



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111730877 A

(43)申请公布日 2020.10.02

(21)申请号 202010086486.0

(22)申请日 2020.02.11

(30)优先权数据

16/363,691 2019.03.25 US

(71)申请人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 B·A·约翰逊 S·高斯

K·F·马利克

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 董志勇

(51)Int.Cl.

B29C 70/34(2006.01)

B29C 70/38(2006.01)

权利要求书3页 说明书60页 附图16页

(54)发明名称

自动化纤维铺放系统和方法以及由其生产的物品

(57)摘要

本发明的名称是自动化纤维铺放系统和方法以及由其生产的物品。自动化纤维铺放方法(300)包括将第一数量的脉冲能量(122)输送到至少一个纤维增强的带条(104)的第一不连续部分(124),和将第二数量的脉冲能量(123)输送到至少一个纤维增强的带条(104)的第二不连续部分(125),其中第二不连续部分(125)与第一不连续部分(124)交替。第一数量的脉冲能量(122)将第一不连续部分(124)加热到第一温度。第二数量的脉冲能量(123)将第二不连续部分(125)加热到第二温度。自动化纤维铺放方法(300)还包括:沿虚拟曲线路径(128)在衬底(116)上铺设至少一个纤维增强的带条(104),使得(i)至少一个纤维增强的带条(104)在虚拟曲线路径(128)上居中,和(ii)第一不连续部分(124)被转化成在几何结构上不同于第一不连续部分(124)的不连续带区域(148)。

1. 一种自动化纤维铺放系统(100),其包括:

分配器(102),其配置为分配至少一个纤维增强的带条(104),和其中:

所述至少一个纤维增强的带条(104)包括第一纵向带边缘(106)和第二纵向带边缘(108),其中所述第二纵向带边缘(108)平行于所述第一纵向带边缘(106)并且与所述第一纵向带边缘(106)间隔开带条宽度(110);和

所述至少一个纤维增强的带条(104)包括树脂带基体(130)和嵌入在所述树脂带基体(130)中的单向增强纤维(132);

压实器(112),其配置为接收来自所述压实器(112)的前侧(114)的所述至少一个纤维增强的带条(104),并且将所述至少一个纤维增强的带条(104)压实在衬底(116)上;

转向机构(118),其配置为在相对于所述衬底(116)的二维或三维空间中的至少一个中操纵所述分配器(102)和所述压实器(112);

能量源(120),其配置为将第一数量的脉冲能量(122)和第二数量的脉冲能量(123)输送到所述压实器(112)的所述前侧(114),以分别将所述至少一个纤维增强的带条(104)的第一不连续部分(124)加热到第一温度,和将所述至少一个纤维增强的带条(104)的第二不连续部分(125)加热到第二温度,其中所述至少一个纤维增强带条(104)的第二不连续部分(125)与所述第一不连续部分(124)沿所述至少一个纤维增强的带条(104)交替;和

控制器(126),其被编程为控制来自所述分配器(102)的所述至少一个纤维增强的带条(104)的进给速率或者所述第一数量的脉冲能量(122)或所述第二数量的脉冲能量(123)中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个,以及还被编程为选择性地使所述转向机构(118)在所述衬底(116)上至少沿虚拟曲线路径(128)铺放所述至少一个纤维增强的带条(104),使得:

所述至少一个纤维增强的带条(104)在所述虚拟曲线路径(128)上居中;和

所述至少一个纤维增强的带条(104)的所述第一不连续部分(124)被转化成在几何结构上不同于所述第一不连续部分(124)的不连续带区域(148)。

2. 根据权利要求1所述的自动化纤维铺放系统(100),其中所述控制器(126)进一步被编程以选择性地使所述转向机构(118)转向所述至少一个纤维增强的带条(104)在所述衬底(116)上至少沿所述虚拟曲线路径(128)的铺放,以便:

所述虚拟曲线路径(128)包括弧(156),其具有从垂直于所述虚拟曲线路径(128)并与所述第一纵向带边缘(106)和所述第二纵向带边缘(108)相交的虚拟线(138)上的虚拟点(136)测量的半径(134);

所述带条宽度(110)与所述半径(134)的比等于或大于0.003;

在每个所述不连续带区域(148)内,所述单向增强纤维(132)中最靠近所述第一纵向带边缘(106)的一个比所述单向增强纤维(132)中最靠近所述第二纵向带边缘(108)的另一个更弯曲;和

弯曲的所述单向增强纤维(132)中的一些平行于所述衬底(116)。

3. 根据权利要求2所述的自动化纤维铺放系统(100),其中所述控制器(126)进一步被编程以选择性地使所述转向机构(118)转向所述至少一个纤维增强的带条(104)在所述衬底(116)上至少沿所述虚拟曲线路径(128)的铺放,使得所述弧(156)的弧长度(154)等于或大于所述半径(134)和 $\pi/64$ 的乘积。

4. 一种自动化纤维铺放方法(300),其包括以下步骤:

将第一数量的脉冲能量(122)输送到至少一个纤维增强的带条(104)的第一不连续部分(124);

将第二数量的脉冲能量(123)输送到至少一个纤维增强的带条(104)的第二不连续部分(125),所述第二不连续部分(125)与所述第一不连续部分(124)交替,和其中:

所述第一不连续部分(124)中的任何两个相邻部分通过所述第二不连续部分(125)中的一个彼此隔开;

所述第一数量的脉冲能量(122)将所述至少一个纤维增强的带条(104)的所述第一不连续部分(124)加热到第一温度;

所述第二数量的脉冲能量(123)将所述至少一个纤维增强的带条(104)的所述第二不连续部分(125)加热到第二温度;

所述至少一个纤维增强的带(104)包括第一纵向带边缘(106)和第二纵向带边缘(108),其中所述第二纵向带边缘(108)平行于所述第一纵向带边缘(106)并且与所述第一纵向带边缘(106)间隔开带条宽度(110);和

所述至少一个纤维增强的带条(104)包括树脂带基体(130)和嵌入在所述树脂带基体(130)中的单向增强纤维(132);和

沿虚拟曲线路径(128)在衬底(116)上铺设所述至少一个纤维增强的带条(104),使得:

所述至少一个纤维增强的带条(104)在所述虚拟曲线路径(128)上居中;和

所述至少一个纤维增强的带条(104)的所述第一不连续部分(124)被转化成在几何结构上不同于所述第一不连续部分(124)的不连续带区域(148)。

5. 根据权利要求4所述的自动化纤维铺放方法(300),其中:

所述虚拟曲线路径(128)包括弧(156),其具有从垂直于所述虚拟曲线路径(128)并与所述第一纵向带边缘(106)和所述第二纵向带边缘(108)相交的虚拟线(138)上的虚拟点(136)测量的半径(134);

所述带条宽度(110)与所述半径(134)的比等于或大于0.003;

在每个所述不连续带区域(148)内,所述单向增强纤维(132)中最靠近所述第一纵向带边缘(106)的一个比所述单向增强纤维(132)中最靠近所述第二纵向带边缘(108)的另一个更弯曲;和

弯曲的所述单向增强纤维(132)中的一些平行于所述衬底(116)。

6. 根据权利要求5所述的自动化纤维铺放方法(300),其中:

将所述第一数量的脉冲能量(122)输送到所述至少一个纤维增强的带条(104)的所述第一不连续部分(124)的步骤包括将所述至少一个纤维增强的带条(104)的所述第一不连续部分(124)内的第一阵列位置加热到比所述至少一个纤维增强的带条(104)的所述第一不连续部分(124)内的第二阵列位置更高的温度;和

所述第一阵列位置中的位置比所述第二阵列位置中的位置更靠近所述虚拟点(136)。

7. 根据权利要求5所述的自动化纤维铺放方法(300),其中:

所述至少一个纤维增强的带条(104)是多个纤维增强的带条;

沿所述虚拟曲线路径(128)在所述衬底(116)上铺设所述至少一个纤维增强的带条(104)的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设所述多个纤维增强的带条;

将所述第一数量的脉冲能量(122)输送到所述至少一个纤维增强的带条(104)的所述第一不连续部分(124)的步骤包括将所述多个纤维增强的带条的第一子组的所述第一不连续部分(124)加热到比所述多个纤维增强的带条的第二子组的所述第一不连续部分(124)更高的温度;和

所述多个纤维增强的带条的第二子组的条带比所述多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离所述虚拟点(136)。

8. 根据权利要求7所述的自动化纤维铺放方法(300),进一步包括以下步骤:

在输送所述第一数量的脉冲能量(122)后,检测所述多个纤维增强的条带中的每个的所述第一不连续部分(124)的性质;和

响应于所述多个纤维增强的带条中的每个的所述第一不连续部分(124)的性质,控制所述第一数量的脉冲能量(122)或沿所述虚拟曲线路径(128)在所述衬底(116)上铺设(304)所述至少一个纤维增强的带条(104)的速率中的至少一个。

9. 根据权利要求4至8中任一项所述的自动化纤维铺放方法(300),其中,沿所述虚拟曲线路径(128)在所述衬底(116)上铺设所述至少一个纤维增强的带条(104)的步骤导致所述第二不连续部分(125)成为中间带区域(150),其通过所述不连续带区域(148)彼此隔开。

10. 根据权利要求4至8中任一项所述的自动化纤维铺放方法(300),进一步包括以下步骤:

在输送所述第一数量的脉冲能量(122)和输送所述第二数量的脉冲能量(123)后,检测所述至少一个纤维增强的带条(104)的性质;和

响应于所述至少一个纤维增强的带条(104)的性质,控制所述第一数量的脉冲能量(122)、所述第二数量的脉冲能量(123)、或沿所述虚拟曲线路径(128)在所述衬底(116)上铺设(304)所述至少一个纤维增强的带条(104)的速率中的至少一个。

## 自动化纤维铺放系统和方法以及由其生产的物品

### 技术领域

[0001] 本公开涉及自动化纤维铺放。

### 背景技术

[0002] 自动化纤维铺放 (AFP) ——也称为高级纤维铺放——是一种自动化过程,通过该过程,将预先浸渍有树脂的纤维束(预浸料束)由AFP机铺放并压紧在工具上。预浸料束通常为细长带的形式。预浸料束的增强纤维(如,碳纤维)具有高的刚度和高的拉伸强度,并因此不会拉伸或压缩。结果,预浸料束不能在不将预浸料束从工具或预浸料束放置在其上并压紧的其他表面上剥离的情况下在大阈值半径以下平面内弯曲。例如,在本领域中已知,当利用现有的AFP技术时,0.5英寸(13毫米)的预浸料束不能以小于大约300英寸(7.6米)的半径平面内弯曲。通常,将预浸料束轻微弯曲或以直的平行长度铺放以构成一个层片,然后与另外层片以相对于第一层片成 $+45^\circ$ 、 $-45^\circ$ 和 $90^\circ$ 的角度层叠(layered)。

### 发明内容

[0003] 因此,旨在解决至少上述问题的装置和方法将找到实用性。

[0004] 以下是本文所公开主题的实例的非穷举性列举,其可以被要求保护或可以不被要求保护。

[0005] 本文所公开的主题的一个实例涉及自动纤维铺放系统。自动纤维铺放系统包括分配器、压实器、转向机构、能量源和控制器。分配器配置为分配至少一个纤维增强的带条。至少一个纤维增强的带条包括第一纵向带边缘和第二纵向带边缘,其中第二纵向带边缘平行于第一纵向带边缘并且与第一纵向带边缘间隔开带条宽度。至少一个纤维增强的带条包括树脂带基体和嵌入在树脂带基体中的单向增强纤维。压实器配置为接收来自压实器的前侧的至少一个纤维增强的带条,并且将至少一个纤维增强的带条压实在衬底上。转向机构配置为在相对于衬底的二维或三维空间中的至少一个中操纵分配器和压实器。能量源配置为将第一数量的脉冲能量和第二数量的脉冲能量输送到压实器的前侧,以分别将至少一个纤维增强的带条的第一不连续部分加热到第一温度,和将至少一个纤维增强的带条的第二不连续部分加热到第二温度,其中至少一个纤维增强带条的第二不连续部分与第一不连续部分沿至少一个纤维增强带条交替。控制器被编程为控制来自分配器的至少一个纤维增强的带条的进给速率或者第一数量的脉冲能量或第二数量的脉冲能量中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。控制器还被编程为选择性地使转向机构在衬底上至少沿虚拟曲线路径铺放至少一个纤维增强的带条,使得(i)至少一个纤维增强的带条在虚拟曲线路径上居中,和(ii)至少一个纤维增强的带条的第一不连续部分被转化成在几何结构上不同于第一不连续部分的不连续带区域。

[0006] 将第一数量的脉冲能量和第二数量的脉冲能量输送到纤维增强的带条的交替的不连续部分,导致产生与第一不连续部分相对应的间隔开的不连续带区域。因此,当控制器使转向机构沿虚拟曲线路径铺放纤维增强的带条时,彼此间隔开的第一不连续部分在几何

结构上转化成不连续带区域。重要的是,如本文所讨论,第一数量的脉冲能量可以由控制器控制,使得即使当虚拟曲线路径具有紧凑的半径时,压实的纤维增强的带条也不会从衬底剥离。因此,自动化纤维铺放系统可用于构造具有比以前可能的更复杂的表面轮廓的纤维增强复合结构。此外,自动化纤维铺放系统可用于制造复合部件,其中单向增强纤维在整个复合部件中以所需和/或预定方向取向,诸如限定利用标准的 $0^{\circ}$ 、 $+45^{\circ}$ 、 $-45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 叠层技术不可能的复合部件的所需性能。

[0007] 本文公开的主题的另一实例涉及自动化纤维铺放系统。自动化纤维铺放系统包括分配器、压实器、转向机构、能量源和控制器。分配器配置成分配至少一个纤维增强的带条。至少一个纤维增强的带条包括第一纵向带边缘和第二纵向带边缘,其中第二纵向带边缘与第一纵向带边缘平行并且与第一纵向带边缘间隔开带条宽度。至少一个纤维增强的带条包括树脂带基体和嵌入在树脂带基体中的单向增强纤维。压实器配置为接收来自压实器的前侧的至少一个纤维增强的带条,并且将至少一个纤维增强的带条压实在衬底上。转向机构配置为在相对于衬底的二维或三维空间中的至少一个中操纵分配器和压实器。能量源配置为将第一数量的脉冲能量和第二数量的脉冲能量输送到压实器的前侧,以分别加热至少一个纤维增强的带条的第一部分和至少一个纤维增强的带条的第二部分,其中沿至少一个纤维增强的带条,至少一个纤维增强的带条的第二部分与第一部分交替。至少一个纤维增强的带条的第二部分中的每一个至少部分地与至少一个纤维增强的带条的第一部分中的两个相邻部分重叠,使得第一部分和第二部分的重叠区域具有高于第一部分和第二部分的非重叠区域的温度。控制器被编程为控制来自分配器的至少一个纤维增强的带条的进给速率或者第一数量的脉冲能量或第二数量的脉冲能量中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。控制器还被编程为选择性地使转向机构在衬底上至少沿虚拟曲线路径铺放至少一个纤维增强的带条,使得(i)至少一个纤维增强的带条在虚拟曲线路径上居中,和(ii)至少一个纤维增强的带条的重叠区域被转化成在几何结构上不同于重叠区域的不连续带区域。

[0008] 通过用第一部分和第二部分产生重叠区域,第一数量的脉冲能量和第二数量的脉冲能量累积在重叠区域,导致重叠区域的温度高于非重叠区域的温度。因此,当控制器使转向机构沿虚拟曲线路径铺放纤维增强的带条时,彼此间隔开的重叠区域在几何结构上转化成不连续带区域。而且,由于可以通过控制器来控制第一数量的脉冲能量和第二数量的脉冲能量的脉冲持续时间,因此可以精确地控制重叠区域的间隔和宽度,诸如根据虚拟曲线路径的半径来改变。实际上,在一个或多个实例中,当控制转向机构以沿虚拟直线路径铺放纤维增强的带条时,可以消除重叠区域。重要的是,第一数量和第二数量的脉冲能量可以由控制器控制,以便即使当虚拟曲线路径具有紧凑的半径时,压实的纤维增强的带条也不会从衬底剥离。因此,自动化纤维铺放系统可用于构造具有比以前可能的更复杂的表面轮廓的纤维增强复合结构。此外,自动化纤维铺放系统可用于制造复合部件,其中单向增强纤维在整个复合部件中以所需和/或预定方向取向,诸如限定利用标准的 $0^{\circ}$ 、 $+45^{\circ}$ 、 $-45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 叠层技术不可能的复合部件的所需性能。

[0009] 本文公开的主题的另一个实例涉及制造的物品。制造的物品包括条带,条带包括第一纵向条带边缘和第二纵向条带边缘,其中第二纵向条带边缘平行于第一纵向条带边缘并且与第一纵向条带边缘间隔开条带宽度。条带沿虚拟曲线路径延伸并居中,该虚拟曲线

路径包括具有弧长度和半径的弧。从垂直于虚拟曲线路径并与第一纵向条带边缘和第二纵向条带边缘相交的虚拟线上的虚拟点测量半径。条带宽度与半径的比大于或等于0.003。弧长度等于或大于半径与 $\pi/64$ 的乘积。条带包括树脂条带基体和嵌入树脂条带基体中并沿虚拟曲线路径延伸的单向增强纤维。第一纵向条带边缘比第二纵向条带边缘更靠近虚拟点。条带进一步包括沿虚拟曲线路径间隔开的不连续条带区域。在每个不连续条带区域内,单向增强纤维中的最接近第一纵向条带边缘的一个比单向增强纤维中的最接近第二纵向条带边缘的另一个更弯曲(buckled)。弯曲的多个单向增强纤维中的单向增强纤维平行于虚拟表面中的最小虚拟表面,其连接第一纵向条带边缘和第二纵向条带边缘。

[0010] 可以通过根据本公开的自动化纤维铺放系统或根据本公开的自动纤维铺放方法构造的制造的物品先前不能用AFP机器制造。具体地说,条带宽度与半径之比等于或大于0.003,比使用传统AFP机器可能的更紧密,而预浸料束不会从其衬底上剥离。通过相比第二纵向条带边缘,使更靠近第一纵向条带边缘的单向增强纤维更弯曲,第一纵向条带边缘可以具有比第二纵向条带边缘更紧凑的曲线,这对于最终变成条带的纤维增强的带条(如,预浸料束)是必要的,使其在阈值曲率以下按照虚拟曲线路径,而不会从其铺放和压实的衬底上剥离。通过平行于虚拟表面中的最小虚拟表面——其连接第一纵向条带边缘和第二纵向条带边缘——弯曲,单向增强纤维不会产生内部应力,否则会导致纤维增强的带条使得条带从其放置并压实的衬底上剥离下来。

[0011] 本文公开的主题的另一实例涉及自动化纤维铺放方法。自动化纤维铺放方法包括将第一数量的脉冲能量输送到至少一个纤维增强的带条的第一不连续部分。自动化纤维铺放方法还包括将第二数量的脉冲能量输送到至少一个纤维增强的带条的第二不连续部分,其中第二不连续部分与第一不连续部分交替。第一不连续部分中的任何两个相邻部分通过第二不连续部分中的一个彼此隔开。第一数量的脉冲能量将至少一个纤维增强的带条的第一不连续部分加热到第一温度。第二数量的脉冲能量将至少一个纤维增强的带条的第二不连续部分加热到第二温度。至少一个纤维增强的带包括第一纵向带边缘和第二纵向带边缘,其中第二纵向带边缘平行于第一纵向带边缘并且与第一纵向带边缘间隔开带条宽度。至少一个纤维增强的带条包括树脂带基体和嵌入在树脂带基体中的单向增强纤维。自动化纤维铺放方法还包括:沿虚拟曲线路径在衬底上铺设至少一个纤维增强的带条,使得(i)至少一个纤维增强的带条在虚拟曲线路径上居中,和(ii)至少一个纤维增强的带条的第一不连续部分被转化成在几何结构上不同于第一不连续部分的不连续带区域。

[0012] 将第一数量的脉冲能量和第二数量的脉冲能量输送到纤维增强的带条的交替的不连续部分,导致产生与第一不连续部分相对应的间隔开的不连续带区域。因此,当沿虚拟曲线路径在衬底上铺设纤维增强的带条时,彼此间隔开的第一不连续部分在几何结构上转化成不连续带区域。重要的是,可以控制第一数量的脉冲能量,使得即使当虚拟曲线路径具有紧凑的半径时,铺放的纤维增强的带条也不会从衬底剥离。因此,自动化纤维铺放方法可以被实施以构造具有比以前可能的更复杂的表面轮廓的纤维增强复合结构。此外,自动化纤维铺放方法可以被实施以制造复合部件,其中单向增强纤维在整个复合部件中以所需和/或预定方向取向,诸如限定利用标准的 $0^\circ$ 、 $+45^\circ$ 、 $-45^\circ$ 和 $90^\circ$ 叠层技术不可能的复合部件的所需性能。

[0013] 本文公开的主题的另一实例涉及一种自动化纤维铺放方法。自动化纤维铺放方法

包括将第一数量的脉冲能量输送到至少一个纤维增强的带条的第一部分。自动化纤维铺放方法还包括将第二数量的脉冲能量输送到至少一个纤维增强的带条的第二部分,其中第二部分与第一部分交替。至少一个纤维增强的带条的第二部分中的每一个至少部分地与至少一个纤维增强的带条的第一部分中的两个相邻部分重叠,使得第一部分和第二部分的重叠区域具有高于第一部分和第二部分的非重叠区域的温度。至少一个纤维增强的带条包括第一纵向带边缘和第二纵向带边缘,其中第二纵向带边缘平行于第一纵向带边缘并且与第一纵向带边缘间隔开带条宽度。至少一个纤维增强的带条包括树脂带基体和嵌入在树脂带基体中的单向增强纤维。自动化纤维铺放方法还包括:沿虚拟曲线路径在衬底上铺设至少一个纤维增强的带条,使得(i)至少一个纤维增强的带条在虚拟曲线路径上居中,和(ii)至少一个纤维增强的带条的重叠区域被转化成在几何结构上不同于重叠区域的不连续带区域。

[0014] 通过用第一部分和第二部分产生重叠区域,第一数量的脉冲能量和第二数量的脉冲能量累积在重叠区域,导致重叠区域的温度高于非重叠区域的温度。因此,当沿虚拟曲线路径铺设纤维增强的带条时,彼此间隔开的重叠区域在几何结构上转化成不连续带区域。重要的是,可以控制第一数量和第二数量的脉冲能量,以便即使当虚拟曲线路径具有紧凑的半径时,铺放的纤维增强的带条也不会从衬底剥离。因此,自动化纤维铺放方法可被实施以构造具有比以前可能的更复杂的表面轮廓的纤维增强复合结构。此外,自动化纤维铺放方法可被实施以制造复合部件,其中单向增强纤维在整个复合部件中以所需和/或预定方向取向,诸如限定利用标准的 $0^{\circ}$ 、 $+45^{\circ}$ 、 $-45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 叠层技术不可能的复合部件的所需性能。

## 附图说明

[0015] 因此,已经以一般术语描述了本公开的一个或多个实例,现在将参考附图,这些附图不必按比例绘制,并且其中,贯穿若干视图,相同的附图标记表示相同或相似的部件,并且其中:

[0016] 图1是根据本公开的一个或多个实例的,自动化纤维铺放系统的框图;

[0017] 图2是根据本公开的一个或多个实例的,图1的系统的示意性侧视图;

[0018] 图3是根据本公开的一个或多个实例的,诸如通过图1的系统或根据图14或图15的方法铺设的,沿虚拟曲线路径和虚拟直线路径铺放的纤维增强的带条的示意性平面图;

[0019] 图4是根据本公开的一个或多个实例的,诸如通过图1的系统或根据图14或图15的方法铺设的,沿虚拟曲线路径和虚拟直线路径铺放的纤维增强的带条的另一示意性平面图;

[0020] 图5是根据本公开的一个或多个实例的,诸如通过图1的系统或根据图14或图15的方法铺设的,沿虚拟曲线路径以连续条带的平行阵列铺放的多个纤维增强的带条的示意性平面图;

[0021] 图6是根据本公开的一个或多个实例的,显示诸如通过图1的系统或根据图14或图15的方法,在一段时间内向纤维增强的带条输送的第一和第二数量的脉冲能量的示意图;

[0022] 图7是根据本公开的一个或多个实例的,显示诸如通过图1的系统或根据图14或图15的方法,在一段时间内以重叠的方式向纤维增强的带条输送的第一和第二数量的脉冲能量的示意图;

[0023] 图8是根据本公开的一个或多个实例的,制造的物品的方框图;

- [0024] 图9是根据本公开的一个或多个实例的,图8的制造的物品的示意性平面图;
- [0025] 图10是根据本公开的一个或多个实例的,图8的制造的物品的另一示意性平面图;
- [0026] 图11是根据本公开的一个或多个实例的,显示诸如通过图1的系统或根据图14或图15的方法,沿虚拟曲线路径以连续条带的平行阵列铺放的多个纤维增强的带条的图8的制造的物品的细节的透视照片;
- [0027] 图12是根据本公开的一个或多个实例的,诸如通过图1的系统或根据图14或图15的方法,叠层心轴和在叠层心轴上构建的图8的制造的物品的示意性透视图;
- [0028] 图13是根据本公开的一个或多个实例的,诸如通过图1的系统或根据图14或图15的方法,叠层心轴和在叠层心轴上构建的图12的制造的物品的示意性前视图;
- [0029] 图14是根据本公开的一个或多个实例的,利用图1的系统的,自动化纤维铺放方法的框图;
- [0030] 图15是根据本公开的一个或多个实例的,利用图1的系统的,自动化纤维铺放方法的另一框图;
- [0031] 图16是飞行器生产和服务方法的方框图;和
- [0032] 图17是飞行器的示意性图解。

### 具体实施方式

[0033] 在图1和8中,参考上述,连接不同的元件和/或组件的实线,若有的话,可以代表机械的、电的、流体的、光学的、电磁的和/或其它连接和/或其组合。如本文所使用,“连接的”意思是直接地以及间接地相关联。例如,构件A可以直接地与构件B相关联,或者可以间接地与其相关联,如,经由另一个构件C。应当理解不一定展示各种公开的元件之间的所有关系。因此,也可能存在除了示意图中描绘的那些之外的连接。连接标明不同元件和/或组件的方框的虚线,若有的话,代表与由实线代表的那些在功能上和目的上相似的连接;然而,由虚线代表的连接可以选择性地提供或者可以涉及本公开的可选的实例。同样地,用虚线代表的元件和/或组件,若有的话,指示本公开的可选实例。以实线和/或虚线示出的一个或多个元件在具体的实例中可以省略而不背离本公开的范围。环境元件,若有的话,用点划线表示。为了清楚,也可以示出虚拟(假想)元件。本领域技术人员将理解,图1和8中图解的一些特征可以以不同的方式组合而不需要包括图1和8、其它附图、和/或相关公开内容中描述的其它特征,即使这样的一种或多种组合在本文中并没有明确地阐明。同样地,不限于所呈现的实例的另外的特征可以与本文示出和描述的一些或所有的特征组合。

[0034] 在图14-16中,参考上述,方框可以代表操作和/或其部分并且连接不同的方框的线不暗示操作或其部分的任何具体的顺序或从属关系。由虚线表示的方框指示可选择的操作和/或其部分。连接不同的方框的虚线,若有的话,代表操作或其部分的可选的从属关系。应当理解,不一定展示各种公开的操作之间的所有的从属关系。图14-16和本文中陈述的描述方法(一种或多种)的操作的相关公开内容不应当被解释为必然地确定操作被执行的顺序。而是,虽然指示了一种示例性的顺序,但是应当理解,操作的顺序可以在适合的时候被改进。因此,可以以不同的顺序或者同时执行某些操作。另外地,本领域技术人员将理解,不是所有描述的操作都需要被执行。

[0035] 在下面的描述中,陈述了许多具体的细节以提供公开的概念的完全理解,其可以

在没有一些或所有这些详情的情况下实施。在其它情况下,已知的设备和/或过程的细节已经被省略以避免不必要地使本公开内容变得模糊。虽然一些概念将连同具体的实例一起被描述,但应当理解,这些实例不意欲是限制性的。

[0036] 除非另有指示,术语“第一”、“第二”等在本文中仅被用作标示,并非意欲将顺序、位置或等级要求强加在这些术语所涉及的项目上。而且,提及,如,“第二”项目不要求或排除如“第一”或更小数目的项目和/或如“第三”或更大数目的项目的存在。

[0037] 在本文中,提及“一个实例”意思是与该实例相关描述的一个或多个特征、结构或特性被包括在至少一个实施中。在说明书中不同地方的短语“一个实例”可以指或可以不指相同的实施例。

[0038] 如本文所使用,“配置为”执行规定的功能的系统、设备、结构、物品、元件、组件或硬件确实能够在不进行任何改变的情况下执行规定的功能,而不是仅仅在进一步改进之后具有执行规定的功能的可能。换句话说,“配置为”执行规定的功能的系统、设备、结构、物品、元件、组件或硬件被具体的选择、创建、实施、利用、编程和/或设计,用于执行规定的功能的目的。如本文所使用,“配置为”指的是系统、设备、结构、物品、元件、组件或硬件的现有特性,其能够使系统、设备、结构、物品、元件、组件或硬件执行规定的功能,而不需要进一步的改进。为了本公开的目的,描述为“配置为”执行具体功能的系统、设备、结构、物品、元件、组件或硬件可以另外地或可选地被描述为“适于”执行所述功能和/或描述为“可操作以”执行所述功能。

[0039] 下面提供了根据本公开的主题的示例性的、非穷举性的实例,其可以被要求保护或可以不被要求保护。

[0040] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-6和11,自动化纤维铺放系统100包括分配器102、压实器112、转向机构118、能量源120和控制器126。分配器102配置为分配至少一个纤维增强的带条104。至少一个纤维增强的带条104包括第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108,其中第二纵向带边缘108平行于第一纵向带边缘106并且与第一纵向带边缘106间隔开带条宽度110。至少一个纤维增强的带条104包括树脂带基体130和嵌入在树脂带基体130中的单向增强纤维132。压实器112配置为接收来自压实器112的前侧114的至少一个纤维增强的带条104,并且将至少一个纤维增强的带条104压实在衬底116上。转向机构118配置为在相对于衬底116的二维或三维空间中的至少一个中操纵分配器102和压实器112。能量源120配置为将第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123输送到压实器112的前侧114,以分别将至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124加热到第一温度,并将至少一个纤维增强的带条104的第二不连续部分125加热到第二温度,其中至少一个纤维增强带条104的第二不连续部分125与第一不连续部分124沿至少一个纤维增强带条104交替。控制器126被编程为控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。控制器126还被编程为选择性地使转向机构118在衬底上至少沿虚拟曲线路径128铺放至少一个纤维增强的带条104,使得(i)至少一个纤维增强的带条104在虚拟曲线路径128上居中,和(ii)至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124被转化成在几何结构上不同于第一不连续部分124的不连续带区域148。该段落的在先主题是本公开的实例1的特征。

[0041] 将第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量输送到纤维增强的带条104的交替的不连续部分,导致产生与第一不连续部分124相对应的间隔开的不连续带区域148。因此,当控制器126使转向机构118沿虚拟曲线路径128铺放纤维增强的带条104时,彼此间隔开的第一不连续部分124在几何结构上转化成不连续带区域148。重要的是,如本文所讨论,第一数量的脉冲能量122可以由控制器126控制,使得即使当虚拟曲线路径128具有紧凑的半径时,压实的纤维增强的带条104也不会从衬底116剥离。因此,自动化纤维铺放系统100可用于构造具有比以前可能的更复杂的表面轮廓的纤维增强复合结构。此外,自动化纤维铺放系统100可用于制造复合部件,其中单向增强纤维132在整个复合部件中以所需和/或预定方向取向,诸如限定利用标准的 $0^{\circ}$ 、 $+45^{\circ}$ 、 $-45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 叠层技术不可能的复合部件的所需性能。

[0042] 在一个或多个实例中,纤维增强的带条104是通常的预浸料束,诸如AFP机器常用的。合适的树脂带基体130的实例包括热固性和热塑性树脂,并且合适的单向增强纤维132的实例包括碳纤维、硼纤维和芳族聚酰胺纤维,但是也可以使用其他树脂和纤维。在图3和4中,示意性地示出了纤维增强的带条104,其中仅示出了两个单向增强纤维132,一个靠近第一纵向带边缘106,和一个靠近第二纵向带边缘108;然而,这出于说明目的,仅关于单向增强纤维132中的各个之间的潜在差异,如本文所讨论的。在一个或多个实例中,纤维增强的带条104实际上包括来自一个或多个纤维束的成千上万的单向增强纤维。

[0043] 在一个或多个实例中,分配器102包括纤维增强的带条104的供应或多个纤维增强的带条的供应,诸如以允许条带的平行阵列(或连续段(course))的分配、铺放和压实。

[0044] 在一个或多个实例中,压实器112包括压实辊或压实阻力表面,诸如通常并入AFP机器中。

[0045] 在一个或多个实例中,转向机构118是或包括机器人臂,其具有至少分配器102、压实器112和能量源120,形成安装在转向机构118上的末端执行器。在其他实例中,转向机构118是或包括打印驱动,诸如具有X-、Y-和Z-轴驱动,诸如,如果仅使用根据本公开的自动化纤维铺放系统构建平面复合结构。

[0046] 虚拟曲线路径128对应于纤维增强的带条104的纵轴或中线。如本文所使用,“虚拟”意思是具有实体的属性但不具有物理形式。例如,虚拟线是无形的或假想的线,而不是物理线,诸如对应于纤维增强带条104的边缘,并且如,其他物理和无形实体的位置和/或方向可以相对于其限定。

[0047] 衬底116是铺放并压实纤维增强的带条104的任何表面。因此,当铺放纤维增强的带条的第一层时,衬底116可以是诸如叠层心轴的工具,但是当铺放纤维增强的带条的后续层时,衬底116是先前铺放的纤维增强的带条的层。

[0048] 在一个或多个实例中,能量源120采用任何合适的形式,使得其基于纤维增强的带条104的材料性质输送合适的脉冲能量,以使第一和第二不连续部分具有合适的温度,从而允许对衬底116的合适粘附和压实,以及产生合适的温度以提供第一不连续部分124到不连续带区域148的转化。能量源120的实例包括氙气闪光灯/激光,例如以Heraeus Noblelight of Germany的HUMM3<sup>TM</sup>商标出售的。

[0049] 第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123的实例包括14千瓦的红外光,当以每秒一米的速度铺设四英寸(102毫米)的纤维增强的带条的连续段时,该红外光具有2

毫秒的脉冲持续时间和60赫兹的频率。图11是由自动化纤维铺放系统100沿具有16英寸(41厘米)的半径134的曲线路径128,利用该段落中叙述的实例参数铺放和压实的八个半英寸(13毫米)纤维增强的带条的四英寸(10.2厘米)连续段的实例部分的照片。在没有纤维增强的带条从衬底116剥离的情况下,实现了不连续带区域148的均匀分布,以及由此得到的制造的物品200的均匀(和期望的)完整性。

[0050] 在一个或多个实例中,控制器126包括适于、配置、设计、构造和/或编程以自动化控制本公开的自动化纤维铺放系统的至少部分的操作的任何合适的结构。在一个或多个实例中,控制器126包括电子控制器、专用控制器、专用控制器、计算机、处理器、逻辑装置和/或存储装置中的一个或多个,和/或是电子控制器、专用控制器、专用控制器、计算机、处理器、逻辑装置和/或存储装置。在一个或多个实例中,控制器126被编程为执行一种或多种算法以自动化控制根据本公开的自动化纤维铺放系统的操作。在一些这样的实例中,这样的算法基于和/或使控制器126指导自动化纤维铺放系统执行本文公开的方法300和500。在图2中,控制器126与自动化纤维铺放系统100的各个组成部分之间的通信示意性地由闪电符号表示。在一个或多个实例中,这种通信本质上是有线和/或无线的。

[0051] 一般地参考图1和具体地参考,如,图6,第二温度低于第一温度。该段落的在先主题是本公开的实例2的特征,其中实例2还包括以上根据实例1的主题。

[0052] 因此,可以选择第二温度以确保将第二不连续部分125加热至提供对衬底116合适的粘附和压实的温度,并且不会对第二不连续部分125的树脂带基体130造成损坏或不期望的影响。另外,因此,可以选择第一温度以不仅确保第一不连续部分124被加热到提供对衬底116合适的粘附和压实的温度,而且确保第一不连续部分124被加热到能够使第一不连续部分转化成不连续带区域148的温度。特别是,第一温度足够高,以允许即使由于纤维增强的带条104沿虚拟曲线路径128铺放而弯曲时,单向纤维132依然与衬底116平行(如,当衬底116是平面的时保持在平面内,或当衬底116是非平面的时保持在纤维增强的带条104的标称厚度内),而不是弯曲于平面外/远离衬底116。

[0053] 一般地参考图1和具体地参考,如,图6,第一不连续部分124和第二不连续部分125的尺寸相同,该段落的在先主题是本公开的实例3的特征,其中实例3还包括以上根据实例1或2的主题。

[0054] 使第一不连续部分124和第二不连续部分125尺寸相同能够使自动化纤维铺放系统100具有恒定速度,而无需复杂地控制能量源120。

[0055] 一般地参考图1和具体地参考,如,图6,第一不连续部分124小于第二不连续部分125。该段落的在先主题是本公开的实例4的特征,其中实例4还包括以上根据实例1或2的主题。

[0056] 通过使第一不连续部分124小于第二不连续部分125,由于第一不连续部分124至不连续带区域148的转化引起的纤维增强的带条104的材料性质的任何改变被最小化。即,通过使第二不连续部分125大于第一不连续部分124,以及由于第二不连续部分125不转化为不连续带区域148,纤维增强的带条104的期望的材料性质被保持。

[0057] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3、4和11,不连续带区域148在结构上不同于第一不连续部分124。该段落的在先主题是本公开的实例5的特征,其中实例5还包括以上根据实例1至4中任一项的主题。

[0058] 通过在结构上转化,其意味着不仅几何结构从第一不连续部分124变化到不连续带区域148,还意味着操纵第一不连续部分124内的单向增强纤维132,使得它们依然平行于衬底116,仍不保持跨越带条宽度110的树脂带基体130内彼此内的均匀平行关系。该结构转化能够使纤维增强的带条104沿虚拟曲线路径128铺放,而没有单向纤维132在纤维增强的带条104上赋予不期望的内部应力,单向纤维132在纤维增强的带条104上赋予不期望的内部应力将否则导致纤维增强的带条104从衬底116剥离。

[0059] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,以便虚拟曲线路径128包括弧156,其具有从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108相交的虚拟线138上的虚拟点136测量的半径134。另外,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003。在每个不连续带区域148内,单向增强纤维132中最靠近第一纵向带边缘106的一个比单向增强纤维132中最靠近第二纵向带边缘108的另一个更弯曲。弯曲的单向增强纤维132中一些平行于衬底116。该段落的在先主题是本公开的实例6的特征,其中实例6还包括以上根据实例1至5中任一项的主题。

[0060] 带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。通过与到第二纵向带边缘108相比,更靠近第一纵向带边缘106的单向增强纤维132更弯曲,第一纵向带边缘106可以具有比第二纵向带边缘108更紧凑的曲线,这对于纤维增强的带条104遵循阈值曲率以下的虚拟曲线路径128而不从衬底116剥离是必须的。通过平行于衬底116弯曲,单向增强纤维132不产生否则将引起纤维增强的带条104由衬底116剥离的内部应力。

[0061] 如本文所使用,当提及单向增强纤维132时,“弯曲(buckled)”是指相应的一个或多个增强纤维132具有在适当位置(in-place)和/或平行于衬底116的一个或多个曲线、折叠或起伏。换句话说,弯曲的单向增强纤维不是直的。

[0062] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例7的特征,其中实例7还包括以上根据实例6的主题。

[0063] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0064] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例8的特征,其中实例8还包括以上根据实例6的主题。

[0065] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0066] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例9的特征,其中实例9还包括以上根据实例6的主题。

[0067] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0068] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例10的特征,其中实例10还包括以上根据实例6的主题。

[0069] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0070] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例11的特征,其中实例11还包括以上根据实例6的主题。

[0071] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0072] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例12的特征,其中实例12还包括以上根据实例6的主题。

[0073] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0074] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例13的特征,其中实例13还包括以上根据实例6的主题。

[0075] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0076] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例14的特征,其中实例14还包括以上根据实例6的主题。

[0077] 使弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0078] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例15的特征,其中实例15还包括以上根据实例6的主题。

[0079] 使弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0080] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使

转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例16的特征,其中实例16还包括以上根据实例6的主题。

[0081] 使弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0082] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例17的特征,其中实例17还包括以上根据实例6的主题。

[0083] 使弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0084] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.005。该段落的在先主题是本公开的实例18的特征,其中实例18还包括以上根据实例6至17中任一项的主题。

[0085] 带条宽度110与半径134的比等于或大于0.005导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0086] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.01。该段落的在先主题是本公开的实例19的特征,其中实例19还包括以上根据实例6至18中任一项的主题。

[0087] 带条宽度110与半径134的比等于或大于0.01导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0088] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.03。该段落的在先主题是本公开的实例20的特征,其中实例20还包括以上根据实例6至19中任一项的主题。

[0089] 带条宽度110与半径134的比等于或大于0.03导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0090] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4和6,控制器126进一步被编程以使能量源120向压实器112的前侧114输送第一数量的脉冲能量122,以便至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124内的第一阵列位置被加热到比至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124内第二阵列位置更高的温度。第一阵列位置中的位置比第二阵列位置中的位置更靠近虚拟点136。该段落的在先主题是本公开的实例21的特征,其中实例21还包括以上根据实例6至20中任一项的主题。

[0091] 因为第一不连续部分124内较远离虚拟点136的位置经历较不紧凑的曲率,所以它们不需要被加热到与第一不连续部分124内更靠近虚拟点136的位置一样高的温度。因此,可以保持较远离位置的结构完整性。

[0092] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2、5和6,至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条。压实器112配置为以连续条带的平行阵列在衬底116上压实多个纤维增强的带条。控制器126进一步被编程以使能量源120向压实器112的前侧114输送第一数量的脉冲能量122,以便多个纤维增强的带条的第一子组的第一不连续部分124被加热到比多个纤

维增强的带条的第二子组的第一不连续部分124更高的温度。多个纤维增强的带条的第二子组的条带比多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离虚拟点136。该段落的在先主题是本公开的实例22的特征,其中实例22还包括以上根据实例6至21中任一项的主题。

[0093] 结构化AFP机器以铺放连续段(多个)预浸料束是常见的。当根据实例22,如此配置自动化纤维铺放系统100时,更靠近虚拟点136的纤维增强的带条被加热到比更远离虚拟点136的纤维增强的带条更高的温度,以促进更靠近虚拟点136的那些纤维增强的带条的更紧凑的曲率并保持更远离虚拟点136的那些纤维增强的带条的结构完整性。

[0094] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2和5,至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条。压实器112配置为以连续条带的平行阵列在衬底116上压实多个纤维增强的带条。该段落的在先主题是本公开的实例23的特征,其中实例23还包括以上根据实例1至22中任一项的主题。

[0095] 通过同时铺放和压实多个纤维增强的带条,自动化纤维铺放系统100在覆盖大的表面积方面更有效。

[0096] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2、5和6,能量源120是多个能量源。多个能量源中每一个配置为以下中至少一个:向第一不连续部分124输送第一数量的脉冲能量122或向多个纤维增强的带条中各个纤维增强的带条的第二不连续部分125输送第二数量的脉冲能量123。该段落的在先主题是本公开的实例24的特征,其中实例24还包括以上根据实例23的主题。

[0097] 具有多个能量源使能够单独控制向多个纤维增强的带条中各个纤维增强的带条输送脉冲能量,包括控制第一不连续部分124的各个温度,以促进第一不连续部分124到不连续带区域148的转化。

[0098] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2,自动化纤维铺放系统100进一步包括传感器140,其配置为检测在压实器112的后侧142上多个纤维增强的带条中每个的性质。控制器126被编程以响应于从传感器140接收的输入,控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。该段落的在先主题是本公开的实例25的特征,其中实例25还包括以上根据实例23或24的主题。

[0099] 通过感测压实后纤维增强的带条的性质,控制器126检测第一不连续部分124是否正被以期望的和受控的方式转化为不连续带区域148,以及还检测纤维增强的带条是否被适当地粘附和压实至衬底116。而且,利用能量源120的反馈环路能够精确调整和控制第一和第二数量的脉冲能量。

[0100] 在一个或多个实例中,传感器140感测压实器112的后侧142上多个纤维增强的带条中每个的温度。感测温度提供利用能量源120的简单反馈环路,因为在树脂带基体130的一个或多个实例中,在衬底116上纤维增强的带条的合适粘附和压实直接基于温度。在一个或多个实例中,传感器140是或包括红外传感器。

[0101] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。该段落的在先主题是本公开的实例26的特征,其中实例26还包括以上根据实例1至25中任一项的主题。

[0102] 用于AFP的预浸料束拥有各种宽度,其中四分之一英寸(6毫米)和二分之一英寸

(13毫米)预浸料束是常见的。自动化纤维铺放系统100可以配置用于任何适合尺寸的纤维增强的带条。

[0103] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110小于15毫米(0.6英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例27的特征,其中实例27还包括以上根据实例1至25中任一项的主题。

[0104] 如所提到,自动化纤维铺放系统100可以配置用于任何适合尺寸的纤维增强的带条。

[0105] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110小于8毫米(0.3英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例28的特征,其中实例28还包括以上根据实例1至26中任一项的主题。

[0106] 如所提到,自动化纤维铺放系统100可以配置用于任何适合尺寸的纤维增强的带条。

[0107] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,在每个不连续区域148内,弯曲的单向增强纤维132中至少一个包括多个折叠。该段落的在先主题是本公开的实例29的特征,其中实例29还包括以上根据实例1至28中任一项的主题。

[0108] 单向增强纤维132中各个单向增强纤维132中的多个折叠允许虚拟曲线路径128的紧凑曲线。

[0109] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3、4和11,不连续带区域148是梯形的。该段落的在先主题是本公开的实例30的特征,其中实例30还包括以上根据实例1至29中任一项的主题。

[0110] 通过是梯形的,不连续带区域148允许纤维增强的带条104沿曲线路径128的铺放。

[0111] 如本文所使用,“梯形的”并不意味着具有带有直边和尖角的完美梯形,而是具有带有不同长度的一对大致平行的相对边的梯形(即非平行四边形梯形)的一般形状。

[0112] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4和11,控制器126被编程以使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上沿虚拟曲线路径128的铺放,以便在不连续带区域148之间产生至少一个纤维增强的带条104的中间带区域150。该段落的在先主题是本公开的实例31的特征,其中实例31还包括以上根据实例1至30中任一项的主题。

[0113] 在被铺放和压实在衬底116上后,中间带区域150使不连续带区域148彼此间隔开并且保持纤维增强的带条104的结构完整性。

[0114] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3,在每个中间带区域150内,所有的单向增强纤维132仅是直的。该段落的在先主题是本公开的实例32的特征,其中实例32还包括以上根据实例31的主题。

[0115] 因为单向增强纤维132在中间带区域150内不是弯曲的,所以保持中间带区域150的结构完整性,由此在被铺放和压实在衬底上116上后使纤维增强的带条104的结构完整性最大化。

[0116] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,不连续带区域148内弯曲的单向增强纤维132中每个在中间带区域150内比在不连续带区域148内更少弯曲。该段落的在先主题是本公开的实例33的特征,其中实例33还包括以上根据实例31的主题。

[0117] 因为单向增强纤维132在中间带区域150内更少弯曲,所以使中间带区域150的结

构完整性最大化,由此在被铺放和压实在衬底116上后使纤维增强的带条104的结构完整性最大化。

[0118] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3、4和11,中间带区域150是矩形的。该段落的在先主题是本公开的实例34的特征,其中实例34还包括以上根据实例31至33中任一主题。

[0119] 通过是矩形的,在被铺放和压实在衬底116上后,中间带区域150保持它们的结构完整性而没有单向增强纤维132在纤维增强的带条104内赋予不期望的内部应力。

[0120] 如本文所使用,“矩形”并不意味着具有两对完全平行且直的相对边和尖角的完美矩形的形状,而是具有通常具有直的且平行的相对边的矩形的一般形状。

[0121] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2和6,自动化纤维铺放系统100进一步包括传感器140,其配置为检测在压实器112的后侧142上至少一个纤维增强的带条104的性质。控制器126被编程以响应于从传感器140接收的输入,控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。该段落的在先主题是本公开的实例35的特征,其中实例35还包括以上根据实例1至34中任一主题。

[0122] 通过感测压实后纤维增强的带条104的性质,控制器126检测第一不连续部分124是否正被以期望的和受控的方式转化为不连续带区域148,以及还检测纤维增强的带条104是否被适当地粘附和压实至衬底116。而且,利用能量源120的反馈环路能够精确调整和控制第一和第二数量的脉冲能量。

[0123] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2,传感器140是温度传感器。该段落的在先主题是本公开的实例36的特征,其中实例36还包括以上根据实例35的主题。

[0124] 感测温度提供利用能量源120的简单反馈环路,因为在树脂带基体130的一个或多个实例中,在衬底116上纤维增强的带条104的合适粘附和压实直接基于温度。

[0125] 在一个或多个实例中,传感器140是或包括红外传感器。

[0126] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2和6,第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中至少一个配置为直接加热单向增强纤维132,用于经由从单向增强纤维132的传导间接加热树脂带基体130。该段落的在先主题是本公开的实例37的特征,其中实例37还包括以上根据实例1至36中任一主题。

[0127] 通过选择直接加热单向增强纤维132并且不直接加热或至少基本上较少直接加热树脂带基体130的脉冲能量的波长,目标是树脂带基体130的温度不会对树脂带基体130的材料性质不利地影响,并因此不会在铺放和压实在衬底116上后对纤维增强的带条104的结构完整性不利地影响。

[0128] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上在虚拟直线路径152中的铺放。控制器126被编程以使能量源120将沿虚拟曲线路径128的第一不连续部分124加热至比沿虚拟直线路径152的第一不连续部分124高的温度。该段落的在先主题是本公开的实例38的特征,其中实例38还包括以上根据实例1至37中任一主题。

[0129] 通过将第一不连续部分124加热到沿虚拟直线路径152时的温度比沿虚拟曲线路径128时低的温度,可以选择温度,以便提供在衬底116上的期望的粘附和压实,而不会不利

地影响其结构完整性。

[0130] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3、4、12和13,虚拟曲线路径128是非平面的。该段落的在先主题是本公开的实例39的特征,其中实例39还包括以上根据实例1至38中任一项的主题。

[0131] 当自动化纤维铺放系统100被编程以沿非平面的曲线路径128铺放纤维增强的带条104时,自动化纤维铺放系统100可以被用于构建非平面的制造的物品,包括具有复杂轮廓的表面的那些。

[0132] 参考图3和4,当曲线路径128是非平面的,虚拟点136是第一虚拟点,和转向机构118配置为在相对于衬底116的三维空间中操纵分配器102和压实器112。而且,控制器126被编程以选择性地使转向机构118转向纤维增强的带条104在相对于衬底116的三维空间中的铺放,以便虚拟曲线路径128进一步包括第二曲率半径144,其从与虚拟线138间隔开的第二虚拟点146测量。

[0133] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4、12和13,衬底116包括复杂轮廓。该段落的在先主题是本公开的实例40的特征,其中实例40还包括以上根据实例1至39中任一项的主题。

[0134] 当衬底116包括复杂轮廓时,自动化纤维铺放系统100能够在衬底116上铺放和压实纤维增强的带条104,使得能够构建先前用传统AFP机器不可能的制造的物品。

[0135] 如本文所使用,具有“复杂轮廓”的表面是该表面的给定区域内的一个表面,与平面的任何方向相交都不是线性的。

[0136] 图12和13示意性地表示工具(叠层心轴)250,其对应于飞行器228的机身的一部分,具有机头区域230,其中机头区域230的子区域252包括复杂轮廓,其中纤维增强的带条需要沿半径在35英寸(0.9米)和75英寸(1.9米)之间的曲线路径铺放并压实。根据本公开的自动化纤维铺放系统使这成为可能,包括用于八个半英寸(13毫米)纤维增强的带条的4英寸(10.2厘米)连续段。

[0137] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-5、7和11,自动化纤维铺放系统400包括分配器102、压实器112、转向机构118、能量源120和控制器126。分配器102配置成分配至少一个纤维增强的带条104。至少一个纤维增强的带条104包括第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108,其中第二纵向带边缘108与第一纵向带边缘106平行并且与第一纵向带边缘106间隔开带条宽度110。至少一个纤维增强的带条104包括树脂带基体130和嵌入在树脂带基体130中的单向增强纤维132。压实器112配置为接收来自压实器112的前侧114的至少一个纤维增强的带条104,并且将至少一个纤维增强的带条104压实在衬底116上。转向机构118配置为在相对于衬底116的二维或三维空间中的至少一个中操纵分配器102和压实器112。能量源120配置为将第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123输送到压实器112的前侧114,以分别加热至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和至少一个纤维增强的带条104的第二部分404,其中沿至少一个纤维增强的带条104,至少一个纤维增强的带条104的第二部分404与第一部分402交替。至少一个纤维增强的带条104的第二部分404中的每一个至少部分地与至少一个纤维增强的带条104的第一部分402中的两个相邻部分重叠,使得第一部分402和第二部分404的重叠区域406具有高于第一部分402和第二部分404的非重叠区域408的温度。控制器126被编程为控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条

104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。控制器126还被编程为选择性地使转向机构118在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128铺放至少一个纤维增强的带条104,使得(i)至少一个纤维增强的带条104在虚拟曲线路径128上居中,和(ii)至少一个纤维增强的带条104的重叠区域406被转化成在几何结构上不同于重叠区域406的不连续带区域148。该段落的在先主题是本公开的实例41的特征。

[0138] 通过用第一部分402和第二部分404产生重叠区域406,第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123累积在重叠区域406,导致重叠区域406的温度高于非重叠区域408的温度。因此,当控制器126使转向机构118沿虚拟曲线路径128铺放纤维增强的带条104时,彼此间隔开的重叠区域406在几何结构上转化成不连续带区域148。而且,由于可以通过控制器126来控制第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123的脉冲持续时间,因此可以精确地控制重叠区域406的间隔和宽度,诸如根据虚拟曲线路径128的半径来改变。实际上,在一个或多个实例中,当控制转向机构118以沿虚拟直线路径152铺放纤维增强的带条104时,可以消除重叠区域406。重要的是,第一数量和第二数量的脉冲能量可以由控制器126控制,以便即使当虚拟曲线路径128具有紧凑的半径时,压实的纤维增强的带条104也不会从衬底116剥离。因此,自动化纤维铺放系统400可用于构造具有比以前可能的更复杂的表面轮廓的纤维增强复合结构。此外,自动化纤维铺放系统400可用于制造复合部件,其中单向增强纤维132在整个复合部件中以所需和/或预定方向取向,诸如限定利用标准的 $0^{\circ}$ 、 $+45^{\circ}$ 、 $-45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 叠层技术不可能的复合部件的所需性能。

[0139] 一般地参考图1和具体地参考,如,图7,重叠区域406和非重叠区域408的尺寸相同。该段落的在先主题是本公开的实例42的特征,其中实例42还包括以上根据实例41的主题。

[0140] 使重叠区域406和非重叠区域408尺寸相同能够使自动化纤维铺放系统400具有恒定速度,而无需复杂地控制能量源120。

[0141] 一般地参考图1和具体地参考,如,图7,重叠区域406小于非重叠区域408。该段落的在先主题是本公开的实例43的特征,其中实例43还包括以上根据实例41的主题。

[0142] 通过使重叠区域406小于非重叠区域408,由于重叠区域406至不连续带区域148的转化引起的纤维增强的带条104的材料性质的任何改变被最小化。即,通过使非重叠区域408大于重叠区域406,以及由于非重叠区域408不转化为不连续带区域148,纤维增强的带条104的期望的材料性质被保持。

[0143] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3、4、7和11,不连续带区域148在结构上不同于重叠区域406。该段落的在先主题是本公开的实例44的特征,其中实例44还包括以上根据实例41至43中任一项的主题。

[0144] 通过在结构上转化,其意味着不仅几何结构从重叠区域406变化到不连续带区域148,还意味着操纵重叠区域406内的单向增强纤维132,使得它们依然平行于衬底116,仍不保持跨越带条宽度110的树脂带基体130内彼此内的均匀平行关系。该结构转化能够使纤维增强的带条104沿虚拟曲线路径128铺放,而没有单向纤维132在纤维增强的带条104上赋予不期望的内部应力,单向纤维132在纤维增强的带条104上赋予不期望的内部应力否则将导致纤维增强的带条104从衬底116剥离。

[0145] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,以便虚拟曲线路径128包括弧156,其具有从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108相交的虚拟线138上的虚拟点136测量的半径134。另外,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003。在每个不连续带区域148内,单向增强纤维132中最靠近第一纵向带边缘106的一个比单向增强纤维132中最靠近第二纵向带边缘108的另一个更弯曲。弯曲的单向增强纤维132中一些平行于衬底116。该段落的在先主题是本公开的实例45的特征,其中实例45还包括以上根据实例41至44中任一项的主题。

[0146] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。通过与到第二纵向带边缘108相比,更靠近第一纵向带边缘106的单向增强纤维132更弯曲,第一纵向带边缘106可以具有比第二纵向带边缘108更紧凑的曲线,这对于纤维增强的带条104遵循阈值曲率以下的虚拟曲线路径128而不从衬底116剥离是必须的。通过平行于衬底116弯曲,单向增强纤维132不产生否则将引起纤维增强的带条104由衬底116剥离的内部应力。

[0147] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例46的特征,其中实例46还包括以上根据实例45的主题。

[0148] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0149] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例47的特征,其中实例47还包括以上根据实例45的主题。

[0150] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0151] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例48的特征,其中实例48还包括以上根据实例45的主题。

[0152] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0153] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例49的特征,其中实例49还包括以上根据实例45的主题。

[0154] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0155] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例50的特征,其中实例50还包括以上根据实例45的主题。

[0156] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0157] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例51的特征,其中实例51还包括以上根据实例45的主题。

[0158] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0159] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例52的特征,其中实例52还包括以上根据实例45的主题。

[0160] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0161] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例53的特征,其中实例53还包括以上根据实例45的主题。

[0162] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0163] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例54的特征,其中实例54还包括以上根据实例45的主题。

[0164] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0165] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使

转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例55的特征,其中实例55还包括以上根据实例45的主题。

[0166] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0167] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例56的特征,其中实例56还包括以上根据实例45的主题。

[0168] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0169] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.005。该段落的在先主题是本公开的实例57的特征,其中实例57还包括以上根据实例45至56中任一项的主题。

[0170] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.005导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0171] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.01。该段落的在先主题是本公开的实例58的特征,其中实例58还包括以上根据实例45至56中任一项的主题。

[0172] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.01导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0173] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.03。该段落的在先主题是本公开的实例59的特征,其中实例59还包括以上根据实例45至56中任一项的主题。

[0174] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.03导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0175] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4和7,控制器126进一步被编程以使能量源120向压实器112的前侧114输送第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123,以便至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和第二部分404的重叠区域406内的第一阵列位置被加热到比至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和第二部分404的重叠区域406内第二阵列位置更高的温度。第一阵列位置中的位置比第二阵列位置中的位置更靠近虚拟点136。该段落的在先主题是本公开的实例60的特征,其中实例60还包括以上根据实例45至59中任一项的主题。

[0176] 因为重叠区域406内较远离虚拟点136的位置经历较不紧凑的曲率,所以它们不需要被加热到与重叠区域406内更靠近虚拟点136的位置一样高的温度。因此,可以保持较远离位置的结构完整性。

[0177] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2、5和7,至少一个纤维增强的带条104是多个

纤维增强的带条。压实器112配置为以连续条带的平行阵列在衬底116上压实多个纤维增强的带条。控制器126被编程以使能量源120向压实器112的前侧114输送第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123,以便多个纤维增强的带条的第一子组的重叠区域406被加热到比多个纤维增强的带条的第二子组的重叠区域406更高的温度。多个纤维增强的带条的第二子组的条带比多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离虚拟点136。该段落的在先主题是本公开的实例61的特征,其中实例61还包括以上根据实例45至60中任一项的主题。

[0178] 如本文所讨论,结构化AFP机器以铺放连续段(多个)预浸料束是常见的。当根据实例61,如此配置自动化纤维铺放系统400时,更靠近虚拟点136的纤维增强的带条被加热到比更远离虚拟点136的纤维增强的带条更高的温度,以促进更靠近虚拟点136的那些纤维增强的带条的更紧凑的曲率并保持更远离虚拟点136的那些纤维增强的带条的结构完整性。

[0179] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2和5,至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条。压实器112配置为以连续条带的平行阵列在衬底116上压实多个纤维增强的带条。该段落的在先主题是本公开的实例62的特征,其中实例62还包括以上根据实例41至60中任一项的主题。

[0180] 通过同时铺放和压实多个纤维增强的带条,自动化纤维铺放系统400在覆盖大的表面积方面更有效。

[0181] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2、5和7,能量源120是多个能量源。多个能量源中每一个配置为以下中至少一个:向第一部分402输送第一数量的脉冲能量122或向多个纤维增强的带条中各个纤维增强的带条的第二部分404输送第二数量的脉冲能量123。该段落的在先主题是本公开的实例63的特征,其中实例63还包括以上根据实例62的主题。

[0182] 具有多个能量源使能够单独控制向多个纤维增强的带条中各个纤维增强的带条输送脉冲能量,包括控制重叠区域406的各个温度,以促进重叠区域406到不连续带区域148的转化。

[0183] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2,自动化纤维铺放系统400进一步包括传感器140,其配置为检测在压实器112的后侧142上多个纤维增强的带条中每个的性质。控制器126被编程以响应于从传感器140接收的输入,控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。该段落的在先主题是本公开的实例64的特征,其中实例64还包括以上根据实例62或63的主题。

[0184] 通过感测压实后纤维增强的带条的性质,控制器126检测重叠区域406是否正被以期望的和受控的方式转化为不连续带区域148,以及还检测纤维增强的带条是否被适当地粘附和压实至衬底116。而且,利用能量源120的反馈环路能够精确调整和控制第一和/或第二数量的脉冲能量。

[0185] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。该段落的在先主题是本公开的实例65的特征,其中实例65还包括以上根据实例41至64中任一项的主题。

[0186] 如本文所讨论,用于AFP的预浸料束拥有各种宽度,其中四分之一英寸(6毫米)和二分之一英寸(13毫米)预浸料束是常见的。自动化纤维铺放系统400可以配置用于任何适

合尺寸的纤维增强的带条。

[0187] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110小于15毫米(0.6英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例66的特征,其中实例66还包括以上根据实例41至65中任一项的主题。

[0188] 如所提到,自动化纤维铺放系统400可以配置用于任何适合尺寸的纤维增强的带条。

[0189] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,带条宽度110小于8毫米(0.3英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例67的特征,其中实例67还包括以上根据实例41至65中任一项的主题。

[0190] 如所提到,自动化纤维铺放系统400可以配置用于任何适合尺寸的纤维增强的带条。

[0191] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,在每个不连续区域148内,弯曲的单向增强纤维132中至少一个包括多个折叠。该段落的在先主题是本公开的实例68的特征,其中实例68还包括以上根据实例41至67中任一项的主题。

[0192] 如本文所讨论,单向增强纤维132中各个单向增强纤维132中的多个折叠允许虚拟曲线路径128的紧凑曲线。

[0193] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3、4和11,不连续带区域148是梯形的。该段落的在先主题是本公开的实例69的特征,其中实例69还包括以上根据实例41至68中任一项的主题。

[0194] 如本文所讨论,通过是梯形的,不连续带区域148允许纤维增强的带条104沿曲线路径128的铺放。

[0195] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4和11,控制器126被编程以使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上沿虚拟曲线路径128的铺放,以便在不连续带区域148之间产生至少一个纤维增强的带条104的中间带区域150。该段落的在先主题是本公开的实例70的特征,其中实例70还包括以上根据实例41至69中任一项的主题。

[0196] 在被铺放和压实在衬底116上后,对应于非重叠区域408的中间带区域150使不连续带区域148彼此间隔开并且保持纤维增强的带条104的结构完整性。

[0197] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3,在每个中间带区域150内,所有的单向增强纤维132仅是直的。该段落的在先主题是本公开的实例71的特征,其中实例71还包括以上根据实例70的主题。

[0198] 如本文所讨论,因为单向增强纤维132在中间带区域150内不是弯曲的,所以保持中间带区域150的结构完整性,由此在被铺放和压实在衬底上116上后使纤维增强的带条104的结构完整性最大化。

[0199] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3和4,不连续带区域148内弯曲的单向增强纤维132中每个在中间带区域150内比在不连续带区域148内更少弯曲。该段落的在先主题是本公开的实例72的特征,其中实例72还包括以上根据实例70的主题。

[0200] 如本文所讨论,因为单向增强纤维132在中间带区域150内更少弯曲,所以使中间带区域150的结构完整性最大化,由此在被铺放和压实在衬底上116上后使纤维增强的带条104的结构完整性最大化。

[0201] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3、4和11,中间带区域150是矩形的。该段落的在先主题是本公开的实例73的特征,其中实例73还包括以上根据实例70至72中任一项的主题。

[0202] 如本文所讨论,通过是矩形的,在被铺放和压实在衬底116上后,中间带区域150保持它们的结构完整性而没有单向增强纤维132在纤维增强的带条104内赋予不期望的内部应力。

[0203] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2和7,自动化纤维铺放系统400进一步包括传感器140,其配置为检测在压实器112的后侧142上至少一个纤维增强的带条104的性质。控制器126被编程以响应于从传感器140接收的输入,控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。该段落的在先主题是本公开的实例74的特征,其中实例74还包括以上根据实例41至73中任一项的主题。

[0204] 通过感测压实后纤维增强的带条104的性质,控制器126检测重叠区域406是否正被以期望的和受控的方式转化为不连续带区域148,以及还检测纤维增强的带条104是否被适当地粘附和压实至衬底116。而且,利用能量源120的反馈环路能够精确调整和控制第一和第二数量的脉冲能量。

[0205] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2,传感器140是温度传感器。该段落的在先主题是本公开的实例75的特征,其中实例75还包括以上根据实例74的主题。

[0206] 如所讨论,感测温度提供利用能量源120的简单反馈环路,因为在树脂带基体130的一个或多个实例中,在衬底116上纤维增强的带条104的合适粘附和压实直接基于温度。

[0207] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2和7,第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中至少一个配置为直接加热单向增强纤维132,用于经由从单向增强纤维132的传导间接加热树脂带基体130。该段落的在先主题是本公开的实例76的特征,其中实例76还包括以上根据实例41至75中任一项的主题。

[0208] 如本文所讨论,通过选择直接加热单向增强纤维132并且不直接加热或至少基本上较少直接加热树脂带基体130的脉冲能量的波长,目标是树脂带基体130的温度不会对树脂带基体130的材料性质不利地影响,并因此不会在铺放和压实在衬底116上后对纤维增强的带条104的结构完整性不利地影响。

[0209] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4和7,控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上在虚拟直线路径152中的铺放。控制器126被编程以使能量源120将沿虚拟曲线路径128的重叠区域406加热至比沿虚拟直线路径152的重叠区域406高的温度。该段落的在先主题是本公开的实例77的特征,其中实例77还包括以上根据实例41至76中任一项的主题。

[0210] 通过将重叠区域406加热到沿虚拟直线路径152时的温度比沿虚拟曲线路径128时低的温度,可以选择温度,以便提供在衬底116上的期望的粘附和压实,而不会不利地影响其结构完整性。

[0211] 一般地参考图1和具体地参考,如,图3、4、12和13,虚拟曲线路径128是非平面的。该段落的在先主题是本公开的实例78的特征,其中实例78还包括以上根据实例41至77中任一项的主题。

[0212] 当自动化纤维铺放系统400被编程以沿非平面的曲线路径128铺放纤维增强的带条104时,自动化纤维铺放系统400可以被用于构建非平面的制造的物品,包括具有复杂轮廓的表面的那些。

[0213] 一般地参考图1和具体地参考,如,图2-4、12和13,衬底116包括复杂轮廓。该段落的在先主题是本公开的实例79的特征,其中实例79还包括以上根据实例41至78中任一项的主题。

[0214] 当衬底116包括复杂轮廓时,自动化纤维铺放系统400能够在衬底116上铺放和压实纤维增强的带条104,使得能够构建先前用AFP过程不可能的制造的物品。

[0215] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,制造的物品200包括条带202,条带202包括第一纵向条带边缘204和第二纵向条带边缘206,其中第二纵向条带边缘206平行于第一纵向条带边缘204并且与第一纵向条带边缘204间隔开条带宽度208。条带202沿虚拟曲线路径128延伸并居中,该虚拟曲线路径128包括具有弧长度154和半径134的弧156。从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向条带边缘204和第二纵向条带边缘206相交的虚拟线138上的虚拟点136测量半径134。条带宽度208与半径134的比大于或等于0.003。弧长度154等于或大于半径134与 $\pi/64$ 的乘积。条带202包括树脂条带基体218和嵌入树脂条带基体218中并沿虚拟曲线路径128延伸的单向增强纤维132。第一纵向条带边缘204比第二纵向条带边缘206更靠近虚拟点136。条带202进一步包括沿虚拟曲线路径128间隔开的不连续条带区域222。在每个不连续条带区域222内,单向增强纤维132中的最接近第一纵向条带边缘204的一个比单向增强纤维132中的最接近第二纵向条带边缘206的另一个更弯曲。弯曲的多个单向增强纤维132中的单向增强纤维平行于虚拟表面中的最小虚拟表面,其连接第一纵向条带边缘204和第二纵向条带边缘206。该段落的在先主题是本公开的实例80的特征。

[0216] 可以通过根据本公开的自动化纤维铺放系统或根据本公开的自动纤维铺放方法构造的制造的物品200先前不能用AFP机器制造。具体地说,条带宽度208与半径134之比等于或大于0.003,比使用传统AFP机器可能的更紧密,而预浸料束不会从其衬底上剥离。通过相比第二纵向条带边缘206,使更靠近第一纵向条带边缘204的单向增强纤维132更弯曲,第一纵向条带边缘204可以具有比第二纵向条带边缘206更紧凑的曲线,这对于最终变成条带202的纤维增强的带条(如,预浸料束)是必要的,使其在阈值曲率以下按照虚拟曲线路径128,而不会从其铺放和压实的衬底上剥离。通过平行于虚拟表面中的最小虚拟表面——其连接第一纵向条带边缘204和第二纵向条带边缘206——弯曲,单向增强纤维132不会产生内部应力,所述内部应力否则会导致纤维增强的带条使得条带202从其放置并压实的衬底上剥离下来。

[0217] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,条带宽度208与半径134的比大于或等于0.005。该段落的在先主题是本公开的实例81的特征,其中实例81还包括以上根据实例80的主题。

[0218] 使条带宽度208与半径134的比等于或大于0.005,虚拟曲线路径128的半径138比利用传统AFP机器可能的更紧凑,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0219] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,条带宽度208与半径134的比大于或等于0.01。该段落的在先主题是本公开的实例82的特征,其中实例82还包括以上根据实例80或81的主题。

[0220] 使条带宽度208与半径134的比等于或大于0.01,虚拟曲线路径128的半径138比利用传统AFP机器可能的更紧凑,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0221] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,条带宽度208与半径134的比大于或等于0.03。该段落的在先主题是本公开的实例83的特征,其中实例83还包括以上根据实例80至82中任一项的主题。

[0222] 使条带宽度208与半径134的比等于或大于0.03,虚拟曲线路径128的半径138比利用传统AFP机器可能的更紧凑,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0223] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例84的特征,其中实例84还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0224] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0225] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例85的特征,其中实例85还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0226] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0227] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例86的特征,其中实例86还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0228] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0229] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例87的特征,其中实例87还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0230] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0231] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例88的特征,其中实例88还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0232] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0233] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例89的特征,其中实例89还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0234] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0235] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例90的特征,其中实例90还包括以上根据实例80至

83中任一项的主题。

[0236] 使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0237] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例91的特征,其中实例91还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0238] 使弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0239] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例92的特征,其中实例92还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0240] 使弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0241] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例93的特征,其中实例93还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0242] 使弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0243] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例94的特征,其中实例94还包括以上根据实例80至83中任一项的主题。

[0244] 使弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128具有相比当利用传统AFP机器时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由其衬底剥离。

[0245] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,条带宽度208在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。该段落的在先主题是本公开的实例95的特征,其中实例95还包括以上根据实例80至94中任一项的主题。

[0246] 用于AFP的预浸料束拥有各种宽度,其中四分之一英寸(6毫米)和二分之一英寸(13毫米)预浸料束是常见的。制造的物品200的条带202可以由任何合适尺寸的预浸料束形成。

[0247] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,条带宽度208小于15毫米(0.6英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例96的特征,其中实例96还包括以上根据实例80至94中任一项的主题。

[0248] 如所提到,制造的物品200的条带202可以由任何合适尺寸的预浸料束形成。

[0249] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,条带宽度208小于8毫米(0.3英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例97的特征,其中实例97还包括以上根据实例80至95中任一项的主题。

[0250] 如所提到,制造的物品200的条带202可以由任何合适尺寸的预浸料束形成。

[0251] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,在每个不连续条带区域222内,弯曲的单向增强纤维132中至少一个包括多个折叠。该段落的在先主题是本公开的实例98的特征,

其中实例98还包括以上根据实例80至97中任一项的主题。

[0252] 单向增强纤维132中各个单向增强纤维132中的多个折叠是预浸料束沿虚拟曲线路径128的紧凑曲线通过根据本公开的自动化纤维铺放系统铺放和压实的结果。

[0253] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,不连续条带区域222是梯形的。该段落的在先主题是本公开的实例99的特征,其中实例99还包括以上根据实例80至98中任一项的主题。

[0254] 不连续条带区域222的梯形形状是预浸料束沿虚拟曲线路径128的紧凑曲线通过根据本公开的自动化纤维铺放系统铺放和压实的结果。

[0255] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,条带202进一步包括中间条带区域224。中间条带区域224中任意相邻的两个被一个不连续条带区域222彼此隔开。该段落的在先主题是本公开的实例100的特征,其中实例100还包括以上根据实例80至99中任一项的主题。

[0256] 中间条带区域224使不连续条带区域222彼此隔开并保持条带202的结构完整性。

[0257] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9,在每个中间条带区域224内,所有的单向增强纤维132仅是直的。该段落的在先主题是本公开的实例101的特征,其中实例101还包括以上根据实例100的主题。

[0258] 因为单向增强纤维132在中间条带区域224内不是弯曲的,所以保持中间条带区域224的结构完整性,由此使条带202的结构完整性最大化。

[0259] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,不连续条带区域222内弯曲的单向增强纤维132中每个在中间条带区域224内比在不连续条带区域222内更少弯曲。该段落的在先主题是本公开的实例102的特征,其中实例102还包括以上根据实例100的主题。

[0260] 因为单向增强纤维132在中间条带区域224内更少弯曲,所以使中间条带区域224的结构完整性最大化,由此使条带202的结构完整性最大化。

[0261] 一般地参考图8和具体地参考,如,图9和10,中间条带区域224是矩形的。该段落的在先主题是本公开的实例103的特征,其中实例103还包括以上根据实例100至102中任一项的主题。

[0262] 通过是矩形的,中间带区域150保持它们的结构完整性而没有单向增强纤维132在条带202内赋予不期望的内部应力。

[0263] 一般地参考图8和具体地参考,如,图12和13,条带202是非平面的。该段落的在先主题是本公开的实例104的特征,其中实例104还包括以上根据实例80至103中任一项的主题。

[0264] 通过是非平面的,条带202可以是先前用传统AFP机器不能制造的制造的物品。

[0265] 一般地参考图8和具体地参考,如,图12和13,制造的物品200是飞行器228。该段落的在先主题是本公开的实例105的特征,其中实例105还包括以上根据实例80至104中任一项的主题。

[0266] 因此,飞行器228可以至少部分地利用根据本公开的自动化纤维铺放系统或根据本公开的自动化纤维铺放方法来构造。

[0267] 一般地参考图8和具体地参考,如,图12和13,飞行器228包括机头区域230,并且机头区域230包括条带202。该段落的在先主题是本公开的实例106的特征,其中实例106还包

括以上根据实例105的主题。

[0268] 飞行器的机头区域通常具有复杂的轮廓,其先前无法使用传统的AFP机器和工艺来构造。

[0269] 如本文所讨论,图12和13示意性地表示工具(叠层心轴)250,其对应于飞行器228的机身的一部分,具有机头区域230,其中机头区域230的子区域252包括复杂轮廓。

[0270] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2-6和11,自动化纤维铺放方法300包括(方框302)将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124。自动化纤维铺放方法300还包括(方框303)将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二不连续部分125,其中第二不连续部分125与第一不连续部分124交替。第一不连续部分124中的任何两个相邻部分通过第二不连续部分125中的一个彼此隔开。第一数量的脉冲能量122将至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124加热到第一温度。第二数量的脉冲能量123将至少一个纤维增强的带条104的第二不连续部分125加热到第二温度。至少一个纤维增强的带104包括第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108,其中第二纵向带边缘108平行于第一纵向带边缘106并且与第一纵向带边缘106间隔开带条宽度110。至少一个纤维增强的带条104包括树脂带基体130和嵌入在树脂带基体130中的单向增强纤维132。自动化纤维铺放方法300还包括:(方框304)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104,使得(i)至少一个纤维增强的带条104在虚拟曲线路径128上居中,和(ii)至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124被转化成在几何结构上不同于第一不连续部分124的不连续带区域148。该段落的在先主题是本公开的实例107的特征。

[0271] 将第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量输送到纤维增强的带条104的交替的不连续部分,导致产生与第一不连续部分124相对应的间隔开的不连续带区域148。因此,当沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设纤维增强的带条104时,彼此间隔开的第一不连续部分124在几何结构上转化成不连续带区域148。重要的是,可以控制第一数量的脉冲能量122,使得即使当虚拟曲线路径128具有紧凑的半径时,铺放的纤维增强的带条104也不会从衬底116剥离。因此,自动化纤维铺放方法300可以被实施以构造具有比以前可能的更复杂的表面轮廓的纤维增强复合结构。此外,自动化纤维铺放方法300可以被实施以制造复合部件,其中单向增强纤维132在整个复合部件中以所需和/或预定方向取向,诸如限定利用标准的 $0^{\circ}$ 、 $+45^{\circ}$ 、 $-45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 叠层技术不可能的复合部件的所需性能。

[0272] 一般地参考图14和具体地参考,如,图6,根据自动化纤维铺放方法300,第二温度低于第一温度。该段落的在先主题是本公开的实例108的特征,其中实例108还包括以上根据实例107的主题。

[0273] 如本文所讨论,因此,可以选择第二温度以确保将第二不连续部分125加热至提供对衬底116合适的粘附和压实的温度,并且不会对第二不连续部分125的树脂带基体130造成损坏或不期望的影响。另外,因此,可以选择第一温度以不仅确保第一不连续部分124被加热到提供对衬底116合适的粘附和压实的温度,而且确保第一不连续部分124被加热到能够使第一不连续部分124转化成不连续带区域148的温度。特别是,第一温度足够高,以允许即使由于纤维增强的带条104沿虚拟曲线路径128铺放而弯曲,单向增强纤维132依然与衬底116平行(如,当衬底116是平面的时保持在平面内,或当衬底116是非平面的时保持在纤

维增强的带条104的标称厚度内),而不是弯曲于平面外/远离衬底116。

[0274] 一般地参考图14和具体地参考,如,图6,根据自动化纤维铺放方法300,第一不连续部分124和第二不连续部分125的尺寸相同。该段落的在先主题是本公开的实例109的特征,其中实例109还包括以上根据实例107或108的主题。

[0275] 使第一不连续部分124和第二不连续部分125尺寸相同能够使纤维增强的带条104以恒定速度铺设,而无需复杂地控制第一和第二数量的脉冲能量。

[0276] 一般地参考图14和具体地参考,如,图6,根据自动化纤维铺放方法300,第一不连续部分124小于第二不连续部分125。该段落的在先主题是本公开的实例110的特征,其中实例110还包括以上根据实例107或108的主题。

[0277] 如本文所讨论,通过使第一不连续部分124小于第二不连续部分125,由于第一不连续部分124至不连续带区域148的转化引起的纤维增强的带条104的材料性质的任何改变被最小化。即,通过使第二不连续部分125大于第一不连续部分124,以及由于第二不连续部分125不转化为不连续带区域148,纤维增强的带条104的期望的材料性质被保持。

[0278] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3、4和11,根据自动化纤维铺放方法300,不连续带区域148在结构上不同于第一不连续部分124。该段落的在先主题是本公开的实例111的特征,其中实例111还包括以上根据实例107至110中任一项的主题。

[0279] 如本文所讨论,通过在结构上转化,其意味着不仅几何结构从第一不连续部分124变化到不连续带区域148,还意味着操纵第一不连续部分124内的单向增强纤维132,使得它们依然平行于衬底116,仍不保持跨越带条宽度110的树脂带基体130内彼此内的均匀平行关系。该结构转化能够使纤维增强的带条104沿虚拟曲线路径128铺放,而没有单向增强纤维132在纤维增强的带条104上赋予不期望的内部应力,单向增强纤维132在纤维增强的带条104上赋予不期望的内部应力将否则导致纤维增强的带条104从衬底116剥离。

[0280] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,虚拟曲线路径128包括弧156,其具有从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108相交的虚拟线138上的虚拟点136测量的半径134。带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003。在每个不连续带区域148内,单向增强纤维132中最靠近第一纵向带边缘106的一个比单向增强纤维132中最靠近第二纵向带边缘108的另一个更弯曲。弯曲的单向增强纤维132中一些平行于衬底116。该段落的在先主题是本公开的实例112的特征,其中实例112还包括以上根据实例107至111中任一项的主题。

[0281] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003导致比利用传统AFP机器和工艺可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。通过与到第二纵向带边缘108相比,更靠近第一纵向带边缘106的单向增强纤维132更弯曲,第一纵向带边缘106可以具有比第二纵向带边缘108更紧凑的曲线,这对于纤维增强的带条104遵循阈值曲率以下的虚拟曲线路径128而不从衬底116剥离是必须的。通过平行于衬底116弯曲,单向增强纤维132不产生否则将引起纤维增强的带条104由衬底116剥离的内部应力。

[0282] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例113的特征,其中实例113还包括以上根据实例112的主题。

[0283] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积导致虚拟曲线路径

128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0284] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例114的特征,其中实例114还包括以上根据实例112的主题。

[0285] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0286] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例115的特征,其中实例115还包括以上根据实例112的主题。

[0287] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0288] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例116的特征,其中实例116还包括以上根据实例112的主题。

[0289] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0290] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例117的特征,其中实例117还包括以上根据实例112的主题。

[0291] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0292] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例118的特征,其中实例118还包括以上根据实例112的主题。

[0293] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0294] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例119的特征,其中实例119还包括以上根据实例112的主题。

[0295] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0296] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156

的弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例120的特征,其中实例120还包括以上根据实例112的主题。

[0297] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0298] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例121的特征,其中实例121还包括以上根据实例112的主题。

[0299] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0300] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例122的特征,其中实例122还包括以上根据实例112的主题。

[0301] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0302] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例123的特征,其中实例123还包括以上根据实例112的主题。

[0303] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0304] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,带条宽度110与半径134的比大于或等于0.005。该段落的在先主题是本公开的实例124的特征,其中实例124还包括以上根据实例112至123中任一项的主题。

[0305] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.005导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0306] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,带条宽度110与半径134的比大于或等于0.01。该段落的在先主题是本公开的实例125的特征,其中实例125还包括以上根据实例112至124中任一项的主题。

[0307] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.01导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0308] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,带条宽度110与半径134的比大于或等于0.03。该段落的在先主题是本公开的实例126的特征,其中实例126还包括以上根据实例112至125中任一项的主题。

[0309] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.03导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0310] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2-4和6,根据自动化纤维铺放方法300,(方

框302)将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124的步骤包括将至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124内的第一阵列位置加热到比至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124内第二阵列位置更高的温度。第一阵列位置中的位置比第二阵列位置中的位置更靠近虚拟点136。该段落的在先主题是本公开的实例127的特征,其中实例127还包括以上根据实例112至126中任一项的主题。

[0311] 如本文中讨论,因为第一不连续部分124内较远离虚拟点136的位置经历较不紧凑的曲率,所以它们不需要被加热到与第一不连续部分124内更靠近虚拟点136的位置一样高的温度。因此,可以保持较远离位置的结构完整性。

[0312] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2、5和6,根据自动化纤维铺放方法300,至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条。(方框304)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设多个纤维增强的带条。(方框302)将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124的步骤包括将多个纤维增强的带条的第一子组的第一不连续部分124加热到比多个纤维增强的带条的第二子组的第一不连续部分124更高的温度。多个纤维增强的带条的第二子组的条带比多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离虚拟点136。该段落的在先主题是本公开的实例128的特征,其中实例128还包括以上根据实例112至127中任一项的主题。

[0313] 如本文所讨论,结构化AFP机器以铺放连续段(多个)预浸料束是常见的。当根据实例128,如此实施自动化纤维铺放方法300时,更靠近虚拟点136的纤维增强的带条被加热到比更远离虚拟点136的纤维增强的带条更高的温度,以促进更靠近虚拟点136的那些纤维增强的带条的更紧凑的曲率并保持更远离虚拟点136的那些纤维增强的带条的结构完整性。

[0314] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2、5和6,根据自动化纤维铺放方法300,至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条。(方框304)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设多个纤维增强的带条。该段落的在先主题是本公开的实例129的特征,其中实例129还包括以上根据实例107至127中任一项的主题。

[0315] 通过同时铺放多个纤维增强的带条,自动化纤维铺放方法300在覆盖大的表面积方面更有效。

[0316] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2-4和6,方法300进一步包括(方框312)在输送第一数量的脉冲能量122后检测多个纤维增强的条带中每个的第一不连续部分124的性质,和(方框314)响应于多个纤维增强的带条中每个的第一不连续部分124的性质,控制第一数量的脉冲能量122或沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的速率中的至少一个的步骤。该段落的在先主题是本公开的实例130的特征,其中实例130还包括以上根据实例128或129的主题。

[0317] 通过在输送第一数量的脉冲能量122后检测第一不连续部分124的性质,可以确定第一不连续部分124是否正被以期望的和受控的方式转化为不连续带区域148,以及纤维增强的带条是否也被适当地粘附和压实至衬底116。而且,利用控制第一数量的脉冲能量122的反馈环路能够精确调整和控制第一数量的脉冲能量122。

[0318] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,带条宽

度110在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。该段落的在先主题是本公开的实例131的特征,其中实例131还包括以上根据实例107至130中任一项的主题。

[0319] 如所讨论,用于AFP的预浸料束拥有各种宽度,其中四分之一英寸(6毫米)和二分之一英寸(13毫米)预浸料束是常见的。自动化纤维铺放方法300可以用任何适合尺寸的纤维增强的带条实施。

[0320] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,带条宽度110小于15毫米(0.6英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例132的特征,其中实例132还包括以上根据实例107至130中任一项的主题。

[0321] 如所提到,自动化纤维铺放方法300可以用任何适合尺寸的纤维增强的带条实施。

[0322] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,带条宽度110小于8毫米(0.3英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例133的特征,其中实例133还包括以上根据实例107至131中任一项的主题。

[0323] 如所提到,自动化纤维铺放方法300可以用任何适合尺寸的纤维增强的带条实施。

[0324] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2-4,根据自动化纤维铺放方法300,(方框304)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括(方框306)在衬底116上压实至少一个纤维增强的带条104。该段落的在先主题是本公开的实例134的特征,其中实例134还包括以上根据实例107至133中任一项的主题。

[0325] 在衬底116上压实纤维增强的带条104确保在纤维增强的带条104的前一层上合适的粘附。

[0326] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,在每个不连续区域148内,弯曲的单向增强纤维132中至少一个包括多个折叠。该段落的在先主题是本公开的实例135的特征,其中实例135还包括以上根据实例107至134中任一项的主题。

[0327] 如本文所讨论,单向增强纤维132中各个单向增强纤维132中的多个折叠允许虚拟曲线路径128的紧凑曲线。

[0328] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法300,不连续带区域148是梯形的。该段落的在先主题是本公开的实例136的特征,其中实例136还包括以上根据实例107至135中任一项的主题。

[0329] 如本文所讨论,通过是梯形的,不连续带区域148允许纤维增强的带条104沿虚拟曲线路径128的铺放。

[0330] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2-4,根据自动化纤维铺放方法300,(方框304)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤导致第二不连续部分125成为中间带区域150,其通过不连续带区域148彼此隔开。该段落的在先主题是本公开的实例137的特征,其中实例137还包括以上根据实例107至136中任一项的主题。

[0331] 如本文所讨论,在被铺放和压实在衬底116上后,中间带区域150使不连续带区域148彼此间隔开并且保持纤维增强的带条104的结构完整性。

[0332] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3,根据自动化纤维铺放方法300,在每个中间带区域150内,所有的单向增强纤维132仅是直的。该段落的在先主题是本公开的实例138的特征,其中实例138还包括以上根据实例137的主题。

[0333] 如本文所讨论,因为单向增强纤维132在中间带区域150内不是弯曲的,所以保持

中间带区域150的结构完整性,由此在被铺放和压实在衬底上116上后使纤维增强的带条104的结构完整性最大化。

[0334] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3、4和11,根据自动化纤维铺放方法300,不连续带区域148内弯曲的单向增强纤维132中每个在中间带区域150内比在不连续带区域148内更少弯曲。该段落的在先主题是本公开的实例139的特征,其中实例139还包括以上根据实例137的主题。

[0335] 如本文所讨论,因为单向增强纤维132在中间带区域150内更少弯曲,所以使中间带区域150的结构完整性最大化,由此在被铺放和压实在衬底上116上后使纤维增强的带条104的结构完整性最大化。

[0336] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3、4和11,根据自动化纤维铺放方法300,中间带区域150是矩形的。该段落的在先主题是本公开的实例140的特征,其中实例140还包括以上根据实例137至139中任一项的主题。

[0337] 如本文所讨论,通过是矩形的,在被铺放和压实在衬底116上后,中间带区域150保持它们的结构完整性而没有单向增强纤维132在纤维增强的带条104内赋予不期望的内部应力。

[0338] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2和6,自动化纤维铺放方法300进一步包括(方框308)在输送第一数量的脉冲能量122和输送第二数量的脉冲能量123后检测至少一个纤维增强的带条104的性质,和(方框310)响应于至少一个纤维增强的带条104的性质,控制第一数量的脉冲能量122、第二数量的脉冲能量123、或沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的速率中的至少一个的步骤。该段落的在先主题是本公开的实例141的特征,其中实例141还包括以上根据实例107至140中任一项的主题。

[0339] 通过在输送第一数量的脉冲能量122后检测纤维增强的带条104的性质,可以确定第一不连续部分124是否正被以期望的和受控的方式转化为不连续带区域148,以及纤维增强的带条104是否也被适当地粘附和压实至衬底116。而且,利用控制第一和/或第二数量的能量的反馈环路能够精确调整和控制第一和/或第二数量的脉冲能量。

[0340] 一般地参考图14,根据自动化纤维铺放方法300,该性质是温度。该段落的在先主题是本公开的实例142的特征,其中实例142还包括以上根据实例141的主题。

[0341] 检测温度提供用于控制第一和/或第二数量的脉冲能量的简单反馈回路,因为,在树脂带基体130的一个或多个实例中,纤维增强的带条104在衬底116上的合适粘附和压实直接基于温度。

[0342] 一般地参考图14和具体地参考,如,图6,根据自动化纤维铺放方法300,(方框302)将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124的步骤,或(方框303)将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二不连续部分125的步骤中至少一个包括直接加热单向增强纤维132,和经由从单向增强纤维132的传导间接加热树脂带基体130。该段落的在先主题是本公开的实例143的特征,其中实例143还包括以上根据实例107至142中任一项的主题。

[0343] 如本文所讨论,通过选择直接加热单向增强纤维132并且不直接加热或至少基本上较少直接加热树脂带基体130的脉冲能量的波长,目标是树脂带基体130的温度不会对树脂带基体130的材料性质不利地影响,并因此不会在铺放和压实在衬底116上后对纤维增强

的带条104的结构完整性不利地影响。

[0344] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2-4和6,自动化纤维铺放方法300进一步包括(方框316)沿虚拟直线路径152在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤。(方框302)将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124的步骤包括将沿虚拟曲线路径128的第一不连续部分124加热至比沿虚拟直线路径152的第一不连续部分124高的温度。该段落的在先主题是本公开的实例144的特征,其中实例144还包括以上根据实例107至143中任一项的主题。

[0345] 如本文所讨论,通过将第一不连续部分124加热到沿虚拟直线路径152时的温度比沿虚拟曲线路径128时低的温度,可以选择温度,以便提供在衬底116上的期望的粘附和压实,而不会不利地影响其结构完整性。

[0346] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3、4、12和13,根据自动化纤维铺放方法300,虚拟曲线路径128是非平面的。该段落的在先主题是本公开的实例145的特征,其中实例145还包括以上根据实例107至144中任一项的主题。

[0347] 当实施自动化纤维铺放方法300以沿非平面的虚拟曲线路径128铺放纤维增强的带条104时,自动化纤维铺放方法300可以被实施以构建非平面的制造的物品,包括具有复杂轮廓的表面的那些。

[0348] 一般地参考图14和具体地参考,如,图3、4、12和13,根据自动化纤维铺放方法300,衬底116包括复杂轮廓。该段落的在先主题是本公开的实例146的特征,其中实例146还包括以上根据实例107至145中任一项的主题。

[0349] 当衬底116包括复杂轮廓时,自动化纤维铺放方法300能够在衬底116上铺放和压实纤维增强的带条104,使得能够构建先前用传统AFP工艺不可能的制造的物品。

[0350] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2-4和11,根据自动化纤维铺放方法300,在(方框304)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤后,至少一个纤维增强的带条104不会由衬底116剥离。该段落的在先主题是本公开的实例147的特征,其中实例147还包括以上根据实例107至146中任一项的主题。

[0351] 因为纤维增强的带条104不会由衬底116剥离,所以保持纤维增强的带条104的期望的结构完整性,并且可以固化得到的复合部件以创造具有期望性质的制造的物品。

[0352] 一般地参考图14和具体地参考,如,图2-4和11-13,自动化纤维铺放方法300进一步包括在(方框304)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤后,(方框318)固化至少一个纤维增强的带条104以形成制造的物品200的步骤。该段落的在先主题是本公开的实例148的特征,其中实例148还包括以上根据实例107至147中任一项的主题。

[0353] 固化使树脂带基体130硬化。

[0354] 一般地参考图14和具体地参考,如,图12和13,根据自动化纤维铺放方法300,制造的物品200是飞行器228。该段落的在先主题是本公开的实例149的特征,其中实例149还包括以上根据实例148的主题。

[0355] 因此,可以利用自动化纤维铺放方法300至少部分地构造飞行器228。

[0356] 一般地参考图14和具体地参考,如,图12和13,根据自动化纤维铺放方法300,飞行器228包括机头区域230,和机头区域230包括至少一个纤维增强的带条104。该段落的在先

主题是本公开的实例150的特征,其中实例150还包括以上根据实例149的主题。

[0357] 如本文所讨论,飞行器的机头区域通常具有复杂的轮廓,其先前无法使用传统的AFP机器人和工艺来构造。

[0358] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2-5、7和11,公开了自动化纤维铺放方法500。自动化纤维铺放方法500包括(方框502)将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402。自动化纤维铺放方法500还包括(方框504)将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404,其中第二部分404与第一部分402交替。至少一个纤维增强的带条104的第二部分404中的每一个至少部分地与至少一个纤维增强的带条104的第一部分402中的两个相邻部分重叠,使得第一部分402和第二部分404的重叠区域406具有高于第一部分402和第二部分404的非重叠区域408的温度。至少一个纤维增强的带104包括第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108,其中第二纵向带边缘108平行于第一纵向带边缘106并且与第一纵向带边缘106间隔开带条宽度110。至少一个纤维增强的带条104包括树脂带基体130和嵌入在树脂带基体130中的单向增强纤维132。自动化纤维铺放方法500还包括:(方框506)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104,使得(i)至少一个纤维增强的带条104在虚拟曲线路径上居中,和(ii)至少一个纤维增强的带条104的重叠区域406被转化成在几何结构上不同于重叠区域406的不连续带区域148。该段落的在先主题是本公开的实例151的特征。

[0359] 通过用第一部分402和第二部分404产生重叠区域406,第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123累积在重叠区域406,导致重叠区域406的温度高于非重叠区域408的温度。因此,当沿虚拟曲线路径128铺设纤维增强的带条104时,彼此间隔开的重叠区域406在几何结构上转化成不连续带区域148。重要的是,可以控制第一数量和第二数量的脉冲能量,以便即使当虚拟曲线路径128具有紧凑的半径时,铺放的纤维增强的带条104也不会从衬底116剥离。因此,自动化纤维铺放方法500可被实施以构造具有比以前可能的更复杂的表面轮廓的纤维增强的复合结构。此外,自动化纤维铺放方法500可被实施以制造复合部件,其中单向增强纤维132在整个复合部件中以所需和/或预定方向取向,诸如限定利用标准的 $0^{\circ}$ 、 $+45^{\circ}$ 、 $-45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 叠层技术不可能的复合部件的所需性能。

[0360] 一般地参考图15和具体地参考,如,图7,根据自动化纤维铺放方法500,重叠区域406和非重叠区域408的尺寸相同。该段落的在先主题是本公开的实例152的特征,其中实例152还包括以上根据实例151的主题。

[0361] 如本文所讨论,使重叠区域406和非重叠区域408尺寸相同能够使纤维增强的带条104以恒定速度铺设,而无需复杂地控制第一和第二数量的脉冲能量。

[0362] 一般地参考图15和具体地参考,如,图7,根据自动化纤维铺放方法500,重叠区域406小于非重叠区域408。该段落的在先主题是本公开的实例153的特征,其中实例153还包括以上根据实例151或152的主题。

[0363] 如本文所讨论,通过使重叠区域406小于非重叠区域408,由于重叠区域406至不连续带区域148的转化引起的纤维增强的带条104的材料性质的任何改变被最小化。即,通过使非重叠区域408大于重叠区域406,以及由于非重叠区域408不转化为不连续带区域148,纤维增强的带条104的期望的材料性质被保持。

[0364] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3、4和11,根据自动化纤维铺放方法500,不

连续带区域148在结构上不同于重叠区域406。该段落的在先主题是本公开的实例154的特征,其中实例154还包括以上根据实例151至153中任一项的主题。

[0365] 如本文所讨论,通过在结构上转化,其意味着不仅几何结构从重叠区域406变化到不连续带区域148,还意味着操纵重叠区域406内的单向增强纤维132,使得它们依然平行于衬底116,仍不保持跨越带条宽度110的树脂带基体130内彼此内的均匀平行关系。该结构转化能够使纤维增强的带条104沿虚拟曲线路径128铺放,而没有单向增强纤维132在纤维增强的带条104上赋予不期望的内部应力,单向增强纤维在纤维增强的带条104上赋予不期望的内部应力将否则导致纤维增强的带条104从衬底116剥离。

[0366] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,虚拟曲线路径128包括弧156,其具有从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108相交的虚拟线138上的虚拟点136测量的半径134。带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003。在每个不连续带区域148内,单向增强纤维132中最靠近第一纵向带边缘106的一个比单向增强纤维132中最靠近第二纵向带边缘108的另一个更弯曲。弯曲的单向增强纤维132中一些平行于衬底116。该段落的在先主题是本公开的实例155的特征,其中实例155还包括以上根据实例151至154中任一项的主题。

[0367] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003导致比利用传统AFP机器和工艺可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。通过与到第二纵向带边缘108相比,更靠近第一纵向带边缘106的单向增强纤维132更弯曲,第一纵向带边缘106可以具有比第二纵向带边缘108更紧凑的曲线,这对于纤维增强的带条104遵循阈值曲率以下的虚拟曲线路径128而不从衬底116剥离是必须的。通过平行于衬底116弯曲,单向增强纤维132不产生否则将引起纤维增强的带条104由衬底116剥离的内部应力。

[0368] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例156的特征,其中实例156还包括以上根据实例155的主题。

[0369] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0370] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例157的特征,其中实例157还包括以上根据实例155的主题。

[0371] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0372] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例158的特征,其中实例158还包括以上根据实例155的主题。

[0373] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0374] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例159的特征,其中实例159还包括以上根据实例155的主题。

[0375] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0376] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例160的特征,其中实例160还包括以上根据实例155的主题。

[0377] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0378] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例161的特征,其中实例161还包括以上根据实例155的主题。

[0379] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0380] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例162的特征,其中实例162还包括以上根据实例155的主题。

[0381] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0382] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例163的特征,其中实例163还包括以上根据实例155的主题。

[0383] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0384] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例164的特征,其中实例164还包括以上根据实例155的主题。

[0385] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0386] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例165的特征,其中实例165还包括以上根据实例155的主题。

[0387] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0388] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。该段落的在先主题是本公开的实例166的特征,其中实例166还包括以上根据实例155的主题。

[0389] 如本文所讨论,使弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积导致虚拟曲线路径128能够保持相比当利用传统AFP机器和工艺时将可能的更长长度更紧凑的曲率,而没有预浸料束由衬底剥离。

[0390] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,带条宽度110与半径134的比大于或等于0.005。该段落的在先主题是本公开的实例167的特征,其中实例167还包括以上根据实例155至166中任一项的主题。

[0391] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.005导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0392] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,带条宽度110与半径134的比大于或等于0.01。该段落的在先主题是本公开的实例168的特征,其中实例168还包括以上根据实例155至167中任一项的主题。

[0393] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.01导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0394] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,带条宽度110与半径134的比大于或等于0.03。该段落的在先主题是本公开的实例169的特征,其中实例169还包括以上根据实例155至168中任一项的主题。

[0395] 如本文所讨论,带条宽度110与半径134的比等于或大于0.03导致比利用传统AFP机器可能的更紧凑的曲率的半径,而没有预浸料束从其衬底剥离。

[0396] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2-4和7,根据自动化纤维铺放方法500,将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和504将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404的步骤包括将至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和第二部分404的重叠区域406内的第一阵列位置加热到比至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和第二部分404的重叠区域406内第二阵列位置更高的温度。第一阵列位置中的位置比第二阵列位置中的位置更靠近虚拟点136。该段落的在先主题是本公开的实例170的特征,其中实例170还包括以上根据实例155至169中任一项的主题。

[0397] 如本文所讨论,因为重叠区域406内较远离虚拟点136的位置经历较不紧凑的曲率,所以它们不需要被加热到与重叠区域406内更靠近虚拟点136的位置一样高的温度。因此,可以保持较远离位置的结构完整性。

[0398] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2、5和7,根据自动化纤维铺放方法500,至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条。(方框506)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设多个纤维增强的带条。将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和

将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404的步骤包括将多个纤维增强的带条的第一子组的重叠区域406加热到比多个纤维增强的带条的第二子组的重叠区域406更高的温度。多个纤维增强的带条的第二子组的条带比多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离虚拟点136。该段落的在先主题是本公开的实例171的特征，其中实例171还包括以上根据实例155至170中任一项的主题。

[0399] 如本文所讨论，结构化AFP机器以铺放连续段(多个)预浸料束是常见的。当根据实例171，如此实施自动化纤维铺放方法500时，更靠近虚拟点136的纤维增强的带条被加热到比更远离虚拟点136的纤维增强的带条更高的温度，以促进更靠近虚拟点136的那些纤维增强的带条的更紧凑的曲率并保持更远离虚拟点136的那些纤维增强的带条的结构完整性。

[0400] 一般地参考图15和具体地参考，如，图2、5和7，根据自动化纤维铺放方法500，至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条。(方框506)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设多个纤维增强的带条。该段落的在先主题是本公开的实例172的特征，其中实例172还包括以上根据实例151至170中任一项的主题。

[0401] 通过同时铺放和压实多个纤维增强的带条，自动化纤维铺放方法500在覆盖大的表面积方面更有效。

[0402] 一般地参考图15和具体地参考，如，图2-4和7，自动化纤维铺放方法500进一步包括(方框508)在输送第一数量的脉冲能量122和输送第二数量的脉冲能量123后检测多个纤维增强的条带的性质，和(方框510)响应于多个纤维增强的带条的性质，控制第一数量的脉冲能量122、第二数量的脉冲能量123或沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的速率中的至少一个的步骤。该段落的在先主题是本公开的实例173的特征，其中实例173还包括以上根据实例171或172的主题。

[0403] 通过在压实后检测纤维增强的带条的性质，可以确定重叠区域406是否正被以期望的和受控的方式转化为不连续带区域148，以及纤维增强的带条是否也被适当地粘附和压实至衬底116。而且，利用控制第一和/或第二数量的脉冲能量的反馈环路能够精确调整和控制第一和/或数量的脉冲能量。

[0404] 一般地参考图15和具体地参考，如，图3和4，根据自动化纤维铺放方法500，带条宽度110在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。该段落的在先主题是本公开的实例174的特征，其中实例174还包括以上根据实例151至173中任一项的主题。

[0405] 如本文所讨论，用于AFP的预浸料束拥有各种宽度，其中四分之一英寸(6毫米)和二分之一英寸(13毫米)预浸料束是常见的。自动化纤维铺放方法500可以用任何适合尺寸的纤维增强的带条实施。

[0406] 一般地参考图15和具体地参考，如，图3和4，根据自动化纤维铺放方法500，带条宽度110小于15毫米(0.6英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例175的特征，其中实例175还包括以上根据实例151至173中任一项的主题。

[0407] 如所提到，自动化纤维铺放方法500可以用任何适合尺寸的纤维增强的带条实施。

[0408] 一般地参考图15和具体地参考，如，图3和4，根据自动化纤维铺放方法500，带条宽度110小于8毫米(0.3英寸)。该段落的在先主题是本公开的实例176的特征，其中实例176还包括以上根据实例151至174中任一项的主题。

- [0409] 如所提到,自动化纤维铺放方法500可以用任何适合尺寸的纤维增强的带条实施。
- [0410] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2-4,根据自动化纤维铺放方法500,(方框506)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括(方框512)在衬底116上压实至少一个纤维增强的带条104。该段落的在先主题是本公开的实例177的特征,其中实例177还包括以上根据实例151至176中任一项的主题。
- [0411] 如本文所讨论,在衬底116上压实纤维增强的带条104确保在纤维增强的带条104的前一层上合适的粘附。
- [0412] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,在每个不连续区域148内,弯曲的单向增强纤维132中至少一个包括多个折叠。该段落的在先主题是本公开的实例178的特征,其中实例178还包括以上根据实例151至177中任一项的主题。
- [0413] 如本文所讨论,单向增强纤维132中各个单向增强纤维中的多个折叠允许虚拟曲线路径128的紧凑曲线。
- [0414] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3和4,根据自动化纤维铺放方法500,不连续带区域148是梯形的。该段落的在先主题是本公开的实例179的特征,其中实例179还包括以上根据实例151至178中任一项的主题。
- [0415] 如本文所讨论,通过是梯形的,不连续带区域148允许纤维增强的带条104沿虚拟曲线路径128的铺放。
- [0416] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2-4,根据自动化纤维铺放方法500,(方框506)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104导致非重叠区域408成为中间带区域150,其通过不连续带区域148彼此隔开。该段落的在先主题是本公开的实例180的特征,其中实例180还包括以上根据实例151至179中任一项的主题。
- [0417] 如本文所讨论,在被铺放和压实在衬底116上后,对应于非重叠区域408的中间带区域150使不连续带区域148彼此间隔开并且保持纤维增强的带条104的结构完整性。
- [0418] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3,根据自动化纤维铺放方法500,在每个中间带区域150内,所有的单向增强纤维132仅是直的。该段落的在先主题是本公开的实例181的特征,其中实例181还包括以上根据实例180的主题。
- [0419] 如本文所讨论,因为单向增强纤维132在中间带区域150内不是弯曲的,所以保持中间带区域150的结构完整性,由此在被铺放和压实在衬底上116上后使纤维增强的带条104的结构完整性最大化。
- [0420] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3、4和11,根据自动化纤维铺放方法500,不连续带区域148内弯曲的单向增强纤维132中每个在中间带区域150内比在不连续带区域148内更少弯曲。该段落的在先主题是本公开的实例182的特征,其中实例182还包括以上根据实例180的主题。
- [0421] 如本文所讨论,因为单向增强纤维132在中间带区域150内更少弯曲,所以使中间带区域150的结构完整性最大化,由此在被铺放和压实在衬底上116上后使纤维增强的带条104的结构完整性最大化。
- [0422] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3、4和11,根据自动化纤维铺放方法500,中间带区域150是矩形的。该段落的在先主题是本公开的实例183的特征,其中实例183还包括以上根据实例180至182中任一项的主题。

[0423] 如本文所讨论,通过是矩形的,在被铺放和压实在衬底116上后,中间带区域150保持它们的结构完整性而没有单向增强纤维132在纤维增强的带条104内赋予不期望的内部应力。

[0424] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2和7,自动化纤维铺放方法500进一步包括(方框514)在输送第一数量的脉冲能量122和输送第二数量的脉冲能量123后检测514至少一个纤维增强的带条104的性质,和(方框516)响应于至少一个纤维增强的带条104的性质,控制第一数量的脉冲能量122、第二数量的脉冲能量123、或沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的速率中的至少一个的步骤。该段落的在先主题是本公开的实例184的特征,其中实例184还包括以上根据实例151至183中任一项的主题。

[0425] 通过在输送第一和第二数量的脉冲能量后检测纤维增强的带条104的性质,可以确定重叠区域406是否正被以期望的和受控的方式转化为不连续带区域148,以及纤维增强的带条104是否也被适当地粘附和压实至衬底116。而且,利用控制第一和/或第二数量的能量的反馈环路能够精确调整和控制第一和/或第二数量的脉冲能量。

[0426] 一般地参考图15,根据自动化纤维铺放方法500,该性质是温度。该段落的在先主题是本公开的实例185的特征,其中实例185还包括以上根据实例184的主题。

[0427] 如本文所讨论,检测温度提供用于控制第一和/或第二数量的脉冲能量的简单反馈回路,因为,在树脂带基体130的一个或多个实例中,纤维增强的带条104在衬底116上的合适粘附和压实直接基于温度。

[0428] 一般地参考图15和具体地参考,如,图7,根据自动化纤维铺放方法500,(502)将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402的步骤或(方框504)将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404的步骤中的至少一个包括直接加热单向增强纤维132,和经由从单向增强纤维132的传导间接加热树脂带基体130。该段落的在先主题是本公开的实例186的特征,其中实例186还包括以上根据实例151至185中任一项的主题。

[0429] 如本文所讨论,通过选择直接加热单向增强纤维132并且不直接加热或至少基本上较少直接加热树脂带基体130的脉冲能量的波长,目标是树脂带基体130的温度不会对树脂带基体130的材料性质不利地影响,并因此不会在铺放和压实在衬底116上后对纤维增强的带条104的结构完整性不利地影响。

[0430] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2-4和7,自动化纤维铺放方法500进一步包括(方框518)沿虚拟直线路径152在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤。将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404的步骤包括将沿虚拟曲线路径128的重叠区域406加热至比沿虚拟直线路径152的重叠区域406高的温度。该段落的在先主题是本公开的实例187的特征,其中实例187还包括以上根据实例151至186中任一项的主题。

[0431] 如本文所讨论,通过将重叠区域406加热到沿虚拟直线路径152时的温度比沿虚拟曲线路径128时低的温度,可以选择温度,以便提供在衬底116上的期望的粘附和压实,而不会不利地影响其结构完整性。

[0432] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3、4、12和13,根据自动化纤维铺放方法500,

虚拟曲线路径128是非平面的。该段落的在先主题是本公开的实例188的特征,其中实例188还包括以上根据实例151至187中任一项的主题。

[0433] 当实施自动化纤维铺放方法500以沿非平面的虚拟曲线路径128铺放纤维增强的带条104时,自动化纤维铺放方法500可以被实施以构建非平面的制造的物品,包括具有复杂轮廓的表面的那些。

[0434] 一般地参考图15和具体地参考,如,图3、4、12和13,根据自动化纤维铺放方法500,衬底116包括复杂轮廓。该段落的在先主题是本公开的实例189的特征,其中实例189还包括以上根据实例151至188中任一项的主题。

[0435] 当衬底116包括复杂轮廓时,自动化纤维铺放方法500能够在衬底116上铺放和压实纤维增强的带条104,使得能够构建先前用传统AFP工艺不可能的制造的物品。

[0436] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2-4和11,根据自动化纤维铺放方法500,在(方框506)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤后,至少一个纤维增强的带条104不会由衬底116剥离。该段落的在先主题是本公开的实例190的特征,其中实例190还包括以上根据实例151至189中任一项的主题。

[0437] 如本文所讨论,因为纤维增强的带条104不会由衬底116剥离,所以保持纤维增强的带条104的期望的结构完整性,并且可以固化得到的复合部件以创造具有期望性质的制造的物品。

[0438] 一般地参考图15和具体地参考,如,图2-4和11-13,自动化纤维铺放方法500进一步包括在(方框506)沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤后,(方框520)固化至少一个纤维增强的带条104以形成制造的物品200的步骤。该段落的在先主题是本公开的实例191的特征,其中实例191还包括以上根据实例151至190中任一项的主题。

[0439] 如本文所讨论,固化使树脂带基体130硬化。

[0440] 一般地参考图15和具体地参考,如,图12和13,根据自动化纤维铺放方法500,制造的物品200是飞行器228。该段落的在先主题是本公开的实例192的特征,其中实例192还包括以上根据实例191的主题。

[0441] 在一个或多个实例中,利用自动化纤维铺放方法500构造飞行器228至少部分。

[0442] 一般地参考图15和具体地参考,如,图12和13,根据自动化纤维铺放方法500,飞行器228包括机头区域230,其包括至少一个纤维增强的带条104。该段落的在先主题是本公开的实例193的特征,其中实例193还包括以上根据实例192的主题。

[0443] 如本文所讨论,飞行器的机头区域通常具有复杂的轮廓,其先前无法使用传统的AFP机器和工艺来构造。

[0444] 本公开进一步包括以下说明性的非穷举性列举的实例,其可以要求保护或可以不要求保护:

[0445] 1.一种自动化纤维铺放系统100,其包括:

[0446] 分配器102,其配置为分配至少一个纤维增强的带条104,和其中:

[0447] 至少一个纤维增强的带条104包括第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108,其中第二纵向带边缘108平行于第一纵向带边缘106并且与第一纵向带边缘106间隔开带条宽度110;和

[0448] 至少一个纤维增强的带条104包括树脂带基体130和嵌入在树脂带基体130中的单向增强纤维132;

[0449] 压实器112,其配置为接收来自压实器112的前侧114的至少一个纤维增强的带条104,并且将至少一个纤维增强的带条104压实在衬底116上;

[0450] 转向机构118,其配置为在相对于衬底116的二维或三维空间中的至少一个中操纵分配器102和压实器112;

[0451] 能量源120,其配置为将第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123输送到压实器112的前侧114,以分别将至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124加热到第一温度,和将至少一个纤维增强的带条104的第二不连续部分125加热到第二温度,其中至少一个纤维增强带条104的第二不连续部分125与第一不连续部分124沿至少一个纤维增强的带条104交替;和

[0452] 控制器126,其被编程为控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个,以及还被编程为选择性地使转向机构118在衬底上至少沿虚拟曲线路径128铺放至少一个纤维增强的带条104,使得:

[0453] 至少一个纤维增强的带条104在虚拟曲线路径128上居中;和

[0454] 至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124被转化成在几何结构上不同于第一不连续部分124的不连续带区域148。

[0455] 2.根据实例1所述的自动化纤维铺放系统100,其中第二温度低于第一温度。

[0456] 3.根据实例1或2所述的自动化纤维铺放系统100,其中第一不连续部分124和第二不连续部分125尺寸相同。

[0457] 4.根据实例1或2所述的自动化纤维铺放系统100,其中第一不连续部分124小于第二不连续部分125。

[0458] 5.根据实例1至4中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中不连续带区域148在结构上不同于第一不连续部分124。

[0459] 6.根据实例1至5中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,以便:

[0460] 虚拟曲线路径128包括弧156,其具有从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108相交的虚拟线138上的虚拟点136测量的半径134;

[0461] 带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003;

[0462] 在每个不连续带区域148内,单向增强纤维132中最靠近第一纵向带边缘106的一个比单向增强纤维132中最靠近第二纵向带边缘108的另一个更弯曲;和

[0463] 弯曲的单向增强纤维132中的一些平行于衬底116。

[0464] 7.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。

[0465] 8.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径

128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。

[0466] 9.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。

[0467] 10.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。

[0468] 11.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。

[0469] 12.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。

[0470] 13.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。

[0471] 14.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。

[0472] 15.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。

[0473] 16.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。

[0474] 17.根据实例6所述的自动化纤维铺放系统100,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。

[0475] 18.根据实例6至17中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中带条宽度110与半径134的比等于或大于0.005。

[0476] 19.根据实例6至18中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中带条宽度110与半径134的比等于或大于0.01。

[0477] 20.根据实例6至19中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中带条宽度110与半径134的比等于或大于0.03。

[0478] 21.根据实例6至20中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中:

[0479] 控制器126进一步被编程以使能量源120向压实器112的前侧114输送第一数量的脉冲能量122,以便至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124内的第一阵列位置被加热到比至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124内第二阵列位置更高的温度;和

- [0480] 第一阵列位置中的位置比第二阵列位置中的位置更靠近虚拟点136。
- [0481] 22. 根据实例6至21中任一项所述的自动化纤维铺放系统100, 其中:
- [0482] 至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条;
- [0483] 压实器112配置为以连续条带的平行阵列在衬底116上压实多个纤维增强的带条;
- [0484] 控制器126进一步被编程以使能量源120向压实器112的前侧114输送第一数量的脉冲能量122, 以便多个纤维增强的带条的第一子组的第一不连续部分124被加热到比多个纤维增强的带条的第二子组的第一不连续部分124更高的温度;
- [0485] 多个纤维增强的带条的第二子组的条带比多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离虚拟点136。
- [0486] 23. 根据实例1至21中任一项所述的自动化纤维铺放系统100, 其中:
- [0487] 至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条; 和
- [0488] 压实器112配置为以连续条带的平行阵列在衬底116上压实多个纤维增强的带条。
- [0489] 24. 根据实例23所述的自动化纤维铺放系统100, 其中:
- [0490] 能量源120是多个能量源; 和
- [0491] 多个能量源中的每一个配置为以下中至少一个: 向第一不连续部分124输送第一数量的脉冲能量122或向多个纤维增强的带条中各个纤维增强的带条的第二不连续部分125输送第二数量的脉冲能量123。
- [0492] 25. 根据实例23或24所述的自动化纤维铺放系统100, 进一步包括传感器140, 和其中:
- [0493] 传感器140配置为检测在压实器112的后侧142上多个纤维增强的带条中每个的性质; 和
- [0494] 控制器126被编程以响应于从传感器140接收的输入, 控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。
- [0495] 26. 根据实例1至25中任一项所述的自动化纤维铺放系统100, 其中带条宽度110在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。
- [0496] 27. 根据实例1至25中任一项所述的自动化纤维铺放系统100, 其中带条宽度110小于15毫米(0.6英寸)。
- [0497] 28. 根据实例1至26中任一项所述的自动化纤维铺放系统100, 其中带条宽度110小于8毫米(0.3英寸)。
- [0498] 29. 根据实例1至28中任一项所述的自动化纤维铺放系统100, 其中, 在每个不连续区域148内, 弯曲的单向增强纤维132中至少一个包括多个折叠。
- [0499] 30. 根据实例1至29中任一项所述的自动化纤维铺放系统100, 其中不连续带区域148是梯形的。
- [0500] 31. 根据实例1至30中任一项所述的自动化纤维铺放系统100, 其中控制器126被编程以使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上沿虚拟曲线路径128的铺放, 以便在不连续带区域148之间产生至少一个纤维增强的带条104的中间带区域150。
- [0501] 32. 根据实例31所述的自动化纤维铺放系统100, 其中在每个中间带区域150内, 所有的单向增强纤维132仅是直的。

[0502] 33. 根据实例31所述的自动化纤维铺放系统100,其中不连续带区域148内弯曲的单向增强纤维132中每个在中间带区域150内比在不连续带区域148内更少弯曲。

[0503] 34. 根据实例31至33中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中中间带区域150是矩形的。

[0504] 35. 根据实例1至34中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,进一步包括传感器140,和其中:

[0505] 传感器140配置为检测在压实器112的后侧142上至少一个纤维增强的带条104的性质;和

[0506] 控制器126被编程以响应于从传感器140接收的输入,控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。

[0507] 36. 根据实例35所述的自动化纤维铺放系统100,其中传感器140是温度传感器。

[0508] 37. 根据实例1至36中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中至少一个配置为直接加热单向增强纤维132,用于经由从单向增强纤维132的传导间接加热树脂带基体130。

[0509] 38. 根据实例1至37中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中:

[0510] 控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上在虚拟直线路径152中的铺放;和

[0511] 控制器126被编程以使能量源120将沿虚拟曲线路径128的第一不连续部分124加热至比沿虚拟直线路径152的第一不连续部分124高的温度。

[0512] 39. 根据实例1至38中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中虚拟曲线路径128是非平面的。

[0513] 40. 根据实例1至39中任一项所述的自动化纤维铺放系统100,其中衬底116包括复杂轮廓。

[0514] 41. 一种自动化纤维铺放系统400,其包括:

[0515] 分配器102,其配置为分配至少一个纤维增强的带条104,和其中:

[0516] 至少一个纤维增强的带条104包括第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108,其中第二纵向带边缘108与第一纵向带边缘106平行并且与第一纵向带边缘106间隔开带条宽度110;和

[0517] 至少一个纤维增强的带条104包括树脂带基体130和嵌入在树脂带基体130中的单向增强纤维132;

[0518] 压实器112,其配置为接收来自压实器112的前侧114的至少一个纤维增强的带条104,并且将至少一个纤维增强的带条104压实在衬底116上;

[0519] 转向机构118,其配置为在相对于衬底116的二维或三维空间中的至少一个中操纵分配器102和压实器112;

[0520] 能量源120,其配置为将第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123输送到压实器112的前侧114,以分别加热至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和至少一个纤维增强的带条104的第二部分404,其中沿至少一个纤维增强的带条104,至少一个纤维增强的带条104的第二部分404与第一部分402交替,和其中至少一个纤维增强的带条104的

第二部分404中的每一个至少部分地与至少一个纤维增强的带条104的第一部分402中的两个相邻部分重叠,使得第一部分402和第二部分404的重叠区域406具有高于第一部分402和第二部分404的非重叠区域408的温度;和

[0521] 控制器126,其被编程为控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个,和还被编程为选择性地使转向机构118在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128铺放至少一个纤维增强的带条104,使得:

[0522] 至少一个纤维增强的带条104在虚拟曲线路径128上居中;和

[0523] 至少一个纤维增强的带条104的重叠区域406被转化成在几何结构上不同于重叠区域406的不连续带区域148。

[0524] 42. 根据实例41所述的自动化纤维铺放系统400,其中重叠区域406和非重叠区域408的尺寸相同。

[0525] 43. 根据实例41所述的自动化纤维铺放系统400,其中重叠区域406小于非重叠区域408。

[0526] 44. 根据实例41至43中任一项所述的自动化纤维铺放系统400,其中不连续带区域148在结构上不同于重叠区域406。

[0527] 45. 根据实例41至44中任一项所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,以便:

[0528] 虚拟曲线路径128包括弧156,其具有从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108相交的虚拟线138上的虚拟点136测量的半径134;

[0529] 带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003;

[0530] 在每个不连续带区域148内,单向增强纤维132中最靠近第一纵向带边缘106的一个比单向增强纤维132中最靠近第二纵向带边缘108的另一个更弯曲;和

[0531] 弯曲的单向增强纤维132中的一些平行于衬底116。

[0532] 46. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。

[0533] 47. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。

[0534] 48. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。

[0535] 49. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。

[0536] 50. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路

径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。

[0537] 51. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。

[0538] 52. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。

[0539] 53. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。

[0540] 54. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。

[0541] 55. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。

[0542] 56. 根据实例45所述的自动化纤维铺放系统400,其中控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上至少沿虚拟曲线路径128的铺放,使得弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。

[0543] 57. 根据实例45至56中任一项所述的自动化纤维铺放系统400,其中带条宽度110与半径134的比等于或大于0.005。

[0544] 58. 根据实例45至56中任一项所述的自动化纤维铺放系统400,其中带条宽度110与半径134的比等于或大于0.01。

[0545] 59. 根据实例45至56中任一项所述的自动化纤维铺放系统400,其中带条宽度110与半径134的比等于或大于0.03。

[0546] 60. 根据实例45至59中任一项所述的自动化纤维铺放系统400,其中:

[0547] 控制器126进一步被编程以使能量源120向压实器112的前侧114输送第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123,以便至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和第二部分404的重叠区域406内的第一阵列位置被加热到比至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和第二部分404的重叠区域406内的第二阵列位置更高的温度;和

[0548] 第一阵列位置中的位置比第二阵列位置中的位置更靠近虚拟点136。

[0549] 61. 根据实例45至60中任一项所述的自动化纤维铺放系统400,其中:

[0550] 至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条;

[0551] 压实器112配置为以连续条带的平行阵列在衬底116上压实多个纤维增强的带条;

[0552] 控制器126被编程以使能量源120向压实器112的前侧114输送第一数量的脉冲能量122和第二数量的脉冲能量123,以便多个纤维增强的带条的第一子组的重叠区域406被加热到比多个纤维增强的带条的第二子组的重叠区域406更高的温度;和

[0553] 多个纤维增强的带条的第二子组的条带比多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离虚拟点136。

- [0554] 62. 根据实例41至60中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中:
- [0555] 至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条; 和
- [0556] 压实器112配置为以连续条带的平行阵列在衬底116上压实多个纤维增强的带条。
- [0557] 63. 根据实例62所述的自动化纤维铺放系统400, 其中:
- [0558] 能量源120是多个能量源; 和
- [0559] 多个能量源中的每一个配置为以下中至少一个: 向第一部分402输送第一数量的脉冲能量122或向多个纤维增强的带条中各个纤维增强的带条的第二部分404输送第二数量的脉冲能量123。
- [0560] 64. 根据实例62或63所述的自动化纤维铺放系统400, 进一步包括传感器140, 和其中:
- [0561] 传感器140配置为检测在压实器112的后侧142上多个纤维增强的带条中每个的性质; 和
- [0562] 控制器126被编程以响应于从传感器140接收的输入, 控制来自分配器102的至少一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。
- [0563] 65. 根据实例41至64中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中带条宽度110在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。
- [0564] 66. 根据实例41至65中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中带条宽度110小于15毫米(0.6英寸)。
- [0565] 67. 根据实例41至65中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中带条宽度110小于8毫米(0.3英寸)。
- [0566] 68. 根据实例41至67中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中, 在每个不连续区域148内, 弯曲的单向增强纤维132中的至少一个包括多个折叠。
- [0567] 69. 根据实例41至68中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中不连续带区域148是梯形的。
- [0568] 70. 根据实例41至69中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中控制器126被编程以使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上沿虚拟曲线路径128的铺放, 以便在不连续带区域148之间产生至少一个纤维增强的带条104的中间带区域150。
- [0569] 71. 根据实例70所述的自动化纤维铺放系统400, 其中, 在每个中间带区域150内, 所有的单向增强纤维132仅是直的。
- [0570] 72. 根据实例70所述的自动化纤维铺放系统400, 其中不连续带区域148内弯曲的单向增强纤维132中每个在中间带区域150内比在不连续带区域148内更少弯曲。
- [0571] 73. 根据实例70至72中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中中间带区域150是矩形的。
- [0572] 74. 根据实例41至73中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 进一步包括传感器140, 和其中:
- [0573] 传感器140配置为检测在压实器112的后侧142上至少一个纤维增强的带条104的性质; 和
- [0574] 控制器126被编程以响应于从传感器140接收的输入, 控制来自分配器102的至少

一个纤维增强的带条104的进给速率或者第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个的脉冲频率、脉冲功率或脉冲持续时间中的至少一个。

[0575] 75. 根据实例74所述的自动化纤维铺放系统400, 其中传感器140是温度传感器。

[0576] 76. 根据实例41至75中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中第一数量的脉冲能量122或第二数量的脉冲能量123中的至少一个配置为直接加热单向增强纤维132, 用于经由从单向增强纤维132的传导间接加热树脂带基体130。

[0577] 77. 根据实例41至76中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中:

[0578] 控制器126进一步被编程以选择性地使转向机构118转向至少一个纤维增强的带条104在衬底116上在虚拟直线路径152中的铺放; 和

[0579] 控制器126被编程以使能量源120将沿虚拟曲线路径128的重叠区域406加热至比沿虚拟直线路径152的重叠区域406高的温度。

[0580] 78. 根据实例41至77中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中虚拟曲线路径128是非平面的。

[0581] 79. 根据实例41至78中任一项所述的自动化纤维铺放系统400, 其中衬底116包括复杂轮廓。

[0582] 80. 一种制造的物品200, 其包括:

[0583] 条带202, 其包括第一纵向条带边缘204和第二纵向条带边缘206, 其中第二纵向条带边缘206平行于第一纵向条带边缘204并且与第一纵向条带边缘204间隔开条带宽度208; 和其中

[0584] 条带202沿虚拟曲线路径128延伸并居中, 所述虚拟曲线路径128包括具有弧长度154和半径134的弧156;

[0585] 从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向条带边缘204和第二纵向条带边缘206相交的虚拟线138上的虚拟点136测量半径134;

[0586] 条带宽度208与半径134的比大于或等于0.003;

[0587] 弧长度154等于或大于半径134与 $\pi/64$ 的乘积;

[0588] 条带202包括树脂条带基体218和嵌入树脂条带基体218中并沿虚拟曲线路径128延伸的单向增强纤维132;

[0589] 第一纵向条带边缘204比第二纵向条带边缘206更靠近虚拟点136;

[0590] 条带202进一步包括沿虚拟曲线路径128间隔开的不连续条带区域222;

[0591] 在每个不连续条带区域222内, 单向增强纤维132中的最接近第一纵向条带边缘204的一个比单向增强纤维132中的最接近第二纵向条带边缘206的另一个更弯曲; 和

[0592] 弯曲的多个单向增强纤维132中的单向增强纤维平行于虚拟表面中的最小虚拟表面, 其连接第一纵向条带边缘204和第二纵向条带边缘206。

[0593] 81. 根据实例80所述的制造的物品200, 其中条带宽度208与半径134的比大于或等于0.005。

[0594] 82. 根据实例80或81所述的制造的物品200, 其中条带宽度208与半径134的比大于或等于0.01。

[0595] 83. 根据实例80至82中任一项所述的制造的物品200, 其中条带宽度208与半径134的比大于或等于0.03。

- [0596] 84. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。
- [0597] 85. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。
- [0598] 86. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。
- [0599] 87. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。
- [0600] 88. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。
- [0601] 89. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。
- [0602] 90. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。
- [0603] 91. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。
- [0604] 92. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。
- [0605] 93. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。
- [0606] 94. 根据实例80至83中任一项所述的制造的物品200,其中弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。
- [0607] 95. 根据实例80至94中任一项所述的制造的物品200,其中条带宽度208在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。
- [0608] 96. 根据实例80至94中任一项所述的制造的物品200,其中条带宽度208小于15毫米(0.6英寸)。
- [0609] 97. 根据实例80至95中任一项所述的制造的物品200,其中条带宽度208小于8毫米(0.3英寸)。
- [0610] 98. 根据实例80至97中任一项所述的制造的物品200,其中,在每个不连续条带区域222内,弯曲的单向增强纤维132中的至少一个包括多个折叠。
- [0611] 99. 根据实例80至98中任一项所述的制造的物品200,其中不连续条带区域222是梯形的。
- [0612] 100. 根据实例80至99中任一项所述的制造的物品200,其中:
- [0613] 条带202进一步包括中间条带区域224;和
- [0614] 中间条带区域224中任意相邻的两个被一个不连续条带区域222彼此隔开。
- [0615] 101. 根据实例100所述的制造的物品200,其中,在每个中间条带区域224内,所有的单向增强纤维132仅是直的。
- [0616] 102. 根据实例100所述的制造的物品200,其中,不连续条带区域222内弯曲的单向增强纤维132中每个在中间条带区域224内比在不连续条带区域222内更少弯曲。

- [0617] 103. 根据实例100至102中任一项所述的制造的物品200,其中中间条带区域224是矩形的。
- [0618] 104. 根据实例80至103中任一项所述的制造的物品200,其中条带202是非平面的。
- [0619] 105. 根据实例80至104中任一项所述的制造的物品200,其中制造的物品200是飞行器228。
- [0620] 106. 根据实例105所述的制造的物品200,其中:
- [0621] 飞行器228包括机头区域230;和
- [0622] 机头区域230包括条带202。
- [0623] 107. 一种自动化纤维铺放方法300,其包括以下步骤:
- [0624] 将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124;
- [0625] 将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二不连续部分125,第二不连续部分125与第一不连续部分124交替;和其中:
- [0626] 第一不连续部分124中的任何两个相邻部分通过第二不连续部分125中的一个彼此隔开;
- [0627] 第一数量的脉冲能量122将至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124加热到第一温度;
- [0628] 第二数量的脉冲能量123将至少一个纤维增强的带条104的第二不连续部分125加热到第二温度;
- [0629] 至少一个纤维增强的带104包括第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108,其中第二纵向带边缘108平行于第一纵向带边缘106并且与第一纵向带边缘106间隔开带条宽度110;和
- [0630] 至少一个纤维增强的带条104包括树脂带基体130和嵌入在树脂带基体130中的单向增强纤维132;和
- [0631] 沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104,使得:
- [0632] 至少一个纤维增强的带条104在虚拟曲线路径128上居中;和
- [0633] 至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124被转化成在几何结构上不同于第一不连续部分124的不连续带区域148。
- [0634] 108. 根据实例107所述的自动化纤维铺放方法300,其中第二温度低于第一温度。
- [0635] 109. 根据实例107或108所述的自动化纤维铺放方法300,其中第一不连续部分124和第二不连续部分尺寸相同。
- [0636] 110. 根据实例107或108所述的自动化纤维铺放方法300,其中第一不连续部分124小于第二不连续部分125。
- [0637] 111. 根据实例107至110中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中不连续带区域148在结构上不同于第一不连续部分124。
- [0638] 112. 根据实例107至111中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中:
- [0639] 虚拟曲线路径128包括弧156,其具有从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108相交的虚拟线138上的虚拟点136测量的半径134;
- [0640] 带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003;

- [0641] 在每个不连续带区域148内,单向增强纤维132中最靠近第一纵向带边缘106的一个比单向增强纤维132中最靠近第二纵向带边缘108的另一个更弯曲;和
- [0642] 弯曲的单向增强纤维132中的一些平行于衬底116。
- [0643] 113.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。
- [0644] 114.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。
- [0645] 115.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。
- [0646] 116.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。
- [0647] 117.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。
- [0648] 118.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。
- [0649] 119.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。
- [0650] 120.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。
- [0651] 121.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。
- [0652] 122.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。
- [0653] 123.根据实例112所述的自动化纤维铺放方法300,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。
- [0654] 124.根据实例112至123中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中带条宽度110与半径134的比大于或等于0.005。
- [0655] 125.根据实例112至124中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中带条宽度110与半径134的比大于或等于0.01。
- [0656] 126.根据实例112至125中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中带条宽度110与半径134的比大于或等于0.03。
- [0657] 127.根据实例112至126中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中:
- [0658] 将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124的步骤包括将至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124内的第一阵列位置加热到比至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124内的第二阵列位置更高的温度;和
- [0659] 第一阵列位置中的位置比第二阵列位置中的位置更靠近虚拟点136。
- [0660] 128.根据实例112至127中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中:
- [0661] 至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条;

[0662] 沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设多个纤维增强的带条;

[0663] 将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124的步骤包括将多个纤维增强的带条的第一子组的第一不连续部分124加热到比多个纤维增强的带条的第二子组的第一不连续部分124更高的温度;和

[0664] 多个纤维增强的带条的第二子组的条带比多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离虚拟点136。

[0665] 129.根据实例107至127中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中:

[0666] 至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条;和

[0667] 沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设多个纤维增强的带条。

[0668] 130.根据实例128或129所述的自动化纤维铺放方法300,进一步包括以下步骤:

[0669] 在输送第一数量的脉冲能量122后检测多个纤维增强的条带中每个的第一不连续部分124的性质;和

[0670] 响应于多个纤维增强的带条中每个的第一不连续部分124的性质,控制第一数量的脉冲能量122或沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设304至少一个纤维增强的带条104的速率中的至少一个。

[0671] 131.根据实例107至130中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中带条宽度110在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。

[0672] 132.根据实例107至130中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中带条宽度110小于15毫米(0.6英寸)。

[0673] 133.根据实例107至131中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中带条宽度110小于8毫米(0.3英寸)。

[0674] 134.根据实例107至133中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括在衬底116上压实至少一个纤维增强的带条104。

[0675] 135.根据实例107至134中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中,在每个不连续区域148内,弯曲的单向增强纤维132中的至少一个包括多个折叠。

[0676] 136.根据实例107至135中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中,不连续带区域148是梯形的。

[0677] 137.根据实例107至136中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中,沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104导致第二不连续部分125成为中间带区域150,其通过不连续带区域148彼此隔开。

[0678] 138.根据实例137所述的自动化纤维铺放方法300,其中,在每个中间带区域150内,所有的单向增强纤维132仅是直的。

[0679] 139.根据实例137所述的自动化纤维铺放方法300,其中,不连续带区域148内弯曲的单向增强纤维132中的每个在中间带区域150内比在不连续带区域148内更少弯曲。

[0680] 140.根据实例137至139中任一项所述的自动化纤维铺放方法300,其中中间带区域150是矩形的。

[0681] 141. 根据实例107至140中任一项所述的自动化纤维铺放方法300, 进一步包括以下步骤:

[0682] 在输送第一数量的脉冲能量122和输送第二数量的脉冲能量123后, 检测至少一个纤维增强的带条104的性质; 和

[0683] 响应于至少一个纤维增强的带条104的性质, 控制第一数量的脉冲能量122、第二数量的脉冲能量123、或沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设304至少一个纤维增强的带条104的速率中的至少一个。

[0684] 142. 根据实例141所述的自动化纤维铺放方法300, 其中性质是温度。

[0685] 143. 根据实例107至142中任一项所述的自动化纤维铺放方法300, 其中将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124的步骤, 或将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二不连续部分125的步骤中的至少一个包括直接加热单向增强纤维132, 和经由从单向增强纤维132的传导间接加热树脂带基体130。

[0686] 144. 根据实例107至143中任一项所述的自动化纤维铺放方法300, 进一步包括沿虚拟直线路径152在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤; 和

[0687] 其中将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一不连续部分124的步骤包括将沿虚拟曲线路径128的第一不连续部分124加热至比沿虚拟直线路径152的第一不连续部分124高的温度。

[0688] 145. 根据实例107至144中任一项所述的自动化纤维铺放方法300, 其中虚拟曲线路径128是非平面的。

[0689] 146. 根据实例107至145中任一项所述的自动化纤维铺放方法300, 其中衬底116包括复杂轮廓。

[0690] 147. 根据实例107至146中任一项所述的自动化纤维铺放方法300, 其中在沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤后, 至少一个纤维增强的带条104不会由衬底116剥离。

[0691] 148. 根据实例107至147中任一项所述的自动化纤维铺放方法300, 进一步包括在沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤后, 固化至少一个纤维增强的带条104以形成制造的物品200的步骤。

[0692] 149. 根据实例148所述的自动化纤维铺放方法300, 其中制造的物品200是飞行器228。

[0693] 150. 根据实例149所述的自动化纤维铺放方法300, 其中:

[0694] 飞行器228包括机头区域230; 和

[0695] 机头区域230包括至少一个纤维增强的带条104。

[0696] 151. 一种自动化纤维铺放方法500, 其包括以下步骤:

[0697] 将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402;

[0698] 将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404, 其中第二部分404与第一部分402交替, 和其中:

[0699] 至少一个纤维增强的带条104的第二部分404中的每一个至少部分地与至少一个纤维增强的带条104的第一部分402中的两个相邻部分重叠, 使得第一部分402和第二部分

404的重叠区域406具有高于第一部分402和第二部分404的非重叠区域408的温度；

[0700] 至少一个纤维增强的带104包括第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108,其中第二纵向带边缘108平行于第一纵向带边缘106并且与第一纵向带边缘106间隔开带条宽度110;和

[0701] 至少一个纤维增强的带条104包括树脂带基体130和嵌入在树脂带基体130中的单向增强纤维132;和

[0702] 沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104,使得:

[0703] 至少一个纤维增强的带条104在虚拟曲线路径128上居中;和

[0704] 至少一个纤维增强的带条104的重叠区域406被转化成在几何结构上不同于重叠区域406的不连续带区域148。

[0705] 152.根据实例151所述的自动化纤维铺放方法500,其中重叠区域406和非重叠区域408的尺寸相同。

[0706] 153.根据实例151或152所述的自动化纤维铺放方法500,其中重叠区域406小于非重叠区域408。

[0707] 154.根据实例151至153中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中不连续带区域148在结构上不同于重叠区域406。

[0708] 155.根据实例151至154中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中:

[0709] 虚拟曲线路径128包括弧156,其具有从垂直于虚拟曲线路径128并与第一纵向带边缘106和第二纵向带边缘108相交的虚拟线138上的虚拟点136测量的半径134;

[0710] 带条宽度110与半径134的比等于或大于0.003;

[0711] 在每个不连续带区域148内,单向增强纤维132中最靠近第一纵向带边缘106的一个比单向增强纤维132中最靠近第二纵向带边缘108的另一个更弯曲;和

[0712] 弯曲的单向增强纤维132中的一些平行于衬底116。

[0713] 156.根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/64$ 的乘积。

[0714] 157.根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/32$ 的乘积。

[0715] 158.根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/16$ 的乘积。

[0716] 159.根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/8$ 的乘积。

[0717] 160.根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/4$ 的乘积。

[0718] 161.根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi/2$ 的乘积。

[0719] 162.根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $\pi$ 的乘积。

[0720] 163.根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500,其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.25\pi$ 的乘积。

[0721] 164. 根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500, 其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.5\pi$ 的乘积。

[0722] 165. 根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500, 其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $1.75\pi$ 的乘积。

[0723] 166. 根据实例155所述的自动化纤维铺放方法500, 其中弧156的弧长度154等于或大于半径134和 $2\pi$ 的乘积。

[0724] 167. 根据实例155至166中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中带条宽度110与半径134的比大于或等于0.005。

[0725] 168. 根据实例155至167中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中带条宽度110与半径134的比大于或等于0.01。

[0726] 169. 根据实例155至168中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中带条宽度110与半径134的比大于或等于0.03。

[0727] 170. 根据实例155至169中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中:

[0728] 将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402, 和将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404的步骤包括将至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和第二部分404的重叠区域406内的第一阵列位置加热到比至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和第二部分404的重叠区域406内的第二阵列位置更高的温度; 和

[0729] 第一阵列位置中的位置比第二阵列位置中的位置更靠近虚拟点136。

[0730] 171. 根据实例155至170中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中:

[0731] 至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条;

[0732] 沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设多个纤维增强的带条;

[0733] 将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404的步骤包括将多个纤维增强的带条的第一子组的重叠区域406加热到比多个纤维增强的带条的第二子组的重叠区域406更高的温度; 和

[0734] 多个纤维增强的带条的第二子组的条带比多个纤维增强的带条的第一子组的条带更远离虚拟点136。

[0735] 172. 根据实例151至170中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中:

[0736] 至少一个纤维增强的带条104是多个纤维增强的带条; 和

[0737] 沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括以连续条带的平行阵列铺设多个纤维增强的带条。

[0738] 173. 根据实例171或172所述的自动化纤维铺放方法500, 进一步包括以下步骤:

[0739] 在输送第一数量的脉冲能量122和输送第二数量的脉冲能量123后, 检测多个纤维增强的条带的性质; 和

[0740] 响应于多个纤维增强的带条的性质, 控制第一数量的脉冲能量122、第二数量的脉冲能量123或沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的速率中的至少一个。

[0741] 174.根据实例151至173中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中带条宽度110在5毫米(0.2英寸)和15毫米(0.6英寸)之间。

[0742] 175.根据实例151至173中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中带条宽度110小于15毫米(0.6英寸)。

[0743] 176.根据实例151至174中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中带条宽度110小于8毫米(0.3英寸)。

[0744] 177.根据实例151至176中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤包括在衬底116上压实至少一个纤维增强的带条104。

[0745] 178.根据实例151至177中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中,在每个不连续区域148内,弯曲的单向增强纤维132中的至少一个包括多个折叠。

[0746] 179.根据实例151至178中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中不连续带区域148是梯形的。

[0747] 180.根据实例151至179中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤导致非重叠区域408成为中间带区域150,其通过不连续带区域148彼此隔开。

[0748] 181.根据实例180所述的自动化纤维铺放方法500,其中,在每个中间带区域150内,所有的单向增强纤维132仅是直的。

[0749] 182.根据实例180所述的自动化纤维铺放方法500,其中,不连续带区域148内弯曲的单向增强纤维132中的每个在中间带区域150内比在不连续带区域148内更少弯曲。

[0750] 183.根据实例180至182中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中,中间带区域150是矩形的。

[0751] 184.根据实例151至183中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,进一步包括以下步骤:

[0752] 在输送第一数量的脉冲能量122和输送第二数量的脉冲能量123后,检测至少一个纤维增强的带条104的性质;和

[0753] 响应于至少一个纤维增强的带条104的性质控制第一数量的脉冲能量122、第二数量的脉冲能量123、或沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的速率中的至少一个。

[0754] 185.根据实例184所述的自动化纤维铺放方法500,其中性质是温度。

[0755] 186.根据实例151至185中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,其中,将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402的步骤或将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404的步骤中的至少一个包括直接加热单向增强纤维132,和经由从单向增强纤维132的传导间接加热树脂带基体130。

[0756] 187.根据实例151至186中任一项所述的自动化纤维铺放方法500,进一步包括沿虚拟直线路径152在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤;和

[0757] 其中将第一数量的脉冲能量122输送到至少一个纤维增强的带条104的第一部分402和将第二数量的脉冲能量123输送到至少一个纤维增强的带条104的第二部分404的步骤包括将沿虚拟曲线路径128的重叠区域406加热至比沿虚拟直线路径152的重叠区域406

高的温度。

[0758] 188. 根据实例151至187中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中, 虚拟曲线路径128是非平面的。

[0759] 189. 根据实例151至188中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中衬底116包括复杂轮廓。

[0760] 190. 根据实例151至189中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 其中在沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤后, 至少一个纤维增强的带条104不会由衬底116剥离。

[0761] 191. 根据实例151至190中任一项所述的自动化纤维铺放方法500, 进一步包括, 在沿虚拟曲线路径128在衬底116上铺设至少一个纤维增强的带条104的步骤后, 固化至少一个纤维增强的带条104以形成制造的物品200的步骤。

[0762] 192. 根据实例191所述的自动化纤维铺放方法500, 其中制造的物品200是飞行器228。

[0763] 193. 根据实例192所述的自动化纤维铺放方法500, 其中:

[0764] 飞行器228包括机头区域230; 和

[0765] 机头区域230包括至少一个纤维增强的带条104。

[0766] 本公开的实例可以在图16中所示的飞行器制造和服务方法1100以及图17中所示的飞行器1102的背景下描述。在生产前期间, 示例性方法1100可以包括飞行器1102的规格和设计(方框1104)以及材料采购(方框1106)。在生产期间, 可以进行飞行器1102的零件和子组件制造(方框1108)以及系统集成(方框1110)。其后, 飞行器1102可以在投入服务(方框1114)之前通过验收和交付(方框1112)。当服务时, 可以安排飞行器1102进行日常维护和检修(方框1116)。日常维护和检修可以包括对飞行器1102的一个或多个系统进行改进、重新配置、整修等。

[0767] 示例性方法1100的过程中的每一个步骤可以由系统集成者、第三方和/或操作者(如, 客户)执行或实施。出于该描述的目的, 系统集成者可以包括但不限于任何数目的飞行器制造者和主系统分包商; 第三方可以包括但不限于任何数目的销售商、分包商和供应商; 和操作者可以是航空公司、租赁公司、军事实体、服务组织等。

[0768] 如图17中所示出, 由示例性方法1100生产的飞行器1102可以包括具有多个高级系统1120和内部1122的机身1118。高级系统1120的实例包括推进系统1124、电气系统1126、液压系统1128和环境系统1130中的一个或多个。可以包括任何数目的其它系统。虽然示出了航天实例, 但是本文中公开的原理可以应用至其它工业, 诸如汽车工业。因此, 除了飞行器1102之外, 本文中公开的原理可以应用至其它交通工具, 如, 陆地交通工具、海上交通工具、空中交通工具等。

[0769] 可以在制造和服务方法1100的任何一个或多个阶段期间采用本文中示出的或描述的设备(一个或多个)和方法(一个或多个)。例如, 可以以与当飞行器1102在服务中(方框1114)时生产的零件或子组件类似的方式加工或制造对应于零件和子组件制造(方框1108)的零件和子组件。而且, 可以在生产阶段1108和1110期间例如通过大幅度加快飞行器1102的组装或降低飞行器1102的成本利用设备(一个或多个)、方法(一个或多个)或其组合的一个或多个实例。类似地, 设备或方法实现的一个或多个实例或其组合可以被利用, 例如但不

限于,当飞行器1102在服务中(方框1114)时和/或在日常维护和检修(方框1116)期间。

[0770] 本文中公开的设备(一个或多个)和方法(一个或多个)的不同实例包括多种零件、特征和功能。应当理解,本文中公开的设备(一个或多个)和方法(一个或多个)的多个实例可以包括以任意组合的本文公开的设备(一个或多个)和方法(一个或多个)的任何其它实例的任何零件、特征和功能,并且所有这些可能性旨在处于本公开的范围之内。

[0771] 本文中提出的实例的许多改进将使本公开所涉及的领域的技术人员想到具有上文的描述和相关附图中呈现的教导的益处。

[0772] 因此,应当理解,本公开不限于所图解的具体的实例,并且改进和其它实例旨在被包括在所附权利要求书的范围内。而且,虽然上文的描述和相关的附图在元件和/或功能的某些示例性组合的背景下描述了本公开的实例,但是应当理解,元件和/或功能的不同组合可以由可选的实施提供,而不背离所附权利要求书的范围。因此,所附权利要求书中括号中的参考数字仅出于说明性的目的呈现并且非旨在将要求保护的的主题的范围限制在本公开中提供的具体实例。

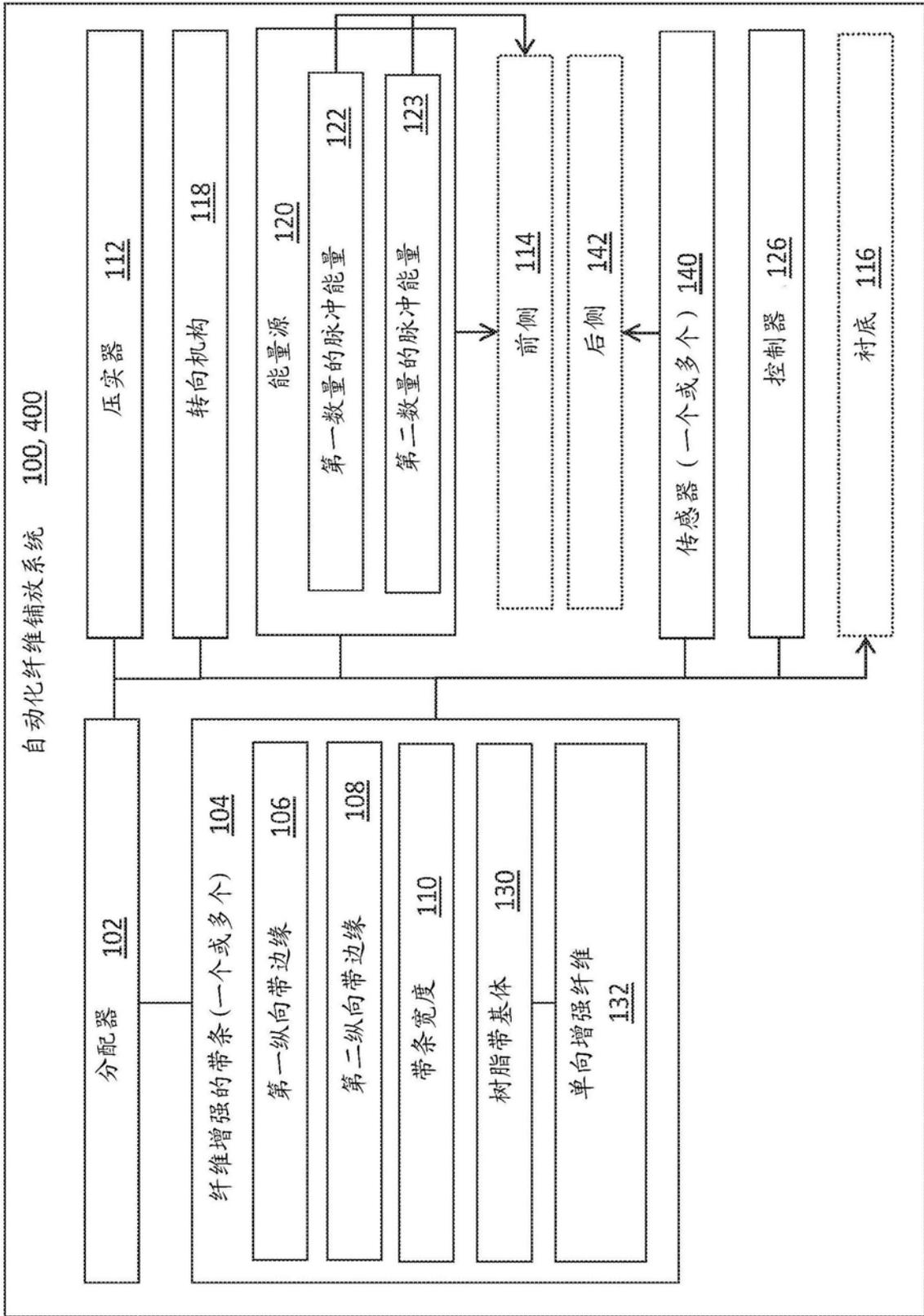


图1

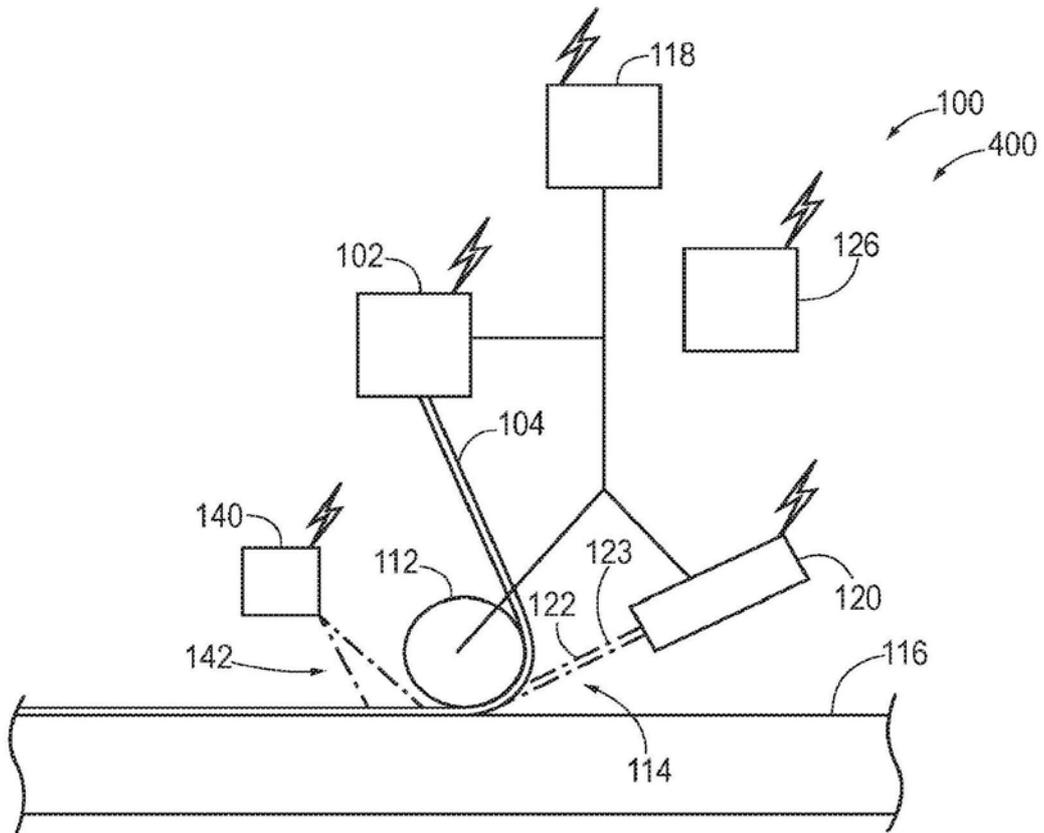


图2

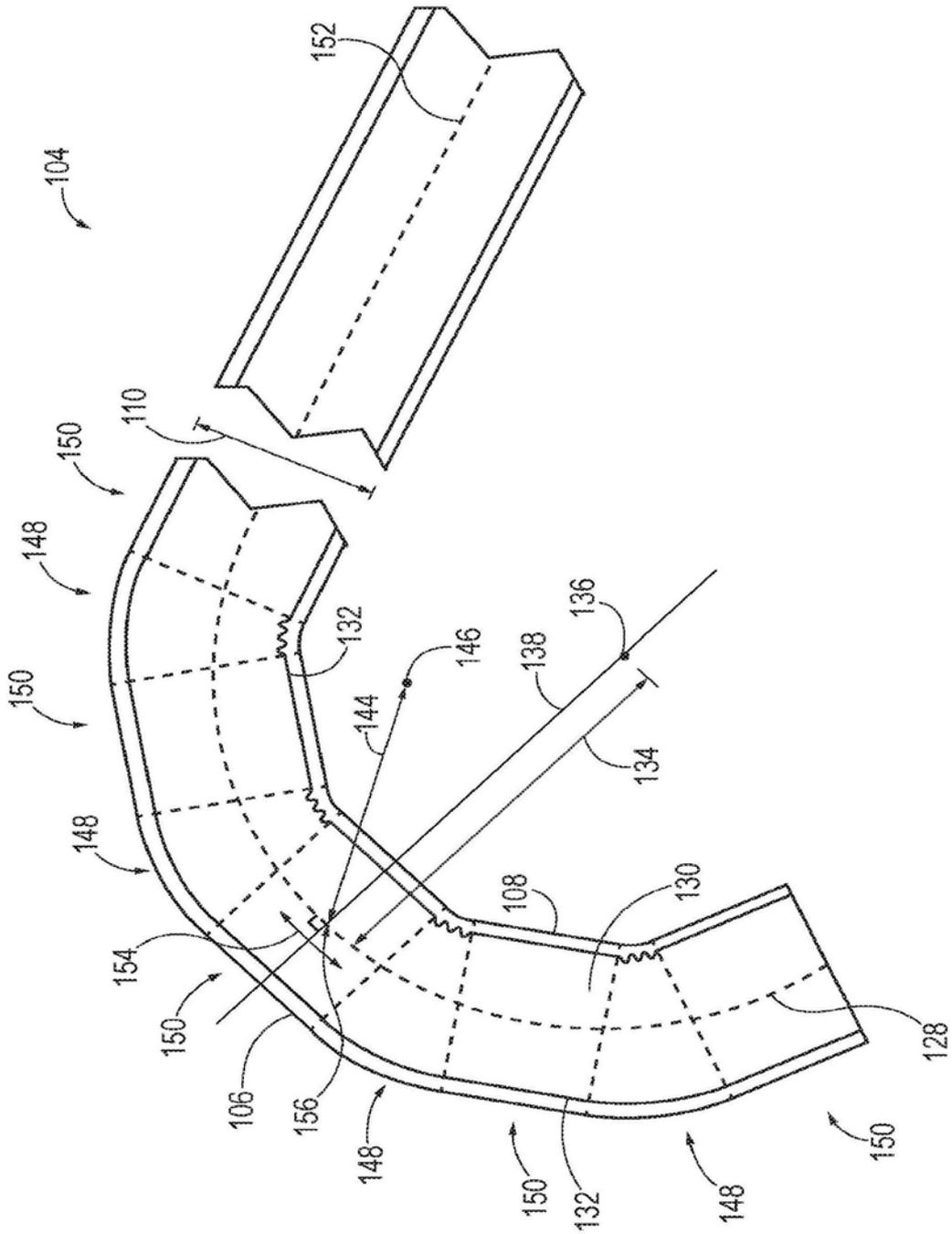


图3

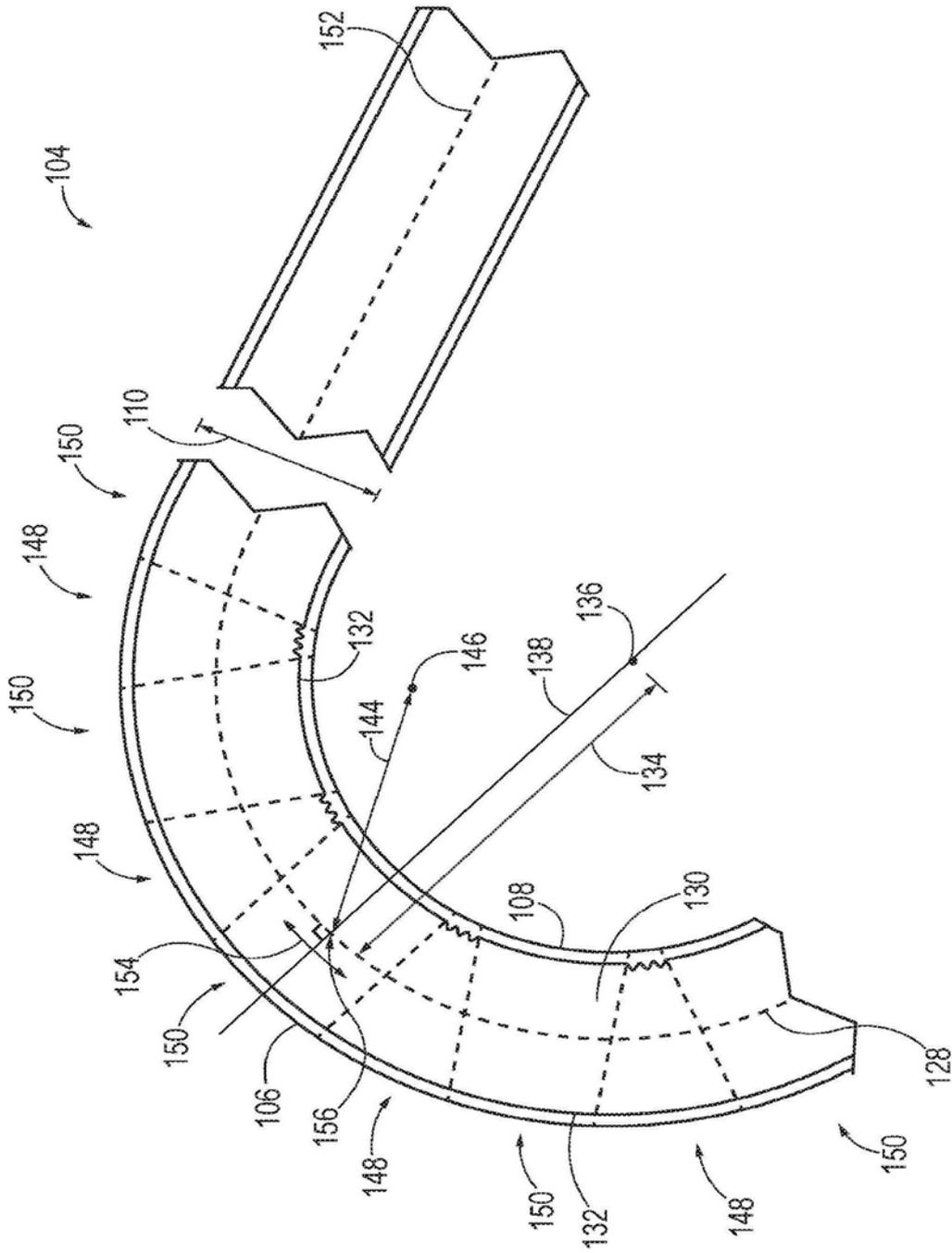


图4

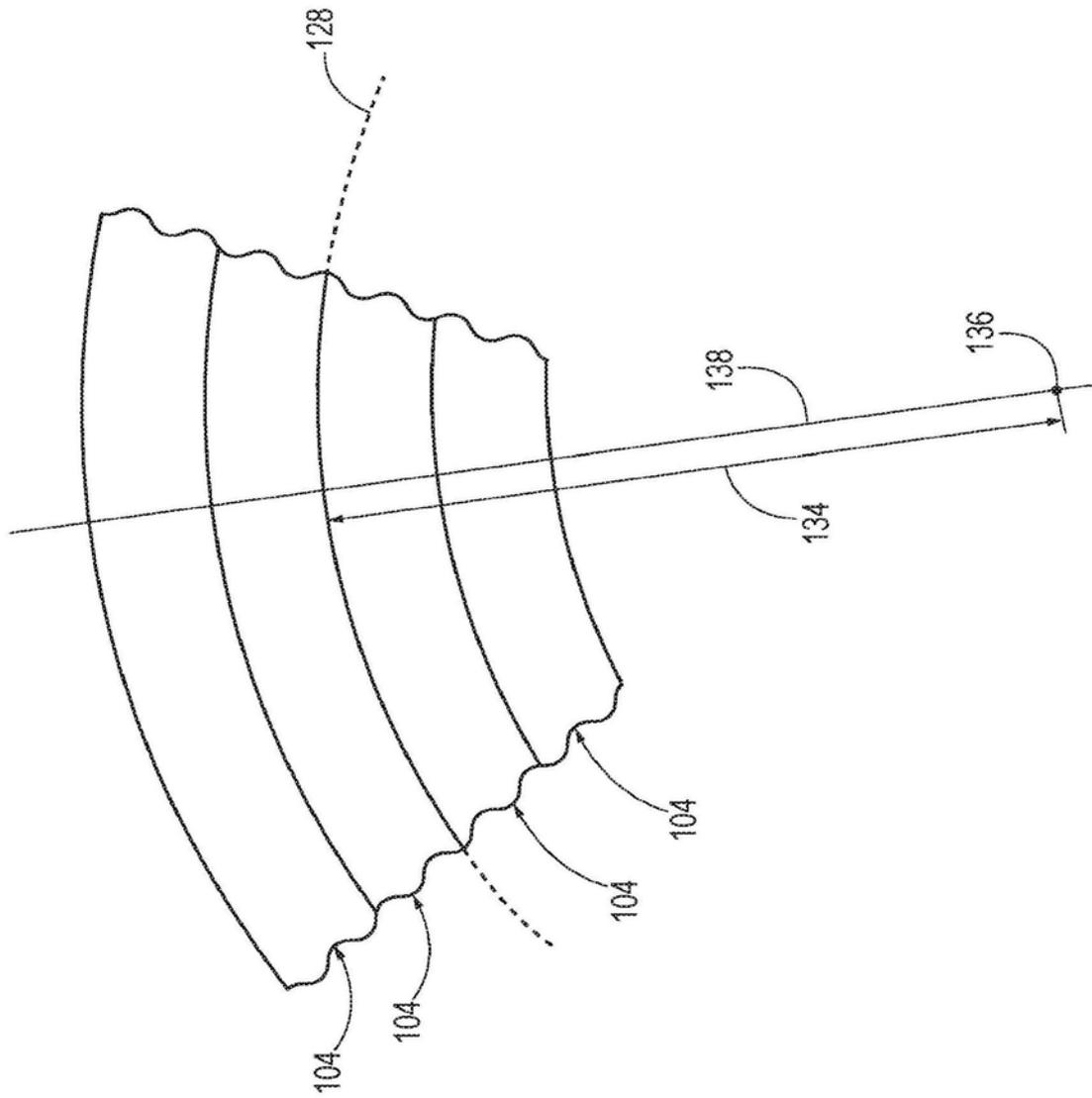


图5

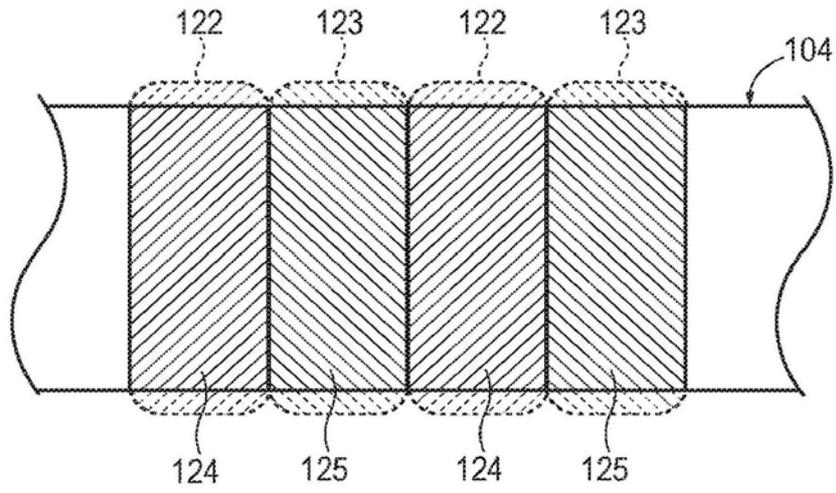


图6

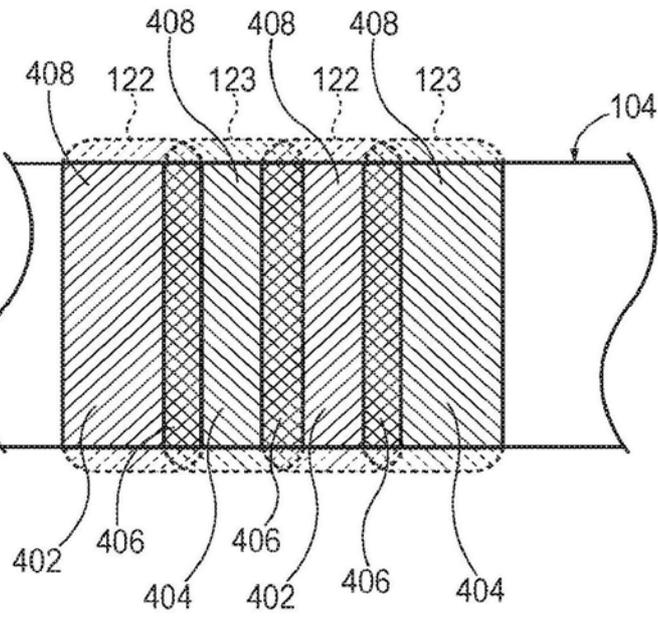


图7

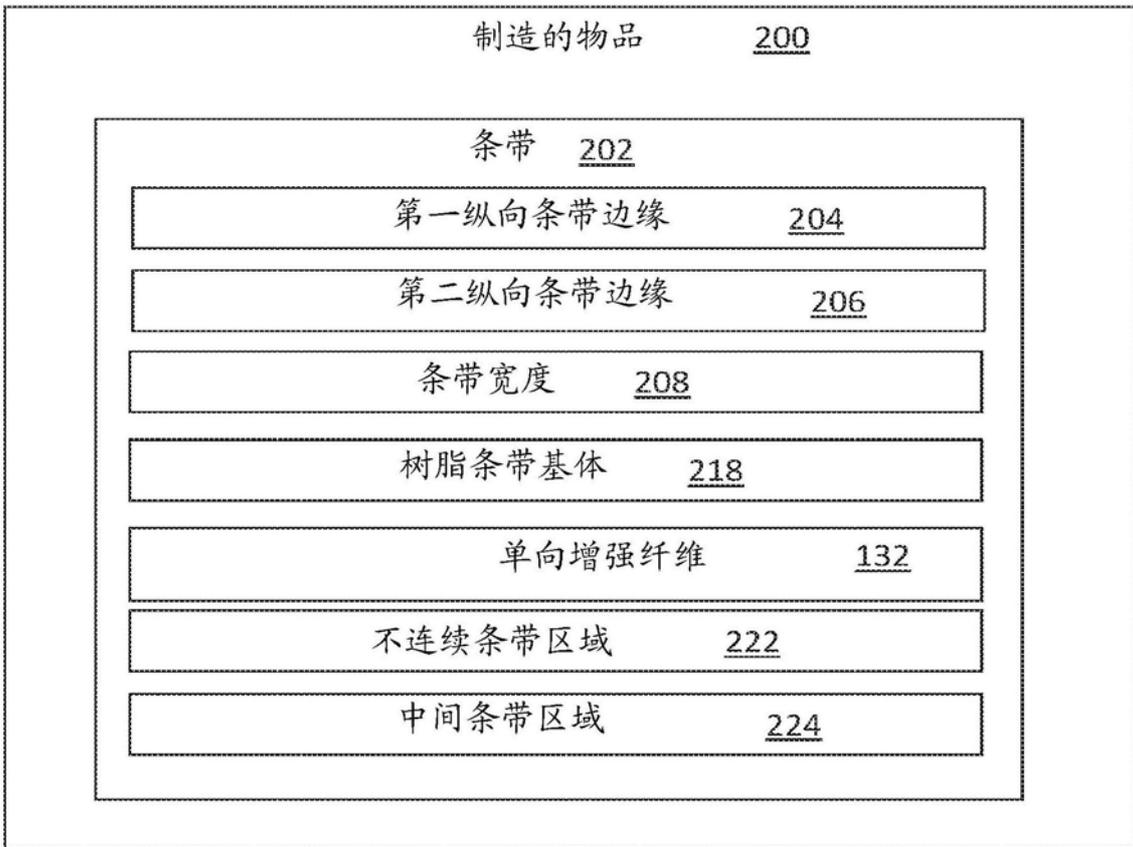


图8

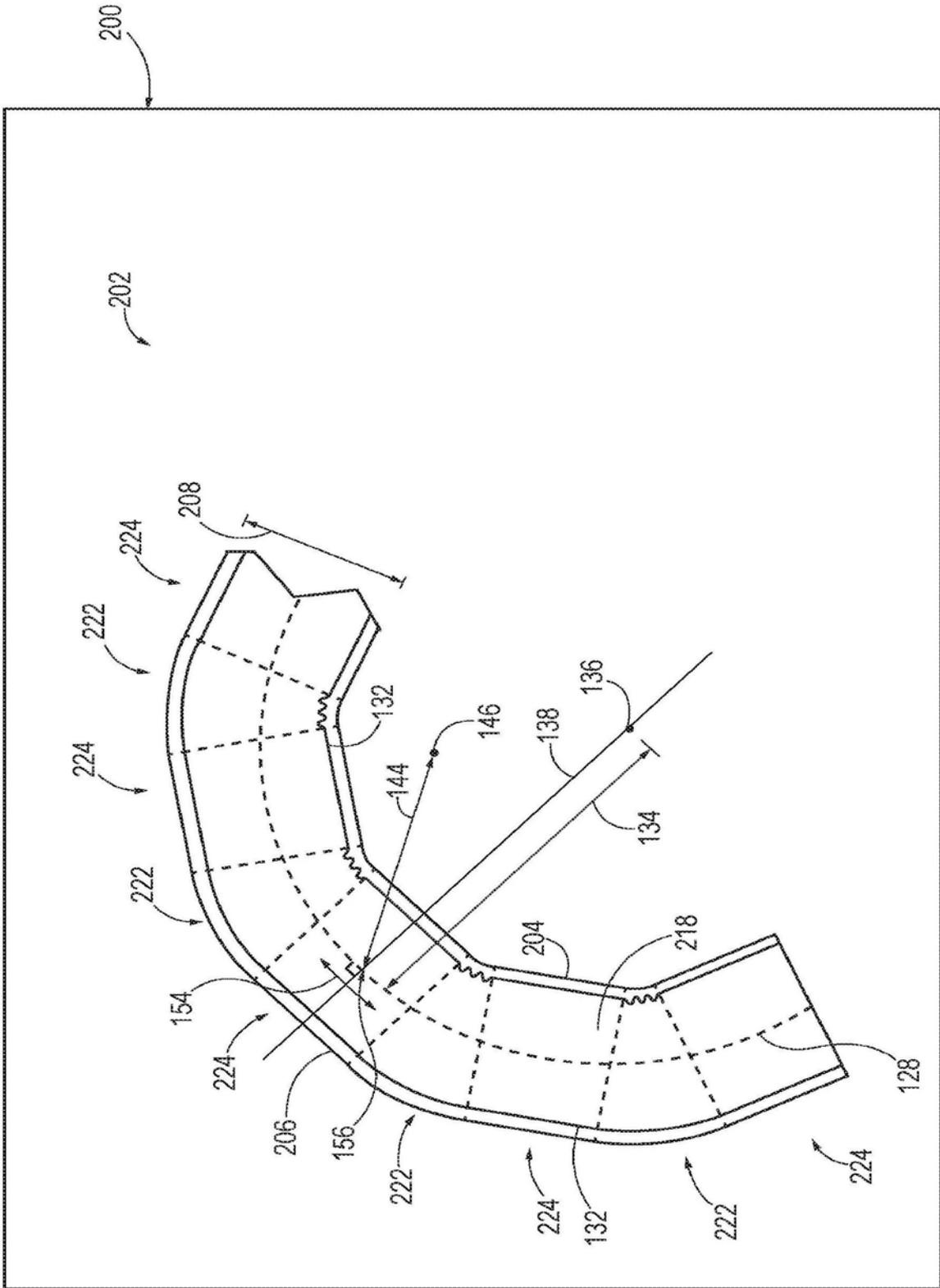


图9



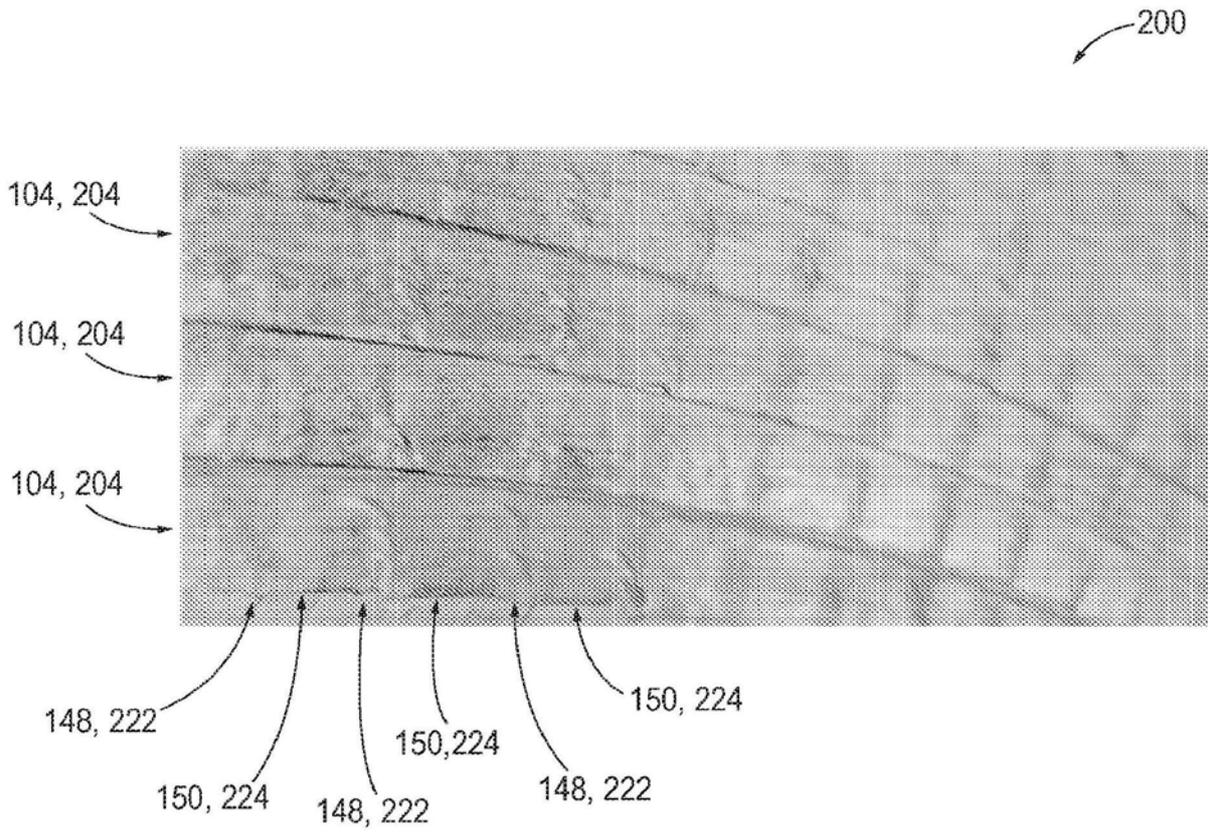


图11

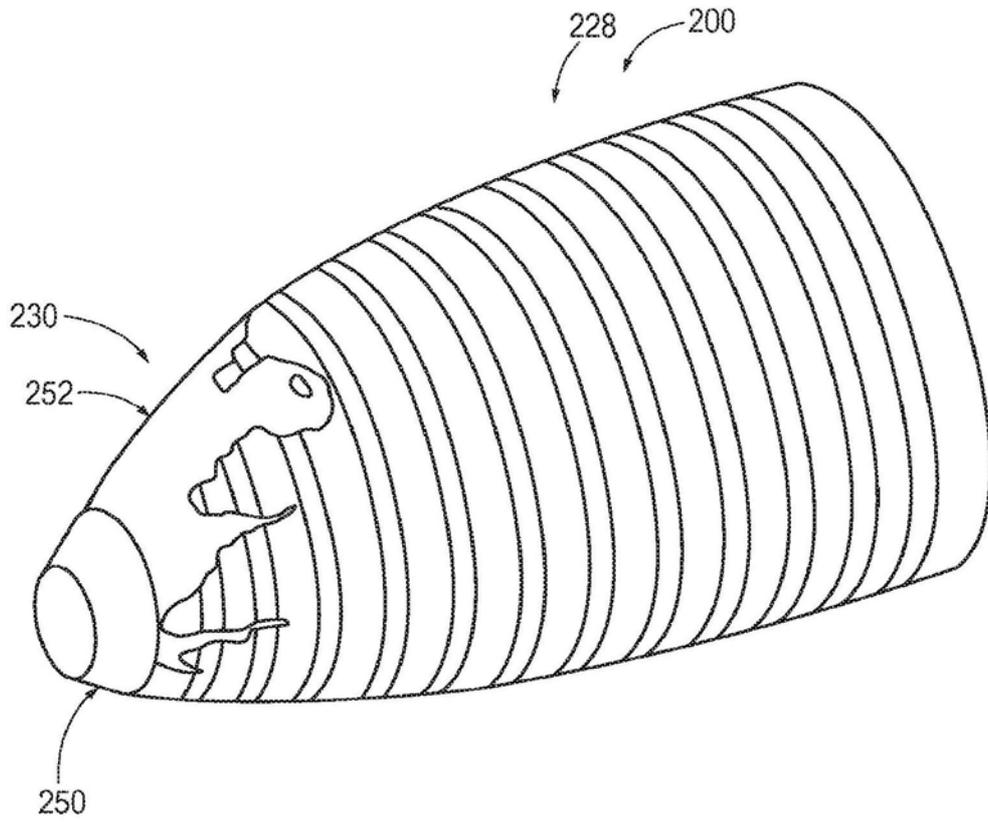


图12

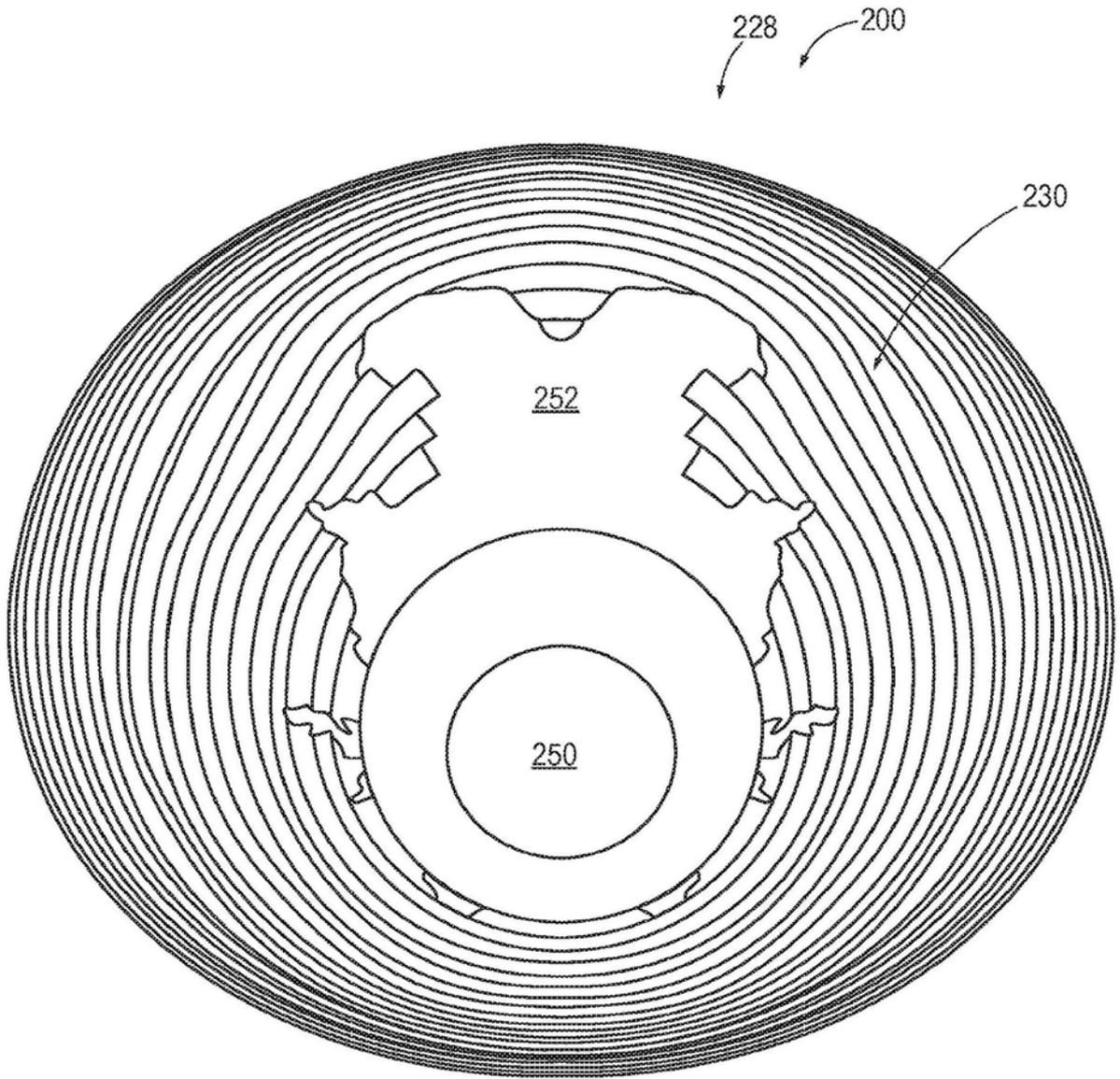


图13

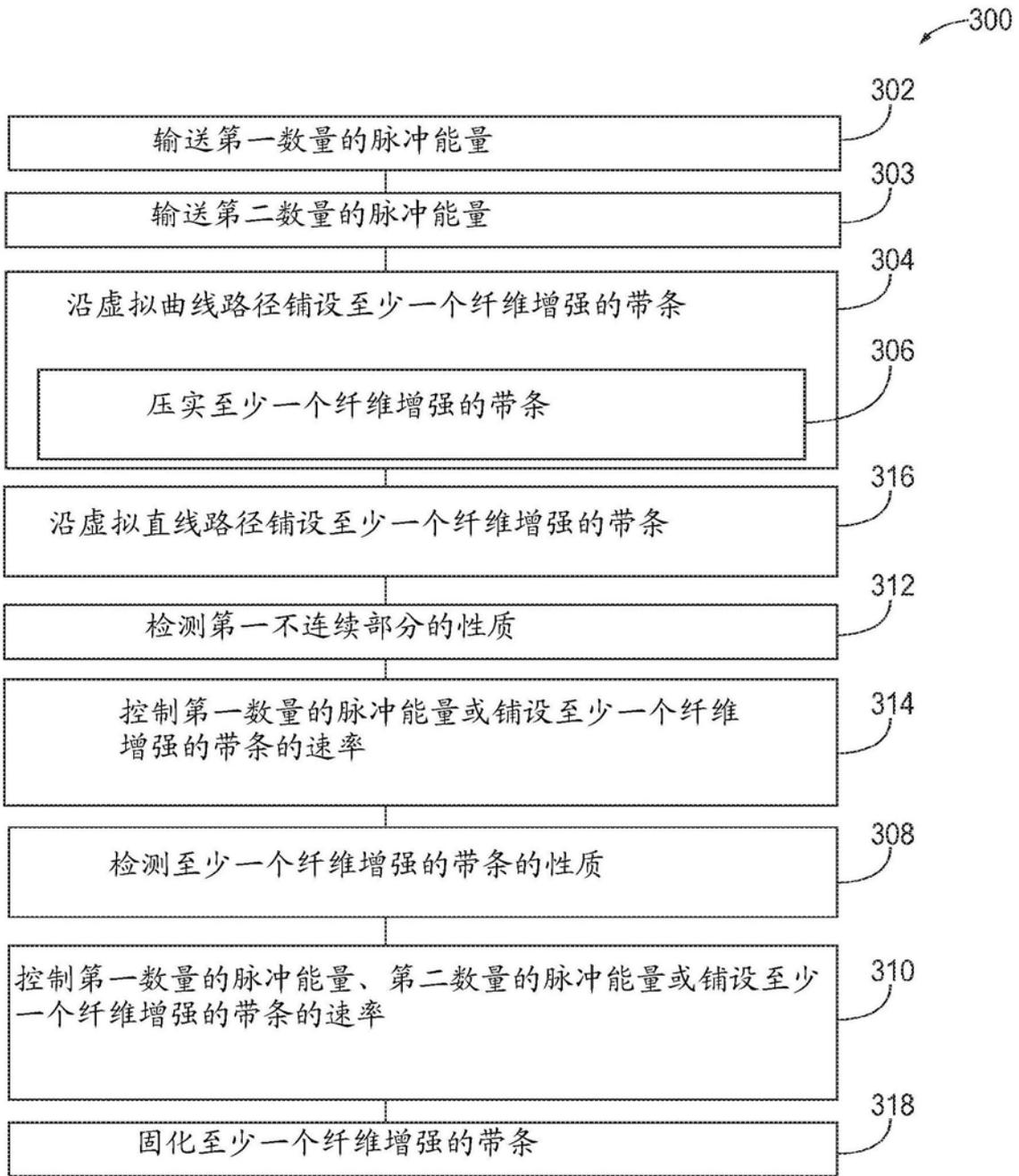


图14

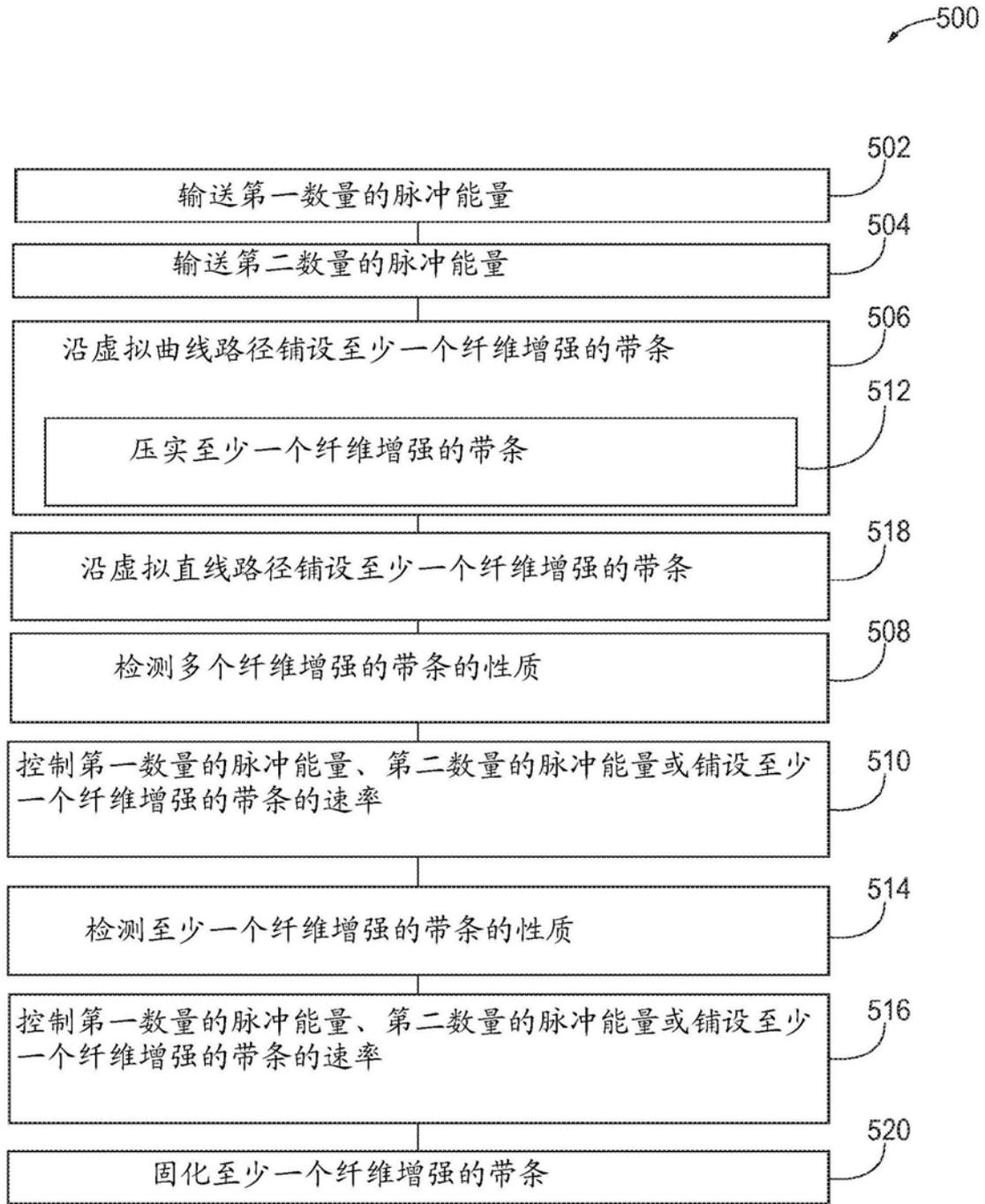


图15

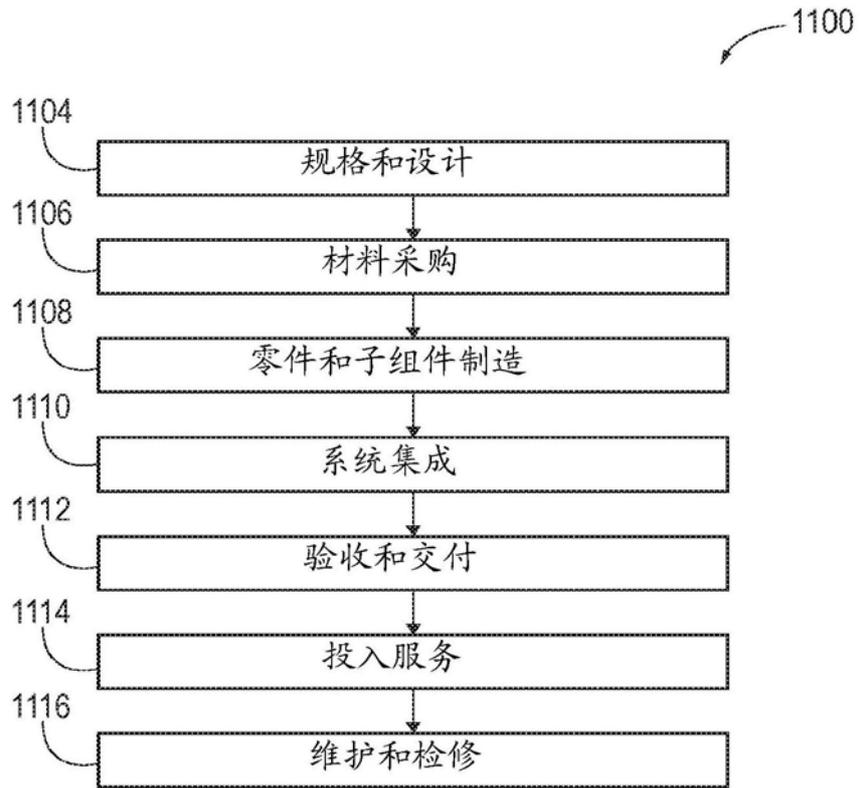


图16

