(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110914490 A
(43)申请公布日 2020.03.24

(21)申请号 201880033308.2

(22)申请日 2018.03.12

(30)优先权数据
62/475,667 2017.03.23 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.11.20

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/021975 2018.03.12

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2018/175134 EN 2018.09.27

(71)申请人 波士顿材料公司
地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 安维什·古里亚拉
迈克尔·塞加尔

(74)专利代理机构 深圳市中联专利代理有限公司 44274
代理人 王怡瑾

(51)Int.Cl.
D02G 3/44(2006.01)
D03D 15/00(2006.01)

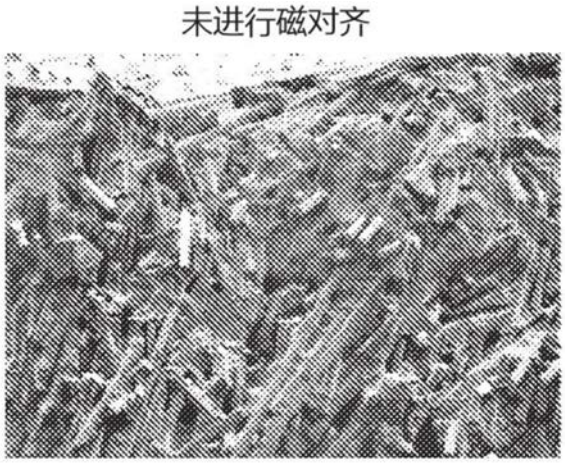
权利要求书5页 说明书21页 附图2页

(54)发明名称

纤维增强复合材料、其方法及含有该复合材料的制品

(57)摘要

本文公开了纤维增强的复合材料。这些材料可用于机械系统和其他应用的承重组件。本文还公开了制备和使用这种复合材料的方法，包含该复合材料的制品等。例如，本发明的一些实施方案通常涉及包含不连续剂例如纤维或小片的复合材料，其位于例如由多个连续纤维形成的基材内。在一些情况下，不连续剂可以例如通过将磁性颗粒附着到试剂上并使用磁场来操纵试剂而基本上对齐。其他实施例通常涉及用于制造或使用这种复合材料，涉及这种复合材料的套件等的系统和方法。



CN 110914490 A

1.一种制品，包括：

复合材料，其包括限定基材的多个连续纤维，以及包含在基材的至少一部分中的多个不连续剂，其中所述多个不连续剂中的至少一些具有吸附到其上的多个磁性颗粒。

2.根据权利要求1所述的制品，其中，所述多个不连续剂包含在所述基材内并基本垂直于所述基材定位。

3.根据权利要求1或2中任一项所述的制品，其中，所述多个连续纤维限定为织物。

4.根据权利要求1-3中任一项所述的制品，其中，所述多个连续纤维中的至少一些限定丝束。

5.根据权利要求1-4中任一项所述的制品，其中，所述多个连续纤维中的至少一些限定细丝、纱线、股线、面纱或垫子。

6.根据权利要求1-5中任一项所述的制品，其中，所述多个连续纤维中的至少一些被组装在一起以限定所述基材。

7.根据权利要求1-6中任一项所述的制品，其中，所述多个连续纤维中的至少一些交织在一起以限定所述基材。

8.根据权利要求7所述的制品，其中，所述多个机织连续纤维中的至少一些是双向的。

9.根据权利要求7或8中任一项所述的制品，其中，所述多个机织连续纤维中的至少一些是多方向的。

10.根据权利要求7-9中任一项所述的制品，其中，所述多个机织连续纤维中的至少一些是准各向同性的。

11.根据权利要求1-10中任一项所述的制品，其中，所述多个连续纤维中的至少一些不被编织在一起。

12.根据权利要求1-11中任一项所述的制品，其中，所述多个连续纤维中的至少一些是单向的。

13.根据权利要求1-12中任一项所述的制品，其中至少一些连续纤维包括天然纤维。

14.根据权利要求1-13中任一项所述的制品，其中至少一些连续纤维包括合成纤维。

15.根据权利要求1-14中任一项所述的制品，其中至少一些连续纤维包括碳、玄武岩、碳化硅、芳族聚酰胺、氧化锆、尼龙、硼、氧化铝、二氧化硅、硼硅酸盐、莫来石和/或棉。

16.根据权利要求1-15中任一项所述的制品，其中至少一些连续纤维是基本平行的。

17.根据权利要求1-16中任一项所述的制品，其中，所述连续纤维的平均长度为至少5毫米。

18.根据权利要求1-17中任一项所述的制品，其中，所述连续纤维的平均直径在10微米至100微米之间。

19.根据权利要求1-18中任一项所述的制品，其中，所述连续纤维的长度与直径的平均长径比大于或等于100。

20.根据权利要求1-19中任一项所述的制品，其中，所述不连续纤维的平均长度小于5毫米。

21.根据权利要求1-20中任一项所述的制品，其中，所述不连续纤维的平均直径在10微米至100微米之间。

22.根据权利要求1-21中任一项所述的制品，其中，所述基材的平均厚度小于10厘米。

23.根据权利要求1-22中任一项所述的制品，其中，所述多个不连续剂中的至少一些是随机定向的。

24.根据权利要求1-23中任一项所述的制品，其中，所述多个不连续剂中的至少一些是基本对齐的。

25.根据权利要求1-24中任一项所述的制品，其中，所述多个不连续剂占所述复合材料的至少3质量％。

26.根据权利要求1-25中任一项所述的制品，其中，所述多个不连续剂占所述复合材料的不超过97质量％。

27.根据权利要求1-26中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂包括不连续纤维。

28.根据权利要求27所述的制品，其中，所述不连续纤维的平均长度在5纳米至15毫米之间。

29.根据权利要求27或28中任一项所述的制品，其中，所述不连续纤维的平均长度为5毫米至15毫米之间。

30.根据权利要求27-29中任一项所述的制品，其中所述不连续纤维具有的长度与直径的平均长径比为至少5。

31.根据权利要求27-30中任一项所述的制品，其中，所述不连续纤维的长度与直径的平均长径比小于100000。

32.根据权利要求27-31中任一项所述的制品，其中所述不连续纤维的长度与直径的平均长径比小于100。

33.根据权利要求1-32中任一项所述的制品，其中，至少一些不连续纤维具有平均长度，该平均长度基本跨越所述基材的厚度。

34.根据权利要求1-33中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂包括小片。

35.根据权利要求1-34中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂包括椭球。

36.根据权利要求35所述的制品，其中所述小片的特征尺寸在5纳米至15毫米之间。

37.根据权利要求35或36中任一项所述的制品，其中所述小片的特征尺寸在5毫米至15毫米之间。

38.根据权利要求35-37中任一项所述的制品，其中所述小片的最大尺寸小于1毫米。

39.根据权利要求1-38中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂包含天然材料。

40.根据权利要求1-39中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂包含合成材料。

41.根据权利要求1-40中任一项所述的制品，其中，至少一些不连续剂包括玻璃。

42.根据权利要求1-41中任一项所述的制品，其中，至少一些不连续剂包括碳纤维。

43.根据权利要求1-42中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂是非磁性的。

44.根据权利要求1-43中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂是磁性的。

45.根据权利要求1-44中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂包括玄武岩、碳化硅、氮化硅、芳族聚酰胺、氧化锆、尼龙、硼、氧化铝、二氧化硅、硼硅酸盐、莫来石、氮化硼和/或石墨。

46.根据权利要求1-45中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂是未涂覆的。

47.根据权利要求1-46中任一项所述的制品，其中至少一些不连续剂涂覆有涂层。

48.根据权利要求47所述的制品，其中所述涂层包含表面活性剂、硅烷偶联剂、环氧树

脂、甘油、聚氨酯和/或有机金属偶联剂。

49.根据权利要求1-48中任一项所述的制品，其中所述复合材料的至少1体积％包含所述不连续剂。

50.根据权利要求1-49中任一项所述的制品，其中所述复合材料的至少5体积％包含所述不连续剂。

51.根据权利要求1-50中任一项所述的制品，其中所述复合材料的至少20体积％包含所述不连续剂。

52.根据权利要求1-51中任一项所述的制品，其中不超过85体积％的复合材料包含不连续剂。

53.根据权利要求1-52中任一项所述的制品，其中，至少一些磁性颗粒包括铁磁材料、氧化铁、氧化镍、氧化钴或包含稀土金属的合金。

54.根据权利要求1-53中任一项所述的制品，其中所述磁性颗粒的平均直径小于10微米。

55.根据权利要求1-54中任一项所述的制品，其中所述复合材料还包含将所述多个连续纤维和所述多个不连续剂粘合的粘合剂。

56.根据权利要求55所述的制品，其中，所述粘合剂包括树脂。

57.根据权利要求55或56中任一项所述的制品，其中，所述粘合剂包括热塑性塑料。

58.根据权利要求55-57中任一项所述的制品，其中，所述粘合剂包括热塑性熔体。

59.根据权利要求55-58中任一项所述的制品，其中，所述粘合剂包括热塑性树脂。

60.根据权利要求55-59中任一项所述的制品，其中所述粘合剂包括热固性塑料。

61.根据权利要求55-60中任一项所述的制品，其中，所述粘合剂包括挥发性化合物。

62.根据权利要求55-61中任一项所述的制品，其中所述粘合剂包括环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚乙烯亚胺、聚醚酮酮、聚芳基醚酮、聚醚醚酮、聚苯硫醚、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚碳酸酯、聚(甲基丙烯酸甲酯)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯、聚丙烯腈、聚丙烯、聚乙烯、尼龙、硅橡胶、聚偏二氟乙烯和/或丁苯橡胶。

63.根据权利要求55-62中任一项所述的制品，其中所述粘合剂包括预陶瓷单体。

64.根据权利要求63所述的制品，其中，所述预陶瓷单体包括硅氧烷、硅氮烷和/或碳硅烷。

65.一种方法，包括：

提供一种液体，该液体包括多个不连续剂，所述不连续剂具有吸附到其上的多个磁性颗粒；

将液体暴露于限定基材的多个连续纤维中；

向液体施加磁场以引起多个连续纤维内的多个不连续剂中的至少一些的对齐；和

使液体硬化形成复合材料。

66.根据权利要求65所述的方法，其中，所述液体还包括溶剂，并且所述方法还包括加热所述液体以去除至少一些所述溶剂。

67.根据权利要求66所述的方法，其中，所述液体包括有机溶剂。

68.根据权利要求66或67中任一项所述的方法，其中，所述液体包括异丙醇、丁醇、乙醇、丙酮、甲苯和/或二甲苯。

69.根据权利要求65-68中任一项所述的方法,其中,所述液体包括浆料。

70.根据权利要求65-69中任一项所述的方法,其中,所述液体包括热固性塑料。

71.根据权利要求65-70中任一项所述的方法,其中,所述液体包括油。

72.根据权利要求65-71中任一项所述的方法,其中,所述液体包括水。

73.根据权利要求65-72中任一项所述的方法,其中将所述液体暴露于多个连续纤维包括用所述液体涂覆所述多个连续纤维。

74.根据权利要求65-73中任一项所述的方法,其中将所述液体暴露于多个连续纤维包括将所述多个连续纤维浸入所述液体中。

75.根据权利要求65-74中任一项所述的方法,其中,所述磁场具有至少0.01T的最小场强。

76.根据权利要求65-75中任一项所述的方法,其中所述磁场的最大场强不超过10T。

77.根据权利要求65-76中任一项所述的方法,其中,所述磁场是时变磁场。

78.根据权利要求77所述的方法,其中,所述时变磁场的频率在1Hz至500Hz之间。

79.根据权利要求65-78中任一项所述的方法,其中至少5体积%的液体包含不连续剂。

80.根据权利要求65-79中任一项所述的方法,其中不超过85体积%的液体包含不连续剂。

81.根据权利要求65-80中任一项所述的方法,其中使所述液体硬化以形成复合材料包括使所述液体胶凝。

82.根据权利要求65-81中任一项所述的方法,其中使所述液体硬化以形成复合材料包括蒸发所述液体的至少一部分。

83.根据权利要求65-82中任一项所述的方法,其中使所述液体硬化以形成复合材料包括冻结至少一部分所述液体。

84.根据权利要求65-83中任一项所述的方法,其中使所述液体硬化以形成复合材料包括去除至少一部分所述液体。

85.根据权利要求65-84中任一项所述的方法,还包括将粘合剂渗透到所述复合材料中。

86.根据权利要求85所述的方法,其中至少一些粘合剂经由毛细作用渗透到所述复合材料中。

87.根据权利要求85或86中任一项所述的方法,其中,至少一些所述粘合剂通过重力渗透到所述复合材料中。

88.根据权利要求85-87中任一项所述的方法,其中使粘合剂渗透到所述复合材料中包括对所述粘合剂施加压力以使所述粘合剂渗透到所述复合材料中。

89.根据权利要求88所述的方法,其中施加压力包括将所述粘合剂热压入所述复合材料中。

90.根据权利要求88或89中任一项所述的方法,其中施加压力包括将所述粘合剂压延到所述复合材料中。

91.根据权利要求88-90中任一项所述的方法,其中施加压力包括使用真空灌注将所述粘合剂渗透到所述复合材料中。

92.根据权利要求88-91中任一项所述的方法,还包括使所述粘合剂硬化。

93.根据权利要求88-92中任一项所述的方法,其中,所述粘合剂包括树脂。

94.根据权利要求88-93中任一项所述的方法,其中,所述粘合剂包括热塑性塑料。

95.根据权利要求88-94中任一项所述的方法,其中,所述粘合剂包括热塑性熔体。

96.根据权利要求88-95中任一项所述的方法,其中,所述粘合剂包括热塑性树脂。

97.根据权利要求88-96中任一项所述的方法,其中所述粘合剂包括热固性塑料。

98.根据权利要求88-97中任一项所述的方法,其中,所述粘合剂包括挥发性化合物。

99.根据权利要求88-98中任一项所述的方法,还包括在将所述粘合剂渗透到所述复合材料中之后加热所述复合材料。

100.一种制品,包括:

复合材料,其包括由多个连续纤维限定的织物,以及包含在所述织物内的孔内的多个对齐的不连续剂。

101.一种制品,包括:

一种层状复合材料,其包含多个层,至少一个层包含限定基材的多个连续纤维,以及包含在基材内的多个不连续剂。

102.根据权利要求101所述的制品,其中,所述多个不连续剂包含在所述基材内并基本垂直于所述基材定位。

103.一种制品,包括:

一种复合材料,该复合材料包括限定基材的多个连续纤维和包含在该基材内的多个不连续剂,该多个不连续剂中的至少一些具有吸附在其上的多个磁性颗粒,其中复合材料的至少20体积%包含不连续剂。

104.一种制品,包括:

复合材料,其包含限定基材的多个连续纤维,以及包含在基材的至少一部分内的多个不连续剂。

105.根据权利要求104所述的制品,其中,所述多个不连续剂中的至少一些具有吸附到其上的多个磁性颗粒。

纤维增强复合材料、其方法及含有该复合材料的制品

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求于2017年3月23日提交的序列号为62/475,667的美国临时专利申请的权益,其标题为“Fiber-Reinforced Composites,Methods Therefore And Articles Comprising The Same”,其全部内容通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本文公开了纤维增强的复合材料。这些材料可用于机械系统和其他应用的承重组件。本文还公开了制备和使用这种复合材料的方法,包含该复合材料的制品等。

背景技术

[0004] 机械系统,例如飞机、航天器、汽车、火车、风力涡轮机、防护设备、运动设备、医疗植入物等,已经变得越来越薄和越来越轻。这种机械系统对性能的要求不断提高,导致组件承受更大的应力。机械系统中的敏感元件可能需要保持在规定的变形极限内,以避免明显的性能下降甚至灾难性故障。

[0005] 在这种情况下,已开发出纤维增强复合材料(FRC),以最小的塑性变形有效地应对高应力。通常,这些FRC基于包含增强纤维的聚合物,包括热固性聚合物。例如,环氧树脂由于其良好的粘合性能和可加工性而成为本领域中最流行的热固性聚合物中的一些。然而,环氧树脂本身具有较低的机械强度,因此不能有效地促进高性能机械系统中的应力。因此,通常将机械增强纤维的材料例如碳,玻璃,芳族聚酰胺,玄武岩或硼掺入聚合物中以获得有效的机械强度。

[0006] 通常,需要相对较高的填料负载,通常大于40体积%,以实现所需的机械强度。通常,通过将长的增强纤维定向到纺织品中来实现致密的纤维负载。长纤维增强复合材料(LFRC)使用通过分散相以连续纤维形式增强的聚合物基质。LFRC在平面方向上具有出色的机械强度。替代地,短的增强纤维也可以实现密集的纤维负载。短纤维增强复合材料(SFRC)使用由不连续纤维形式的分散相增强的聚合物基质。不连续纤维按一般长径比(定义为纤维长度与直径之比)在10到60之间进行分类。不连续纤维可以无规或优先定向以产生方向变化的机械性能。

[0007] 需要高填料负载增强纤维以观察到机械强度的显着提高。LFRC中的连续纤维在分散到聚合物基质中之前要进行定向和构建。相反,在分散到聚合物基质中之后,SFRCs中不连续纤维的定向受到调节。因此,不连续纤维的高填料负载降低了材料的可加工性,因为复合材料的粘度随填料体积分数而增加。

[0008] 鉴于以上观点,仍然需要用于机械系统的纤维增强复合材料,该纤维增强复合材料易于加工,具有改善的均质和多向或各向同性的材料特性,或者其中改善的机械强度可以提高在高应力环境中对塑性变形和灾难性破坏的抵抗力。

发明内容

[0009] 本文公开了纤维增强的复合材料。这些材料可用于机械系统和其他应用的承重组件。本文还公开了制备和使用这种复合材料的方法，包含该复合材料的制品等。在某些情况下，本发明的主题涉及相互关联的产品，针对特定问题的替代解决方案和/或一个或多个系统和/或制品的多种不同用途。

[0010] 一方面，本发明总体上涉及一种制品。例如，在某些实施方案中，制品可以是纤维增强的复合材料。

[0011] 在一组实施方案中，该制品包括复合材料，该复合材料包括限定基材的多个连续纤维，以及包含在基材的至少一部分内的多个不连续剂。在一个实施方案中，多个不连续剂中的至少一些具有吸附到其上的多个磁性颗粒。

[0012] 根据另一组实施方案，该制品通常涉及一种复合材料，其包括由多个连续纤维限定的织物，以及包含在该织物内的孔内的多个对齐的不连续剂。

[0013] 在又一组实施方案中，制品包括包含多个层的层状复合材料，至少一个层包含限定基材的多个连续纤维，以及包含在基材中的多个不连续剂。

[0014] 根据又一组实施方案，所述制品包括复合材料，所述复合材料包括限定基材的多个连续纤维和包含在所述基材内的多个不连续剂。在某些情况下，多个不连续剂中的至少一些具有吸附到其上的多个磁性颗粒。在一些实施方案中，复合材料的至少20体积％包含不连续剂。

[0015] 在又一组实施方案中，该制品包括复合材料，该复合材料包括限定基材的多个连续纤维和包含在基材的至少一部分内的多个不连续剂。

[0016] 在另一方面，本发明总体上涉及一种方法。在一些情况下，该方法包括提供一种液体，该液体包括多个不连续剂，该多个不连续剂吸附有多个磁性颗粒；将该液体暴露于限定基材的多个连续纤维上；向该液体施加磁场以引起在多个连续纤维内的多个不连续剂中的至少一些的对齐，以及任选地使该液体硬化以形成复合材料。

[0017] 在另一方面，本发明包括制备本文所述的一个或多个实施方案的方法，例如，纤维增强的复合材料。在另一方面，本发明包括使用本文所述的一个或多个实施方案的方法，例如，纤维增强的复合材料。

[0018] 当结合附图考虑时，根据本发明的各种非限制性实施例的以下详细描述，本发明的其他优点和新颖特征将变得显而易见。

附图说明

[0019] 将参考附图通过示例的方式描述本发明的非限制性实施例，这些附图是示意性的并且不意图按比例绘制。在附图中，所示的每个相同或几乎相同的组件通常由单个数字表示。为了清楚起见，在不需要图示以使本领域普通技术人员理解本发明的地方，没有在每个附图中标记每个组件，也未示出本发明的每个实施例的每个组件。在图中：

[0020] 图1A-1B示出了根据本发明一些实施例的复合材料；

[0021] 图2是根据本发明某些实施例的示意图。

[0022] 发明详述

[0023] 本文公开了纤维增强的复合材料。这些材料可用于机械系统和其他应用的承重组

件。本文还公开了制备和使用这种复合材料的方法，包含该复合材料的制品等。例如，本发明的一些实施方案通常涉及包含不连续剂例如纤维或小片(platelet)的复合材料，其位于例如由多个连续纤维形成的基材内。在一些情况下，不连续剂可以例如通过将磁性颗粒附着到试剂上并使用磁场来操纵试剂而基本上对齐。其他实施例通常涉及用于制造或使用这种复合材料，涉及这种复合材料的套件等的系统和方法。

[0024] 例如，本发明的某些方面大体上涉及纤维增强的复合层，该纤维增强的复合层具有在贯穿平面方向上对齐的不连续纤维的基质，该不连续纤维的基质用粘合剂固定在适当的位置并且嵌入连续纤维的平面织物。使颗粒横向于平面织物对齐可以增强在横向方向和层之间的层间区域的机械、电气和/或热性能。不连续的纤维和类似尺寸的颗粒使用磁对齐过程进行对齐，在该过程中，非磁性剂表面涂有磁性颗粒，从而使最初的非磁性颗粒表现出对磁场的物理响应。现在的重点是用不连续的碳纤维实现这种对齐方法。但是，其他试剂也可以对齐，包括(但不限于)纤维、小片和椭球形的材料等。

[0025] 本发明的各个实施方案通常涉及具有不连续纤维基质的复合层，所述不连续纤维基质嵌入连续纤维的平面织物，而与定向无关。其他实施例通常针对不具有定向的，磁功能化的颗粒的纤维增强的复合层。

[0026] 复合材料中通常使用的颗粒是抗磁性的，需要极高的磁场才能对齐(大于1特斯拉)。然而，在一些实施例中，不连续的碳纤维和其他类似尺寸的颗粒可以被磁性纳米颗粒表面涂覆，从而使它们对磁场更加敏感。

[0027] 在一些实施例中，选择合适的颗粒几何形状会导致磁响应，该磁响应可使对齐所需的磁场强度降低一百倍以上。例如，亚毫米的不连续碳纤维可以成功地磁化以表现出合适的磁响应。可以用磁场控制产生的磁响应颗粒，以产生具有可调方向和颗粒分布的复合材料，例如，如图1所示。

[0028] 本发明的另一方面通常涉及包含具有多个不连续剂例如纤维或小片的基材的复合材料。在一些实施例中，不连续剂通常可以在基材内基本对齐，例如，基本垂直对齐。基材本身可以由通常连续的纤维限定，该纤维可以是织造的或非织造的以形成基材。在某些情况下，由连续纤维产生的一些孔或洞可以被不连续剂填充。另外，在一些实施方案中，复合材料可进一步包含粘合剂或其他材料，例如本文所述的那些。

[0029] 在某些实施方案中，可以将磁性颗粒附着到不连续剂上，然后可以使用磁场来操纵磁性颗粒。例如，磁场可用于将磁性颗粒移动到基材中，和/或在基材中对齐不连续剂。例如，磁场可以是恒定的或随时间变化的(例如，振荡的)，如本文所讨论的。例如，所施加的磁场可以具有1Hz至500Hz的频率和0.01T至10T的振幅。下面将更详细地描述磁场的其他示例。在某些情况下，用于操纵磁性颗粒的磁性颗粒的体积可能很大。

[0030] 作为说明性的非限制性示例，在图2中，复合材料10可以包括多个连续纤维15(在该示例中，编织在一起以形成基材)。纤维之间的间隙25可以是空的，或填充有不连续剂30。不连续剂可以是例如纤维35和/或小片40，和/或可以具有诸如本文所讨论的其他形状。在一些实施例中，例如，如纤维35所示，试剂也可以对齐。一些不连续剂可以包括被吸附或以其他方式附着到不连续剂的磁性颗粒50。在一些实施例中，施加的磁场55可以用于操纵磁性颗粒，例如，以使它们对齐不连续剂，和/或将它们移动到基材内的一个或多个间隙中。

[0031] 此类复合材料可用于多种应用中。作为非限制性实例，此类复合材料可用于消除

或减少材料内的应力集中或分层，增强材料，消除或减少表面磨损，消除电击，传输电信号，衰减或传输电磁波，消除热冲击，消除或降低热梯度，作为能量存储应用的组件，或作为碳纤维或陶瓷基质的组件。其他示例将在下面更详细地讨论。

[0032] 上面的讨论是本发明的某些实施方案的非限制性实例，其通常涉及包含连续纤维和不连续剂的复合材料，例如，可以在合适的磁场中使用磁性颗粒来操纵该复合材料。然而，其他实施例也是可能的。因此，更一般地，本发明的各个方面涉及纤维增强的复合材料，以及用于生产这种纤维增强的复合材料的各种系统和方法。

[0033] 本发明的某些实施方案通常涉及包含限定基材的多个连续纤维和包含在基材内的多个不连续剂的复合材料。例如，多个不连续剂中的至少一些可以包含在基材的孔或洞内，例如，由限定基材的连续纤维之间的间隔产生。在一些情况下，不连续剂可以在孔或洞内基本上对齐。在某些情况下，复合材料还可包含吸附在连续纤维和/或不连续剂上的多个颗粒，例如磁性颗粒，其可用于例如在施加磁场的情况下操纵试剂。在某些情况下，可以存在粘合剂，例如以粘合复合材料中的连续纤维和/或不连续剂。

[0034] 在某些情况下，复合材料通常是平面的。但是，应当理解，这种基材不必是数学上完美的平面结构(尽管可以)。例如，基材也可以是可变形的，弯曲的，弯折的，折叠的，卷起的，折痕的等。作为示例，基材可具有至少约0.1微米，至少约0.2微米，至少约0.3微米，至少约0.5微米，至少约1微米，至少约2微米，至少约3微米，至少约5微米，至少约10微米，至少约30微米，至少约50微米，至少约100微米，至少约300微米，至少约500微米，至少约1毫米，至少约2毫米，至少约3毫米，至少约5毫米，至少约1厘米，至少约3厘米，至少约5厘米，至少约10厘米，至少约30厘米，至少约50厘米，至少约100厘米等的平均厚度。在某些情况下，平均厚度可能小于100厘米，小于50厘米，小于30厘米，小于10厘米，小于5厘米，小于3厘米，小于1厘米，小于5毫米，小于2毫米，小于3毫米，小于1毫米，小于500微米，小于300微米，小于100微米，小于50微米，小于30微米，小于10微米，小于5微米，小于3微米，小于1微米，小于0.5微米，小于0.3微米，或小于0.1微米。在某些实施例中，任何这些的组合也是可能的。例如，平均厚度可以在0.1至5000微米之间，在10至2000微米之间，在50至1000微米之间，等等。整个基材上的厚度可以是均匀的或不均匀的。而且，基材可以是刚性的(例如，如本文所讨论的)，或者在某些情况下可以是可变形的。

[0035] 在某些情况下，由连续纤维形成的孔或洞可能相对较小。一些或所有的所述孔或洞可能包含不连续剂，在某些情况下可能会对齐。所述孔或洞的平均尺寸或横截面尺寸可以不超过10厘米，不超过5厘米，不超过3厘米，不超过2厘米，不超过1厘米，不超过5毫米，不超过3毫米，不超过2毫米，不超过1毫米，不超过500微米，不超过300微米，不超过200微米，不超过100微米，不超过50微米，不超过30微米，不超过20微米，不超过10微米等。

[0036] 复合材料可用于多种应用中，包括本文中更详细讨论的那些。作为非限制性示例，复合材料可用于多种应用，例如压力容器的增强，风力涡轮机的组件，用于顶起重型结构的垫片，运动器材，建筑或建筑材料，电子设备的层压板或密封剂，电池组件，或用于汽车、飞机、轮船或航天器等车辆的面板。

[0037] 如上所述，本发明的一组实施方案通常涉及包含由连续纤维形成的基材并且包含多个不连续剂例如纤维或小片的复合材料。连续纤维的长度通常平均比不连续剂的特征尺寸长得多。例如，连续纤维的平均长度可以大于不连续剂的特征尺寸的10倍，大于30倍，大

于50倍，大于100倍，大于300倍，大于500倍或大于1000倍。在一些实施例中，连续纤维具有至少3，至少5，至少10，至少30，至少50，至少100，至少300，至少500，至少1000等的平均长径比(例如，长度与直径或平均横截面尺寸)。此外，在某些情况下，连续纤维的平均长度可能至少为1纳米，至少3纳米，至少5纳米，至少10纳米，至少30纳米，至少50纳米，至少100纳米，至少300纳米，至少500纳米，至少1微米，至少3微米，至少5微米，至少10微米，至少30微米，至少50微米，至少100微米，至少300微米，至少500微米，至少1毫米，至少3毫米，至少5毫米，至少1厘米，至少3厘米，至少5厘米，或至少10厘米。在某些情况下，也可以使用更长的平均长度。

[0038] 连续纤维可以编织在一起(例如，双向、多向、准各向同性等)，和/或非编织在一起(例如，单向、面纱、垫子等)。在某些实施例中，至少一些连续纤维相对于彼此基本平行和/或垂直定向，尽管连续纤维的其他构造也是可能的。在某些实施方案中，连续纤维可以一起限定织物或其他基材，例如纺织品、丝束、细丝、纱线、股线等。在一些情况下，基材可以具有一个垂直尺寸，该垂直尺寸实质上小于其他垂直尺寸(即，基材可以具有厚度)。

[0039] 形成基材的连续纤维可以包括多种材料中的任何一种，并且在基材内可以存在一种或多种类型的纤维。非限制性实例包括碳、玄武岩、碳化硅、芳族聚酰胺、氧化锆、尼龙、硼、氧化铝、二氧化硅、硼硅酸盐、莫来石、棉或任何其他天然或合成纤维。

[0040] 连续纤维可以具有任何合适的平均直径。例如，连续纤维可具有至少10微米，至少20微米，至少30微米，至少50微米，至少100微米，至少200微米，至少300微米，至少500微米，至少1毫米，至少2毫米，至少3毫米，至少5毫米，至少1厘米，至少2厘米，至少3厘米，至少5厘米，至少10厘米等的平均直径。在某些实施方案中，连续纤维的平均直径可以不超过10厘米，不超过5厘米，不超过3厘米，不超过2厘米，不超过1厘米，不超过5毫米，不超过不超过3毫米，不超过2毫米，不超过1毫米，不超过500微米，不超过300微米，不超过200微米，不超过100微米，不超过50微米，不超过30微米，不超过20微米，不超过10微米，等等。任何这些的组合也是可能的。例如，连续纤维的平均直径可以在10微米至100微米之间，在50微米至500微米之间，在100微米至5毫米之间，等等。

[0041] 连续纤维也可以具有任何合适的平均长度。例如，连续纤维可具有至少约0.5厘米，至少1厘米，至少2厘米，至少3厘米，至少5厘米，至少10厘米等的平均长度。在某些实施例中，连续纤维的平均直径可以不超过10厘米，不超过5厘米，不超过3厘米，不超过2厘米，不超过1厘米，不超过0.5厘米等。任何这些的组合也是可能的。例如，连续纤维的平均长度可以在1厘米至10厘米之间，在10厘米至100厘米之间，等等。

[0042] 在某些情况下，连续纤维可占复合材料的较大部分。例如，在某些实施方案中，连续纤维可包含占复合材料质量的至少1％，至少2％，至少3％，至少4％，至少5％，至少7％，至少10％，至少15％，至少20％，至少25％，至少30％，至少35％，至少40％，至少45％，至少50％，至少55％，至少60％，至少65％，至少70％，至少75％，至少80％，至少85％，至少90％，至少95％或至少97％。在某些情况下，连续纤维占复合材料质量不超过97％，不超过95％，不超过90％，不超过85％，不超过80％，不超过70％，不超过60％，不超过50％，不超过40％，不超过30％，不超过20％或不超过10％。任何这些的组合也是可能的。

[0043] 在某些实施方案中，复合材料还可包含一种或多个不连续剂。所述试剂可以包括凝聚剂或单独的试剂。所述试剂可以具有多种形状，包括不连续的纤维或小片。其他形状包

括但不限于纳米管、纳米纤维、纳米片等。在一组实施方案中，不连续剂不是球形的。通常，纤维的形状使得一个垂直尺寸(例如，其长度)实质上大于其另外两个垂直尺寸(例如，其宽度或厚度)。在某些情况下，纤维可以是基本上圆柱形的。类似地，小片可以具有使得两个垂直尺寸(例如，其直径)实质上大于其另一垂直尺寸(例如，其宽度或厚度)的形状。小片在某些情况下可以是基本上圆柱形或盘形的，尽管它也可以具有其他形状。另外，应当理解，在某些情况下，小片和纤维都可以存在，和/或在某些实施方式中可以存在除小片和/或纤维之外的其他形状(例如，代替小片和/或纤维或除了小片和/或纤维之外)。

[0044] 应当理解，诸如小片和/或纤维之类的不连续剂可以相对较硬，或者在某些情况下可以是弯曲的或柔性的，或者采用多种其他形状。例如，纤维不必是完全笔直的(例如，即使是弯曲的，其长度也可以沿纤维本身确定)。类似地，小片不必是完美的盘状。

[0045] 在一组实施方案中，不连续剂的尺寸(例如特征尺寸)可以与基材的厚度基本相同或小于基材的厚度。例如，复合材料中的至少一些不连续的纤维可以具有基本跨越基材厚度的平均长度。但是，在其他情况下，尺寸可能大于厚度。

[0046] 如上所述，本发明的某些实施方案通常涉及包含不连续纤维的复合材料。在一些情况下，复合材料中的不连续纤维可具有至少1纳米，至少3纳米，至少5纳米，至少10纳米，至少30纳米，至少50纳米，至少100纳米，至少300纳米，至少500纳米，至少1微米，至少3微米，至少5微米，至少10微米，至少20微米，至少30微米，至少50微米，至少100微米，至少200微米，至少300微米，至少500微米，至少1毫米，至少2毫米，至少3毫米，至少5毫米，至少1厘米，至少1.5厘米，至少2厘米，至少3厘米，至少5厘米，至少10厘米等的平均长度或特征尺寸。在某些实施例中，不连续纤维的平均长度或特征尺寸可以不超过10厘米，不超过5厘米，不超过3厘米，不超过2厘米，不超过1.5厘米，不超过1厘米，不超过5毫米，不超过3毫米，不超过2毫米，不超过1毫米，不超过500微米，不超过300微米，不超过200微米，不超过100微米，不超过50微米，不超过30微米，不超过20微米，不超过10微米，不超过5微米，不超过3微米，不超过1微米，不超过500纳米，不超过300纳米，不大于100纳米，不大于50纳米，不大于30纳米，不大于10纳米，不超过5纳米，等等。任何这些的组合也是可能的。例如，复合材料中的不连续纤维的平均长度可以在5毫米至15毫米之间，或在1毫米至5毫米之间，在1毫米至1厘米之间，等等。

[0047] 另外，不连续纤维也可以具有任何合适的平均直径。例如，不连续纤维可以具有至少10微米，至少20微米，至少30微米，至少50微米，至少100微米，至少200微米，至少300微米，至少500微米，至少1毫米，至少2毫米，至少3毫米，至少5毫米，至少1厘米，至少2厘米，至少3厘米，至少5厘米，至少10厘米等的平均直径。在某些实施方案中，不连续纤维的平均直径可以不超过10厘米，不超过5厘米，不超过3厘米，不超过2厘米，不超过1厘米，不超过5毫米，不超过不超过3毫米，不超过2毫米，不超过1毫米，不超过500微米，不超过300微米，不超过200微米，不超过100微米，不超过50微米，不超过30微米，不超过20微米，不超过10微米，等等。任何这些的组合也是可能的。例如，不连续纤维的平均直径可以在10微米至100微米之间，在50微米至500微米之间，在100微米至5毫米之间，等等。

[0048] 在某些实施方案中，不连续纤维的长度平均为其厚度或直径的至少10倍或至少50倍。在某些情况下，复合材料中的纤维的平均长径比(纤维长度与直径或厚度的比率)至少为3，至少5，至少10，至少30，至少50，至少100，至少300，至少500，至少1000，至少3000，至少

5000，至少10000，至少30000，至少50000或至少100000。在某些情况下，平均长径比可能小于100000，小于50000，小于30000，小于10000，小于5000，小于3000，小于1000，小于500，小于300，小于100，小于50，小于30，小于10，小于5，等等。在某些情况下，也可以将任何这些组合使用；例如，长径比可以在5到100000之间。

[0049] 如上所述，复合材料不仅限于不连续的纤维。在某些实施方案中，复合材料可包含小片，例如，代替不连续纤维或除了不连续纤维之外，还包括小片。通常，小片可以是盘形的，尽管其他形状也是可以的。

[0050] 在一些情况下，小片的最大尺寸或特征尺寸可以为至少10微米，至少20微米，至少30微米，至少50微米，至少100微米，至少200微米，至少300微米，至少500微米，至少1毫米，至少2毫米，至少3毫米，至少5毫米，至少1厘米，至少1.5厘米，至少2厘米，至少3厘米，至少5厘米，至少10厘米等。在某些实施例中，小片的最大尺寸或特征尺寸不超过10厘米，不超过5厘米，不超过3厘米，不超过2厘米，不超过1.5厘米，不超过1厘米，不超过5毫米，不超过3毫米，不超过2毫米，不超过1毫米，不超过500微米，不超过300微米，不超过200微米，不超过100微米，不超过50微米，不超过30微米，不超过20微米，不超过10微米等。如果小片不具有大致圆形的面(例如，如果小片具有长方形或不规则的面)，则特征尺寸可以取具有与小片的面相同面积的正圆的直径。这些尺寸中的任何一个的组合也是可能的。例如，最大尺寸或特征尺寸可以在5毫米至15毫米之间，或在1毫米至5毫米之间，在1毫米至1厘米之间，等等。

[0051] 在某些实施方案中，小片的平均长径比(最大尺寸与最小尺寸或厚度之比)为至少3，至少5，至少10，至少30，至少50，至少100，至少300，至少500，至少1000等。在某些情况下，平均长径比可能会小于1000，小于500，小于300，小于100，小于50，小于30，小于10，小于5，等等。在某些情况下，也可以将任何这些组合使用；例如，长径比可以在5到1000之间。

[0052] 不连续剂可以形成或包括多种材料中的任何一种，并且可以存在一种或一种以上类型的材料。例如，不连续剂可包括诸如碳(例如碳纤维)、玄武岩、碳化硅、氮化硅、芳族聚酰胺、氧化锆、尼龙、硼、氧化铝、二氧化硅、硼硅酸盐、莫来石、氮化物、氮化硼、石墨、玻璃等。不连续剂可以包括任何天然和/或任何合成材料，并且可以是磁性和/或非磁性的。

[0053] 在某些情况下，不连续剂可占复合材料的较大部分。例如，在某些实施方案中，不连续剂可包含占复合材料质量至少1％，至少2％，至少3％，至少4％，至少5％，至少7％，至少10％，至少15％％，至少20％，至少25％，至少30％，至少35％，至少40％，至少45％，至少50％，至少55％，至少60％，至少65％，至少70％，至少75％，至少80％，至少85％，至少90％，至少95％或至少97％。在某些情况下，不连续剂的含量占复合材料质量的不超过97％，不超过95％，不超过90％，不超过85％，不超过80％，不超过70％，不超过60％，不超过50％，不超过40％，不超过30％，不超过20％或不超过10％。任何这些的组合也是可能的。

[0054] 在一些实施方案中，不连续剂可以在复合材料中至少基本上对齐。本文更详细地讨论了对齐不连续剂例如纤维的方法。各种对齐是可能的，并且在某些情况下，可以例如通过光学或显微镜确定，如图1B所示。因此，在某些情况下，可以定性确定对齐。然而，应当理解，对齐不需要是完美的。在某些情况下，复合材料中至少50％，至少75％，至少85％，至少90％或至少95％的不连续剂可能会显示20°、15°、10°之内的对齐，或在多个不连续试剂的平均对齐的5°以内，例如在复合材料的样品中。

[0055] 在某些情况下，不连续颗粒的对齐基本垂直于基材。例如，相对于该位置处的基材

平面，平均对齐可以被定向为至少60°，至少65°，至少70°，至少75°，至少85°或至少87°。如上所述，基材本身不一定必须是平面的，但也可以是弯曲的，等等。

[0056] 不希望受到任何理论的束缚，据信基本上垂直于基材的不连续颗粒的对齐可用于提供基材的增强。例如，当在不同方向上受到力时，这可以提高基材的强度。例如，基材内的纤维可以在3维上沿基本垂直的方向延伸，从而为基材提供强度，而与所施加的力的方向无关。不连续的颗粒还可以例如通过层间微裂纹，穿透层裂缝等来限制表面的降解。另外，在一些实施方案中，除了其机械性能之外或代替其机械性能，不连续颗粒可以增强基材的其他性能，例如复合材料内的电性能和/或热性能。

[0057] 至少一些不连续剂可以是未涂覆的。然而，在某些情况下，一些或所有不连续剂可以被涂覆。该涂层可以例如用于促进颗粒如磁性颗粒吸附或结合到试剂上。作为非限制性实例，试剂可以用表面活性剂(surfactant)，硅烷偶联剂(silane coupling agent)，环氧树脂，甘油，聚氨酯(polyurethane)，有机金属偶联剂(organometallic coupling agent)等涂覆。表面活性剂的非限制性实例包括油酸(oleic acid)，十二烷基硫酸钠(sodium dodecyl sulfate)，月桂基硫酸钠(sodium lauryl sulfate)等。硅烷偶联剂的非限制性实例包括氨基-(amino-)，苄基氨基-(benzylamino-)，氯丙基-(chloropropyl-)，二硫化物-(disulfide-)，环氧-(epoxy-)，环氧/三聚氰胺-(epoxy/melamine-)，巯基-(mercapto-)，甲基丙烯酸酯-(methacrylate-)，叔硫基-(tertasulfido-)，脲基-(ureido-)，乙烯基-(vinyl-,)，异氰酸酯-(isocynate-)和乙烯基-苄基-氨基硅烷偶联剂(vinly-benzyl-amino-based silane coupling agents)。有机金属偶联剂的非限制性实例包括基于芳基(aryl-)和乙烯基的有机金属偶联剂(vinyl-based organometallic coupling agents)。

[0058] 诸如磁性颗粒的颗粒可以被吸附或以其他方式结合至至少一些不连续剂。在某些情况下，颗粒可以覆盖一些或所有不连续剂和/或连续纤维。尽管不必一定需要涂层来促进颗粒的吸附，但这可以通过如上所述的材料涂层来促进。

[0059] 如果颗粒是磁性的，则颗粒可以包含多种磁敏材料中的任何一种。例如，磁性材料可以包括一种或多种铁磁材料，例如，包含铁，镍，钴，铝镍钴，铁、镍、钴的氧化物，稀土金属或包括这些和/或其他合适的铁磁材料中的两种或多种的合金。在一些情况下，磁性颗粒的相对磁导率可以为至少2，至少5，至少10，至少20，至少40，至少100，至少200，至少500，至少1000，至少2000，至少5000或至少10000。

[0060] 但是，应当理解，不是所有的颗粒都必须是磁性的。在某些情况下，例如，除了和/或代替磁性颗粒，可以使用非磁性颗粒。非磁性颗粒的非限制性实例包括玻璃、聚合物、金属等。

[0061] 颗粒可以是球形或非球形的，并且可以具有任何合适的形状或大小。颗粒可以是相对单分散的，或可以在一定尺寸范围内。在某些情况下，颗粒的特征尺寸平均为至少10微米，至少20微米，至少30微米，至少50微米，至少100微米，至少200微米，至少300微米，至少500微米，至少1毫米，至少2毫米，至少3毫米，至少5毫米，至少1厘米，至少1.5厘米，至少2厘米，至少3厘米，至少5厘米，至少10厘米等。复合材料中的颗粒的平均特征尺寸也可能不超过10厘米，不超过5厘米，不超过3厘米，不超过2厘米，不超过1.5厘米，不超过1厘米，不超过5毫米，不超过3毫米，不超过2毫米，不超过1毫米，不超过500微米，不超过300微米，不超过200微米，不超过100微米，不超过50微米，不超过30微米，不超过20微米，不超过10微米，等

等。任何这些的组合是也有可能。例如，颗粒可以表现出尺寸为在100微米和1毫米之间，或在10微米与10微米之间的特征尺寸，等等。非球形颗粒的特征尺寸可以取具有与非球形颗粒相同体积的理想球体的直径。

[0062] 在一些实施方案中，颗粒(包括磁性和/或非磁性颗粒)可包含复合材料的相对较大的部分。例如，在某些实施方案中，颗粒可包含为占复合材料体积的至少1％，至少2％，至少3％，至少4％，至少5％，至少7％，至少10％，至少15％，至少20％，至少25％，至少30％，至少35％，至少40％，至少45％，至少50％，至少55％，至少60％，至少65％，至少70％，至少75％，至少80％，至少85％，至少90％，至少95％或至少97％。在某些情况下，颗粒可包含为占复合材料体积的百分比不超过97％，不超过95％，不超过90％，不超过85％，不超过80％，不超过70％，不超过60％，不超过50％，不超过45％，不超过40％，不超过35％，不超过30％，不超过25％，不超过20％，不超过15％，不超过10，不超过7％，不超过5％，不超过4％，不超过3％，不超过2％，或不超过1％。任何这些的组合也是可能的。

[0063] 在某些实施方案中，粘合剂也存在于复合材料内，例如，可用于粘合连续纤维和不连续剂，例如复合材料内。例如，粘合剂可以促进将连续纤维和不连续剂保持在复合材料内的适当位置。然而，应该理解的是，粘合剂是可选的，并非在所有情况下都是必需的。在某些情况下，粘合剂可包含树脂。粘合剂可以包括热固性或热塑性的。在某些实施方案中，粘合剂可包含热塑性溶液，热塑性熔体，热塑性粒料，热固性树脂，挥发性化合物如挥发性有机化合物、水或油。粘合剂的其他非限制性实例包括环氧树脂(epoxy)，聚酯(polyester)，乙烯基酯(vinyl ester)，聚乙烯亚胺(polyethylenimine)，聚醚酮酮(polyetherketoneketone)，聚芳基醚酮(polyaryletherketone)，聚醚醚酮(polyether ether ketone)，聚苯硫醚(polyphenylene sulfide)，聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate)，聚碳酸酯(polycarbonates)，聚(甲基丙烯酸甲酯)(poly(methyl methacrylate))，丙烯腈丁二烯苯乙烯(acrylonitrile butadiene styrene)，聚丙烯腈(polyacrylonitrile)，聚丙烯(polypropylene)，聚乙烯(polyethylene)，尼龙，硅橡胶(silicone rubber)，聚偏二氟乙烯(polyvinylidene fluoride)，丁苯橡胶(styrene butadiene rubber)，或预陶瓷单体，例如硅氧烷(siloxane)、硅氮烷(silazane)或碳硅烷(carbosilane)。在某些实施方案中，粘合剂还可包括包含这些材料和/或其他材料中的任何一种或多种的混合物。

[0064] 在一些实施方案中，粘合剂可包含复合材料质量的至少1％，至少2％，至少3％，至少4％，至少5％，至少7％，至少10％，至少15％，至少20％或至少25％，和/或复合材料质量的不超过25％，不超过20％，不超过15％，不超过10％，不超过7％，不超过5％，不超过4％，不超过3％，不超过2％或不超过1％。

[0065] 本发明的另一方面通常涉及用于制造复合材料的系统和方法，例如本文所述的那些。在一组实施方案中，复合材料可以由液体，例如浆料制备，该液体包含合适的基材暴露于其中的多个不连续剂和多种磁性颗粒。不连续剂可包括例如本文所讨论的纤维，小片等。可以施加磁场以操纵磁性颗粒和不连续剂，例如以将磁性颗粒移动到基材中和/或对齐不连续剂。多余的材料可以清除。在某些情况下，复合材料可以例如用粘合剂固化或硬化，该粘合剂可用于将不连续剂锁定或固定在基材内。在某些实施方案中，可以将粘合剂注入或浸渍到基材中。

[0066] 在某些情况下，可能会形成液体，例如浆料。浆料可包括不连续剂和/或磁性颗粒。液相可包括例如热塑性或热固性，例如热塑性溶液，热塑性熔体，热固性塑料，挥发性有机化合物、水或油。热固性塑料的非限制性实例包括聚乙烯亚胺，聚醚酮酮，聚芳基醚酮，聚醚醚酮，聚苯硫醚，聚对苯二甲酸乙二酯，聚碳酸酯，聚(甲基丙烯酸甲酯)，丙烯腈丁二烯苯乙烯，聚丙烯腈，聚丙烯，聚乙烯，尼龙，聚偏二氟乙烯，酚醛树脂(phenolics)，环氧树脂，双马来酰亚胺(bismaleimides)，氰酸酯(cyanate esters)，聚酰亚胺(polyimides)等。弹性体的非限制性实例包括硅橡胶和苯乙烯丁二烯橡胶等。热塑性塑料的非限制性实例包括环氧树脂，聚酯，乙烯基酯，聚碳酸酯，聚酰胺(例如，尼龙，PA-6，PA-12等)，聚苯硫醚，聚醚酰亚胺，聚醚醚酮，聚醚酮酮等。陶瓷单体的非限制性示例包括硅氧烷、硅氮烷或碳硅烷等。在某些情况下，例如，这些可以添加其中的一种或多种以帮助将不连续剂和/或磁性颗粒均匀分散在液体中。挥发性有机化合物的实例包括但不限于异丙醇、丁醇、乙醇、丙酮、甲苯或二甲苯。

[0067] 在某些情况下，磁性颗粒可能被吸附或以其他方式结合到液体中的不连续剂上。作为非限制性实例，可以在将磁性颗粒引入液体之前将其添加到不连续剂中，或者可以将不连续剂和磁性颗粒分别地添加到液体中，并且至少一些磁性颗粒可以自发地吸附到不连续剂上。

[0068] 在浆料或其他液体中可以存在任何合适量的不连续剂和/或磁性颗粒。例如，浆料体积的至少10％，至少15％，至少20％，至少25％，至少30％，至少35％，至少40％，至少45％，至少50％，至少55％，至少60％，至少65％，至少70％，至少75％或至少80％可以是不连续剂和/或磁性颗粒。在某些情况下，不超过85％，不超过80％，不超过75％，不超过70％，不超过65％，不超过60％，不超过55％，不超过50％，不超过45％，不超过40％，不超过35％，不超过30％，不超过25％，不超过20％，不超过15％或不超过10％可以是不连续剂和/或磁性颗粒。在某些情况下，任何这些组合是也有可能。例如，浆料或其他液体可包含70％至80％之间，75％至85％之间，50％至90％之间等的不连续剂和/或磁性颗粒。

[0069] 在制备浆料或其他液体之后，可以将其施加到或暴露于例如包含连续纤维的基材上。在一些情况下，可以将基材放置在诸如聚合物箔、金属箔或纸的表面上，例如用于施加液体，磁场，机械振动，加热和/或诸如此类，例如，如本文所讨论的。

[0070] 可以使用任何合适的方法将浆料或其他液体施加到基材上。作为非限制性示例，可以将液体倒入、涂覆、喷涂或涂在基材上，或者可以将基材部分或完全浸入液体中。液体可用于润湿、涂覆和/或包围连续纤维。

[0071] 可以施加磁场来操纵磁性颗粒。不希望受到任何理论的束缚，据信例如由于磁性颗粒被吸附或以其他方式结合到不连续剂上，因此磁场也可以用于操纵不连续剂。例如，磁场可用于将磁性颗粒移动到基材中，例如，移动到基材内的孔或洞中。另外，在某些情况下，例如，如本文所讨论的，磁场可以用于至少基本对齐基材内的不连续剂。例如，磁场可用于将至少50％，至少75％，至少85％，至少90％或至少95％的不连续剂对齐到20°以内，15°以内，10°以内，或平均对齐方式的5°以内。在一些实施例中，磁场可用于例如在磁场方向上和/或在基材内沿贯通平面方向对齐磁性颗粒和/或不连续剂。

[0072] 可以施加任何合适的磁场。在某些情况下，磁场是恒定磁场。在其他情况下，磁场可能会随时间变化。例如，磁场可以在振幅和/或方向上振荡或周期性地改变，例如以便于

操纵不连续剂。振荡可以是正弦波或其他重复波形(例如,方波或锯齿)。该频率可以是例如至少0.1Hz,至少0.3Hz,至少0.5Hz,至少1Hz,至少3Hz,至少5Hz,至少10Hz,至少30Hz,至少50Hz,至少100Hz,至少300Hz,至少500Hz等,和/或不超过1000Hz,不超过500Hz,不超过300Hz,不超过100Hz,不超过50Hz,不超过30Hz,不超过10Hz,不超过5Hz,不超过3Hz等。例如,频率可以在1Hz至500Hz之间,在10Hz至30Hz之间,在50Hz和Hz之间,等等。另外,频率可以保持基本恒定,或者在某些情况下频率可以变化。

[0073] 磁场,无论是恒定的还是振荡的,都可以具有任何合适的振幅。例如,振幅可以是至少0.001T,至少0.003T,至少0.005T,至少0.01T,至少0.03T,至少0.05T,至少0.1T,至少0.3T,至少0.5T,至少1T,至少3T,至少5T,至少10T等。在某些情况下,振幅可能不超过20T,不超过10T,不超过5T,不超过3T,不超过1T,不超过0.5T,不超过0.3T,不超过0.1T,不超过0.05T,不超过0.03T,不超过0.01T,不超过0.005T,不超过0.003T,等等。振幅也可以落入这些值的任何组合内。例如,振幅可以在0.01T至10T之间,在1T至3T之间,在0.5T至1T之间,等等。振幅可以是基本恒定的,或者可以在某些实施例中例如在这些值的任何范围内变化。

[0074] 在一些实施例中,磁场方向(即,最大振幅的方向)可以以+/-90°、+/-85°、+/-80°、+/-75°、+/-70°、+/-65°、+/-60°、+/-55°、+/-50°、+/-45°、+/-40°、+/-35°、+/-30°、+/-25°、+/-20°、+/-15°、+/-10°、+/-5°的大约平均方向变化。

[0075] 可以从商业上获得用于产生合适的磁场的各种不同的设备,并且包括永磁体或电磁体。在某些情况下,可以通过将磁体附着到旋转的磁盘上并以适当的速度或频率旋转磁盘来产生振荡的磁性。永磁体的非限制性示例包括铁磁体、铝镍钴磁体、稀土磁体等。

[0076] 另外,在一组实施例中,例如,除了和/或代替磁性操纵,可以使用机械振动来操纵颗粒。例如,机械振动可以用于将颗粒移动到基材中,例如,移动到基材内的孔或洞中,和/或至少基本上对齐基材中的不连续剂,例如,如本文所讨论的。在一些情况下,可以使用振动来使基材内的颗粒对齐和/或将颗粒移动到基材内的孔或洞中,这可以例如用于相应地操纵不连续剂和/或消除空隙。

[0077] 在一组实施方案中,可施加机械振动以引起至少1微米,至少2微米,至少3微米,至少5微米,至少10微米,至少20微米,至少30微米,至少50微米,至少100微米,至少200微米,至少300微米,至少500微米,至少1000微米,至少2000微米,至少3000微米,至少5000微米或至少10000微米的颗粒和/或不连续剂的运动。

[0078] 另外,在某些情况下,机械振动可能会随时间变化。例如,机械振动可以在振幅和/或方向上周期性地改变,例如,以便于操纵不连续剂。振荡可以是正弦波或其他重复波形(例如,方波或锯齿)。该频率可以是例如至少0.1Hz,至少0.3Hz,至少0.5Hz,至少1Hz,至少3Hz,至少5Hz,至少10Hz,至少30Hz,至少50Hz,至少100Hz,至少300Hz,至少500Hz等,和/或不超过1000Hz,不超过500Hz,不超过300Hz,不超过100Hz,不超过50Hz,不超过30Hz,不超过10Hz,不超过5Hz,不超过3Hz等。例如,频率可以在1Hz至500Hz之间,在10Hz至30Hz之间,介于50Hz和Hz之间,等等。另外,频率可以保持基本恒定,或者在某些情况下频率可以变化。如果结合振荡磁场应用,它们的频率可以独立地相同或不同。

[0079] 在对齐期间和/或之后,在一些实施例中,可以安置或固定基材内的不连续剂,例如以防止或限制不连续剂的后续运动并形成相对坚硬的复合材料。形成复合材料的技术的非限制性例子包括但不限于固化、硬化、胶凝、熔化、蒸发、冷冻或冻干液体或浆料。在另一

组实施例中，诸如热固性聚合物的材料可以被固化以硬化复合材料。因此，基材可以形成为固体、凝胶等的复合材料。

[0080] 在某些情况下，液体可以包含相对挥发性的溶剂，可以通过加热和/或蒸发将其除去(例如，等待适当的时间，或让溶剂在例如通风橱或其他通风区域蒸发)。挥发性溶剂的非限制性实例包括异丙醇、丁醇、乙醇、丙酮、甲苯或二甲苯。除去溶剂的方法的其他实例包括施加真空、冻干、机械摇动等。

[0081] 在一组实施例中，例如可以将加热施加到基材上，以去除一部分溶剂。例如，可以将基材加热到至少约30℃、至少约35℃、至少约40℃、至少约45℃、至少约50℃、至少约55℃、至少约60℃、至少约65℃、至少约70℃、至少约75℃、至少约80℃、至少约90℃、至少约100℃、至少约125℃、至少约150℃、至少约175℃、至少约200℃、至少约250℃、至少约300℃、至少约350℃、至少约400℃、至少约450℃、至少约500℃等。可以使用任何合适的施加热量的方法，例如，热电换能器、欧姆加热器、珀尔帖装置、燃烧加热器等。在某些情况下，液体的粘度可能会因加热而降低。可以例如在施加磁场和/或机械振动之前，同时或之后施加加热。在某些情况下，可以使用加热来防止或引发热固性预聚物的交联或固化。

[0082] 在一组实施方案中，粘合剂也可以例如在复合材料硬化和/或除去至少一部分液体之前，之中和/或之后施加。在一些实施方案中，粘合剂可用于例如通过润湿干燥的层材料来制备预浸渍的复合层材料。粘合剂在某些情况下可以是液体，并且在施涂到复合材料上之后可能导致硬化。在某些情况下，粘合剂渗透到复合材料的至少一部分中。渗透技术的非限制性实例包括使用重力和毛细管力，通过对粘合剂施加压力以迫使其进入复合材料等。其他示例包括但不限于热压、压延或真空灌注。但是，在某些情况下，例如在不需要渗透的情况下，将粘合剂用于涂覆全部或仅一部分基材。合适的粘合剂的非限制性实例包括树脂或其他材料，例如本文所述的那些。

[0083] 渗透后，粘合剂可能会硬化。在某些情况下，粘合剂可以例如在蒸发溶剂时自发地硬化。在某些实施方案中，例如可以通过将复合材料暴露于如上所述的温度来施加热量以硬化粘合剂。在一些实施方案中，例如粘合剂可以在暴露于光或催化剂时硬化，以帮助或促进化学或聚合反应以引起粘合剂聚合。例如，热固性聚合物可以在暴露于合适的温度时固化。在另一个例子中，可以将聚合物暴露于紫外线下以引起聚合反应的发生。

[0084] 诸如本文所讨论的那些的复合材料可以在各个方面中用于多种应用中。在本发明的各种实施方案中，诸如本文所述的那些复合材料可表现出多种不同的特征。

[0085] 例如，诸如本文所讨论的那些的复合材料可用于减少或消除应力集中，减少或消除分层，增加平面强度和/或刚度，减少或消除表面磨损，耗散电(例如，在电击中)，传输电信号，衰减电磁波，传输电磁波，散热(例如在热冲击中)，减小或消除热梯度，存储能量，合成ex-PAN碳纤维，合成陶瓷基质复合材料(CMC)等。

[0086] 例如，在一组实施方案中，可以生产具有至少三轴纤维定向的复合层。该纤维结构可以允许复合层在随后的层和相邻的部件之间分配应力，这可以减小或消除应力集中。例如，当层压复合结构形成具有小的特征或与具有截然不同的刚度的材料(例如金属合金或塑料)配合时，这可以显著提高在动态载荷下的层压复合结构的强度。

[0087] 另一组实施例通常针对一种具有层间区域的贯穿平面增强的复合层。这种纤维增强使得复合层能够有效地在相邻层之间分配应力，从而阻止了形成裂纹，并防止了裂纹在

层间区域中传播。层间区域的目标增强可以显着提高层压复合结构在冲击和循环载荷下的强度。例如，当层压复合结构由复合层的长片形成时，这种配方可能会有用，例如，层之间的层间区域中的单个裂纹可能会损害整个结构的结构完整性。

[0088] 另一组实施例通常针对具有贯穿平面增强的复合层，例如贯穿平面单向织物。这种纤维增强可以增强目标贯穿平面的负载(例如点负载和高压负载)。在预期的贯穿平面机械载荷下，目标贯穿平面增强可以显着提高层压复合结构的强度和刚度。这对于有效地利用具有贯穿平面增强的复合层是有用的，该贯穿层增强在形成层压复合结构的外壳的同时在未固化状态下在处理期间容易变形。

[0089] 另一组实施方案通常涉及具有硬度和/或化学稳定性的具有贯穿平面定向的颗粒的复合层。在某些情况下，贯穿平面的增强可以显着提高聚合物基质抵抗机械磨损(例如，磨损)和/或化学腐蚀(例如，氧化)造成的损坏的能力。例如，该配方可用于形成保护结构免受机械和化学磨损的表面。

[0090] 在一组实施方案中，提供了具有增强的贯穿平面电导率的复合层。这可以显著提高对由电能在快速释放时(例如闪电)的电荷积累引起的局部生热引起的损坏的抵抗力。该配方对于形成保护结构免受放电损坏的表面特别有用。在另一组实施方式中，提供了具有增强的近各向同性电导率的复合层。这可以有效地传导电信号。在又一组实施方案中，提供了具有增强的各向同性电导率的复合层。这种材料可以有效地衰减入射的电磁波。在又一组实施例中，提供了一种具有低射频干扰和增强的贯穿平面热导率的复合层，以有效地传输电磁波而不会过热。

[0091] 另一组实施方式通常涉及具有增强的贯穿平面热导率以在加热下具有足够的结构完整性的复合层。在一些实施例中，这对于在快速温度波动下增加结构完整性可能是有用的。另一组实施方式通常涉及具有贯穿平面的导热性和低导电性的复合层。该配方对于例如在电子设备中有效地移动和分配热通量可能是有用的。

[0092] 另一组实施方式通常涉及具有贯穿平面电导率的碳基复合层。这对于从电解质中吸收离子种类并有效地分布电荷可能是有用的。

[0093] 一组实施方案通常涉及具有贯穿平面碳纤维催化剂的复合层。在适当的温度下，PAN(聚丙烯腈)基质可被氧化并碳化以形成碳基质。另一组实施方案通常涉及具有贯穿平面碳纤维或碳化硅催化剂的复合层。在适当的温度下，聚合物基质可以被氧化以形成陶瓷基质。

[0094] 另外，在某些方面，本发明通常针对以下方面：

[0095] 1.制备纤维增强复合材料的方法，包括提供连续纤维，或包含前述至少一种的组合：将连续纤维或包含前述至少一种的组合，合并到含有不连续纤维、无机晶体或至少一种上述颗粒状填料的分散相中，所述颗粒状填料包括但不限于未涂覆的，硅烷偶联剂涂覆的，有机金属偶联剂涂覆的，铁磁材料(具体包括铁、镍、钴的氧化物，稀土金属的合金或包含至少一种上述材料)涂覆的不连续纤维和无机晶体以及具有热固性预聚物和任选的挥发性有机化合物的化合物的组合，以提供可固化的混合物；将具有分散相的可固化混合物以连续纤维的形式形成，或将包含前述至少一种的组合形成包含第一和第二层相对表面的层材料；在存在静电电磁体的情况下，对层材料施加磁场；以平行、垂直或包括相对于相对层表面的平面的前述方向中的至少一个的组合的方式机械振动层材料；任选地均匀加热层材

料;然后部分或完全固化该层材料以形成柔性或刚性的纤维增强复合材料。

[0096] 2.句子1的方法,其中施加磁场和/或机械振动包括将颗粒状填料分散在连续纤维基质的空隙内。

[0097] 3.句子1或2的方法,其中施加磁场和/或机械振动包括使颗粒状填料在与连续纤维基质的平面定向垂直的方向上过度对齐。

[0098] 4.句子1至3中任一项或多项的方法,其中施加磁场和/或机械振动包括使颗粒状填料在相对层表面的垂直方向上过度对齐。

[0099] 5.句子1至4中的任何一个或多个的方法,其中磁场的施加是同时或在施加机械振动之后,优选同时发生。

[0100] 6.句子1至5中任一项或多项的方法,其中施加磁场的磁场强度为1至5000毫特斯拉。

[0101] 7.根据句子1至6中任一项或多项所述的方法,其中,施加磁场的磁场线角度的标准偏差为0°至30°。

[0102] 8.句子1至7中任何一项或多项的方法,其中机械振动的施加包括频率为1到500赫兹的往复运动。

[0103] 9.句子1至8中任一项或多项的方法,其中机械振动的施加包括振幅为1至5000微米的往复运动。

[0104] 10.句子1至9中任一项的方法,其中在包括但不限于欧姆加热器、珀耳帖(Peltier)装置或包含至少一种前述的组合的热电换能器的存在下,在可固化混合物内的分散相中连续纤维基质的层材料的均匀加热降低了可固化混合物的粘度。

[0105] 11.句子1至10中任一项或多项的方法,其中在施加磁场和/或机械振动之前,同时或之后,对层材料和可固化混合物施加均匀的加热。

[0106] 12.句子1至11中任一项或多项的方法,其中对层材料和可固化混合物进行均匀加热可防止或引发预聚物(例如热固性预聚物)的交联或固化。

[0107] 13.句子1至12中任一项或多项的方法,其中施加均匀加热包括温度10℃至300℃。

[0108] 14.句子1至13中任一项或多项的方法,其中在可固化混合物内的分散相中对连续纤维基质的层材料施加磁场,机械振动和/或均匀加热的方法在以下基材上进行:包括但不限于柔性聚合物箔、柔性金属箔、柔性纸或包含至少一种前述的组合。

[0109] 15.如句子1至14中任一项或多项所述的方法,其中,在层材料的可固化混合物内的分散相中的连续纤维基质为单向、双向或包括前述至少一种的组合的图案形式。

[0110] 16.句子1至15中任一项或多项的方法,其中所述可固化混合物的颗粒状填料为不连续纤维、小片、纳米管、纳米纤维、纳米片或包含至少一种前述物质的组合的形式。

[0111] 17.句子1至16中任一项或多项的方法,其中层材料的可固化混合物的颗粒状填料的平均粒径为0.1至500微米。

[0112] 18.句子1至17中任一项或多项的方法,其中层材料的可固化混合物的颗粒状填料是附聚颗粒或单个初级颗粒。

[0113] 19.句子1至18中任一项或多项的方法,其中层材料的可固化混合物的颗粒状填料具有通常的长径比,该长径比限定为纤维长度与直径的比,为5至100000。

[0114] 20.如句子1至19中任一项或多项所述的方法,其中,所述连续纤维基质在所述层

材料的可固化混合物内处于分散相中。

[0115] 21.如句子1至20中任一项或多项所述的方法,其中所述层材料的可固化混合物的颗粒状填料。

[0116] 22.句子1-21中任一项或多项的方法,其中层材料的可固化混合物的颗粒状填料表现出对电磁场的物理响应。

[0117] 23.根据句子1至22中任一项或多项所述的方法,其中,所述颗粒状填料在更大程度上垂直于所述连续纤维基质的平面定向对齐。

[0118] 24.句子1至23中任一项或多项的方法,其中后一种材料的平均厚度为0.1至5000微米,优选10至2000微米,最优选50至1000微米。

[0119] 25.句子1至24中任一项或多项的方法,其中在层材料的可固化混合物内的分散相中的连续纤维基质占层材料总体积的5至75体积%。

[0120] 26.句子1至25中任一项或多项的方法,其中层材料的可固化混合物的颗粒状填料占层材料总体积的5至82体积%。

[0121] 27.句子1-26中任一项或多项的方法,其中层材料的可固化混合物包含有机挥发性化合物。

[0122] 28.句子1-27中任一项或多项的方法,其中层材料的可固化混合物包括硬化剂和固化催化剂。

[0123] 29.句子1至28中任一项或多项的方法,其中层材料的可固化混合物的热固性预聚物。

[0124] 30.一种纤维增强的复合层材料,其通过句子1至29中任一项或多项的方法制成。

[0125] 31.一种机械系统组件,包括单层或多层纤维增强复合材料,包括提供连续纤维;将连续纤维合并到不连续纤维内的分散相中、无机晶体或包含至少一种上述颗粒状填料的组合,所述颗粒状填料包括但不限于未涂覆的,硅烷偶联剂涂覆的,有机金属偶联剂涂覆的,铁磁材料(具体包括铁、镍、钴的氧化物,稀土金属合金或包含至少一种上述材料)涂覆的不连续纤维和无机晶体以及具有热固性预聚物和任选的挥发性有机化合物的化合物的组合,以提供可固化混合物;将具有分散相的可固化混合物以连续纤维的形式形成为包括相对的第一和第二层表面的层材料;在存在静电电磁体的情况下向层材料施加磁场;以平行、垂直或包括相对于相对层表面的平面的前述方向中的至少一个的组合的方式机械振动层材料;均匀加热层材料;然后部分或完全固化该层材料以形成柔性或刚性的纤维增强复合材料。

[0126] 2017年3月23日提交的美国临时专利申请序列号62/475,667,标题为“Fiber-Reinforced Composites,Methods Therefore And Articles Comprising The Same”,在此通过引用全文并入。

[0127] 下列实施例旨在举例说明本发明的某些实施方案,但不能举例说明本发明的全部范围。

[0128] 实施例1

[0129] 纤维增强的复合材料(例如,碳纤维复合材料)通常由连续纤维制成,所述连续纤维被捆扎成束,组装成织造或非织造织物,并包封在树脂基质中。具体地,形成为层或层片的碳纤维复合材料在碳纤维的强轴方向(例如,平面内)上提供优异的强度,但是当垂直于

纤维(例如,贯穿平面)施加载荷时,其强度大大降低。虽然这些复合层被层压以形成具有优异的整体面内性能的结构,但是缺乏贯穿厚度的增强使得层压的复合结构特别容易出现层间微裂纹和贯穿层裂缝。这些裂纹和裂缝会降低组件的完整性,并最终导致碳纤维复合结构的分层和灾难性破坏。

[0130] 实施例2

[0131] 该预示性实施例说明了可用于制造根据本发明某些实施方案的复合材料的溶剂分散方法。磁化的颗粒(例如以下物质的不连续纤维:碳、玄武岩、碳化硅、氮化硅、芳族聚酰胺、氧化锆、尼龙、硼、氧化铝、二氧化硅、硼硅酸盐,或莫来石,或氧化铝、氮化硼或石墨的具有至少一个小于1毫米的长轴的小片)可以分散在挥发性有机化合物(例如异丙醇、丁醇、乙醇、丙酮、甲苯或二甲苯)和/或水的液相溶剂中以形成浆料。在该实例中,磁化的颗粒占浆料的至多85体积%。

[0132] 将浆料沉积到碳、玄武岩、碳化硅、芳族聚酰胺、氧化锆、尼龙、硼、氧化铝、二氧化硅、硼硅酸盐、莫来石、棉或任何天然或合成的长纤维的织造(例如,双向、多向或准各向同性)或非织造(例如,单向、面纱或垫子)织物上。所述浆料润湿、涂覆和/或包围织物的连续纤维。

[0133] 然后在该实施例中,将包含浆料的织物暴露于场强至多10特斯拉的磁场。磁场使织物内的磁化颗粒沿磁场方向对齐。对齐后,将织物加热以蒸发浆料中的大部分溶剂,从而得到具有贯穿平面对齐的颗粒的干层材料嵌入和/或覆盖织物。

[0134] 随后,用液相粘合剂(例如环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚乙烯亚胺、聚醚酮酮、聚芳基醚酮、聚醚醚酮、聚苯硫醚、聚对苯二甲酸乙二酯、聚碳酸酯、聚(甲基丙烯酸甲酯)、丙烯腈丁二烯苯乙烯、聚丙烯腈、聚丙烯、聚乙烯、尼龙、硅橡胶、聚偏二氟乙烯、丁苯橡胶或预陶瓷聚合物)涂覆所述干层材料。液相粘合剂有效地润湿干层材料以产生预浸渍的复合层材料。

[0135] 此过程可能导致对齐的颗粒含量较高(最多占复合层总体积的85%)。另外,可以在施加液相粘合剂之前除去浆料的溶剂,这可以避免粘合剂和溶剂之间的化学不相容性问题。在某些情况下,此方法可能对某些类型的前体干层材料有用,该干层材料在应用液相粘合剂之前是弱而脆的。

[0136] 实施例3

[0137] 该预示性实施例说明了根据本发明某些实施方案的可用于制造复合材料的树脂分散方法。磁化的颗粒(例如以下物质的不连续纤维:碳、玄武岩、碳化硅、氮化硅、芳族聚酰胺、氧化锆、尼龙、硼、氧化铝、二氧化硅、硼硅酸盐,或莫来石,或氧化铝、氮化硼或石墨的具有至少一个小于1毫米的长轴的小片)分散在液相粘合剂(例如环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚乙烯亚胺、聚醚酮酮、聚芳基醚酮、聚醚醚酮、聚苯硫醚、聚对苯二甲酸乙二酯、聚碳酸酯、聚(甲基丙烯酸甲酯)、丙烯腈丁二烯苯乙烯、聚丙烯腈、聚丙烯、高密度聚乙烯、尼龙、硅橡胶、聚偏二氟乙烯、丁苯橡胶或预陶瓷聚合物)中。在该示例中,磁化颗粒占浆料的至多80体积%。

[0138] 对于磁性颗粒含量超过浆料体积10%的浆料,可以使用由液相的挥发性有机化合物(例如异丙醇、丁醇、乙醇、丙酮、甲苯或二甲苯)、油和/或水组成的附加溶剂稀释剂引入到浆料中,以帮助将磁化颗粒均匀分散在液相粘合剂中。

[0139] 将浆料沉积到碳、玄武岩、碳化硅、芳族聚酰胺、氧化锆、尼龙、硼、氧化铝、二氧化硅、硼硅酸盐、莫来石、棉或任何天然或合成的长纤维的织造(例如,双向、多向或准各向同性)或非织造(例如,单向、面纱或垫子)织物上。所述浆料润湿、涂布并包围织物的连续纤维。

[0140] 然后在该实施例中,将包含浆料的织物暴露于场强至多10特斯拉的磁场。磁场使织物内的磁化颗粒在贯穿平面方向上对齐。

[0141] 在对齐期间和/或之后,将织物加热以蒸发大部分溶剂稀释剂,从而得到具有液相粘合剂的复合层材料。通过固化、硬化、胶凝或冷冻液相粘合剂,将复合层材料进一步加热或冷却以固结复合层材料,以产生预浸渍的复合层材料。

[0142] 此过程可能导致对齐的颗粒含量低(最多占复合材料总层体积的20%)。另外,在低颗粒负载浆料的处理过程中缺少溶剂可以使流线型制造具有最小的溶剂烟气管理和更低的排放。可以使用溶剂稀释剂将颗粒分散到液相粘合剂中。在添加了液相粘合剂以去除溶剂之后,该过程还可以使用加热产生的材料。

[0143] 实施例4

[0144] 此预示性实施例说明了用于消除或降低应力集中的多种配方。颗粒(例如,碳、硼硅酸盐或尼龙的具有至少一条小于1毫米的长轴的不连续纤维)涂覆和/或嵌入由碳,硼硅酸盐或尼龙组成的织造(例如,双向、多向或准各向同性)织物,并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、高密度聚乙烯(HDPE)或尼龙的基质中。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。

[0145] 该配方可用于提供具有至少三个纤维定向轴的复合层。这种纤维结构允许复合层在随后的层和相邻组件之间有效地分布应力,这可以减少或消除应力集中的累积。应力集中的减小或消除可以显着提高动态载荷下层压复合结构的强度。当层压的复合结构形成小的特征或与具有截然不同的刚度的材料(例如金属合金或塑料)配合时,该配方可能有用。示例应用包括用于III型、IV型和V型压力容器的拱形加强件,用于风力涡轮机的翼尖和后缘/前缘,用于船舶的水翼艇,用于汽车的气动小翼以及用于飞机的航空结构螺栓/铆钉紧固件附件。

[0146] 实施例5

[0147] 该预示性示例说明了用于消除或减少分层的各种配方。颗粒(例如,碳、硼硅酸盐或尼龙的具有至少一个小于1毫米的长轴的不连续纤维)覆盖和/或嵌入由碳、硼硅酸盐或尼龙组成的非织造(例如,单向、面纱或垫子)织物,并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、高密度聚乙烯(HDPE)或尼龙的基质中。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。

[0148] 该配方可以为复合层提供层间区域的贯穿平面增强。这种纤维增强使得复合层能够有效地在相邻层之间分配应力,从而阻止了裂纹的形成,并防止了裂纹在层间区域中传播。层间区域的目标增强可以显着提高层压复合结构在冲击和循环载荷下的强度。当层压复合结构由复合层的长片形成时,该配方可能会有用,例如,层之间的层间区域中的单个裂纹会损害整个结构的结构完整性。示例应用包括用于III、IV和V型压力容器的外包装,用于风力涡轮机的翼梁,用于船舶的船体,用于汽车的底盘面板和机翼以及用于飞机的涡轮风扇叶片。

[0149] 实施例6

[0150] 该预示性实施例说明了贯穿平面强度和刚度的多种配方。颗粒(例如碳或硼硅酸盐的具有至少一个长轴小于1毫米的不连续纤维)涂覆和/或嵌入由硼硅酸盐或尼龙组成的织造(例如双向稀松布)织物,并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、高密度聚乙烯(HDPE)或尼龙的基质中。在该实施例中,颗粒占整个复合材料的50体积%以上,并且相对于织物的连续纤维横向定向。

[0151] 这种配方提供了具有贯穿平面增强的复合层,例如,作为贯穿平面的单向织物。这种纤维增强针对的是贯穿平面载荷(例如点载荷和高压载荷),稀松布织物提供的平面增强最小。在预期的贯穿平面机械载荷下,目标贯穿平面增强可以显着提高层压复合结构的强度和刚度。

[0152] 该配方可用于有效地处理具有贯穿平面增强的复合层,该贯穿平面增强复合层在形成层压复合结构的外壳的同时在未固化状态下易于在处理期间变形。示例应用包括对注塑模具的内部特征进行维修,用于顶起重型结构的垫片以及用于运动的球拍和棍棒的表面。

[0153] 实施例7

[0154] 该预示性实施例说明了用于消除或减少表面磨损的各种配方。颗粒(例如,具有至少一个小于1毫米的长轴的碳化硅、氮化硅、氧化锆、硼、氧化铝、二氧化硅的不连续纤维、或氧化铝、氮化硼的微片)涂覆和/或嵌入由碳、硼硅酸盐或尼龙组成的织造(例如,双向、多向或准各向同性)织物,并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、高密度聚乙烯(HDPE)或尼龙的基质中。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。

[0155] 该配方提供了具有优异硬度和/或化学稳定性的具有贯穿平面定向的颗粒的复合层。贯穿平面的增强可以显着提高聚合物基质抵抗机械磨损(例如,磨损)和/或化学腐蚀(例如,氧化)造成的损坏的能力。该配方可用于形成保护结构免受机械和化学磨损的表面。示例应用包括汽车的A类表面,飞机的蒙皮和建筑物的面板。

[0156] 实施例8

[0157] 该预示性实施例说明了用于消除电击的多种配方。颗粒(例如具有至少一个小于1毫米的长轴的碳的不连续纤维或石墨微片)覆盖和/或嵌入由碳组成的织造(例如双向、多向或准各向同性)织物,并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、高密度聚乙烯(HDPE)或尼龙的基质中。所述颗粒横向于织物的纤维定向。所述颗粒占整个复合材料的50体积%以上,并且相对于织物的连续纤维横向定向。

[0158] 该配方提供了具有增强的贯穿平面电导率的复合层,并且可以显著提高对由快速释放电能(例如闪电)时的电荷积累引起的局部热量产生的损坏的抵抗力。该配方可用于形成保护结构免受放电损坏的表面。示例应用是飞机和风力涡轮机的蒙皮和前缘/后缘。

[0159] 实施例9

[0160] 该预示性实施例示出了用于传输电信号的多种配方。颗粒(例如,具有至少一个小于1毫米的长轴的碳的不连续纤维或石墨微片)覆盖和/或嵌入由碳构成的非织造(例如,单向、面纱或垫子)织物,并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯,聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、高密度聚乙烯(HDPE)或尼龙的基质中。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。

[0161] 该配方为复合层提供了近各向同性的增强的电导率,并且可以有效地传导电信号

穿过长而厚的复合结构。示例应用是实现欧姆加热以防止冰积聚的飞机和风力涡轮机除冰系统，以及实现电信号以检测厚和/或长层压复合结构内分层的复合健康监测系统。

[0162] 实施例10

[0163] 该预示性实施例说明了用于衰减电磁波的多种配方。颗粒(例如具有至少一个小于1毫米的长轴的碳的不连续纤维或石墨微片)覆盖和/或嵌入由碳组成的织造(例如双向、多向或准各向同性)织物，并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、高密度聚乙烯(HDPE)或尼龙的基质中。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。

[0164] 该配方为复合层提供了增强的各向同性导电性，并可以有效地衰减入射电磁波。示例应用是用于隐形吸收雷达信号的飞机外壳。

[0165] 实施例11

[0166] 此预示性实施例说明了用于传输电磁波的多种配方。颗粒(例如，具有至少一个小于1毫米的长轴的氧化铝或氮化硼的微片)覆盖和/或嵌入由硼硅酸盐组成的织造(例如双向、多向或准各向同性)织物，并嵌入聚丙烯(PP)和聚乙烯(PE)的基质中。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。

[0167] 这种配方提供了一种具有低射频干扰和增强的贯穿平面热导率的复合层，可以有效地传输电磁波而不会过热。示例应用包括用于电信的天线罩。

[0168] 实施例12

[0169] 该预示性实施例说明了用于消除热冲击的各种配方。颗粒(例如，具有至少一个小于1毫米的长轴的碳、碳化硅、氮化硅、氧化铝的不连续纤维，或氧化铝、氮化硼或石墨的微片)覆盖和/或嵌入由碳组成的织造(例如，双向、多向或准各向同性)织物，并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、尼龙的基质中。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。

[0170] 该配方提供了具有增强的贯穿平面热导率的足够的结构完整性的复合层。该配方对于在快速温度波动下提高结构完整性可能有用。示例应用是大气再进入期间航天器的蒙皮和车辆的制动盘。

[0171] 实施例13

[0172] 此预示性实施例说明了用于消除或减小热梯度的各种配方。颗粒(例如，具有至少一个小于1毫米的长轴的氧化铝或氮化硼的微片)覆盖和/或嵌入由碳组成的织造(例如双向、多向或准各向同性)织物，并嵌入环氧树脂、聚酯、乙烯基酯、聚醚醚酮(PEEK)、丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、高密度聚乙烯(HDPE)、尼龙或硅橡胶的基质中。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。所述颗粒占复合材料总体积的50％以上。

[0173] 该配方提供了具有优异的贯穿平面热导率和低电导率的复合层。该配方对于例如在电子设备中有效地移动和分配热通量可能是有用的。示例应用包括印刷电路板层压板，缝隙填料和用于电子设备的密封剂。

[0174] 实施例14

[0175] 该预示性实施例说明了用于能量存储的各种配方。颗粒(例如具有至少一个小于1毫米的长轴的碳的不连续纤维或石墨微片)覆盖和/或嵌入由碳构成的非织造(例如单向、面纱或垫子)织物，并嵌入聚偏二氟乙烯(PVDF)或丁苯橡胶(SBR)的基质中。所述颗粒横向

于织物的连续纤维定向。所述颗粒占整个复合材料的体积50％以上。

[0176] 该配方提供了具有优异的贯穿平面电导率的碳基复合层。该配方可用于从电解质中吸附离子物质和/或有效地分布电荷。示例应用包括用于电化学电池的阳极(例如锂离子和钠离子电池)和用于超级电容器的电极。

[0177] 实施例15

[0178] 该预示性例子说明了用于前PAN碳纤维合成的配方。颗粒(例如具有至少一个小于1毫米的长轴的碳的不连续纤维)涂覆和/或嵌入由嵌入聚丙烯腈(PAN)基质中的碳组成的织物。所述颗粒横向于织物的连续纤维定向。

[0179] 该配方提供了具有贯穿平面碳纤维催化剂的前体复合层。在适当的温度下,PAN基质可能会氧化并碳化成碳基质。该配方可用于制造具有各向同性晶粒的前PAN碳-碳复合材料。

[0180] 实施例16

[0181] 此预示性实施例说明了陶瓷基质复合材料(CMC)的配方。颗粒(例如,具有至少一个小于1毫米的长轴的碳和碳化硅的不连续纤维)覆盖和/或嵌入包含碳或碳化硅的织物,并嵌入具有硫醇,乙烯基,丙烯酸酯,甲基丙烯酸酯或环氧基R-基团的预陶瓷单体(例如硅氧烷、硅氮烷或碳硅烷)的基质中。所述颗粒横向于织物的纤维定向。

[0182] 该配方可以提供具有贯通平面碳纤维或碳化硅催化剂的前体复合层。在适当的温度下,聚合物基质可以氧化成陶瓷基质。该配方对于产生具有各向同性晶粒的陶瓷基质复合材料可能有用。

[0183] 尽管本文已经描述和说明了本发明的几个实施例,但是本领域普通技术人员将容易想到用于执行功能和/或获得结果和/或一个或多个此处描述的优点的多种其他手段和/或结构,以及这样的变化和/或修改中的每一个都被认为在本发明的范围内。更一般地,本领域技术人员将容易地理解,本文描述的所有参数、尺寸、材料和构造均是示例性的,并且实际参数、尺寸、材料和/或构造将取决于一个或多个特定应用。为此,使用了本发明的教导。仅使用常规实验,本领域技术人员将认识到或能够确定本文所述的本发明的特定实施方案的许多等同方案。因此,应当理解,前述实施方式仅作为示例给出,并且在所附权利要求及其等同物的范围内,本发明可以不同于具体描述和要求保护的方式实施。本发明涉及本文所述的每个单独的特征、系统、制品、材料、套件和/或方法。另外,如果这样的特征、系统、制品、材料、套件和/或方法不是相互矛盾的,则两个或更多个这样的特征、系统、制品、材料、套件和/或方法的任意组合包括在本发明的范围内。

[0184] 在本说明书和通过引用并入的文件包含矛盾和/或不一致的公开的情况下,以本说明书为准。如果以引用方式并入的两个或多个文件包含相互矛盾和/或不一致的公开,则以生效日期较晚的文件为准。

[0185] 如本文所定义和使用的所有定义应被理解为以字典定义、通过引用并入的文档中的定义和/或所定义术语的普通含义为准。

[0186] 除非明确相反地指出,否则本文在说明书和权利要求书中使用的不定冠词“一个”和“一种”应理解为表示“至少一个”。

[0187] 如本文在说明书和权利要求书中使用的,短语“和/或”应理解为是指如此结合的元素中的“一个或两个”,在某些情况下共同存在而在其他情况下不连续存在。用“和/或”列

出的多个元素应以相同的方式解释，即，如此连接的元素中的“一个或多个”。除了由“和/或”子句明确标识的元素之外，还可以可选地存在其他元素，无论与那些具体标识的元素相关还是无关。因此，作为非限制性示例，在一个实施例中，当与诸如“包括”的开放式语言结合使用时，对“A和/或B”的引用可以仅指A(可选地包括除B以外的元素)；在另一个实施例中，仅针对B(可选地包括除A以外的元素)；在又一个实施例中，对A和B两者(可选地包括其他元素)；等等。

[0188] 如本文在说明书和权利要求书中所使用的，“或”应被理解为具有与如上所定义的“和/或”相同的含义。例如，当将列表中的项目分开时，“或”或“和/或”应解释为包含性的，即包含多个或多个元素列表中的至少一个，但也包括不止一个，以及(可选)其他未列出的项目。仅明确指出相反的术语，例如“仅一个”或“恰好一个”，或当在权利要求书中使用时，“由……组成”将指的是仅包括一个或多个列表中的一个元素。一般而言，本文中使用的术语“或”仅应当排他性术语例如“一个”，“之一”，“仅其中之一”或“恰好其中之一”在前时，解释为表示排他性选择(即“一个或另一个，但不能同时选择两个”)。

[0189] 如本文在说明书和权利要求书中所使用的，在提及一个或多个元素的列表时，短语“至少一个”应被理解为是指从该元素列表中的任何一个或多个元素中选择的至少一个元素，但不一定包括元素列表中具体列出的每个元素中的至少一个，并且不排除元素列表中元素的任何组合。该定义还允许短语“至少一个”所指代的元件列表中除了特别识别的元件之外的元件可以可选地存在，无论与那些特别识别的元件有关还是无关。因此，作为非限制性示例，“A和B中的至少一个”(或等效地，“A或B中的至少一个”，或等效地“A和/或B中的至少一个”)可以指代在一个实施方案中，为不存在B的至少一个，任选地包括一个以上的A(并且任选地包括除B以外的元素)；在另一个实施方案中，至少一个，任选地包括一个以上的B，不存在A(并且任选地包括除A以外的元素)；在又一个实施例中，至少一个，可选地包括一个以上的A，以及至少一个，可选地包括一个以上的B(以及可选地包括其他元素)；等等。

[0190] 当在本文中参考数字使用单词“约”时，应当理解，本发明的又一实施例包括该数字不因单词“约”的存在而被修改。

[0191] 还应理解的是，除非有明显的相反指示，否则在本文要求保护的任何方法中，包括多个步骤或动作，该方法的步骤或动作的顺序不必限于列举该方法的步骤或动作的顺序。

[0192] 在权利要求书以及以上说明书中，所有过渡短语例如“包括”，“包括”，“携带”，“具有”，“包含”，“涉及”，“持有(holding)”，“由……组成(composed of)”。等等应理解为开放式的，即意指包括但不限于。如美国专利局专利审查程序手册第2111.03节所述，仅过渡短语“由……组成(consisting of)”和“基本上由……构成(consisting essentially of)”应分别是封闭的或半封闭的过渡短语。

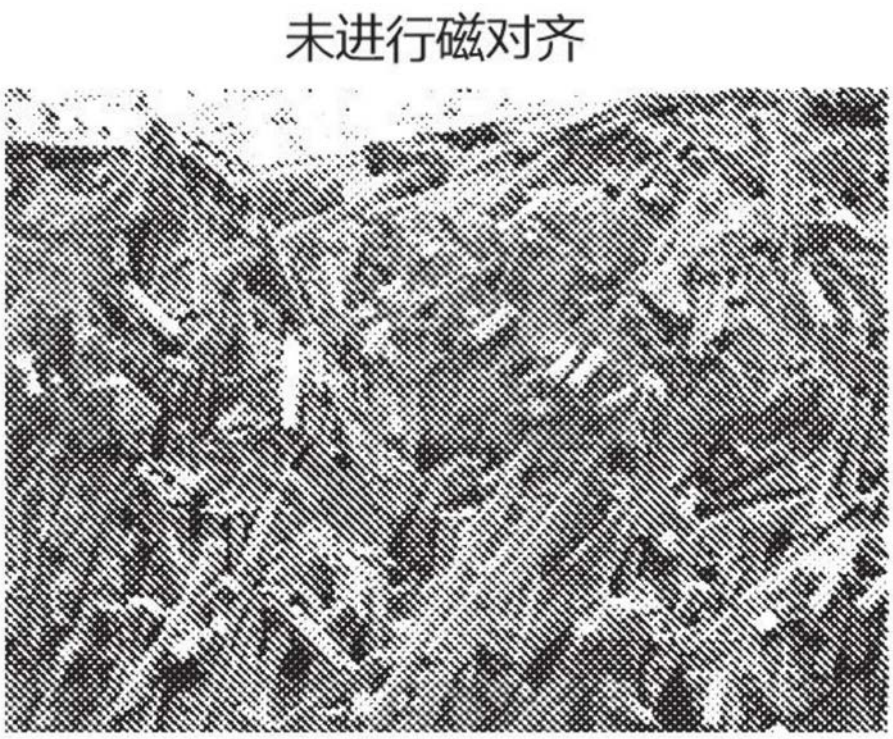


图1A

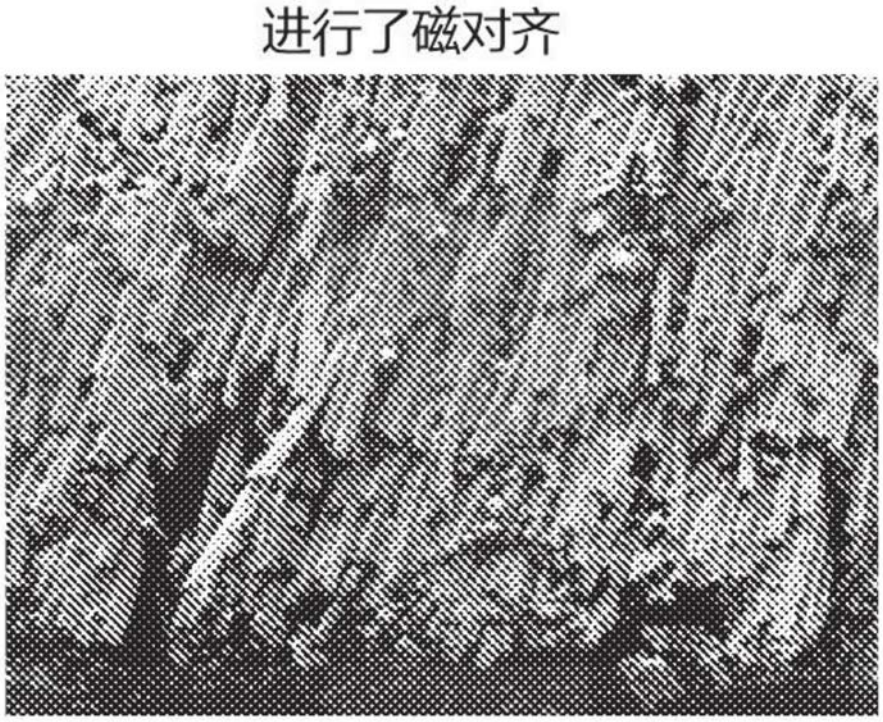


图1B

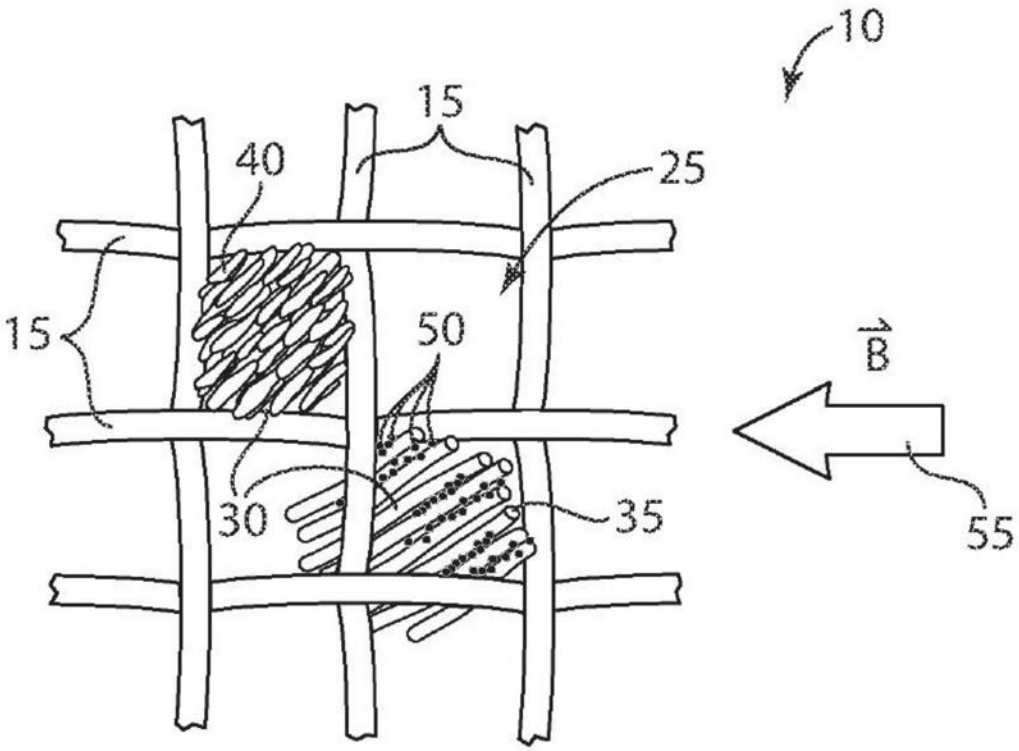


图2