



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105934800 B

(45)授权公告日 2019.06.18

(21)申请号 201580005912.0

(73)专利权人 3M创新有限公司

(22)申请日 2015.01.27

地址 美国明尼苏达州

(65)同一申请的已公布的文献号

(72)发明人 罗伯特·H·特平 米切尔·T·黄
大卫·S·斯坦克斯

申请公布号 CN 105934800 A

(43)申请公布日 2016.09.07

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限
公司 11227

(30)优先权数据

代理人 蔡胜有 冷永华

61/931,792 2014.01.27 US

62/105,780 2015.01.21 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

(51)Int.Cl.

2016.07.26

H01B 3/02(2006.01)

H01B 7/02(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

审查员 秦晓彤

PCT/US2015/012983 2015.01.27

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/113013 EN 2015.07.30

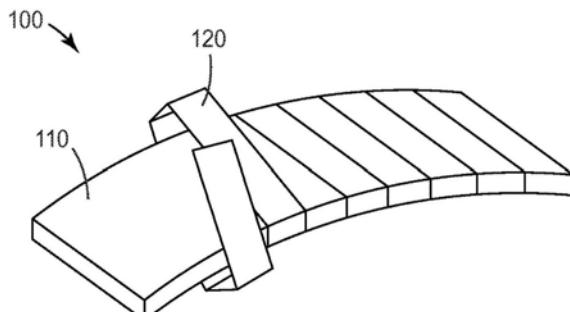
权利要求书2页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

用于电气设备诸如变压器的电绝缘材料和
导体带匝

(57)摘要

本发明提供了一种制品，所述制品包含完全
水解的聚乙烯醇纤维、无机填料和聚合物基料。
制品可被制成用于电气设备诸如液浸式变压器
的电绝缘饱和非织造片材，所述电绝缘饱和非织
造片材可基本上不含纤维素。



1. 一种包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,所述制品包含:

完全水解的聚乙烯醇纤维,所述完全水解的聚乙烯醇纤维具有大于6g/旦尼尔的韧度,所述完全水解的聚乙烯醇纤维含有少于5%的未水解乙酸乙烯酯单元并且具有至少95%的水解度;

无机填料;和

聚合物基料。

2. 根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,所述制品被制成非织造片材。

3. 根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,其中所述无机填料包括以下各项中的至少一项:高岭土、滑石、云母、碳酸钙、硅土、矾土、氧化铝三水合物、蒙脱土、蒙皂石、膨润土、伊利石、绿泥石、海泡石、绿坡缕石、埃洛石、蛭石、合成黏土、累托石、珍珠岩、氮化铝、碳化硅、氮化硼以及它们的组合。

4. 根据权利要求3所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,其中所述无机填料包括高岭土。

5. 根据权利要求4所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,其中所述高岭土包括水洗高岭土、层离高岭土、煅烧高岭土以及表面处理的高岭土中的至少一种高岭土。

6. 根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,其中所述聚合物基料包括基于胶乳的材料。

7. 根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,其中所述聚合物基料包括丙烯酸胶乳、丁腈胶乳以及苯乙烯丙烯酸胶乳中的至少一种胶乳。

8. 根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,所述制品还包含耐热油的粘合剂纤维。

9. 根据权利要求8所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,其中所述粘合剂纤维包括PPS纤维。

10. 根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,所述制品包含20%至50%的完全水解的聚乙烯醇纤维,其中所述百分比按重量计。

11. 根据权利要求10所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,所述制品包含:

40%至60%的高岭土;

5%至20%的聚合物基料;和

0%至20%的PPS纤维,其中所述百分比按重量计。

12. 根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,其中所述制品基本上不含纤维素。

13. 根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品,其中所述制品是不吸湿的。

14. 一种电气设备,所述电气设备包括被根据权利要求1所述的包含完全水解的聚乙烯醇纤维的制品缠绕的导体。

15. 根据权利要求14所述的电气设备,所述电气设备包括变压器、马达和发生器中的一种。

16. 根据权利要求15所述的电气设备,所述电气设备包括液浸式变压器。

17. 一种油浸式变压器，所述油浸式变压器包括包含完全水解的聚乙烯醇纤维的电绝缘材料，所述完全水解的聚乙烯醇纤维具有大于6g/旦尼尔的韧度，所述完全水解的聚乙烯醇纤维含有少于5%的未水解乙酸乙烯酯单元并且具有至少95%的水解度。

18. 根据权利要求17所述的油浸式变压器，其中所述电绝缘材料还包含无机填料和聚合物基料。

19. 根据权利要求18所述的油浸式变压器，其中所述电绝缘材料还包含20%至50%的完全水解的聚乙烯醇纤维、40%至60%的高岭土、5%至20%的聚合物基料和0%至20%的PPS纤维，其中所述百分比按重量计。

20. 根据权利要求17所述的油浸式变压器，其中所述电绝缘材料基本上不含纤维素。

用于电气设备诸如变压器的电绝缘材料和导体带匝

技术领域

[0001] 本发明涉及适用于电绝缘应用的电绝缘材料。特别地，本发明涉及适用于变压器诸如液浸式变压器的电绝缘导体带匝材料。

背景技术

[0002] 电气设备诸如电动马达、发生器和变压器通常需要某种形式的介电绝缘以隔离相邻导体。

[0003] 常规的绝缘材料是牛皮纸，它是液浸式变压器中通常所利用的纤维素基材料。然而，纤维素纸存在若干缺点，诸如高吸湿性、降解时产生水以及有限的热性能。当前液浸式变压器要求含水量少于0.5重量%，从而在液浸式变压器的整个设计产品寿命期间可靠地操作。液浸式变压器中的水污染通过增加电损耗和放电活动而导致性能降低。由于纤维素纸的强亲水性(吸湿性)，纤维素纸迫使液浸式变压器制造商花费大量的时间和精力来在最终装配进液浸式变压器中之前使这些材料变干。水分的存在可进一步加速纤维素降解并且导致作为降解产物额外地释放水。

[0004] 纤维素纸的另一主要缺点是它有限的热稳定性。标准牛皮纸具有105°C的耐热等级，而热提质的牛皮具有120°C的耐热等级。利用牛皮纸隔离的液浸式变压器的最高操作温度受牛皮纸的热性能限制。

发明内容

[0005] 在特定电绝缘应用中，需要在电气设备应用中达到合适性能的吸湿性较低且热稳定性较高的材料。

[0006] 本发明的材料适用于在变压器、马达、发生器以及需要电气部件绝缘的其它装置中为电气部件提供绝缘。特别地，此类材料适于作为用于液浸式变压器和其它液浸式电气部件的绝缘导体带匝。在一个方面，此类材料可被用作用于液浸式变压器的导体带匝。

[0007] 本发明的至少一些实施方案提供具有较低水分吸收性的绝缘制品。本发明的至少一些实施方案提供了当与常规的纤维素基牛皮纸比较时具有期望的热稳定性的电绝缘饱和非织造片材材料。

[0008] 本发明的至少一些实施方案提供了包含无机填料、完全水解的聚乙烯醇纤维和聚合物基料的制品。在另一方面，制品被制成饱和非织造片材。在另一方面，制品可还包含耐热油的粘合剂纤维。例如，制品可包含聚苯硫醚(PPS)粘合剂纤维。

[0009] 在另一方面，无机填料包括以下各项中的至少一项：高岭土、滑石、云母、碳酸钙、硅土、铝土、氧化铝三水合物、蒙脱土、蒙皂石、膨润土、伊利石、绿泥石、海泡石、绿坡缕石、埃洛石、蛭石、合成黏土、累托石、珍珠岩、氮化铝、碳化硅、氮化硼以及它们的组合。

[0010] 在另一方面，无机填料包括高岭土。在另一方面，高岭土包括水洗高岭土、层离高岭土、煅烧高岭土以及表面处理的高岭土中的至少一种高岭土。

[0011] 在另一方面，聚合物基料包括基于胶乳的材料。在另一方面，聚合物基料包括丙烯

酸胶乳、丁腈胶乳以及苯乙烯丙烯酸胶乳中的至少一种胶乳。

[0012] 在另一方面，制品包含约20%至约50%的完全水解的聚乙烯醇纤维。在另外的方面，制品包含约40%至约60%的高岭土和约5%至约30%的聚合物基料。在另一方面，制品还包含约0%至约20%的PPS粘合剂纤维。百分比按重量计。

[0013] 在另一方面，制品基本上不含纤维素。

[0014] 在另一方面，制品是不吸湿的。

[0015] 本发明的另一实施方案提供了用于电气设备的绝缘导体带匝，其中绝缘导体带匝包括前述制品。电气设备包括变压器、马达和发生器中的一种。在一个方面，电气设备包括液浸式变压器。

[0016] 本发明的另一实施方案提供了包括具有完全水解的聚乙烯醇纤维的电绝缘导体带匝的油浸式变压器。在另一方面，电绝缘导体带匝还包含无机填料和聚合物基料。在另外的方面，油浸式变压器包含约20%至约50%的完全水解的聚乙烯醇纤维、约40%至60%的高岭土和约5%至30%的聚合物基料，其中百分比按重量计。在另外的方面，电绝缘饱和非织造材料基本上不含纤维素。

[0017] 如本说明书中所用：

[0018] “基本上不含纤维素”表示含有少于10重量%纤维素基材料，优选地含有少于5重量%纤维素基材料，更优选地仅仅含有痕量的纤维素基材料，并且最优选地不含纤维素基材料。

[0019] “不吸湿”表示在50%的相对湿度下含有少于5重量%的水含量，更优选地在50%的相对湿度下含有少于1.5重量%的水含量，并且甚至更优选地在50%的相对湿度下含有少于1重量%的水含量。

[0020] 上述的“发明内容”并非旨在描述本发明的每个公开的实施方案或每种实施方式。下文的详细描述更具体地示出了本发明的实施方案。

附图说明

[0021] 下文在描述本发明时，将部分引用其非限制性实施例并参考附图，其中：

[0022] 图1为具有包括根据发明方面的饱和非织造片材的导体带匝的被缠绕的导体的示意图。

[0023] 虽然本发明可修改为各种修改形式和替代形式，但其具体形式已在附图中以举例的方式示出并将做详细描述。然而，应当理解，其目的不是将本发明限制于所描述的具体实施方案。相反，其目的在于涵盖落入所附权利要求书所限定的本发明的范围之内的所有修改形式、等形式和替代形式。

具体实施方式

[0024] 在以下说明中，应当理解，其它实施方案是可以预期的并且可以在不脱离本发明的范围的情况下完成。因此，以下详细说明不应被视为具有限制意义。

[0025] 除非另外指明，否则说明书和权利要求书中所使用的所有表达特征尺寸、量和物理特性的数值在所有情况下均应理解成由术语“约”修饰。因此，除非相反的指明，否则在本说明书和所附权利要求书中列出的数值参数均为近似值，这些近似值可根据本领域技术人员的普通技术知识进行适当的修改。

员利用本文所公开的教导内容来寻求获得的期望性能而变化。使用由端值表述的数值范围包括该范围内的所有数字和任何值(例如,1至5包括1、1.5、2、2.75、3、3.80、4和5)。

[0026] 本发明的至少一个实施方案提供了包含完全水解的聚乙烯醇纤维、无机填料和聚合物基料的制品。制品可被制成用于电气设备诸如变压器、马达、发生器的绝缘饱和非织造片材。电气设备有时填充有绝缘(介电)液体或流体。充液电气设备中所用的典型流体可包括矿物油、天然酯油、合成酯油、硅油等。制品可被制成用于液浸式电气设备诸如液浸式变压器、液浸式电缆和液浸式开关设备的绝缘饱和非织造片材。因此,液浸式电气设备可基本上不含纤维素。

[0027] 本发明的至少一些实施方案提供了相比于常规的纤维素基牛皮纸具有降低的吸湿、较高的热稳定性以及较高的热导率的电绝缘导体带匝。

[0028] 实施方案中的至少一些提供了可使用梳理工艺制成熟然后用涂料饱和的绝缘材料。因此,绝缘饱和片材可具有对于电气设备应用的可接受的厚度/薄、强度柔韧性和伸长率。

[0029] 尽管多年来已经在液浸式变压器中使用纤维素基牛皮纸,但是高水分吸收性、易水解性以及有限的高温性能是已知的缺点。通过省略纤维素并且改为使用完全水解的聚乙烯醇纤维,更特别地在制品中无机填料诸如高岭土和完全水解的聚乙烯醇纤维的组合,相比于标准牛皮纸,已经展示了具有较低的吸湿、较高的热稳定性和较高的热导率的电绝缘饱和非织造片材。

[0030] 本文所述制品和电绝缘材料可为变压器制造商提供减少当前耗时且耗能的变干周期的能力,通常执行变干周期以在油注入之前使用传统牛皮纸绝缘的变压器单元变干。根据单元的设计和大小,这些变干循环可持续12小时至若干天之间。此外,牛皮纤维素纸不仅是吸湿的,而且纤维素的老化和实际降解也作为副产物而产生水,这可进一步降低变压器油的绝缘质量。

[0031] 如以上所述,电绝缘饱和非织造材料包含聚乙烯醇(PVOH)纤维。在一个示例中,电绝缘饱和非织造材料包含按重量计约20%至约50%的完全水解的聚乙烯醇纤维。完全水解表示纤维含有少于5%的未水解乙酸乙烯酯单元并且因此具有至少95%的水解度。完全水解的聚乙烯醇通常熔点范围为在230°C到245°C之间。更优选地,完全水解的纤维具有高韧度(>6g/旦尼尔)。完全水解的高韧度聚乙烯醇纤维通常在室温下不溶于水。相比之下,具有低水解度的聚乙烯醇纤维通常熔点范围为180°C到190°C并且在室温下能够溶于水。这些部分水解的PVOH纤维常用作粘合剂纤维。

[0032] 此外,电绝缘饱和非织物片材包含无机填料。在一个方面,合适的无机填料包括但不限于高岭土、滑石、云母、碳酸钙、硅土、铝土、氧化铝三水合物、蒙脱土、蒙皂石、膨润土、伊利石、绿泥石、海泡石、绿坡缕石、埃洛石、蛭石、合成黏土、累托石、珍珠岩、氮化铝、碳化硅、氮化硼以及它们的组合。无机填料也可以是表面处理的。合适类型的高岭土包括但不限于水洗高岭土、层离高岭土、煅烧高岭土以及表面处理的高岭土。在一个示例中,电绝缘材料包含按重量计约0%至约60%的高岭土。更优选地,电绝缘材料包含按重量计约40%至约60%的高岭土。

[0033] 此外,电绝缘饱和非织物片材包含聚合物基料。合适的聚合物基料可包括基于胶乳的材料。在另一方面,合适的聚合物基料可包括但不限于丙烯酸胶乳、腈胶乳、苯丙胶乳和天然橡胶胶乳。在一个示例中,电绝缘材料包含按重量计约5%至约30%的聚合物基料。

在一些优选实施方案中,电绝缘材料包含按重量计约5%至约20%的聚合物基料。

[0034] 任选地,电绝缘材料还可包含附加的纤维。在一些实施方案中,附加的纤维包括非晶态未牵伸纤维。在一个示例中,附加的纤维包括耐热油的粘合剂纤维。在一些实施方案中,电绝缘材料包含聚苯硫醚(PPS)纤维。在另外的方面,电绝缘材料包含双组分纤维诸如PPS/聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)双组分纤维。在一个示例中,电绝缘材料包含按重量计约0%至约30%的PPS纤维。在其它实施方案中,电绝缘材料包含按重量计约0%至约20%的PPS纤维。

[0035] 在许多实施方案中,电绝缘材料被制成饱和非织造片材或垫。在一个方面,梳理的聚乙烯醇纤维基非织造材料随后用包含无机填料和胶乳粘合剂的浆液涂料饱和。在另一方面,包含聚乙烯醇纤维和PPS纤维的组合的梳理的非织造垫随后用包含无机填料和胶乳粘合剂的浆液涂料饱和。使用梳理/饱和工艺允许所得的片材薄(例如小于5密尔(0.13mm),在一些方面约2密尔至3密尔(0.05mm至0.08mm))。可使用常规工艺执行梳理步骤和涂布步骤。在一个示例工艺中,短聚乙烯醇纤维被输送到鼓风机,然后到梳理机,该梳理机将纤维梳成非织造垫或絮。然后用热压延垫(例如,使用热粘结)以提供强度。也可采用其它常规的非织造成形工艺。在另外的示例中,然后使用常规涂布技术诸如用缠线棒(例如,迈耶棒)或帘式涂布将在聚合物胶乳中包含无机粘土的浆液施加至非织造垫。

[0036] 在另选的方面,非织造、不吸湿的绝缘材料可包含无机填料、完全水解的聚乙烯醇纤维、聚合物基料,以及附加的高表面积纤维。可使用诸如在美国临时专利申请号61/931,792中所述的湿法成网工艺制备这种材料,所述专利申请以引用的方式全文并入本文中。

[0037] 结果为适用于电气设备中的非织造、不吸湿的绝缘材料。在一些方面,可利用非织造、不吸湿的绝缘材料被用作在液浸式变压器内的导体带匝。电绝缘材料耐高温流体,包括高温油。

[0038] 例如,图1示出了本发明的另一方面,适用于电气设备诸如液浸式变压器中的绝缘导体带匝。在一个示例性方面,变压器包括油浸变压器。

[0039] 在图1中,被缠绕的导体100包括导体,诸如被片材120缠绕的矩形导体110。导体110可包含任何常规的导体材料。导体110通过围绕导体120缠绕的片材120与邻近的导体电隔离。片材120可包括以上所述的饱和非织造片材。然后在液(例如,油)浸式的配电变压器或电力变压器中可利用被缠绕的导体100。另外,附加的变压器部件中的一个或多个也可由本文所述电绝缘材料制成,如本说明书所给出的技术领域的普通技术人员所理解。

[0040] 通过利用本文所述电绝缘材料,变压器可被批准用于更高的操作类别,并且可被设计来满足例如IEEE Std.C57.154-2012。

[0041] 如以下实施例所示,去除纤维素和纤维素基变压器部件可产生非常短的变干时间。此外,变压器本身可更不易受水降解的影响。

[0042] 实施例

[0043] 以下提供的实施例和比较例有助于理解本发明,且这些实施例和比较例不应被理解为对本发明范围的限制。除非另外指明,所有的份数和百分比均按重量计。使用下述测试方法和方案来评估以下示例性实施例和比较例。

[0044] 试样制备

[0045] 示例性电绝缘饱和非织造材料是使用在本领域中已知的方法制造的,如下:

[0046] 用于制备实施例1至实施例10的梳理非织造垫利用在表1中所示的纤维的混合物。在表2中提供了每种垫的组合物的重量百分比 (wt %)。使纤维混合物通过梳理机,以产生具有表2所示基重的非织造絮。然后每种非织造絮都以32英尺/min (9.8m/min) 的线速度压延通过钢棉辊隙,其中钢辊被加热到约300°F (149°C) 的温度,并且辊隙压力在800pli (143kg/cm) 左右。实施例10通过2个以75英尺/min (22.9m/min) 的线速度压延钢棉辊隙,其中钢辊被加热到约410°F (210°C) 的温度,并且辊隙压力在800pli (143kg/cm) 左右。

[0047] 梳理非织造絮(实施例1至实施例9)进一步以约表2中所提供的温度和约1000pli (179kg/cm) 的辊系压力压延通过钢-钢辊隙,以提供部分粘合的非织造材料,该非织造材料随后用分散在聚合物胶乳粘合剂中的粘土的浆液饱和。丁二烯丙烯腈(BAN)胶乳(美国Emerald Performance Materials)或者丙烯酸胶乳(路博润公司(Lubrizol Corp),HYCAR26362)被用作粘合剂,并且层离高岭土(来自美国KaMin有限责任公司的HYDRAPRINT)被用作粘土,如表2中所指出的那样。每个实施例的最终厚度(厚度)和基重提供于表3中。

[0048] 表1.

[0049]

	纤维描述	旦尼尔	长度, mm	纤维韧性 (g/ 旦尼尔)	产品名称/来源
A	完全水解的 PVOH	1.5	38	12.5	KURALON EQ2, 日 本, 可乐丽 (Kururay)
B	完全水解的 PVOH	1.4	38	10.5	美国, 微型纤维 (Minifibers)
C	PPS/PET 双组分	3	38	4	美国, Fiber Innovation Technology
D	PPS, 未牵伸纤维	2.7	50	1.4	NEXYLENE S970, 瑞 士, EMS-GRILTECH
E	完全水解的 PVOH	1.5	51	13	美国, Minifibers

[0050] 表2.

[0051]

	纤维成分 (wt%)	絮的基重 (g/m ²)	钢-钢压延辊温度	浆液
实施例 1	100% B	26	400°F (204°C)	100/20 粘土/丁二烯丙烯 腈胶乳
实施例 2	100% B	26	400°F (204°C)	100/40 粘土/丁二烯丙烯 腈胶乳
实施例 3	100% B	26	400°F (204°C)	100/60 粘土/丁二烯丙烯 腈胶乳
实施例 4	100% A	25	400°F (204°C)	100/60 粘土/丙烯酸胶乳
实施例 5	100% B	26	400°F (204°C)	100/60 粘土/丙烯酸胶乳
实施例 6	75% B+25% C	27	400°F (204°C)	100/60 粘土/丙烯酸胶乳
实施例 7	25% D+75% F	40	385°F (196°C)	100/30 粘土/丁二烯丙烯 腈胶乳
实施例 8	25% D+75% F	40	405°F (207°C)	100/30 粘土/丁二烯丙烯 腈胶乳
实施例 9	100% E	40	405°F (207°C)	100/30 粘土/丁二烯丙烯 腈胶乳
实施例 10	80% E+20% D	36	NA	100/30 粘土/丙烯酸胶乳

[0052] 表3.

	最终基重		厚度	
	g/yd ²	g/m ²	密耳	μm
实施例 1	53	63	2.1	53
实施例 2	51	61	2.1	53
实施例 3	52	62	2.2	56
实施例 4	64	77	2.6	66
实施例 5	54	65	2.3	58
实施例 6	60	72	2.6	66
实施例 7	96	115	3.9	99
实施例 8	82	98	4.0	102
实施例 9	62	74	2.7	69
实例 10	72	86	3.1	79

[0054] 比较例CE1和CE2为按原样使用的可商购获得的热升级的纤维素基牛皮纸。CE1的厚度为10密耳(254微米[μm])并且CE2具有3密耳(67μm)的厚度。对热升级的牛皮纸进行化学改性以降低纸分解的速率。

[0055] 测试方法学

[0056] 纵向(MD)拉伸强度和MD伸长率是根据在ASTM D-828-97 (2002)、“使用恒定速率的拉伸设备的纸和纸板拉伸特性的标准测试方法(Standard Test Method for Tensile Properties of Paper and Paperboard Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus.)”中列出的过程来测量的。测试每个样品的试样的初始拉伸特性,然后使每个样品的试样在170°C的矿物油中老化不同的时间长度。再次测量拉伸特性,并且保留的伸长

率和拉伸强度被计算为老化前初始测量的百分比。

[0057] 通过使固体绝缘物在100°C下在矿物油中老化168小时评估油相容性，并且然后根据在ASTM D-924 (2008) 中所述的“用于电绝缘液体的耗散因数(或功率因数)和相对介电常数的标准测试方法(Standard Test Method for Dissipation Factor (or Power Factor) and Relative Permittivity of Electrical Insulating Liquids)”测量矿物油的耗散因数。

[0058] 根据下面的过程使用改进的ASTM D5470-06热流量计测量样品的热导率。用六个均匀间隔开的热电偶仪表测量直径为2英寸(5cm)并且长为约3英寸(7.6cm)的热仪表棒和冷仪表棒，这些热电偶中的第一个与棒之间的界面的距离为5.0mm。用参考热导率为130W/m-K的黄铜构造棒。仪表棒的接触面平行度在约5微米内，并且在测试期间样品上的力为约120N。在测试期间样品的厚度通过标称精度为2微米的数字位移传感器测量。

[0059] 当仪表棒达到平衡时，数字位移传感器被调到零处。将饱和非织物材料样品浸入在玻璃广口瓶中的绝缘油中，并且然后在室温(25°C)下在真空炉中在真空下脱气。将油饱和的样品从油中取出然后将其放置在底部仪表棒上。油用作界面流体以消除热接触电阻。闭合仪表棒并且施加法向力。在整个测试持续时间期间，通常为约30分钟，对通过仪表棒的热流和样品的厚度进行测量。一般在约10分钟内达到平衡。

[0060] 然后由样品厚度(L)、仪表棒的热导率(k_m)、在仪表棒中的温度梯度(dT/dx)以及样品上的外推温差($T_u - T_1$)计算样品的热导率k。

$$[0061] k = \frac{k_m(dT/dx)}{(T_u - T_1) / L}$$

[0062] 介电强度是根据ASTM149-09“在市电频率下固体电绝缘材料的介电击穿电压和介电击穿强度的标准测试方法(Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Breakdown Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies)”来测量的。

[0063] 结果

[0064] 表4至表6示出了作为在170°C下在矿物油中的老化时间的函数的电绝缘饱和非织物材料以及通过热升级的牛皮纸(CE1)的保留的拉伸强度和伸长率%。

[0065] 虽然它们薄，但实施例1至实施例10全部示出足够高以在约24磅/英寸(4.2N/mm)的目标范围内的拉伸强度。如表4所示，实施例1至实施例3全部被示出在170°C下在矿物油中老化12周之后大于50%的保留的拉伸强度。当测量实施例10在100°C下老化的矿物油的耗散因数时可获得令人满意的油相容性结果。相比之下，在170°C油中老化12周之后，CE1几乎损失了其全部MD拉伸强度，仅保留其未老化拉伸强度的3%。此外，其中CE1进行12周老化的油比来自实施例1至实施例3的油显著地暗且浑浊，这指示了来自牛皮纸的降解产物的存在。

[0066] 实施例1至实施例10全部展示了大于导体带匝应用所需的典型最小值5%的伸长率。(见表5至表6) CE1示出了仅为2.3%的伸长率。应当指出的是，通常，湿气需要被加到牛皮纸以使其伸长率增加到约5%。

[0067] 表4.

[0068]

实施例	纵向拉伸强度, lb/in (N/mm)				MD 拉伸强度, %保留的		
	初始	3 周	6 周	12 周	3 周	6 周	12 周
1	19.2 (3.36)	23.6 (4.13)	21.5 (3.77)	18.6 (3.26)	123%	112%	97%
2	27.3 (4.78)	28.1 (4.92)	26.3 (4.61)	19.5 (3.41)	103%	96%	70%
3	33.9 (5.94)	28.1 (4.92)	24.7 (4.33)	20.4 (3.57)	83%	73%	60%
CE1	174 (30.5)			6 (1.05)			3%

[0069] 表5.

[0070]

实施例	MD 伸长率, %				MD 伸长率, %保留的		
	初始	3 周	6 周	12 周	3 周	6 周	12 周
1	9.2	9.6	6.9	5.4	104%	75%	59%
2	11.7	10.5	7.1	3.1	90%	61%	26%
3	13.6	11.5	5.7	4	85%	42%	29%
CE1	2.3			0.5			22%

[0071] 表6.

[0072]

	实施例 4	实施例 5	实施例 6	实施例 7	实施例 8	实施例 9	实施例 10
初始 MD 拉伸强度, lb/in (N/mm)	23.5 (4.12)	25 (4.38)	26.2 (4.59)	31.4 (5.50)	26.5 (4.64)	18.3 (3.20)	39 (6.83)
MD 拉伸强度, 在 170°C 矿物油中老化 20 天, lb/in (N/mm)	24.8 (4.34)	24.7 (4.33)	24.1 (4.22)	31 (5.43)	31 (5.43)		37.9 (6.64)
保留的拉伸强度%	106%	99%	92%	99%	117%		97%
MD 伸长率	10.7	12.2	10.4	9.1	6.7	8.8	7.0
MD 伸长率, 在 170°C 矿物油中老化 20 天	8.8	6.2	5.4	7	8		6.9
保留的伸长率%	82	51	52	77	119		99

[0073] 从表7所示的结果显而易见在50%的相对湿度(RH)和95%的RH下与CE1和CE2相比实施例10的吸湿较低。

[0074] 表7.

[0075]	水含量		
		实施例 10	比较例 1
	50% RH	1.2%	6.4%
	95% RH	2.6%	27%

[0076] 如表8所示,相比于CE1和CE2实施例10具有较高的热导率,并且在空气中和在矿物油中的实施例10的介电强度均比CE1高。

[0077] 表8.

[0078]		实例 10	比较例 1	比较例 2
	矿物油中的热导率, W/m-K	0.278	0.240	0.259
	在矿物油中的介电强度, 伏特/密耳 (kV/m)	1630 (64.2×10^3)	1450 (57.1×10^3)	
	在空气中的介电强度, 伏特/密耳 (kV/m)	300 (11.8×10^3)	232 (9.13×10^3)	

[0079] 虽然本文出于说明优选实施方案的目的对具体实施方案进行了举例说明和描述,但是本领域的普通技术人员应当理解,在不脱离本发明范围的前提下,各种替代和/或等同实施方式可以取代举例说明和描述的具体实施方案。本专利申请旨在涵盖本文所讨论优选实施方案的任何修改和更改。因此,本发明显然旨在仅受本发明权利要求书及其等同形式的限制。

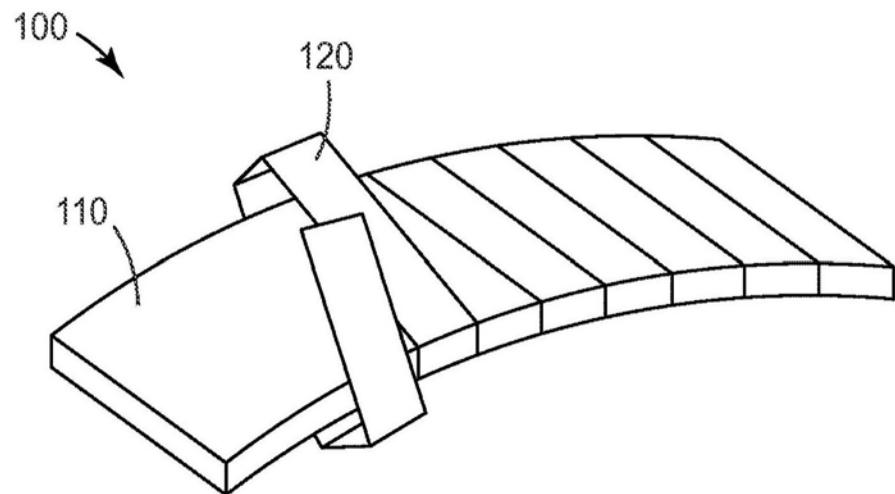


图1