



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410044770.2

[45] 授权公告日 2007 年 12 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100358058C

[22] 申请日 2004.5.18

[21] 申请号 200410044770.2

[30] 优先权

[32] 2003.5.20 [33] DE [31] 10322625.7

[73] 专利权人 尼克桑斯公司

地址 法国巴黎

[72] 发明人 克劳斯·希普尔

[56] 参考文献

CN88101444A 1988.10.5

CN1388055A 2003.1.1

DE19724618A1 1998.12.17

GB1576798A 1980.10.15

US3668297A 1972.6.6

审查员 沈嘉琦

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 侯宇 陶凤波

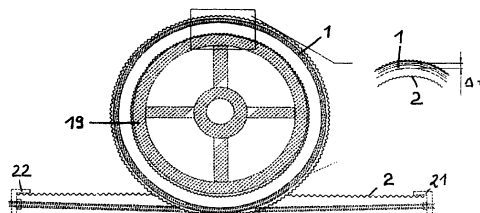
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

[54] 发明名称

制造超导电缆的方法

[57] 摘要

本发明公开了一种制造超导电缆的方法，该超导电缆由包含至少一纵向延伸的超导元件的一电缆芯以及包封该电缆芯的一可弯折的管组成，该方法包括如下步骤：a) 连续地从一个电缆芯存料库中抽拉出电缆芯，b) 连续地从一个带存料库中抽取出金属带，c) 连续地使该金属带围绕电缆芯成型为一槽管，焊接该槽管的纵向缝隙，随后将该焊接好的槽管制成波纹状，并且使该波纹管的内径大于电缆芯的外径，d) 将这个由电缆芯和波纹管构成的超导电缆缠绕在一电缆盘上或将该超导电缆绕成至少一匝圈，e) 最后，在电缆缠绕在电缆盘上或至少绕成一匝圈的情况下，将电缆芯的端部与所述波纹管的端部机械连接在一起。



1. 一种制造超导电缆的方法，该超导电缆由包含至少一纵向延伸的超导元件的一电缆芯以及包封该电缆芯的一可弯折的波纹管组成，该方法包括如下步骤：

- a) 连续地从一个电缆芯存料滚筒中抽拉出电缆芯，
- b) 连续地从一个金属带圈中抽取出金属带，
- c) 连续地使该金属带围绕电缆芯成型为一槽管，焊接该槽管的纵向缝隙，随后将该焊接好的槽管制成波纹状，并且使该波纹管的内径大于电缆芯的外径，以及所述电缆芯具有比所述波纹管更高的刚性，
- d) 将这个由电缆芯和波纹管构成的超导电缆缠绕在一电缆盘上并将该超导电缆绕成至少一匝圈，
- e) 最后，在电缆缠绕在电缆盘上并至少绕成一匝圈的情况下，将电缆芯的端部与所述波纹管的端部机械连接在一起。

2. 如权利要求1所述的方法，其特征在于，所述将金属带成型为槽管以及将该焊接好的金属槽管制成波纹状这样来进行，即，使得处于该金属波纹管中的电缆芯比该波纹管的长度长出一段 $\Delta L$ ，该超出长度 $\Delta L$ 按照公式 $\Delta L=(R-r)\pi\cdot 2a$ 来计算，其中， $R$ 表示该波纹管的内半径， $r$ 表示电缆芯的外半径， $a$ 表示线匝数。

3. 如权利要求2所述的方法，其特征在于，所述超出长度 $\Delta L$ 至少占到波纹管长度的0.25%。

4. 如权利要求1或2所述的方法，其特征在于，所述电缆芯包含有一高温超导体。

## 制造超导电缆的方法

### 技术领域

本发明涉及一种制造超导电缆的方法。

### 背景技术

德国电工杂志 ETZ-b, 1974 年第 26 卷第 215 页以下公开了一种柔性的大功率直流电压超导电缆。该电缆具有一种由稳定的  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  制成的带状超导体, 该超导体被一种所谓的“低温外套(Cryogenic envelope)”包绕。

所述超导体有空心并且在运行过程被液态氮流过。在“低温外套”与超导体之间有一个作为回管(Rückleiter)同样被液态或气态氮流过的通道。

所述“低温外套”由多个相互间隔设置的金属波纹管组成, 在它们之间存在着真空和一所谓的“超级绝缘(Superisolierung)”。

这样一种电缆可通过连续工作方式被制成长达 200 米。由两个这样的单芯电缆组成的电缆系统具有 5GW 的最大传输功率。

在 1999 年春季出版的“Epri Journal”杂志中公开了一种超导电缆。其中, 围绕一个内部有液态氮流过的支撑管缠绕有许多由一种所谓的第二代超导材料制成的材料带。这种现代化的超导体由一种柔性的金属带和涂敷在其上的一种钇-钡-氧化铜复合物组成。

在所述超导材料带上套有一个金属波纹管。在该金属波纹管上缠绕有很多层的热绝缘皮。该绝热材料层外又套有另一金属波纹管, 其中, 在该绝热材料层上还设有由聚四氟乙烯制成的间隔保持件。在该第二金属波纹管外有一固态的电介质以及一外部电屏蔽件。

上述两种电缆类型的共同点是, 所述超导体以及包绕它的电缆元件在工作状态, 亦即在液态氮或液氮的温度下相对于处于环境温度下的外部电缆元件缩短了。为避免这种缩短现象, 人们在电缆的两端设置了一些可将各电缆元件传力地相互连接起来并因此避免内部电缆元件相对于外部电缆元件缩短的机构。

## 发明内容

基于上述现有技术，本发明要解决的技术问题在于提供一种制造超导电缆的方法。该方法可确保在制造时就避免了电缆芯因温度下降相对于处于外界温度下的外部电缆元件发生收缩。

上述技术问题通过这样一种制造超导电缆的方法来解决，该超导电缆由包含至少一纵向延伸的超导元件的一电缆芯以及包封该电缆芯的一可弯折的管组成，该方法包括如下步骤：

- a) 连续地从一个电缆芯存料库中抽拉出电缆芯，
- b) 连续地从一个带存料库中抽取出金属带，
- c) 连续地使该金属带围绕电缆芯成型为一槽管，焊接该槽管的纵向缝隙，随后将该焊接好的槽管制成波纹状，并且使该波纹管的内径大于电缆芯的外径，以及所述电缆芯具有比所述波纹管更高的刚性，
- d) 将这个由电缆芯和波纹管构成的超导电缆缠绕在一电缆盘上或将该超导电缆绕成至少一匝圈，
- e) 最后，在电缆缠绕在电缆盘上或至少绕成一匝圈的情况下，将电缆芯的端部与所述波纹管的端部机械连接在一起。

由于所述电缆芯基于其构造有一个相对于所述波纹管明显更高的刚性，所述电缆芯抵靠在位于其外部的所述波纹管的内壁上。也就是说，所述电缆芯致力于尽可能大地具有匝圈的直径。由于按照本发明的波纹管的内径大于电缆芯的外径，所述位于波纹管内的电缆芯的长度大于所述波纹管以其中心线来定义的长度。当所述超导电缆缠绕在电缆盘上时，如果现在将所述电缆芯的两端与所述波纹管的两端连接起来，所述位于波纹管内的电缆芯会超长一些(亦即相对于波纹管有一超出长度)。如果现在将所述超导电缆从电缆盘上卷放下来，要么是所述波纹管会伸长与所述超出长度相对应的一段长度，要么是所述电缆芯会呈波纹状地、间隔地抵靠在所述波纹管的内壁上。但在超导电缆工作时，亦即在液氮的温度下，所述波纹管的伸长或电缆芯的波纹形状都得以避免。

## 附图说明

下面借助于一些附图简略示出的实施方式对本发明予以详细说明。附图中：

- 图 1 是按照本发明方法制造出的一超导电缆的纵向剖面图；  
图 2 是用于制造超导电缆的制造设备的侧视图；  
图 3 是一个缠绕有金属波纹管的电缆盘的剖视图。

### 具体实施方式

图 1 所示电缆具有一电缆芯 1, 该电缆芯以图中未详细示出的方式由一内部支撑管、一层或多层缠绕在该支撑管上的高温超导材料以及一敷设在所述高温超导材料层上的电介质组成。所述电介质必须耐低温, 它例如由玻璃纤维织物、云母带制成或者也可由聚四氟乙烯制成。

所述电缆芯 1 位于一所谓的“低温外套(Cryogenic envelope)”中。该低温外套由一个内波纹管 2 以及一个位于外部、与该内波纹管 2 间隔设置的外波纹管 3 构成。

在所述内波纹管 2 上缠绕有一种薄膜 4。该薄膜是一种在其两侧蒸镀有铝的塑料膜。在该薄膜层 4 上缠绕有一种间隔保持件 5。它比较有利地由多股象辫子那样交织地编在一起的由塑料、玻璃纤维或一种陶瓷材料制成的条带组成。

在所述间隔保持件 5 上有一种所谓的超级绝缘层 6。它通过金属薄膜或镀有金属的塑料薄膜和由塑料无纺布或基于玻璃纤维或陶瓷材料的无纺布制成的薄膜交替层叠而构成。

关于“低温外套(Cryogenic envelope)”的构造可详细参见欧洲专利申请 EP-0326923B1 中的内容。

在超导电缆工作前, 在波纹管 2 和 3 之间的环形空腔 7 被抽真空。

为了冷却超导电缆 1, 所述液氮被导引流过所述电缆芯的支撑管以及所述波纹管 2 的内腔。

在图 2 所示制造设备中, 一金属带 11 被连续地从一金属带圈 10 上绕放下来, 必要时在一个带清洁设备 12 中先行清洗, 然后在一个成型装置 13 中被逐渐地成型为一个带有纵向缝隙的槽管。

所述电缆芯 14 同样被连续地从一存料滚筒 15 上绕放抽拉下来, 然后被送入尚未闭合的槽管中。

所述纵向缝隙然后在一个焊接工位 16 上被焊接封闭。所述完成焊接的在其内部带有电缆芯 14 的管子借助一传送带装置 17 被输送给一个波纹成

型装置 18。

在该波纹成型装置 18 中将所述纵向缝隙被焊接起来的管子成型为波纹状，最后将其缠绕在一个电缆盘 19 上。一种所谓的“舞蹈家”20 调节所述电缆盘 19 的缠绕速度。

在所述超导电缆达到所期望的制造长度后或者当电缆盘 19 缠满后，将电缆芯 14 的两端与所述波纹管 2 的两端传力连接起来。

由于所述电缆芯 14 明显比所述波纹管具有更强的刚性，所述电缆芯 14 抵靠在波纹管上，更确切地说抵靠在呈卷绕状的波纹管的更大半径位置上。所述位于波纹管中的电缆芯 14 因此比波纹管更长。

在下一个工序中，在一个同样类型的制造设备中将图 1 中所示的元件（金属薄膜 4、间隔保持件 5、超级绝缘层 6 以及外波纹管 3）敷设在上述波纹管 2 上。

在图 3 所示的电缆盘 19 上缠绕有如图 1 所示的内金属波纹管 2，该内波纹管 2 带有处于其内部的如图 1 所示的电缆芯 1 或如图 2 所示的电缆芯 14。从图 3 中可清楚地看出，所述具有抗弯刚性的电缆芯 1 抵靠在波纹管 2 朝向外方的内壁面上并因此比该波纹管 2 更长地位于该波纹管 2 中。

所述长度差  $\Delta L$  (即超出长度) 按照下列公式来求出：

$$\Delta l = \Delta r \times \pi \times 2 \times a$$

其中， $\Delta r$  是缠绕在电缆盘上的超导电缆的波纹管 2 的内半径  $R$  与电缆芯的外半径  $r$  的差值， $a$  则是所述电缆盘上的匝圈数。

当波纹管的内径为 60mm，电缆芯的外径为 50mm 且电缆盘芯的直径为 3000mm 时，每一匝圈电缆芯就会比波纹管超出 3cm。一个匝圈的波纹管的总长为 9.4m。所述电缆芯因此比波纹管超长 0.3%。这样一来，所述电缆芯在冷却到液氮温度时所发生的比 0.3% 更小的收缩可轻易地得到补偿。

在图 3 中示出一段缠绕在一个电缆盘 19 上的电缆。从中可清楚地看出，所述电缆芯 1 基于其较强的抗弯刚性抵靠在波纹管 2 的朝向外侧的内壁上。

在缠绕状态下，所述电缆芯 1 和波纹管 2 在其两端相互传力地连接在一起，如附图标记 21 和 22 所示那样。

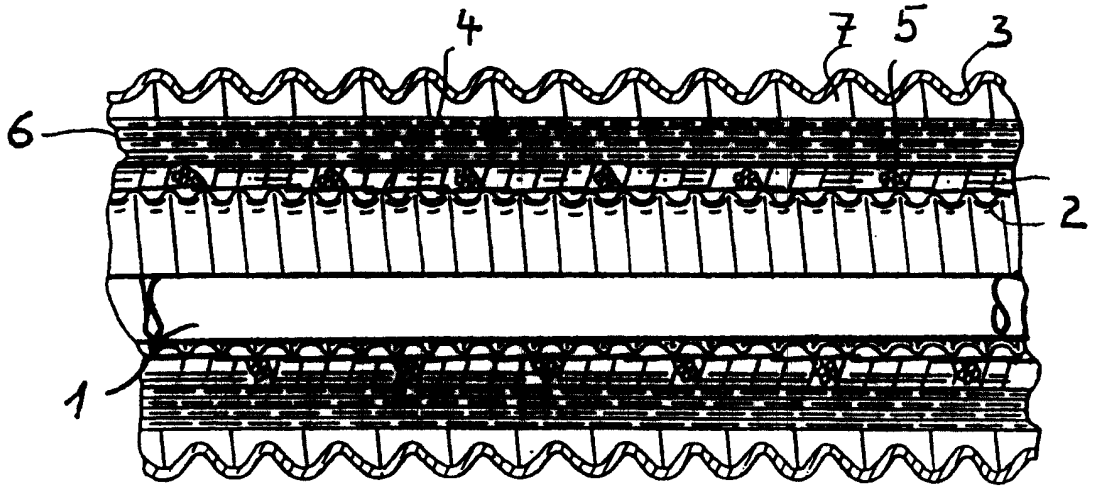


图 1

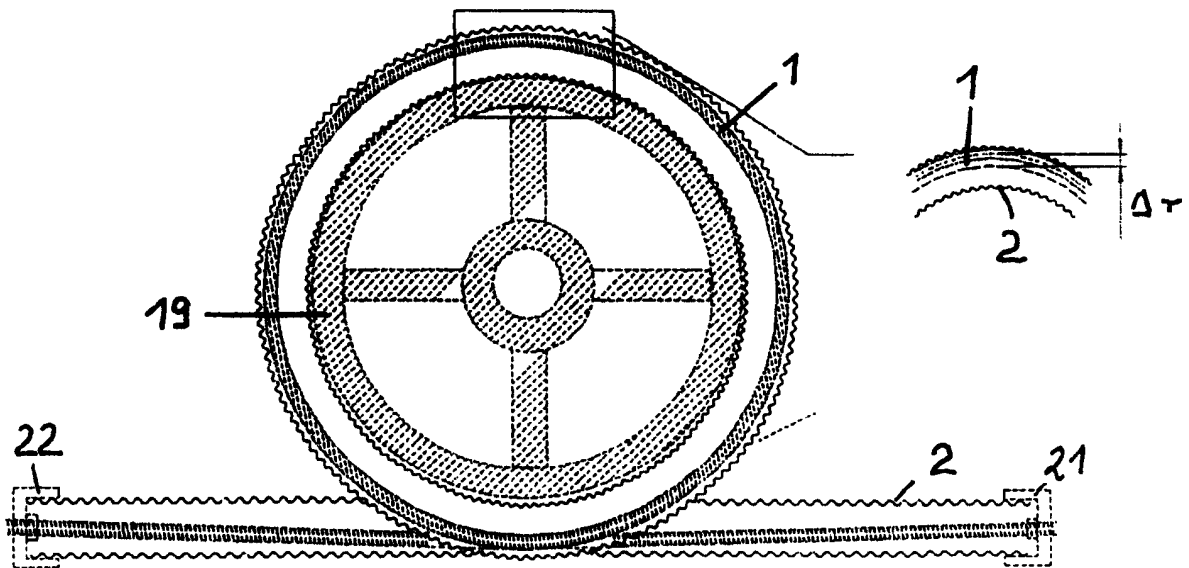


图 3

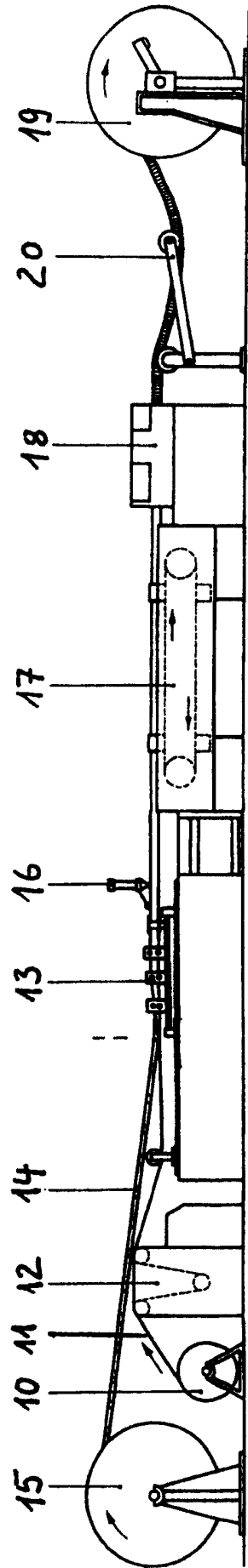


图 2