

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

C04B 14/06

C04B 33/13

[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 95197068.2

[45]授权公告日 2001 年 1 月 17 日

[11]授权公告号 CN 1060749C

[22]申请日 1995.11.22 [24]颁证日 2000.11.18

[21]申请号 95197068.2

[30]优先权

[32]1994.11.23 [33]DE [31]P4441568.0

[86]国际申请 PCT/EP95/04600 1995.11.22

[87]国际公布 WO96/15998 德 1996.5.30

[85]进入国家阶段日期 1997.6.25

[73]专利权人 卡伯特公司

地址 美国马萨诸塞州

[72]发明人 D·弗兰克 A·齐默曼 H·G·斯图勒

[56]参考文献

EP0672635A1 1995.9.20 C04B14/06

审查员 余仲儒

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事
务所

代理人 黄泽雄

权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图页数 0 页

[54]发明名称 一种含有气凝胶的复合材料、其制备方法和应用

[57]摘要

本发明涉及一种复合材料,它含有 10 到 95% (体积)的、颗粒直径小于 0.5 毫米的气凝胶颗粒、以及一种作的为无机基质材料层状硅酸盐。

ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1、一种复合材料，它含有 10 到 95%(体积)气凝胶颗粒和至少一种无机基质材料，其特征在于，气凝胶颗粒的颗粒直径小于 0.5 毫米，无机基质材料是层状硅酸盐。

2、根据权利要求 1 的复合材料，其特征在于，层状硅酸盐是一种天然形成的层状硅酸盐。

3、根据权利要求 1 的复合材料，其特征在于，复合材料包含水泥、石灰和/或石膏。

4、根据权利要求 1 至 3 中任一项的复合材料，其特征在于，气凝胶是一种 SiO_2 气凝胶。

5、根据权利要求 1 至 3 中任一项的复合材料，其特征在于，气凝胶颗粒具有表面憎水基团。

6、根据权利要求 1 至 3 中任一项的复合材料，其特征在于，气凝胶颗粒的颗粒直径小于 0.2 毫米。

7、根据权利要求 1 至 3 中任一项的复合材料，其特征在于，气凝胶颗粒的孔隙率大于 60%，密度小于 0.6 克/立方厘米。

8、根据权利要求 1 至 3 中任一项的复合材料，其特征在于，复合材料包含从 0.1 到 30%(体积)的纤维。

9、根据权利要求 1 至 3 中任一项的复合材料，其特征在于，复合材料还另含辅助材料。

10、根据权利要求 1 至 3 中任一项的复合材料，其特征在于，复合材料是片状的，并且在至少一侧用至少一个复盖层叠压。

11、制备根据权利要求 1 至 10 中任一项的复合材料的方法，其特征在于，它包括：

- a) 把气凝胶颗粒、层状硅酸盐、水在一个混合设备中混合，
- b) 把这样得到的混合物送到一个成型工序，
- c) 干燥这样得到的成型物。

12、根据权利要求 11 的方法，其特征在于，在 a) 步中还将纤维、粘合剂和/或辅助材料加到混合设备中混合。

13、根据权利要求 11 的方法，其特征在于，还包括步骤

d) 把干燥的成型物送去进行初步加工。

14、根据权利要求 13 的方法，其特征在于，还包括步骤

e) 把经初步加工的和/或干燥的成型物送去 250 到 1200℃ 的温度下进行热处理。

15、根据权利要求 11 至 14 中任一项的方法，其特征在于，成型是通过挤压完成。

16、根据权利要求 15 的方法，其特征在于，热处理是在 500 到 1000℃ 的温度下进行。

17、根据权利要求 1 至 10 中至少一个的复合材料的用途，其特征在于，用于热绝缘和/或电子方面。

一种含有气凝胶的复合材料、其制备方法和用途

本发明涉及一种复合材料，它含有 10 到 95%(体积)的气凝胶颗粒、并以层状硅酸盐作为无机基质材料，还涉及此类复合材料的制备方法和应用。

由于热量可有效地通过固体物质传导，所以绝大多数无孔的无机固体有相当高的热导率。为了实现低的热导率，经常使用例如基于蛭石的多孔物质。在一种多孔物体中，只保留能有效传导热量的固体骨架，而存在于孔中的空气与固体基质相比传导的热量较少。

然而，由于压力只能通过骨架来承受，所以存在于固体中的孔通常导致其机械稳定性降低。因此，多孔的、但仍具有机械稳定性的物质也有相当高的热导率。

然而，对于许多应用来说，需要非常低的热导率及好的机械强度，例如，高的抗压强度和抗挠强度。第一，成型制品需要机械加工，第二，这些制品要根据应用目的而能够承受机械负载而不破碎或碎裂，甚至在高温下也如此。

正如在 EP-A-0 171 722 中描述的那样，由于气凝胶具有低密度、高孔率和小孔径，因此，气凝胶、尤其是那些具有大于 60%孔隙率和小于 0.6 克/立方厘米密度的气凝胶有非常低的热导率，它们可作为绝热物质使用。小于空气分子平均自由程的小孔径对于降低热导率是十分重要的，这是由于小孔中的空气与大孔中空气相比具有更低的热导率。因此，气凝胶的热导率比其它具有小孔隙率值但大孔径的物质如泡沫体或基于蛭石的物质的热导率更小。

然而，高孔隙率也导致气凝胶干燥前的凝胶体和干燥后的气凝胶本身相对低的机械稳定性。

由于气凝胶的低密度，它有极低的介电常数，依据密度的不同，其值在 1 和 2 之间。因此气凝胶也注定被应用在电子方面，例如高频应用

(S. C. W. Hrubesh 等人, 材料研究杂志, 卷 8, 7 期, 1736-1741)。

除了上述气凝胶的机械性能方面的不利情况外, 如果损耗因子高, 它就非常不利于电子应用。

最广义上的气凝胶, 如在“包含空气作为分散介质的凝胶”意义上的气凝胶, 是由干燥一种合适的凝胶来制备的。在这个意义上的“气凝胶”包括狭义的气凝胶、干凝胶和冰冻凝胶。如果凝胶液体在高于临界温度的温度下和从高于临界压力的压力下开始被除去, 一种干燥的凝胶就称为一种狭义的气凝胶。相比之下, 如果凝胶液体要在低于临界状态下除去, 例如形成一个液-气界面相, 得到的凝胶通常称为干凝胶。应该注意, 按照本发明的凝胶是包含空气作为分散介质意义上的气凝胶。

对于许多应用来说, 必须使用其成型制品具有足够机械稳定性的气凝胶。

EP-A-0 340 707 公开了一种绝缘材料, 它的密度从 0.1 到 0.4 克/立方厘米, 包括至少 50%(体积)的直径在 0.5 至 5 毫米之间的硅-气凝胶-颗粒, 这些硅-气凝胶颗粒通过至少一种有机和/或无机粘合剂粘合在一起。比较粗糙的颗粒大小导致由此绝缘材料生产的成型制品有一个不均匀的气凝胶材料的分布。这尤其出现于如果成型制品的最小典型尺寸如膜或板的厚度不是明显大于气凝胶颗粒的典型直径的情况。尤其在周边区域需要增加粘合剂的比例, 这将对成型制品的、尤其是表面上的热导率和介电性质有不利的影晌。

电子应用尤其需要非常薄的层(从 0.01 到 2.0 毫米), 它不能使用上述的气凝胶颗粒来制备。

此外, 在一种由这种绝缘材料制造的成型制品中, 直径在 0.5 至 5 毫米之间且含有气凝胶材料的低机械稳定性的部位出现在其表面, 并在机械负载作用下, 通过表面的气凝胶的破裂, 最终可导致表面凹凸不平, 横断面和深度最大可达 5 毫米。

此外, 在 EP-A-0 340 707 描述的制备方法中, 由于气凝胶颗粒具有低的机械强度, 它很容易在混合期间由于剪切作用而破碎, 所以这种只包含低比例液体的绝缘材料是不容易制备的。

因此, 本发明的目的是提供一种基于气凝胶的复合材料, 此复合材料

热导率和高机械强度。

本发明进一步的目的是提供一种介电常数小于 3、与此同时也有一个低的介电损耗因子的复合材料。

通过使用一种含有 10 到 95% (体积) 的气凝胶颗粒以及至少一种无机基质材料的复合材料, 可以实现上述目的, 其特征在于, 气凝胶颗粒的直径小于 0.5 毫米, 无机基质物质是一种经焙烧过或未经焙烧过的层状硅酸盐。

基质材料形成一种基质, 它粘合气凝胶颗粒并作为连续相扩展到整个复合材料中。

层状硅酸盐可以是天然形成的层状硅酸盐, 如高岭土、粘土或膨润土, 可以是合成的层状硅酸盐, 如 magadiite、霓橄粗面岩 (deniait) 或其混合物。

优选层状硅酸盐中含有尽可能少的碱金属, 并且要同时具有较高的易成型性。尤其优选的是相应的粘土或合成的无碱金属 (无钠) 的层状硅酸盐, 例如 magadiite。

根据应用, 如果把合成材料和/或其内部的层状硅酸盐焙烧是有利的。选择能使结晶体中的水份除去的焙烧温度 (温度大于 550 °C)。在这种情况下, 例如双层的硅酸盐高岭土转化成偏高岭土 (metakaolin), 这导致了多孔性, 而多孔性在合成材料作热绝缘体的应用中是需要的。

此外, 该合成材料也可含有无机粘合剂, 例如石膏、石灰和/或水泥, 在所有情况下, 无机粘合剂的比例依据层状硅酸盐的比例而定, 优选小于 50% (重量)。

无机粘合剂, 例如水泥、石灰、石膏或其合适的混合物与层状硅酸盐结合, 构成了一种极好的生产气凝胶成型制品的基质。水力法固化产生一种非常好的高强度结构。使层状硅酸盐、无机粘合剂和气凝胶相结合, 产生的成型制品的性质正是应用中、例如在建筑方面应用中所需要的性质。

层状硅酸盐和无机粘合剂的混合物也适合于铸造。层状硅酸盐调节这些含水物料的流变性质。

如果在混合物中, 气凝胶颗粒的量远小于 10% (体积), 由于气凝胶颗粒的比例低, 此混合物的那些有用的特性会在很大程度上失去。这种类型的

混合物将不再有低的密度和热导率。介电常数值将达到其成型制品不适合于例如高频应用的程度。

如果气凝胶颗粒的量远超过 95%(体积), 则将使基质物质的量少于 5%(体积), 基质物质的量太少以至于不能确保气凝胶颗粒相互之间充分粘合, 也不能确保满足所要求的机械抗压强度和抗弯强度。

气凝胶颗粒的比例优选在 20 到 90%(体积) 的范围内。

适用于新的复合材料的气凝胶是那些基于适合于溶胶-凝胶技术的金属氧化物(C. T. Brinker, G. W. Scherer, 溶胶-凝胶科学, 1990 年, 2 和 3 章), 例如, 硅或铝化合物, 或是那些基于适合于溶胶-凝胶技术的有机物质, 例如, 密胺甲醛缩合物(US-A-5 086 085)或间苯二酚甲醛缩合物(US-A-4 873 218)。它们也可基于上述物质的混合物。优选含有硅化合物的气凝胶, 尤其优选 SiO_2 气凝胶, 更优选 SiO_2 干凝胶。为了减少辐射对热导率的提高, 气凝胶可包含红外遮光剂, 例如炭黑、二氧化钛、氧化铁或二氧化锆、或它们的混合物。

在一个优选的实施例, 气凝胶颗粒表面有憎水基团。适合于永久憎水的基团是式为 $-\text{Si}(\text{R})_3$ 的三取代甲硅烷基团, 优选三烷基-和/或三芳基甲硅烷基团, 式中每个 R 可分别是一个惰性的有机基团, 如 C_{1-18} 烷基或 C_{6-14} 芳基, 优选 C_{1-6} 烷基或苯基, 更优选甲基、乙基、环己基或苯基, 另外, 它也可以被官能团取代。三甲基硅烷基团对气凝胶的永久憎水是十分有利的。这些基团可以由 WO 94/25149 中描述的方法引入, 或通过气凝胶和例如一种活性的三烷基硅烷衍生物如一种氯代三烷基硅烷或一种六烷基二硅氮烷之间的气相反应来引入(参见 R. Iler, 硅化学, Wiley 和 Sons, 1979)。与 OH 基团相比, 由这种方法制备的表面憎水基团进一步减少了介电损耗因子和介电常数。有表面亲水基团的气凝胶颗粒可以根据大气湿度来吸收水份, 所以介电常数和损耗因子随着大气湿度而变化。这在电子应用方面通常是不符合要求的。使用有表面憎水基团的气凝胶颗粒, 由于其不吸收水份而防止了这种变化的发生。

基团的选择也要适应于典型的应用温度。

按照本发明, 气凝胶颗粒直径小于 0.5 毫米, 优选小于 0.2 毫米。对于电子应用, 直径还可以减小许多, 但是优选大于 0.1 微米。由于制备气

凝胶颗粒的方法，例如通过研磨的方法，并不一定制成圆的形状，因而颗粒直径指的是各个气凝胶颗粒的平均直径。

在相同气凝胶比例下，使用小的气凝胶颗粒，由于负载下造成的局部压力减小，因而改善了防止产生破裂和破碎的机械稳定性。

此外，小的气凝胶颗粒可均匀分布在混合物中，所以在所有点、尤其甚至在表面上，合成材料几乎都有相同的热导率和介电常数。

依据孔表面基团的材质和形状，气凝胶可是亲水的或憎水的。如果亲水的气凝胶与极性物质、尤其是气体或液体形式的水相接触，依据作用的时间和材料的物理状态，使孔的结构变弱；在不利的情况下，亲水的气凝胶甚至会塌陷。孔的结构的改变、尤其是塌陷可导致绝热效率急剧地降低。考虑到在复合材料中可能存在水份，例如由于在温度变化期间大气中水份凝结以及生产过程中使用了水，这里优选憎水气凝胶。为了避免复合材料在水份和/或周围大气的影响下、在期望的由此复合材料生产的典型成型制品的寿命期间绝热效率的下降，优选能保持长期憎水的、甚至在微酸性环境下憎水的气凝胶。

当使用具有表面憎水基团的气凝胶颗粒时，由于憎水的气凝胶有一个均匀和细密的分布，使用非常小颗粒直径的气凝胶生成一种憎水的陶瓷材料。

复合材料中气凝胶颗粒的特别高的比例可以通过使用颗粒大小的双峰值分布来实现。

同样，气凝胶的热导率随着孔隙率的增加和密度的减小而下降。由于这个原因，优选孔隙率大于 60% 和密度小于 0.6 克/立方厘米的气凝胶。更优选密度小于 0.4 克/立方厘米的气凝胶。

为了减小辐射对热导率的增加，合成材料可含红外遮光剂，例如碳黑、二氧化钛、氧化铁或二氧化锆、或它们的混合物；这对高温应用尤其有利。

对于破裂 - 和破碎强度来说，如果复合材料中含有纤维也能是有利的。这些纤维可以是有机纤维，如聚丙烯、聚酯、尼龙或密胺甲醛纤维，和/或无机纤维，例如玻璃纤维、矿物纤维或 SiC 纤维，和/或碳纤维。如果成型制品要锻烧，不能使用有机纤维。

干燥后得到的复合材料的可燃性类别由气凝胶、无机基质材料和纤维

材料(如果使用的話)的可燃性类别来决定。为了获得尽可能最好的复合材料的可燃性类别(低可燃性或不可燃的),纤维应包括不可燃材料,例如矿物纤维、玻璃纤维或SiC纤维。

为了避免由于加入纤维而导致的热导率的增加,

- a) 纤维的体积含量应为 0.1 到 30%, 优选为 1 到 10%, 和
- b) 纤维材料的热导率优选小于 1 W/mK。

通过选择合适的纤维直径和/或纤维材料,可以减小辐射对热导率的增加,并增加机械强度。为了这些目的,优选纤维直径在 0.1 到 30 μ m 范围内。如果使用碳纤维或含碳纤维可特别地减小辐射对热导率的增加。

机械强度也受复合材料中纤维的长度和分布的影响。优选使用长度在 0.5 和 10 厘米之间的纤维。对于片状的制品,也可使用由纤维组成的织物。

复合材料也可包含其它的辅助材料,例如纤基乙酸钠、淀粉、聚乙烯醇和/或乳化蜡。这些材料可在生产复合材料期间作为助挤压剂使用。在现有技术中,它们在工业上用于制备陶瓷基质。

复合材料的介电常数优选小于 3,尤其在电子应用中更是如此。由于复合材料的电容保持在可以忽略的低值,那么这样一种复合材料适合于应用在高于 1GHz 的频率范围。

如果复合材料呈面状如板使用,为了改善表面的性质,例如增加耐磨性、使表面产生一个气阻挡层或防止其容易变脏,它可以至少在一侧用至少一个复盖层叠压。复盖层也可以改善由复合材料制成制品的机械稳定性。如果复盖层用于两侧表面,则它们可以相同也可以不同。

所有的合适的复盖层材料都是本领域技术人己知的。他们可以是无孔的,这样作为一种气阻挡层是有效的;例如反射热辐射的塑料薄膜、金属箔,或镀金属塑料薄膜。也可使用多孔的复盖层,它可使空气进入到材料中并产生较好的声绝缘,例如多孔薄膜、纸、织物和网膜。基质材料本身也能作为复盖层使用。

复盖层本身也可包含若干层,它们可由使用粘合剂或使用另外的粘性物质来固定。

复合材料的表面也可通过把至少一种合适的材料加入到表面层中而密封和固定。

本发明的目的还在于提供一种制备新的复合材料的方法。

这个目的通过包括如下步骤的方法来实现：

- a) 在一个混合设备中混合气凝胶颗粒、层状硅酸盐、水，并且，如果需要，还加入纤维、粘合剂和/或辅助材料，
- b) 把这样得到的混合物送到成型工序，
- c) 干燥这样得到的成型物，
- d) 如果需要，把干燥后的成型物进行初步加工（Weißbearbeitung），
- e) 如果需要，把经初步加工和/或干燥的成型物送去在 250 到 1200 °C 范围内的温度下进行热处理。

在步骤 a) 中，优选预先把固体物料加入到混合设备中，然后再加入液体物料。

特别优选把含水量大约 50% 的乳化蜡加到无水的原料固体物料中。所需要的其余的水可通过加入水玻璃来获得。如果必要，把更多的水加入到混合物中，加至所需要的量。

可以通过水的加入量来改善混合物的机械性质。混合物特征的流变特性可由纤维、粘合剂和/或辅助材料的类型、数量和组合情况与气凝胶颗粒和层状硅酸盐的性质相配合来决定。

此混合物优选在一个对混合物施加剪切力的混合器中混合。剪切力可使层状硅酸盐各层尽可能完全地打开，并成为单个片晶。

在以后的定型工序、优选挤压工序期间，通过剪切力和垂直作用在层状硅酸盐片晶上的定型力，可能使层状硅酸盐片晶定向排列。这种定向排列增加了机械强度。对于作为绝热材料方面的应用，降低热导率是有利的。此外，为了得到同样的物理性质，需要少一些的层状硅酸盐。

在许多情况下，极强的定向排列是不合乎需要的。通过用焙烧的层状硅酸盐代替所有的或一些未焙烧的层状硅酸盐，可阻止定向排列。

由于层状硅酸盐的塑性，它们可以通过加入水来调节成可具挤压性的形式。调节用水的量要确保混合物具有好的易成型性。按照气凝胶吸水的容量，一定要提高水的量。

然而，成型工序也可以使用本领域技术人员已知的其它方法完成。这样，把优选粘度范围从 100 到 2000 mPas 的混合物注入到模型中。

干燥在成型工序中获得的制品，然后，如果需要，再送去初步加工，例如，修理到所需要的尺寸。

根据应用目的，干燥的制品可送去进行热处理，例如去焙烧或锻烧。焙烧使挤压助剂从材料中除去。优选焙烧温度在从 500 到 1000 °C 的范围内。

优选焙烧期间温度不超过 1000 °C，以便不使气凝胶的结构损坏，尽管气凝胶的含量是高的，焙烧后的强度对于在进一步处理或在应用中的操作仍然是足够高的。

由于新的复合材料具有较低的热导率，所以它们适合于制做热绝缘的成型制品。如果制成的成型制品不含有机成分，它甚至可在 500 °C 以上温度下用于热绝缘。根据应用，制品可设计成片状、条状或不规则形状。

进一步还证明，新的复合材料以成型制品或涂层形式应用于电子方面是成功的，尤其在频率大于 1MHz 的情况下的应用也是成功的。随着气凝胶比例的提高，成型制品的介电常数降低，此制品可用于制作 GHz 电路的基片。由于介电常数小，这使电路的高度集成化成为可能。对于电子方面的应用，优选使用只含层状硅酸盐和至多一个小比例无机粘合剂的复合材料，这是由于与层状硅酸盐相比，基于水泥、石灰和/或石膏的这类粘合剂使介电常数增加得更快。使用合成的层状硅酸盐，例如 magadiite 或霓橄粗面岩，是尤其有益的，这是由于它们是通过不涉及碱金属的方法制备的。

本发明通过下面的实施例进行更详细的描述；在所有的实验中，使用基于原硅酸四乙酯 (TEOS)、密度为 0.17 克/立方厘米和热导率为 30 mW/mK 的憎水气凝胶，它与按 WO 94/25149 中公布的方法、由三甲基氯硅烷制备的憎水气凝胶相似。

实施例 1

下列物料以干料的形式在一个混合器中混合：

500 毫升颗粒大小小于 0.1 毫米的气凝胶

450 克 SAVC 粘土 (R3, AGS 矿物质)

50 克膨润土 G 100

20 克 纤基乙酸钠 FL 6000 X

继续混合，直到混合物看起来是均匀的，即用肉眼不能辨别出单个组分。然后用下列液体把此混合物润湿：

225 毫升水

25 毫升 MobilcerX

25 毫升 Baykiesol

把制成的混合物脱气，然后挤压，形成模制品。干燥模制品，然后为了除去有机成分，送去 500 °C 下进行高温处理。

得到的复合材料模制品的密度为 0.8 克/立方厘米、介电常数为 2.7。

实施例 2

下列物料以干料的形式在一个混合器中混合：

1000 毫升气凝胶

250 克膨润土 G 100

40 克纤基乙酸钠 FL 6000 X

继续混合，直到混合物看起来是均匀的，即用肉眼不能辨别出单个组分。然后用下列液体把此混合物润湿：

200 毫升水

50 毫升 MobilcerX

50 毫升 Baykiesol

把制成的混合物脱气，然后挤压形成模制品。干燥模制品，然后为了除去有机成分，送去 600 °C 下进行高温处理。

得到的模制品的密度为 0.55 克/立方厘米。

实施例 3

下列物料以干料的形式在一个混合器中混合：

500 毫升气凝胶

450 克粘土 MF 35

50 克膨润土 G 100

20 克纤基乙酸钠 FL 6000 X

继续混合，直到混合物看起来是均匀的，即用肉眼不能辨别出单个组

分。然后用下列液体把此混合物润湿:

225 毫升水

25 毫升 MobilcerX

25 毫升 Baykiesol

把制成的混合物脱气, 然后挤压形成模制品。干燥模制品, 然后为了除去有机成分, 送去 500 °C 下进行高温处理。

得到的模制品的密度为 0.8 克/立方厘米。

实施例 4

下列物料以干料的形式在一个混合器中混合:

1000 毫升气凝胶

250 克膨润土 G 100

40 克纤基乙酸钠 FL 6000 X

继续混合, 直到混合物看起来是均匀的, 即用肉眼不能辨别出单个组分。然后用下列液体把此混合物润湿:

200 毫升水

50 毫升 MobilcerX

50 毫升 Baykiesol

把制成的混合物脱气, 然后挤压形成模制品。干燥模制品, 然后为了除去有机成分, 送去 630 °C 下进行高温处理。

得到的模制品的密度为 0.55 克/立方厘米。

实施例 5

1000 毫升气凝胶

200 克硅酸钙(羟钙石)

20 克石膏 α -半水合物

50 克 SAVC 粘土

40 克纤基乙酸钠 FL 6000 X

275 毫升水

把上述物料在一个容器内混合, 使用一个搅拌, 设备搅拌直到混合物

看起来是均匀的，即用肉眼不能辨别出单个组分。

把混合物注入一个模具中，放置 48 小时后取出。为了除去剩余的水分，把成型制品在 50 °C 下干燥。干燥的成型制品密度为 0.65 克/立方厘米，热导率为 0.25 W/mK (使用 Netzsch 生产的仪器通过激光闪光方法测定)，抗弯强度为 35 N/mm² (按照 DIN 40685 或 IEC 672，部分 2 的方法测定)。

实施例 6

下列物料以干料的形式在一个混合器中混合：

500 毫升气凝胶

450 克 SAVC 粘土

50 克膨润土 G100

50 克纤基乙酸钠 FL 6000 X

继续混合，直到混合物看起来是均匀的，即用肉眼不能辨别出单个组分。然后用下列液体把此混合物润湿：

225 毫升水

25 毫升 MobilcerX

25 毫升 Baykiesol

把制成的混合物干燥，然后再送到颚式轧碎机中粉碎到小于 1.5 毫米。得到的粉末在一个有四个叶片搅拌器的 Alpine 十字打浆磨中、在两个通道中碾磨，粉末的平均颗粒大小小于 0.1 毫米。

此粉末在一个盘式成粒机中以 40 度角和 20 转/分的转速成粒。为了成粒，使用 0.2% 浓度的纤基乙酸钠溶液 C600。把颗粒筛分，使颗粒大小在大于 0.1 毫米和小于 0.8 毫米范围内的颗粒筛出，并在 2.5% 的湿度下、在一个 DORST TPA-6 中干法压制出 4.5 × 4.5 × 5.0 毫米的挠性试验样和直径 50 × 7 毫米的圆片。

得到模制品的密度为 1.0 克/立方厘米，热导率为 400 mW/mK，抗弯强度大于 35 N/mm²。