



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1917969 B

(45) 授权公告日 2010.05.26

(21) 申请号 200580004820.7

H01B 9/00 (2006.01)

(22) 申请日 2005.01.03

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

CN 1443250 A, 2003.09.17, 全文.

10/778, 488 2004.02.13 US

US 2003/0029902 A1, 2003.02.13, 说明书第 [0013]、[0044]–[0046] 栏, 附图 9–10.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

US 5335527 A, 1994.08.09, 说明书第 1 栏第 35–42 行.

2006.08.14

(86) PCT 申请的申请数据

JP 5-337537 A, 1993.12.21, 全文.

PCT/US2005/000102 2005.01.03

审查员 周文聘

(87) PCT 申请的公布数据

W02005/082556 EN 2005.09.09

(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 科林·麦卡洛

道格拉斯·E·约翰逊

(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 陆锦华

(51) Int. Cl.

B21C 23/30 (2006.01)

B21C 37/04 (2006.01)

B21F 19/00 (2006.01)

H01B 5/02 (2006.01)

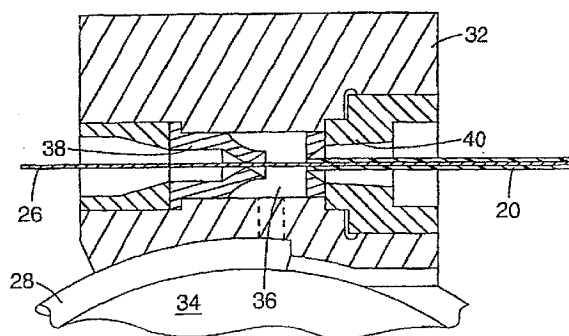
权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图 6 页

(54) 发明名称

制造金属包覆的金属基体复合导线的方法

(57) 摘要

一种用于形成金属包覆的金属基体复合导线 (20) 的方法。该方法将韧性金属包覆层 (22) 结合到金属基体复合导线 (26) 的外表面 (24), 该金属基体复合导线 (26) 在金属基体内包含多个基本连续的纵向定位的纤维。



1. 一种制造金属包覆的金属基体复合导线的方法,该方法包括:

移动金属基体复合导线穿过腔室,该金属基体复合导线具有外表面,该金属基体复合导线包括:

至少一股丝束,其中该丝束含有多个纵向定位使得纤维相对于导线长度的取向与导线的长度方向相同的基本连续的纤维,所述纤维包含陶瓷或碳纤维中的至少一种;和

金属基体,其中每股丝束定位在该金属基体中;

在所述腔室中使韧性金属与所述金属基体复合导线的外表面相结合,同时保持所述腔室中的温度低于所述韧性金属的熔点,且所述腔室中的压力足以使所述韧性金属增塑;以及

在有效地使所结合的韧性金属成形为覆盖所述金属基体复合导线的外表面的金属包覆层的条件下,从所述腔室中抽出具有结合的韧性金属的金属基体复合导线,从而提供金属包覆的金属基体复合导线,其中所述金属包覆的金属基体复合导线表现出屈服应力。

2. 如权利要求1的方法,其中所述韧性金属具有不大于1000℃的熔点。

3. 如权利要求1的方法,其中金属基体复合导线中的金属基体包括铝、锌、锡、镁或其合金中的至少一种,并且其中所述韧性金属选自由铝、锌、锡、镁、铜及其合金构成的组。

4. 如权利要求1的方法,其中以金属基体复合导线的总体积计,所述金属基体复合导线含有40~70体积%的纤维,并且其中所述纤维中至少85%的数量是基本连续的。

5. 如权利要求1的方法,其中所结合的韧性金属成形为使得所述导线被所述韧性金属同心环绕。

6. 如权利要求5的方法,其中所述韧性金属覆盖所述金属基体复合导线,其中金属包覆层的厚度范围为0.2毫米~6毫米。

7. 如权利要求1的方法,其中移动金属基体复合导线穿过腔室是沿着从腔室入口模到腔室出口模的直线路径。

8. 一种制造金属包覆的金属基体复合导线的方法,该方法包括:

提供具有外表面的金属基体复合导线,该金属基体复合导线包括:

至少一股丝束,其中该丝束含有多个纵向定位使得纤维相对于导线长度的取向与导线的长度方向相同的基本连续的纤维,所述纤维包含陶瓷或碳纤维中的至少一种;和

金属基体,其中每股丝束定位在该金属基体中;

通过将韧性金属加热至低于所述韧性金属的熔融温度的温度、以及施加足以使所述韧性金属增塑的压力,来使所述韧性金属与所述金属基体复合导线的外表面相结合;以及

在有效地使所结合的韧性金属成形为覆盖所述金属基体复合导线的外表面的金属包覆层的条件下,处理所结合的韧性金属,从而提供至少300米的金属包覆的金属基体复合导线段,在至少300米的线段上,所述金属包覆的金属基体复合导线具有至少0.95的圆度值,其中所述金属包覆的金属基体复合导线表现出屈服应力。

9. 如权利要求8的方法,其中所述韧性金属具有不大于1000℃的熔点。

10. 如权利要求8的方法,其中金属基体复合导线中的金属基体包括铝、锌、锡、镁或其合金中的至少一种,并且其中所述韧性金属选自由铝、锌、锡、镁、铜及其合金构成的组。

11. 如权利要求10的方法,其中所述金属包覆的金属基体复合导线表现塑性变形。

12. 如权利要求8的方法,其中以金属基体复合导线的总体积计,所述金属基体复合导

线含有 40 ~ 70 体积%的纤维,并且所述纤维中至少 85%的数量是基本连续的。

13. 如权利要求 8 的方法,其中所结合的韧性金属成形为使得所述导线被所述韧性金属同心环绕。

制造金属包覆的金属基体复合导线的方法

[0001] 发明背景

[0002] 通常,金属基体复合物(MMC)是已知的。MMC通常包括用颗粒、须状物、短纤维或长纤维增强的金属基体。金属基体复合物的实例包括铝基体复合导线(例如,在铝基体中嵌入碳化硅、碳、硼或多晶 α 氧化铝纤维)、钛基体复合带(例如,在钛基体中嵌入碳化硅纤维)和铜基体复合带(例如,在铜基体中嵌入碳化硅或硼纤维)。

[0003] 金属基体复合导线尤其引入注意的一种应用是作为在裸露架空电力传输电缆中的增强部件。提高现有传输基础设施的电传输容量的需求推动了电缆的特定需求。

[0004] 用于架空电力传输的电缆的适当性能要求包括耐腐蚀性、环境耐久性(例如UV和湿度)、温度升高时的耐强度下降性、抗蠕变性、以及相对高的弹性模量、较低的密度、较低的热膨胀系数、较高的电导率和较高的强度。尽管包含铝基体复合导线的架空电力传输电缆是已知的,在一些应用中对例如具有改进的断裂应变值和/或尺寸均匀性的铝基体复合导线存在持续的需求。

[0005] 在提供更均匀包装的电缆构造中,期望可得到具有圆形截面的导线。期望可得到这样的圆导线,其在沿该圆导线的长度的不同点具有更均匀的直径,以提供具有更均匀直径的电缆构造。因此,需要一种具有圆形截面和均匀直径的基本连续的金属基体复合导线,并需要用于制造这种基本连续的金属基体复合导线的方法。

发明内容

[0006] 本发明涉及用于制造金属(例如铝及其合金)包覆的金属(例如铝及其合金)基体复合导线的方法。该方法包括热加工韧性金属以使该韧性金属与金属基体复合导线的外表面相结合。本发明的实施方式涉及外表面覆盖有金属包覆层的铝基体复合导线。依照本发明的金属包覆的金属基体复合物形成的导线具有关于弹性模量、密度、热膨胀系数、电导率、强度、断裂应变、圆度和/或塑性变形的所需性能。

[0007] 在一个方面,本发明提供一种通过以下步骤制造金属包覆的金属基体复合导线的方法:移动金属基体复合导线穿过腔室;在腔室内使韧性金属与金属基体复合导线的外表面相结合,同时保持该腔室中的温度低于该韧性金属的熔点,且该腔室中的压力足以使该韧性金属增塑;以及在有效地使所结合的韧性金属成形为覆盖所述金属基体复合导线的外表面的金属包覆层的条件下,从腔室中抽出具有结合的韧性金属的金属基体复合导线,从而提供金属包覆的金属基体复合导线。

[0008] 在另一方面,本发明的制造金属包覆的金属基体复合导线的方法使韧性金属与金属基体复合导线的外表面相结合;并在有效地使所结合的韧性金属成形为覆盖所述金属基体复合导线的外表面的金属包覆层的条件下,处理所结合的韧性金属,从而提供金属包覆的金属基体复合导线,该金属包覆的金属基体复合导线在至少100米的长度上,在一些实施方式中,在至少100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、或者甚至至少900米的长度上,其具有至少0.95的圆度值(在一些实施方式中,为至少0.97、至少0.98,或者甚至至少0.99)。

[0009] 除非特别说明,在此所用的下列术语的定义如下:

[0010] “连续纤维”是指与平均纤维直径相比其长度相对无穷大的纤维。通常,这是指纤维具有至少为 1×10^5 (在一些实施方式中,至少为 1×10^6 ,或者甚至至少 1×10^7) 的纵横比(即纤维的长度和纤维的平均直径的比值)。通常,这种纤维具有大约至少为 50 米的长度,甚至可以具有大约几千米或更长的长度。

[0011] “纵向定位”是指纤维相对于导线长度的取向与导线的长度方向相同。

[0012] “圆度值”是用于表征导线横截面形状接近圆周程度的量度,如以下实施例所述,其是由在导线的指定长度上所测各个圆度值的平均值来定义的。

[0013] “圆度均匀度值”是在导线的指定长度上所测的单个圆度值的差异系数,如以下实施例所述,其是所测各个圆度值的标准偏差除以所测各个圆度值的平均值所得的比值。

[0014] “直径均匀度值”是在导线的指定长度上所测的各个直径的平均值的差异系数,如以下实施例所述,其是所测各个直径的平均值的标准偏差除以所测各个直径的平均值所得的比值。

附图说明

[0015] 图 1 是本发明的一种示例性的金属包覆的金属基体复合导线的示意性横截面视图。

[0016] 图 2 是用于制备依照本发明的金属包覆的金属基体复合导线的一种以切线模式运行的示例性双槽包覆机的透视图。

[0017] 图 3 是用于制备依照本发明的金属包覆的金属基体复合导线的包覆机中的一种示例性的加工压模装置的示意性横截面视图。

[0018] 图 4 是依照本发明用于将熔融金属渗透到纤维中的一种示例性的超声装置的示意图。

[0019] 图 5 和 6 是两种包含依照本发明的金属包覆的金属基体复合导线的架空电力输送电缆的示例性实施方式的示意性横截面视图。

[0020] 图 7 是一种包含依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线的均质电缆的示意性横截面视图。

[0021] 图 8 是实施例 1 中制备的金属包覆的金属基体复合导线的热膨胀系数图。

[0022] 图 9 是实施例 2 中制备的金属包覆的金属基体复合导线的应力应变性能图。

[0023] 图 10 是实施例 3 中制备的金属包覆的金属基体复合导线的位移和复位图。

[0024] 图 11 是用于弯曲保持测试的几何构造的示意性视图。

[0025] 图 12 是松弛半径与弯曲半径的示例图,其示出了依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线的塑性变形。

具体实施方式

[0026] 本发明是制造金属包覆的复合导线和电缆的方法。通常,本发明的金属包覆的金属基体复合导线通过使韧性金属包覆金属基体复合导线来制造。尽管不希望被理论约束,但相信本发明提供的方法能生产具有显著提高的性能的金属包覆的复合导线。至少一种依照本发明的导线可以构成电缆(例如电力输送电缆)。

[0027] 图 1 提供了依照本发明的方法制备的一种示例性的金属包覆的纤维增强金属基体复合导线 20 的横截面视图。金属包覆的纤维增强金属基体复合导线 20 在下文中称为金属包覆复合导线或 MCCW, 其包含与金属基体复合导线 26 的外表面 24 相结合的韧性金属包覆层 22。金属基体复合导线 26 也可以被称作芯线 26。韧性金属包覆层 22 具有大约为环形的形状, 其厚度为 t 。在一些实施方式中, 金属基体复合导线 26 位于 MCCW 20 纵向的中心。

[0028] 本发明的方法涉及包覆金属基体复合导线 26。可以使用如下所述及如图 2 和 3 中所示的方法包覆金属基体复合导线 26, 形成金属包覆的复合导线 (MCCW) 20。

[0029] 参照图 2, 可以使用包覆机 (例如 Model 350; 可获自 BWE Ltd, Ashford, England, UK, 商品名“CONKLAD”), 用韧性金属进料 28 包覆芯线 26, 形成 MCCW 20。包覆机 30 包括在挤压轮 34 之上或与其相邻的滑块 (shoe) 32。滑块 32 包括一模腔 36 (图 3), 通过在其一端的进口导模 38 和另一端的出口挤压模 40 进出。挤压轮 34 包括至少一个外围槽 42 (通常为两个外围槽), 用于进料到模腔 36 中。

[0030] 在一些实施方式中, 包覆机 30 以切线模式操作。在如图 2 中所示的切线模式中, 产品中心线 (即 MCCW 20) 与包覆机 30 的挤压轮 34 相切。这可以是希望达到的, 因为芯线 26 不应当穿过任何足以使导线断裂的小半径弯曲处。通常, 芯线 26 将沿直线路径。

[0031] 将芯线 26 在直径足以防止芯线 26 的弯曲超过导线的弹性极限的卷轴 (未示出) 上提供到包覆机 30。使用带制动的续料系统来控制芯线 26 在卷轴上的张力。芯线 26 的张力保持足以防止芯线 26 的缠绕开卷的最低水平。芯线 26 在穿过设备之前通常不经过预加热, 但在一些实施方式中预加热是需要的。非必要地, 在使用与如下所述类似的方法包覆进料 28 之前可以对芯线 26 进行清洗。

[0032] 芯线 26 可以在位于挤压轮 34 之上或与其相邻的滑块 32 处穿过包覆机 30。图 3 中提供了滑块 32 的横截面详细图。滑块 32 包括入口导模 38、模腔 36 和出口挤压模 40。芯线 26 通过以下方式直接穿过滑块 32 (即挤压装置), 即穿过入口导模 38 进入, 通过模腔 36 并发生包覆, 从出口挤压模 40 离开。出口模 40 比芯线 26 更大, 以容纳包覆厚度 t 。MCCW 20 在从滑块 32 的远端离开之后连到卷绕辊筒 (未示出)。

[0033] 在引入到包覆机 30 之前, 可选地, 对韧性金属包覆物的进料 28 进行清洗, 除去表面污染。一种适当的清洗方法是可由 BWE Ltd. 提供的标准轨道 (parorbital) 清洗系统。这种方法使用一种弱碱性清洗溶液 (例如氢氧化钠的稀释水溶液), 然后用酸性中和剂 (例如稀释的乙酸或其它有机酸的水溶液), 最后用水冲洗。在该标准轨道清洗系统中, 清洗液体是热的并沿导线高速流动, 该导线在液体中摇动。超声波清洗及化学清洗也是适合的。

[0034] 参照图 2 和 3, 包覆机 30 的操作如下所述, 通常为连续的运行过程。首先, 芯线 26 可以如上所述地穿过包覆机 30。将进料 28 引入 (在一些实施方式中为两股) 到旋转挤压轮 34 (在一些实施方式中包含沿其外围的双凹槽 42)。每个凹槽 42 接受一股进料 28。

[0035] 挤压轮 34 旋转, 从而将进料 28 推入模腔 36 中。挤压轮 34 的运动供给足够的压力, 结合模腔 36 的热量, 用于塑化进料 28。进料材料在模腔 36 内的温度通常低于材料的熔点温度。该材料进行热处理, 使得其在使得在变形过程中发生再结晶的温度和应变率下进行塑性变形。通过保持进料材料的温度低于其熔点, 使进料 28 形成的包覆层 22 与以熔融态形式添加进料 28 相比, 其硬度更高。例如, 对于熔点为约 660°C 的铝进料, 温度通常为约

500℃。

[0036] 进料 28 在芯线 26 的两侧进入模腔 36, 帮助均衡芯线 26 周围的进料 28 的流量和压力。挤压轮 34 的运动将由于通过滑块 32 对进料 28 的再定向和变形而增塑的进料 28 填充到模腔 36 中。包覆机 30 在滑块 32 内通常的操作压力范围为 14-40kg/mm²。为成功包裹芯线 26, 滑块 32 内的压力通常接近操作范围的下端, 在操作过程中通过调节挤压轮 34 的速度按要求进行改变。对轮 34 的速度进行调整直到在模腔 36 中达到可将增塑的进料 28 从出口模 40 绕芯线 26 挤出而不会达到损坏芯线 26 的压力的情况。(如果轮的速度过低, 进料不能从出口模 40 被挤出, 或者从出口模 40 挤出的进料 28 不能将芯线 26 从出口模 40 拉出。如果轮的速度过高, 芯线 26 会被剪断和切断。)

[0037] 此外, 模腔 36 中的温度和压力通常被控制使包覆材料(增塑的进料 28)结合到芯线 26 上, 同时也足够低, 以防止对更脆的芯线 26 的损害。这也有利于平衡进入到模腔 36 中的进料 28 的压力, 使得芯线 26 位于增塑的进料 28 的中心。通过使芯线 26 位于模腔 36 的中心, 增塑的进料 28 在芯线 26 的周围形成了同心环管芯。

[0038] 离开包覆机 30 的 MCCW 20 的线速度的实例为约 50m/min。张力是不需要的, 通常收集产品(即 MCCW 20)的卷绕辊筒也不提供张力, 因为挤出的进料 28 拉着芯线 26 与其一起穿过包覆机 30。在离开包覆机之后, MCCW 20 通过水槽(未示出)进行冷却, 然后缠绕在卷绕辊筒上。

[0039] 包覆材料

[0040] 金属包覆层 22 可由任何具有延展性的金属或金属合金组成。在一些实施方式中, 金属包覆层 22 选自韧性金属材料, 包括金属合金, 其与芯线 26 的材料组分(即纤维和基体材料)不会发生明显的化学反应。

[0041] 用于金属包覆层 22 的示例性韧性金属材料包括铝、锌、锡、镁、铜及其合金(例如铝和铜的合金)。在一些实施方式中, 金属包覆层 22 包含铝及其合金。对于铝包覆材料, 在一些实施方式中, 包覆层 22 包括至少 99.5 重量%的铝。在一些实施方式中, 有用的合金为 1000、2000、3000、4000、5000、6000、7000 和 8000 系列铝合金(铝业协会(Aluminum Association)名称)。适合的金属可商购得到。例如, 铝和铝合金可获自, 例如 Alcoa, Pittsburgh, PA。锌和锡可获自, 例如 Metal Services, St. Paul, MN(“纯锌”; 99.999% 纯度; 和“纯锡”; 99.95% 纯度)。例如, 镁可获自 Magnesium Elektron, Manchester, England, 商品名称“PURE”。镁合金(例如 WE43A、EZ33A、AZ81A 和 ZE41A)可获自 TIMET, Denver, CO。铜及其合金可获自 South Wire, Carrollton, GA。

[0042] MCCW 20 可在芯线 26 上形成, 该芯线通常包含至少一股含许多连续的纵向定位的纤维(例如陶瓷(如氧化铝基的)增强纤维)的丝束, 所述纤维包埋在含一种或多种金属(例如高纯度(如高于 99.95%)单质铝或者纯铝与其它元素如铜的合金)的基体中。在一些实施方式中, 金属基体复合导线 26 中至少约 85%(在一些实施方式中, 至少 90%, 或甚至至少 95%)数目的纤维是连续的。下面对适用于本发明的 MCCW 20 中的金属基体复合导线 26 的纤维和基体选择进行描述。

[0043] 纤维

[0044] 适用于本发明的 MCCW 20 中的制备金属基体复合物 26 的连续纤维包括陶瓷纤维, 例如金属氧化物(例如氧化铝)纤维、硼纤维、氮化硼纤维、碳纤维, 以及上述纤维中任意的

组合物。通常,陶瓷氧化物纤维是结晶陶瓷和 / 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两相)。通常,这意味着纤维的纵横比(即纤维的长度和纤维的平均直径的比值)至少为 1×10^5 (在一些实施方式中,至少为 1×10^6 ,或者甚至至少 1×10^7)。通常,这种纤维的长度约为至少 50 米,甚至可以具有约几千米或更长的长度。典型的,连续增强纤维的平均纤维直径至少为约 5 微米,其平均纤维直径不超过 50 微米。更典型的平均纤维直径不超过 25 微米,最典型的范围为 8 微米~20 微米。

[0045] 在一些实施方式中,陶瓷纤维的平均拉伸强度为至少 1.4GPa、至少 1.7GPa、至少 2.1GPa,或甚至至少为 2.8GPa。在一些实施方式中,碳纤维的平均拉伸强度为至少 1.4GPa、至少 2.1GPa、至少 3.5GPa,或甚至至少为 5.5GPa。在一些实施方式中,陶瓷纤维的模量大于 70GPa~约不超过 1000GPa,或甚至不超过 420GPa。实施例给出了拉伸强度和模量的测试方法。

[0046] 在一些实施方式中,用于制备芯线 26 的至少一部分连续纤维是成丝束的。丝束在纤维技术中是已知的,是指许多根(单根)聚集成绳状的纤维(典型地至少为 100 根纤维,更典型地至少为 400 根纤维)。在一些实施方式中,丝束每束包含至少 780 根纤维,在一些实施例中,每束包含至少 2600 根单纤维。陶瓷纤维丝束的长度可以不同,包括 300 米、500 米、750 米、1000 米、1500 米、1750 米或者更长。纤维的横截面形状可以是圆形或者椭圆形的。

[0047] 例如在美国专利 4,954,462(Wood 等)和 5,185,29(Wood 等)中描述了氧化铝纤维。在一些实施方式中,氧化铝纤维是多晶 α 氧化铝纤维,以理论氧化物基准,按照氧化铝纤维的总重量计,其包含大于 99wt. % 的 Al_2O_3 和 0.2~0.5wt. % 的 SiO_2 。在另一方面,一些优选的多晶 α 氧化铝纤维包含平均粒度小于 1 微米(或者甚至,在一些实施方式中,小于 0.5 微米)的 α 氧化铝。在另一方面,多晶 α 氧化铝纤维的平均拉伸强度为至少 1.6GPa(在一些实施方式中,至少为 2.1GPa,或甚至至少为 2.8GPa)。示例性的 α 氧化铝纤维可以以“NEXTEL 610”商品从 3M Company, St. Paul, MN 购得。

[0048] 例如在美国专利 4,047,965(Karst 等)中描述了铝硅酸盐纤维。示例性的铝硅酸盐纤维可以以“NEXTEL 440”、“NEXTEL 550”和“NEXTEL 720”商品从 3M Company, St. Paul, MN 购得。

[0049] 例如在美国专利 3,795,524(Sowman)中描述了铝硼硅酸盐纤维。示例性的铝硼硅酸盐纤维可以以“NEXTEL 312”商品从 3M Company, St. Paul, MN 购得。

[0050] 示例性的硼纤维可获自例如 Textron Specialty Fibers, Inc., Lowell, MA。

[0051] 示例性的氮化硼纤维可如美国专利 3,429,722(Economy)和 5,780,154(Okano 等)中所述的方法制备。

[0052] 示例性的碳化硅纤维,例如,可以以每股丝束中含 500 根纤维的“NICALON”商品从 COI Ceramics, San Diego, CA、以“TYRANNO”商品从 Ube Industries, Japan 和以“SYLRAMIC”商品从 Dow Corning, Midland, MI 购得。

[0053] 示例性的碳纤维,例如,可以以每股丝束中含 2000、4000、5000 和 12000 根纤维的“THORNE CARBON”商品从 Amoco Chemicals, Alpharetta, GA、从 Hexcel Corporation, Stamford, CT、以“PYROFIL”商品从 Grafil, Inc., Sacramento, CA(Mitsubishi Rayon Co. 的子公司)、以“TORAYCA”商品从 Toray, Tokyo, Japan、以“BESFIGHT”商品从 Toho Rayon of

Japan, Ltd.、以“PANEX”和“PYRON”商品从 Zoltek Corporation, St. Louis, MO 以及以“12K20”和“12K50”商品（镍覆碳纤维）从 IncoSpecial Products, Wyckoff, NJ 购得。

[0054] 示例性的石墨纤维,例如,可以以每股丝束中含 1000、3000 和 6000 根纤维的“T-300”商品从 BP Amoco, Alpharetta, GA 购得。

[0055] 示例性的碳化硅纤维,例如,可以以每股丝束中含 500 根纤维的“NICALON”商品从 COI Ceramics, San Diego, CA、以“TYRANO”商品从 Ube Industries, Japan 和以“SYLRAMIC”商品从 Dow Corning, Midland, MI 购得。

[0056] 可购得的纤维通常包含在纤维制造过程中加入其中的有机胶料,用以提供润滑能力并在处理过程中保护纤维线束。该胶料可以通过例如溶解或燃烧将胶料从纤维中除去。通常,希望在形成金属基体复合导线 26 之前除去该胶料。

[0057] 该纤维可以具有涂层,例如用于提高纤维的润湿性,降低或防止纤维和熔融金属基体材料之间的反应。这种涂层和提供这种涂层的技术是纤维和金属基体复合技术中已知的。

[0058] 基体

[0059] 通常,这样选择金属基体复合导线 26 的金属基体,使得该基体材料不会和纤维材料发生明显的化学反应(即关于纤维材料是相对化学惰性的),例如,用以消除在纤维外面提供保护性涂层的必要性。选作基体材料的金属不需要与包覆层 22 选用的金属材料相同,但其应当不会与包覆层 22 发生明显的化学反应。示例性的金属基体材料包括铝、锌、锡、镁、铜及其合金(例如铝和铜的合金)。在一些实施方式中,基体材料优选包括铝及其合金。

[0060] 在一些实施方式中,金属基体包含至少 98wt. % 的铝、至少 99wt. % 的铝、大于 99.9wt. % 的铝,或者甚至大于 99.95wt. % 的铝。示例性的铝和铜的合金中包含至少 98wt. % 的铝和至多 2wt. % 的铜。在一些实施方式中,有用的合金为 1000、2000、3000、4000、5000、6000、7000 和 / 或 8000 系列铝合金(Aluminum Association 名称)。尽管高纯度的金属往往优选用于制造拉伸强度更高的导线,但是也可以使用较低纯度的金属。

[0061] 适合的金属可以商购得到。例如,铝可获自,例如 Alcoa, Pittsburgh, PA, 商品名“SUPER PURE ALUMINUM ;99.99% AL”。铝合金(例如 AL-2wt. % Cu(0.03wt. % 杂质))可获自,例如 Belmont Metals, New York, NY。锌和锡可获自,例如 Metal Services, St. Paul, MN(“纯锌”;99.999% 纯度;和“纯锡”;99.95% 纯度)。例如,镁可获自 Magnesium Elektron, Manchester, England, 商品名称“PURE”。镁合金(例如 WE43A、EZ33A、AZ81A 和 ZE41A)可获自 TIMET, Denver, CO。

[0062] 适用于本发明的 MCCW 20 中的金属基体复合导线 26 包括基于纤维和基体材料的总体积计,含至少 15 体积%(在一些实施方式中,至少 20、25、30、35、40、45 或甚至 50 体积%)的纤维的那些。通常,用于本发明的方法中的芯线 26 包含以纤维和基体材料(即没有包覆层)的总体积计,范围为 40 ~ 70(在一些实施方式中为 45 ~ 65) 体积%的纤维。

[0063] 芯线 26 的平均直径通常为约 0.07 毫米(0.003 英寸)~约 3.3 毫米(0.13 英寸)。在一些实施方式中,芯线 26 的平均直径优选为至少 1 毫米、至少 1.5 毫米,或甚至直到约 2.0 毫米(0.08 英寸)。

[0064] 制备芯线

[0065] 通常,连续芯线 26 可通过例如连续金属基体渗透工艺进行制备。例如在美国专利

6, 485, 796 (Carpenter 等) 中描述了一种适用的工艺。

[0066] 图 4 中示出了一种用于制备用于本发明的 MCCW 20 的连续金属基体导线 26 的示例性装置。从供料卷轴 46 中提供连续的陶瓷和 / 或碳纤维 44 的丝束, 汇聚成为圆形截面的线束, 对于陶瓷纤维, 在通过管式炉 48 时进行加热净化。然后将纤维 44 在真空室 50 中抽空, 再进入装有金属基体材料熔体 54 (也称为“熔融金属”) 的炉缸 52 中。这些纤维由拉动杆 (caterpuller) 56 从供料卷轴 46 上拉出。将超声波探头 58 置于熔体 54 中靠近纤维的位置, 促进熔体 54 渗透到丝束 44 中。导线 26 中的熔融金属从出口模 60 离开炉缸 52 之后进行冷却并固化, 尽管在导线 26 完全离开炉缸 52 之前会受到一定程度的冷却。导线 26 的冷却可以通过冲击到导线 26 上的气流或液流 62 来增强。导线 26 收集到卷轴 64 上。

[0067] 如上所述, 加热净化陶瓷纤维可帮助除去或降低可能存在于纤维表面的胶料、吸附的水分和其它不稳定或易挥发物质的量。通常, 优选地将陶瓷纤维加热净化直到纤维表面的碳含量低于 22% (面积分数)。典型地, 管式炉 48 的温度至少为 300℃, 更典型地至少为 1000℃, 使纤维受热至少几秒钟, 尽管具体的温度和时间都由例如所用具体纤维的净化要求来决定。

[0068] 在一些实施方式中, 纤维 44 在进入熔体 54 之前进行抽空, 因为已经观察到, 使用这种抽空方法可以减少或消除诸如干燥纤维汇聚不均匀区域 (即没有基体渗透的纤维区域) 等缺陷的形成。通常在一些实施方式中, 纤维 44 在不高于 20 托、不高于 10 托、不高于 1 托和不高于 0.7 托的真空中进行抽空。

[0069] 一种示例性的适合的真空系统 50 是一根进口管, 其大小与纤维束 44 的直径配合。例如, 该进口管为不锈钢或氧化铝管, 其长度通常至少为 30 厘米。合适的真空室 50 通常其直径为约 2 ~ 20 厘米, 长度为约 5 ~ 100 厘米。在一些实施方式中, 真空泵的容量至少为 0.2 ~ 0.4 立方米 / 分钟。抽空的纤维 44 通过真空系统中的一根插入到金属浴池中的管子被插入到熔体 54 中 (即抽空的纤维 44 在被引入到熔体 54 中时处于真空状态), 尽管熔体 54 通常处于大气压力状态。出口管的内径基本配合纤维束 44 的直径。出口管的一部分浸在熔融金属中。在一些实施方式中, 管子中有 0.5 ~ 5 厘米浸在熔融金属中。管子的选择应当使其在熔融金属材料中是稳定的。通常适合的管子的实例包括氮化硅和氧化铝管。

[0070] 熔融金属 54 向纤维 44 中的浸透通常通过使用超声波来强化。例如, 将振动杆 (vibrating horn) 58 置于熔融金属 54 中, 使其靠近纤维 44。在一些实施方式中, 该纤维 44 与杆顶端的距离在 2.5 毫米内 (在一些实施方式中在 1.5 毫米内)。在一些实施方式中, 该杆顶端是由铌或铌合金制备的, 例如 95wt. % Nb-5wt. % Mo 和 91wt. % Nb-9wt. % Mo, 其可获自, 例如 PMTI, Pittsburgh, PA。关于使用超声波制备金属基体复合物制品的另外的细节可参照例如美国专利 4, 649, 060 (Ishikawa 等)、4, 779, 563 (Ishikawa 等) 和 4, 877, 643 (Ishikawa 等)、6, 180, 232 (McCullough 等)、6, 245, 425 (McCullough 等)、6, 336, 495 (McCullough 等)、6, 329, 056 (Deve 等)、6, 344, 270 (McCullough 等)、6, 447, 927 (McCullough 等) 和 6, 460, 597 (McCullough 等)、6, 485, 796 (Carpenter 等)、6, 544, 645 (McCullough 等)、2000 年 7 月 14 日提出的美国申请 09/616, 741、2002 年 1 月 24 日公布的 PCT 申请 W002/06550。

[0071] 通常, 熔融金属 54 在进行渗透过程中和 / 或在渗透之前进行脱气 (例如降低溶解在熔融金属 54 中的气体 (如氢) 的量)。对熔融金属 54 进行脱气的技术在金属加工领域

中是已知的。对熔体 54 的脱气通常会减少导线中的气孔。对于熔融铝,熔体 54 中的氢含量,在一些实施方式中,小于 0.2、0.15 或甚至小于 $0.1\text{cm}^3/100\text{g}$ 铝。

[0072] 出口模 60 构造成提供所需的导线直径。通常,需要在其长度方向上具有均匀圆度的导线。出口模 60 的直径通常略小于导线 26 的直径。例如,用于含 50 体积%氧化铝纤维的铝复合导线的氮化硅出口模的直径比导线 26 的直径小 3%。在一些实施方式中,出口模 60 需要由氮化硅制成,尽管其它材料也可以使用。在本领域中其他已被用作出口模的材料包括常规氧化铝。然而申请人发现,氮化硅出口模的磨损明显低于常规氧化铝模,因此更有利于提供所需直径和形状的导线,尤其是在很长的导线长度上。

[0073] 通常,导线 26 在离开出口模 60 之后,会通过液体(例如水)或气体(例如氮气、氩气或空气)62 接触进行冷却。这种冷却有利于提供所需的圆度和均匀性以及无孔隙性。导线 26 在卷轴 64 上收集。

[0074] 金属基体复合导线中存在的缺陷例如金属间相、干纤维、例如随收缩或内部气体(例如氢气或水蒸汽)孔隙产生的多孔性,等等。已知这些缺陷会导致其性能的降低,例如导线 20 的强度。因此需要减少这种特征的存在或使其最小化。

[0075] 金属包覆的金属基体复合导线(MCCW)

[0076] 本发明的包覆方法制备了示例性的金属包覆的金属基体复合导线 20,其与未包覆的导线 26 相比具有改进的性能。对于具有通常为圆形横截面形状的芯线 26,制成的导线的横截面形状通常并不是理想的圆形。本发明的包覆方法为不规则形状的芯线 26 提供了补偿,制成了相对较圆的金属包覆产品(即 MCCW 20)。包覆层 22 的厚度 t 可以不同,以补偿芯线 26 形状的不一致。该方法将芯线 26 置于中心,因此改进了其规格和公差,例如 MCCW 20 的直径和圆度。在一些实施方式中,依照本发明的具有通常为圆形横截面形状的 MCCW 20 的平均直径为至少 1 毫米、至少 1.5 毫米、2 毫米、2.5 毫米、3 毫米,或甚至 3.5 毫米。

[0077] 在至少 100 米的 MCCW 20 的长度上,MCCW 20 的最小直径和最大直径的比值(参见圆度值测试,其中理想圆形导线的该比值为 1)通常至少为 0.9,在一些实施方式中,至少为 0.92、至少为 0.95、至少为 0.97、至少为 0.98 或甚至至少为 0.99。在至少 100 米的 MCCW 20 的长度上,其圆度均匀度(参见下文的圆度均匀度测试)通常不超过 0.9%,在一些实施方式中,不超过 0.5%,或者不超过 0.3%。在至少 100 米的 MCCW 20 的长度上,其直径均匀度(参见下文的直径均匀度测试)通常不超过 0.2%。

[0078] 由本发明的方法制备的 MCCW 20 在拉伸应用中发生初次断裂之后需要阻止二次断裂方式,例如微压曲(micro-buckling)和一般压曲。MCCW 20 的金属包覆层 22 起到了阻止金属基体复合导线 26 的快速反冲的作用,抑制了在初次断裂的过程中或其后产生的会引起二次断裂的压力冲击波。金属包覆层 22 塑性变形,消除了芯线 26 的快速反冲。在需要 MCCW 20 表现出抑制二次断裂的情况中,需要金属包覆层 22 的厚度 t 足以吸收和抑制压力冲击波。对于直径约为 0.07 毫米~3.3 毫米的芯线 26,希望包覆层的厚度 t 的范围为 0.2 毫米~6 毫米,或者更希望的范围为 0.5 毫米~3 毫米。例如,近似壁厚 t 为约 0.7 毫米的金属包覆层 22 适用于标称 2.1 毫米直径的铝复合导线 26,从而形成直径约为 3.5 毫米(0.14 英寸)的 MCCW 20。

[0079] 还希望根据本发明制造的 MCCW 20 表现出塑性变形的能力。常规的金属基体复合导线通常表现弹性弯曲模式,而不表现出塑性变形,也不经历材料断裂。有利地,本发明的

MCCW 20 在弯曲及随后释放时保持一定的弯曲量（即，塑性变形）。在多根导线要绞合或缠绕成电缆的应用中，该塑性变形的能力是有用的。MCCW 20 可拧成电缆并保持弯曲结构而不需要额外的保持装置，例如胶带或粘结剂。在希望 MCCW 20 具有永久变形（即，塑性变形）的情况下，包覆层 22 具有的厚度 t 足以抵抗芯线 26 回到初始（未弯曲）状态的回弹力。对于直径约为 0.07 ~ 3.3mm 的芯线 26，希望包覆层厚度 t 在 0.7mm ~ 约 3mm 的范围。例如，近似壁厚约 0.7mm 的金属包覆层适用于具有标称 2.1mm 直径的铝复合导线 26，从而形成直径约为 3.5 毫米（0.14 英寸）的 MCCW20。

[0080] 依照本发明的方法制备的 MCCW 20 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 600 米、至少 700 米、至少 800 米，或者甚至至少 900 米。

[0081] 金属包覆的金属基体复合导线的电缆

[0082] 依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线可以用于多种用途，包括用于架空电力输送电缆。

[0083] 包含依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线的电缆可以是如图 7 中所示的均质的（即仅包含例如 MCCW 20 的导线）或者如图 5 和 6 中所示的非均质的（即包含多种次级导线，例如金属导线）。作为非均质电缆的实例，电缆芯线中可以包含多个依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线，以及包含多个次级导线（例如铝导线）的外壳，例如如图 5 中所示。

[0084] 包含依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线的电缆可以是绞合的。绞合电缆通常包括中心导线和围绕中心导线的的第一层螺旋绞合的导线。通常，电缆的绞合过程是将各根绞合导线以螺旋排列的方式结合生产最终电缆（参见例如美国专利 5,171,942 (Powers) 和 5,554,826 (Gentry)）。所得的螺旋绞合导线绳能提供比具有相同横截面积的实心棒大得多的柔韧性。其螺旋排列也是有利的，因为当绞合电缆在处理、安装和使用中弯曲时，该绞合电缆能够保持其总体的圆形横截面形状。螺旋缠绕导线可以包含少到只有 3 根单股，直到含有 50 股或更多的更普通的结构。

[0085] 图 5 中示出了一种示例性的包含依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线的电缆，其中电缆 66 可以是包含多个单独的金属包覆的金属基体复合导线 70 的电缆芯线 68，其由多个单独的铝或铝合金导线 74 组成的夹套 72 包围。任何层中可以包含任何适当数量的金属包覆的金属基体复合导线 70。另外，导线的类型（例如金属包覆的金属基体复合导线和金属导线）可以在任何层或导线中混合。此外，在绞合电缆 66 中可以根据需要包含超过两层。如图 6 中示出了许多替换方案中的一种，电缆 76，其可以由多个单独的金属导线 80 组成的电缆芯线 78，由多个单独的金属包覆的金属基体复合导线 84 组成的夹套 82 包围。单独的电缆可以相结合成为导线绳结构，例如包含互相绞合在一起的 7 根电缆的导线绳。

[0086] 图 7 示出了依照本发明的绞合电缆 86 的另一种实施方式。在该实施方式中，绞合电缆是均质的，使得电缆中的所有导线都是依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线 88。可以包括任何适当数量的金属包覆的金属基体复合导线 88。

[0087] 包含依照本发明制备的金属包覆的金属基体复合导线的电缆可以被用作裸露的电缆，或者可以用作更大直径电缆的电缆芯线。而且，包含依照本发明的金属包覆的金属基体复合导线的电缆可以由多个导线以及该多个导线周围的保持装置所构成的绞合电缆。

该保持装置可以是,例如外包装带,可以带有或者不带粘合剂或者胶粘剂。

[0088] 根据本发明的包含金属包覆的金属基体复合导线的绞合电缆在许多应用中是有用的。这种绞合电缆被认为特别适合用在架空电力传输电缆中,因为其将相对低的重量、高强度、良好的电导率、低热膨胀系数、高使用温度和耐腐蚀性组合于一身。

[0089] 另外关于包覆的金属基体复合导线的其它细节可以参见,例如 2004 年 2 月 13 日提出的申请号为 10/779438 的美国在审申请中。本发明的优点和实施方式通过下述实施例进一步描述,但在这些实施例中引用的具体材料及其用量,以及其它条件和细节不应当被理解为对本发明不恰当的限定。除非特别指出,所有的份数和百分比均以重量计。

[0090] 实施例

[0091] 测试方法

[0092] 导线抗张强度

[0093] MCCW 20 的抗张性能是基本如 ASTM E345-93 中所述的方法进行测量的,使用了张力试验仪(获自 Instron Corp., Canton, MA 的商品“INSTRON”;8562 型试验仪),其装有机机械校准装置(获自 Instron Corp. 的商品“INSTRON”;型号为 8000-072),其由数据采集系统(获自 Instron Corp. 的商品“INSTRON”;型号为 8000-074)驱动。

[0094] 测试使用了两种不同的计量长度;一种为 5 厘米(1.5 英寸),另一种为 63 厘米(25 英寸)计量长度,样品装备有 1018 低碳钢管,将其放置在导线的末端,以可保证通过测试设备的握紧。导线样品的实际长度比样品计量长度长 20 厘米(8 英寸),以满足楔形夹的安装。对于直径为 2.06 毫米(0.081 英寸)或更小的金属包覆的金属基体复合导线,管子的长度为 15 厘米(6 英寸),其 OD(即,外径)为 6.35 毫米(0.25 英寸),其 ID(即,内径)为 2.9 ~ 3.2 毫米(0.11 ~ 0.13 英寸)。ID 和 OD 应当尽可能同心。对于直径为 3.45 毫米(0.14 英寸)的金属包覆的金属基体复合导线,管子的长度为 15 厘米(6 英寸),其 OD(外径)为 7.9 毫米(0.31 英寸),其 ID(内径)为 4.7 毫米(0.187 英寸)。钢管和导线样品都用酒精清洗,在距离导线样品每端 10 厘米(4 英寸)处做标记,使得卡管可以正确定位,以获得所需的 5.0 厘米(2 英寸)或 25 厘米(9.8 英寸)的计量长度。用带有塑料喷嘴(获自 Technical Resin Packaging, Inc.)的密封喷枪(以“SEMCO”商品,型号 250 获自 Technical Resin Packaging, Inc., Brooklyn Center, MN)在每个卡管的孔中装满环氧粘合剂(可以“SCOTCH-WELD 2214 HI-FLEX”商品,高韧性粘合剂,件号 62-3403-2930-9,获自 3M Company)。将多余的环氧树脂从管中去除,将导线插入管中直到导线上的标记。一旦将导线插入卡管中,将导线固定在适当位置的同时将额外的环氧树脂注射到管中,保证管中充满树脂。(树脂回充至管中,直到环氧树脂刚好沿在计量长度的基准处的导线的周围挤出,同时将导线保持原位)。当两个卡管都正确定位在导线上时,将样品置于薄片校正固定装置中,其在环氧固化周期中保持卡管和导线正确的同心排列。随后将该组件置于固化炉中,在 150℃保持 90 分钟,固化环氧树脂。

[0095] 使用试验架上的机械校正装置在 Instron Tester 中小心对准试验架以获得所需的对准。在测试过程中,使用约为 14 ~ 17MPa(2 ~ 2.5ksi)的机械夹紧压力将锯齿状的 V-槽水力钳夹夹住卡管的外部仅 5 厘米(2 英寸)。

[0096] 在位置控制模式下使用的应变率为 0.01 厘米/厘米(0.01 英寸/英寸)。使用动态应变计量伸长计(以“INSTRON”商品,型号 2620-824 获自 Instron Corp.)测量应变。

伸长计的刀口之间的距离为 1.27 厘米 (0.5 英寸), 量器位于计量长度的中心, 用橡皮圈进行保护。使用测微计在沿导线的三个位置上的测量或者测量横截面积并计算提供相同横截面积的有效直径, 对导线的直径进行测定。抗张测试结果提供了实施例的断裂负载、抗张强度、抗张模量和断裂应变的数据。测试十组样品, 并从中计算其平均值、标准偏差和差异系数。

[0097] 纤维强度

[0098] 使用张力试验仪 (可以“INSTRON 4201”购自 Instron Corp., Canton, MA) 对纤维强度进行测量, 测试按照 ASTM D 3379-75 (高分子量的单丝材料的抗张强度和杨氏模量标准测试方法) 所述进行。样品的计量长度为 25.4 毫米 (1 英寸), 应变率为 0.02 毫米/毫米。为得到纤维丝束的抗张强度, 从纤维丝束中任选 10 根单纤维丝, 对每根单丝都进行测试, 确定其断裂负载。

[0099] 使用光学显微镜 (可以“DOLAN-JENNER MEASURE-RITEVIDEO MICROMETER SYSTEM”, 型号 M25-0002 购自 Dolan-Jenner Industries, Inc., Lawrence, MA) 的附件在放大 1000 倍时对纤维的直径进行光学测量。该装置利用校准的镜台测微计来使用反射光观测。每根单丝的断裂应力以每单位面积的负载计。

[0100] 热膨胀系数 (CTE)

[0101] CTE 的测量是根据 1995 年公布的 ASTM E-238 进行的。该测试在膨胀计 (获自“UNITHERM 1091”商品) 上进行, 其使用的导线长度为 5.1 厘米 (2 英寸)。使用一固定装置来保持样品, 其包括两个铝筒, 铝筒的外径为 10.7 毫米 (0.42 英寸), 钻有 6.4 毫米 (0.25 英寸) 的内径。将样品在每一侧用固定螺丝夹紧。样品的长度从每个固定螺丝的中心测量。用美国国家标准与技术研究院 (National Institute of Standards and Technology) (NIST) 鉴定的熔融石英校准标准样品 (以“Fused Silica”商品获自 NIST, Washington, DC) 对每个温度范围进行至少两次校准。在 $-75^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 的温度范围, 加温斜率为 5°C , 在实验室大气下测试样品。测试结果为尺寸膨胀和温度相对应的数据, 在加热过程中每 50°C 收集一组, 在冷却过程中每 10°C 收集一组。由于 CTE 是膨胀变化和温度之比, 因此数据需要处理以获得 CTE 值。使用绘图软件包 (以“EXCEL”商品获自 Microsoft, Redmond, WA) 对膨胀对应温度的数据进行做图。使用软件中的标准函数拟合对上述数据拟合成二阶幂函数, 得到曲线的方程。计算该方程的导数, 得到线性函数。该方程给出了与温度相关的膨胀变化率。该方程在关注的温度范围内做出, 例如 $-75 \sim 500^{\circ}\text{C}$, 给出了 CTE 相对温度的图示。该方程也用于获得任何温度下的瞬时 CTE。

[0102] CTE 的变化被认为依照以下的方程:

$$[0103] \quad \alpha_{cl} = [E_f \alpha_f V_f + E_m \alpha_m (1 - V_f)] / (E_f V_f + E_m (1 - V_f)),$$

[0104] 其中: V_f = 纤维体积分数, E_f = 纤维抗张模量, E_m = 基体抗张模量 (原位), α_{cl} = 复合物在长度方向上的 CTE, α_f = 纤维 CTE, α_m = 基体 CTE。

[0105] 直径

[0106] 导线的直径是根据在沿导线长度上的四个点处的测微器读数进行测量的。通常导线并不是理想的圆形, 因此有长的和短的方面。通过旋转导线得到读数, 以保证长的和短的方面都能够测量到。公布的直径为长的和短的方面的平均值。

[0107] 纤维体积分数

[0108] 纤维的体积分数通过标准金相学技术进行测量。将导线的横截面擦光,使用密度剖面功能(density profiling function)加上称为NIHIMAGE(1.61版)的计算机程序的帮助来测量纤维的体积分数,该计算机程序是由National Institutes of Health的Research Services Branch开发的一种公用的图像处理程序。该软件测量了导线的代表性区域的平均灰阶强度。

[0109] 将一截导线安放在装配树脂中(以“EPOXICURE”获自Buehler Inc., Lake Bluff, IL)。使用常规的磨光机/抛光机(获自Struers, West Lake, OH)和常规的金刚石浆对装好的导线进行磨光,在最后的磨光步骤中使用1微米的金刚石浆(以“DIAMOND SPRAY”商品获自Struers),得到导线的磨光的横截面。用扫描电子显微镜(SEM)在150倍数下拍摄磨光的导线横截面的显微照片。在拍摄SEM显微照片时,将图像的阈值调整到对所有纤维为零强度,生成二元图像。用NIH IMAGE软件对SEM显微照片进行分析,通过使二元图像的平均强度除以最大强度就得到了纤维的体积分数。该方法用于确定纤维体积分数的误差被认为是+/-2%。

[0110] 圆度值

[0111] 圆度值是表征该导线横截面形状接近圆形程度的量度,定义为指定长度上所测的单个圆度值的平均。用于计算平均值的单个圆度值如下使用旋转激光测微计(以“ODAC 30J ROTATING LASERMICROMETER”商品购自Zumbach Electronics Corp., Mount Kisco, NY 购得,软件:“USYS-100”,版本:BARU13A3)来测定,设定测微计使其记录在导线每旋转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。测微计将从每次180°旋转获得的数据报告发送到操作数据库中。该报告包含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。该导线的速度为1.5米/分钟(5英尺/分钟)。对于在旋转周期中收集的100个数据点,“单个圆度值”是最小直径和最大直径的比值。圆度值则为在指定长度上所测的单个圆度值的平均值。单个平均直径为100个数据点的平均值。

[0112] 圆度均匀度值

[0113] 圆度均匀度值,是在指定长度上所测的单个圆度值的差异系数,是所测单个圆度值的标准偏差除以所测单个圆度值的平均值所得的比值。该标准偏差根据以下方程确定:

[0114]

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

[0115] 其中:n是抽样总体的数目(即为了计算用于确定直径均匀度值所测的单个圆度值的标准偏差,n为在指定长度上所测圆度值的数目),x是抽样总体的测量值(即为了计算用于确定直径均匀度值所测的单个圆度值的标准偏差,x为在指定长度上所测的单个圆度值)。用于确定平均值所测的单个圆度值可由如上所述的圆度值测量的方法得到。

[0116] 直径均匀度值

[0117] 直径均匀度值,是在指定长度上所测的单个平均直径的差异系数,其定义为所测单个平均直径的标准偏差除以所测单个平均直径的平均值所得的比值。所测单个平均直径是用如上所述的用于圆度值的方法获得的100个数据点的平均值。标准偏差采用方程(1)计算而得。

[0118] 实施例 1

[0119] 使用 34 束 1500 但尼尔的“NEXTEL 610”氧化铝陶瓷纤维制备铝基体复合导线。每束都包含约 420 根纤维。该纤维的横截面基本呈圆形,其平均直径范围为约 11 ~ 13 微米。纤维的平均抗张强度(如上所测的)范围为 2.76 ~ 3.58GPa(400 ~ 520ksi)。单个纤维的强度为 2.06 ~ 4.82GPa(300 ~ 700ksi)。纤维(多束的形式)通过熔体表面被送入铝的熔融浴中,以水平方向通过 2 个石墨辊的下面,然后以 45° 角通过熔体表面离开熔体,此处放置了一个模体,然后被送到卷绕卷轴(例如如美国专利 6,336,495(McCullough 等)中所述的,图 1)。在氧化铝炉缸中将铝(> 99.95% 铝,获自 Belmont Metals, New York, NY)熔融,该炉缸尺寸为 24.1 厘米 × 31.3 厘米 × 31.8 厘米(9.5" × 12.5" × 12.5")(获自 Vesuvius McDaniel, Beaver Falls, Pa)。熔融铝的温度约为 720℃。将含 95% 铈和 5% 钼的合金(获自 PMTI Inc., Large, PA)制成圆筒状,其尺寸为 12.7 厘米(5 英寸)长 × 2.5 厘米(1 英寸)直径。该圆筒被用作超声波杆执行器,通过将其调到所需的振动(即通过改变其长度来调节),振动频率为 20.06 ~ 20.4kHz。该执行器的振幅大于 0.002 厘米(0.0008 英寸)。执行器的顶端平行引到辊之间的纤维,使得其间距离为 < 2.54 毫米(< 0.1 英寸)。该执行器与钛波导相连接,钛波导又连接到超声波换能器上。然后将基体金属渗透到纤维中形成具有相对均匀的横截面和直径的导线。由该方法制备的导线的直径为 2.06 毫米(0.081 英寸)。

[0120] 位于出口侧的模体是由氮化硼制成的,其相对熔体表面倾斜 45° 角,包含一个内径适合导入一内径为 0.05 厘米(0.08 英寸)的氧化铝导丝器的孔。该导丝器使用氧化铝糊粘帖到位。一旦离开该模,就使用氮气对导线进行冷却,以防止在该工艺中将导线和纤维拉出的橡胶驱动辊的损坏和燃烧。然后将导线在带凸缘的木质卷轴上卷绕起来。

[0121] 根据横截面的显微照片(200 倍的放大率)估算的纤维的体积百分比约为 45 体积%。

[0122] 导线的抗张强度为 1.03 ~ 1.31GPa(150 ~ 190ksi)。

[0123] 室温下的拉伸率约为 0.7 ~ 0.8%。拉伸率是在抗张实验中由伸长计测量的。

[0124] 铝复合导线(ACW)被作为用于依照本发明的方法包覆的芯线 26(参见图 1 和 2)。其提供在 36 英寸 OD、30 英寸 ID 和 3 英寸宽的卷轴上,该卷轴置于一松卷系统中。使用制动系统(breaking system)将 ACW 26 的张力保持最小值,使得其张力刚好能够防止铝复合导线的卷轴不会开卷。待包覆的 ACW 26 在穿过包覆机 30 并连接到出口侧的卷绕辊之前不经过表面清洁和预加热。

[0125] 包覆机(Model 350;可获自 BWE Ltd, Ashford, England, UK, 商品名“CONKLAD”)以切线模式运行(参见图 2),其是指产品中心线(例如 MCCW 20)与挤出轮 34 呈切线方式运行。在操作中,参见图 2,将铝进料 28(EC137050;9.5 毫米直径的标准杆,可获自 Pechiney, France)从两个松卷辊(未示出)上松开,进入旋转挤出轮 34 的外围凹槽 42,该挤出轮为双凹槽标准无轴轮。使用标准的标准轨道(parabolic)清洗系统(由 BWE Ltd. 开发)对进料铝 28 进行表面清洁,以在使用前去除表面的氧化物、膜、油污、油脂或任何形式的粘性表面污染物。

[0126] ACW 26 在滑块 32 的入口模 38 处被引入包覆机 30。ACW 26 直接穿过挤压装置(滑块 32)和出口挤压模 40(另外,参见图 3)。模腔 36 为 BWE 型 32(可获自 BWE Ltd, Ashford,

England,UK)。两个铝进料杆在芯线 26 的两侧进入模腔 36 中,使压力和金属流量相同。加热模腔 36 控制铝的温度为约 500℃。挤出轮 36 的运动和加热都由模腔 36 提供,用塑化铝 28 填充模腔 36。铝 28 塑性环绕 ACW 26 流动,并流出出口模 40。出口模 40 比 ACW 26 更大,其内径为 3.45 毫米,以适应包覆层的厚度。

[0127] 调节挤压轮 36 的速度,直到铝环绕 ACW 26 从出口模 40 挤出,腔室内压力足以造成包覆层 22 和 ACW 26 之间的一些局部结合。此外,挤出的铝 28 将芯线 26 拉出通过出口模 40,这样收集 MCCW 20 产品的卷绕辊不需要使用张力。产品离开机器的线速度约为 50m/min。在离开机器之后,导线穿过水槽进行冷却,然后被缠绕到卷绕辊上。这样一个包覆的 ACW 样品就制备完成了(304 米(1000 英尺)长),其包覆壁厚为 0.7 毫米。

[0128] MCCW 20 包含标称 2.05 毫米(0.081 英寸)直径的 ACW 26 和铝包覆层 22,产生的 MCCW 20 的直径为 3.5 毫米(0.140 英寸)。不规则形状的 ACW 26 在包覆层 22 中得到了补偿,产生了非常圆的产品。MCCW 20 中的面积分数为 33% ACW 和 67% 铝包覆层。已知 ACW 26 中的纤维体积分数为 45%,则 MCCW 20 中的净纤维体积分数为约 15%。

[0129] 使用上述的导线抗张强度测试,实施例 1 中所制备的导线的测试如下(3.8 厘米(1.5 英寸计量长度)):

[0130]

实施例 1 的 MCCW20	实施例 1 的 ACW26
负载 = 5080±53N(1142±27lbs) (COV = 2.4%) 应变 = 0.87±0.04% 模量 = 97.9GPa(14.2±1.7Msi) 强度 = 515MPa(74.7±1.8ksi) 10 次测试	负载 = 4199±151N(944±34lbs) (COV = 3.6%) 应变 = 0.75±0.05% 模量 = 数据不可得 强度 = 1260MPa(183±7ksi) 10 次测试

[0131] 实施例 1 的 MCCW 20 经过测试测量其沿导线轴的热膨胀系数(CTE)。其结果如图 8 中示出的 CTE 相对于温度的图线。在温度为 -75℃~+500℃的范围内 CTE 的范围为~14~19ppm/℃。

[0132] 还对实施例 1 的 MCCW 20 测量了导线的圆度值、圆度均匀度值和直径均匀度值。

[0133] 平均直径 = 3.57 毫米(0.141 英寸)

[0134] 直径均匀度值 = 0.12%

[0135] 导线圆度值 = 0.9926

[0136] 圆度均匀度值 = 0.29%

[0137] 导线长度 = 130 米(427 英尺)

[0138] 实施例 2

[0139] 实施例 2 的制备方法与实施例 1 中所述类似,除了该芯线 26 在进入入口导模 38 之前使用感应加热将其加热到 300℃(表面芯线温度)。这样形成了 304 米(1000 英尺)长度和 0.70 毫米(0.03 英寸)的包覆层壁厚的包覆导线(MCCW 20)。

[0140] 使用如上所述的导线抗张强度测试,测试在实施例 2 中制造的包覆导线(MCCW 20)。(63.5cm(25 英寸计量长度))

[0141]

实施例 2 的 MCCW20	实施例 2 的 ACW26
负载 = $4888 \pm 107\text{N}$ ($1099 \pm 24\text{lbs}$) (COV = 2.2%)	负载 = $4066 \pm 147\text{N}$ ($914 \pm 33\text{lbs}$) (COV = 3.6%)
应变 = $0.78 \pm 0.03\%$	应变 = $0.66 \pm 0.05\%$
模量 = 108GPa ($15.6 \pm 1.8\text{Msi}$)	模量 = 223GPa ($32.3 \pm 1.5\text{Msi}$)
强度 = 499MPa ($72.4 \pm 1.6\text{ksi}$)	强度 = 1220MPa ($177 \pm 6\text{ksi}$)
10 次测试	10 次测试

[0142] 对实施例 2 的包覆导线 (MCCW 20) 进行分析, 确定铝包覆层的屈服强度。图 9 中示出了实施例 2 的包覆导线的应力 - 应变行为的曲线图。在 $0.04 \sim 0.06\%$ 应变范围处斜率存在变化, 这与铝包覆层的屈服度有关。芯线本身并不会表现出该屈服性能。图 9 说明屈服的产生发生在 0.042% 应变时。因此屈服强度为模量与屈服应变的乘积。纯铝的抗张模量为 69GPa (10ksi)。因此计算的屈服应力为 29.0MPa (4.2ksi)。

[0143] 比较例 1

[0144] 使用上述的导线抗张强度测试对 AMC 芯线 26 (直径为 2.05 毫米 (0.081 英寸)) (由实施例 1 中所述制备的) 的断裂张力进行了测试。在测试后用目测观察记录断裂数。在计量长度等于或大于 380 毫米 (15 英寸) 的导线上观察到了多处断裂。对于直到 635 毫米 (25 英寸的) 计量长度, 其断裂数目通常为 $2 \sim 4$ 。使用高速摄影机 (以“KODAK”商品购自 Kodak, Rochester, NY (Kodak HRC 1000, 500 帧 / 秒; 放置与样品距离 61 厘米 (2 英尺))) 记录断裂机理。该视频显示了在每个导线中的断裂次序, 初次 (第一次) 断裂为张力性质, 所有之后的断裂 (即二次断裂) 表现为作为可操作机理之一的普通压缩弯折。其它断裂表面的断口显微观察 (SEM) 也证明了其它二次断裂机理为压缩微弯折。

[0145] 实施例 3

[0146] 对 AMC 芯线 26 (直径为 2.05 毫米 (0.081 英寸), 包覆有 0.7 毫米 (0.03 英寸) 的铝包覆层 22) (由实施例 1 中所述制备的) 的断裂张力进行了测试。该包覆导线 (MCCW 20) 为 635 毫米 (25 英寸) 的计量长度。在初次张力断裂 (断裂负载平均为 4900N) 之后该包覆导线没有表现出二次断裂。通过再次夹住断裂导线 (MCCW 20) 的较长线段并再次测试其承受拉力 (计量长度仍保持大于 38.1 厘米 (15 英寸)), 证明了没有二次断裂。再次测试时, 包覆导线 (MCCW 20) 表现出略高的断裂负载 ($\sim 5000\text{N}$)。该结果表明包覆导线内没有隐藏的二次断裂位置。负载 - 位移也明确显示了初次拉伸断裂发生时铝包覆层 22 的作用, 如图 10 中的曲线图所示。负载的急剧下降与 ACW 26 的初次断裂有关, 然而, 负载不会瞬间降低为零; 铝包覆层 22 承担了一部分的负载, 该包覆层伸长并抑制了瞬间反冲, 如图中箭头 90 的区域所示。

[0147] 弯曲保持测试

[0148] 弯曲保持测试表明了变形后的曲线保持的弯曲量。如果没有保持弯曲, 导线是完全弹性的。如果保持了一定量的弯曲, 该导线或该导线的至少一部分具有塑性变形因此保持了弯曲形状。弯曲保持测试通常在低于所测试导线的断裂强度的力和弯曲角度进行。

[0149] 用手将一定长度的 MCCW 20 (如上所述) 进行卷曲成圆环, 形成如图 11 中所示的

卷状样品 92。卷状样品 92 是封闭的圆环,其圆周的特定直径为约 20.3 厘米(8 英寸)~134.6 厘米(53 英寸)。

[0150] 对于每个卷状样品 92,测量了卷状样品 100 的弦长 L。测量了垂直于弦长 L 并从弦长 L 的中点到卷状样品 92 的边缘的线段长度 y。根据方程 2 计算每个样品的初始弯曲半径 $R_{initial}$,其中 $x = 1/2L$ 。

[0151]
$$\frac{y^2 + x^2}{2y} = R \tag{2}$$

[0152] 下表 1 中给出了实施例 4-13 中的 L、y 和 $R_{initial}$ 。

[0153] 表 1

[0154]

实施例	L 厘米 (英寸)	y 厘米 (英寸)	$R_{initial}$ 厘米 (英寸)
4	91.29 (35.94)	42.62 (16.78)	45.75 (18.01)
5	78.11 (30.75)	52.07 (20.50)	40.69 (16.02)
6	29.85 (11.75)	4.67 (1.84)	26.16 (10.30)
7	114.63 (45.13)	32.39 (12.75)	66.90 (26.34)
8	18.77 (7.39)	3.96 (1.56)	13.11 (5.16)
9	44.58 (17.55)	12.29 (4.84)	26.34 (10.37)
10	69.85 (27.50)	31.75 (12.50)	35.08 (13.81)
11	13.03 (5.13)	2.46 (0.97)	9.86 (3.88)
12	42.14 (16.59)	12.55 (4.94)	23.95 (9.43)
13	28.91 (11.38)	11.40 (4.49)	14.86 (5.85)

[0155] 然后松开卷状样品 92 的末端,使该包覆导线 (MCCW 20) 松弛到最终曲线形式。在该松弛导线上测量 Y' 和 L' ,计算最终的弯曲半径 R_{final} 。下表 2 中示出了不同实施例的结果。

[0156] 表 2

[0157]

实施例	L' 厘米 (英寸)	Y' 厘米 (英寸)	R _{final} 厘米 (英寸)
4	124.46 (49.00)	26.19 (10.31)	87.04 (34.27)
5	126.52 (49.81)	23.98 (9.44)	95.43 (37.57)
6	88.27 (34.75)	23.29 (9.17)	53.47 (21.05)
7	116.21 (45.75)	31.70 (12.48)	69.09 (27.20)
8	48.90 (19.25)	10.01 (3.94)	32.33 (12.73)
9	85.73 (33.75)	25.10 (9.88)	49.15 (19.35)
10	93.98 (37.00)	19.05 (7.50)	67.49 (26.57)
11	47.96 (18.88)	10.80 (4.25)	32.03 (12.61)
12	49.53 (19.50)	9.22 (3.63)	37.87 (14.91)
13	48.67 (19.16)	10.01 (3.94)	34.59 (13.62)

[0158] 图 12 中绘出了松弛半径与弯曲半径的关系。

[0159] 使用两种理论模型,即内径模型和塑性铰模型,来预测 MCCW 为保持 13.0 英寸 (33.0 厘米) 变形 (set) 所需的包覆层厚度。下述计算方法确定了半径为 r 的芯线周围的包覆层所需的厚度 t, r 为保持 MCCW 最终的松弛弯曲半径 ρ 所需的。两种模型对于韧性金属在包覆层中的屈服方式不同。

[0160] 中心芯线的弯矩为：

$$[0161] \quad M_{bw} = \frac{EI_{zzw}}{\rho} \quad (3)$$

[0162] 固体圆形横截面积的面积矩 I_{zzw} 为：

$$[0163] \quad I_{zzw} = \frac{\pi r^4}{4} \quad (4)$$

[0164] 其中 r 为芯线的半径, E 为芯线的弹性模量, ρ 为 MCCW 的弯曲半径。

[0165] 内径模型预测导线的平衡状态发生在包覆层材料中包覆层内边处的张力等于包覆材料的屈服强度时。即 $\sigma_x = Y$, 其中 σ_x 为包覆材料中的张力, Y 为包覆材料的屈服强度。

[0166] 导线在该状态下的弯矩 M_L 为：

$$[0167] \quad M_L = -\frac{\sigma_x I_{zzc}}{r} \quad (5)$$

[0168] 包覆层的圆环面积矩 I_{zzc} 定义为：

$$[0169] \quad I_{zc} = \frac{\pi \left((r+t)^4 - r^4 \right)}{4} \quad (6)$$

[0170] 第二种模型, 塑性铰模型使用如下方程:

[0171] 平衡状态下的弯矩 M_p 定义为:

$$[0172] \quad M_p = \frac{\sigma_x I_{zp}}{(r+t)} \quad (7)$$

[0173] 塑性铰模型的面积矩 I_{zp} 为:

$$[0174] \quad I_{zp} = \frac{\pi \left((r+t)^4 - r^4 \right)}{2} \quad (8)$$

[0175] 导线的松弛最终状态确定在芯线的弯矩与 MCCW 的弯曲屈服力矩相等处。

[0176] 对于内径模型, 其发生在:

$$[0177] \quad M_{bw} = M_L \quad (9)$$

[0178] 对于塑性铰模型, 其发生在:

$$[0179] \quad M_{bw} = M_p \quad (10)$$

[0180] 可通过求解方程 7 和 8, 得到包覆层厚度 t 作为芯线半径 r 、包覆层材料屈服强度 Y 、MCCW 的弯曲半径和芯线的弹性模量的函数。

[0181] 下述实施例中使用了下面的参数:

[0182] 芯线半径 $r = .040$ 英寸

[0183] 芯线弹性模量 $E = 24\text{MSI}$

[0184] MCCW 弯曲半径 $\rho = 13$ 英寸

[0185] 包覆层屈服应力 $\sigma_x = 9,000\text{ksi}$

[0186] 已知所测的导线的弯曲半径 (13.0 英寸, 33.0 厘米) 和包覆层材料的假定屈服强度 (9ksi) (62MPa), 计算出的包覆层厚度为:

[0187]	包覆层厚度	英寸 (厘米)
[0188]	计算值 (内径模型)	0.030 (0.076)
[0189]	计算值 (塑性铰模型)	0.027 (0.069)
[0190]	测量值	0.030 (0.076)

[0191] 不脱离本发明的范围和精神, 对本发明的不同改进和变化对于本领域的技术人员将变得显而易见, 应当理解为本发明不被在此提出的示例性实施方式不正当限定。

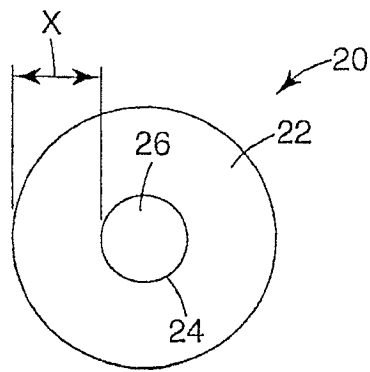


图 1

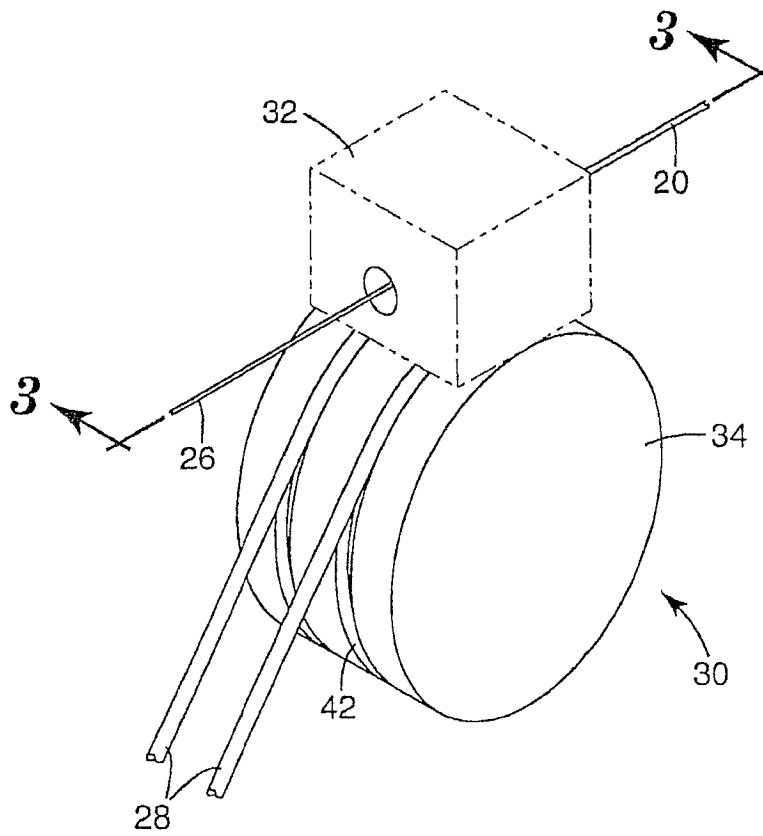


图 2

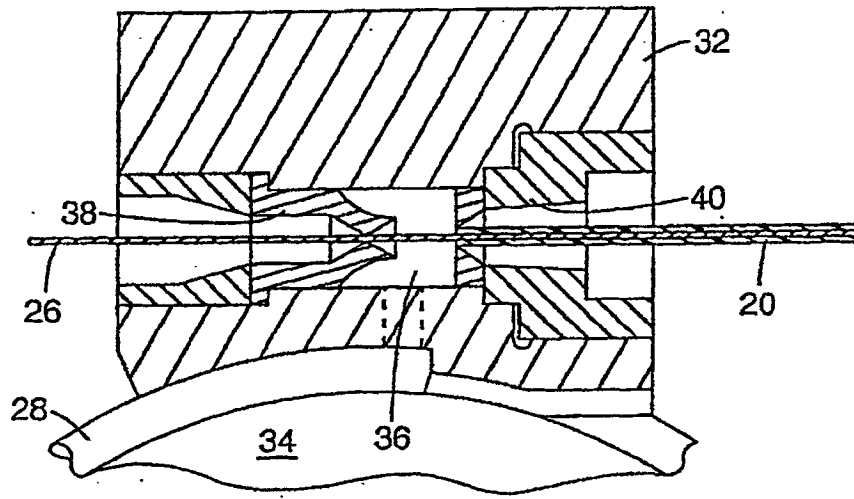


图 3

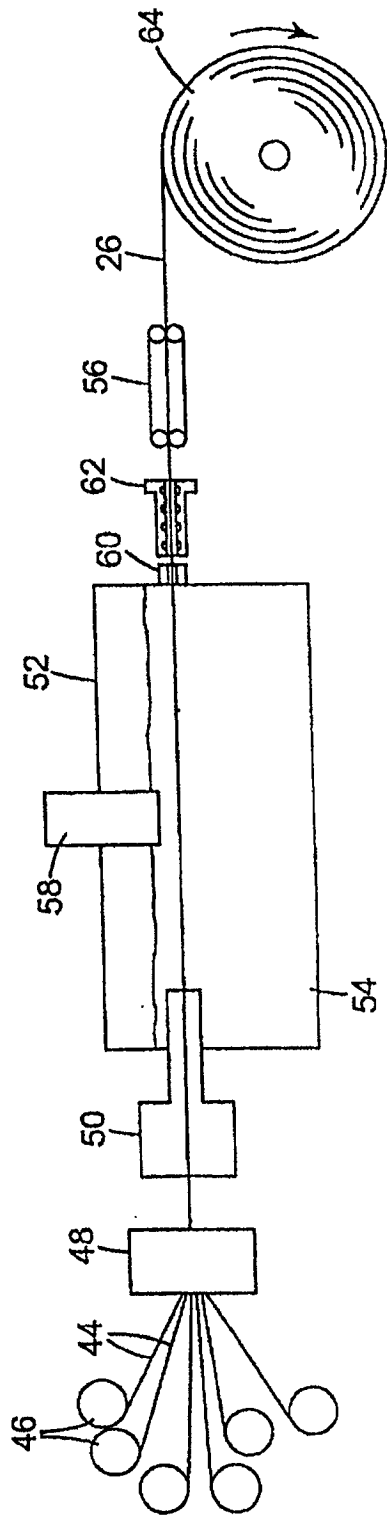


图 4

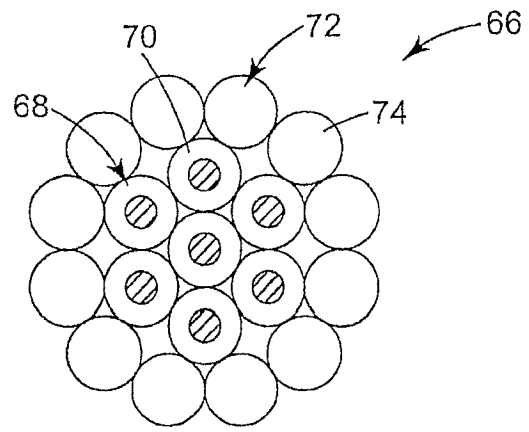


图 5

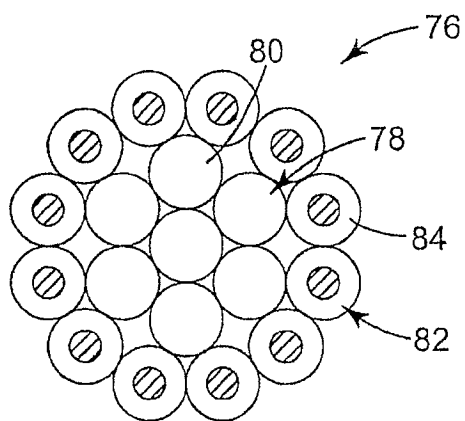


图 6

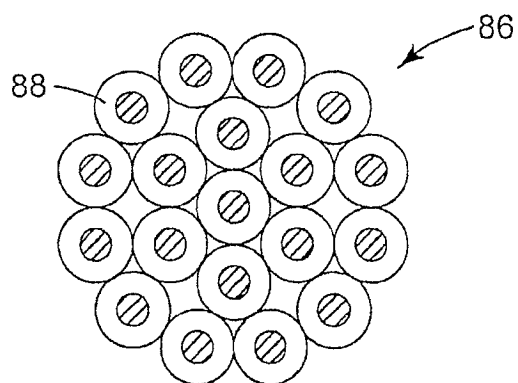


图 7

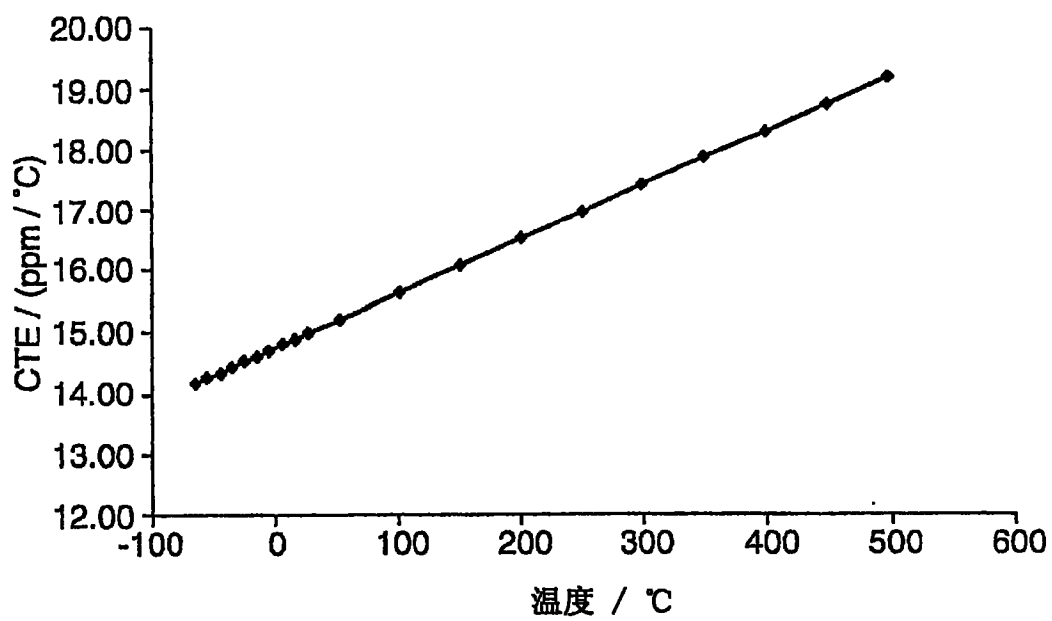


图 8

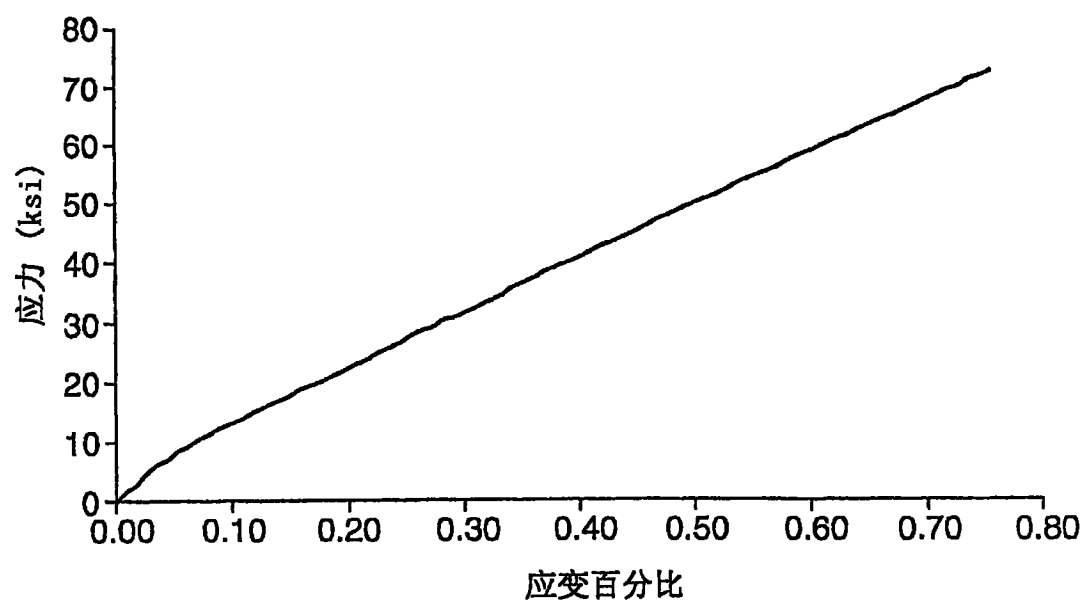


图 9

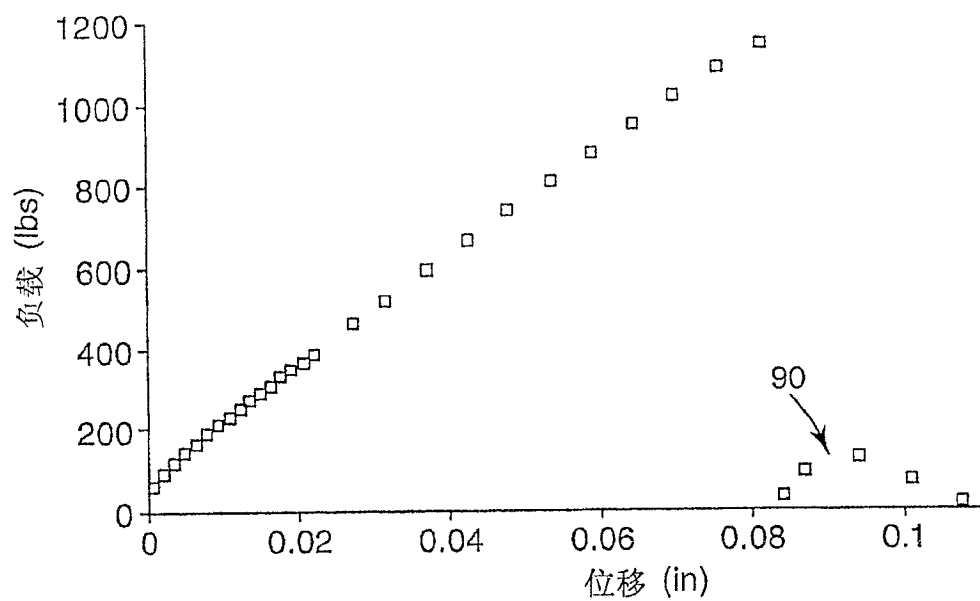


图 10

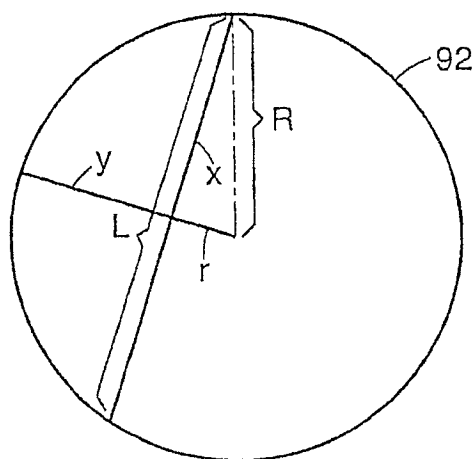


图 11

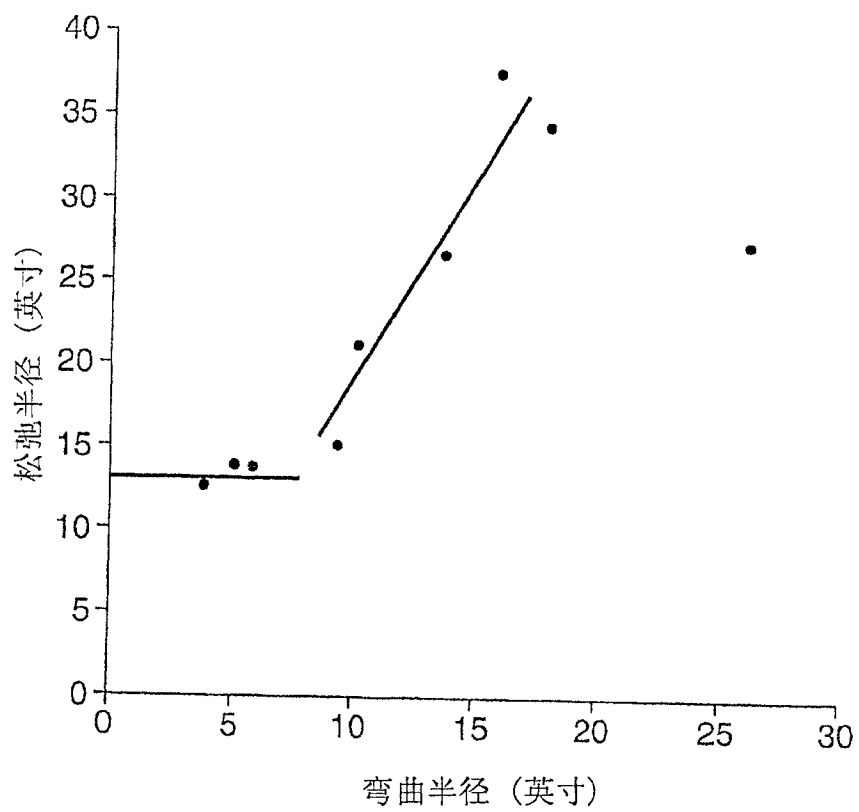


图 12