



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119698352 A

(43) 申请公布日 2025. 03. 25

(21) 申请号 202380036668.9

(22) 申请日 2023.02.28

(30) 优先权数据

63/315,022 2022.02.28 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.10.25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2023/063406 2023.02.28

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/164725 EN 2023.08.31

(71) 申请人 格林特维德科技股份有限公司

地址 美国特拉华州

(72) 发明人 S·斯图兹 N·韦伯 F·佩罗特

(74) 专利代理机构 上海一平知识产权代理有限公司 31266

专利代理师 徐迅 崔佳佳

(51) Int.Cl.

B29C 70/30 (2006.01)

C08L 71/10 (2006.01)

C08K 7/06 (2006.01)

B29C 70/54 (2006.01)

B29C 70/34 (2006.01)

B29C 70/08 (2006.01)

B29B 11/12 (2006.01)

B29B 11/16 (2006.01)

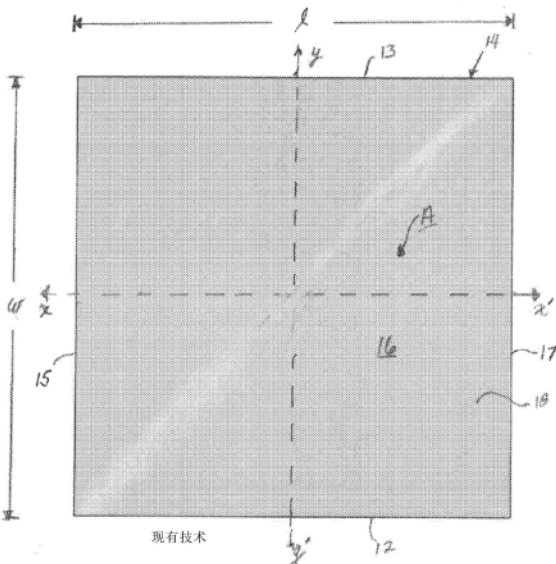
权利要求书5页 说明书23页 附图26页

(54) 发明名称

具有渐进端部的改性长纤维增强聚合物复合材料薄片及其提供方法

(57) 摘要

描述了一种提供用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片的方法、由其形成的制品和改性聚合物复合材料薄片,其中由这种改性聚合物复合材料薄片形成的制品具有增强的拉伸强度和抗冲击性,特别是在高速下,还描述了一种通过使用本文的改性聚合物复合材料薄片提高由聚合物复合材料形成的制品的平均拉伸强度和/或抗冲击性的方法。所述方法包括提供一种复合材料,所述复合材料具有至少一种聚合物基体材料和延伸穿过聚合物基体材料的第一纤维材料的长增强纤维;和由所述复合材料形成的至少一个薄片,其中至少一个薄片包括具有外边缘的外表面,外边缘的一部分被配置为向至少一个薄片的外边缘提供至少一种外边缘特征,从而提供改性聚合物复合材料薄片。



1. 一种提供用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片的方法,包括
 - (a) 提供一种复合材料,所述复合材料具有至少一种聚合物基体材料和延伸穿过聚合物基体材料的第一纤维材料的长增强纤维;和
 - (b) 由所述复合材料形成的至少一个薄片,其中所述至少一个薄片包括具有外边缘的外表面,外边缘的一部分被配置为向至少一个薄片的外边缘提供至少一个外边缘特征,从而提供改性聚合物复合材料薄片。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括通过切割所述复合材料形成至少一个薄片。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述至少一个薄片通过切割装置切割。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述复合材料的形式选自带、板和薄片。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述复合材料中的长增强纤维是单向的。
6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述复合材料中的长增强纤维是连续的长增强纤维。
7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述复合材料的形式为带,且所述长增强纤维为单向连续长增强纤维。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述至少一个外边缘特征具有至少两个成角的边。
9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述外边缘特征的至少两个成角的边以约 5° 至约 120° 的角度相互成角。
10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,所述外边缘特征的至少两个成角的边以约 20° 至约 90° 的角度相互成角。
11. 根据权利要求10所述的方法,其特征在于,所述外边缘特征的至少两个成角的边以约 20° 至约 60° 的角度相互成角。
12. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,所述外边缘特征的至少两个成角的边以约 30° 至约 60° 的角度相互成角。
13. 根据权利要求12所述的方法,其特征在于,所述外边缘特征的至少两个成角的边是相邻的,并在至少两个成角的边之间的接触点处共同形成角的顶点。
14. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述有多个外边缘特征。
15. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于,所述每个外边缘特征的至少两个成角的边是相邻的,并在至少两个成角的边之间的接触点处共同形成有角的顶点,其中多个外边缘特征中的至少两个外边缘特征也是相邻的,从而使具有至少一个边缘特征的外边缘部分包括之字形图案。
16. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述至少一个薄片的外边缘包括至少三个外边缘部分,且至少两个外边缘部分包括之字形图案。
17. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述至少一个薄片中的长增强纤维是单向的,并沿第一方向延伸穿过至少一个薄片,并且包含之字形图案的外边缘部分沿第二方向延伸,其中第二方向与第一方向成角度。
18. 根据权利要求17所述的方法,其特征在于,所述第二方向与第一方向之间的角度约为 90° 。
19. 根据权利要求18所述的方法,其特征在于,所述第二方向与第一方向之间的角度为

约60°至约90°。

20. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个外边缘特征被配置为具有选自三角形、抛物线形、平行四边形、钟形、子弹形、箭头形和梯形的形状, 并且, 当外边缘特征不止一个时, 每个外边缘特征可以相同或不同。

21. 根据权利要求20所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个外边缘特征是具有长方形形状的平行四边形。

22. 根据权利要求20所述的方法, 其特征在于, 所述在具有边缘特征的外边缘部分上有两个或更多个的外边缘特征, 这些外边缘特征共同形成图案。

23. 根据权利要求22所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个薄片有四个外边缘部分, 其中两个是相对的外边缘部分, 这两个相对的外边缘部分中的每一个都有在其上形成的图案, 使得所述图案沿着这两个相对的外边缘部分的基本上所有部分延伸, 使得在两个相对的边缘部分之间纵向测量的横跨至少一个薄片的距离在整个图案中基本保持一致。

24. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述聚合物基体材料是热塑性塑料, 并且是聚砜、聚硫化物、聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰胺、聚芳撑聚合物、含氟聚合物及其组合和共聚物中的一种或多种。

25. 根据权利要求24所述的方法, 其特征在于, 所述聚合物基体材料是聚芳撑聚合物, 并且是聚醚酮、聚醚醚酮、聚醚酮酮及其组合和共聚物中的一种或多种。

26. 根据权利要求24所述的方法, 其特征在于, 所述聚合物基体材料是含氟聚合物, 其是四氟乙烯和至少一种全氟烷基乙烯基醚的共聚物; 四氟乙烯和至少一种其他全氟烯烃的共聚物、聚三氟氯乙烯、乙基三氟氯乙烯、乙基三氟乙烯、聚偏氟乙烯、聚氟乙烯及其组合和共聚物中的至少一种。

27. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述聚合物基体材料是热固性聚合物, 并且是热固性弹性体、环氧树脂、热固性双柠康酰亚胺、双马来酰亚胺、双马来酰亚胺/三嗪/环氧树脂、氰酸酯、氰酸酯树脂、呋喃树脂、酚醛树脂、脲醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、酞菁树脂、聚苯并恶唑树脂、乙炔端聚酰亚胺树脂、硅酮、聚三嗪、热固性聚乙烯酯、热固性聚氨酯、聚四氟乙烯、三聚氰胺、聚醇酸树脂和二甲苯树脂中的一种或多种。

28. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个薄片中的长增强纤维是无机纤维、陶瓷纤维、玻璃纤维、石墨纤维、碳纤维、热塑性纤维、热固性纤维及其组合中的一种或多种。

29. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个薄片的外边缘在至少一个薄片的外表面上限定具有整体形状的表面区域, 所述整体形状一般是三角形、至少有五条边的多边形、圆形、平行四边形或梯形, 且在所述表面区域形状的至少一个边缘部分上形成至少一个外边缘特征。

30. 根据权利要求29所述的方法, 其特征在于, 所述由外边缘限定的表面区域是选自正方形、长方形和菱形的平行四边形。

31. 根据权利要求29所述的方法, 其特征在于, 有多个薄片, 每个薄片具有通过薄片的外边缘在薄片的外表面上限定的表面积, 并且具有沿每个薄片的外边缘在与薄片的表面区域正交的平面上测量的厚度, 其中, 多个薄片的平均外表面积为约20mm²至约650mm², 多个薄片的平均厚度为约0.05mm至约0.25mm。

32. 根据权利要求31所述的方法, 其特征在于, 所述多个薄片的平均外表面积为约 150mm^2 至约 170mm^2 , 多个薄片的平均厚度为约 0.1mm 至约 0.20mm 。

33. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 当使用多个具有外边缘特征的改性聚合物复合材料薄片形成制品时, 所形成制品的平均拉伸强度与使用由相同材料形成的、具有相同整体形状和尺寸、但缺少外边缘特征的多个薄片形成的制品相比, 提高至少约30%。

34. 根据权利要求33所述的方法, 其特征在于, 所述使用多个改性聚合物复合材料薄片形成的制品的平均拉伸强度至少提高约40%至约60%。

35. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个外边缘特征具有至少两个成角的边, 且其中至少一个改性薄片上的每个外边缘特征的至少两个成角的边是相邻的, 并在至少两个成角的边之间的接触点处共同形成角的顶点, 其中至少一个改性聚合复合材料薄片上有多个外边缘特征, 并且多个外边缘特征中至少两个成角的特征也是相邻的, 使得至少一个改性聚合复合材料薄片的外边缘部分包含之字形图案。

36. 根据权利要求35所述的方法, 其特征在于, 所述在至少一个改性聚合物复合材料薄片上有约2至约12个之字形图案的外边缘特征。

37. 根据权利要求36所述的方法, 其特征在于, 有约4至约8个之字形图案的外边缘特征。

38. 根据权利要求36所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个改性聚合物复合材料薄片包括至少三个外边缘部分, 其中至少两个具有之字形图案。

39. 根据权利要求38所述的方法, 其特征在于, 有约4至约8个之字形图案的外边缘特征。

40. 一种通过热成型或固化根据权利要求1所述的方法形成的多个改性聚合复合材料薄片而形成的制品。

41. 根据权利要求40所述的制品, 其特征在于, 所述制品是用于高温和/或高压终端应用或用于飞机、医疗设备、机器人、汽车、半导体或体育终端应用的组件、装置或部件。

42. 根据权利要求41所述的制品, 其特征在于, 所述制品是飞机上使用的支架、盖板、整流罩或机舱侧壁附件。

43. 根据权利要求40所述的制品, 其特征在于, 所述制品是安全壳。

44. 根据权利要求40所述的制品, 其特征在于, 所述制品是通过将多个改性聚合物复合材料薄片与未改性聚合物复合材料薄片一起成型或固化而形成的, 所述未改性聚合物复合材料薄片可以与通过权利要求1所述的方法形成的至少一种改性聚合物复合材料薄片相同或不同。

45. 根据权利要求44所述的制品, 其特征在于, 所述未改性聚合物复合材料薄片含有与通过权利要求1所述的方法形成的至少一种改性聚合物复合材料薄片相同的聚合物基体材料和相同的长增强纤维。

46. 一种提高由复合材料薄片形成的制品的平均拉伸强度和抗冲击性中的一种或多种的方法, 所述复合材料薄片具有至少一种聚合物基体材料和延伸穿过聚合物基体材料的长增强纤维, 其中所述复合材料薄片包括具有至少一个外边缘的外表面, 所述方法包括:

提供多个改性聚合物复合材料薄片, 其中所述每个改性聚合物复合材料薄片都具有沿薄片外边缘部分的外边缘特征; 和

使用多个改性聚合复合材料薄片形成制品。

47. 根据权利要求46所述的方法, 其特征在于, 所述使用改性聚合物复合材料薄片形成的制品的抗冲击性是高速抗冲击性。

48. 一种用于制备制品的改性聚合物复合材料薄片, 包括:

其上有外边缘的外表面, 其中所述外边缘在所述外表面上限定外表面区域, 所述改性聚合复合材料薄片沿边缘有一个厚度, 其延伸方向与边缘限定的外表面区域大致正交;

聚合物基体材料;

聚合物基体材料中的长增强纤维; 和

在改性聚合复合材料薄片的外边缘部分上的至少一个外边缘特征。

49. 根据权利要求48所述的改性薄片, 其特征在于, 所述外边缘特征的形状选自三角形、抛物线形、平行四边形、钟形、子弹形、箭头形和梯形。

50. 根据权利要求49所述的改性薄片, 其特征在于, 有一个以上的外边缘特征, 每个外边缘特征都是相同的。

51. 根据权利要求50所述的改性薄片, 其特征在于, 有两个或更多个的外边缘特征, 共同形成图案。

52. 根据权利要求48所述的改性薄片, 其特征在于, 所述长增强纤维在聚合物基体材料中是单向的。

53. 根据权利要求48所述的改性薄片, 其特征在于, 所述改性聚合物复合材料薄片由具有单向连续长增强纤维的聚合物复合材料形成。

54. 根据权利要求48所述的改性薄片, 其特征在于, 所述外边缘特征具有至少两个以约 5° 至约 120° 的角度相互成角的边。

55. 根据权利要求54所述的改性薄片, 其特征在于, 所述外边缘特征具有至少两个以约 20° 至约 90° 的角度相互成角的边。

56. 根据权利要求55所述的改性薄片, 其特征在于, 所述外边缘特征具有至少两个以约 20° 至约 60° 的角度相互成角的边。

57. 根据权利要求56所述的改性薄片, 其特征在于, 所述外边缘特征具有至少两个以约为 30° 至 60° 的角度相互成角的边。

58. 根据权利要求54所述的改性薄片, 其特征在于, 所述两个成角的边相邻, 并在至少两个成角的边之间的接触点处共同形成角的顶点。

59. 根据权利要求58所述的改性薄片, 其特征在于, 有多个外边缘特征, 每个外边缘特征具有至少两个成角的边。

60. 根据权利要求59所述的改性薄片, 其特征在于, 在多个外边缘特征中的至少两个外边缘特征也是相邻的, 从而使具有外边缘特征的多个改性聚合物复合材料薄片中的每个薄片的外边缘的至少一个部分包括之字形图案。

61. 根据权利要求60所述的改性薄片, 其特征在于, 所述每个改性聚合物复合材料薄片包括至少三个外边缘部分, 其中至少两个具有之字形图案。

62. 根据权利要求61所述的改性薄片, 其特征在于, 所述每个改性聚合复合材料薄片中的长增强纤维是单向纤维, 并沿第一方向延伸穿过改性聚合复合材料薄片, 而每个薄片中包含之字形图案的外边缘的至少一部分沿第二方向延伸, 其中第二方向与第一方向成一定

角度。

63. 根据权利要求62所述的改性薄片,其特征在于,所述第二方向与第一方向正交。

64. 根据权利要求63所述的改性薄片,其特征在于,所述第二方向与第一方向所成的角度为约60°至约90°。

65. 根据权利要求48所述的改性薄片,其特征在于,所述聚合物基体材料是一种热塑性塑料,并且是聚砜、聚硫化物、聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰胺、聚芳撑聚合物、含氟聚合物及其组合和共聚物中的一种或多种。

66. 根据权利要求65所述的改性薄片,其特征在于,所述聚合物基体材料是聚芳撑聚合物,并且是聚醚酮、聚醚醚酮、聚醚酮酮及其组合和共聚物中的一种或多种。

67. 根据权利要求48所述的改性薄片,其特征在于,所述复合材料中的长增强纤维是无机纤维、陶瓷纤维、玻璃纤维、石墨纤维、碳纤维、热塑性纤维、热固性纤维及其组合中的一种或多种。

68. 根据权利要求48所述的改性薄片,其特征在于,所述改性聚合复合材料薄片上有多个外边缘特征,每个外边缘特征包括至少两个带角的边,且至少两个带角的边是相邻的,并在至少两个带角的边之间的接触点处共同形成有角度的顶点,多个外边缘特征中的至少两个外边缘特征也是相邻的,从而使每个薄片上具有外边缘特征的外边缘的至少一个边缘部分包括之字形图案。

69. 根据权利要求68所述的改性薄片,其特征在于,所述之字形图案中有约2至约12个外边缘特征。

70. 根据权利要求69所述的改性薄片,其特征在于,所述之字形图案中有约4至约8个外边缘特征。

71. 根据权利要求68所述的改性薄片,其特征在于,所述改性聚合物复合薄片包括至少三个外边缘部分,其中至少两个具有之字形图案。

72. 根据权利要求71所述的改性薄片,其特征在于,所述之字形图案中有约4至约8个外边缘特征。

73. 一种形成用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片的设备,包括:

用于可控地进料部分聚合物复合材料的进料器,所述部分聚合物复合材料的配置和尺寸用于形成薄片,所述复合材料包括至少一种聚合物基体材料和在聚合物复合材料中延伸穿过聚合物基体材料的长增强纤维;和

可移动和可控制的切割装置,所述装置作为切割台运行,将由进料器送入的部分聚合物复合材料切割成薄片,所述装置包括一个或多个可拆卸切割模板,其配置用于在从切割装置切割出的薄片的边缘部分提供至少一个外边缘特征。

74. 根据权利要求73所述的设备,还包括控制器,其用于可控地操作进料器和切割装置中的一个或多个。

75. 根据权利要求73所述的设备,其特征在于,所述不同的切割模板可用于为切割薄片的不同边缘部分提供不同的边缘特征。

具有渐进端部的改性长纤维增强聚合物复合材料薄片及其提供方法

发明名称

[0002] 具有渐进末端的改性长纤维增强聚合复合材料薄片、提供上述薄片的方法及由其制成的具有增强的强度和抗冲击性的制品

相关申请的交叉引用

[0004] 根据《美国法典》第35编第119(e)条,本非临时专利申请要求申请号为63/315,022,申请日为2022年2月28日的美国临时专利申请的权益,该申请的名称为“具有渐进末端的改性长纤维增强聚合物复合薄片、提供上述薄片的方法及由其制成的具有增强的强度和抗冲击性的制品”,其全部内容通过引用并入本文。

发明背景

发明领域

[0006] 本发明涉及以片状形式非连续长增强纤维原料制成非连续长纤维聚合物复合材料制品的领域,其可由连续长纤维复合材料(如带)预浸料制成,更具体地,本发明涉及制造此类制品,其中通过提供改进的非连续长增强纤维聚合物基复合材料薄片(其具有可形成渐进末端的改性的边缘特征),提高该制品的拉伸强度、抗冲击性(尤其是高速冲击下的抗冲击性)和疲劳极限。

[0007] 相关领域说明

[0008] 由非连续长纤维复合材料制成的制品在本领域是众所周知的,通常由各种类型的热成型工艺制成。这些制品可由连续长纤维复合材料制得,例如棒料、颗粒、复合材料块和复合材料带,它们可以是预制的复合材料,其可被切碎、重新模塑以制备原料形状,如板、薄片或各种颗粒,用于形成最终产品制品。这些原料可以切割成短纤维或长纤维。一种已知的复合材料原料,即增强薄片,是通过切割、切碎或用单向带或类似的长纤维增强连续复合材料的废料部分形成的。这种复合材料带可以含有相当高的纤维负荷,因此,由这种带形成的薄片可以提供高纤维负荷的原料。薄片可以切割成不连续的长增强纤维薄片。一旦成型,由这种薄片形成的制品可包括随机分布的不连续长纤维,如果需要,也可能包括短纤维和/或部分连续长纤维。

[0009] 各种成型方法都是已知的,并且可以进行修改,以便从这些原料中获得不同的结果,包括用于改变基体聚合物的性能和/或在基体聚合物中改变无规纤维取向的程度。

[0010] 如上所述,使用这种单向带形成薄片,作为原料用于形成最终产品制品,其优点是可以获得较高的纤维负载量,基体聚合物能很好地“润湿”纤维、纤维分布均匀、加工过程中产生的废料少,并能制造出接近注塑成型的复杂成型几何形状。然而,由这种单向带形成的不连续长纤维片状材料的一个缺点是,这种薄片材料通常倾向于产生虽然具有良好性能和一般随机分布的制品,但其拉伸强度可能低于所需的强度。使用碳纤维作为增强纤维的不连续长纤维制品,例如在聚芳撑(如聚醚醚酮基体)中的典型值约为200至220Mpa。本领域需

要尝试提高由切碎原料形成的复合材料的强度,特别是由不连续长纤维复合材料薄片形成的复合材料的强度。

[0011] 欧洲专利申请号EP 3 421 207 A1提供了一种现有技术方法,试图用非连续纤维增强材料形成复合材料制品。在该专利中,非连续增强纤维束包含与单根纱线的取向方向成预定角度倾斜的切割面,因此纤维束的长度不同。较长的纤维束在非连续纤维束末端的尖端角度较小。这种复合材料可用于制造非连续纤维增强复合材料的成型产品,这些产品要求具有高流动性、二维各向同性和较小的机械特性变化。

[0012] 美国专利申请号6,251,809描述了一种非连续纤维的复合材料,其中在织物图案的经线和纬线上,纤维经过处理以粘附到聚合物基体上。在经向纤维上进行一系列图案化切割。

[0013] 美国专利申请号8,709,319描述了用于热塑性制品成型的薄片,这些薄片具有不同长度的纤维。这些薄片可以由一卷被切割成不同的形状单向带形成,并使用不同长度的纤维。

[0014] 美国专利申请号9,283,706描述了用薄片成型,这种薄片可由热塑性纤维和非连续纤维形成。薄片一般可以是矩形或其他形状,包括椭圆形,以提供不同长度的纤维,使其具有更多的各向同性,并提供强度。

[0015] 美国专利申请号10,160,146教导了一种使用切碎或切割的长纤维预浸料的原料进行成型的方法,这种预浸料可以包括非连续的长纤维,并以纤维增强的织物、带或棒的形式存在。这种材料被送入单个模具中的第一成型段,其中第一成型材料具有非连续长纤维增强功能。该材料被推入一个端口,在模具内的成型段中成型,以提供更均匀的成型部件,由于纤维取向的增强使得这些部件更加坚固。

[0016] 美国专利申请号8,529,809描述了复合板的形成,复合板的层以不同的方向排列以形成复合板,该专利将其描述为准各向同性板。使用切割工具对复合材料进行切割和分割,使其由板形成准各向同性薄片。激光器、锯、冲床等工具或其他结构可用于制造正方形、椭圆形、圆形、矩形和三角形。

[0017] 美国专利申请号5,151,322描述了由随机排列的单向增强纤维条块形成的复合板,这些条块从带上切割下来,以准各向同性的方式增加强度。

[0018] 美国专利申请号9,302,434包括一个用于送入薄片的可移动圆柱形模具,据描述,这些薄片是由带有碳纤维、玻璃纤维或其他材料的热塑性塑料形成的,其可通过将单向热塑性塑料预浸料切碎成所需的尺寸和形状而制成。虽然显示的是长方形,但专利中提到薄片可以是其他形状。

[0019] 美国专利公布号2013/0189478A1公开了使用高宽比至少为6:1的窄薄片来形成强度一致的复合材料。

[0020] 美国专利申请号9,724,854描述了使用热固性树脂将由单向带形成的切片制成复合材料。切片为长方形结构,但也可以是其他形状,这取决于单向带的切割方式。

[0021] 因此,虽然各种尺寸和形状的薄片或切片已被用于形成各种制品,虽然已尝试提高所形成制品的强度和/或在制品中提供更均匀的特性,但本领域仍然需要显著提高由聚合物复合材料薄片形成的整个制品的整体强度和特性均匀性,提高抗冲击性,特别是在高速下的抗冲击性,并提高由聚合物复合材料薄片形成的制品的失效极限。此外,最好还能在

实现上述目标的同时,能够采用经济、低废料的工艺,将复合材料薄片作为成型原料,并提供易于使用的薄片成型设备。

发明概述

[0023] 本发明包括一种用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片的成型方法、由所得改性聚合物复合材料薄片形成的制品、用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片以及用于形成改性聚合物复合材料薄片的设备。

[0024] 在本发明的一个实施方案中,本发明包括一种提供用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片的方法,该方法包括:(a)提供一种复合材料,该复合材料具有至少一种聚合物基体材料和延伸穿过聚合物基体材料的第一纤维材料的长增强纤维;(b)由该复合材料形成至少一个薄片,其中至少一个薄片包括具有外边缘的外表面,外边缘的一部分被配置为向至少一个薄片的外边缘提供至少一个外边缘特征,从而提供改性聚合物复合材料薄片。

[0025] 该方法可进一步包括通过切割复合材料形成至少一个改性聚合物复合材料薄片。至少一个薄片可由切割装置切割。复合材料的形状可以从带状、板状和薄片状中选择。复合材料中的长增强纤维可以是单向的。复合材料中的长增强纤维可以是连续的长增强纤维。在另一个实施方案中,复合材料可以是带状,长增强纤维可以是单向连续长增强纤维。复合材料中的长增强纤维可以是连续的长增强纤维。

[0026] 在该方法的一个进一步的实施方案中,至少一个外边缘特征可具有至少两个成角的边。该外边缘特征的至少两个成角的边可以以约 5° 至约 120° 、约 20° 至约 90° 、约 20° 至约 60° 或约 30° 至约 60° 的角度相互成角。在这种方法的实施方案中,外边缘特征的至少两个成角的边也可以是相邻的,并在至少两个成角的边之间的接触点处共同形成角的顶点。

[0027] 在该方法中,可以在一个或在另一实施方案中,有多个外边缘特征。在这种具有多个外边缘特征的实施方案中,每个外边缘特征的至少两个成角的边可以是相邻的,并且在至少两个成角的边之间的接触点处共同形成角的顶点,多个外边缘特征中的至少两个外边缘特征也可以是相邻的,从而使具有至少一个外边缘特征的外边缘部分包括之字形图案。在该方法的另一个实施方案中,至少一个改性聚合复合材料薄片的外边缘可包括至少三个外边缘部分,其中至少两个外边缘部分可包括之字形图案。

[0028] 在这种实施方案中,至少一个改性聚合物复合材料薄片中的长增强纤维可以是单向的,并沿第一方向延伸穿过至少一个聚合物复合材料薄片,且包含之字形图案的外边缘部分可以沿与第一方向成一定角度的第二方向延伸。第二方向与第一方向之间的夹角可为约 90° 、或约 60° 至约 90° 。

[0029] 在上述方法的实施方案中,至少一个外边缘特征的形状可以选自三角形(如上述之字形图案),也可以是抛物线形、平行四边形、钟形、子弹形、箭头形和/或梯形。当有多个外边缘特征时,每个外边缘特征可以相同或不同。此外,当有两个或更多外边缘特征时,这些边缘特征可共同形成一个图案。在另一个优选的实施方案中,至少一个外边缘部分也可以是平行四边形,例如长方形,以形成图案形式的长方形齿状构造。

[0030] 在本方法中,至少一个改性聚合物复合材料薄片可以具有四个外边缘部分,其中两个是相对的外边缘部分,每个相对的外边缘部分都有在其上形成的图案,使得该图案基本上沿着两个相对的外边缘部分延伸,并且使得在两个相对的边缘之间纵向测量穿过至少

一个改性聚合物复合薄片的距离部分在整个图案中基本保持一致。

[0031] 在上述方法中,聚合物基体材料可以是热塑性塑料,并且是聚砜、聚硫化物、聚酰亚胺、聚芳酰胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰胺、聚芳撑聚合物(polyarylene polymer)、含氟聚合物及其组合和共聚物中的一种或多种。聚合物基体材料还可以是聚芳撑聚合物,它是聚醚酮、聚醚醚酮、聚醚酮酮及其组合和共聚物中的一种或多种。聚合物基体材料可以是含氟聚合物,它是四氟乙烯和至少一种全氟烷基乙烯基醚的共聚物;四氟乙烯与至少一种其他全氟烯烃的共聚物、聚三氟氯乙烯、乙基三氟氯乙烯、乙基三氟乙烯、聚偏氟乙烯、聚氟乙烯及其组合和共聚物中的至少一种。

[0032] 该方法中使用的至少一种改性聚合物复合材料薄片中的长增强纤维可以是无机纤维、陶瓷纤维、玻璃纤维、石墨纤维、碳纤维、有机纤维(可以是热塑性纤维或热固性纤维)及其组合中的一种或多种。

[0033] 在一个实施方案中,上述方法中至少一个改性聚合物复合材料薄片的外边缘在至少一个薄片的外表面上限定具有整体形状的表面区域,该表面区域的整体形状一般为三角形、至少有五条边的多边形、圆形、平行四边形或梯形,并且可以在该表区域形状的至少一个边缘部分上形成外缘特征。由外边缘限定的表面区域可以是选自正方形、矩形和菱形的平行四边形。

[0034] 在另一个实施方案中,可以有多个改性聚合物复合材料薄片,每个薄片都具有由薄片外边缘在薄片外表面限定的表面积,以及沿每个薄片外边缘在与薄片表面区域正交的平面上测量的厚度,其中多个薄片的平均外表面积为约20平方毫米至约650平方毫米,多个薄片的平均厚度为约0.05mm至约0.25mm。在该方法的另一个实施方案中,多个改性聚合物复合材料薄片的平均外表面积为约20平方毫米至约325平方毫米。在另一个实施方案中,多个薄片的平均外表面积为约150平方毫米至约170平方毫米,多个薄片的平均厚度为约0.1至约0.20mm。

[0035] 在上述方法中,使用多个具有外边缘特征的改性聚合复合材料薄片形成制品时,所形成制品的平均拉伸强度可以比使用多个由相同材料形成、具有相同的整体形状和尺寸,但缺少外边缘特征的薄片形成的制品的拉伸强度至少高出约30%、或至少高出约40%至约60%外边缘。

[0036] 该方法中的至少一个边缘特征可具有至少两个成角的边,其中至少一个改性聚合物复合材料薄片上的每个外边缘特征的至少两个成角的边是相邻的,并在至少两个成角的边的接触点处共同形成一个角的顶点,至少一个改性聚合复合材料薄片上还可以有多个外边缘特征,多个外边缘特征中的至少两个成角特征也可以是相邻的,从而至少一个改性聚合复合材料薄片的外边缘的一部分就包括之字形图案。

[0037] 在至少一个改性聚合复合材料薄片上,可以有大约两个到大约十二个,优选大约四个到大约八个之字形图案的外边缘特征。此外,至少一个改性聚合物复合材料薄片可包括至少三个外边缘部分,其中至少两个具有之字形图案。在这样的实施方案中,之字形图案中可以有大约四个到大约八个外边缘特征。

[0038] 在另一个实施方案中,本发明还包括一种制品,其通过热成型或固化(取决于基体聚合物)由上述方法形成的多个改性聚合物复合材料薄片形成。此类制品可以是用于高温和/或高压终端应用或用于飞机、医疗设备、机器人、汽车、半导体或体育终端应用的组件、

装置或部件。该制品还可以是用于飞机的支架、盖板、整流罩或机舱侧壁附件。该制品还可以是安全壳。

[0039] 该制品可通过将多个改性聚合物复合材料薄片与未改性聚合物复合材料薄片一起热成型或固化而形成,未改性聚合物复合材料薄片可与由本文方法形成的至少一种改性聚合物复合材料薄片相同或不同。在这种情况下,未改性聚合物复合材料薄片可以包含与由本文方法形成的至少一种改性聚合物复合材料薄片相同的聚合物基体材料和相同的长增强纤维。

[0040] 在另一个实施方案中,本发明还包括一种提高由复合材料薄片形成的制品的平均拉伸强度、抗高速冲击性和抗疲劳性中的一种或多种的方法,该复合材料薄片具有至少一种聚合物基体材料和延伸穿过聚合物基体材料的长增强纤维,其中复合材料薄片包括具有至少一个外边缘的外表面。该方法可包括提供多个改性聚合物复合材料薄片,其中每个改性聚合物复合材料薄片具有沿薄片外边缘的一部分的外边缘特征,和使用多个改性聚合物复合材料薄片形成制品。

[0041] 本发明的另一个实施方案包括一种用于制备制品的改性聚合物复合材料薄片,它包括:具有外边缘的外表面,其中外边缘在外表面上限定了外表面区域,改性聚合物复合材料薄片沿边缘有一个厚度,其延伸方向与边缘限定的外表面区域大致正交;聚合物基体材料;聚合物基体材料中的长增强纤维;以及薄片外边缘部分上的至少一个外边缘特征。

[0042] 这种改性聚合物复合材料薄片的外边缘特征的形状可以选自三角形、抛物线形、平行四边形、钟形、子弹形、箭头形和梯形。改性聚合复合材料薄片上也可以有一个以上的外边缘特征,每个外边缘特征可以是相同的。也可以有两个或两个以上的外边缘特征共同形成图案。

[0043] 改性聚合物复合材料薄片中的长增强纤维在聚合物基体材料中可以是单向的。改性聚合物复合材料薄片可由具有单向连续长增强纤维的复合材料形成。

[0044] 外边缘特征可以具有至少两个以约 5° 至约 120° 、约 20° 至约 90° 、约 20° 至约 60° 或约 30° 至约 60° 的角度相互朝向成角的边。在这样的实施方案中,外边缘特征的至少两个成角的边可以是相邻的,并在至少两个成角的边之间的接触点处共同形成角的顶点。

[0045] 在另一个实施方案中,可以有多个外边缘特征,每个外边缘特征都有至少两个成角的边。多个外边缘特征中的至少两个外边缘特征也可以是相邻的,并在至少两个成角的边之间的接触点处形成一个角的顶点。多个外边缘特征中的至少两个外边缘特征也可以是相邻的,这样,具有外边缘特征的多个薄片中的每个薄片的外边缘的至少一部分可以包括之字形图案。每个改性聚合复合材料薄片可包括至少三个外边缘部分,其中至少两个具有之字形图案。

[0046] 每个改性聚合复合材料薄片中的长增强纤维可以是单向纤维,并沿第一方向延伸穿过改性薄片,而每个薄片中包含之字形图案的的外边缘的至少一部分可以沿第二方向延伸,第二方向可以与第一方向成一定角度。在这种情况下,第二方向可与第一方向正交,或者第二方向可与第一方向成约 60° 至约 90° 的角度。

[0047] 在本文所述改性聚合物复合材料薄片的另一个实施方案中,聚合物基体材料可以是热塑性塑料,可以是聚砜、聚硫化物、聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰胺、聚芳撑聚合物、含氟聚合物及其组合和共聚物中的一种或多种。聚合物基体材料也可以是聚芳撑聚合物,它

是聚醚酮、聚醚醚酮、聚醚酮酮及其组合和共聚物中的一种或多种。复合材料中的长增强纤维可以是无机纤维、陶瓷纤维、玻璃纤维、石墨纤维、碳纤维、有机纤维(包括热塑性纤维和热固性纤维)及其组合中的一种或多种。

[0048] 在本文所述改性聚合物复合材料薄片的另一个实施方案中,改性薄片上可以有多个外边缘特征,每个外边缘特征可以包括至少两个成角的边,至少两个成角的边可以相邻,并在至少两个成角的边之间的接触点处共同形成一个成角的顶点,此外,多个外边缘特征中的至少两个外边缘特征也可以是相邻的,这样,在每个改性聚合复合材料薄片上具有外边缘特征的外边缘的至少一个边缘部分就包括之字形图案。之字形图案中可以有大约两个到大约十二个外边缘特征,优选有大约四个到大约八个外边缘特征。改性聚合物复合材料薄片可包括至少三个外边缘部分,其中至少两个具有之字形图案。在这样的实施方案中,之字形图案中可以有大约四到八个外边缘特征。

[0049] 在本发明的另一个实施方案中,提供了一种形成用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片的设备,该设备包括:用于可控地进料部分复合材料的进料器,该部分复合材料的配置和尺寸用于形成薄片,该复合材料包括至少一种聚合基体材料和在复合材料中延伸穿过聚合基体材料的长增强纤维;以及可移动和可控制的切割装置,该切割装置作为切割台运行,将由进料器送入的部分复合材料切割成薄片,并包括一个或多个可拆卸切割模板,其配置用于在从切割装置切割出的薄片的边缘部分上提供至少一个外边缘特征。在一个实施方案中,该设备还包括控制器,用于可控地操作进料器和/或切割装置。不同的切割模板可用于为切割薄片的不同边缘部分提供不同的边缘特征。

图纸的几种视图的简要描述

[0051] 结合附图阅读上述概述以及下文对本发明优选实施例的详细描述,可以更好地理解本发明。为了说明本发明,附图中显示了目前优选的实施例。然而,应该理解的是,本发明并不局限于图中所示的精确布置和工具。在附图中:

[0052] 图1是一种现有技术类型的复合材料薄片的俯视平面代表图,该薄片可用于本文方法的实施例中,并用于制造本文实施例1、2和3中的对照样品;

[0053] 图1A是图1中复合材料薄片的侧视图;

[0054] 图2是本方法的一个实施例中可使用的另一种薄片的透视代表图;

[0055] 图3是具有根据本发明实施方案的外边缘特征的改性薄片的俯视平面代表图,该薄片根据本发明方法的实施方案制造,该薄片用于制造本发明实施例1中的本发明样品A、B和C;

[0056] 图3A是本文实施例2中使用的改性薄片样品30-4的实施方案的俯视平面图;

[0057] 图3B是本文实施例2中使用的改性薄片样品60-4的实施方案的俯视平面图;

[0058] 图3C是本文实施例2中使用的改性薄片样品90-4的实施方案的俯视平面图;

[0059] 图4是图3中的改性薄片的透视代表图;

[0060] 图5A是实施例2中使用的改性薄片样品30-8的实施方案的平面图;

[0061] 图5B是实施例2中使用的改性薄片样品60-8的实施方案的平面图;

[0062] 图5C是实施例2中使用的改性薄片样品90-8的实施方案的平面图;

[0063] 图6A是实施例2中使用的改性薄片样品30-12的实施方案的平面图;

- [0064] 图6B是实施例2中使用的改性薄片样品60-12的实施方案的平面图；
- [0065] 图6C是实施例2中使用的改性薄片样品90-12的实施方案的平面图；
- [0066] 图6D是实施例2中使用的改性薄片样品5-12的实施方案的平面图；
- [0067] 图6E是实施例2中使用的改性薄片样品15-12的实施方案的平面图；
- [0068] 图7A是实施例2中使用的改性薄片样品6X 2的实施方案的平面图；
- [0069] 图7B是实施例2中使用的改性薄片样品6X 1的实施方案的平面图；
- [0070] 图8A是实施例2中作为对照样品D使用的改性薄片实施方案的平面图；
- [0071] 图8B是实施例2中作为对照样品E使用的改性薄片的实施方案的平面图；
- [0072] 图9是用实施例2的本发明样品和对照样品的改性薄片形成的制品的平均拉伸强度 (MPa) 的图示；
- [0073] 图10是由实施例2的本发明样品和对照样品中的改性薄片形成的制品的平均拉伸强度 (MPa) 与任何存在的外边缘特征的深度 (mm) 的函数关系图,其中深度表示被切割成原始复合材料薄片的长度,用于外边缘特征；
- [0074] 图11是用未改性的市售聚合物薄片和实施例1中相同市售薄片的改性版本形成的制品的拉伸强度 (MPa) 示意图
- [0075] 图12是在实施例3的高速冲击试验中用于安装复合板试验样品的夹具的照片；
- [0076] 图13是冰雹石块对在实施例3中测试的复合板的冲击速度的示意图,针对的是图3和图4中具有改性薄片设计的各种测试样品,以及以实施例2的对照样品D的方式形成的对照样品；
- [0077] 图14是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,该薄片的边缘部分具有三角形外边缘特征图案,其中相邻的外边缘特征通过单个接触点连接,边缘特征具有在顶点相交的成角的边；
- [0078] 图15是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,该薄片的边缘部分具有抛物线形外边缘特征图案,其中相邻的外边缘特征通过单个接触点连接,边缘特征具有弯曲的边并在末端曲线处相接；
- [0079] 图16是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,该薄片的边缘部分具有平行四边形外边缘特征图案,其中边缘特征由基本线性的边缘部分连接,边是相互平行的成角的边,但在末端由连接的线性端连接；
- [0080] 图17是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,该薄片的边缘部分具有弧形图案,其中相邻的外边缘特征由弧形边缘部分连接,边缘特征具有部分线性的边,这些边相互平行,但在边缘特征的末端相互弯曲以形成半圆形末端,使外边缘特征看起来像压舌板或钟形的末端,其中钟形边的部分是线性和平行的；
- [0081] 图18是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,其中在薄片的边缘部分提供三角形形式的边缘特征,其在具有顶点的薄片的一个边缘部分上向外延伸,并沿边缘部分的长度延伸,以及在薄片的相对边缘部分上向外延伸两个半三角形 (以限定向内延伸的三角形),从而使纤维长度沿薄片保持基本一致；
- [0082] 图19是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,其中薄片的相对边缘部分具有由两种不同类型的外边缘特征形成的图案,一种是长方形外边缘特征 (具有平行的边并终止于线性末端),另一种是子弹形外边缘特征 (具有弯曲的边并汇合于急剧弯曲的末

端),这些特征以交替的方式沿薄片的第一条外边缘延伸,同时也以相反的图案延伸到薄片的另一条相对的外边缘,这样纤维长度沿薄片基本保持不变,每边的交替外边缘特征由基本线性的边缘部分连接;

[0083] 图20是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,其中在薄片的边缘部分提供单一全弯曲特征形式的边缘特征,其在薄片的一个边缘部分上以凸的方式向外延伸,并沿边缘部分的长度延伸,以及在薄片的相对边缘部分上向外延伸凹弯曲特征(以限定向内延伸的弯曲特征),从而使纤维长度沿薄片保持基本一致;

[0084] 图21是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,其中薄片具有在薄片的相对边缘上形成的图案,其中外边缘特征是“箭头”形状的外边缘特征,箭头形状由底部长方形部分和末端三角形部分形成,末端三角形部分的两边在顶点处相接,每个外边缘特征的长方形部分由基本线性的边缘部分连接。图案延伸穿过所述薄片的第一外边缘部分,反向图案延伸穿过所述薄片的相对外边缘部分;

[0085] 图22是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,其中薄片具有由长方形外边缘特征形成的图案,长方形外边缘特征具有平行的线性边,在末端由线性末端部分连接,其中外边缘特征由基本线性的边缘部分连接;

[0086] 图23是根据本发明实施方案的改性薄片结构的平面图,其中薄片的相对边缘部分具有图案,其中外边缘特征以“燕尾”方式成形,看起来像具有成角边的等腰梯形,并且具有连接成角边的末端,该末端是线性末端,其中外部特征由基本线性的边缘部分连接;

[0087] 图24是用于根据本方法形成改性薄片的设备的照片;

[0088] 图24A是图24设备中使用的两个可拆卸切割模板的照片;

[0089] 图25是实施例4中试样的疲劳测试数据中峰值压力(Mpa)与循环次数的关系图,该试样由对照样品X(根据实施例1由未改性薄片形成的复合材料)和发明样品Y(根据实施例1由改性薄片形成的复合材料)制成的;和

[0090] 图26是高速冰雹石冲击对实施例5中测试的复合板所造成的损坏类型的示意图,该复合板由实施例4中的对照样品X和发明样品Y和复合发明样品Z(由改性薄片形成,其在长度方向上提供较长的纤维,在改性薄片的宽度方向上进行与发明样品Y相同的边缘改性)的复合材料制成。

本发明的详细说明

[0092] 在本文的描述中,除非另有说明,“内”和“外”、“向上”和“向下”、“向内”和“向外”、“外部”和“内部”、“右”和“左”、“上”和“下”、“远端”和“近端”等词语以及类似含义的词语均指附图中的方向,以帮助阐明本发明的特征。

[0093] 本发明包括一种提供用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片的方法,改性聚合物复合材料薄片及其形成的具有更高的拉伸强度、更高的冲击强度(尤其是在高速冲击情况下)和更高的失效极限的制品,还包括一种制备改性聚合物复合材料薄片的设备。

[0094] 本文的改性聚合物复合材料薄片可以由各种不同类型的薄片切割、冲压、模压或以其他方式由复合材料形成。在本发明的实施方案中,复合材料由聚合物基体材料形成,该基体材料包括至少一种由第一纤维材料形成的长纤维。这种薄片也可以从市场上购买,或独立形成,然后提供给本方法使用。

[0095] 如果用复合材料形成薄片,复合材料优选是预成型的复合材料,复合材料中延伸有长增强纤维,可以是单根纤维、丝束、编织物或束。复合材料也可以由聚合物基体材料中的编织增强纤维形成,或使用可穿过聚合物基体材料的单向长增强纤维。在优选的实施方案中,纤维是单向的,优选长增强纤维。长增强纤维可以是连续的,也可以是非连续的。同样,这些用于制造可为本文方法提供薄片的复合材料的相同类型的增强纤维也优选与本文方法提供的薄片中的纤维相同。此外,用于形成复合材料的相同聚合物基体材料优选与本文方法提供的薄片中的聚合物基体材料相同。

[0096] 本发明改性高分子复合材料薄片中的长增强纤维和这种增强材料中相同的第一纤维材料可以是单一类型的纤维材料或混合材料,即可以组合使用一种以上的纤维材料作为增强长纤维材料,用于浸渍、添加到聚合物基体材料中或以其他方式接受聚合物基体材料的应用,使这种长增强纤维基本润湿以形成复合材料,最终也再由这种复合材料形成本发明提供的改性高分子复合材料薄片。

[0097] 合适的长增强纤维材料(“第一纤维材料”)包括,例如,但不限于,各种无机长增强纤维,如陶瓷纤维、玻璃纤维、石墨纤维、碳纤维、石英纤维、氧化铝纤维、碳化硅纤维、玄武岩纤维、硼纤维,及其组合,如玻璃/碳、玻璃/石墨/碳、石墨/碳和陶瓷/玻璃。此外,还可使用热塑性和热固性增强长纤维等有机纤维,包括芳纶纤维、聚苯并恶唑纤维等第一纤维材料,它们可单独使用,也可与玻璃纤维、陶瓷纤维或碳纤维混合使用。

[0098] 在纤维混合物或组合纤维增强材料中,可在浸渍之前以切丝、细丝或须的形式向纤维基体提供其他纤维。此外,此类混合物还可包括在长纤维方向延伸的束、丝束和编织物,和/或在多个方向延伸的各种编织或混合纤维材料,以提供强度和/或其他所需的性能。

[0099] 优选的长纤维材料包括陶瓷、玻璃、石墨、碳和/或塑料(热塑性和热固性)纤维(如芳纶纤维(有Kevlar®、Twaron®和Technora®)或聚苯并恶唑纤维(可有Zylon®))。

[0100] 长增强纤维可以是单向或双向的连续纤维或非连续纤维(优选双向纤维在平行方向有大约50%的纤维,在垂直方向由大约50%的纤维)、拉伸断裂纤维、编织纤维和编织连续纤维。优选的增强纤维是单向纤维。此外,增强纤维也可以是编织纤维或混合纤维。根据所选纤维的不同,长增强纤维的优选直径通常包括约0.1微米、约5至约15微米和约7至约10微米。硼纤维的范围为100微米至约140微米,玻璃纤维的范围为约5微米至约25微米。玄武岩纤维的范围为约10微米到约20微米。

[0101] 优选地,相对于复合材料的总体积,长纤维增强体占用于形成本文提供的改性聚合物复合材料薄片的复合材料体积的约30%或更多,优选40%或更多,更优选50%或更多,例如,可占约60%至约90%。优选的是长纤维占复合材料体积的约40%至约80%,最优选的是占复合材料体积的约50%至约70%,需要理解不同直径的纤维可使优选体积更高或更低。

[0102] 本发明中用于提供改性聚合物材料薄片的复合材料中使用的长增强纤维可以通过本领域已知或有待开发的任何合适技术加入到复合材料中,例如含长纤维的预浸料或其他浸渍复合材料结构,前提是所产生的结构适合用于形成本发明中用于形成制品的聚合物复合材料。在本发明的范围内,本发明中的改性聚合物薄片材料也可以通过直接成型形成,例如将含长增强纤维的复合材料模压或冲压成改性薄片形式。

[0103] 在一个优选实施方案中,可以使用连续的长增强纤维结构,如浸渍连续纤维带、

板、片、织物或类似物。如本文所述,此类结构中的连续纤维一般长度至少约0.20英寸,在本文的实施方案中至少约0.5英寸(1.27cm)。长度至少为0.5英寸的纤维既易于加工,又具有良好的性能。众所周知,较长的纤维通常具有更好的机械性能,但加工并不总是那么容易。因此,本领域技术人员应当理解,可以选择纤维长度来平衡特定工艺的机械性能和加工条件。这种结构或其他连续织物带、板、片、棒材或类似物可以被切割、切碎、冲压或以其他方式形成各种尺寸的复合材料薄片,但优选保留部分或大部分原始的长增强纤维长度,这样的薄片优选不连续的长纤维薄片。优选用于形成本发明方法中使用的改性聚合物复合材料薄片的此类结构的例子是具有长度与直径比大于约100的增强长纤维的那些。

[0104] 然后用切割装置将这种连续的长增强纤维复合材料结构切割、切碎、冲压、模切或以其他方式形成本文所述的改性聚合物复合材料薄片。在本发明的一个优选实施方案中,提供了图24所示的设备A,用于形成用于形成制品的薄片。在设备A中,进料器D可控地将聚合物复合材料的一部分(如图中聚合物复合材料单向带E所示)送入切割装置G。复合材料进料的部分被配置和调整大小用于形成薄片,因此可以针对特定大小的薄片进行设置。如果要使用二分之一英寸的薄片,则根据本发明进行修改,那么送料器D可以将0.5英寸的部分送入切割装置G。复合材料可以具有聚合物基体材料,以及在复合材料中通过聚合物基体延伸的长增强纤维,复合材料可以是根据本文其他地方描述的任何实施方案。进料器D可由为特定尺寸的薄片设定的电机驱动的进料控制器J控制。

[0105] 优选可以往复式移动的切割装置G,以便切割整个复合材料带。根据切割器的设计或方向,可以是上下行程切割,也可以是左右行程切割。如所示,铡刀式刀片GB位于切割装置G的中心位置以切割通过切割装置中心切割区的复合材料带E。可控切割装置可设置为以一定的间隔速度运行,以便在复合材料带通过该装置时将边缘特征切割成复合材料带部分。例如,如所示,当铡刀式刀片(GB)打开,使模板(如下所述)分开时,电机“J”驱动一个辊子,使复合材料带向前移动一段与所需或设定的薄片长度相对应的长度。带运动停止,此时,铡刀式刀片GB向下推动以切断带,然后重复上述过程。因此,G作为凸轮轴工作,与电机J的运动同步。当复合材料带被切割时,例如,以之字形切割,铡刀式刀片(GB)向上抬起并再次打开,用于通过电机J的操作向前移动的下一段带。因此,通过电机J的运动,带以同步的方式向前移动,从而使复合材料带形成薄片,并且在每个所需的薄片长度中,每次切割都可以重复所选择的切割模式。

[0106] 如图24A所示,切割装置G包括一个或多个可拆卸的切割模板Q,这些模板可通过任何合适的紧固件或销钉以可拆卸的方式安装在切割装置内。如图所示,模板Q上有紧固件开口X,用于将模板固定在设备内。模板可制成具有不同切割齿T,以便在使用切割装置G切割复合材料带时,为形成的改性薄片边缘的一个或多个部分提供至少一个外边缘特征。

[0107] 如图所示,切割模板Q具有齿T,例如通过机械加工或其他工具制造,使得所示的齿T可以提供所需的边缘特征。在图24A所示的示例模板Q中,该模板可在薄片的相对边缘提供三角形外边缘特征,同时从单向带切割,从而可在同一切割设备G中同时切割改性聚合复合材料薄片和提供特征。然而,本领域技术人员应理解,基于本公开内容,可制作各种模板Q以在切割设备中切割不同外边缘特征的薄片,并以模块化方式交换模板以进行不同切割。此外,应该理解的是,由具有长纤维(可以是连续长纤维)的复合材料形成增强长纤维薄片的任何切割方法都在本发明的范围之内,包括上述切割工艺、模切、手工形成或直接形成(如

通过预制薄片的热成型)。

[0108] 设备还可以包括一个内置或可独立操作的控制器,用于控制进料器和/或切割装置的控制和操作。对上述切割装置G的控制,例如数字控制,可用于控制推进复合材料带的电机J的运行,以及控制驱动切割装置G中凸轮轴的电机,从而也控制铡刀式刀片(GB)的位置。虽然图中所示的设备A用于形成本实施例中的改性聚合复合材料薄片,但它也可以在更大的工业规模上使用各种具有可互换或固定切割模板的进料器和切割装置来形成。

[0109] 本文中的改性聚合物复合材料薄片可以是各种尺寸和形状的,详见本文讨论。此外,用于制造市售薄片的复合材料也可用于本文提供改性聚合物复合材料薄片的方法中。在用作原料的复合材料中,长纤维可以在所得的改性聚合物复合材料薄片保持连续的长纤维,或者所用的改性聚合物复合材料薄片可以由非连续的长纤维形成或切割而成。也可将市售薄片与本文形成的改性聚合物复合材料薄片结合起来制备制品,其中不同类型的薄片在成型或以其他方式热成型成制品之前混合在一起。

[0110] 参照图1和图1A,本文提及的标准聚合物复合材料薄片(即未改性的市售复合薄片),当与根据本方法的改性聚合物复合材料薄片一起使用时,可参照聚合物复合材料薄片10的示例进行概括表示,该薄片具有沿穿过材料薄片的纵向轴x-x'延伸的长度1和沿横向轴y-y'延伸的宽度w,如果是圆形,则如图2中所示的另一种市售型未改性薄片10'。如果薄片为正方形,则长度1和宽度w必须相同。请注意,图1、图1A和图2中的薄片中的类似特征使用了相应的参考编号。

[0111] 宽度和长度(或直径)中的每一个测量值都是在周长上各自相对的外缘部分12、13(限定宽度)和15、17(限定长度)之间测量的,在此也称为外边缘14。外边缘14在每个薄片的外表面16上限定一个表面区域A。与大多数制造的薄片一样,表面区域A最好是平面的,当然,如果需要,也可以是不规则或非平面的。在现有技术的实施例,表面区域A在薄片的一个面上有第一表面区域18,在薄片的相对面上有第二相对表面区域19,每个表面区域的大小通常相同或相似。由于薄片通常很薄,几乎是二维的,因此表面区域18和19通常是相同的。外表面16围绕薄片的整体延伸,包括第一和第二相对表面18、19以及薄片的边缘部分12、13、15和17,这些边缘部分限定了相对表面18、19的形状,并为薄片提供了厚度t,厚度t沿着两个相对表面18、19之间的z-z'轴线延伸。

[0112] 在图2的薄片,直径d由一条直线测量,该直线从圆周边缘14'上的第一点P1开始延伸,穿过区域A'的中心点CP',并穿过区域A'延伸至距离边缘14'上的起点最远点P2。

[0113] 应该理解的是,薄片上的大致平面区域A、A'可以是平面、基本平面或仅部分平面,可以包括或不包括表面粗糙度或从薄片的相对表面区域18、19延伸出来的特征。长度和宽度可以相同或不同。此外,形状可能有些不规则。

[0114] 薄片通常还包括一个很小但可测量的厚度t、t',其通过与长度1和宽度w(或直径d)正交,沿z-z'轴穿过薄片,从一个相对的第一表面区域18、18'到另一个相对的第二表面区域19、19'测量。优选地,厚度t小于长度1和宽度w(t'小于直径d)。优选的商业形成的现有技术薄片,可与本文形成的改性薄片一起使用或具有类似尺寸和形状的,在相对的第一和第二表面区域18、19(18'、19')上的最短尺寸(1、w或d)大于相应薄片的相应厚度t、t'。

[0115] 虽然这些参数是以现有技术中的方形和圆形薄片为例进行说明的,但应该理解的是,其他形状和几何尺寸也可适用于通常已知的,此外,市售薄片的厚度,包括可与本文形

成的改性薄片一起使用的薄片的厚度,也可以改变。

[0116] 薄片厚度对拉伸强度很重要。厚度约为140微米是最有益的市售薄片产品的标准厚度。可以获得厚度约44微米的市售的薄复合材料带,但这种带比标准复合材料带要贵得多。为了降低生产成本,生产出的复合材料带的厚度约为250微米,甚至厚达2000微米。

[0117] 在用此类复合材料带和类似复合材料制造薄片时,最窄(1或w)的市售薄片通常约为1/16英寸宽(约1588微米)。长度和/或宽度大至1英寸的薄片也有供应,但并不常见。这种薄片可用于形成较大的复合材料部件。最小的长度或宽度约为0.20至0.25英寸,而其他市售薄片的长度或宽度可能约为1英寸或2英寸。

[0118] 在优选的实施方案中,通过本发明方法提供的具有外边缘特征的改性聚合物复合材料薄片的长度和/或宽度约为1英寸,或长度和宽度约为0.5英寸,最优选的是整体呈方形结构(长宽比为1:1)(其中这些尺寸是从纵向或横向穿过薄片的一个边缘部分到边缘部分测量的)。然而,本发明也考虑使用1:16的其他长宽比和其他形状。

[0119] 通过本发明方法提供的用于形成制品的改性聚合物复合材料薄片可以被切割或以其他方式形成各种形状,包括一般具有三角形、圆形、多边形(优选有五个或更多边)、梯形或平行四边形(如正方形、长方形或斜方形)的形状。所述“一般”具有某种形状或具有“整体形状”,是指当从顶部或底部平面视图观察薄片时,其外缘或外围限定了相对面118、119上的一个区域,该区域具有整体形状构造,可从改性聚合复合材料薄片外缘114的外侧部分或圆形薄片的圆周外缘114'的外侧部分观察。该形状可以是也可以不是,例如,完全三角形、圆形或平行四边形等,但该形状是指最接近以二维方式观察到的所指出区域的整体形状的几何名称,而不特别参考如下文进一步描述的在外边缘的一个或多个部分中形成的外边缘特征。在大多数优选的实施方案中,改性聚合物复合材料薄片的整体形状一般为正方形、长方形或斜方形。

[0120] 参照标准市售薄片10和图1,通过测量多个薄片上的相对区域18、19并对多个取平均值而确定的平均表面积可为约 20mm^2 至约 650mm^2 ,平均厚度优选为约0.05mm至约0.25mm。类似大小的薄片也可以由复合材料切割出来,以此形成本文的改性聚合物复合材料薄片。在一个更优选的实施方案中,平均表面积可为约 20mm^2 至约 325mm^2 ,或约 150mm^2 至约 170mm^2 ,平均厚度为约0.1mm至约0.20mm。本领域技术人员会根据本公开内容认识到,这些尺寸可根据不同的目的和效果而变化。此外,这些范围还包括本文参数范围内的其他范围。

[0121] 市售的现有技术薄片所来自的聚合物复合材料,以及由本文方法提供的改性聚合物复合材料薄片,由纤维面积重量含量(例如 $150\text{g}/\text{m}^2$)和树脂含量(例如32%按聚合物如PEEK的重量计)定义。已知纤维的密度(如碳纤维的密度为 $1.78\text{g}/\text{cm}^3$)和聚合物的密度(如PEEK的密度为 $1.30\text{g}/\text{cm}^3$),这些信息表明在这种情况下带厚度为139微米,计算公式为: $150*(1/1.78+(0.32/0.68)/1.3)=139$ 。其他市售复合带供应商提供的带也标有厚度和树脂含量。市售薄片以及本文提供的改性薄片的薄片厚度,将与切割成薄片的带或其他复合材料厚度相同。

[0122] 可用于形成本文所述改性聚合物复合材料薄片的现有市售复合材料可以热固性和热塑性形式从索尔维公司(Solvay)获得,包括酚醛聚合物、环氧聚合物、带有增强长纤维的聚醚酰亚胺,如APC™PEKK或带有单向碳纤维的PEEK增强带、KetaSpire®玻璃和碳纤维增强薄片材料;从塞拉尼斯公司(Celanes)获得,例如Celstran®CFR复合材料带,含有单向纤

维和包括各种热塑性塑料,包括聚烯烃、聚酰胺和聚苯硫醚;从赢创公司获得,例如 Vestape®UD带等;从格瑞特维公司(Greene, Tweed & Co.)获得的 Xycomp® DLF®,包括由碳纤维和热塑性塑料(包括PEEK)形成的薄片;从SABIC公司获得的热塑性塑料复合材料带,如含有玻璃纤维和碳纤维的聚烯烃和聚酰胺;以及从东丽工业公司活动获得的 Cetex® TC1200和相关产品,可作为单向碳纤维增强聚合物(如环氧聚合物和PEEK)提供。这些例子并不具有限制性。在优选的实施方案中,碳纤维/PEEK复合材料可以以单向带的形式使用,从中可以切割出不连续的长纤维改性薄片。此类带可从Solvay、Toray Industries、Inc. Suprem S.A.、Barrday, Inc.、Toho Tenax(帝人株式会社)和Victrex plc等公司获得。

[0123] 虽然可以使用市售的复合材料,但也可以在根据本发明方法在切割改性聚合复合材料薄片的同时和/或同一位置就地形成预浸料,如带有纤维增强层的带。它们可以通过切割、冲压、模切或其他方式将复合材料塑造成具有聚合物基体材料和长增强纤维(如上述纤维)的改性聚合物复合材料薄片而形成。

[0124] 基体聚合物可以是热塑性或热固性材料。作为聚合物基体材料用于本发明的复合材料和薄片时,优选的热塑性塑料包括可装载或填充增强材料,并可在热作用下流动的聚合塑料和树脂。示例性热塑性塑料包括但不限于:聚烯烃(如聚乙烯、聚丁烯、聚丙烯、高密度聚乙烯)、聚(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯)(ABS)、聚苯乙烯、聚丁二烯、聚丙烯腈(PAN)、聚(丁二烯-苯乙烯)(PBS)、聚(苯乙烯-丙烯腈)(SAN)、聚丁烯、纤维素树脂(如乙基纤维素、醋酸纤维素、丁酸醋酸纤维素、丙酸醋酸纤维素和硝酸纤维素)、聚乙烯醇(EVA)、聚乙烯醋酸乙酯、含氟聚合物(如可熔融加工的氟塑料,包括四氟乙烯(TFE)和至少一种全氟烷基乙烯基醚(PAVE)的共聚物(PFA)、TFE与至少一种其他全氟烯烃(如六氟丙烯)的共聚物(FEP)、聚(三氟氯乙烯)(PTFE)、聚乙基三氟氯乙烯(ECTFE)、聚乙基三氟乙烯(ETFE)、聚氟乙烯(PVF)和聚偏氟乙烯(PVDF))、离聚体、液晶聚合物(LCP)、聚缩醛、聚丙烯酸酯、聚酰胺(如尼龙12、尼龙6)、聚邻苯二甲酰亚胺、聚酰亚胺、聚醚酰胺、聚酰胺酰亚胺、多元酚、聚碳酸酯、聚酯、热塑性聚氨酯、聚氯乙烯(PVC)、聚偏二氯乙烯、聚乙烯、聚苯撑氧(PPO)、聚苯醚、聚苯酯、聚苯醚酯、聚苯硫醚、聚砒、聚甲基戊烯、聚酮、聚芳撑醚酮、聚芳醚和聚芳醚酮(如聚醚酮(PEK)、聚醚酮酮(PEKK)和聚醚醚酮(PEEK))、聚乙烯氯产品、聚芳酰胺和热塑性双柠康酰亚胺(biscitraconicimide)。

[0125] 基体材料还可包括热固性材料,包括某些弹性体(如三元乙丙橡胶(EPDM)、乙丙橡胶(EPR)和热固性聚氨酯弹性体)、环氧树脂、热固性双柠康酰亚胺(BCI)、双马来酰亚胺(BMI)、双马来酰亚胺/三嗪/环氧树脂、氰酸酯、氰酸酯树脂、呋喃树脂、酚醛树脂、脲醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、酞菁树脂、聚苯并噁唑树脂、乙炔端聚酰亚胺树脂、硅酮、聚三嗪、热固性聚乙烯酯、热固性聚氨酯、聚四氟乙烯、三聚氰胺、聚醇酸树脂和二甲苯树脂。这些聚合物可以单独使用,也可以以各种共聚物或其组合的形式使用,其中组合可以包括一种或多种此类聚合物和/或其一种或多种共聚物的混合物、合金、共混物和交联组合。

[0126] 也可以使用这些热塑性塑料中的每一种或任何一种的共聚物(由两种或两种以上的单体以随机或嵌段形式形成的聚合物,或接枝共聚物,其中任何一种都可以具有多个单体组分或反应物),无论是已知的还是有待开发的。

[0127] 此外,如果此类热塑性塑料仍可用于形成改性薄片或复合材料(或复合材料组合),通过将复合材料切割成改性薄片来形成改性薄片,则可进一步衍生和/或包括官能团

(无论是末端和/或在链上)、支链和/或直链骨架结构、沿链或侧基的其他不饱和位置等。可提供的官能团包括芳基、酮基、乙炔基、酸基、羟基、含硫基团、硫酸盐、亚硫酸盐、巯基、膦基、羧基、氰基、亚磷酸盐、卤素、氧/醚或酯(也可结合在链或侧链中)、羧酸、硝酸、铵、酰胺、脒、苯甲脒、咪唑等。

[0128] 虽然这些聚合物是优选的,但不应将其视为详尽无遗的清单,本领域的技术人员可以根据本公开内容理解,本发明中还可以使用其他热塑性塑料,而不会偏离本发明的范围。

[0129] 上述材料中的优选材料包括工程塑料,如聚砜、聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚醚酰亚胺、聚酰胺、聚苯撑氧和硫化物,以及聚芳撑材料,如PEEK、PEK、PEKEKK和PEKK。上述含氟聚合物也可作为优选材料使用,只要它们可以与增强长纤维形成复合材料制成本文的改性薄片,并且在加工温度下具有流动性,以使用改性聚合物复合材料薄片形成制品。

[0130] 改性聚合物复合材料薄片可由上述各种聚合物和长增强纤维的复合材料形成,但也可提供一种以上的复合材料,这样,在形成制品时,可将混合改性薄片或由不同复合材料(或由混合热塑性塑料和/或增强纤维材料)形成的改性薄片一起使用和/或与现有的市售薄片混合使用。

[0131] 此处用于提供改性聚合物复合材料薄片的复合材料可以仅由增强长纤维和聚合物基体材料构成,或提供一种或多种添加剂,包括本领域已知或有待开发的其他填料和/或增强剂。使用的各种添加剂可包括其他类型的增强纤维或填料和添加剂,如颜料、染料、玻璃珠或玻璃球、碳纳米管、陶瓷、网状物、蜂窝、云母、粘土、有机着色剂、增塑剂、触变剂、阻燃剂、紫外线吸收剂、填充剂、稳定剂、二氧化硅、氧化铝、滑石粉、短玻璃纤维、硫酸钡、PTFE短纤维、TFE共聚物短纤维、其他不同长度的带状或片状纤维的增强纤维、硅灰石、钛酸晶须、相容剂、流变剂或触变剂、抗静电剂(也可通过在热塑性基体中加入官能团和/或接枝共聚物来加入)、切碎或短碳纤维以及其他类似填料、摩擦添加剂和增强剂。根据复合材料的总重量(即基体纤维和长增强纤维的总重量),此类添加剂(除复合材料中热塑性基体材料和增强材料外)的含量优选不超过复合材料的约10%,但也可根据预期的最终应用使用更多或更少的添加剂。优选不使用或限制使用此类添加剂。

[0132] 在本发明的方法中,如果改性聚合物复合材料薄片是由一种或多种复合材料形成的,一旦提供了复合材料,就可以通过切割、冲压或切碎复合材料来形成改性薄片,以形成并提供一种或多种改性薄片。这一过程可以在获得用于本方法的薄片之前完成,例如,如果复合材料在切割或以其他方式形成本文的改性薄片之前从制造商处商业购买的,或使用形成复合材料的程序,然后在形成改性薄片形状的同时和/或在同一位置切割复合材料。也就是说,可以制备一种使用复合材料形成改性聚合物复合材料薄片的切割、切碎或其他成型工艺。此外,改性聚合物复合材料薄片可以从聚合物复合材料原料(如单向带)上切割下来,并使用切割装置(如本文所述的图24所示)进行改性。切割可以在单独的操作中完成(可以准备一定量的改性薄片并按选定的数量称重,以填充例如模具腔),或者,例如,在填充模具时,薄片可以被切割和改性,以便直接落入模具中。

[0133] 通过切割或以其他方式在薄片的外缘部分上形成至少一个外边缘特征,可提供本方法制备的改性聚合物复合材料薄片。根据所需的改性聚合复合材料薄片的构造,它可以具有不同的外边缘,这些外边缘可以相互正交,也可以不相互正交。外边缘特征可形成在整

个外边缘、一个或多个边缘部分(或部分或全部沿薄片的部分或全部边缘部分延伸)上。

[0134] 在本发明的实施方案中,改性聚合物复合材料薄片可形成具有至少两个边的外边缘特征,这两个边可以是线性或成角的边,或者在薄片外表面的边缘上具有弯曲的边缘特征,优选在薄片外边缘的至少一部分上。

[0135] 外边缘特征可以用任何合适的切割装置制作,包括剪刀、剪子、刀、自动切碎装置、模切机、锯、切割刀片、钻头、磨床、加砂水刀和激光束切割装置以及本文所述的图24所示装置。也可以使用复合材料形成本文的改性聚合物复合材料薄片,该薄片具有本文所述的长增强纤维和基体材料。如果需要,还可以在边缘特征形成后对表面进行粗加工,以改变边缘特性。

[0136] 在本文的某些实施方案中,可以优选形成外边缘特征的成角的边,以便在成角的末端特征的一端相互成角。图3和图4展示了本文的一种改性聚合物复合材料薄片100,该薄片具有限定表面区域A的外边缘114。相对的外表面区域118和119出现在改性聚合复合材料薄片100的相对两侧。外边缘特征122形成在改性薄片的外表面116上,位于改性薄片的第一边缘部分124上,在平面图中形成三角形的延伸形状。类似的外边缘特征122形成在第二边缘部分126上。如图所示,第二边缘部分是一个相对的边缘部分。如图所示,适用于每个外边缘特征的成角边128a、128b限定了每个外边缘特征的形状(此处显示为全部相同且具有向外延伸的三角形形状)。

[0137] 图3和图4所示的成角边128a、128b形成第一外边缘特征122a。成角边128a、128b相对于彼此成角度,并形成具有顶点的角 α 。如本实施方案所示,成角边128a、128b相连,并在接触点128c相交,在三角形外边缘特征122a的最外端形成角 α 的顶点V1。由于每个特征都是相同的,而且每个外边缘特征也都是相邻的,因此角度 α 也代表了外边缘特征彼此延伸的角度。相邻的特征在单个接触点 P_3 (即外边缘特征向内延伸端的顶点)处相互连接。如图3和图4所示,角度 α 最优选是锐角。在本文的实施方案中,角度 α 的范围可从约 5° 到约 120° 。角度 α 也可以是约 20° 至约 90° ,更优选约 20° 至约 60° 。在另一个优选实施方案中,角度 α 可以是约 30° 至约 60° 。

[0138] 改性聚合复合材料薄片可以在沿所述改性聚合物复合片的外边缘切割成的边缘部分的外表面上形成只有一个或多个这样的外边缘特征(即两个或多个)。薄片被切割或形成,以便在改性聚合物复合材料薄片的至少一部分外边缘上具有外边缘特征,并且被切割成在x-y平面上以及在薄片的z方向的厚度上延伸,使得特征沿改性薄片100的厚度t跨过相对的外表面区域118、119。外边缘特征可以只延伸穿过薄片的部分厚度,也可以在厚度方向上以楔形方式成角,以便在两个平面上渐进,但是,如图所示,外边缘特征横跨薄片厚度的形式更为可取,也更易于制造。

[0139] 可以形成并非如图3和图4所示的平面图中的三角形的外边缘特征,它们没有相邻的边,而且在图案中相邻时也不会以单个接触点相互接触。图23提供了改性聚合复合材料薄片100'的这种替代实施方案的一个示例,两个外边缘特征122'具有成角的边128a'、128b',形成梯形的外边缘特征122'进入改性薄片100'的边缘114'上的边缘部分124',在其厚度上延伸。每个边缘特征的成角的边彼此成角,但不在顶点相交,因此在其外末端不是三角形。如图4所示,成角的边彼此成角,形成一个相对于彼此的角度 α' ,该角度在成角边末端的外侧有投影顶点V2。边128a'、128b'并不相邻。此外,外边缘特征122'为图案。图案特征由

线性边缘部分130'连接,并配置成类似“燕尾”设计的图案。还需要注意的是,在一个优选的实施方案中,一个边缘部分上的图案是另一个边缘部分上的反向图案,这样,第一边缘部分上向外延伸的梯形与相对边缘部分上向内延伸的梯形间隙纵向对齐(优选在纤维方向上)。这种布置的好处是,从外边缘特征图案的一端到另一端,纤维长度保持一致。

[0140] 关于图3和图4(以及图3A-3C中的实施例所示的薄片),在所示的改性薄片上总共四个外边缘部分124、126、130、132中,多个外边缘特征122设置在两个相对的外边缘部分124、126上,该薄片是一种改性聚合物复合薄片,具有相对的平行四边形外表面区域,在这种情况下,改性聚合物复合薄片被形成为具有外边缘特征的方形薄片。外表面外缘上的每个外缘特征122都是在边缘部分124、126中的任何一个上制造的,并且形彼此相邻,并在单个接触点 P_3 中彼此接触(与图7A、7B、16、19和22-23中的特征不同,其通过图23中显示为130'的线性边缘部分连接)。

[0141] 在图3和图4中,成角边部分彼此相邻,为边缘部分124、126提供了“之”字形图案Z。图3和图4(以及图3A)中显示了成角边部分124、126的四个外边缘特征(改性薄片100),其基于图3和图4的构造在本文实施例1、2和3中使用,每个在相邻外边缘部分之间的夹角 α 约为 30° 。实施例2(图3B和3C)中也显示和使用了类似的设计,分别显示了类似的改性薄片200和300,每个薄片都具有与改性薄片100相似的构造和四个外边缘特征,但图3B中的角 α 为 60° ,图3C中的角 α 为 90° 。

[0142] 图5A、5B和5C分别显示了各自的改性聚合物复合材料薄片400、500和600,它们与图3-3C和图4中所示的相似,是用于实施例2中样品的薄片,但图5A-5C中的薄片有八个外边缘特征,各自的角度 α 分别为 30° 、 60° 和 90° 。在改性薄片400、500和600所示的四个边缘部分的两个相对边缘部分,每个都有外边缘特征。

[0143] 图6A、6B、6C、6D和6E还分别显示了进一步改性的聚合物复合薄片700、800、900、1000和1100,它们也与图3-3C和图4中的薄片类似,但具有十二个外边缘特征,各自的角度 α 分别为 30° 、 60° 、 90° 、 5° 和 15° 。这些薄片也用于本文的实施例2中。

[0144] 在某些情况下,外边缘特征会形成一个图案,但其配置方式使它们不会在一个共同的接触点相遇,就像上面提到的成角的外边缘特征通常所做的那样。当外边缘特征为非全角度形状、平行四边形或其他形状(其中角度 α 可以投影方式测量或为 0°)时,可以形成图案,其中相邻的外边缘特征由基本线性的边缘部分连接。例如,在图7A和7B的阶梯形外边缘特征构造(改性薄片1200、1300)以及在图16、19和21-23所示的构造中,就显示了这一点。

[0145] 除了图7A、图7B和图22中的阶梯状或“槽状”外缘构造外,现在还描述了图案和独特形状外缘特征的其他示例,并在此解释了它们的形状。图14显示了其他的三角形边缘特征,其中在所示薄片的两个相对边缘上有10个连续的三角形特征。图15展示了抛物线图案,在相对的边缘上有四个抛物线形的外边缘特征。图16显示的是图7A、7B和22中长方形槽构造的一种变体构造,其外边缘特征为带角度的平行四边形。图17显示了一种弯曲的外边缘特征图案。与图15的抛物线特征(其中特征的边是完全弯曲的并在弯曲的末端相遇)不同的是,图17的外边缘特征的边是直线的,但每个特征的末端都呈半圆形,因此每个特征都呈压舌板末端的形状。图18和20是薄片的外边缘部分只有一个外边缘特征的例子。这些特征分别位于两个相对的边缘部分上。在图18中,边缘特征是三角形的,而在图20中,边缘特征是单个完全弯曲的特征。图19举例说明了两种不同外边缘特征形状交替使用的图案,其中一

种边缘特征形状是长方形,另一种交替使用的外边缘特征是子弹形状的特征,其具有微微弯曲的边,在窄弧形末端相遇。在图案中,每个特征都由一个线性边缘部分连接。图21提供了具有箭头构造的复杂边缘特征。箭头包括一个长方形底座和一个三角形箭头末端,其中三角形的成角边提供了一个顶点端。图22是与图7A和图7B一样的开槽构造的示例,但在图22中两个相对的边缘特征上各仅提供三个开槽特征。图23提供了梯形边缘特征的示例,如本文其他部分所述。

[0146] 值得注意的是,在每个构造中,作为优选示例,在相对的边缘部分提供图案,以便出现“反向”图案,其中一个外边缘部分上向外延伸的边缘特征与相对的边缘表面上相应的向内延伸的薄片凹槽纵向对齐(优选在纤维方向),这样薄片内的纤维在整个薄片的纤维方向上长度一致,而与外边缘特征本身的长度无关。

[0147] 如上所述,还可以形成不同的改性聚合物复合材料薄片表面区域形状,如图2所示的圆形薄片,其全部或部分边缘14'具有上述外边缘特征,同样,椭圆形或椭圆形薄片也可以以同样的方式形成改性聚合物复合材料薄片。三角形薄片或其他平行四边形或梯形薄片,即具有3个或更多个边缘部分的薄片,以及具有5个或更多个边缘部分的多边形薄片也可制成,其中每种类型的改性薄片的至少两个或更多个边缘部分具有外边缘特征。

[0148] 如图3-3C、图4和图5A-5C、图6A-6E、图7A-7B和图14-23中的不同外边缘构造所示,最佳地如图3A所示,薄片F中的长增强纤维可以是单向的,在第一方向 D_1 上延伸穿过至少一个薄片,和选择具有外边缘特征的外缘部分,包括形成之字形和其他图案的那些,可以沿一个或多个外边缘部分在第二方向 D_2 上延伸,并与方向 D_1 成一定角度 β 。

[0149] 例如,如图3A所示,增强长纤维F延伸的方向 D_1 与薄片100沿轴线x-x'的长度方向相同。所示的两个相对的边缘部分124、126具有外边缘特征122,每个边缘部分沿边缘部分基本延伸至其全部长度,并沿薄片100的轴线y-y'以一定角度 β 平行于宽度方向 D_2 ,如图所示,该角度一般与方向 D_1 正交,其形成使得外边缘特征在方向 D_1 上从优选边缘A所限定的改性薄片主体表面区域向外延伸。然而,角度 β 可以根据不同的薄片设计而改变,例如具有成角边的薄片(例如,三角形薄片、多边形或梯形薄片),或者可以只包括在切割、冲压、切碎或以其他方式形成改性聚合物复合薄片时在薄片上形成的进一步其他边缘特征,通过提供,例如,具有四个边的整体平行四边形的改性薄片,其至少有一个边切割形成与所述纤维延伸的方向 D_1 的角度成一定角度。

[0150] 虽然使用角度 β 是可选的,即外缘特征和/或之字形图案优选设置在平行于具有单向纤维的薄片的纤维方向 D_1 的改性薄片的外缘部分上,或者改性薄片可能没有单向纤维(如编织结构或更随机或有角度的纤维)。在提供单向纤维时,优选具有外边缘特征和/或之字形或其他图案的外边缘部分与纤维方向 D_1 成一定角度。

[0151] 虽然在图1-4和图14-23中未显示纤维,但在查看所描述的改性薄片时,本领域技术人员应理解所显示的改性聚合复合材料薄片的图纸是用于构造说明的目的,并突出显示尺寸术语,从而显示薄片100在改性前(见图1、1A和2)和改性后(见图3、4和14-23)的形状和构造。未经改性的薄片在本领域是已知的,根据本公开内容,本领域技术人员可以理解,纤维可以被嵌入并浸渍在形成改性薄片的复合材料中,以及在将其从复合材料中切割后浸渍在改性薄片。纤维可沿一个或多个方向延伸,如本文其他部分所述,优选是单向的。

[0152] 本文所述改性聚合物复合材料薄片的外边缘特征为由此形成的制品提供了增强

的拉伸强度和/或提高的抗冲击性(尤其是在高速情况下)和/或更高的失效极限,这是由于通过在薄片边缘形成具有单独、成组和/或之字形或其他图案的边缘部分,减少了薄片边缘的应力集中。

[0153] 申请人使用英格利斯(Ingles)方程进行类比,以帮助评估复合材料带边缘的应力。在英格利斯方程中,应力可近似为复合材料中孔边缘的应力,其中孔的形状为椭圆形,孔的宽度近似于单向排列的纤维增强复合材料的厚度。英格利斯方程表达了这种孔的应力关系,如下式(I),其中孔的参数a和b分别近似于孔的宽度和长度, $\sigma_{\max}/\sigma$ 是应力集中系数,当复合材料处于b方向的轴向应力 σ 时,孔边缘的最大强度(应力)为 $\sigma_{\max}$ 。

$$[0154] \quad \sigma_{\max} = \sigma \left(1 + 2 \frac{a}{b} \right) \quad (I)$$

[0155] 申请人通过类比,将英格利斯孔洞边缘应力方程用于近似计算复合材料厚度与拉伸强度之间的关系。

[0156] 这个类比比较了当板受到拉力时,在板上存在的孔洞旁观察到的应力。如果孔是圆形的,则应力集中达到板所受应力的三倍。当考虑张力作用下的不连续长纤维板时,参照边缘无改性特征的标准薄片,在纤维方向的薄片边缘处,机械性能(强度和刚度)几乎降为零。

[0157] 例如,在140微米厚的薄片,薄片边缘代表了20多根纤维的“堆叠”厚度(假设直径约为7微米),并且所有纤维都突然停止,因为所有纤维在钝边被切割成相同长度。在形成模塑制品时,周围的薄片可以在薄片边缘形成桥接,但在大约1片薄片厚度的距离内,没有纤维,只有聚合物。复合材料薄片在纤维方向上的强度和刚度分别约为2130Mpa和135GPa,用于市售碳/PEEK薄片。此类薄片使用的PEEK(薄片边缘的聚合物)的强度和刚度分别约为100MPa和3.7GPa。强度和刚度低20多倍,可以近似为零性能。也就是说,即使标准市售碳纤维/PEEK薄片的末端没有真正的“孔”,但当它变成一个富含树脂的区域时,从强度和刚度的角度来看,它在某种意义上类似于一个孔。

[0158] 利用英格利斯方程的类比,可以将类似的孔看成椭圆形,试图将薄片做得更薄,从而减小厚度(孔的a轴线),进而降低应力集中系数。然而,在本发明中,提供改进的边缘特征,例如提供之字形等图案,本质上是一种渐进式边缘或从薄片内的高碳纤维特性位置到外边缘特征(如三角形特征)向外延伸的末端的软过渡,在这里,特性再次接近零。再次类比英格利斯方程,这就好比椭圆的轴线b增加,应力集中系数降低。因此,不是将薄片变薄以增加强度,而是保留厚度,保留纤维长度和数量,但边缘变得渐进,同时应力集中因子仍然降低。这使得薄片外边缘的零特性与薄片内部的高强度特性之间的过渡不那么剧烈,而是更加渐进。在某些情况下,改变等式中的a可能会更有效,但从制造角度来看并不划算。

[0159] 在申请人的美国专利申请号10,160,146中,申请人已经尝试使用各种不同长度的非连续长增强薄片。然而,虽然这种复合材料带能提供良好的成型制品和各向同性,但由这种复合材料带形成的最终成型制品的强度却没有得到足够的提高。根据申请人的数据,申请人的理论认为,为每个改性薄片提供的“长度”参数b对于由改性薄片形成的制品的强度的最终提高以及强度各向同性的增强非常重要。不仅强度显著提高,而且抗冲击性(尤其是高速冲击下的抗冲击性)和疲劳极限也提高了。

实施例

[0160] 在进一步探讨本发明的影响时,进一步发现可以修改或改变外边缘特征的数量以及外边缘特征边的角度或性质,以在改性聚合物复合材料薄片形成的制品中实现最佳影响,即通过改变特征提高强度和/或失效极限和/或高速抗冲击性的程度。这一点在下面的实施例中得到了证实。这里的每个实施例都是为了帮助说明本发明,但不应被认为是限制性的。

[0161] 实施例1

[0162] 在下列实施例中使用了具有沿长度方向延伸的连续长增强纤维的单向复合材料带。具体而言,测试了Solvay、Barrday和Tencate(东丽(Toray))公司提供的三种市售聚醚醚酮复合材料带。样品由AS4碳纤维(C/PEEK)制成(样品A、B和C),在由薄片边缘限定的外表面上被切割成0.5英寸×0.5英寸的直方形薄片,与图1中的现有技术薄片相似。如图3B所示,改性聚合复合材料薄片由相同的材料形成,在其两个相对的边缘上具有如图3和图4所示的之字形图案和外部构造。在两个相对边缘中的第一个边缘上,之字形图案包括四个向外延伸的具有成角边的外边缘特征,这些成角边形成一个顶点(因此呈现三角形),在相邻的成对外边缘特征之间有一个30°的夹角 α 。在另一个第二对边,之字形图案的位置是这样的:在第二对边向外延伸的成角边缘特征处,其顶点与第一对边的两个相邻边缘特征之间的相邻接合点轴向对齐。因此,第二边缘包括三个边缘特征,其三角形形状与第一边缘上形成的特征完全相同,相邻特征之间的夹角为30°(角度 α),但在第二边缘的末端,有两个较窄的局部边缘特征,每个特征与相邻的三个特征之间的间距为30°。这些局部特征共同构成了完整边缘特征的大约一半,就像图案的其余部分一样,从而提供了总共四个外边缘特征的好处,每个外边缘特征都有两个边,中间有夹角。外边缘特征在每个相对的边缘上形成图案,这些图案在薄片0.5英寸尺寸的边缘长度上延伸。碳纤维的延伸方向与具有外边缘特征的两个相对边缘大致正交(角度 β 为90°)。由于相对的边上形成的图案,从一个相对的边穿过薄片直接测量到另一个相对的边之间的长度,沿着具有外边缘特征的两个相对的外边缘的长度大致相同,从而保持了连续的纤维长度,但由于将图案切割成薄片,提供了纤维末端的渐进(过渡)暴露。

[0163] 所用复合材料带的标准厚度均为0.14mm,所含纤维量大致相同,均为61%。使用压制成型工艺,将改性聚合复合材料薄片中的薄片材料模塑成0.1英寸厚的板,其尺寸为12英寸×12英寸,并切割成“狗骨头”形状样品,其在测量区域的宽度为1英寸。使用美国标准测试法(ASTM)标准编号ASTM D3039-17的拉伸测试方法,对每种构造至少测试20个样品。

[0164] 成型过程包括通过切割设备将单向带切割成可重复的薄片几何形状,从而形成薄片。所需数量的薄片由人工称重和填充(但也可以由机器人系统填充),以便将薄片均匀地撒入为12英寸×12英寸的正方形模腔中。模具在热压机中加热至约400°C,但也可使用约360°C至约430°C的加工温度。对材料施加约100bar的压力。也可对材料施加约60bar至约150bar的加工压力。然后在相同的压力下,用冷压机冷却材料。制作的板厚度约为0.1英寸,每个板被加工成宽度为1英寸的七(7)个狗骨状样品。

[0165] 图11显示了,在对薄片进行改性时,由薄片形成的制品的拉伸强度有所提高,与原材料供应商无关。当对相同复合材料形成的、如图1所示的未经改性的方形薄片构造的薄片进行改性后,来自所有三个来源的材料显示约30%至约40%的增加。在图中,针对由未经改

性的、没有外边缘特征的薄片制成的模塑件的各市售样品,其在未经改性的状态下被标识为“0-0-A”、“0-0-B”和“0-0-C”。这些市售样品呈正方形,其构造与图1和图1A类似。改性样品带有市售样品标识符(A、B或C),但要注意改性薄片上两个相对边缘部分使用的外边缘特征的总数(N)以及外边缘特征之间的角度,例如,样品A在两个相对外边缘部分的每一个上都有四个外边缘特征,这两个外缘部分延伸由外缘限定的正方形表面区域的外边缘长度,外边缘特征呈三角形且相邻,每个特征之间的角度为 30° 。因此,它们被命名为N4-30-A。样品A的未改性版本被命名为0-0-A。

[0166] 实施例2

[0167] 在本实施例中,使用了两种含有AS4碳纤维的市售复合材料(C/PEEK)单向带来制作各种本发明样品。这两种带分别来自Solvay和Tencate(东丽)。改性聚合物复合材料薄片本发明样品的外边缘特征的数量、形状和角度各不相同。通过将单向复合材料带切碎成型形成薄片,使得形成的改性的薄片为含有来自带的长纤维的0.5英寸X 0.5英寸的改性薄片。

[0168] 除本发明样品外,还使用了现有技术的对照样品。对照样品D的外边缘为由其外缘限定的表面区域为0.5英寸X 0.5英寸的正方形,设计如图1所示,是一种未经改性的薄片。另一种对照样品E是一种斜切薄片,具有线性边缘,斜切边缘呈 45° 角。

[0169] 制作了13个不同的本发明样品,每个样品的外边缘特征和/或特征数量各不相同。所有本发明样品的方向都类似,即外边缘特征位于两个相对的外边缘部分上,改性薄片是整体平行四边形,其中具有如上所述的边缘特征,具有外边缘特征的外边缘部分与改性薄片的纤维延伸方向成 90° 的 β 角。

[0170] 本实施例中的一些本发明样品与本实施例1的本发明样品中的改性聚合物复合材料薄片类似,即它们具有“三角形”外缘特征,这些特征形成之字形图案,包括在相对的外缘部分上,相邻的外缘特征之间有一个夹角 α 。在设计中,“齿”在相对边缘上交错排列,使第一相对边上的外边缘特征的顶点沿纤维方向穿过薄片,与改性薄片的第二相对边缘上两个相邻的外边缘特征之间的接触点对齐,从而使纤维长度沿改性薄片大致一致。

[0171] 这些样品的命名参考了相邻外边缘特征之间的角度 α 以及向外延伸的外边缘特征(在本例中为“齿”)的数量。例如,在第一个发明样品30-4中,“30”代表外边缘特征之间的角度 α ,“4”代表每个相对的外边缘部分上的外边缘特征的数量。在其他具有三角形边缘特征的发明样品中,外边缘特征的角度和数量也相应变化和命名。

[0172] 在“阶梯切割”变体中,还使用长方形外缘特征形成了本发明样品。由于这些特征是长方形的,它们的边由直线部分连接,外边缘特征上没有形成“顶点”,因此它们之间的夹角 α 为 0° 。每个特征都不是像三角形外边缘特征那样通过单个点与下一个外边缘特征连接,而是通过宽度与阶梯外边缘特征宽度相同的大致平直的边缘部分连接。每个经过改性的薄片都有一系列长方形形“齿”,切割后看起来呈拉长状。纤维还沿特征方向延伸,以形成 90° 的角度 β ,并与包括外部末端特征在内的相对外边缘部分的延伸方向正交。这些图案在每个相对边缘特征上具有类似的对齐特征交错排列,使第一外边缘部分上向外延伸的长方形边缘特征与第二相对边缘部分上两个向外延伸的外边缘部分之间的空间对齐。这些样品被标识为样品6X2,其中“6”是切割深度(mm),“2”是长方形外边缘特征的宽度(mm)。

[0173] 使用两种市售带材料为每种结构制作了相同的改性薄片,并对每种材料的数据取

平均值,以提供本文中的数据。

[0174] 图3B-3D、5A-5C、6A-6E和7A-7B分别代表图9表中所示的改性薄片的本发明样品,它们分别标识为样品30-4、60-4、90-4、30-8、60-8、90-8、30-12、60-12、90-12、5-12、15-12、6X 2和6X 1。这些样品还依次表示在图3A-3C(薄片100、200和300)、图5A-5C(薄片400、500和600)、图6A-6E(薄片700、800、900、1000和1100)和图7A-7B(薄片1100和1200)中。

[0175] 图8A和8B描述了对照样品D(未改性边缘特征的正方形切割)和E(未改性边缘特征的倾斜切割)。

[0176] 每种本发明样品和对照样品都使用ASTM D3039-17进行了测试。图9显示了由所有改性薄片几何形状形成的制品的平均拉伸强度。所有本发明样品在测试中都有提供外边缘特征的改性,在提供改性边缘特征后,拉伸强度都有所提高。

[0177] 与对照样品D相比,对照样品E(斜切)边际强度增加。虽然众所周知,使用较长的纤维(因此纤维方向上的薄片也较长)可以产生类似的强化效果,但人们通常发现,较长的纤维在加工过程中会带来更多困难。

[0178] 相比之下,本发明所用的样品和改性聚合物复合材料薄片,其外边缘特征的改性边缘保持了与原始薄片相同的纤维长度,并保留了正方形薄片的易加工性,同时还受益于增强的强度。图10进一步说明,测试的本发明样品的边缘改性越深,拉伸强度的增加就越大。形成的制品表明,本发明样品中形成的薄片的平均拉伸强度高于未改性薄片的预期强度,本发明样品中薄片设计的变化表明,可以根据外边缘特征的构造或数量和/或外边缘特征之间的角度或间距的调整来改变改进和强度特性。因此,可以采用和变化更多或更少的外边缘特征、形状或角度的变化以及改性边缘特征切入薄片的深度,来使用本发明中的方法将改性薄片制成制品,这些方法都能显示出良好的效果,但也可以进行调整,以达到特定聚合物基体材料和预期最终应用的最佳改进或强度水平。

[0179] 实施例3

[0180] 冰雹的影响是航空航天工业特别关注的问题,因为冰雹可以以高达250米/秒的飞行速度撞击飞机的任何外露部分。材料的抗弹丸冲击能力,尤其是抗高速弹丸冲击的能力,对于提供适用于飞机制造的复合材料非常重要。在遭受大冰雹或来自强风暴的伴有高速风的大冰雹,可造成重大财产损失或人员伤亡的地区,抗冲击性也非常重要。

[0181] 可以通过研究人造冰雹对试样和实际部件的冲击来评估抗冲击性,特别是高速冲击。为此,评价根据本发明由改性聚合物复合薄片形成的材料的行为,使用实施例2中的本发明样品30-4形成的改性薄片,即0.5英寸X 0.5英寸的薄片,其是用0.5英寸宽的复合材料带形成的正方形结构,这种薄片包括总共四个外边缘特征(对齐以抵消第一外边缘部分上向外延伸的外边缘特征与相对外边缘部分上两个相邻外边缘特征之间的公共点),相邻外边缘特征呈三角形,其间的夹角为30°。本实施例中还使用了与实施例2的对照样品D类似的边缘未经改性(无边缘特征)的对比薄片。

[0182] 改性聚合复合材料薄片采用上述成型工艺成型,形成的薄片尺寸为12英寸X 12英寸,厚度为0.15英寸。每块板被切成两半,形成两块12英寸X 6英寸的板。然后将板放入图12所示的测试夹具中。在每块板的长边的两侧,沿1英寸的距离用橡胶夹具夹紧,夹具之间留出4英寸的宽度。每块板都从水平延伸平面倾斜30°。然后用直径为50mm的冰雹在-18℃的温度下以100至300米/秒的速度以水平轨迹撞击倾斜板的中心。

[0183] 撞击后,对板进行检查,将损坏程度评定为:(i) 无可见损坏;(ii) 可见损坏和/或(iii) 材料脱落。图13显示了数据的图表说明,其中每个测试都在所示图表上标记为一个点。结果表明,改性聚合物复合材料薄片比直线切割的薄片有显著改善。将由改性薄片样品形成的板与由未改性薄片对照样品形成的板相比较,发生损坏的速度提高了约75米/秒,而材料脱落要到速度提高约100米/秒时才会发生。

[0184] 实施例4

[0185] 为了进一步评估本发明的抗疲劳性,制造了无缺口拉伸样品,并在应力比 $R=0.1$ 的条件下进行疲劳循环。图25显示了测试结果,图中以MPa为单位施加的应力水平与试样失效前的循环次数相对应。有些试样没有失效,用不同的标记表示。

[0186] 在本实施例中,未经改性的无边缘特征的正方形薄片(边长0.5英寸)被用于制造测试用试样(对比实施例X),而在实施例1中形成的薄片则被用于制造测试用本发明试样(本发明样品Y)。这两种薄片都是从相同的碳和PEEK(C/PEEK)单向带中切割出来的。用于制作本发明样品Y的改性薄片经过改性后,具有四个“三角形”外边缘特征(“齿”),形成之字形图案,每个特征之间的夹角 α 为 30° ,具有正方形几何形状(尺寸为0.5英寸),如实施例1所示。这些特征位于两个相对的外边缘部分,相邻外边缘特征之间的夹角为 α 。纤维的方向在具有边缘特征的边缘之间,并与具有边缘特征的边缘的延伸方向正交(即如上所述的 β 角 90°)。在设计中,齿在相对的边缘上交错排列,使第一相对边的外边缘特征的顶点沿纤维方向穿过薄片,与改性薄片第二相对边的两个相邻外边缘特征之间的接触点对齐,从而使纤维长度沿改性薄片基本一致。

[0187] 使用未改性(对照样品X)和改性(发明样品Y)薄片形成的无缺口拉伸试样评估对照样品X和本发明样品Y的疲劳寿命。图25中的数据显示了各种无缺口拉伸试样的断裂或耗尽位置。图25显示了样品X和Y每组数据点的线性拟合结果。根据线性拟合结果,使用相同的复合材料,但用改性薄片代替标准薄片时,高循环疲劳寿命显著提高了约59%。

[0188] 实施例5

[0189] 在本实施例中,根据实施例4形成的未改性和改性薄片用于制备高速冰雹冲击测试样品(即对照样品X和发明样品Y)。对照样品X复合材料样品是用未改性薄片制成的,而本发明样品Y的复合材料样品是用改性薄片制成的,每个样品都是0.5英寸的正方形。另一种本发明复合材料(本发明样品Z)是使用改性薄片制备的,其由与本发明样品Y相同的复合材料制成,但具有长度(沿纤维方向的尺寸)为1.0英寸的长方形形状。正交宽度方向的宽度尺寸(0.5英寸)与本发明样品Y相同。

[0190] 使用实施例3的设备和方法(包括实施例3中提到的参数),测试对照样品X和本发明样品Y和Z的样品。图26显示了冲击性能,其中对板进行了检查,并将损坏评定为:(i) 无可见损坏;(ii) 可见损坏和/或(iii) 材料脱落。与实施例3图13中显示的结果类似,所显示的结果表明,本发明样品Y的改性复合薄片相比于对照样品X的未改性(直切)薄片有显著改善。在发明样品Y中的损伤发生速度相比于对照样品X显著增加,直到大约225m/s才发生材料释放。在测试样品中,本发明样品Z在出现可见损坏和无明显材料脱落方面的表现略好于本发明样品Y。结果表明,较长的薄片可提供进一步的改进,改性薄片边缘特征的渐进末端所获得的有益特性是采用较长纤维所能获得的收益的累积。

[0191] 如上述公开内容和实施例所示,由改性聚合物复合材料薄片和/或使用本文所述

方法形成的制品可以有多种类型,并可根据所选复合材料的不同而变化,例如,本文所述的多种改性聚合物复合材料薄片可用于形成作为装置、组件或部件的制品,并可用于各种终端应用。例如,这些制品可被制成强度高、重量轻的飞机部件、医疗器械、安全壳和/或用于高温高压终端应用(如半导体、流体处理或井下油田条件)的部件。可形成飞机部件,例如支架、盖板或整流罩,或形成机舱侧壁附件。其他终端应用包括机器人、汽车、半导体或体育产业中使用的装置、组件或部件,例如机器人的腿、汽车减震器的外壳、半导体加工中的晶片处理工具和自行车部件。

[0192] 可以通过热成型或固化的方式,根据基体聚合物的类型,将根据本发明方法提供的多种改性聚合物复合材料薄片直接制成制品,或者将改性聚合物复合材料薄片与其他类型的薄片混合以获得不同的效果来形成制品。当使用第二种或其他类型的薄片时,这些薄片可以是根据本文方法改性的薄片,或是未改性的薄片。此外,当使用第二种或其他类型的薄片与本文所述的改性薄片时,聚合物基体材料和/或增强纤维可以与和其混合的改性薄片相同或不同。优选的成型条件如上所述。

[0193] 正如实施例所支持的,本发明还提供了一种方法,即与由经形成以便具有聚合物基体材料和延伸穿过薄片的增强长纤维的标准的未改性复合材料薄片形成的制品相比,增加使用具有外边缘特征的改性聚合复合材料薄片形成的制品的平均拉伸强度和/或抗冲击性,尤其是高速冲击抗冲击性中的一个或多个的方法。所述改进源于使用上述技术,将上文所述的一个或多个外边缘特征提供给本文所提供的改性聚合物复合薄片的外边缘部分。使用本文所述的改性薄片和方法,还可提高这种制品的疲劳极限。

[0194] 本领域技术人员可以理解,在不脱离本发明广泛的发明概念的前提下,可以对上述实施方案进行修改。因此,可以理解的是,本发明并不局限于所公开的特定实施方案,而是旨在涵盖所附权利要求所定义的本发明精神和范围内的修改。

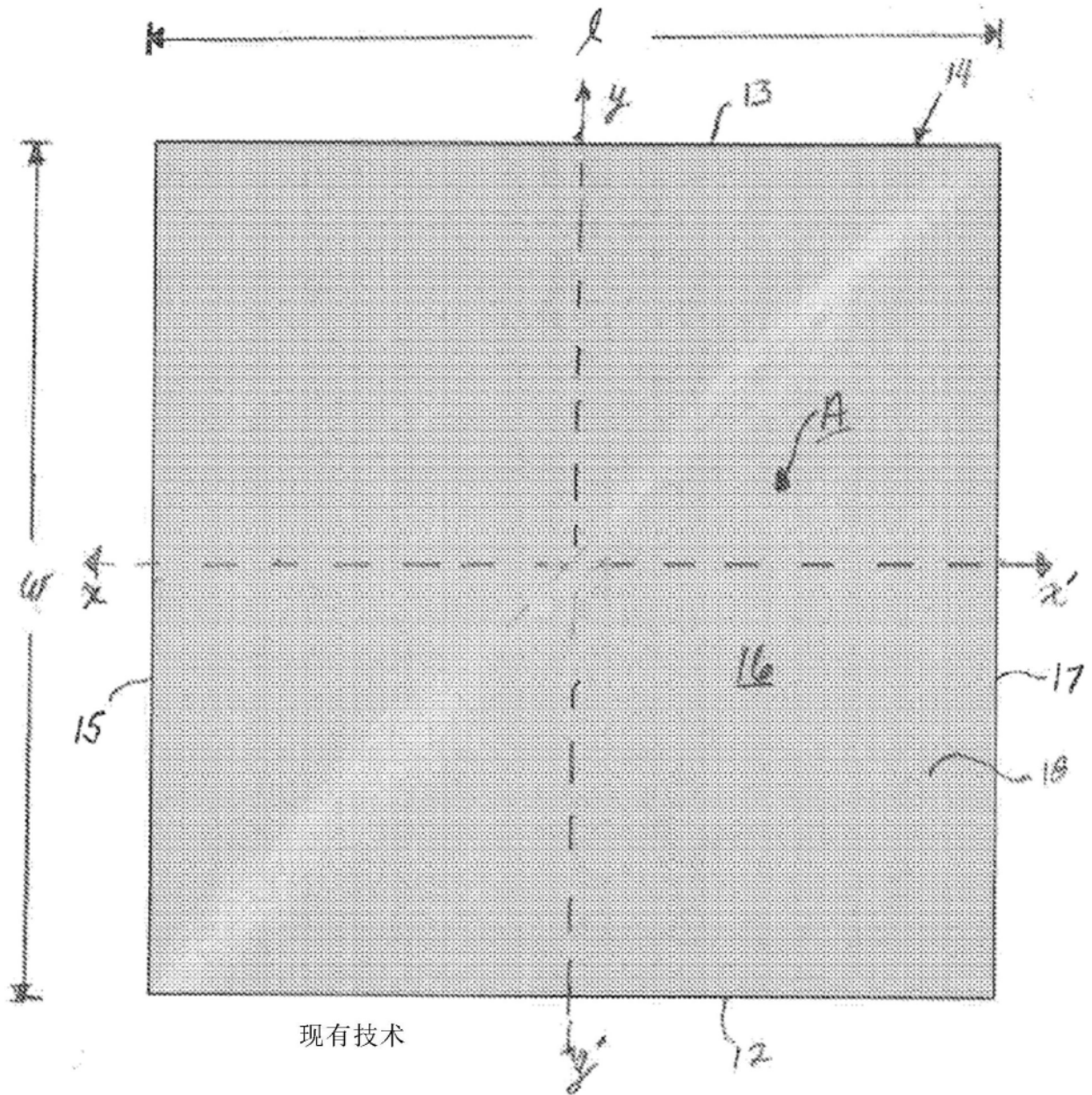


图1

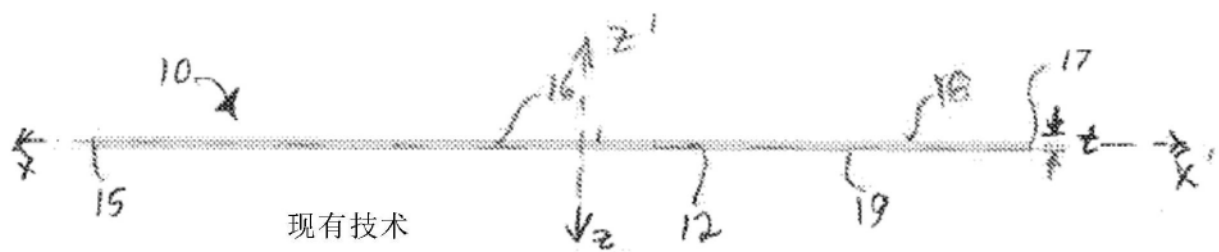


图1A

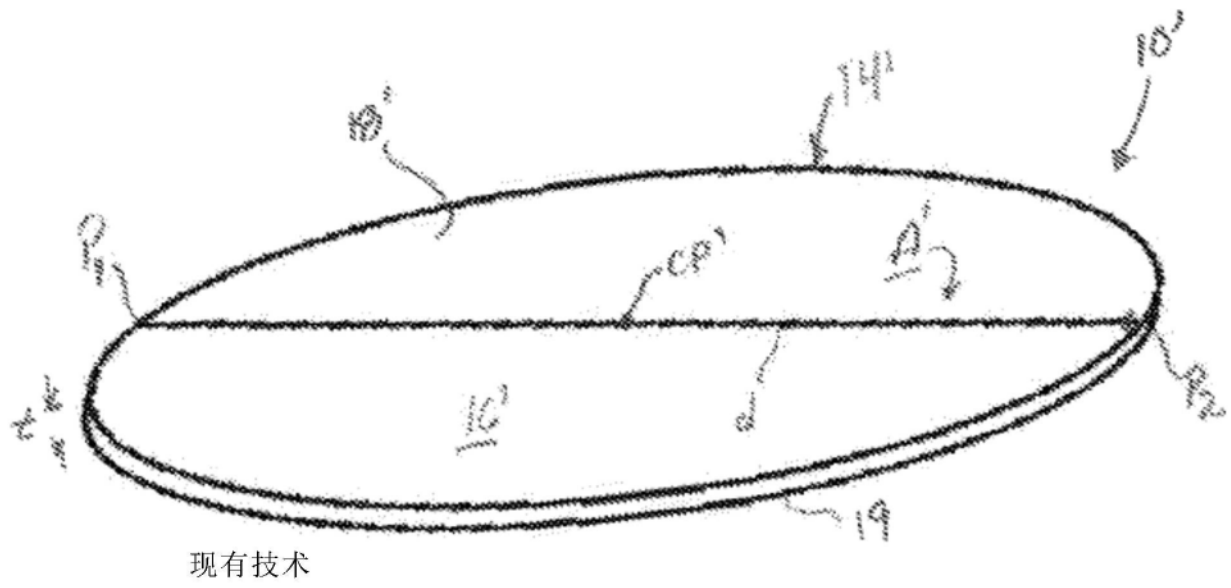


图2

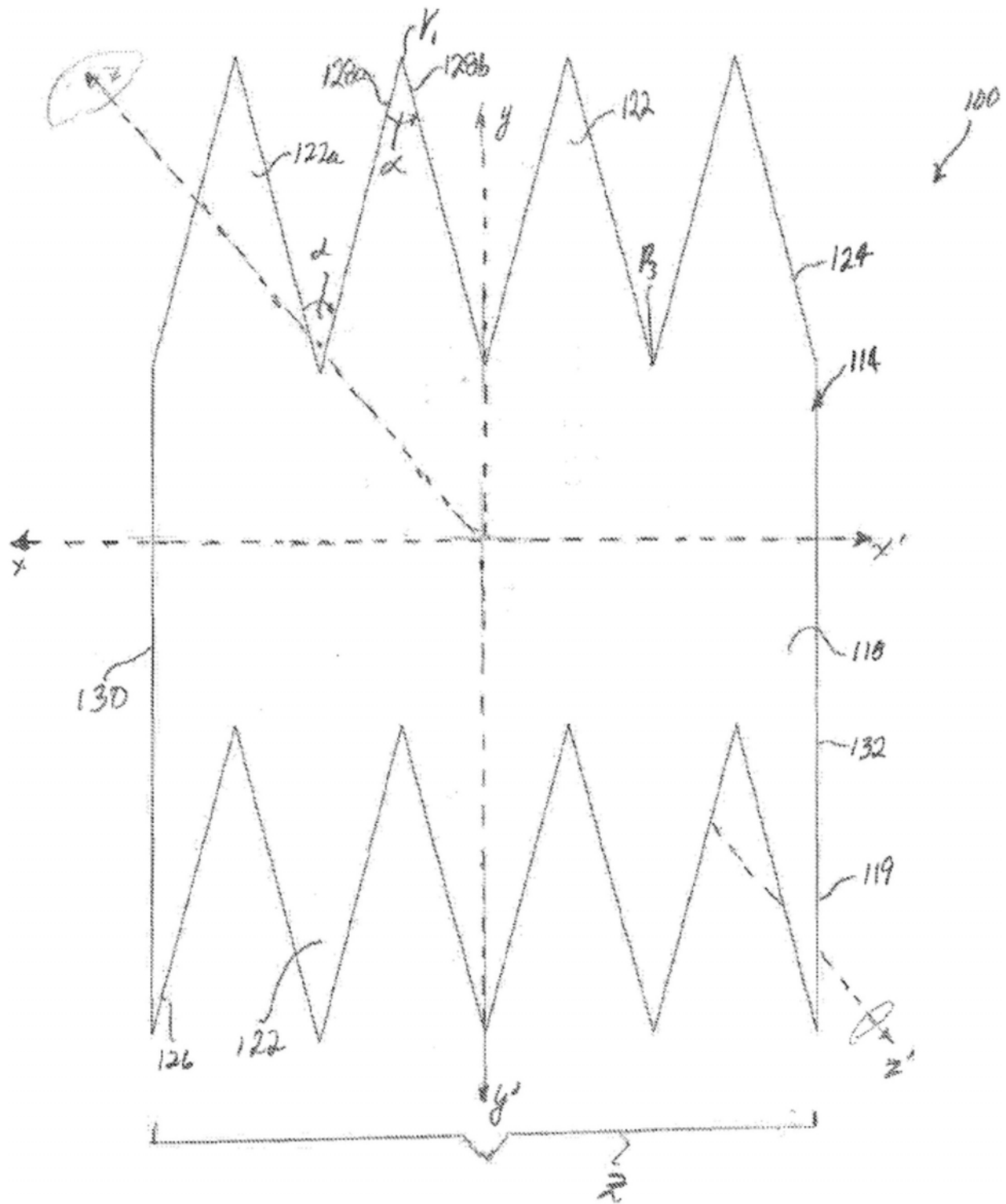


图3

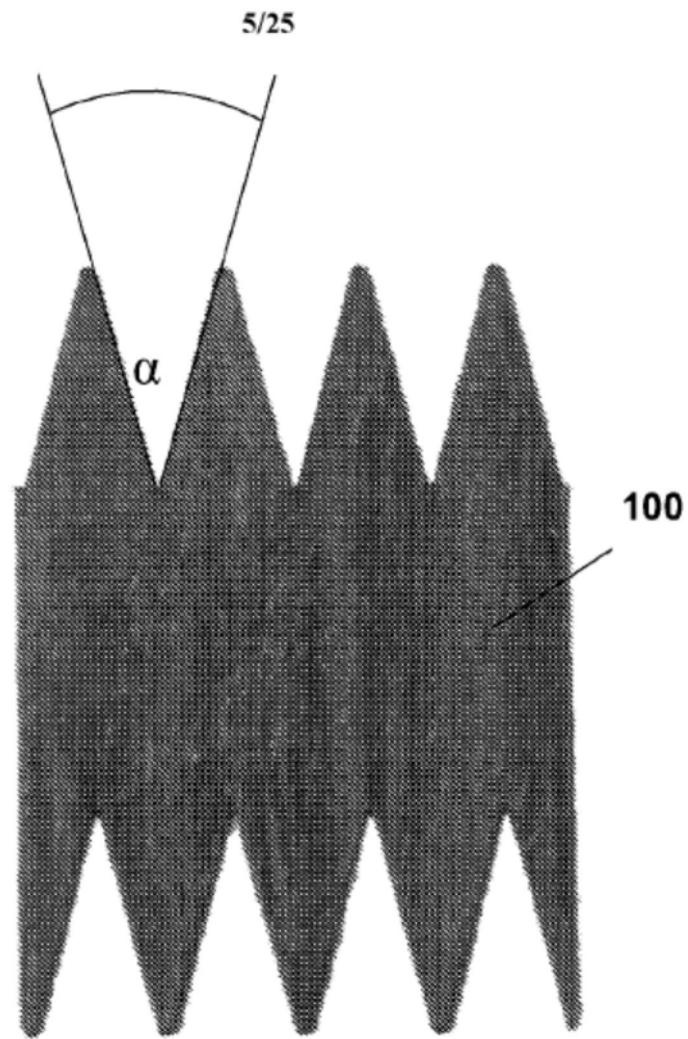


图3A

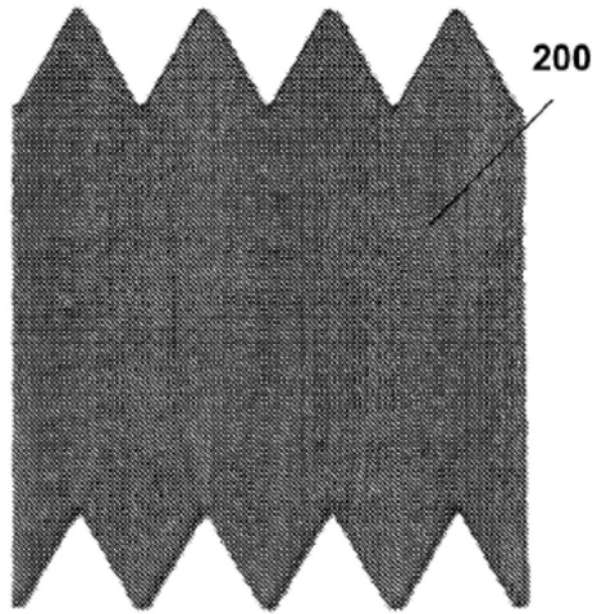


图3B

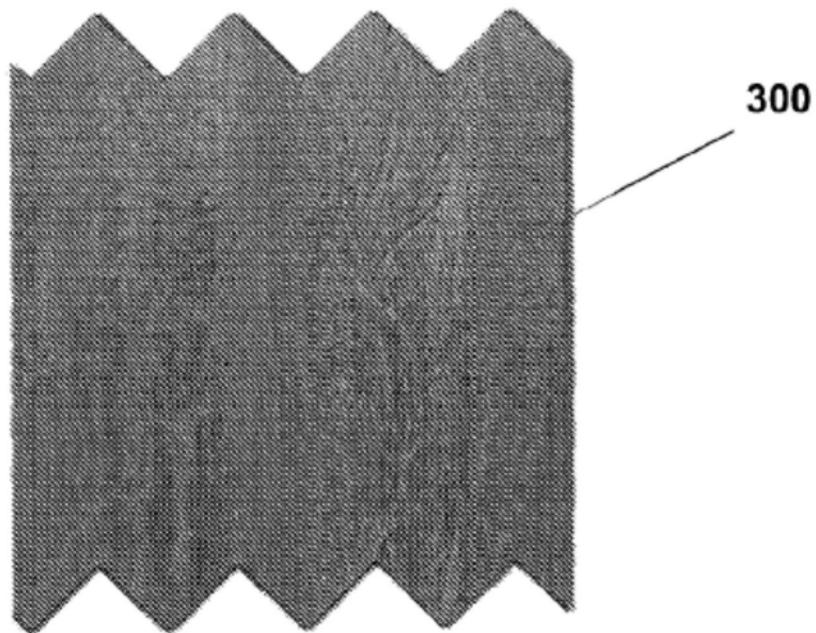


图3C

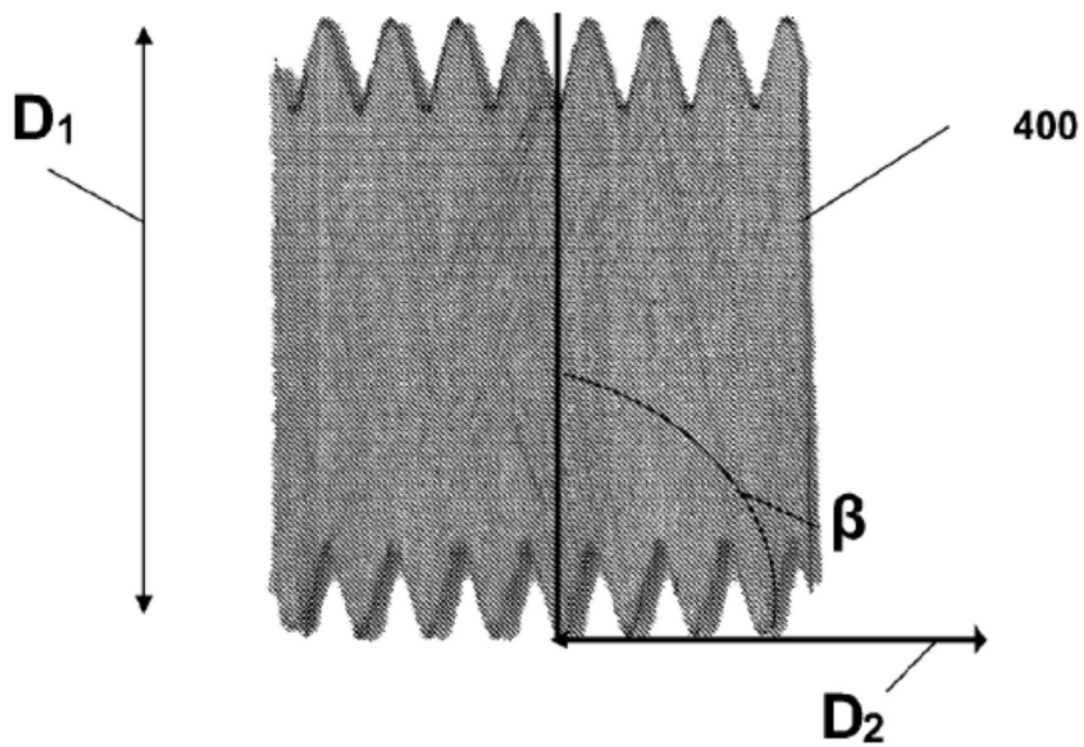


图5A

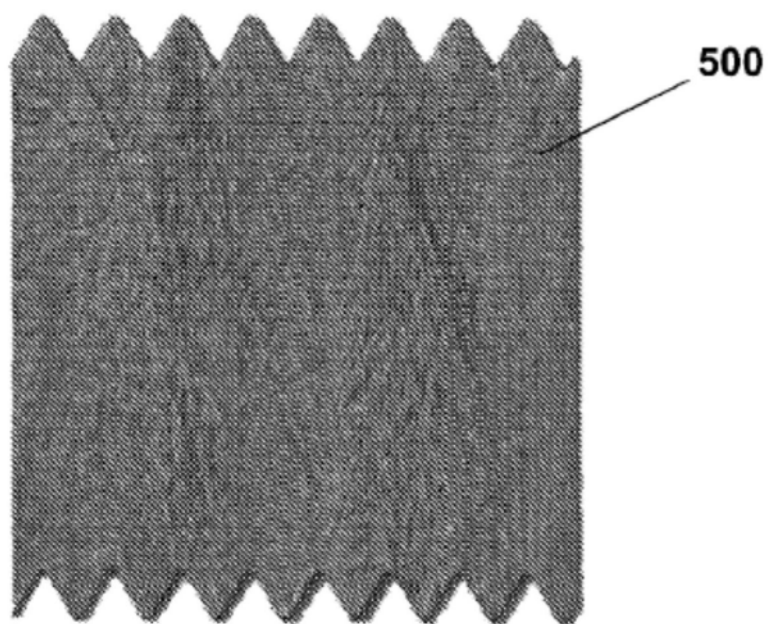


图5B

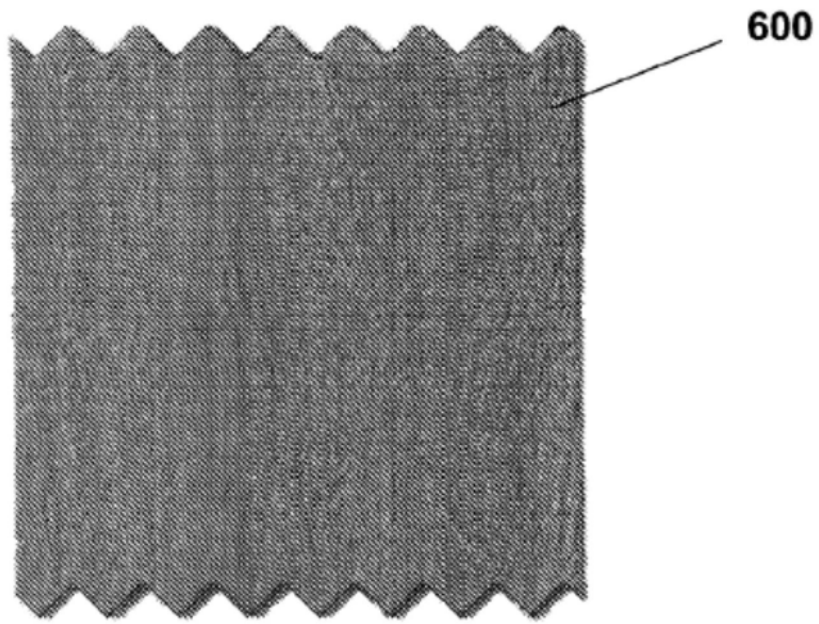


图5C

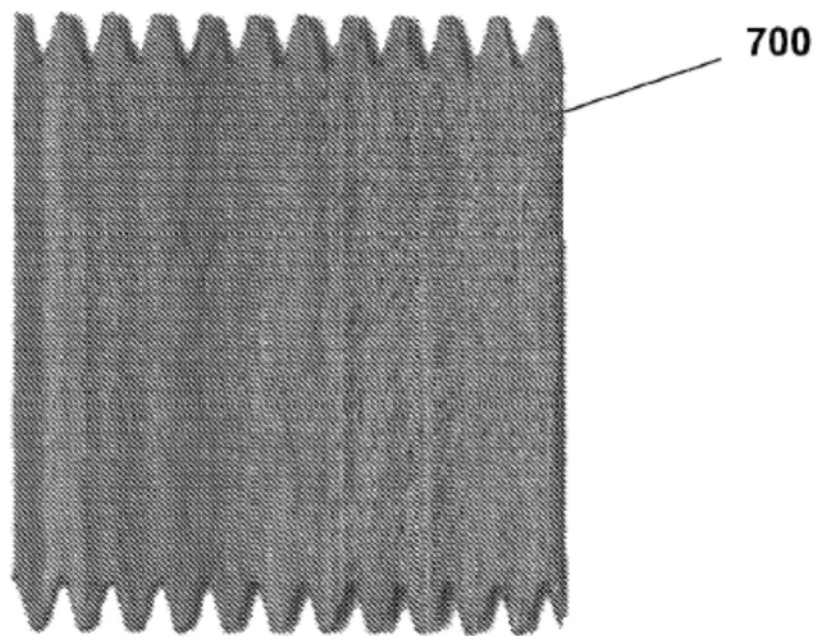


图6A

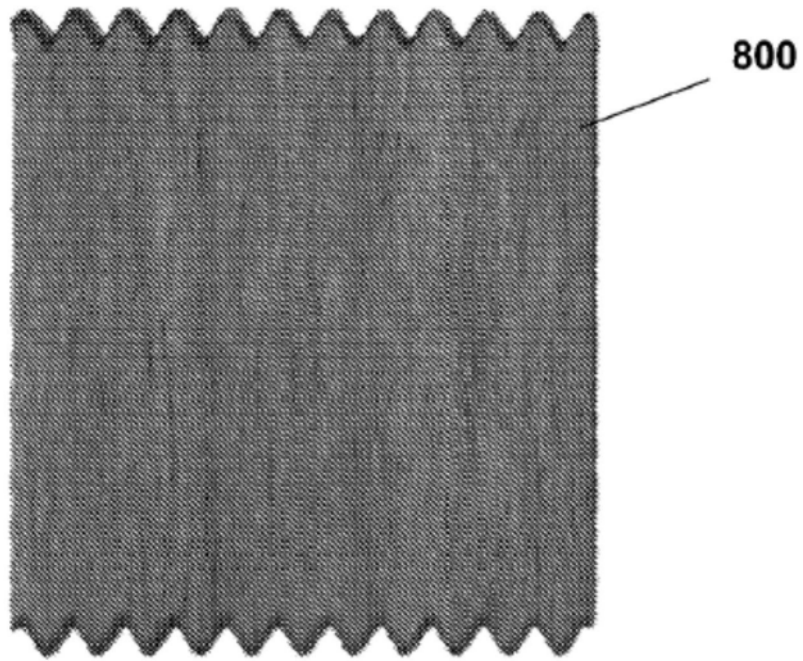


图6B

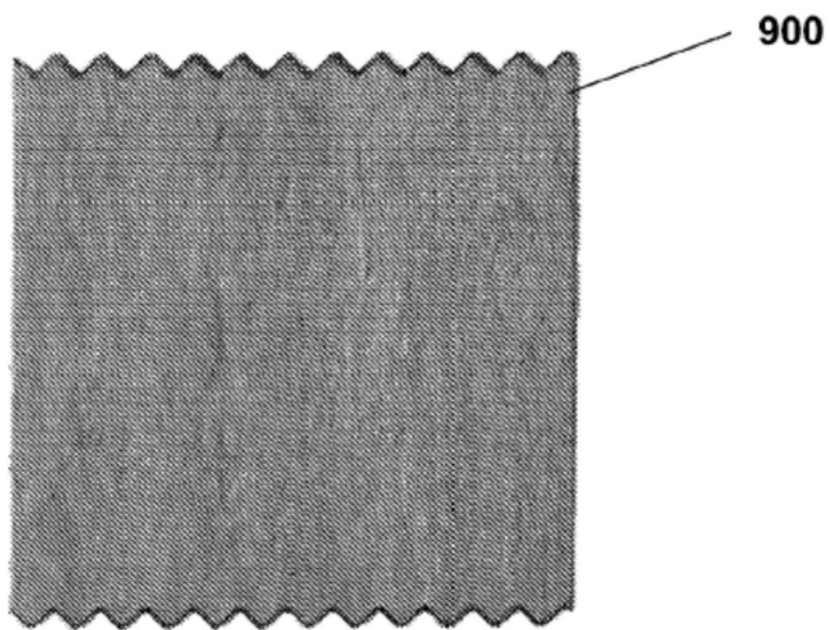


图6C

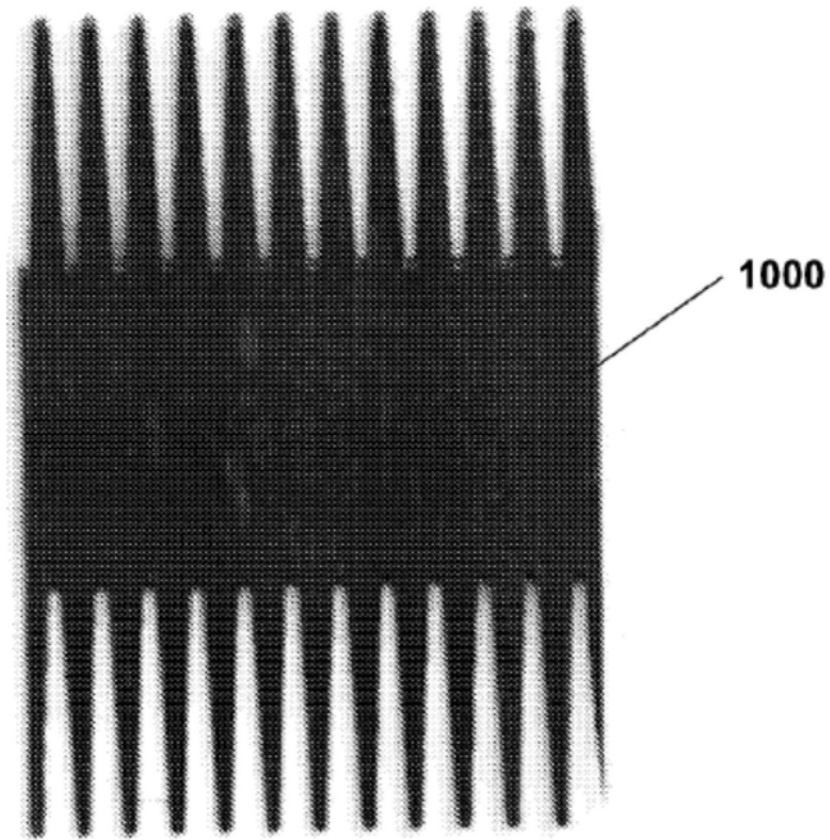


图6D

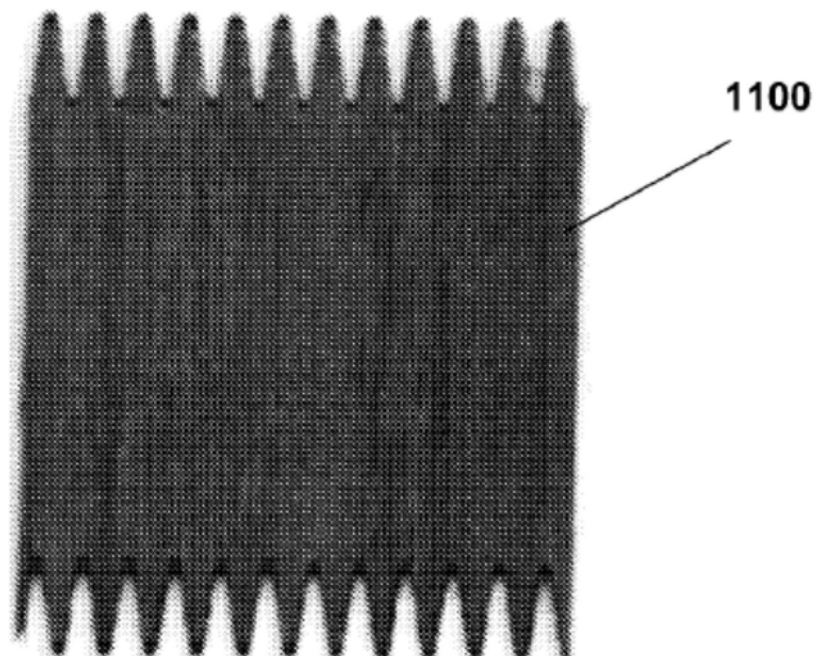


图6E

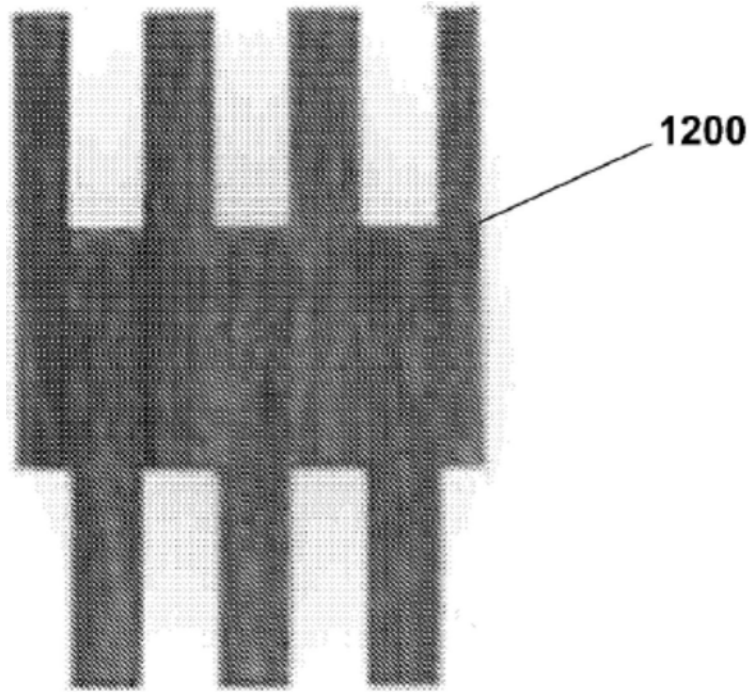


图7A

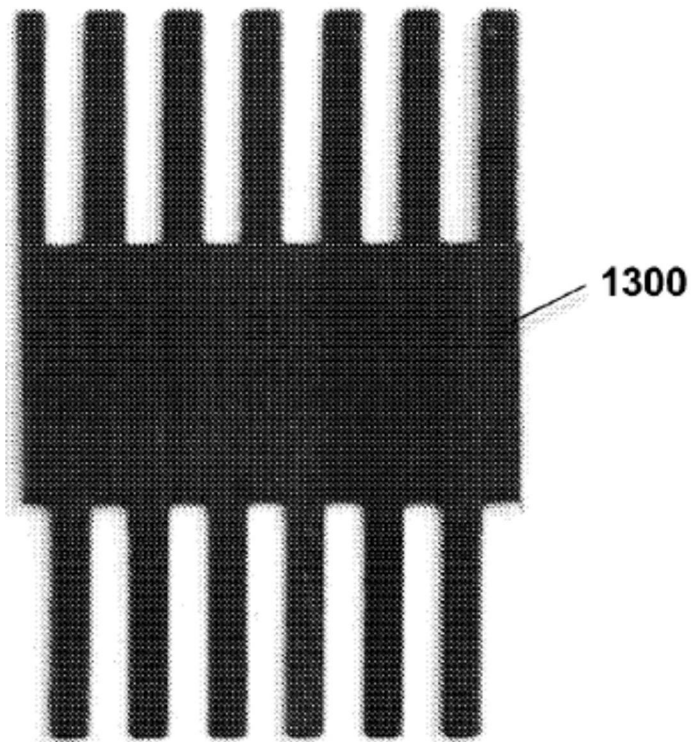


图7B

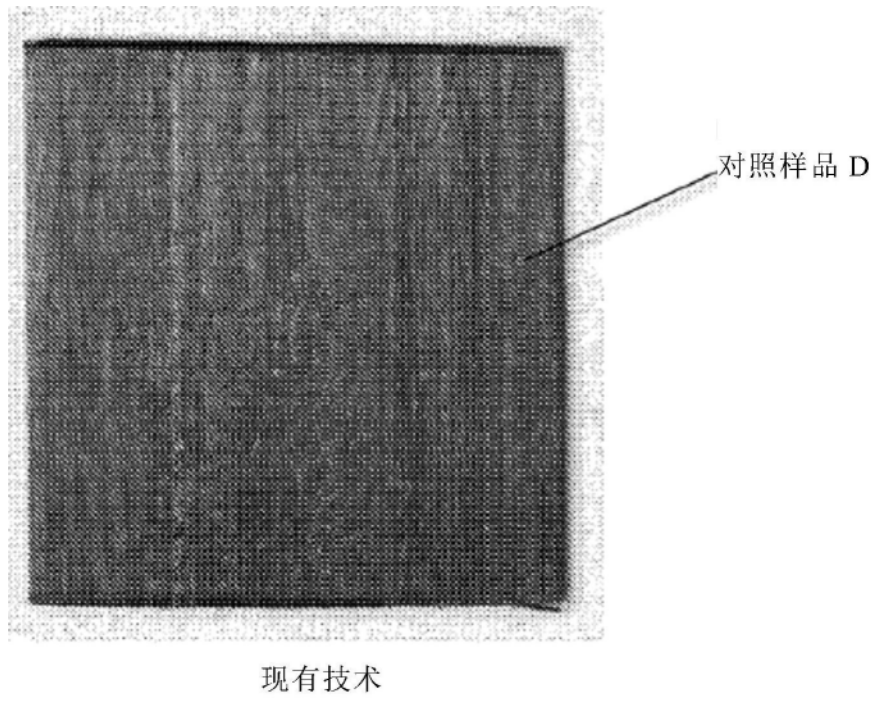


图8A

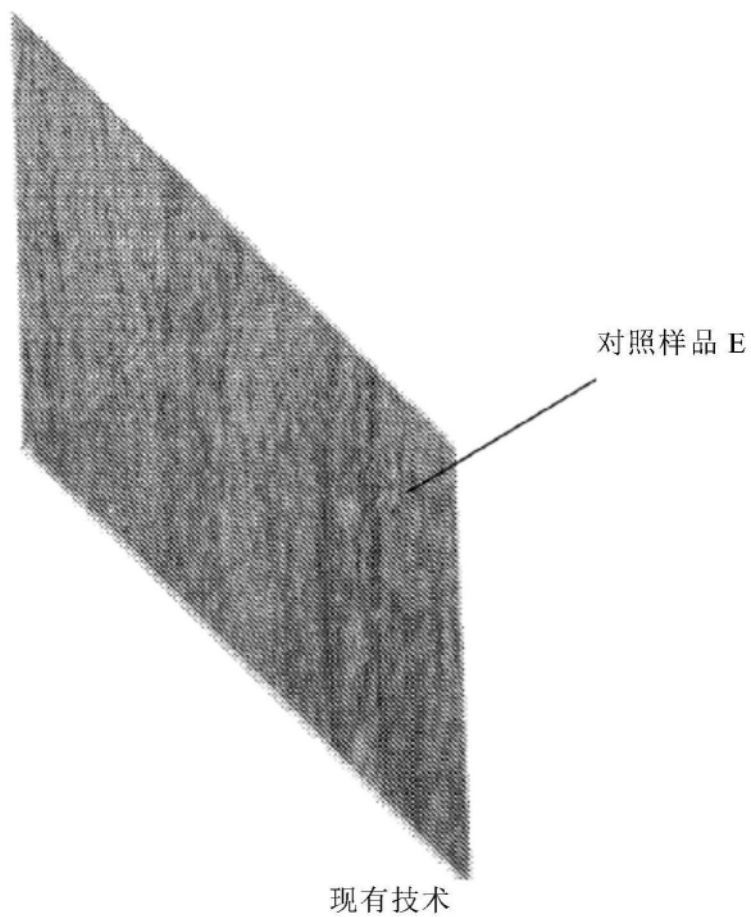


图8B

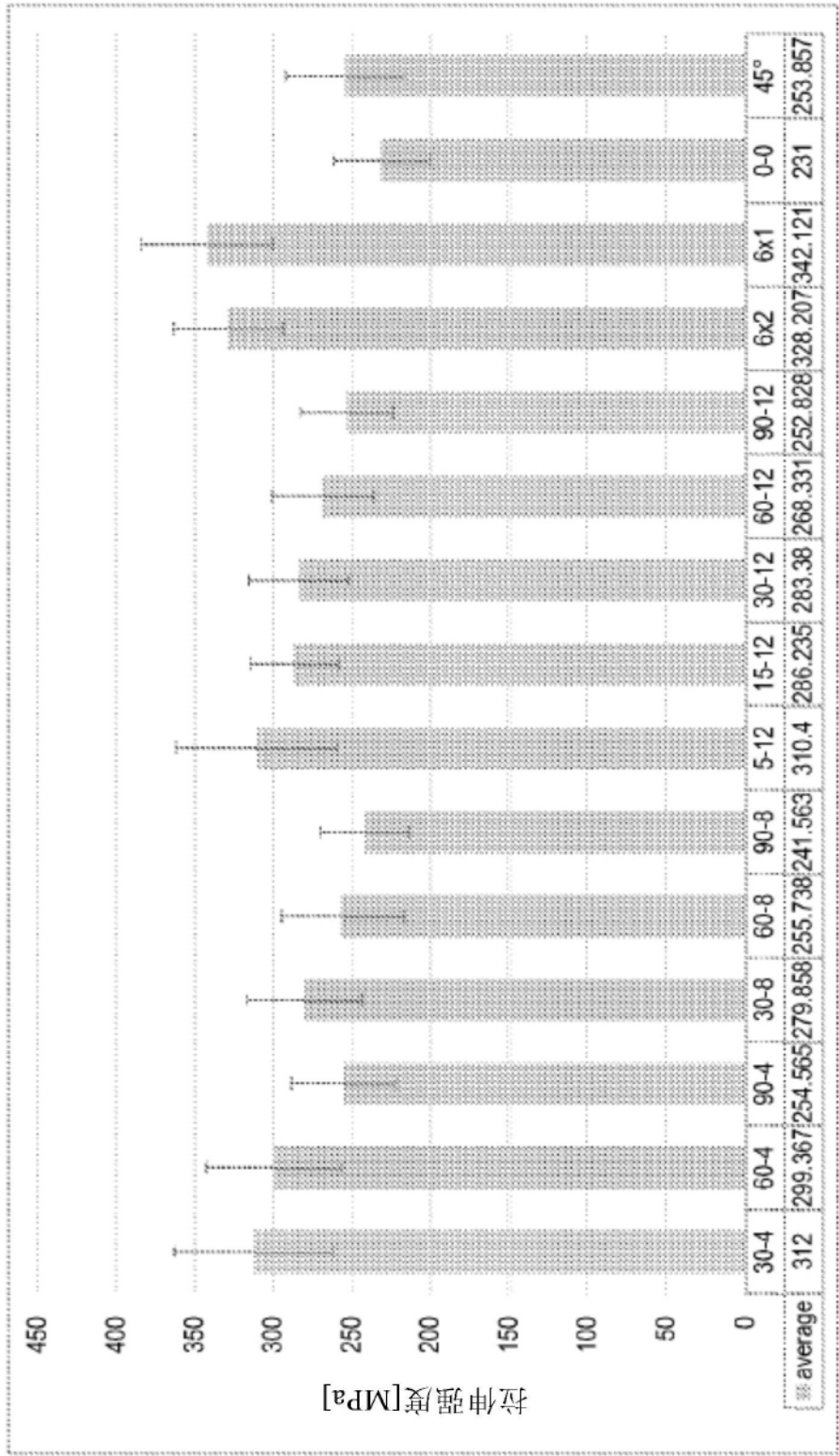


图9

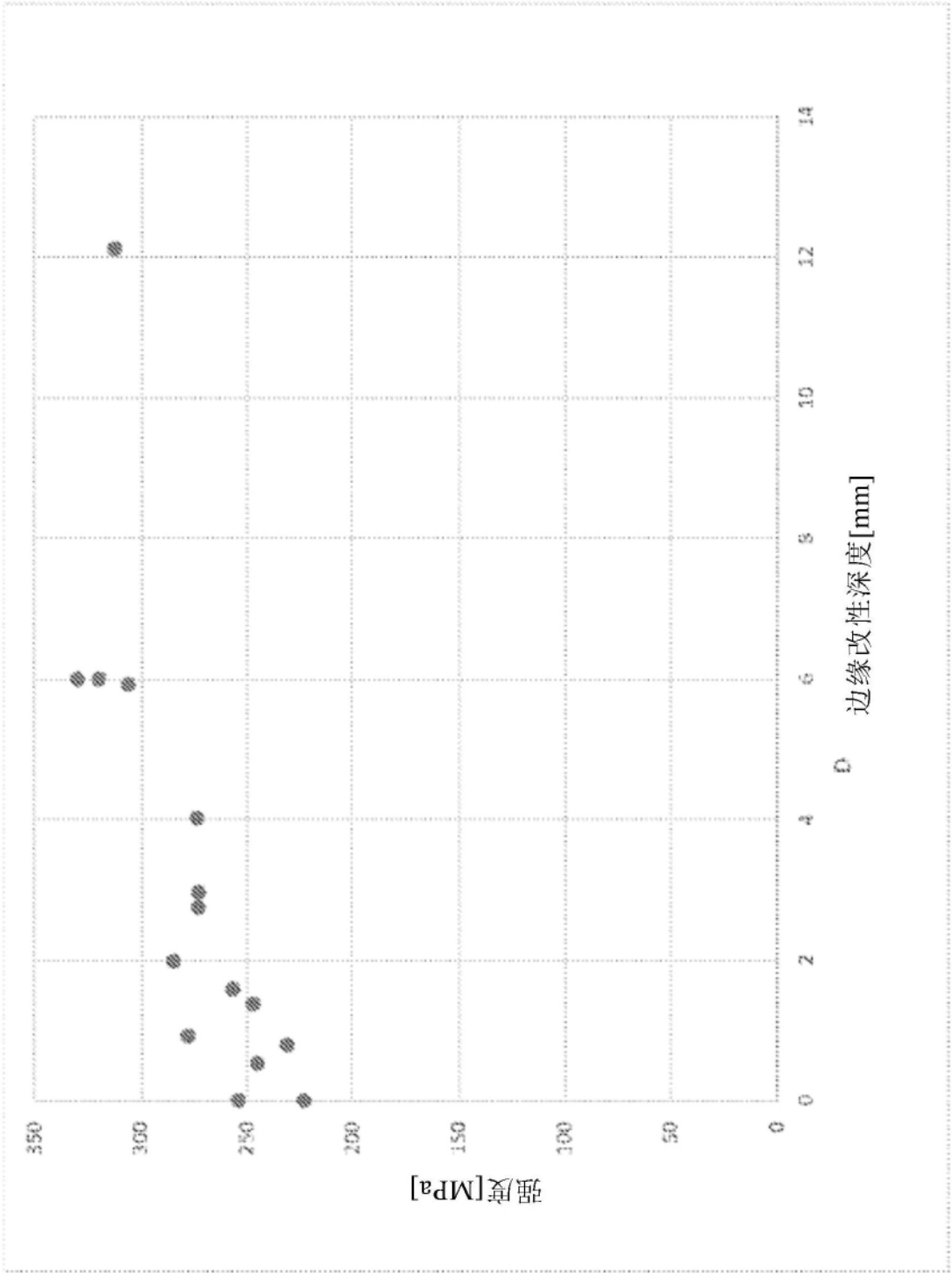


图10

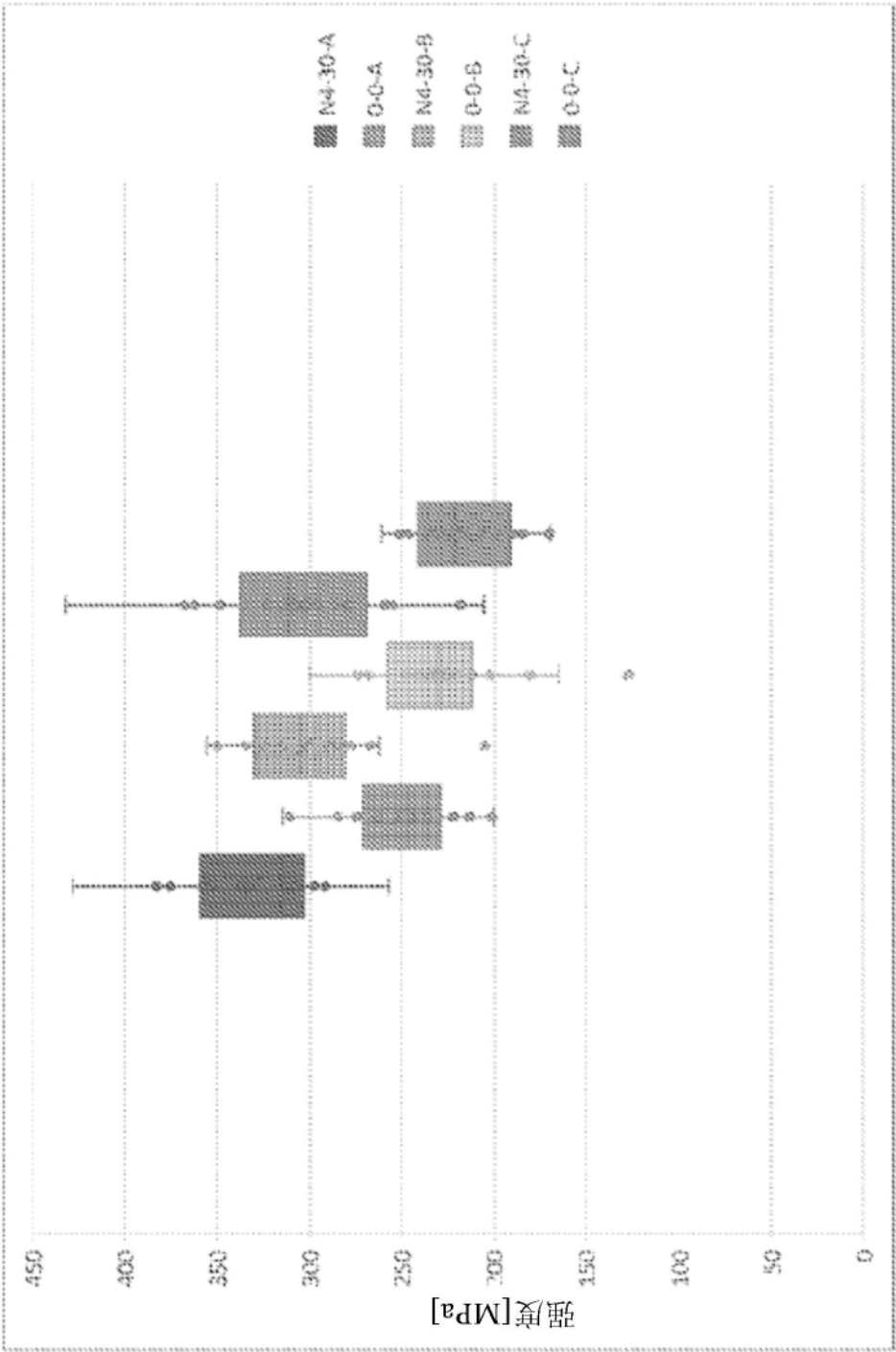


图11



图12

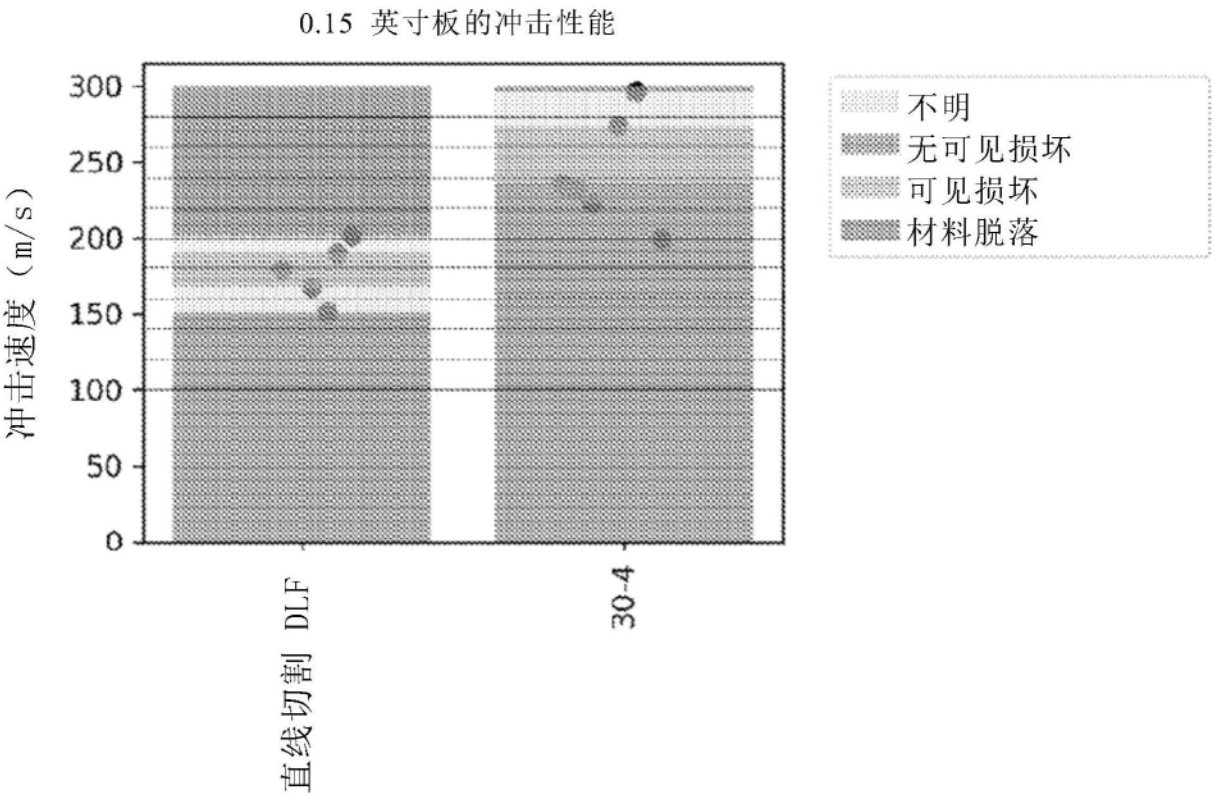


图13

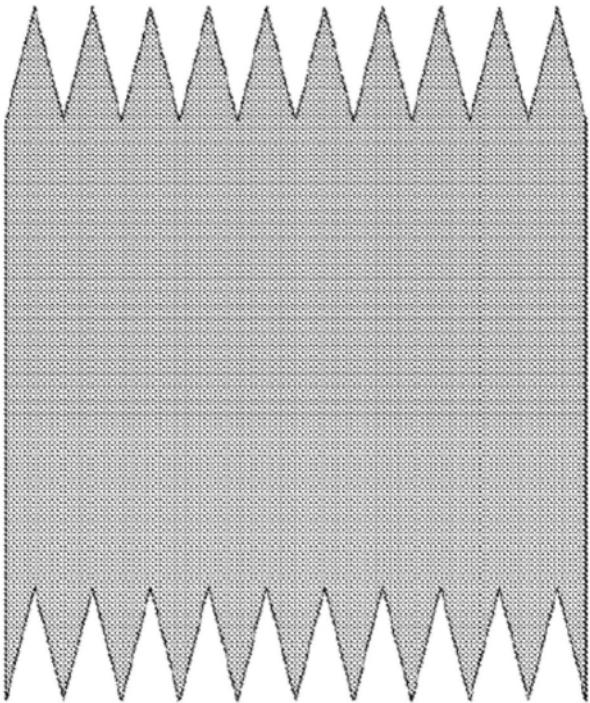


图14

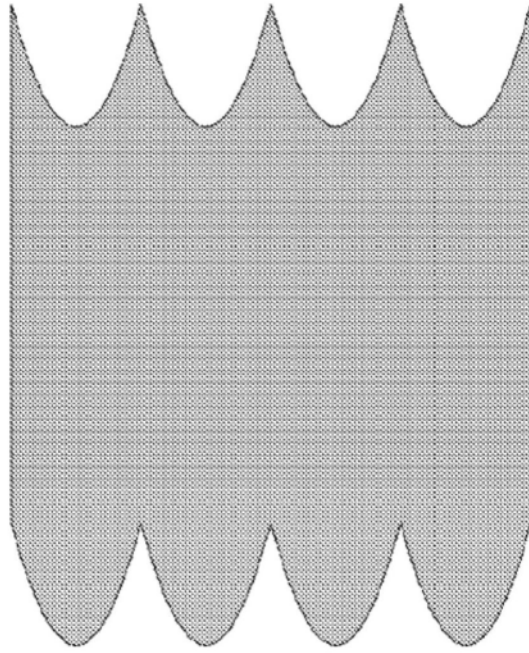


图15

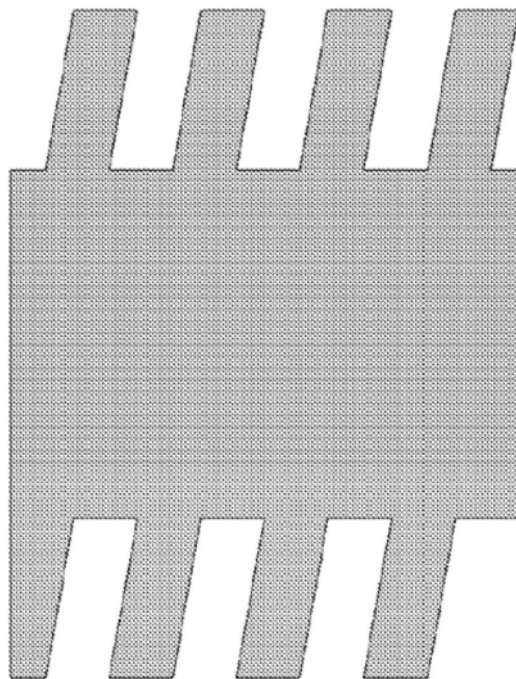


图16

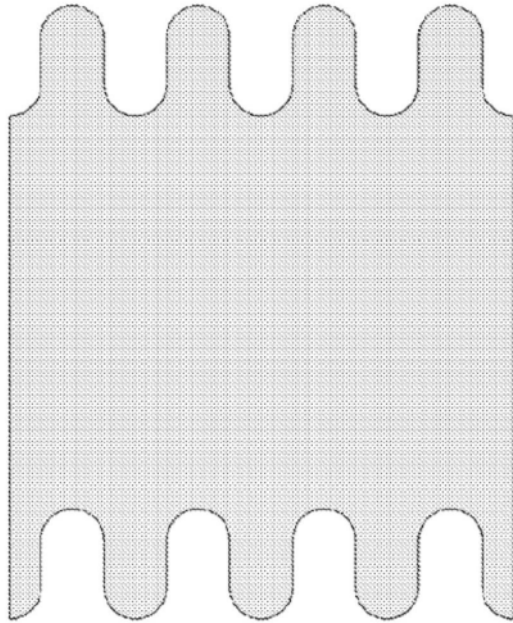


图17

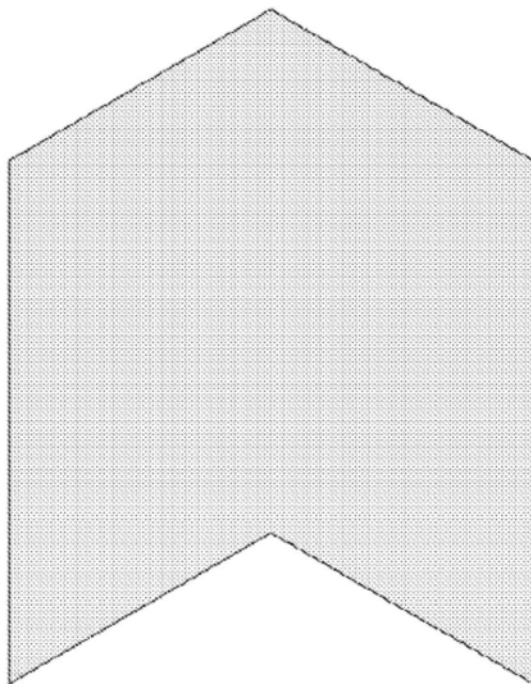


图18

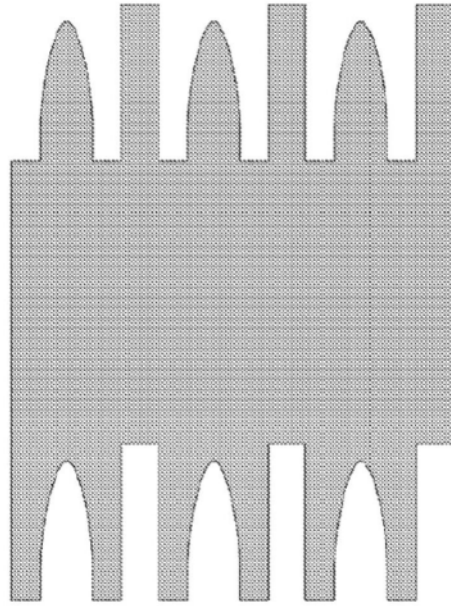


图19

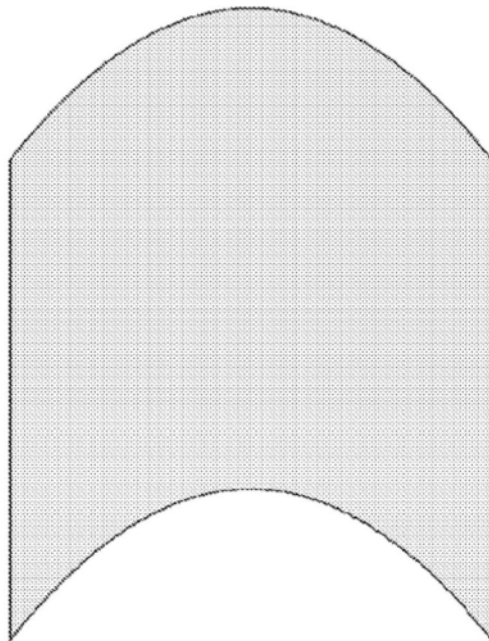


图20

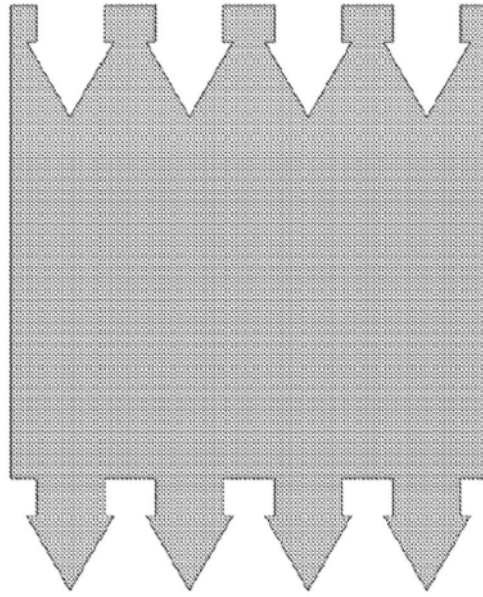


图21

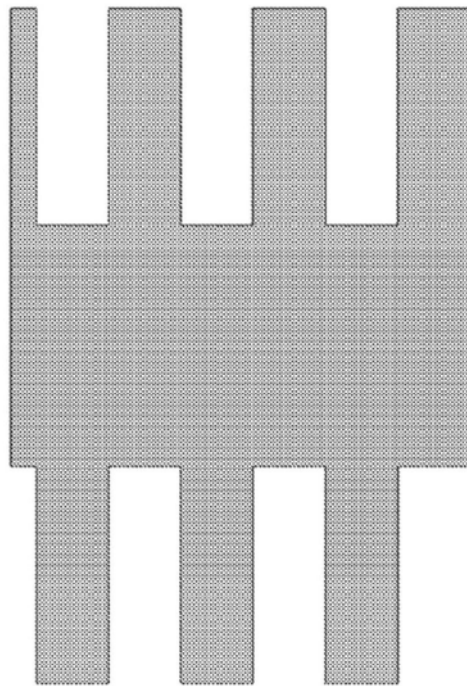


图22

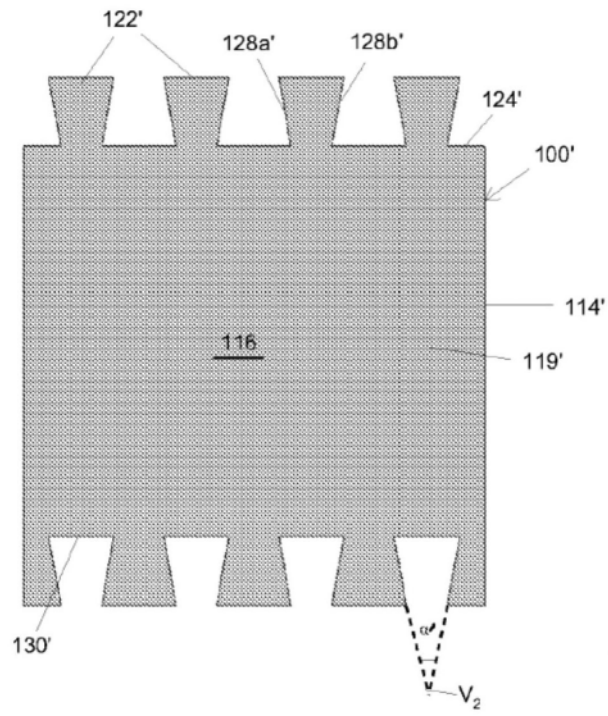


图23

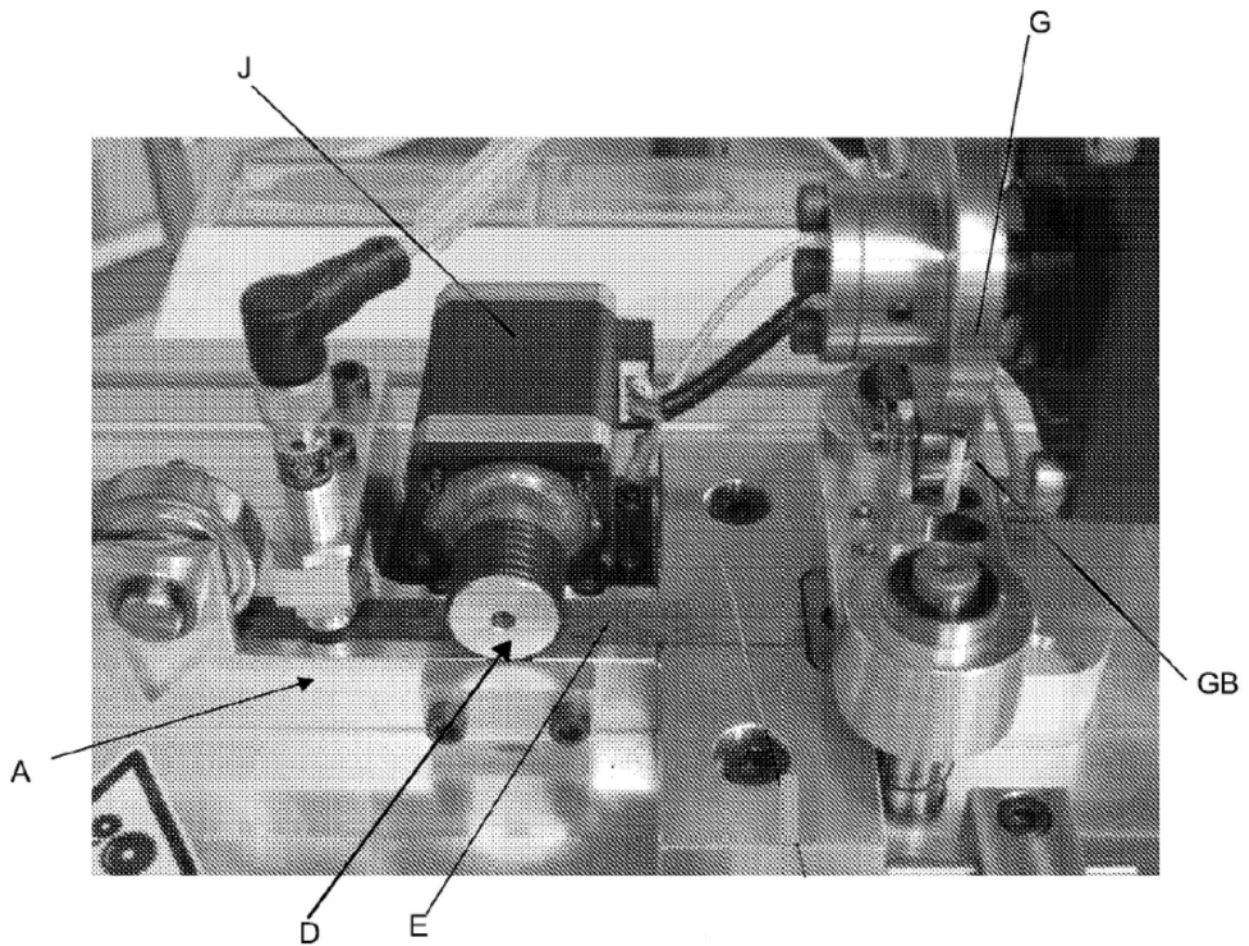


图24

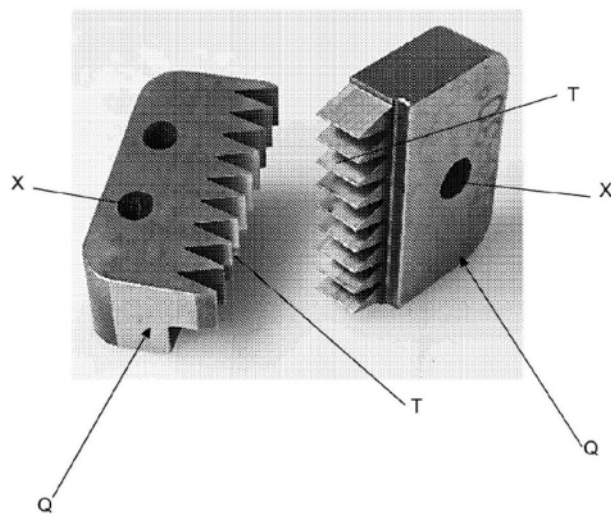


图24A

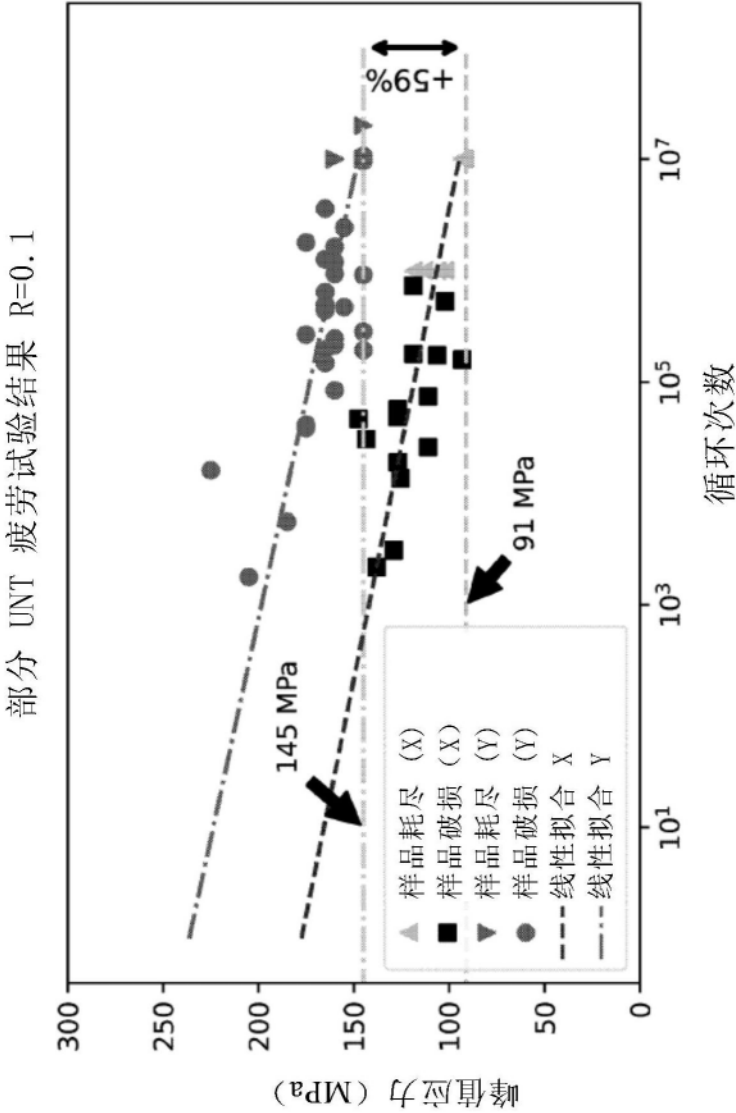


图25

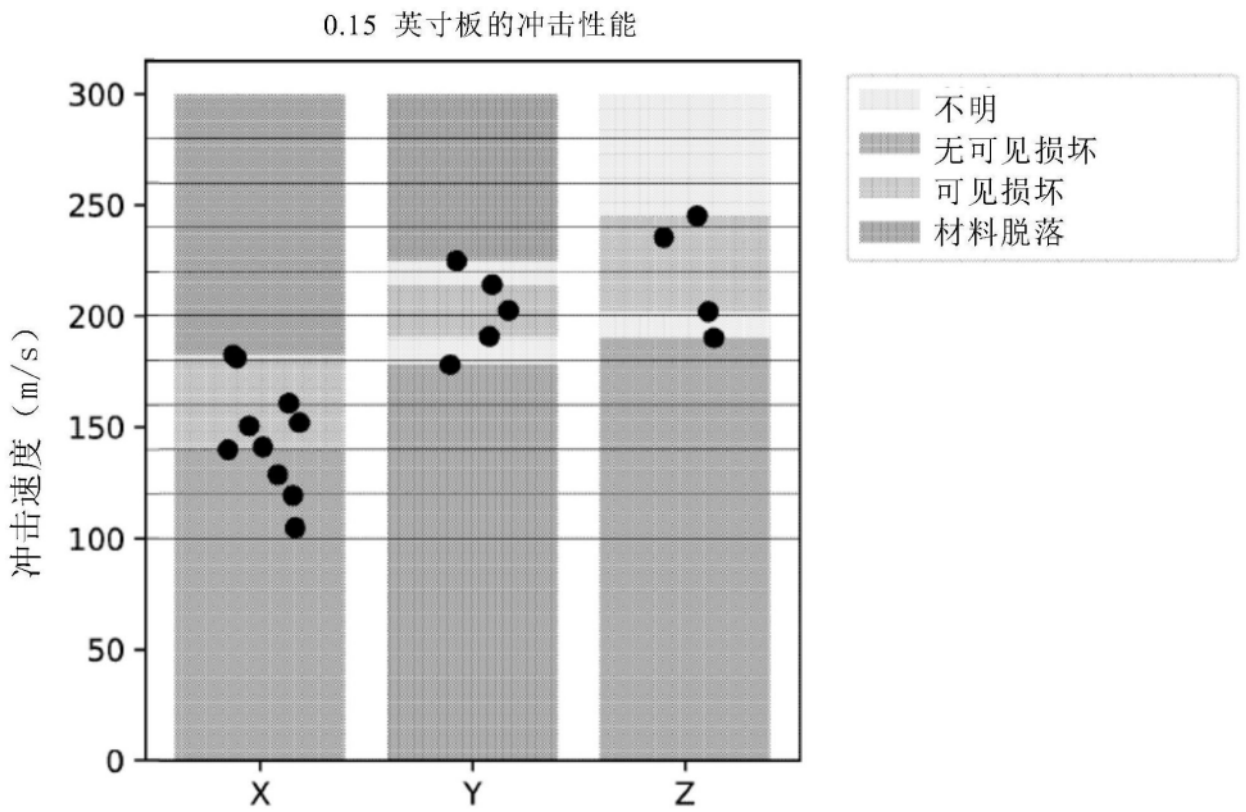


图26