



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114709011 A

(43) 申请公布日 2022.07.05

(21) 申请号 202210435023.X

(22) 申请日 2022.04.24

(71) 申请人 住井科技(深圳)有限公司

地址 518000 广东省深圳市福田区沙头街
道天安社区深南大道6009号NEO绿景
广场C座29E

(72) 发明人 尹勇 高翔

(74) 专利代理机构 上海瀚桥专利代理事务所

(普通合伙) 31261

专利代理师 曹芳玲 牛彦存

(51) Int. Cl.

H01B 7/02 (2006.01)

H01B 7/17 (2006.01)

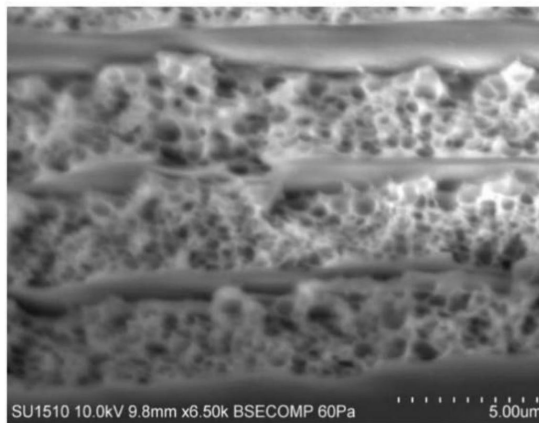
权利要求书1页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

绝缘电线

(57) 摘要

本发明公开一种绝缘电线。所述绝缘电线包括导体和积层于该导体外周面的分层绝缘膜,所述分层绝缘膜具有膜内分层的、相互交错层叠配置且层与层之间大致平行的气孔层和皮肤层。



1. 一种绝缘电线,其特征在於,所述绝缘电线包括导体和积层于该导体外周面的分层绝缘膜,所述分层绝缘膜具有膜内分层的、相互交错层叠配置且层与层之间大致平行的气孔层和皮肤层。

2. 根据权利要求1所述的绝缘电线,其特征在於,所述气孔层的气孔尺寸为 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 。

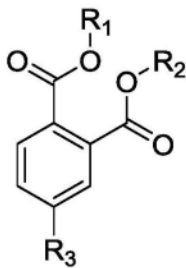
3. 根据权利要求2所述的绝缘电线,其特征在於,所述绝缘电线还包括设置于所述导体和分层绝缘膜之间的第一致密绝缘膜;更优选地,所述绝缘电线还包括设置在背离第一致密绝缘膜方向的、位于分层绝缘膜外表面的第二致密绝缘膜。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的绝缘电线,其特征在於,所述分层绝缘膜的平均厚度为 $50\sim 300\mu\text{m}$ 。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的绝缘电线,其特征在於,所述分层绝缘膜的气孔层和皮肤层的厚度比例为 $300:1\sim 2:1$ 。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的绝缘电线,其特征在於,所述绝缘电线的孔隙率为 $10\sim 60\%$ 。

7. 根据权利要求1至6中任一项所述的绝缘电线,其特征在於,形成所述分层绝缘膜的绝缘清漆包括基底清漆和作为相分离剂的化学式I所示的酯化合物;



化学式 I

其中, R_1 和 R_2 选自 C_mH_n , m 选自 $1\sim 9$ 的任意自然数, n 选自 $3\sim 19$ 的任意自然数; R_3 选自H、 R_1OCO 、 R_2OCO 中的一种; R_1 和 R_2 可以相同也可以不同。

8. 根据权利要求7所述的绝缘清漆,其特征在於, $n=2m+1$ 或者 $n=2m-1$ 。

9. 根据权利要求7或8所述的绝缘清漆,其特征在於,所述酯化合物占基底清漆的 $1\sim 50\text{wt}\%$ 。

10. 根据权利要求1至9中任一项所述的绝缘电线,其特征在於,所述绝缘电线的单位膜厚的绝缘破坏电压为 $200\text{V}/\mu\text{m}$ 以上。

绝缘电线

技术领域

[0001] 本发明属于电机领域,特别涉及一种绝缘电线。

背景技术

[0002] 现有的绝缘电线为了确保皮膜韧性和保证绝缘性(绝缘破坏电压),选择将含有气孔的绝缘膜、不含气孔的绝缘膜、含有气孔的绝缘膜、不含气孔的绝缘膜……依次涂布在导体上。但是这样存在的问题是:①涂布非常薄的不含气孔的绝缘膜于制造工艺而言非常困难。绝缘电线使用称为模具的夹具来涂布绝缘膜。模具相对于入线直径有几十微米的间隔(间隙),因此清漆被捋掉而涂布一定厚度,而后通过烘烤形成绝缘膜。涂布薄膜意味着这个间隙变窄。如果该间隙过于狭窄,那么如果入线直径稍微变粗,或入线角度偏离,则线容易被模具卡住而损坏下层,或者最坏的情况会产生断线,所以非常困难。②上述膜间交错涂布会使得含有气孔的绝缘膜与不含气孔的绝缘膜形成明显的分隔,彼此的贴合非常脆弱,这导致绝缘电线在马达加工的环境下,会由于层间粘接力弱产生皮膜剥离,进一步引起性能劣化。

发明内容

[0003] 针对上述问题,本发明提供一种绝缘电线。所述绝缘电线包括导体和积层于该导体外周面的分层绝缘膜,所述分层绝缘膜具有膜内分层的、相互交错层叠配置且层与层之间大致平行的气孔层和皮肤层。

[0004] 较佳地,所述气孔层的气孔尺寸为 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 。

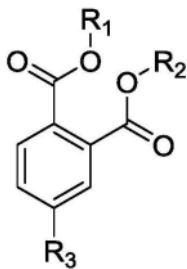
[0005] 较佳地,所述绝缘电线还包括设置于所述导体和分层绝缘膜之间的第一致密绝缘膜;更优选地,所述绝缘电线还包括设置在背离第一致密绝缘膜方向的、位于分层绝缘膜外表面的第二致密绝缘膜。

[0006] 较佳地,所述分层绝缘膜的平均厚度为 $50\sim 300\mu\text{m}$ 。

[0007] 较佳地,所述分层绝缘膜的气孔层和皮肤层的厚度比例为 $300:1\sim 2:1$ 。

[0008] 较佳地,所述绝缘电线的孔隙率为 $10\sim 60\%$ 。该孔隙率指的是体积孔隙率。

[0009] 较佳地,形成所述分层绝缘膜的绝缘清漆包括基底清漆和作为相分离剂的化学式I所示的酯化合物;



化学式 I

[0010] 其中, R_1 和 R_2 选自 C_mH_n , m 选自 $1\sim 9$ 的任意自然数, n 选自 $3\sim 19$ 的任意自然数; R_3 选

自H、 R_1OCO 、 R_2OCO 中的一种； R_1 和 R_2 可以相同也可以不同。

[0011] 较佳地， $n=2m+1$ 或者 $n=2m-1$ 。

[0012] 较佳地，所述酯化合物占基底清漆的1~50wt%。

[0013] 较佳地，所述绝缘电线的单位膜厚的绝缘破坏电压为200V/ μm 以上。

附图说明

[0014] 图1是本发明绝缘电线的示例结构示意图。

[0015] 图2是本发明绝缘电线的分层绝缘膜的形貌图。

[0016] 图3是本发明绝缘电线的分层绝缘膜的SEM图。

[0017] 图4是本发明绝缘电线的分层绝缘膜的另一SEM图。

[0018] 图5是显示本发明绝缘电线的分层绝缘膜的气孔层和皮肤层没有界面的形貌图。

[0019] 图6是比较例7的绝缘电线的形貌图。

具体实施方式

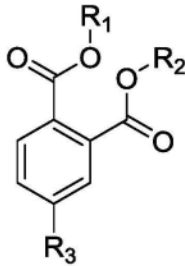
[0020] 通过下述实施方式进一步说明本发明，应理解，下述实施方式仅用于说明本发明，而非限制本发明。在没有特殊说明的情况下，各百分含量指质量百分含量。

[0021] 本公开示出的绝缘电线包括导体和积层于该导体外周面的分层绝缘膜，所述分层绝缘膜具有膜内分层的、相互交错层叠配置且层与层之间大致平行的气孔层和皮肤层。所述皮肤层(skin layer)的特点是不含气孔且与气孔层具有(大致)平行的特征。而且皮肤层与气孔层无明显的界面，即、形成不间断的一体化绝缘膜结构。所述气孔层具有蜂窝状的孔貌特征。一些技术方案中，所述气孔层的气孔尺寸为0.1~10 μm 。上述气孔层的厚度明显高于皮肤层的厚度。作为示例，所述分层绝缘膜的气孔层和皮肤层的厚度比例为300:1~2:1。

[0022] 区别于传统的膜间交错涂布会使得含有气孔的绝缘膜与不含气孔的绝缘膜形成明显的分隔，本发明集合气孔层和皮肤层于同一绝缘膜内部，其间不存在界面。从图5的SEM中可以看出气孔层和皮肤层是一体化的，在那里不存在界面。因此在绝缘电线的使用环境下，能防止电流不停歇地流通从而得到较高的绝缘破坏电压，皮肤层还可以发挥增强气孔层的作用从而大幅改善可挠性。

[0023] 本公开示出的绝缘电线通过使用相分离剂形成上述特殊的膜内分层结构。一些技术方案中，所添加的作为相分离剂的酯化合物在发生相分离之前皮膜表面的聚酰亚胺被酰亚胺化而被固定。表面未相分离而形成皮肤层后，通过在皮膜内部发生相分离而形成气孔，从而能制作这种结构的皮膜。

[0024] 所述分层绝缘膜使用的绝缘清漆包括基底清漆和作为相分离剂的化学式I所示的酯化合物。 R_1 和 R_2 选自 C_mH_n ， m 选自1~9的任意自然数， n 选自3~19的任意自然数； R_3 选自H、 R_1OCO 、 R_2OCO 中的一种； R_1 和 R_2 可以相同也可以不同。



化学式 I

[0025] 一些示例中, R_1 和 R_2 选自饱和烃(烷烃), R_3 选自 H。可以根据烘烤条件自由选择易于使用的具有烷烃官能团端基的酯化合物。例如, R_1 和 R_2 选自甲基、乙基、丁基、烯丙基、异丁基、正己基、2-乙基己基、正辛基、异壬基、壬基、异癸基、丁基苄基中的一种。一些实施方式中, R_1 和 R_2 为甲基, R_3 为 H。

[0026] 此时, 酯化合物可以使用邻苯二甲酸二甲酯(DMP, Dimethyl phthalate)、邻苯二甲酸二乙酯(DEP, Diethyl phthalate)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP, Dibutyl phthalate)、邻苯二甲酸二异壬酯(DINP, Diisononyl Phthalate)、邻苯二甲酸二辛酯(DOP, Di-n-octyl phthalate)中的至少一种。

[0027] 一些示例中, R_1 和 R_2 选自不饱和烃, R_3 选自 H。该不饱和烃可以是直链烯烃, 也可以是环烷烃。作为示例, 酯化合物可以使用邻苯二甲酸二环己酯(DCHP, Dicyclohexyl Phthalate)、邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP, Diallyl Phthalate)中的至少一种。

[0028] 一些示例中, R_1 和 R_2 选自 C_mH_n , m 选自 1~9 的任意自然数, n 选自 3~19 的任意自然数; R_3 选自 R_1OCO 、 R_2OCO 中的一种。优选地, R_1 和 R_2 相同。作为示例, 酯化合物可以使用偏苯三酸三-正丁基酯(TBT, Tributyl TriMellitate)、偏苯三酸三辛酯(TOTM, Trioctyl trimellitate)中的至少一种。

[0029] 现有技术提及使用聚丙二醇为相分离剂, 其与本发明中使用的相分离剂具有完全不同的化学结构。聚丙二醇容易导致绝缘皮膜的孔隙直径变大从而绝缘破坏电压变低。原因是: 聚丙二醇末端有羟基, 羟基与绝缘树脂例如聚酰亚胺的分子相容性较高, 因此相分离能力低。其结果是存在如下缺点: 不能制作致密的相分离结构, 结果使孔隙直径变大, 如平均气泡的孔径在 4~5 μ m 以上。此外为了制孔还需要引入如下复杂操作: 使添加了聚丙二醇的聚酰亚胺的溶剂干燥后, 于加压下注入二氧化碳而提取聚丙二醇。据推测, 这是因为无法通过加热使聚丙二醇热分解而除去。若使用本发明的酯化合物则可以实现低温热分解, 从而由于能容易地孔隙化而具备较高优越性。因此本发明无论是从相分离剂的种类, 还是孔隙直径, 亦或是工艺复杂度, 都在现有技术的基础上进行了优化。

[0030] 使用碳原子数目不同的上述结构的相分离剂, 对绝缘清漆制备的绝缘皮膜的孔隙率无较大影响。不过, 碳原子数目越大, 例如达到 10 以上时, 酯化合物的热分解温度和沸点变高, 酯化合物残留在绝缘树脂中的时间变长, 会导致气孔尺寸变大, 绝缘破坏电压相应变低。

[0031] 绝缘清漆在加热环境下, 随着溶剂因受热开始挥发而绝缘树脂的浓度变高, 树脂和酯化合物发生相分离, 变为微细化的酯化合物分散在树脂中的形态。之后, 通过树脂固化而使微细化的酯化合物固定化, 然后通过热分解而排出到树脂外, 从而形成气泡。

[0032] 所述酯化合物占基底清漆的 1~50wt%。如果酯化合物的含量过少, 则绝缘清漆形

成的绝缘皮膜的孔隙率降低,得不到低介电常数化的效果。相反,如果酯化合物的含量过多,则难以与绝缘树脂很好地混合,绝缘清漆本身变得浑浊而失去流动性,或制成的膜(film)容易变脆。优选地,酯化合物占基底清漆的5~20wt%。

[0033] 耐热强的热塑性树脂(超级工程塑料)一般难溶于溶剂而形成基底清漆。如果不是易溶于溶剂的树脂材料,就不能与上述的酯化合物形成很好的混合状态,达到良好的相容。基于该考虑,基底清漆中的绝缘树脂优选为热固性树脂。所述热固性树脂的种类不受限制,采用本领域常用的热固性树脂即可。一些技术方案中,所述热固性树脂包括但不限于聚酯酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰亚胺、聚苯并噁唑、聚苯并咪唑中的至少一种。实施例中使用聚酰胺酰亚胺(PAI)或者聚酰亚胺(PI)。

[0034] 以聚酰亚胺基底清漆为例,聚酰亚胺基底清漆包含聚酰亚胺前驱体和溶剂。所述溶剂没有特别限定,一般可为有机溶剂,例如可选自N,N-二甲基乙酰胺、N,N-二甲基甲酰胺、N-甲基吡咯烷酮、二甲苯中的至少一种。

[0035] 聚酰亚胺前驱体包括衍生自二胺和二酸酐单体并能够转化成聚酰亚胺的任何聚酰亚胺前体材料,例如聚酰胺酸等。

[0036] 二胺优选为芳族二胺,例如可举出苯二胺(PPD)、二氨基二苯醚(ODA)、4,4'-二氨基-2,2'-二甲基联苯、4,4'-二氨基-3,3'-二甲基联苯、双(4-氨基苯基)硫醚、3,3'-二氨基二苯砜、1,4-双(4-氨基苯氧基)苯、1,3-双(3-氨基苯氧基)苯、2,2-双[4-(4-氨基苯氧基)]苯基]六氟丙烷、2,2-双(4-氨基苯基)六氟丙烷、9,9-双(4-氨基苯基)芴、2,2-双[4-(4-氨基苯氧基)苯基]丙烷、4,4'-双(4-氨基苯氧基)联苯、1,3-双(4-氨基苯氧基)苯、2,2'-双(三氟甲基)联苯胺等。这些二胺可以单独使用一种,也可以两种或者两种以上混合使用。

[0037] 二酸酐优选为芳族二酸酐,例如可举出均苯四甲酸二酸酐(PMDA)、联苯四羧酸二酸酐(BPDA)、3,3',4,4'-二苯甲酮四羧酸二酸酐、双环[2.2.2]辛-7-烯-2,3,5,6-四羧酸二酸酐、1,2,3,4-环戊烷四羧酸二酸酐、1,2,3,4-环丁烷四羧酸二酸酐、1,2,4,5-环己烷四羧酸二酸酐、3,3',4,4'-二苯基砜四羧酸二酸酐、4,4'-(六氟异亚丙基)二邻苯二甲酸酐、4,4'-(4,4'-异亚丙基二苯氧基)二邻苯二甲酸酐、4,4'-氧二邻苯二甲酸酐、双(1,3-二氧代-1,3-二氢异苯并呋喃)5-羧酸)-1,4-亚苯基酯等。这些二酸酐可以单独使用一种,也可以两种或者两种以上混合使用。

[0038] 制备绝缘清漆时,可将相分离剂均匀分散在基底清漆中。将基底清漆与相分离剂混合均匀的方法可为通常的搅拌方法,例如机械搅拌。搅拌温度和搅拌时间可以根据实际需求进行选择。例如,搅拌温度可为20~40℃,搅拌时间可为1~2小时。一些技术方案中,还可以在绝缘清漆中进入二氧化硅等无机填料来增强耐电涌性。

[0039] 现有的马达用电绝缘性树脂片采用聚乙二醇、聚丙二醇等相分离剂,通过如下工序制造多孔质树脂层:将包括热塑性树脂、和与该热塑性树脂的固化剂发生相分离的相分离剂的热塑性树脂组合物涂布在基板上,使其干燥或者固化而制作具有微相分离结构的热塑性树脂片的工序;以及从热塑性树脂片去除相分离剂的工序。通常需要通过溶剂萃取等方式来去除相分离剂。例如采用液态二氧化碳、亚临界二氧化碳或超临界二氧化碳中的一种溶剂。本发明通过选择合适结构的相分离剂例如邻苯二甲酸酯,可在低温下热分解,所以无需“在加压下注入二氧化碳而提取相分离剂那样的繁琐操作”,即、仅通过加热就能容易地孔隙化。本发明仅需向清漆中添加相分离剂然后烧结这样非常简单的方法,即能获得具

有低介电常数(电容率)、高绝缘击穿电压、韧性优异的绝缘电线。

[0040] 作为优选的技术方案,所述绝缘电线还可以包括设置于所述导体和分层绝缘膜之间的第一致密绝缘膜。所述第一致密绝缘膜优选为不含气孔的无气孔层。作为更优选的技术方案,所述绝缘电线还包括设置在背离第一致密绝缘膜方向的、位于分层绝缘膜外表面的第二致密绝缘膜。所述第二致密绝缘膜优选为耐电涌层。制备耐电涌层用的清漆可为本领域常用的耐电涌清漆。

[0041] 在制作电线时,采用起到夹具作用的模具将清漆在导体表面进行涂装,然后在烘烤炉中进行烘烤。如需要制备多层绝缘膜时,重复多次涂装绝缘清漆的操作即可。

[0042] 本发明实施方式的绝缘电线可以卷绕成线圈。例如可以卷绕在芯(例如由磁性材料构成的芯)的外侧从而形成线圈。该线圈可用于制造电动机,例如EV、HEV用电动机等。

[0043] 下面进一步例举实施例以详细说明本发明。同样应理解,以下实施例只用于对本发明进行进一步说明,不能理解为对本发明保护范围的限制,本领域的技术人员根据本发明的上述内容作出的一些非本质的改进和调整均属于本发明的保护范围。下述示例具体的工艺参数等也仅是合适范围中的一个示例,即本领域技术人员可以通过本文的说明做合适的范围内选择,而并非要限定于下文示例的具体数值。

[0044] Ulmide-D28为住井工业制聚酰亚胺清漆,重均分子量为36000,固含量为26~28wt%。SSX-101、SSX-102和SSX-103为积水化学制PMMA粒子,区别仅在于PMMA粒子的粒径,这会影晌PMMA粒子造孔形成的气孔直径。清漆SURGETECT-D25为住井工业制耐电涌聚酰亚胺清漆,重均分子量为36000,固含量为24~26wt%,含有20phr的二氧化硅。

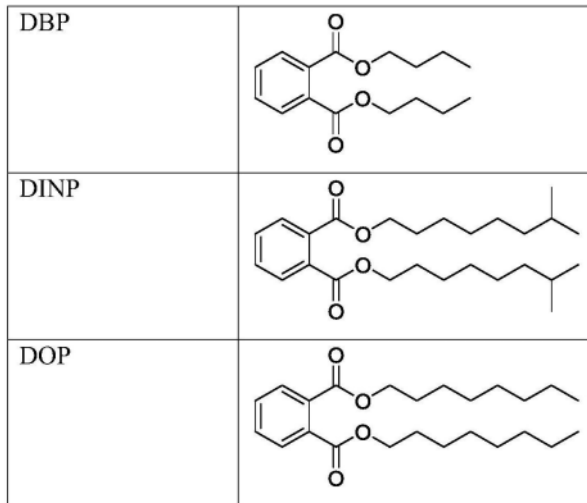
[0045] 实施例1-12的分层绝缘膜用绝缘清漆的制备。在Ulmide-D28中添加各种相分离剂,搅拌1小时后,加入NMP搅拌1小时,制成绝缘清漆。绝缘清漆的组成见表1。

[0046] 表1

	实施例1,7	实施例2,8	实施例3,9	实施例4,10	实施例5,11	实施例6,12
基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
重量份	100	100	100	100	100	100
相分离剂	DBP	DBP	DINP	DINP	DOP	DOP
重量份	5	20	5	20	5	20
溶剂	NMP	NMP	NMP	NMP	NMP	NMP
重量份	12.9	51.4	12.9	51.4	12.9	51.4

[0047] 实施例1-12使用的相分离剂的结构见表2。

[0048] 表2



[0049] 对比例1-12的对比清漆的制备。在Ulmidе-D28中添加各种相分离剂,搅拌1小时后,加入NMP搅拌1小时,制成对比清漆。对比清漆的组成见表3。

[0050] 表3

	比较例1,7	比较例2,8	比较例3,9	比较例4,10	比较例5,11	比较例6,12
基底清漆	Ulmidе D28	Ulmidе D28	Ulmidе D28	Ulmidе D28	Ulmidе D28	Ulmidе D28
重量份	100	100	100	100	100	100
相分离剂	SSX-101	SSX-101	SSX-102	SSX-102	SSX-103	SSX-103
重量份	2.8	11.2	2.8	11.2	2.8	11.2
溶剂	NMP	NMP	NMP	NMP	NMP	NMP
重量份	7.2	28.8	7.2	28.8	7.2	28.8

[0051] 制备比较例1-12的绝缘电线。具体而言,通过对铜进行铸造、拉伸、拉丝及软化,得到截面为圆形且平均直径为1mm的导体。将清漆Ulmidе-D28涂布在上述导体的外周面上,待定型后在涂布有清漆Ulmidе-D28的外表面继续涂布对比清漆,待对比清漆定型后在外表面继续根据需要涂布清漆SURGETECT-D25,在加热炉的入口温度为350℃、加热炉的出口温度为450℃的条件下进行烘烤,得到绝缘电线。

[0052] 制备实施例1-12的绝缘电线。具体而言,通过对铜进行铸造、拉伸、拉丝及软化,得到截面为圆形且平均直径为1mm的导体。将清漆Ulmidе-D28涂布在上述导体的外周面上,待定型后在涂布有清漆Ulmidе-D28的外表面继续涂布分层绝缘膜用绝缘清漆,待分层绝缘膜用绝缘清漆定型后在外表面继续根据需要涂布清漆SURGETECT-D25,在加热炉的入口温度为350℃、加热炉的出口温度为450℃的条件下进行烘烤,得到绝缘电线。

[0053] 比较例1-6的性能参数见表4。

[0054] 表4

		无耐电涌层					
		比较例 1	比较例 2	比较例 3	比较例 4	比较例 5	比较例 6
无气孔的第一致密绝缘膜	基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
	膜厚 μm	5	5	5	5	5	5
含气孔的分层绝缘膜	基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
	气孔剂	PMMA SSX-101	PMMA SSX-101	PMMA SSX-102	PMMA SSX-102	PMMA SSX-103	PMMA SSX-103
	孔隙率	10%	40%	10%	40%	10%	40%
	气孔直径 μm	1.5	1.5	2.5	2.5	3	3
	皮层部有无	无	无	无	无	无	无
	膜厚 μm	135	135	135	135	135	135
第二致密绝缘膜 (耐电涌膜)	基底清漆	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25
	膜厚 μm	0	0	0	0	0	0
全膜厚 μm		140	140	140	140	140	140
GBDV kV		21.5	14.8	21.0	13.7	20.0	13.2
GBDV/膜厚 $\text{V}/\mu\text{m}$		154	105	150	98	143	94
PDIV		1883	2170	1883	2170	1883	2170
Vt		<2h	<2h	<2h	<2h	<2h	<2h
可挠性		○	×	○	×	○	×

[0055] 比较例7-12的性能参数见表5。

[0056] 表5

		有耐电涌层					
		比较例 7	比较例 8	比较例 9	比较例 10	比较例 11	比较例 12
无气孔的第一致密绝缘膜	基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
	膜厚 μm	5	5	5	5	5	5
含气孔的分层绝缘膜	基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
	气孔剂	PMMA SSX-101	PMMA SSX-101	PMMA SSX-102	PMMA SSX-102	PMMA SSX-103	PMMA SSX-103
	孔隙率	10%	40%	10%	40%	10%	40%
	气孔直径 μm	1.5	1.5	2.5	2.5	3	3
	皮层部有无	无	无	无	无	无	无
	膜厚 μm	95	95	95	95	95	95
第二致密绝缘膜(耐电涌膜)	基底清漆	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25
	膜厚 μm	40	40	40	40	40	40
全膜厚 μm		140	140	140	140	140	140
GBDV kV		25.5	20.8	24.5	19.8	24.0	19.8
GBDV/膜厚 $\text{V}/\mu\text{m}$		182	148	175	141	171	141
PDIV		1842	2016	1842	2016	1842	2016
Vt		>100hrs	>100hrs	>100hrs	>100hrs	>100hrs	>100hrs
可挠性		○	×	○	×	○	×

[0057] 实施例1-6的性能参数见表6。

[0058] 表6

		无耐电涌层					
		实施例 1	实施例 2	实施例 3	实施例 4	实施例 5	实施例 6
无气孔的第一致密绝缘膜	基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
	膜厚 μm	5	5	5	5	5	5
含气孔的分层绝缘膜	基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
	相分离剂	DBP	DBP	DINP	DINP	DOP	DOP
	孔隙率	10%	40%	10%	40%	10%	40%

	气孔直径 μm	0.3	0.6	0.8	1.6	0.9	1.8
	皮层部有无	有	有	有	有	有	有
	膜厚 μm	135	135	135	135	135	135
第二致密绝缘膜(耐电涌膜)	基底清漆	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25
	膜厚 μm	0	0	0	0	0	0
全膜厚 μm		140	140	140	140	140	140
GBDV kV		32.3	29.6	31.2	27.8	31.0	26.9
GBDV/膜厚 V/ μm		231	211	223	199	221	192
PDIV		1883	2170	1883	2170	1883	2170
Vt		<2h	<2h	<2h	<2h	<2h	<2h
可挠性		○	○	○	○	○	○

[0059] 实施例7-12的性能参数见表7。

[0060] 表7

		有耐电涌层					
		实施例 7	实施例 8	实施例 9	实施例 10	实施例 11	实施例 12
无气孔的第一致密绝缘膜	基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
	膜厚 μm	5	5	5	5	5	5
含气孔的分层绝缘膜	基底清漆	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28	Ulmide D28
	相分离剂	DBP	DBP	DINP	DINP	DOP	DOP
	孔隙率	10%	40%	10%	40%	10%	40%
	气孔直径 μm	0.3	0.6	0.8	1.6	0.9	1.8
	皮层部有无	有	有	有	有	有	有
	膜厚 μm	95	95	95	95	95	95
第二致密绝缘膜(耐电涌膜)	基底清漆	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25	SURGETECT-D25
	膜厚 μm	40	40	40	40	40	40
全膜厚 μm		140	140	140	140	140	140
GBDV kV		34.2	32.0	33.8	31.2	33.6	31.0
GBDV/膜厚 V/ μm		244	229	241	223	240	221
PDIV		1842	2016	1842	2016	1842	2016
Vt		>100hrs	>100hrs	>100hrs	>100hrs	>100hrs	>100hrs
可挠性		○	○	○	○	○	○

[0061] 气泡的平均孔径:观察膜截面的SEM,测定有代表性的10个气孔直径,取平均值。

[0062] 孔隙率根据阿基米德原理通过水中置换法测量绝缘电线的密度(比重, ρ_f)以及制孔前的电线密度(比重, ρ_s),再根据 ρ_f/ρ_s 计算得到孔隙率。孔隙率(%) = $[1 - (\rho_f/\rho_s)] \times 100$ 。

[0063] 绝缘击穿电压 (GBDV) 根据 IS C3216-5 4.4 进行测试。测定甘油中的绝缘破坏电压。

[0064] 单位膜厚的绝缘击穿电压 (BDV) = 绝缘击穿电压 (GBDV) 除以绝缘电线的全膜厚。单位膜厚的绝缘击穿电压达到 $200\text{V}/\mu\text{m}$ 以上则视为满足要求。

[0065] PDIV 试验采用综研电气株式会社制 DAC-6021 测试仪。测试条件为: 放电电荷量 100pq , 放电频率 50pps , 将超过它的放电持续 5 秒以上时视为放电。PDIV 达到 1800Vp 以上则视为满足要求。

[0066] V-t 试验使用常州威尔岳电气有限公司 (CHANGZHOU WELLYUE ELECTRICAL., LTD.) 的正弦波发生装置进行测定。测试条件为温度 25°C , 频率 100kHz , 电压 2200Vp , 电压类型为正弦波。Vt $2200\text{Vp}_{25^\circ\text{C}}$ 未发生破坏的时间在 100hrs 以上则视为满足要求。

[0067] 可挠性是表示皮膜韧性的指标, 可挠性试验基于 JIS C3216-3 2011 5.1.1 进行评价。从绕线筒 (bobbin) 将长度 400mm 以上的线切断, 将其伸长 10% 。在切断的线 400mm 的中央部以 $R2.0\text{mm}$ 、角度 180° 进行扁绕弯曲。 20% 伸长 $R2$ 弯曲而不破裂则为 \bigcirc , 反之则为 \times 。

[0068] 比较例 1~6 中, 绝缘电线的 PDIV 高达 1800Vp 以上, 能满足作为局部放电开始电压的要求, 但单位膜厚的绝缘击穿电压较低不满足要求。此外由于没有耐电涌层, Vt 试验在非常短时间内短路, 可挠性也非常差, 不耐加工。比较例 7~12 中, 绝缘电线的 PDIV 高达 1800Vp 以上, 由于具有耐电涌层, Vt 寿命较长, 能满足。但是单位膜厚的绝缘击穿电压较低, 可挠性也较差, 所以也无法满足要求。图 6 是比较例 7 的绝缘电线的形貌图。该图示出了在绝缘清漆中添加热分解性树脂 (例如 PMMA 粒子等) 而烧成的电线。用这种方法制造的电线不能具备皮肤层。

[0069] 实施例 1~6 中, 由于不具有耐电涌层, 所以虽不满足 Vt 寿命, 但 PDIV、单位膜厚的 BDV 及可挠性均满足要求。另一方面, 实施例 7~2 中, 满足 Vt 寿命、PDIV、单位膜厚的 BDV 及可挠性的全部要求。其中, 比较例 2, 8 和实施例 4, 10 虽然具有大致相同的气孔直径, 但单位膜厚的 BDV 和可挠性却具有明显差异。这是由于实施例的分层绝缘膜具有膜内分层的、相互交错层叠配置且层与层之间大致平行的气孔层和皮肤层。气孔层在施加电压时气孔内引起放电从而出现短路。本发明通过将气孔层和皮肤层配置在同一绝缘膜内部, 能防止电流不停歇地流通从而得到较高的绝缘破坏电压。另外, 气孔层还会引起皮膜的韧性下降, 与之相对地, 本发明的气孔层和皮肤层设置在同一皮膜内部, 层间大致平行, 相互贴合紧密, 皮肤层充分发挥增强气孔层的作用从而大幅改善可挠性。

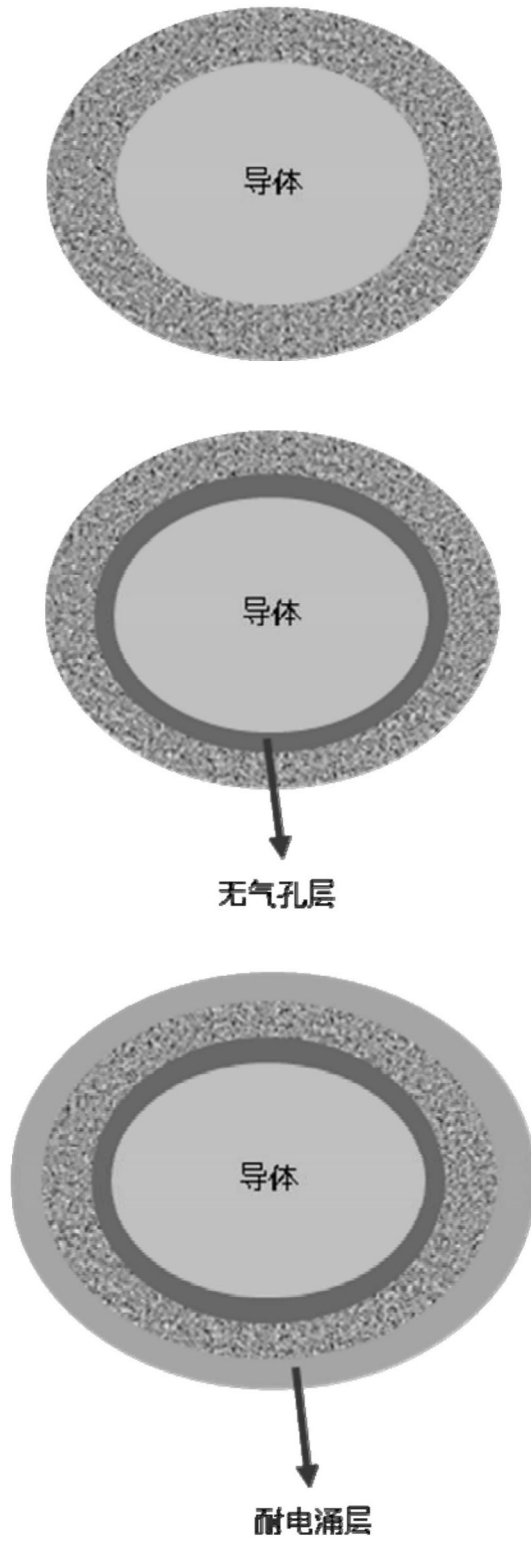


图1

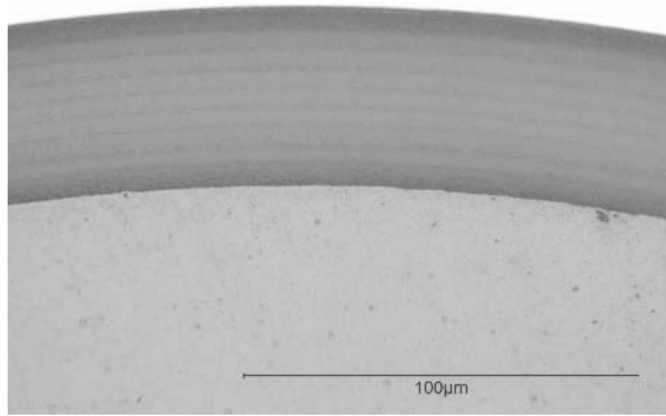


图2

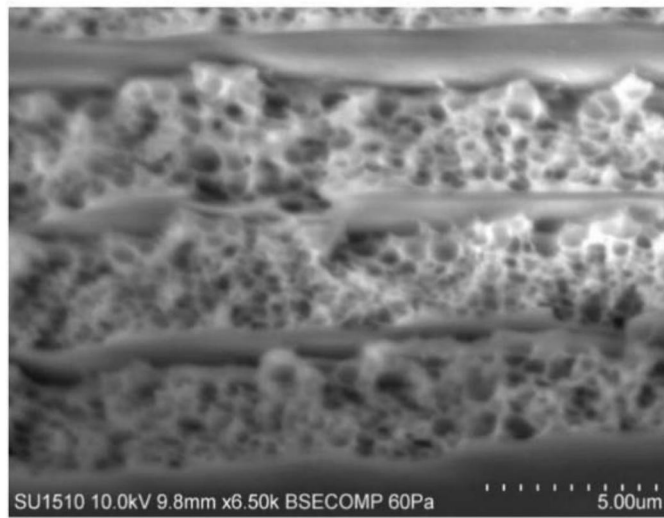


图3

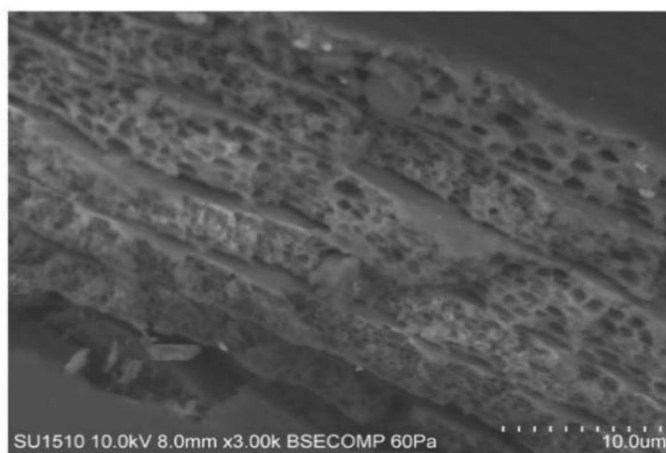


图4

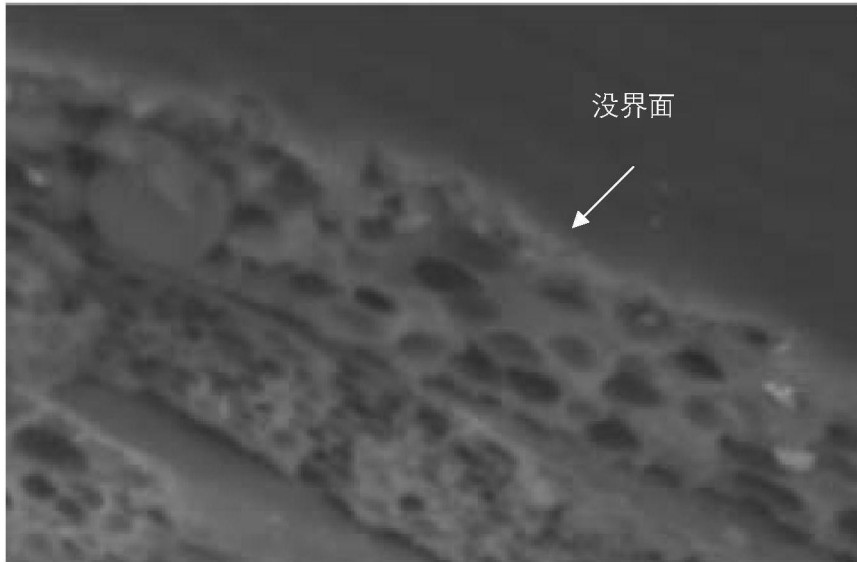


图5

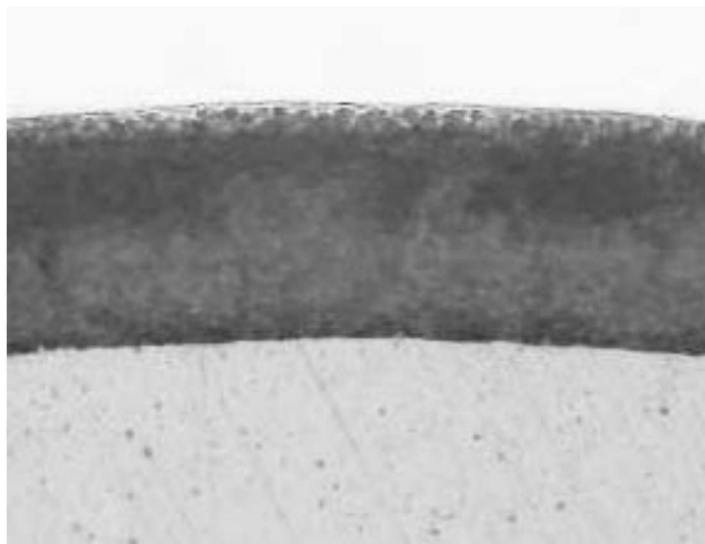


图6