



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109423005 B

(45) 授权公告日 2023.06.23

(21) 申请号 201810861262.5

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2018.08.01

C08L 61/16 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

C08L 81/02 (2006.01)

申请公布号 CN 109423005 A

C08L 77/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2019.03.05

C08K 3/04 (2006.01)

C08J 5/00 (2006.01)

(30) 优先权数据

62/550,178 2017.08.25 US

(56) 对比文件

15/825,745 2017.11.29 US

US 2016297935 A1, 2016.10.13

(73) 专利权人 波音公司

US 2008048364 A1, 2008.02.28

地址 美国伊利诺伊州

US 2016200460 A1, 2016.07.14

(72) 发明人 A·M·汤姆辛斯卡 R·W·阿斯顿

许爱忠等.非导电聚合物基体碳纳米管复合

N·M·黑斯廷斯

材料研究进展.《中国塑料》.2002,第16卷(第08期),1-8.

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

审查员 张晓默

专利代理人 张全信 尚晓芹

权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

碳纳米管增强聚合物和制造其的方法

(57) 摘要

本发明的名称为碳纳米管增强聚合物和制造其的方法。碳纳米管增强聚合物包括聚合物和与聚合物混合的多个碳纳米管小薄片。碳纳米管小薄片各自包括缠绕的碳纳米管的网络。

1.一种碳纳米管增强聚合物(2),其包括:

聚合物(4);其中所述聚合物(4)包括热塑性聚合物;和

与所述聚合物(4)混合的多个碳纳米管小薄片(6),所述碳纳米管小薄片(6)各自包括缠绕的碳纳米管(8)的网络,

其中所述多个碳纳米管小薄片(6)的长度在1至10,000μm的范围内,所述多个碳纳米管小薄片(6)的长度与宽度比在1:1至1000:1的范围内,并且所述多个碳纳米管小薄片(6)的长度与厚度比在1:1至100:1的范围内,

其中所述聚合物(4)是聚合物粉末(4A)的形式,并且所述多个碳纳米管小薄片(6)与所述聚合物粉末(4A)混合。

2.根据权利要求1所述的碳纳米管增强聚合物(2),其中所述聚合物(4)选自:聚醚酮酮(PEKK)、聚苯硫醚(PPS)、聚酰胺(11)、和其组合。

3.根据权利要求1或2所述的碳纳米管增强聚合物(2),其中所述碳纳米管增强聚合物(2)被嵌入足以提供小于1E12(1×10^{12})欧姆的所述碳纳米管增强聚合物(2)的电阻的量的所述碳纳米管小薄片(6)。

4.根据权利要求1或2所述的碳纳米管增强聚合物(2),其中所述聚合物(4)中所述碳纳米管(8)的重量百分比负载在0.0001wt%至25wt%的范围内。

5.根据权利要求1或2所述的碳纳米管增强聚合物(2),其中所述聚合物(4)是聚合物基体(4B)的形式,并且所述多个碳纳米管小薄片(6)被嵌入所述聚合物基体(4B)内。

6.一种用于制造碳纳米管增强聚合物(2)的方法,所述方法包括:

提供(22)多个碳纳米管小薄片(6),所述碳纳米管小薄片(6)各自包括缠绕的碳纳米管(8)的网络;和

使所述多个碳纳米管小薄片与聚合物(4)混合(24),

其中所述多个碳纳米管小薄片(6)的长度在1至10,000μm的范围内,所述多个碳纳米管小薄片(6)的长度与宽度比在1:1至1000:1的范围内,并且所述多个碳纳米管小薄片(6)的长度与厚度比在1:1至100:1的范围内,

其中使所述多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物(4)混合包括使所述多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物粉末(4A)混合并且其中所述聚合物(4)包括热塑性聚合物。

7.根据权利要求6所述的方法,其中,提供多个碳纳米管小薄片(6)包括:

提供碳纳米管薄片,所述碳纳米管薄片包括缠绕的碳纳米管(8)的网络;和

将所述碳纳米管薄片切割或研磨成所述多个碳纳米管小薄片(6)。

8.根据权利要求6或7所述的方法,其中使所述多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物(4)混合包括将所述多个碳纳米管小薄片(6)嵌入聚合物基体(4B)内。

9.根据权利要求8所述的方法,其中将所述多个碳纳米管小薄片(6)嵌入所述聚合物基体(4B)内包括:

使所述多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物粉末(4A)混合;和

烧结所述聚合物粉末(4A)以将所述多个碳纳米管小薄片(6)嵌入由所述聚合物粉末(4A)形成的聚合物基体(4B)内。

碳纳米管增强聚合物和制造其的方法

[0001] 优先权

[0002] 本申请是2017年8月25日提交的美国系列号62/550,178的非临时申请并且要求其优先权。

技术领域

[0003] 本申请涉及具有导电性质的聚合物化合物，并且更具体地，涉及适合用于航空和航天交通工具(air and space vehicle)的碳纳米管增强聚合物。

背景技术

[0004] 静电荷可能造成一系列的影响，包括干扰科学测量或电子元件。

[0005] 对于需要消散静电荷的应用，具有导电性质的聚合物化合物具有许多优于其他材料的优点，包括重量轻并且能够加工成复杂的形状。多种技术可用于赋予聚合物材料导电性质。

[0006] 为了提供航空和航天交通工具所需要的静电消散泄放(bleed)，可以为具有高达30%的碳纤维的百分比重量负载的聚合物提供 $1E9 (1 \times 10^9)$ 欧姆的最大电阻。碳纤维的这种高百分比重量负载降低了基础聚合物材料的整体机械性能，特别地基础聚合物材料的韧性。

[0007] 因此，本领域技术人员继续在具有导电性质的聚合物化合物领域中进行研究和开发。

发明内容

[0008] 在一方面，公开的碳纳米管增强聚合物可以包括聚合物和与聚合物混合的多个碳纳米管小薄片(sheetlet)。碳纳米管小薄片可以各自包括缠绕的碳纳米管的网络。

[0009] 在另一方面，公开的用于制造碳纳米管增强聚合物的方法包括：提供多个碳纳米管小薄片，碳纳米管小薄片各自包括缠绕的碳纳米管的网络；和使多个碳纳米管小薄片与聚合物混合。

[0010] 在又另一方面，公开的用于制造碳纳米管增强聚合物的方法包括：提供与聚合物混合的多个碳纳米管小薄片，碳纳米管小薄片各自包括缠绕的碳纳米管的网络；和使碳纳米管小薄片和聚合物的混合物形成具有最终或接近最终尺寸的制品。

[0011] 由以下详细描述、附图和所附权利要求，公开的碳纳米管增强聚合物、用于制造碳纳米管增强聚合物的方法和使用碳纳米管增强聚合物的方法的其他方面将变得显而易见。

附图说明

[0012] 图1是本说明书的碳纳米管增强聚合物的第一方面的表示。

[0013] 图2是本说明书的碳纳米管增强聚合物的第二方面的截面图。

[0014] 图3是图2的碳纳米管增强聚合物的第二方面的实例。

- [0015] 图4是图2的碳纳米管增强聚合物的第二方面的另一实例。
- [0016] 图5是包括无序缠绕的碳纳米管的网络的碳纳米管小薄片的一部分的截面图。
- [0017] 图6是图2的碳纳米管增强聚合物的第二方面的另一实例。
- [0018] 图7是图2的碳纳米管增强聚合物的第二方面的另一实例。
- [0019] 图8是用于制造碳纳米管增强聚合物的示例性方法的流程图。
- [0020] 图9是用于制造碳纳米管增强聚合物的示例性方法的流程图。
- [0021] 图10是使用碳纳米管增强聚合物的示例性方法的流程图。

具体实施方式

[0022] 公开了碳纳米管增强聚合物2，其包括聚合物4和与聚合物4混合的多个碳纳米管小薄片6，碳纳米管小薄片6各自包括缠绕的碳纳米管8的网络(图5)。碳纳米管增强聚合物2的形式是不受限制的。碳纳米管增强聚合物2可以是用于后续处理的前体形式，比如用于通过增材制造工艺的后续处理的前体，比如逐层增材制造工艺，例如熔融沉积成型或选择性激光烧结。可选地，碳纳米管增强聚合物2可以是具有最终或接近最终尺寸的制品的形式，比如通过增材制造工艺形成的制品，比如逐层增材制造工艺，例如熔融沉积成型或选择性激光烧结。

[0023] 图1图解了碳纳米管增强聚合物2的第一方面，其中碳纳米管增强聚合物2包括聚合物粉末4A形式的聚合物4，并且多个碳纳米管小薄片6与聚合物粉末4A混合。可以通过，例如，烧结聚合物4以将多个碳纳米管小薄片6嵌入由聚合物粉末4A形成的聚合物基体内来后续处理聚合物粉末4A和碳纳米管小薄片6的混合物。换句话说，聚合物4仅在后续处理(例如，烧结)之后用作聚合物基体，其中后续处理使得聚合物4用作支撑碳纳米管小薄片6的粘合剂。聚合物粉末4A和碳纳米管小薄片6的混合物的后续处理是不受限制的并且可以包括通过增材制造工艺的后续处理，例如选择性激光烧结，以形成具有最终或接近最终尺寸的制品。

[0024] 图2至5图解了碳纳米管增强聚合物2的第二方面。如图2中所图解，碳纳米管增强聚合物2包括由聚合物4形成的聚合物基体4B，并且多个碳纳米管小薄片6嵌入聚合物基体4B内。碳纳米管增强聚合物2可以采取任何形式，比如用于后续处理的前体或者具有最终或接近最终尺寸的制品。

[0025] 如图3中所图解，碳纳米管增强聚合物2可以采取多个颗粒3的形式，比如小球，其具有嵌入聚合物4的聚合物基体4B内的碳纳米管小薄片6。例如，可以由聚合物粉末4A(图1)和碳纳米管小薄片6的上述混合物的后续处理制造多个颗粒3。多个颗粒3本身可以通过例如，增材制造工艺，例如选择性激光烧结被后续处理，以形成具有最终或接近最终尺寸的制品。

[0026] 如图4所图解，碳纳米管增强聚合物2可以采取长丝5的形式，比如纤维或线股(strand)，其具有嵌入多个颗粒的聚合物基体(未显示)内的碳纳米管小薄片(未显示)。长丝5可以由，例如，聚合物粉末和碳纳米管小薄片的上述混合物的后续处理制造。长丝本身可以通过例如，增材制造工艺，例如熔融沉积成型被后续处理，以形成具有最终或接近最终尺寸的制品。

[0027] 图6和7图解了碳纳米管增强聚合物2可以采取制品7的形式，其具有最终或接近最

终尺寸并且具有嵌入制品的聚合物基体(未显示)内的碳纳米管小薄片(未显示)。制品7的尺寸和特性是不受限制的并且可以取决于制品的应用。在一方面,制品7可以是航空或航天交通工具的元件,比如航空或航天交通工具的空气再生系统的元件。图6图解了具有最终或接近最终尺寸的示例性制品7,具体地航空或航天交通工具的空气再生系统的管道。图7图解了具有最终或接近最终尺寸的示例性制品7,具体地航空或航天交通工具的空气再生系统的面板。

[0028] 如先前所提及,碳纳米管小薄片可以各自包括缠绕的碳纳米管的网络。碳纳米管可以以任何方式被缠绕,包括碳纳米管的有序缠绕或碳纳米管的无序缠绕。图5中显示了包括无序缠绕的碳纳米管8的网络的碳纳米管小薄片6的一部分的图解。

[0029] 先前已经尝试将单个碳纳米管分散在聚合物基体内以赋予聚合物导电性质。然而,单个碳纳米管倾向于聚集,这倾向于使后续处理复杂化。例如,单个碳纳米管的聚集倾向于堵塞熔融沉积成型中使用的喷嘴。更具体地,熔融沉积工艺通过与聚合物长丝分层铺设材料以形成具有最终或接近最终尺寸的制品形状来工作。然而,因为单个碳纳米管倾向于聚集,由于用于铺设与单个碳纳米管合并的聚合物层的喷嘴堵塞,处理变得复杂。而且,单个碳纳米管可能变得空气传播(airborne),增加了处理碳纳米管的担忧。当前描述的碳纳米管增强聚合物通过提供碳纳米管小薄片解决了这些问题,该碳纳米管小薄片各自包括缠绕的碳纳米管的网络,与聚合物粉末混合或者嵌入聚合物基体内,因而促进加工并且减轻处理的担忧。

[0030] 在一方面,聚合物4可以包括热塑性聚合物。热塑性聚合物的类型是不受限制的。热塑性聚合物可以包括,例如,聚醚酮酮(PEKK)、聚苯硫醚(PPS)、聚酰胺11和其组合。在一个具体实例中,热塑性聚合物包括聚醚酮酮(PEKK)。在另一个具体实例中,热塑性聚合物包括聚苯硫醚(PPS)。在又另一个具体实例中,热塑性聚合物包括聚酰胺11。

[0031] 多个碳纳米管小薄片6中的碳纳米管8可以选自单壁碳纳米管、双壁碳纳米管、或任何其他多壁碳纳米管、或其混合物。

[0032] 碳纳米管小薄片6的尺寸是不受限制的并且可以取决于碳纳米管增强聚合物2的应用。如果碳纳米管小薄片6的尺寸太小,那么处理碳纳米管8的担忧可能增加。因此,在一方面,碳纳米管小薄片6可以具有至少 $0.1\mu\text{m}$,优选地至少 $1\mu\text{m}$,更优选地至少 $10\mu\text{m}$ 的长度,其在此被限定为小薄片的最大尺寸。如果碳纳米管小薄片6的尺寸太大,那么碳纳米管增强聚合物2的整体机械性能可能降低。因此,在一方面,碳纳米管小薄片6可以具有至多 $10,000\mu\text{m}$,优选地至多 $1000\mu\text{m}$ 的长度,其在此被限定为小薄片6的最大尺寸。在具体实例中,碳纳米管小薄片6具有 50 至 $200\mu\text{m}$ 范围内的长度。

[0033] 碳纳米管小薄片6的宽度是不受限制的并且可以取决于碳纳米管增强聚合物2的应用。在一方面,多个碳纳米管小薄片6的长度与宽度比可以在 $1:1$ 至 $1000:1$ 范围内,优选地在 $1:1$ 至 $100:1$ 的范围内,更优选地在 $1:1$ 至 $10:1$ 的范围内。在具体实例中,多个碳纳米管小薄片6的长度与宽度比在 $1:1$ 至 $2:1$ 的范围内。

[0034] 碳纳米管小薄片6的厚度是不受限制的并且可以取决于碳纳米管增强聚合物2的应用。在一方面,多个碳纳米管小薄片6的长度与厚度比可以优选地在 $1:1$ 至 $100:1$ 的范围内,更优选地在 $1:1$ 至 $10:1$ 的范围内。

[0035] 碳纳米管小薄片6的量是不受限制的并且可以取决于碳纳米管增强聚合物2的应

用和被赋予的所需导电性。例如,对于被认为具有抗静电性质的碳纳米管增强聚合物2,碳纳米管增强聚合物2可以被嵌入足以提供小于1E12(1×10^{12})欧姆,优选地小于1E11(1×10^{11})欧姆,更优选地小于1E10(1×10^{10})欧姆的电阻的量的碳纳米管小薄片6。例如,对于将被认为具有静电消散性质的碳纳米管增强聚合物2,碳纳米管增强聚合物2可以被嵌入足以提供小于1E9(1×10^9)欧姆,优选地小于1E8(1×10^8)欧姆,更优选地小于1E7(1×10^7)欧姆的电阻的量的碳纳米管小薄片6。为了向航空和航天交通工具提供所需要的静电消散泄放,可以通过嵌入足量的碳纳米管小薄片6向碳纳米管增强聚合物2提供1E9(1×10^9)欧姆的最大电阻。

[0036] 碳纳米管小薄片6的量可以由碳纳米管8的重量百分比负载限定。如果碳纳米管8的重量百分比负载太低,那么被赋予碳纳米管增强聚合物2的导电性是有限的。因此,在一方面,聚合物基体中碳纳米管8的重量百分比负载是至少0.0001wt%,优选地至少0.001wt%,更优选地至少0.01wt%。如果碳纳米管8的重量百分比负载太高,那么碳纳米管增强聚合物2的机械性质可能降低。因此,在一方面,聚合物基体4B中的碳纳米管8的重量百分比负载是至多25wt%,优选地至多5wt%,更优选地至多1wt%。在实例中,聚合物基体4B中碳纳米管8的重量百分比负载在0.05wt%至0.5wt%的范围内。在另一实例中,碳纳米管小薄片6是100μm×100μm方形薄片,并且聚合物基体4B中碳纳米管8的重量负载在0.05wt%至0.5wt%负载的范围内。

[0037] 碳纳米管小薄片6可以通过任何合适的方法制造。例如,碳纳米管小薄片6可以由碳纳米管薄片制造,碳纳米管薄片包括缠绕的碳纳米管8的网络,其中碳纳米管薄片经受切割或者研磨成为多个碳纳米管小薄片6。

[0038] 本说明书的第二实施方式涉及用于制造碳纳米管增强聚合物2的方法。碳纳米管增强聚合物2不限于以下用于制造的方法。

[0039] 进一步地,本公开内容包括以下列举的段落中描述的实例:

[0040] 条款1.一种碳纳米管增强聚合物(2),其包括:聚合物(4);和与聚合物(4)混合的多个碳纳米管小薄片(6),碳纳米管小薄片(6)各自包括缠绕的碳纳米管(8)的网络。

[0041] 条款2.条款1的碳纳米管增强聚合物(2),其中聚合物(4)选自:聚醚酮酮(PEKK)、聚苯硫醚(PPS)、聚酰胺(11)和其组合。

[0042] 条款3.条款1的碳纳米管增强聚合物(2),其中多个碳纳米管小薄片(6)的长度在1至10,000μm的范围内。

[0043] 条款4.条款1的碳纳米管增强聚合物(2),其中碳纳米管增强聚合物(2)被嵌入足以提供小于1E12(1×10^{12})欧姆的碳纳米管增强聚合物(2)的电阻的量的碳纳米管小薄片(6)。

[0044] 条款5.条款1的碳纳米管增强聚合物(2),其中聚合物(4)中碳纳米管(8)的重量百分比负载在0.0001wt%至25wt%的范围内。

[0045] 条款6.条款1的碳纳米管增强聚合物(2),其中聚合物(4)是聚合物粉末(4A)的形式,并且多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物粉末(4A)混合。

[0046] 条款7.条款1的碳纳米管增强聚合物(2),其中聚合物(4)是聚合物基体(4B)的形式,并且多个碳纳米管小薄片(6)被嵌入聚合物基体(4B)内。

[0047] 条款8.条款7的碳纳米管增强聚合物(2),其中碳纳米管增强聚合物(2)是多个颗

粒(3)的形式，并且多个碳纳米管小薄片(6)被嵌入多个颗粒(3)的聚合物基体(4B)内。

[0048] 条款9.条款7的碳纳米管增强聚合物(2)，其中碳纳米管增强聚合物(2)是长丝(5)的形式，并且多个碳纳米管小薄片(6)被嵌入长丝(5)的聚合物基体(4B)内。

[0049] 条款10.一种由条款7的碳纳米管增强聚合物(2)形成的制品(7)。

[0050] 条款11.条款10的制品(7)，其为航空或航天交通工具的元件。

[0051] 条款12.一种用于制造碳纳米管增强聚合物(2)的方法，方法包括：提供(22)多个碳纳米管小薄片(6)，碳纳米管小薄片(6)各自包括缠绕的碳纳米管(8)的网络；和使多个碳纳米管小薄片与聚合物(4)混合(24)。

[0052] 条款13.条款12的方法，其中，提供多个碳纳米管小薄片(6)包括：提供碳纳米管薄片，碳纳米管薄片包括缠绕的碳纳米管(8)的网络；和将碳纳米管薄片切割或研磨成为多个碳纳米管小薄片(6)。

[0053] 条款14.条款12的方法，其中使多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物(4)混合包括使多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物粉末(4A)混合。

[0054] 条款15.条款12的方法，其中使多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物(4)混合包括将多个碳纳米管小薄片(6)嵌入聚合物基体(4B)内。

[0055] 条款16.条款15的方法，其中将多个碳纳米管小薄片(6)嵌入聚合物基体(4B)内包括：使多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物粉末(4A)混合；和烧结聚合物粉末(4A)以将多个碳纳米管小薄片(6)嵌入由聚合物粉末(4A)形成的聚合物基体(4B)内。

[0056] 条款17.条款12的方法，其中多个碳纳米管小薄片(6)的长度在1至10,000μm的范围内。

[0057] 条款18.一种制造方法，其包括：使多个碳纳米管小薄片(6)与聚合物(4)混合(32)以形成混合物，多个碳纳米管小薄片(6)中的每个碳纳米管小薄片(6)包括缠绕的碳纳米管(8)的网络；和使混合物形成(34)为碳纳米管增强聚合物制品(7)，其中碳纳米管增强聚合物制品(7)具有最终或接近最终尺寸。

[0058] 条款19.条款18的方法，其中聚合物(4)被提供为与多个碳纳米管小薄片(6)混合的聚合物粉末(4A)。

[0059] 条款20.条款19的方法，其中形成(34)混合物包括选择性激光烧结。

[0060] 条款21.条款18的方法，其中多个碳纳米管小薄片(6)被嵌入聚合物(4)内。

[0061] 条款22.条款21的方法，其中形成(34)混合物包括选择性激光烧结和熔融沉积成型中的至少一种。

[0062] 条款23.由条款18的方法形成的碳纳米管增强聚合物制品(7)。

[0063] 以下用于制造碳纳米管增强聚合物的方法包括制造用于后续处理的前体形式和最终或接近最终尺寸的制品形式的碳纳米管增强聚合物的方法，用于后续处理的前体形式比如用于通过增材制造工艺的后续处理的前体，最终或接近最终尺寸的制品形式比如通过增材制造工艺形成的制品。

[0064] 图8图解了制造碳纳米管增强聚合物的方法的第一方面。用于制造碳纳米管增强聚合物的方法的第一方面包括，在方框22处，提供多个碳纳米管小薄片，碳纳米管小薄片各自包括缠绕的碳纳米管的网络。制造碳纳米管增强聚合物的方法进一步包括，在方框24处，使多个碳纳米管小薄片与聚合物混合。

[0065] 提供多个碳纳米管小薄片的方框22的步骤可以包括提供碳纳米管薄片, 碳纳米管薄片包括缠绕的碳纳米管的网络, 并且将碳纳米管薄片切割或研磨成为多个碳纳米管小薄片。碳纳米管薄片可以以任何已知的方式制造, 比如将碳纳米管化学气相沉积成为薄片的形状。提供多个碳纳米管小薄片的步骤不限于以这种方式提供多个碳纳米管小薄片。

[0066] 在实例中, 使多个碳纳米管小薄片与聚合物混合的方框24的步骤可以包括使多个碳纳米管小薄片与聚合物粉末混合。然而, 使多个碳纳米管小薄片与聚合物混合不限于此。

[0067] 在使多个碳纳米管小薄片与聚合物混合的情况下, 本方法减轻了与将单个碳纳米管并入到聚合物中的先前尝试相关联的处理担忧。具体地, 由于单个碳纳米管的小尺寸以及单个碳纳米管变得空气传播的可能性, 先前的尝试已经提高了处理担忧。当前描述的用于制造碳纳米管增强聚合物的方法通过提供碳纳米管小薄片解决了这些问题, 碳纳米管小薄片各自包括缠绕的碳纳米管的网络, 因而减轻了与单个碳纳米管相关联的处理担忧。

[0068] 在另一实例中, 使多个碳纳米管小薄片与聚合物混合的方框24的步骤可以包括将多个碳纳米管小薄片嵌入由聚合物形成的聚合物基体内。

[0069] 在包括将多个碳纳米管小薄片嵌入聚合物基体内的情况下, 将多个碳纳米管小薄片嵌入聚合物基体内的步骤可以包括将多个碳纳米管小薄片与聚合物粉末混合, 和烧结聚合物粉末以将多个碳纳米管小薄片嵌入由聚合物粉末形成的聚合物基体内。

[0070] 为了本申请的目的, 烧结可以包括加热至高于或低于聚合物粉末的熔融温度, 只要聚合物粉末被充分加热以将聚合物粉末的颗粒和碳纳米管小薄片固结在一起。在实例中, 碳纳米管小薄片和聚合物粉末的混合物可以被激光烧结。在另一实例中, 碳纳米管小薄片和聚合物粉末的混合物可以以逐层方式提供至粉末床并且选择性地激光烧结以构建制品所需的形状。

[0071] 图9图解了制造碳纳米管增强聚合物的方法的第二方面。用于制造碳纳米管增强聚合物的方法的第二方面包括, 在方框32处, 提供与聚合物混合的多个碳纳米管小薄片, 碳纳米管小薄片各自包括缠绕的碳纳米管的网络。制造碳纳米管增强聚合物的方法进一步包括, 在方框34处, 将碳纳米管小薄片和聚合物的混合物形成为具有最终或接近最终尺寸的制品。

[0072] 在方框32的步骤中, 提供与聚合物混合的多个碳纳米管小薄片, 聚合物可以被提供为与多个碳纳米管小薄片混合的聚合物粉末。然而, 提供与聚合物混合的多个碳纳米管小薄片的步骤不限于被提供为聚合物粉末的聚合物。

[0073] 在聚合物被提供为聚合物粉末的情况下, 制品可以通过包括增材制造工艺的工艺形成, 比如由粉末构建制品的选择性激光烧结。然而, 即使当聚合物被提供为聚合物粉末时, 制品也可以通过非增材制造工艺或除了选择性激光烧结之外的增材制造工艺形成。

[0074] 在方框32的步骤中, 提供与聚合物混合的多个碳纳米管小薄片, 聚合物可以被提供为具有嵌入其中的多个碳纳米管小薄片的聚合物基体。然而, 提供与聚合物混合的多个碳纳米管小薄片的步骤不限于聚合物被提供为具有嵌入其中的多个碳纳米管小薄片的聚合物基体。

[0075] 在聚合物被提供为具有嵌入其中的多个碳纳米管小薄片的聚合物基体的情况下, 制品可以通过包括增材制造工艺的工艺形成, 比如选择性激光烧结或熔融沉积成型。然而, 即使当聚合物被提供为具有嵌入其中的多个碳纳米管小薄片的聚合物基体时, 制品也可以

通过非增材制造工艺或除了选择性激光烧结或熔融沉积成型之外的增材制造工艺形成。

[0076] 在制品通过选择性激光烧结形成的情况下,与聚合物基体混合的多个碳纳米管小薄片可以以多个颗粒的形式被提供,比如小球,其具有嵌入其中的多个碳纳米管小薄片,并且制品可以由多个颗粒以逐层方式构建。

[0077] 在制品通过熔融沉积成型形成的情况下,与聚合物基体混合的多个碳纳米管小薄片可以以长丝形式提供,比如线股或纤维,并且制品可以由长丝以逐层方式构建。在熔融沉积成型的情况下,将单个碳纳米管并入的先前尝试导致处理问题。具体地,因为单个碳纳米管倾向于聚集,由于用于铺设与单个碳纳米管合并的聚合物层的喷嘴阻塞,处理变得复杂化。当前描述的碳纳米管增强聚合物通过提供碳纳米管小薄片解决了这些问题,其各自包括与聚合物粉末混合或嵌入聚合物基体内的缠绕的碳纳米管的网络,因而通过避免单个碳纳米管的聚集而促进加工。当前描述的碳纳米管增强聚合物通过提供碳纳米管小薄片解决了这些问题,其各自包括与聚合物粉末混合或嵌入聚合物基体内的缠绕的碳纳米管的网络,因而促进加工和减轻处理问题。

[0078] 在另一实例中,将碳纳米管小薄片和聚合物的混合物形成为具有最终或接近最终尺寸的制品的方框34的步骤可以包括各种塑料成型技术中的一种或多种,比如喷射成型、压缩成型和挤出成型。

[0079] 如图10中所显示,本说明书进一步涉及使用形成为航空或航天交通工具元件的碳纳米管增强聚合物的方法40。方法包括,在方框42处,将碳纳米管增强聚合物元件定位到交通工具内,碳纳米管增强聚合物元件包括聚合物基体和嵌入聚合物基体内的多个碳纳米管小薄片,碳纳米管小薄片各自包括缠绕的碳纳米管的网络,如先前所描述。方法进一步包括,在方框44处,使交通工具上的元件电接地。元件可以具有,例如,1E9 (1×10^9) 欧姆的最大电阻以提供航空和航天交通工具所需的静电消散泄放。

[0080] 在实验测试中,将聚醚酮酮(PEKK)粉末与碳纳米管小薄片混合并且使用常规方法熔融成圆盘。测试表明,具有0.5% 碳纳米管(CNT)重量负载的碳纳米管增强PEKK聚合物的表面电阻为10E4欧姆,其是具有10E8欧姆的平均表面电阻的带有15% 碳纤维重量负载的常规碳纤维增强PEKK聚合物导电性的10,000倍。0.5%的碳纳米管重量负载是聚合物基体中常规15% 碳纤维重量负载的1/30。预期这种减小的负载可以允许改进的整体机械性能,特别是韧性。

[0081] 在航空器和航天器的背景下描述了公开的碳纳米管增强聚合物和方法。然而,本领域普通技术人员将容易认识到,公开的碳纳米管增强聚合物和方法可以用于各种应用。例如,公开的碳纳米管增强聚合物和方法可以在各种类型的交通工具中被实施,其包括,例如,客船、汽车、船用产品(小船、马达等)等。还预期了各种非交通工具应用。

[0082] 虽然已经显示并描述了所公开的碳纳米管增强聚合物、制造的制品和方法的各个方面,但是本领域技术人员在阅读说明书后可以想到改变。本申请包括这些改变,并且仅由权利要求的范围限制。

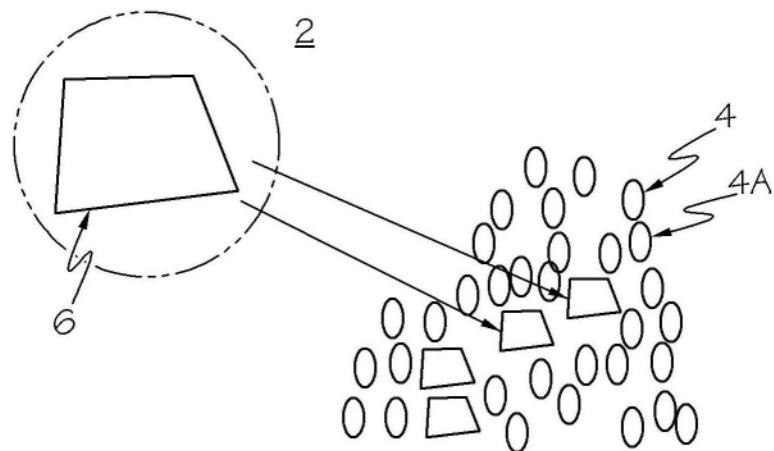


图1

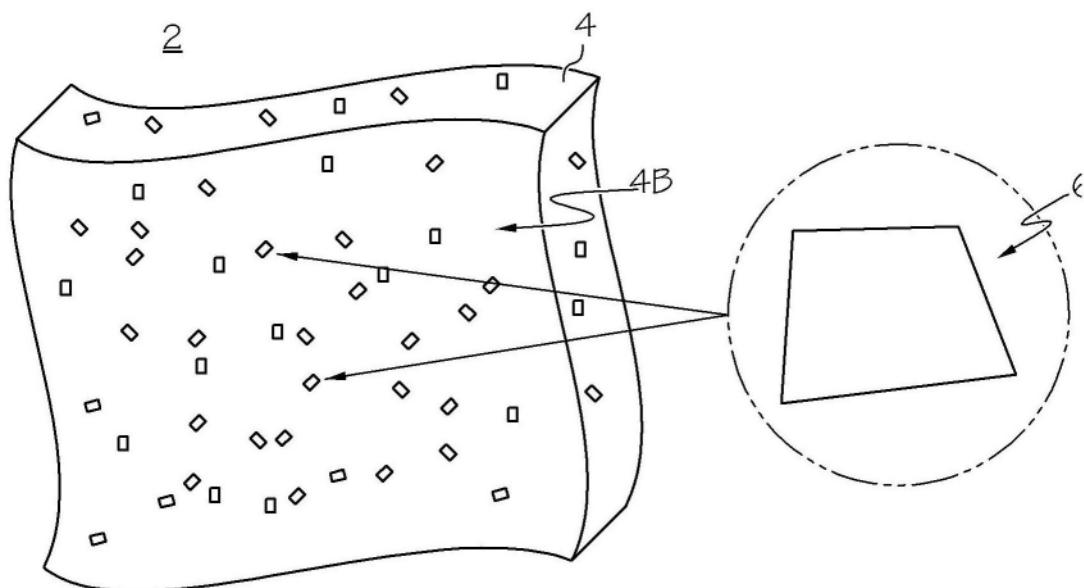


图2

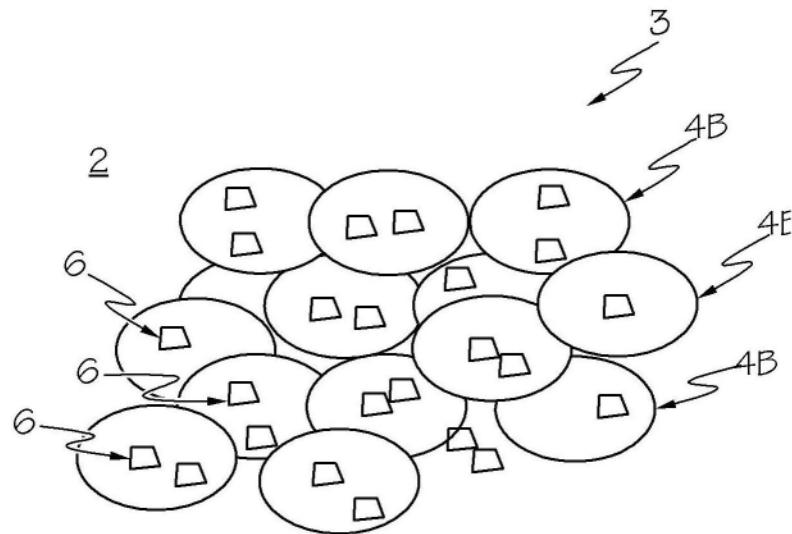


图3

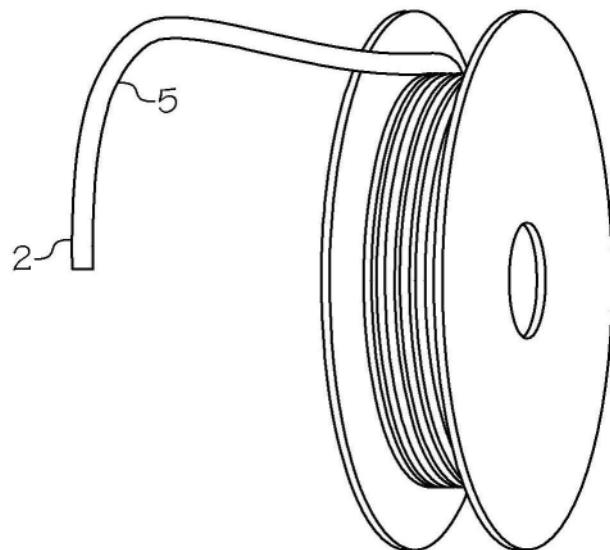


图4

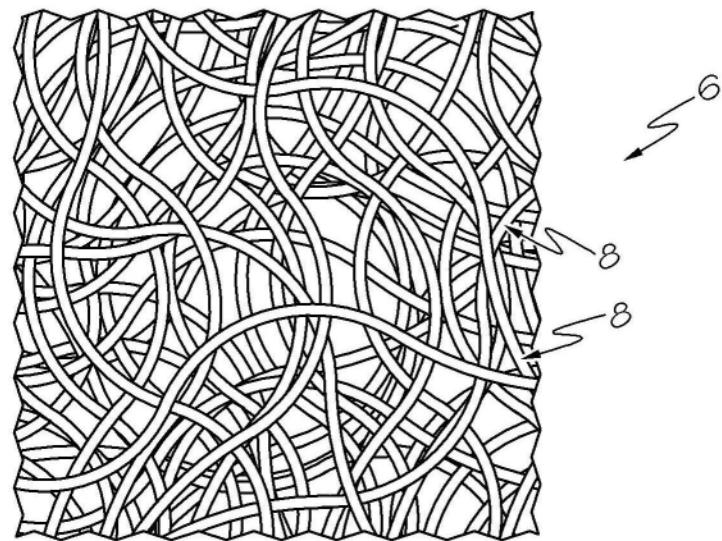


图5

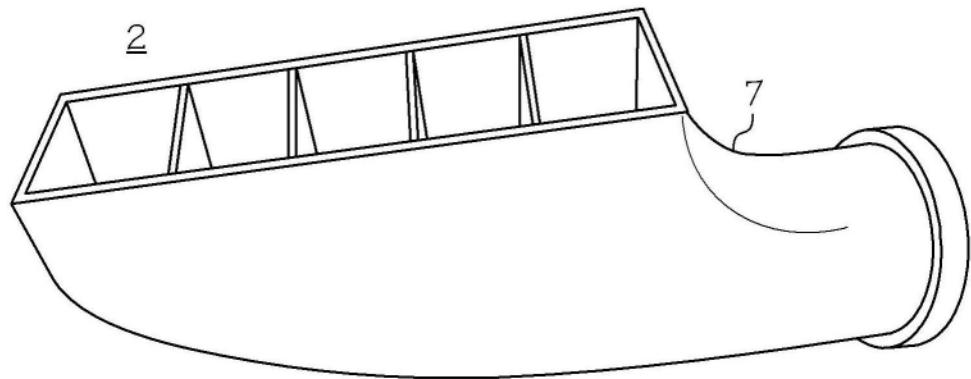


图6

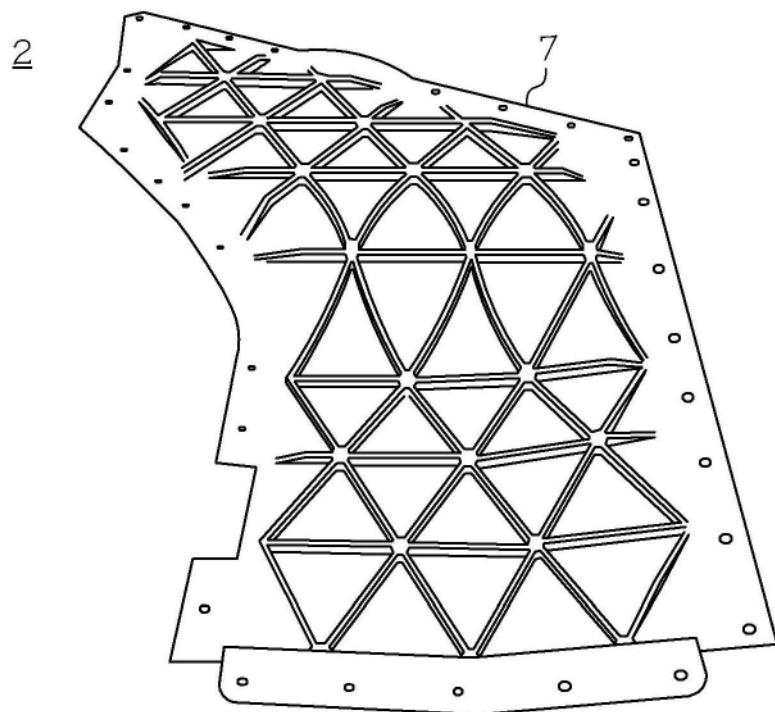


图7

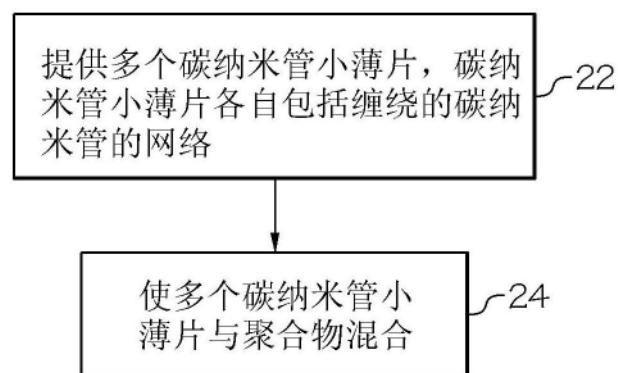


图8

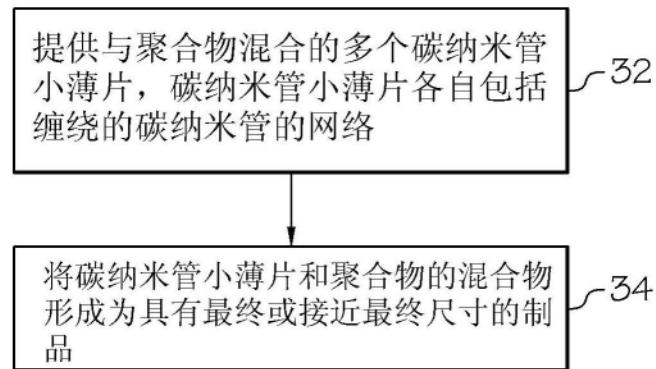


图9

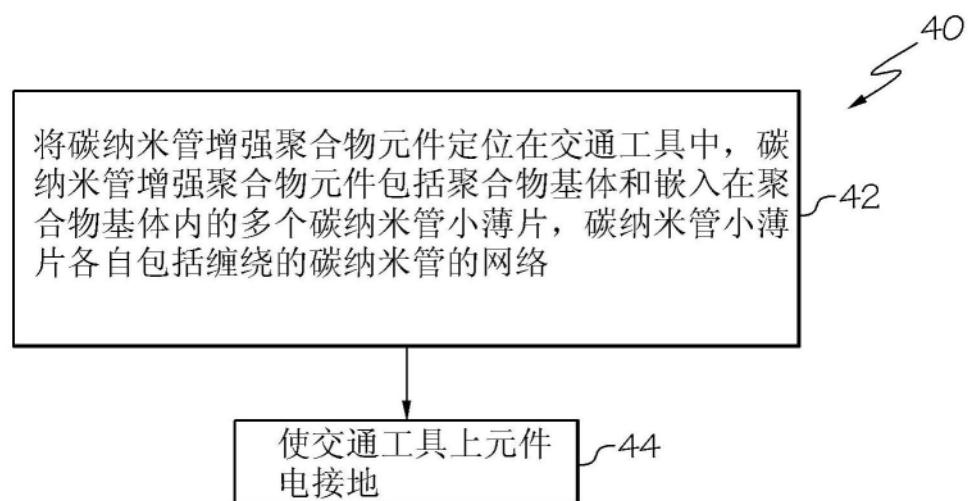


图10