



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101735583 A

(43) 申请公布日 2010.06.16

(21) 申请号 200910218011.6

B29C 43/58(2006.01)

(22) 申请日 2009.12.15

(71) 申请人 中国科学院长春应用化学研究所
地址 130022 吉林省长春市人民大街 5625
号

(72) 发明人 闻新 冉祥海 韩常玉 庄宇刚
董丽松

(74) 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任
公司 22001

代理人 马守忠

(51) Int. Cl.

C08L 67/04(2006.01)

C08K 13/02(2006.01)

C08K 3/36(2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 8 页

(54) 发明名称

完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料及其制备方法。该复合材料的原料和质量份数比为：聚乳酸 50-90 份；聚(ϵ -己内酯) 5-40 份；纳米二氧化硅 1-20 份；增塑剂 1-5 份；抗氧化剂 0.3-1 份；润滑剂 0.1-0.5 份；热稳定剂 0.1-0.5 份。其制备方法包括预混合、密炼机或双螺杆挤出造粒机中熔融共混和热压成型。该复合材料选择的高分子组分是可完全生物降解的高分子，而且纳米二氧化硅和各种助剂都无毒无污染，满足环保要求；该复合材料不仅表现出高韧性，而且保持了较高的拉伸强度和杨氏模量。所述材料的断裂伸长率最高达到 320%，拉伸强度最大值为 61.3MPa；有望在包装材料、日常用品和农用薄膜领域应用。

1. 一种完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料,其特征就在于原料组分和质量份数配比如下:

本发明提供的完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料的原料组分和质量份数配比如下:

聚乳酸 (PLA) 50-90 份;聚(ϵ -己内酯) (PCL) 5-40 份;纳米二氧化硅 1-20 份;增塑剂 1-5 份;抗氧化剂 0.3-1 份;润滑剂 0.1-0.5 份;热稳定剂 0.1-0.5 份;

所述的聚乳酸重均分子量为 8-25 万道尔顿;

所述的聚(ϵ -己内酯)重均分子量为 5-15 万道尔顿;

所述的纳米二氧化硅粒子直径为 10-99nm;

所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 400-10000 道尔顿;

所述的抗氧化剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;

所述的润滑剂为硬脂酰胺、硬脂酸锌和亚乙基双硬脂酰胺,可以选一种或任意比的两种以上,若选两种以上,应该保持总的质量与选一种相等;

所述的热稳定剂为亚磷酸三苯酯。

2. 根据权利 1 所述的完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料的制备方法,其特征就在于步骤和条件如下:

A、预混合:按配比称取原料,放入搅拌机中搅拌均匀;所述的搅拌机转速为 200-500 转/分钟;

B、密炼机或双螺杆挤出造粒机熔融共混:将上述搅拌均匀的原料放入普通密炼机或双螺杆挤出造粒机中熔融共混改性;

所述的密炼机中混炼温度为 170-190 $^{\circ}$ C,混炼时间为 3-10 分钟,转速为 30-60 转/分;

所述的双螺杆挤出造粒机中的共混挤出条件为:

一区:70-80 $^{\circ}$ C;二区:140-150 $^{\circ}$ C;三区:150-160 $^{\circ}$ C;四区:165-175 $^{\circ}$ C;五区:175-185 $^{\circ}$ C;六区:185-195 $^{\circ}$ C;七区:180-190 $^{\circ}$ C;连接器:170-180 $^{\circ}$ C;机头:170-180 $^{\circ}$ C,螺杆转速为 15-35HZ;

C、热压成型:将上述经密炼机或双螺杆熔融共混的物料在平板硫化机上热压成片材,得到一种完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料;所述的热压成型温度为 180-200 $^{\circ}$ C,压力为 5-15Mpa。

3. 根据权利 2 所述的完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料的制备方法,其特征就在于,所述的双螺杆挤出造粒机组中的步骤 C,所述的热压成型温度为 190 $^{\circ}$ C,压力为 10MPa。

完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料及其制备方法,属于生物降解高分子材料的改性与加工领域。

背景技术

[0002] 为了解决日常塑料废弃物造成的“白色污染”问题,同时减少对不可再生的石油资源的依赖,用可生物降解高分子材料代替不可降解的石油基塑料已成为当前高分子材料研究开发的热点。在众多可生物降解的高分子材料中,聚乳酸被认为是最有发展潜力的一种。它来源于可再生的植物资源,具有良好的生物降解性、相容性,在环境中最终分解为二氧化碳和水,对环境无污染;同时还具有可比拟于通用塑料的拉伸强度和模量,具有良好的透明性,因此它被认为是部分石油基塑料的理想替代品。特别是近年来,随着合成工艺的改进,生产成本大大降低,实现了高分子量的聚乳酸的工业化,聚乳酸逐渐被应用到农用、包装、工程等通用塑料领域。然而,聚乳酸的脆性严重,抗冲击性能差,这一缺点大大限制了它的实际应用。

[0003] 为了促进聚乳酸的广泛应用,在保证可完全生物降解的前提下,将聚乳酸和其它可生物降解的高分子材料共混被认为是一种简便易行的方法。聚(ϵ -己内酯)是一种可生物降解的柔性高分子,常温下具有良好的韧性。Lee S. Y. ;et al. (生物材料 Biomaterials 2003, 24, 1167-1173) 将聚乳酸与聚(ϵ -己内酯)直接共混,与纯聚乳酸相比,其复合物断裂伸长率大大提高,但拉伸强度和模量随聚(ϵ -己内酯)含量的增加而降低。由于聚乳酸与聚(ϵ -己内酯)在热力学上不相容,因此常常需要加入二者的增容剂来改善它们的界面性质,这大大提高了生产成本。

[0004] 聚合物纳米复合材料被认为是一种新型复合材料,在聚合物的改性方面有着广泛的应用。为了克服聚乳酸性能上的不足,各种形状的纳米粒子都被填充到聚乳酸基体中,制备的纳米复合材料展示许多新的性质,主要在提高力学强度和模量、增加热稳定性和尺寸稳定性、促进结晶等方面。Dong L. S. ;et al. (应用高分子科学 Journal of Applied Polymer Science 2009, 114, 3379-3388) 将聚乳酸和纳米二氧化硅熔融共混制备的复合材料,拉伸强度和杨氏模量显著提高,同时保持了良好的透明性,但增韧效果不明显,断裂伸长率和冲击强度提高幅度不大。

[0005] 如何在提高其韧性的同时保持较高的强度和模量,是聚乳酸共混改性的关键。CN101275011 公开了一种聚乳酸基三元复合材料,在加入橡胶弹性体的同时,加入碳酸钙微粉,可以保持较高的拉伸强度和模量,但是复合材料的韧性随碳酸钙含量的增加明显下降,与纯聚乳酸相比,其性能提高幅度不大。而且,该类橡胶弹性体填充量较高,并且不能生物降解,严重影响了其复合材料的生物降解性能。Yin J. B. ;et al. (聚合物 Polymer 2007, 48, 6439-6447) 制备了聚乳酸/聚(ϵ -己内酯)/有机改性蒙脱土三元复合材料,该材料保持了较高的刚性,但韧性较之纯聚乳酸提高幅度不大。

发明内容

[0006] 本发明的目的是针对现有聚乳酸材料实际应用中所存在的问题,提供完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料及其制备方法。该纳米复合材料具有可完全生物降解性,优良的力学性能,而且加工工艺简单,适合工业化生产。

[0007] 本发明提供的完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料的原料组分和质量份配比如下:

[0008] 聚乳酸(PLA)50-90份;聚(ϵ -己内酯)(PCL)5-40份;纳米二氧化硅1-20份;增塑剂1-5份;抗氧剂0.3-1份;润滑剂0.1-0.5份;热稳定剂0.1-0.5份;

[0009] 所述的聚乳酸(PLA)重均分子量为8-25万道尔顿;

[0010] 所述的聚(ϵ -己内酯)(PCL)重均分子量为5-15万道尔顿;

[0011] 所述的纳米二氧化硅粒子直径为10-99nm;

[0012] 所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为400-10000道尔顿;

[0013] 所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;

[0014] 所述的润滑剂为硬脂酰胺、硬酯酸锌和亚乙基双硬脂酰胺,可以选一种或任意比的两种以上,若选两种以上,应该保持总的质量与选一种相等;

[0015] 所述的热稳定剂为亚磷酸三苯酯。

[0016] 本发明提供的完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料的制备方法,步骤和条件如下:

[0017] A、预混合:按配比称取原料,放入搅拌机中搅拌均匀;所述的搅拌机转速为200-500转/分钟;

[0018] B、密炼机或双螺杆挤出造粒机熔融共混:将上述搅拌均匀的原料放入密炼机或双螺杆挤出造粒机组中熔融共混改性;

[0019] 所述的密炼机中混炼温度为170-190 $^{\circ}$ C,混炼时间为3-10分钟,转速为30-60转/分;

[0020] 所述的双螺杆挤出造粒机中的共混挤出温度条件为:一区:70-80 $^{\circ}$ C;二区:140-150 $^{\circ}$ C;三区:150-160 $^{\circ}$ C;四区:165-175 $^{\circ}$ C;五区:175-185 $^{\circ}$ C;六区:185-195 $^{\circ}$ C;七区:180-190 $^{\circ}$ C;连接器:170-180 $^{\circ}$ C;机头:170-180 $^{\circ}$ C,螺杆转速为15-35HZ;

[0021] C、热压成型:将上述经密炼机或双螺杆熔融共混的物料在平板硫化机上热压成片材,得到一种完全生物降解聚乳酸纳米复合材料;所述的热压成型温度为180-200 $^{\circ}$ C,压力为5-15MPa;优选热压成型温度为190 $^{\circ}$ C,压力为10MPa。

[0022] 有益效果:本发明在完全环境友好的前提下制备的完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料,具有优良的综合性能,表现为以下几个方面:

[0023] 1. 可完全生物降解性:由于选择的高分子组分是可完全生物降解的高分子,而且纳米二氧化硅和各种助剂都无毒无污染,因此,制备的聚乳酸纳米复合材料具有可完全生物降解性,满足环保要求。

[0024] 2. 优良的力学性能:由于加入的聚(ϵ -己内酯)(PCL)和纳米二氧化硅粒子具有协同作用,制备的完全生物降解的聚乳酸纳米复合材料不仅表现出高韧性,而且保持了较高的拉伸强度和杨氏模量。所述材料的断裂伸长率最高达到320%,拉伸强度最大值为61.3MPa。

[0025] 3. 良好的加工性:该复合材料原料易得,加工工艺简单,适合大规模生产。有望在包装材料、日常用品、农用薄膜等领域广泛应用。

具体实施方式

[0026] 对照例 1

[0027] A、预混合:按照表一中对照例 1 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料,放入高速搅拌机中搅拌均匀;所述的高速搅拌机转速为 300 转/分钟;

[0028] B、混炼:将上述搅拌均匀的材料放入普通密炼机中,175℃,60 转/分,混炼 5 分钟;

[0029] C、热压成型:将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材;所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm;所述的热压成型温度为 190℃,压力为 10MPa。

[0030] 将 1.0mm 厚片材切成哑铃型样条,其细颈部分长 20mm、宽 4mm,进行拉伸测试;将 4.0mm 厚片材切成长方形样条,其长 60mm、宽 10mm,进行缺口冲击测试。根据试样组成不同所测得的力学性能如表 2 所示。

[0031] 对照例 2

[0032] A、预混合:按照表一中对照例 2 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料,放入高速搅拌机中搅拌均匀;所述的高速搅拌机转速为 300 转/分钟;

[0033] B、混炼:将上述搅拌均匀的材料放入普通密炼机中,175℃,60 转/分,混炼 5 分钟;

[0034] C、热压成型:将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材;所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm;所述的热压成型温度为 190℃,压力为 10MPa。

[0035] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试,样品尺寸与对照例 1 相同,测得的力学性能如表 2 所示。

[0036] 对照例 3

[0037] A、预混合:按照表一中对照例 3 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料,放入高速搅拌机中搅拌均匀;所述的高速搅拌机转速为 300 转/分钟;

[0038] B、混炼:将上述搅拌均匀的材料放入普通密炼机中,175℃,50 转/分,混炼 5 分钟;

[0039] C、热压成型:将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材;所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm;所述的热压成型温度为 190℃,压力为 10MPa。

[0040] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试,样品尺寸与对照例 1 相同,测得的力学性能如表 2 所示。

[0041] 实施例 1-3

[0042] A、预混合:按照表一中实施例 1-3 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料,放入高速搅拌机中搅拌均匀;所述的高速搅拌机转速为 300 转/分钟;

[0043] B、混炼:将上述搅拌均匀的材料放入普通密炼机中,175℃,60 转/分,混炼 10 分钟;

[0044] C、热压成型:将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材;所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm;所述的热压成型温度为 190℃,压力为 10MPa。

[0045] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试,样品尺寸与对照例 1 相同,测得的力学性能如表 2 所示。

[0046] 实施例 4-7

[0047] A、预混合:按照表一中实施例 4-7 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料,放入高速搅拌机中搅拌均匀;所述的高速搅拌机转速为 500 转/分钟;

[0048] B、混炼:将上述搅拌均匀的材料放入普通密炼机中,175℃,60 转/分,混炼 5 分钟;

[0049] C、热压成型:将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材;所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm;所述的热压成型温度为 190℃,压力为 10MPa。

[0050] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试,样品尺寸与对照例 1 相同,测得的力学性能如表 2 所示。

[0051] 实施例 8

[0052] A、预混合:按照表一中实施例 8 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料,放入高速搅拌机中搅拌均匀;所述的高速搅拌机转速为 200 转/分钟;

[0053] B、挤出造粒:将上述混合后的样品放入双螺杆挤出机中挤出造粒,其加工温度条件为:一区:70℃;二区:140℃;三区:150℃;四区:165℃;五区:175℃;六区:185℃;七区:180℃;连接器:170℃;机头:170℃,螺杆转速为 15HZ;

[0054] C、热压成型:将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材;所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm;所述的热压成型温度为 190℃,压力为 10MPa。

[0055] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试,样品尺寸与对照例 1 相同,测得的力学性能如表 2 所示。

[0056] 实施例 9

[0057] A、预混合:按照表一中实施例 9 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料,放入高速搅拌机中搅拌均匀;所述的高速搅拌机转速为 300 转/分钟;

[0058] B、混炼:将上述搅拌均匀的材料放入普通密炼机中,190℃,50 转/分,混炼 10 分钟;

[0059] C、热压成型:将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材;所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm;所述的热压成型温度为 190℃,压力为 10MPa。

[0060] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试,样品尺寸与对照例 1 相同,测得的力学性能如表 2 所示。

[0061] 实施例 10

[0062] A、预混合:按照表一中实施例 10 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料,放入高速搅拌机中搅拌均匀;所述的高速搅拌机转速为 300 转/分钟;

[0063] B、挤出造粒:将上述混合后的样品放入双螺杆挤出机中挤出造粒,其加工温度条件为:一区:80℃;二区:150℃;三区:60℃;四区:175℃;五区:185℃;六区:195℃;七区:190℃;连接器:180℃;机头:180℃,螺杆转速为 35HZ;

[0064] C、热压成型:将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材;所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm;所述的热压成型温度为 190℃,压力为 10MPa。

[0065] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试,样品尺寸与对照例 1 相同,测得的力学

性能如表 2 所示。

[0066] 实施例 11

[0067] A、预混合：按照表一中实施例 11 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料，放入高速搅拌机中搅拌均匀；所述的高速搅拌机转速为 300 转 / 分钟；

[0068] B、混炼：将上述搅拌均匀的材料放入普通密炼机中，175℃，60 转 / 分，混炼 5 分钟；

[0069] C、热压成型：将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材；所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm；所述的热压成型温度为 190℃，压力为 10MPa。

[0070] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试，样品尺寸与对照例 1 相同，测得的力学性能如表 2 所示。

[0071] 实施例 12

[0072] A、预混合：按照表一中实施例 12 的质量份的配比和说明的技术指标称取原料，放入高速搅拌机中搅拌均匀；所述的高速搅拌机转速为 300 转 / 分钟；

[0073] B、挤出造粒：将上述搅拌均匀的材料放入双螺杆挤出机中挤出造粒，其加工温度条件为：一区：75℃；二区：145℃；三区：155℃；四区：170℃；五区：180℃；六区：190℃；七区：185℃；连接器：175℃；机头：175℃，螺杆转速为 25HZ；

[0074] C、热压成型：将上述进一步混炼后的制品在平板硫化机上热压成片材；所述的片材厚度为 1.0mm 和 4mm；所述的热压成型温度为 190℃，压力为 10MPa。

[0075] 将制备的片材进行拉伸和缺口冲击测试，样品尺寸与对照例 1 相同，测得的力学性能如表 2 所示。

[0076] 表 1：实施例 1-15 及对照例 1-2 的聚乳酸纳米复合材料的质量份组分表

[0077]

成分 编号	聚乳酸	聚(ϵ -己内酯)	二氧化硅	增塑剂	抗氧剂	热稳定剂	润滑剂
对照例 1	99.5	0	0	0	0.3	0.1	0.1
对照例 2	95	0	3	1	0.3	0.3	0.2
对照例 3	76	20	0	3.2	0.3	0.3	0.2
实施例 1	90	5	3	1.1	0.3	0.3	0.3
实施例 2	85	10	3	1	0.5	0.3	0.2
实施例 3	75	20	3	1	0.5	0.3	0.2
实施例 4	85	5	5	4.2	0.3	0.3	0.2
实施例 5	85	10	10	1	0.3	0.3	0.2
实施例 6	75	20	3	1.2	0.3	0.3	0.2
实施例 7	50	28	20	1.3	0.2	0.5	0.2
实施例 8	55	40	3	1.2	0.3	0.3	0.2

[0078]

实施例 9	60	15	20	4.2	0.3	0.3	0.2
实施例 10	85	5	4	5	0.3	0.5	0.2
实施例 11	80	12	3	3.5	1	0.2	0.3
实施例 12	75	18	3	3	0.3	0.2	0.5

[0079] 其中,对照例 1 中所述的聚乳酸重均分子量为 25 万道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的热稳定剂为亚磷酸三苯酯,所述的润滑剂

为硬酯酸锌；

[0080] 其中,对照例 2 中所述的聚乳酸重均分子量为 25 万道尔顿;所述的纳米二氧化硅粒径为 12nm;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 1000 道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的热稳定剂为亚磷酸三苯酯;所述的润滑剂为硬脂酰胺;

[0081] 其中,对照例 3 中所述的聚乳酸重均分子量为 18 万道尔顿;所述的聚(ϵ -己内酯)重均分子量为 8 万道尔顿;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 2000 道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的热稳定剂为亚磷酸三苯酯;所述的润滑剂为硬脂酰胺;

[0082] 其中,实施例 1-3 中所述的聚乳酸重均分子量为 25 万道尔顿;所述的聚(ϵ -己内酯)重均分子量为 12 万道尔顿;所述的纳米二氧化硅粒径为 12nm;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 400 道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的润滑剂为亚乙基双硬脂酰胺;

[0083] 其中,实施例 4-7 中所述的聚乳酸重均分子量为 18 万道尔顿;所述的聚(ϵ -己内酯)重均分子量为 8 万道尔顿;所述的二氧化硅粒径为 12nm;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 10000 道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的润滑剂为硬酯酸锌;

[0084] 其中,实施例 8 中所述的聚乳酸重均分子量为 8 万道尔顿;所述的聚(ϵ -己内酯)重均分子量为 5 万道尔顿;所述的二氧化硅粒径为 10nm;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 1000 道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的润滑剂为硬脂酰胺;

[0085] 其中,实施例 9 中所述的聚乳酸重均分子量为 5 万道尔顿;所述的聚(ϵ -己内酯)重均分子量为 8 万道尔顿;所述的二氧化硅粒径为 99nm;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 1000 道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的润滑剂为亚乙基双硬脂酰胺;

[0086] 其中,实施例 10 中所述的聚乳酸重均分子量为 8 万道尔顿;所述的聚(ϵ -己内酯)重均分子量为 12 万道尔顿;所述的二氧化硅粒径为 12nm;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 600 道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的润滑剂为硬脂酰胺;

[0087] 其中,实施例 11 中所述的聚乳酸重均分子量为 18 万道尔顿;所述的二氧化硅粒径为 12nm;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 1000 道尔顿,所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的润滑剂为硬酯酸锌;

[0088] 其中实施例 12 中所述的聚乳酸重均分子量为 10 万道尔顿;所述的二氧化硅粒径为 50nm;所述的增塑剂为聚乙二醇,其数均分子量为 2000 道尔顿;所述的抗氧剂为季戊四醇双亚磷酸二(2,4-二特丁基苯基)酯;所述的润滑剂为硬脂酰胺;

[0089] 表 2:对照例和实施例所对应的复合材料的力学性能表

[0090]

性能 编号	拉伸强度 (MPa)	拉伸模量 (GPa)	断裂伸长率 (%)	缺口冲击强度 (KJ/m ²)
对照例 1	58.6	1.65	3.8	4.5
对照例 2	65.5	2.18	7.4	5.2
对照例 3	45.2	1.58	112	16.8
实施例 1	60.2	2.02	28.8	7.2
实施例 2	56.8	1.90	230	19.2
实施例 3	50.2	1.68	184	25.2

[0091]

实施例 4	59.6	1.98	39.2	7.6
实施例 5	51.2	1.82	285	21.2
实施例 6	47.4	1.52	205	23.8
实施例 7	61.3	2.14	72.2	8.1
实施例 8	50.8	1.76	320	24.8
实施例 9	56.2	1.56	85	14.2
实施例 10	60.8	2.06	19.6	6.6
实施例 11	52.3	1.84	201	14.8
实施例 12	42.9	1.38	112	15.2