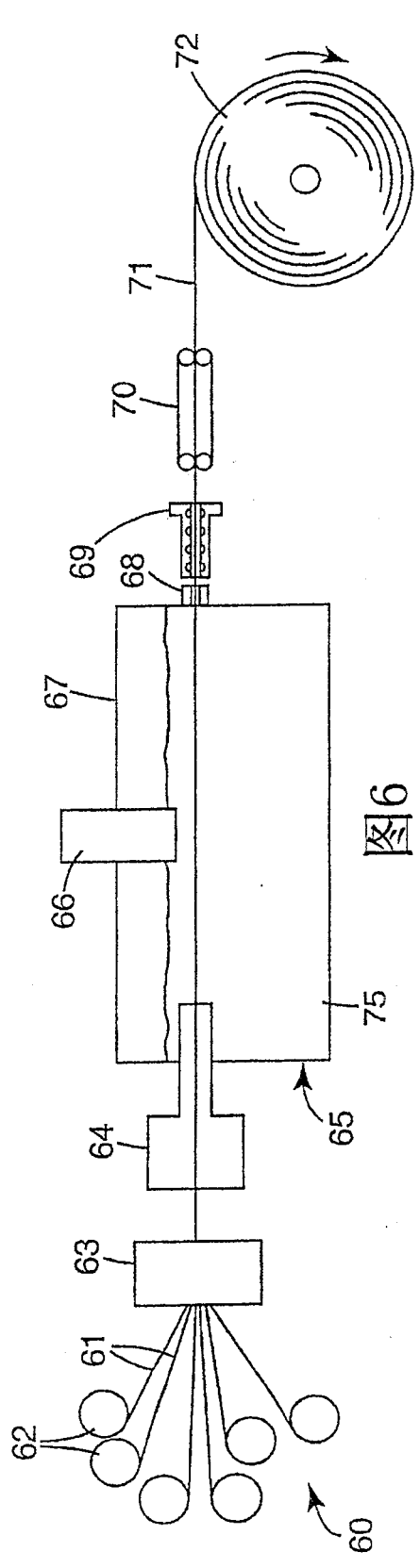


图6

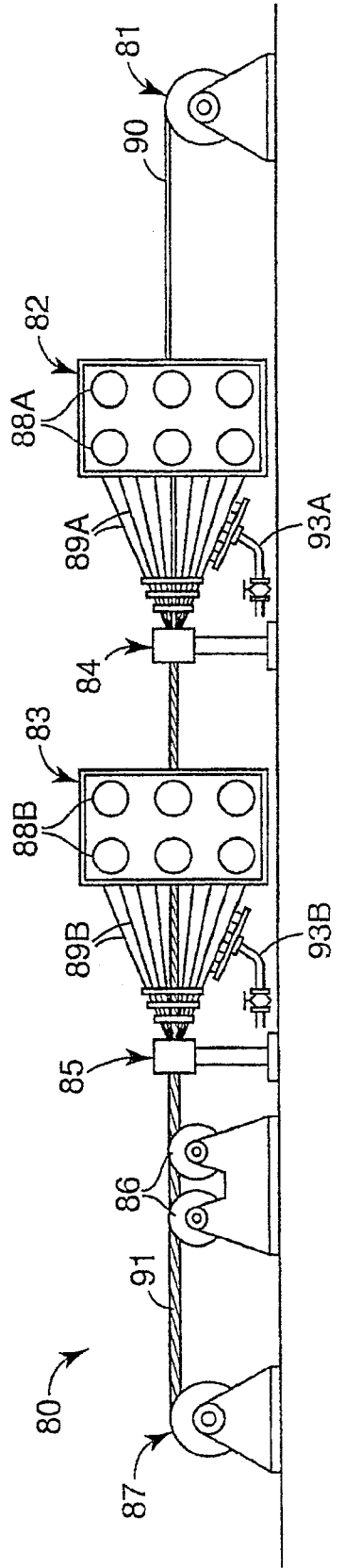


图7

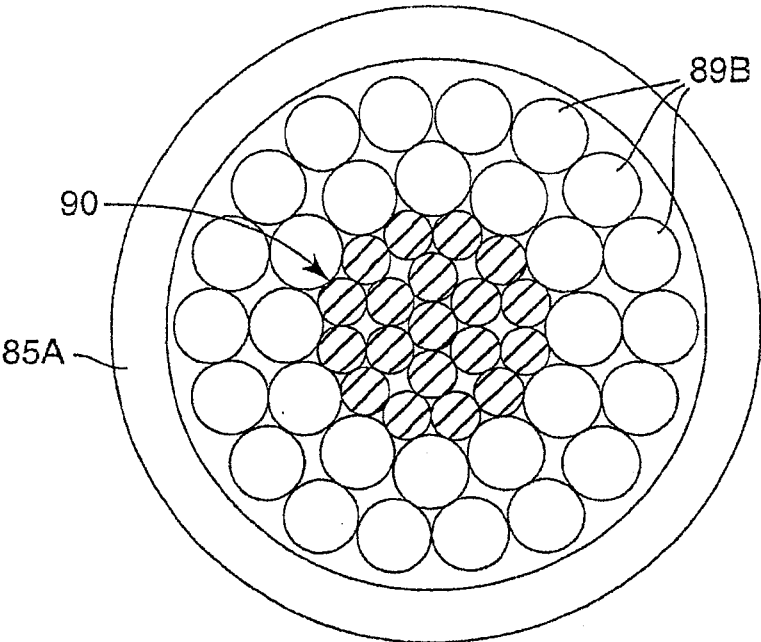


图7A

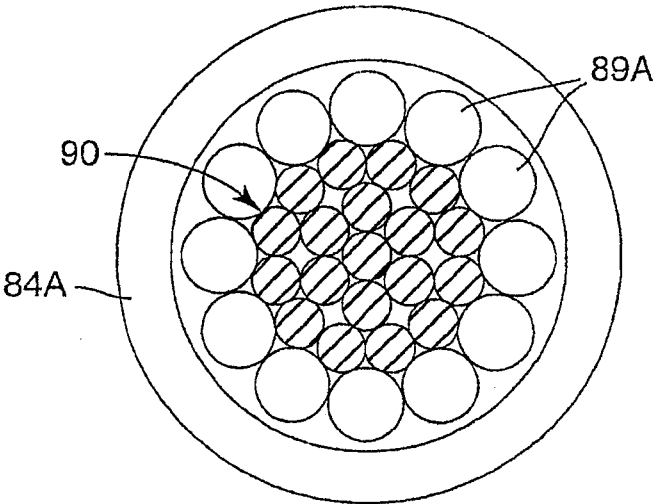


图7B

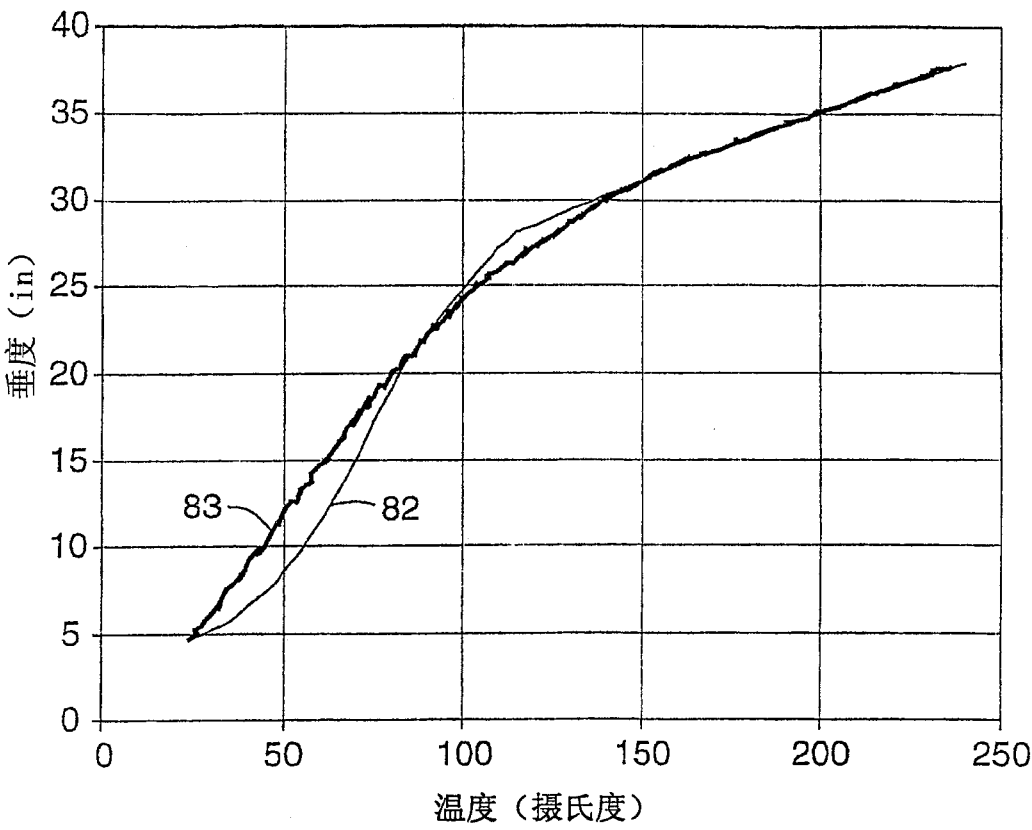


图8

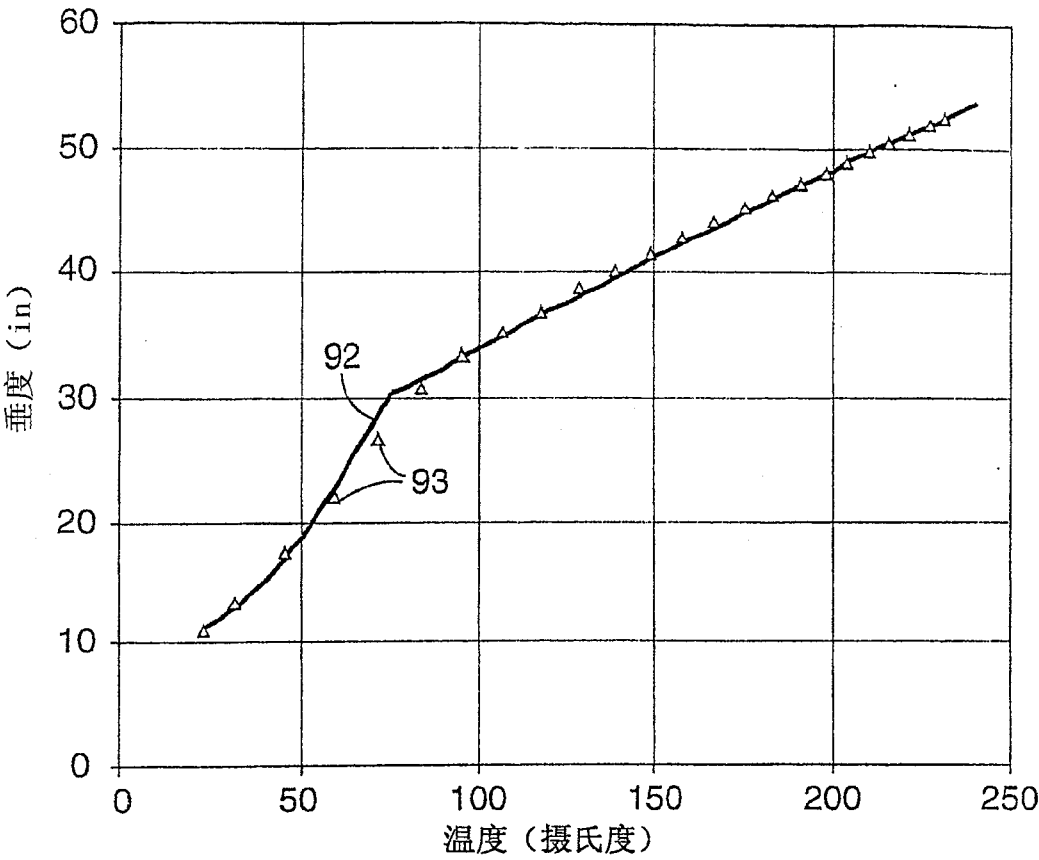


图9

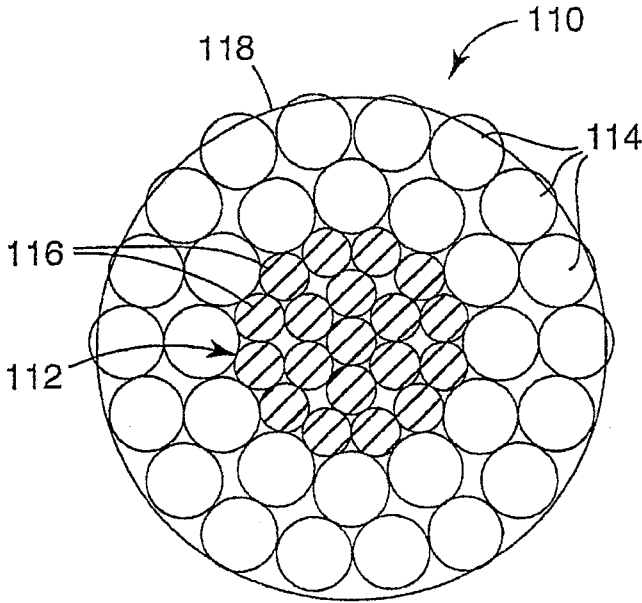


图10