(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 111649040 B
(45)授权公告日 2024.04.12

(21)申请号 202010133669.3
(22)申请日 2020.03.02
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111649040 A
(43)申请公布日 2020.09.11
(30)优先权数据
16/291,974 2019.03.04 US
(73)专利权人 波音公司
地址 美国伊利诺伊州
(72)发明人 T·福尔摩斯 A·汉森 S·K·布雷迪
(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245
专利代理师 董志勇
(51)Int.Cl.
F16B 11/00(2006.01)
G01J 5/00(2022.01)
G01J 5/48(2022.01)

(56)对比文件
CN 101027548 A,2007.08.29
CN 104251737 A,2014.12.31
CN 106289532 A,2017.01.04
CN 106716089 A,2017.05.24
CN 106872521 A,2017.06.20
CN 108718384 A,2018.10.30
CN 208495799 U,2019.02.15
US 2002176617 A1,2002.11.28
US 2003145932 A1,2003.08.07
US 2005203657 A1,2005.09.15
US 2006191622 A1,2006.08.31
US 2007280501 A1,2007.12.06
US 2014124120 A1,2014.05.08
US 2017320242 A1,2017.11.09

审查员 吴姣姣

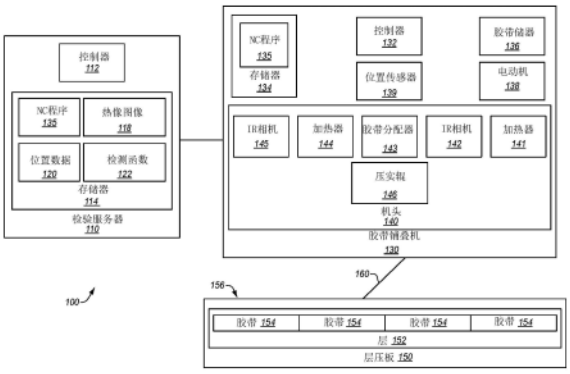
权利要求书2页 说明书20页 附图16页

(54)发明名称

胶带铺叠机的热像检验

(57)摘要

本发明的名称为胶带铺叠机的热像检验。提供了用于胶带铺叠的热检验的系统和方法。一个实施方式是一种用于检验胶带铺叠的方法。该方法包括将胶带铺叠在层压板的表面上,施加热以将胶带粘贴到表面上,以及产生施加到表面上的胶带的热像图像。



CN 111649040 B

1.一种控制胶带铺叠过程的方法,所述方法包括:

在表面上铺叠胶带(1502);

在铺叠胶带时,使用IR成像检验所述胶带在其上铺叠的表面以及所铺叠的胶带(1504);

检查IR成像以便找到超出容限的情况(1506);和

如果检测到超出容限的情况,则停止所述胶带铺设(1508)。

2.根据权利要求1所述的方法,其中:

经由所述IR成像获取的热像图像中的像素值与温度相对应,并且所述方法进一步包括:

基于相邻像素值之间的差异,鉴定具有不同温度的区域;和

将温度差异超过大约0.6℃(1华氏度)的相邻像素分配到不同区域。

3.根据权利要求2所述的方法,进一步包括:

基于区域的温度确定所述区域代表胶带条带还是所述表面。

4.根据权利要求2或3所述的方法,其中:

将温度差异在大约0.6℃和大约28℃(1和50华氏度)之间的相邻像素分配到不同区域。

5.根据权利要求1-3中任一项所述的方法,进一步包括:

确定所述胶带的方向;

对于所述胶带的每个条带,确定沿所述方向行进时温度变化超过阈值量的边界;和

对于所述胶带的每个条带,确定所述表面处相应边界的定位,其包括:

在产生热像图像时,确定进行所述IR成像的红外相机的位置;

确定在所述热像图像内描绘的所述边界的坐标;和

基于所述红外相机的位置和所述相应边界的坐标确定所述定位。

6.根据权利要求1-3中任一项所述的方法,进一步包括:

通过将所述表面的温度升高到所述胶带的温度以上来施加热,或

施加热包括将所述胶带的温度升高到所述表面的温度以上。

7.根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中:

通过胶带铺叠机铺叠所述胶带,所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

8.一种体现了编程的指令的非暂时性计算机可读介质,所述编程的指令在由处理器执行时,可操作用于进行根据前述权利要求中任一项所述的用于控制胶带铺设过程的方法。

9.一种胶带铺叠系统,其包括:

胶带铺叠机(130)的机头(140),其包括:

胶带分配器(143),其将胶带条带铺设到层压板(150)的表面(156)上;

加热器(144),其施加热以将所述胶带条带粘贴到所述表面上;

红外相机(145),其产生其上待铺叠所述胶带的所述表面以及施加到所述层压板上的所述胶带条带的热像图像;和

控制器(112),其配置为在铺叠所述胶带时:

基于所述热像图像检验其上待铺叠所述胶带的所述表面以及施加到所述层压板上的所述胶带条带;

检查所述热像图像以便找到超出容限的情况;

如果检测到超出容限的情况,则停止所述胶带铺设。

10.根据权利要求9所述的系统,其中:

所述红外相机获取的所述热像图像中的像素值与温度相对应,并且所述控制器进一步配置为:

基于相邻像素值之间的差异,鉴定具有不同温度的区域;和

将温度差异超过约0.6℃(1华氏度)的相邻像素分配到不同区域。

11.根据权利要求9或10所述的系统,其中所述控制器进一步配置为:基于区域的温度确定所述区域代表胶带条带还是所述表面,和/或其中将温度差异在大约0.6℃和大约28℃(1和50华氏度)之间的相邻像素分配到不同的区域。

12.根据权利要求9至10中任一项所述的系统,其中所述控制器进一步配置为:

确定所述胶带的方向;

对于所述胶带的每个条带,确定沿所述方向行进时温度变化超过阈值量的边界;和

对于所述胶带的每个条带,确定所述表面处相应边界的定位,其包括:

在产生热像图像时确定进行所述IR成像的红外相机的位置;

确定在所述热像图像内描绘的所述边界的坐标;和

基于所述红外相机的位置和所述相应边界的坐标确定所述定位。

13.根据权利要求9至10中任一项所述的系统,其中所述加热器配置为通过将所述表面的温度升高到所述胶带的温度以上来施加热,或者其中施加热包括将所述胶带的温度升高到所述表面的温度以上。

14.根据权利要求9至10中任一项所述的系统,其中所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

15.根据权利要求1-7中任一项所述的方法和/或使用根据权利要求9-14中任一项所述的系统组装的飞机的一部分。

胶带铺叠机的热像检验

技术领域

[0001] 本公开涉及制造领域,并且具体地涉及产生包括多层胶带的层压板的胶带铺叠机。

背景技术

[0002] 组成材料的多层层压板(例如,碳纤维增强聚合物(CFRP))可以形成用于固化成复合零件的各种形状中的任一种。为了促进复合零件的制造,可以利用胶带铺叠机,比如自动纤维铺放(AFP)机或自动胶带铺叠(ATL)机。例如,胶带铺叠机可以铺叠一层或多层的构成材料的丝束,该丝束形成层压板,然后将其硬化(例如,固化或固结)以形成复合零件。

[0003] 可以通过指示胶带铺叠机的运动的数控(NC)程序来指导胶带铺叠机的操作。胶带铺叠机可以在单个横列(course)中一次将多个丝束分配到层压板上(例如,横跨层压板单次“运行”),并且胶带铺叠机可以响应来自NC程序的指令在不同位置处在横列中启动或终止各个胶带条带。

[0004] 由于并非总是可控的因素,由胶带铺叠机产生的最终层压板可能不同于NC程序中预期的层压板。例如,由于需要对机器进行校准,因此可能铺放胶带条带与其预期位置相距一些距离,外来碎屑可能会落到层压板上,并且由于层压过程中的不一致,可能会发生胶带条带内的制造不一致比如扭曲或折叠。由于胶带条带由相同的材料制成并且因此为相同的颜色(例如,黑色),在铺叠期间很难视觉上检测到这些情况。此外,在固化之前对层压板进行人工检验可能会导致另外的外来碎屑(例如,棉绒等)落在层压板上。此外,当前的检验技术不允许铺设过程的实时逐个横列检验。上述问题还适用于由未纤维增强的胶带制成的层压板,以及不能硬化为复合零件的层压板。期望的是检测上述所有情况,尤其期望的是检测导致铺叠部分超出容限(tolerance)的情况。

[0005] 在使层压板硬化之后,仍然能够经由超声技术对复合零件进行检验。然而,如果复合零件内的超出容限情况指示质量水平低于期望水平,则可能需要重新加工或丢弃整个复合零件。对于大型复合零件比如飞机机翼,单个重新加工的或丢弃的复合零件会造成资源、时间和劳动力的大量浪费。

[0006] 因此,期望的是具有考虑至少一些以上讨论的问题以及其他可能问题的方法和装置。

发明内容

[0007] 本文描述的实施方式包括热像检验系统,该系统被安装到胶带铺叠机的机头(head)。这些检验系统利用红外相机来获取通过机头所施加的胶带条带的热图像。层压板的不同部分将表现出不同的温度,这取决于它们是下面的层压板、外来碎屑还是在下面的层压板上面施加的胶带条带。例如,机头处的加热器可以通过加热下面的层压板或胶带条带而在下面的层压板和胶带条带之间产生可检测的温度差异。在进一步的实例中,加热器可以加热层压板和层压板上的外来物体二者。然而,由于层压板和外来物体具有根本不同

的热性质,因此外来物体对施加的热的响应与下面的层压板不同,从而导致可检测的温度差异。通过检查在铺叠过程期间获取的热图像,检测这些差异。因此,通过分析来自安装到胶带铺叠机的机头上的红外相机的热图像,可以可靠地检测和报告影响层压板质量的特征的位置和性质。一个实施方式是用于进行胶带铺叠检验的方法。该方法包括将胶带铺叠在层压板的表面上;施加热以将胶带粘贴到表面上;以及产生施加到表面上的胶带的热像图像。

[0008] 进一步的实施方式是用于确定施加的胶带边界的方法。该方法包括将胶带条带铺叠到层压板的表面上,施加热量以将胶带条带粘贴到层压板的表面上,产生施加到层压板上的胶带条带的热像图像,分析热像图像内的对比度以鉴定胶带条带,并且基于热像图像中描绘的边界报告胶带条带末端的位置。

[0009] 进一步的实施方式是体现编程指令的非暂时性计算机可读介质,该编程指令在由处理器执行时可操作用于进行一种方法,该方法用于进行胶带铺叠检验。该方法包括将胶带条带铺叠到层压板的表面上,施加热以将胶带条带粘贴到层压板的表面上,产生施加到层压板上的胶带条带的热像图像,分析热像图像内的对比度以鉴定胶带条带,并基于热像图像中描绘的边界报告胶带条带末端的位置。

[0010] 仍进一步的实施方式是胶带铺叠末端检测系统。该系统包括胶带铺叠机的机头。机头包括:将胶带条带铺叠到层压板表面上的胶带分配器;施加热以将胶带条带粘贴到表面上的加热器;和位于胶带分配器下游的红外相机,该红外相机产生施加到层压板上的胶带条带的热像图像。该系统还包括控制器,该控制器分析热像图像内的对比度以鉴定胶带条带,并基于热像图像中描绘的边界来报告胶带条带末端的位置。

[0011] 仍进一步的实施方式是控制胶带铺设过程的方法。该方法包括在表面上铺叠胶带,当铺叠胶带时,使用IR成像检验胶带在其上铺叠的表面以及所铺叠的胶带,检查IR成像以便找到超出容限的情况,并且如果检测到超出容限的情况则停止胶带铺设。

[0012] 仍进一步的实施方式是在胶带铺设过程期间检测超出容限的不一致的方法。该方法包括加热将在其上施加胶带的表面;获取该表面的IR图像;以及确定在IR图像中描绘了超出容限的不一致。

[0013] 仍进一步的实施方式是检验复合表面的方法。该方法包括在已加热的表面上产生温度差异,检测该表面上的温度差异,并基于该温度差异确定存在超出容限的不一致。

[0014] 仍进一步的实施方式是创建复合结构的方法。该方法包括:用IR成像检验待在其上铺设层压板的表面;检查IR成像以便找到超出容限的情况;并且在达到超出容限的情况之前停止胶带铺叠。

[0015] 仍进一步的实施方式是如此方法,该方法包括:在层压板上铺叠胶带条带;操作IR相机以对胶带条带进行热成像;检查热图像以鉴定胶带条带的末端;并且确定胶带条带的末端是否超出容限,并报告超出容限的胶带条带以进行处置。

[0016] 其他说明性实施方式(例如,与前述实施方式有关的方法和计算机可读介质)可以在以下描述。已经讨论的特征、功能和优点可以在各种实施方式中独立地实现,或者可以在又其他实施方式中组合,可以参考以下描述和附图来查看其进一步的细节。

[0017] 本公开还包括以下条款:

[0018] 1.一种用于进行胶带铺叠检验的方法,该方法包括:

[0019] 将胶带铺叠在层压板的表面上(202)；

[0020] 施加热以将胶带粘贴到表面上(204)；和

[0021] 产生施加到表面上的胶带的热像图像(206)。

[0022] 2.条款1的方法，其进一步包括：

[0023] 分析热像图像内的对比度以鉴定层压板处与其周围环境热不同的特征(208)。

[0024] 3.条款1或2的方法，其进一步包括：

[0025] 基于特征的尺寸、特征的形状或特征与其周围环境之间的温度差异中的至少一个来对特征进行分类(210)。

[0026] 4.条款2或3的方法，其进一步包括：

[0027] 确定特征是否超出容限(212)，并且如果特征超出容限，则报告该特征以进行检查。

[0028] 5.条款1-4中任一项的方法，其中：

[0029] 热像图像内的像素值与温度相对应，并且该方法进一步包括：

[0030] 基于相邻像素值之间的差异，鉴定具有不同温度的区域；和

[0031] 将温度差异超过0.56℃(1华氏度)的相邻像素分配到不同区域。

[0032] 6.条款5的方法，其中：

[0033] 将温度差异在0.56℃和27.78℃(1和50华氏度)之间的相邻像素分配到不同区域。

[0034] 7.条款2-6中任一项的方法，其中：

[0035] 通过以下确定特征的位置：

[0036] 在生成热像图像时确定红外相机的位置；

[0037] 确定在热像图像内描绘的特征的坐标；和

[0038] 基于红外相机的位置和特征的坐标确定层压板处的位置。

[0039] 8.条款1-7中任一项的方法，其中：

[0040] 施加热包括将层压板的温度升高到胶带的温度以上。

[0041] 9.条款1-7中任一项的方法，其中：

[0042] 施加热包括经由设置在用于胶带的压实辊上游的加热器将胶带的温度升高到层压板的温度以上。

[0043] 10.条款1-9中任一项的方法，其中：

[0044] 铺叠胶带通过胶带铺叠机进行，所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0045] 11.一种确定所施加的胶带边界的方法，该方法包括：

[0046] 将胶带条带铺叠在层压板的表面上(202)；

[0047] 施加热以将胶带条带粘贴到层压板的表面上(204)；

[0048] 产生施加到层压板上的胶带条带的热像图像(206)；

[0049] 分析热像图像内的对比度以鉴定胶带条带(802)；和

[0050] 基于热像图像中描绘的边界，报告胶带条带末端的位置(810)。

[0051] 12.条款11的方法，其中：

[0052] 热像图像内的像素值与温度相对应，并且该方法进一步包括：

[0053] 基于相邻像素值之间的差异，鉴定具有不同温度的区域；和

[0054] 将温度差异超过0.56℃(1华氏度)的相邻像素分配到不同区域。

[0055] 13.条款11或12的方法,其进一步包括:

[0056] 基于区域的温度确定区域代表胶带条带还是层压板的表面。

[0057] 14.条款12-13中任一项的方法,其中:

[0058] 将温度差异在0.56℃和27.78℃(1和50华氏度)之间的相邻像素分配到不同区域。

[0059] 15.条款11-14中任一项的方法,其进一步包括:

[0060] 确定胶带条带的方向(804);

[0061] 对于胶带的每个条带,鉴定当沿该方向行进时温度变化超过阈值量的边界(806);和

[0062] 对于胶带的每个条带,确定层压板处相应边界的定位(808),其包括:

[0063] 当产生热像图像时确定红外相机的位置;

[0064] 确定在热像图像内描绘的边界的坐标;和

[0065] 基于红外相机的位置和相应边界的坐标确定定位。

[0066] 16.条款11-15中任一项的方法,其中:

[0067] 施加热包括将层压板的温度升高到胶带的温度以上,或者

[0068] 其中:

[0069] 施加热包括将胶带的温度升高到层压板的温度以上。

[0070] 17.条款11-16中任一项的方法,其中:

[0071] 铺叠胶带通过胶带铺叠机进行,所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0072] 18.一种体现了编程的指令的非暂时性计算机可读介质,该编程的指令在由处理器执行时可操作用于进行一种用于进行胶带铺叠检验的方法,该方法包括:

[0073] 将胶带条带铺叠在层压板的表面上(202);

[0074] 施加热以将胶带条带粘贴到层压板的表面上(204);

[0075] 产生施加到层压板上的胶带条带的热像图像(206);

[0076] 分析热像图像内的对比度以鉴定胶带条带(802);和

[0077] 基于热像图像中描绘的边界,报告胶带条带末端的位置(810)。

[0078] 19.条款18的介质,其中:

[0079] 热像图像内的像素值与温度相对应,并且该方法进一步包括:

[0080] 基于相邻像素值之间的差异,鉴定具有不同温度的区域;和

[0081] 将温度差异超过0.56℃(1华氏度)的相邻像素分配到不同区域。

[0082] 20.根据条款18或19的方法,其中方法进一步包括:

[0083] 基于区域的温度确定区域代表胶带条带还是层压板的表面。

[0084] 21.条款19或20的介质,其中:

[0085] 将温度差异在0.56℃和27.78℃(1和50华氏度)之间的相邻像素分配到不同区域。

[0086] 22.条款18-21中任一项的介质,其进一步包括:

[0087] 确定胶带条带的方向(804);

[0088] 对于胶带的每个条带,鉴定当沿该方向行进时温度变化超过阈值量的边界(806);和

[0089] 对于胶带的每个条带,确定层压板处相应边界的定位(808),其包括:

[0090] 在产生热像图像时确定红外相机的位置;

[0091] 确定在热像图像内描绘的边界的坐标;和

[0092] 基于红外相机的位置和相应边界的坐标确定定位。

[0093] 23.条款18-22中任一项的介质,其中:

[0094] 施加热包括将层压板的温度升高到胶带的温度以上,或者

[0095] 施加热包括将胶带的温度升高到层压板的温度以上。

[0096] 24.条款18-23中任一项的介质,其中:

[0097] 铺叠胶带通过胶带铺叠机进行,所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0098] 25.胶带铺叠末端检测系统,其包括:

[0099] 胶带铺叠机(130)的机头(140),其包括:

[0100] 胶带分配器(143),其将胶带条带铺叠到层压板(150)的表面(156)上;

[0101] 加热器(144),其施加热以将胶带条带粘贴到表面上;

[0102] 设置在胶带分配器下游的红外相机(145),其产生施加到层压板上的胶带条带的热像图像;和

[0103] 控制器(112),其分析热像图像内的对比度以鉴定胶带条带,并且基于热像图像中描绘的边界来报告胶带条带末端的位置。

[0104] 26.条款25的系统,其中:

[0105] 热像图像中的像素值与温度相对应,并且

[0106] 控制器基于相邻像素值之间的差异鉴定具有不同温度的区域,并将温度差异超过0.56℃(1华氏度)的相邻像素分配到不同区域。

[0107] 27.条款26的系统,其中:

[0108] 将温度差异在0.56℃和27.78℃(1和50华氏度)之间的相邻像素分配到不同区域。

[0109] 28.条款25-27中任一项的系统,其中:

[0110] 控制器进一步确定胶带条带的方向,并且对于胶带的每个条带,鉴定当沿该方向行进时温度变化超过阈值量的边界,其中

[0111] 对于胶带的每个条带,控制器通过在产生热像图像时确定红外相机的位置,确定热像图像中所描绘的相应边界的坐标,以及基于红外相机的位置和相应边界的坐标确定定位来确定层压板处的相应边界的定位。

[0112] 29.条款25-28中任一项的系统,其中:

[0113] 加热器设置在胶带分配器的上游,或者

[0114] 其中:

[0115] 加热器设置在胶带分配器的下游,或者

[0116] 其中:

[0117] 加热器(144)设置在胶带分配器的下游,并且加热器(144)设置在胶带分配器的上游。

[0118] 30.条款25-29中任一项的系统,其中:

[0119] 胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0120] 31.一种控制胶带铺设过程的方法,该方法包括:

[0121] 在表面上铺叠胶带(1502);

[0122] 在铺叠胶带时,使用IR成像检验胶带在其上铺叠的表面以及所铺叠的胶带(1504);

[0123] 检查红外成像以便找到超出容限的情况(1506);和

[0124] 如果检测到超出容限条件,则停止胶带铺设(1508)。

[0125] 32.条款31条的方法,其中:

[0126] 经由IR成像获取的热像图像中的像素值与温度相对应,并且该方法进一步包括:

[0127] 基于相邻像素值之间的差异,鉴定具有不同温度的区域;和

[0128] 将温度差异超过0.56℃(1华氏度)的相邻像素分配到不同区域。

[0129] 33.条款32的方法,其进一步包括:

[0130] 基于区域的温度确定区域代表胶带条带还是表面。

[0131] 34.条款32或33的方法,其中:

[0132] 将温度差异在0.56℃和27.78℃(1和50华氏度)之间的相邻像素分配到不同区域。

[0133] 35.条款31-34中任一项的方法,其进一步包括:

[0134] 确定胶带的方向;

[0135] 对于胶带的每个条带,鉴定当沿该方向行进时温度变化超过阈值量的边界;和

[0136] 对于胶带的每个条带,确定表面处相应边界的定位,其包括:

[0137] 在产生热像图像时确定进行IR成像的红外相机的位置;

[0138] 确定在热像图像内描绘的边界的坐标;和

[0139] 基于红外相机的位置和相应边界的坐标确定定位。

[0140] 36.条款31-35中任一项的方法,其进一步包括:

[0141] 通过将表面的温度升高到胶带的温度以上来施加热,或者

[0142] 施加热包括将胶带的温度升高到表面的温度以上。

[0143] 37.条款31-36中任一项的方法,其中:

[0144] 胶带通过胶带铺叠机铺叠,所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0145] 38.根据前述条款1-17、31-37、39-64中任一项的方法组装的飞机的一部分。

[0146] 39.一种在胶带铺设过程期间检测到超出容限的不一致的方法,该方法包括:

[0147] 加热将在其上施加胶带的表面(1602);

[0148] 获取表面的IR图像(1604);和

[0149] 确定在IR图像中描绘了超出容限的不一致(1606)。

[0150] 40.条款39的方法,其中:

[0151] IR图像内的像素值与温度相对应,并且该方法进一步包括:

[0152] 基于相邻像素值之间的差异,鉴定具有不同温度的区域;和

[0153] 将温度差异超过1华氏度的相邻像素分配到不同区域。

[0154] 41.条款39或40的方法,其进一步包括:

[0155] 基于区域的温度确定区域代表胶带条带还是表面。

[0156] 42.条款40或41的方法,其中:

[0157] 将温度差异在1和50华氏度之间的相邻像素分配到不同区域。

[0158] 43.条款40-42中任一项的方法,其进一步包括:

[0159] 确定胶带的方向;

[0160] 对于胶带的每个条带,鉴定沿该方向行进时温度变化超过阈值量的边界;和

[0161] 对于胶带的每个条带,确定相应边界的定位,其包括:

[0162] 在产生热像图像时确定进行IR成像的红外相机的位置;

[0163] 确定在热像图像内描绘的边界的坐标;和

[0164] 基于红外相机的位置和相应边界的坐标确定定位。

[0165] 44.条款39-43中任一项的方法,其中:

[0166] 加热包括将表面的温度升高到胶带的温度以上,或者将胶带的温度升高到表面的温度以上。

[0167] 45.条款39-44中任一项的方法,其中:

[0168] 胶带通过胶带铺叠机铺叠,所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0169] 46.一种检验复合表面的方法,其包括:

[0170] 在已加热的表面上产生温度差异(1702);

[0171] 检测表面上的温度差异(1704);和

[0172] 基于温度差异确定存在超出容限的不一致(1706)。

[0173] 47.条款46的方法,其中:

[0174] 检测温度差异包括获取热像图像,热像图像内的像素值与温度相对应,并且该方法进一步包括:

[0175] 基于相邻像素值之间的差异,鉴定具有不同温度的区域;和

[0176] 将温度差异超过1华氏度的相邻像素分配到不同区域。

[0177] 48.条款46或47的方法,其进一步包括:

[0178] 基于区域的温度确定区域代表胶带条带还是表面。

[0179] 49.条款47或48的方法,其中:

[0180] 将温度差异在1和50华氏度之间的相邻像素分配到不同区域。

[0181] 50.条款47-49中任一项的方法,其进一步包括:

[0182] 确定胶带的方向;

[0183] 对于胶带的每个条带,鉴定沿该方向行进时温度变化超过阈值量的边界;和

[0184] 对于胶带的每个条带,确定层压板处相应边界的定位,包括:

[0185] 在产生热像图像时确定进行IR成像的红外相机的位置;

[0186] 确定在热像图像内描绘的边界的坐标;和

[0187] 基于红外相机的位置和相应边界的坐标确定定位。

[0188] 51.条款47-50中任一项的方法,其中:

[0189] 产生温度差异包括将表面的温度升高到胶带的温度以上。

[0190] 52.根据条款51的方法,进一步地,其中产生温度差异包括将胶带的温度升高到表面的温度以上。

[0191] 53.条款47-52中任一项的方法,其中:

[0192] 胶带通过胶带铺叠机铺叠,所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0193] 54.一种创建复合结构的方法,其包括:

[0194] 用IR成像检验待在其上铺设层压板的表面(1802);

[0195] 检查IR成像以便找到超出容限的情况(1804);和

[0196] 在达到超出容限条件之前停止胶带铺叠(1806)。

[0197] 55.条款54的方法,其进一步包括:

[0198] 通过获取热像图像来检测温度差异,其中热像图像内的像素值与温度相对应;

[0199] 基于相邻像素值之间的差异,鉴定具有不同温度的区域;和

[0200] 将温度差异超过1华氏度的相邻像素分配到不同区域。

[0201] 56.条款54或55的方法,其进一步包括:

[0202] 基于区域的温度确定区域代表胶带条带还是表面。

[0203] 57.条款55或56的方法,其中:

[0204] 将温度差异在1和50华氏度之间的相邻像素分配到不同区域。

[0205] 58.条款54-57中任一项的方法,其进一步包括:

[0206] 确定胶带的方向;

[0207] 对于胶带的每个条带,鉴定沿该方向行进时温度变化超过阈值量的边界;和

[0208] 对于胶带的每个条带,确定层压板处相应边界的定位,其包括:

[0209] 在产生热像图像时确定进行IR成像的红外相机的位置;

[0210] 确定在热像图像内描绘的边界的坐标;和

[0211] 基于红外相机的位置和相应边界的坐标确定定位。

[0212] 59.条款54-58中任一项的方法,其中:

[0213] 通过将表面的温度升高到胶带的温度以上来产生温度差异,或者通过将胶带的温度升高到表面的温度以上来产生温度差异。

[0214] 60.条款54-59中任一项的方法,其中:

[0215] 胶带通过胶带铺叠机铺叠,所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0216] 61.一种方法,其包括:

[0217] 在层压板处铺叠胶带条带(1902);

[0218] 操作IR相机以对胶带条带进行热成像(1904);

[0219] 检查热图像以鉴定胶带条带的末端(1906);和

[0220] 确定胶带条带的末端是否超出容限(1908);和

[0221] 报告超出容限的胶带条带以便进行处置(1910)。

[0222] 62.条款61的方法,其进一步包括:

[0223] 通过获取热像图像来检测温度差异,其中热像图像内的像素值与温度相对应;

[0224] 基于相邻像素值之间的差异,鉴定具有不同温度的区域;和

[0225] 将温度差异超过1华氏度的相邻像素分配到不同区域。

[0226] 63.条款61或62的方法,其进一步包括:

[0227] 基于区域的温度确定该区域代表胶带条带还是表面。

[0228] 64.条款62或63的方法,其中:

[0229] 将温度差异在1和50华氏度之间的相邻像素分配到不同区域。

[0230] 65.条款61-64中任一项的方法,其进一步包括:

[0231] 确定胶带的方向;

[0232] 对于胶带的每个条带,鉴定沿该方向行进时温度变化超过阈值量的边界;和

[0233] 对于胶带的每个条带,确定层压板处相应边界的定位,其包括:

[0234] 在产生热像图像时确定进行IR成像的红外相机的位置;

[0235] 确定在热像图像内描绘的边界的坐标;和

[0236] 基于红外相机的位置和相应边界的坐标确定定位。

[0237] 66.条款61-65中任一项的方法,其中:

[0238] 通过将表面的温度升高到胶带的温度以上来产生温度差异。

[0239] 67.条款61-66中任一项的方法,其进一步包括:

[0240] 通过将胶带的温度升高到表面的温度以上来产生温度差异。

[0241] 68.条款61-67中任一项的方法,其中:

[0242] 胶带通过胶带铺叠机铺叠,所述胶带铺叠机选自自动纤维铺放(AFP)机和自动胶带铺叠(ATL)机。

[0243] 69.根据条款61-68中任一项的方法组装的飞机的一部分。

附图说明

[0244] 现在仅通过实例的方式并参考附图来描述本公开的一些实施方式。在所有附图上,相同的附图标记表示相同的元件或相同类型的元件。

[0245] 图1是说明性实施方式中的胶带铺叠检验系统的框图。

[0246] 图2是示出在说明性实施方式中基于热像图像来检测和分类层压板的铺叠中发现的特征的方法的流程图。

[0247] 图3是示出说明性实施方式中的胶带铺叠机的图。

[0248] 图4是在说明性实施方式中通过胶带铺叠机铺叠的横列的顶视图。

[0249] 图5A-5B、6和7是说明性实施方式中的胶带铺叠机的机头的侧视图。

[0250] 图8是示出说明性实施方式中用于基于热像图像来确定胶带条带末端位置的方法的流程图。

[0251] 图9是在说明性实施方式中包括胶带条带末端的横列的一部分的热像图像。

[0252] 图10是示出说明性实施方式中用于检测铺叠不一致的方法的流程图。

[0253] 图11是在说明性实施方式中包括铺叠不一致的横列的一部分的热像图像。

[0254] 图12是示出说明性实施方式中用于基于热像图像确定碎屑位置的方法的流程图。

[0255] 图13是说明性实施方式中包括碎屑的横列的一部分的热像图像。

[0256] 图14是示出说明性实施方式中使图像坐标与物理位置相关联的方法的流程图。

[0257] 图15-18示出说明性实施方式中与热像检验有关的进一步方法。

[0258] 图19A-19B示出说明性实施方式中与热像检验有关的进一步方法。

[0259] 图20是说明性实施方式中的飞机生产和服务方法的流程图。

[0260] 图21是说明性实施方式中的飞机的框图。

具体实施方式

[0261] 附图和以下描述提供了本公开的特定说明性实施方式。因而,将理解的是,本领域技术人员将能够设计出尽管未在本文中明确描述或示出但体现本公开的原理并且包括在本公开的范围内的各种布置。此外,本文描述的任何实例旨在帮助理解本公开的原理,并且应被解释为不限于这种具体叙述的实例和条件。因此,本公开不限于以下描述的特定实施方式或实例,而是由权利要求书及其等同物限定。

[0262] 如本文所用,“胶带(tape)”可包括纤维增强胶带或纵切胶带丝束(slit tape tow)。在本公开中,术语胶带和丝束可互换使用以指示不同宽度的材料条。胶带可用于制造各种层压板,其包括将被固化成复合零件的层压板。比如碳纤维增强聚合物(CFRP)零件等的复合零件最初以多层层压板铺叠。层压板的每层内的单个纤维在层压板的平面内彼此平行对准,但是不同层可表现出不同的纤维取向,以便增加所得复合材料沿不同维度的强度。层压板可以包括粘性树脂,该粘性树脂固化以便将预成型件硬化成复合零件(例如,用于飞机)。浸渍有未固化的热固性树脂或热塑性树脂的碳纤维称为“预浸料”。其他类型的碳纤维包括尚未用热固性树脂浸渍但可包括增粘剂或粘合剂的“干纤维”。在固化之前,可将干纤维输注树脂。对于热固性树脂,硬化是一种称为固化的单向过程。对于热塑性树脂,如果将硬化(或固结)的树脂重新加热,则其可能会达到粘性形式。

[0263] 图1是说明性实施方式中胶带铺叠检验系统100的框图。胶带铺叠检验系统100包括可操作以铺叠胶带以形成层压板并为了质量控制目的而检验层压板的任何系统、部件或装置。已经增强胶带铺叠检验系统100以利用安装在胶带铺叠机的机头上的热成像装置,以便鉴定可能与质量控制有关的特征。

[0264] 在该实施方式中,胶带铺叠检验系统100包括检验服务器110和胶带铺叠机130。胶带铺叠机130根据NC程序135操作机头140,以便铺叠形成层压板150的一个或多个层152的胶带154的条带160。例如,胶带铺叠机130的控制器132可以基于存储在存储器134中的指令来指导电动机138的操作,以便将机头140移动到层压板150处的各个位置。控制器132可以进一步指导胶带储器136以为机头140的胶带分配器143提供另外的胶带。控制器132可以实施为,例如,定制电路、执行编程的指令的硬件处理器或其一些组合。

[0265] 机头140包括胶带分配器143,其将胶带154的条带160施加到层压板150的表面156上。加热器141和/或加热器144施加促进将胶带154的条带粘贴到层压板150上的热。例如,这些加热器可以将层压板150(或胶带154的条带160)加热到一定温度,在该温度下,胶带154的条带内的热塑性或热固性树脂增粘或变得熔融。加热器141和144可包括激光器、红外热灯等。

[0266] 在其中加热器141和144加热层压板150或胶带条带的实施方式中,在胶带154的条带160和层压板150之间存在实质性的温度差异(例如,对于热固性胶带,一至五十华氏度(F),对于热塑性胶带,五百至八百华氏度)。这意味着热像图像(例如,具有华氏一度的五分之一的灵敏度)将展现出新铺设的胶带的条带160和层压板150之间的高对比度。

[0267] 在操作加热器141和144以加热胶带154的条带160以及层压板150的实施方式中,外来物体(由不同类型的材料制成)将与下面的层压材料形成强烈的对比,因为它们将响应于暴露于相同量的热,达到与层压材料不同的温度并具有不同的热发射率。

[0268] 机头140还包括压实辊146,该压实辊146向胶带154的条带160施加压力(例如,在

条带160被增粘之后),将其压在层压板150上并将其物理整合到层压板150中。红外(IR)相机142和145对层压板150以及施加到层压板150上的胶带154的条带160成像。当IR相机142和145获取热像图像时,位置传感器139检测机头140的位置。这使得热像图像内的像素能够与层压板150处的实际位置相关联。位置传感器139可以,例如,包括激光或视觉跟踪系统,安装至胶带铺叠机130内的致动器的旋转和/或延伸传感器等。

[0269] 在铺叠期间由胶带铺叠机130产生的热像图像118由检验服务器110处理。检验服务器110包括控制器112,该控制器112分析存储在存储器114中的热像图像118,并基于检测函数(function)122鉴定和分类热像图像118中的特征。检测函数122还可包括用于实施本文描述的一种或多种方法的指令。控制器112进一步基于从位置传感器139获取的位置数据120确定层压板150上特征的位置。该信息可以作为层压板的报告或带注释的图像被传递至技术人员以供检查。控制器112可以被实施为,例如,定制电路、执行编程的指令的硬件处理器或其一些组合。

[0270] 将关于图2来讨论胶带铺叠检验系统100的操作的说明性细节。具体来说,图2示出了用于基于热像图像检测和分类在层压板的铺叠中发现的特征的方法。对于该实施方式,假设胶带铺叠机130已经被编程为遵循NC程序135中的指令以铺叠层压板(例如,将被硬化为复合零件的层压板)。进一步地,假设胶带铺叠机130装载有成排的胶带(例如,预浸料热固性或热塑性CFRP),并准备开始层压板的制造。为此,胶带铺叠机130通过分配包括胶带条带的一个或多个横列来操作机头140以铺叠层压板150的基础层。

[0271] 图2是示出说明性实施方式中用于操作胶带铺叠检验系统的方法的流程图。参考图1的胶带铺叠检验系统100描述方法200的步骤,但是本领域技术人员将理解方法200可以在其他系统中进行。本文描述的流程图的步骤并非全部包括,并且可以包括未显示的其他步骤。本文描述的步骤也可以以可选顺序进行。

[0272] 在步骤202中,胶带铺叠机130的机头140将胶带154铺叠到层压板150的表面156上。这可以包括遵循NC程序135中的指令,以在一条横列中切割和/或分配胶带的多个条带。这可以进一步包括操作压实辊146,以将新分配的胶带条带与层压板150物理地整合在一起。

[0273] 在步骤204中,加热器141或加热器144施加热以将胶带的条带粘贴到层压板150的表面上。步骤204可以与步骤202同时,在其之前或者甚至在其之后发生。因而,在许多实施方式中,在彼此接触之前,加热层压板150或条带160。在胶带154包括预浸料热固性树脂胶带的实施方式中,在将胶带条带施加至表面之前,可以激活加热器141以相对于环境温度改变层压板150的表面温度。在胶带154包括预浸料热塑性胶带的实施方式中,加热器144可以包括一个或多个激光器,其加热胶带154,从而导致在施加胶带154之前层压板的表面之间的温度差异为大约400至800华氏度(222至444摄氏度)。在任一情况下,加热器都会在离开胶带分配器143的胶带154的条带与层压板150的表面之间产生显著的温度差异。

[0274] 在步骤206中,IR相机145产生施加至层压板150的胶带154的条带160的热像图像118。每个热像图像118可以描绘出一条横列内所有条带的一部分,并且热像图像118可以缝合在一起以描绘由整个横列所产生的铺叠。因为条带可能延伸数十英尺,所以可能需要分析多个热像图像118,以便检测横列中各个条带的特定开始位置和停止位置。因而,可以周期性地(例如,每几秒一次,机头140每移动十英尺一次等)获取热像图像118,以确保在铺叠

期间图像之间的覆盖范围中不存在间隙。

[0275] 在步骤208中,控制器112分析热像图像118内的对比度,以鉴定层压板150处与其周围环境热不同的特征。热像图像118内的每个像素被分配与温度相对应的值,并且可以通过鉴定温度范围(例如,五十华氏度,十华氏度等)内的连续像素集来检测热不同的特征,该温度范围被该范围外的像素包围(例如,不同于连续像素集的1华氏度以上)。就像素的宽度或数量而言,每个特征可以具有相关联的温度或温度范围、已知形状和已知尺寸。在进一步的实施方式中,可以通过在分析图像之前应用边缘检测算法(例如拉普拉斯算子或其他过滤)来改变热像图像。

[0276] 在步骤210中,控制器112基于特征的尺寸、特征的形状或特征与其周围环境之间的温度差异中的至少一个对特征进行分类。例如,预期胶带154的条带160表现出与下面的层压板的已知的温度差异范围。这些范围已在上面讨论。如果一个区域相对于另一个区域在预期的温度差异范围内,则可以基于该区域比其他区域更热或更冷来进行分类。

[0277] 在步骤212中,控制器112确定超出容限的特征(例如,太大,如对特征性质进行的过滤过程所鉴定的)。如果特征超出容限,则控制器112报告超出容限的特征以进行检查。这些特征/条件可以在层压板150的表示上以图形方式报告,或在文本报告中报告。在该步骤期间,控制器112可以进一步基于特征的尺寸和类型来过滤特征,以便自动指示并突出显示超出容限的特征,而无需人工干预。

[0278] 在进一步的实例中,展现出圆形边界的特征(例如,液体坑)可以不同于具有尖锐的线性边缘的特征(例如,胶带条带的边缘)分类。尺寸在这些确定中也起作用,因为小的特征可能指示层压板处的碎屑,而大的特征可能指示胶带的整个横列或胶带条带。

[0279] 方法200提供了优于现有检验技术的实质优势,因为它利用温度而不是颜色的差异,来鉴定和分类铺叠特征。例如,在铺叠部件之间可能存在预先存在的温度差异(例如,因为其中部件之一被加热以促进粘贴),而在可见光谱中层压板和胶带条带之间几乎没有颜色差异。因此,方法200使得铺叠检验技术的信噪比相对于现有技术增加了数量级。此外,由于热成像技术与胶带铺叠机130的机头140紧密结合,因此无需对层压板进行手动成像,也无需与层压板150进行其他人际交互。这减少了在人工检验期间技术人员将外来碎屑掉落到层压板上,踩在层压板150上,或以其他方式无意地改变层压板150的机会。这还使得铺叠检验能够更快地进行,并且能够与层压板每层的每个横列的胶带铺设同时发生,尤其是与停止胶带铺设以方便人员进入/检验相比。

[0280] 图3是示出在说明性实施方式中安装至支撑件370上的胶带铺叠机300的图。胶带铺叠机300包括能够铺叠形成层压板350(例如,用于固化成复合零件)的胶带的条带352的任何系统或装置。胶带铺叠机300包括机头380,其在铺叠期间分配胶带(例如CFRP)的条带352。铺叠条带352以形成层压板350,该层压板350包括将被固化成单个整体复合零件的一个或多个材料层。在该实施方式中,层压板350包括用于飞机的部分,并且由旋转支架360保持在适当位置。

[0281] 当胶带铺叠机300操作以将胶带的条带352铺叠到层压板350上时,胶带铺叠机300可沿着轴线X 366直接朝向/远离层压板350移动,沿着轴线Y 364垂直向上/向下移动,和/或沿着轴线Z 362横向移动。如本文所使用,当胶带铺叠机300在机头380的单次“扫掠”期间同时铺叠多个条带352时,那些条带352被统称为单个“横列”。连续施加的一组不重叠的横

列可以称为一层。当将多个层添加到层压板350时,所得复合零件的强度增加。

[0282] 为大的层压板350(例如,机身的一部分)铺叠材料是耗时且复杂的过程。为了确保快速且有效地铺叠条带352,胶带铺叠机300的操作由NC程序控制。在一个实施方式中,NC程序逐个横列地提供指令,以对准/重新定位胶带铺叠机300,以一直控制铺叠过程,直到施加单独的丝束/胶带,移动机头380,并在层压板350上铺叠条带352。以这种方式,通过执行NC程序中的指令,胶带铺叠机300制造层压板(例如,用于固化成复合零件的层压板)。

[0283] 图4是在说明性实施方式中由胶带铺叠机铺叠的横列420的俯视图,并且对应于图3的视图箭头4。图4示出了层压板400,该层压板400本身包括已经粘贴在一起的胶带的条带(为清楚起见未显示)。当机头380横跨层压板400的表面430移动时,它在层压板400上沉积包括胶带的一个或多个条带352的横列420。在该实施方式中,每个横列包括丝束的八个条带。对于纤维增强层压板,横列中的每个条带将显示相同的纤维方向,虽然层压板不同层的不同横列可能表现出不同的纤维方向。

[0284] 指导机头380的NC程序可以指示在横列420内放置每个条带352的位置。然而,放置在层压板400上的条带352的实际末端可能变化。因而,在条带353的实际末端位置与条带353的预期末端位置之间可存在距离D。另外,在铺叠期间或之后,碎屑440可能掉落到层压板上,并且在铺叠过程期间也可能发生一个或多个铺叠不一致450。碎屑440可以包括在胶带处的纤维丸或拉线(“绒毛球”)、液体(例如,油或水)、颗粒(例如,金属屑、塑料材料的颗粒等)以及胶带的背衬。铺叠不一致450可能包括扭曲的胶带、折叠的胶带、胶带的桥连、褶皱、皱纹、未拉伸的(untacked)丝束或其一部分、缺失的丝束、双丝束、分裂或损坏的丝束、缺失的材料或其他情况。

[0285] 因为热成像可用于量化各种特征的方面,比如条带末端的位置、外来碎屑的位置以及铺叠不一致的位置,所以减少了对层压板400进行返工花费的时间和劳动力。即,因为在铺叠期间立即检测到层压板400的超出容限的特征,所以仅需要处置横列的一部分。此外,因为层压板400在检验过程期间保持生坯并且未固化,所以重建过程是直接移出胶带的条带并将其重新施加到层压板上的简单问题。在将层压板固化成复合零件之后,这是不可能的。

[0286] 图5-7是胶带铺叠机的机头380的各种构造的侧视图,并且对应于图4的视图箭头5。具体地,图5A-5B示出了构造成检验施加到层压板上的胶带的热固性条带的机头。图6示出了构造成检验施加到层压板上的胶带的热塑性条带的机头,并且图7示出了配置为检验层压板以便找到碎屑的机头。

[0287] 图5A是在说明性实施方式中用于检验施加到层压板上的胶带的热固性条带的机头380的侧视图。如图5A所示,机头380沿方向500行进,并且包括压实辊520,该压实辊520用于将胶带的条带352压实到层压板400的表面430上。加热器530向表面430施加热(Δ),以便将表面430的温度升高到使其软化并变粘的温度(即,增加先前铺叠的并即将被新层覆盖的层的粘性)。虽然加热器530被显示为在压实辊520前面一段的距离,但是在进一步的实施方式中,加热器530就被放置在压实辊520的前面。当条带352被施加到表面430上时,条带与下面的(例如,未加热的)层压板之间存在温度差异。当检查来自IR相机510的热像图像时,这使得条带352与下面的层压板区分开,该IR相机510紧随压实辊520(即,定位在其下游)。图5B示出了进一步的视图,其中加热器532设置在压实辊520的上游,并在胶带到达压实辊520

之前加热胶带的一个或多个条带352。

[0288] 图6是在说明性实施方式中用于检验施加到层压板上的胶带的热塑性条带的机头380的侧视图。如图6所显示,机头380沿方向600行进,并且包括压实辊620,该压实辊620用于将胶带的条带352压实到层压板400的表面430上。加热器632将目标热(Δ)施加到胶带的条带352内,以便将温度升高到达到或超过热塑性材料熔融温度。在胶带的条带352被压实到层压板400时或就在其之前,施加该热量。这使得能够检测胶带的添加或丢失的条带以及碎屑。当胶带的条带352被施加到表面430上时,在条带和下面的层压板之间存在温度差异。当检查来自IR相机610的热像图像时,这使得条带可与下面的层压板区分开,该IR相机610紧随压实辊620。

[0289] 图7是在说明性实施方式中用于检验层压板以便检测碎屑的机头380的侧视图。如图7所显示,机头380沿方向700行进,并且包括压实辊720,该压实辊720用于将胶带的条带352压实到层压板400的表面430上。机头380还包括加热器730和IR相机710,以及加热器732和IR相机712。加热器730向表面430施加热(Δ),以便升高表面430的温度。因此,位于表面430处的碎屑750(例如,外来物体碎屑(FOD)、纤维丸等)被加热器730加热。因为碎屑的基本热性质可能与表面430的热性质不同,或者因为与表面430相比碎屑的形状可能改变其保持热量的能力和/或因为碎屑的形状可能经由图像分析可识别,可以在由IR相机710获取的热像图像中检测到碎屑750。

[0290] 机头380另外地包括加热器732和IR相机712。加热器732升高条带352的温度。这有助于IR相机712更好地区分碎屑760(例如,从机头380掉落的新碎屑,比如油)和条带352。因而,当在铺叠胶带的一个或多个条带352之前在表面430上存在碎屑时,可以通过IR相机710检测碎屑,而在铺叠条带352之后降落在条带352上的碎屑可以由IR相机712检测到。

[0291] 图7中所描绘的布置所具有的另外的优点是,IR相机732还可以间接检测碎屑750。碎屑750通常在条带352和层压板表面430之间传导不同于条带352和层压板表面430之间的直接接触的热量。如果碎屑750比直接接触更具绝缘性(即,导热性更差),或者碎屑750在条带352和层压板表面430之间形成气隙(也为绝缘),那么碎屑750上方的一个或多个条带352的区域会比周围的条带更热,并且该热点可以用作检测掩埋在条带352下的碎屑750。如果碎屑750比条带352与层压板表面430之间的直接接触更具导电性(即,导热性更好),那么碎屑750上方的条带352的区域比周围的条带352更冷,并且该冷点可用作检测掩埋在条带352下的碎屑750。

[0292] 图8-13分别示出了用于鉴定胶带条带末端、铺叠不一致和碎屑的各种特定技术。具体地,图8-9描述了鉴定胶带条带末端,图10-11描述了鉴定铺叠不一致,和图12-13描述了鉴定碎屑。

[0293] 图8是示出说明性实施方式中用于操作胶带铺叠检验系统以检测胶带条带末端的方法800的流程图。关于图1的胶带铺叠检验系统100描述了方法800的步骤,并且其可以经由图5或图6中所描绘的机头380或者甚至经由图7中所描绘的机头380进行。方法800可以以上述方法200的步骤202-206开始,以在层压板处铺叠胶带条带并且对其成像。

[0294] 在步骤802中,控制器112分析热像图像118内的对比度,以鉴定胶带154的条带160。控制器112可以鉴定热像图像118内的多个像素中的每个像素处的值(例如,强度水平或亮度水平)。在热像图像中的像素值对应于温度。因此,控制器112可以基于相邻像素的值

之间的差异来鉴定具有不同温度的区域。

[0295] 该过程可以包括相对于像素的相邻连续区域,鉴定具有超过预定阈值量的温度差异的像素的连续区域,或者将在温度的阈值范围内(例如,5华氏度、50华氏度)的所有连续像素彼此一起分组到一个区域。例如,如果已知胶带154的条带160相对于层压板150具有1华氏度和50华氏度之间的温度差异,则控制器112可以将与周围区域具有相应温度差异的像素的连续区域鉴定为胶带的条带。

[0296] 在步骤804中,控制器112确定胶带154的条带160的方向。胶带条带的方向是在铺叠条带时机头140移动的方向。可以基于相机相对于机头140的已知取向(结合位置数据120和/或NC程序135指定的方向考虑)来预先定义方向。控制器112甚至可以使用位置数据120来确认机头140沿NC程序135指示的方向移动。可选地,可基于为热像图像内描绘的条带找到的最长轴而动态确定该方向。

[0297] 在步骤806中,对于胶带的每个条带,当沿步骤804中确定的方向行进时,控制器112鉴定温度变化超过阈值量的边界。也就是说,在胶带的每个条带的边界内,控制器112检查邻近/相邻像素的值,同时沿该方向逐个像素移动直到检测到边界。如上所讨论,用于边界检测的阈值量在热固性材料和热塑性材料之间可以变化。在一些实施方式中,步骤806可以包括对热像图像118运行边缘检测算法(例如,应用拉普拉斯算子或其他过滤),并且鉴定温度之间发生急剧转变的区域。

[0298] 在步骤808中,控制器112确定胶带154的每个条带160的对应边界的位置。这可以包括,例如,基于IR相机产生热图像时的IR相机的已知位置和/或取向,以及IR相机和像素坐标之间的已知偏移量将热像图像118处的坐标变换为层压板150处的位置。

[0299] 在步骤810中,控制器112基于在热像图像中检测到的边界来报告胶带154的条带160的末端位置。例如,控制器112可以在文本报告中或在层压板150的图像上方提供的覆盖物中报告在步骤808中确定的位置。如果条带160的末端位置距离其预期的开始位置和停止位置超过阈值量(例如,1英寸、10英寸等),则控制器112可以将该状况指示为报告的一部分。在步骤812中,控制器112确定条带的末端是否在容限内。如果条带的任一末端超出容限,则步骤814包括处置这些末端。处置可以包括对动作过程(course of action)的任何类型的确定,以处理所发现的末端超出容限的情况。

[0300] 图9是说明性实施方式中的横列的一部分的热像图像900。在热像图像内,代表具有不同温度的物体的像素将具有不同的值(例如,亮度水平)。因而,较冷物体的像素可能看起来比较暖物体的像素更暗。控制器112可以通过应用边缘检测算法,或者以其他方式沿Y方向930搜索大于阈值量(例如,大于0.56摄氏度/1华氏度)的温度转变来分析热像图像900。然后,控制器112可以确定在热像图像900内描绘的每个条带的位置和厚度。纤维可以在胶带的每个条带内以任何合适的方向取向。例如,描绘顶部条带的区域922具有宽度W1,描绘中间条带的区域924具有宽度W2,并且描绘底部条带的区域926具有宽度W3。这些区域被区域920围绕,该区域920表示下面的层压板(由温度差异所确定的)。在每个条带所占用的Y坐标内,控制器112可以在X方向940上横越像素,以鉴定大于阈值的像素之间的边界910。对于以此方式鉴定的每个边界910,控制器112可以将图像内的边界910的X和Y坐标鉴定为条带的末端。例如,顶部条带终止于X1,中间条带终止于X2,和底部条带终止于X3。在其中边界包括像素区域的实施方式中,控制器112可以计算该区域的质心,并使用质心的坐

标。可以基于位置数据120将坐标转换为层压板150处的位置，并且可以将这些位置与NC程序中指示的期望位置进行比较。如果这些位置与所期望的位置的距离大于阈值距离(例如，1英尺，1英寸等)，则技术人员可以选择暂停层压板的铺叠过程，以便处置任何(例如，返工)任何超出容限的情况。另外，可以向技术人员提供统计报告，该统计报告将期望的条带位置与对每层鉴定的条带位置进行比较。

[0301] 图10是示出说明性实施方式中的用于检测铺叠不一致的方法1000的流程图。关于图1的条带铺叠检验系统100描述了方法1000的步骤，并且可以经由图5或图6中所描绘的机头380或者甚至图7中所描绘的机头380来进行方法1000的步骤。方法1000可以以上述方法200的步骤202-206开始，以在层压板处铺叠胶带的条带并对其成像。

[0302] 步骤1002包括分析热像图像118内的对比度以鉴定胶带154的条带160。这可以基于层压板150和条带160之间的期望的温度差异量来进行，并且可以以与以上提供的方法800的步骤类似的方式进行。

[0303] 在步骤1004中，对于胶带的每个条带，控制器112检查条带内部的温度差异。这些温度差异可能足够低以至于不能将条带的内部视为不同区域，但是可能足够高(以指示可能存在不一致)。因此，步骤1004便于检测在胶带条带内发现的铺叠不一致。

[0304] 在步骤1006中，对于胶带的每个条带，控制器112检查该条带的边界以便找到形状上的不一致。例如，可以预期条带具有大致矩形形状并且由长直线组成的边界。如果边界表现出高曲率或不规则性，则这可能表明存在铺叠不一致。因此，步骤1006便于检测在胶带的一个或多个条带的边缘处发现的铺叠不一致。

[0305] 在步骤1008中，例如，基于步骤1004和步骤1006的检查，控制器112确定存在铺叠不一致。在步骤1010中，控制器112基于铺叠不一致的尺寸、铺叠不一致的形状或铺叠不一致处的温度差异的至少一个对铺叠不一致进行分类。例如，如果丝束的宽度改变为小于预定量，如果丝束之间的间隙增加超过阈值或减小到阈值以下，如果丝束的边界呈锯齿状等，则检测函数122可以指示存在不一致。可以基于形状、尺寸和温度的各种组合来触发不同的检测函数122(并且因此可以由控制器112分配不同类别的不一致)。在步骤1012中，控制器112鉴定超出容限的铺叠不一致，并且在步骤1014中，控制器112报告超出容限的铺叠不一致以进行检查(例如，为了使技术人员能够参与处置超出容限的情况)。

[0306] 图11是在说明性实施方式中的包括铺叠不一致的横列的一部分的热像图像1100。在热像图像内，代表具有不同温度的物体的像素将具有不同的值(例如，亮度水平)。因此，较冷物体的像素可能看起来比较暖物体的像素更暗。条带具有沿X方向1160的长度和沿Y方向1150的宽度。在此实施方式中，条带1122和1124不包括不一致，而条带1126包括褶皱形式的铺叠不一致1130和皱纹的形式的铺叠不一致1140。可以基于条带1126下降到预期宽度以下或具有不同的宽度来确定铺叠不一致1130，或者可以通过确定条带1126的边缘的曲率改变或在预定范围内来检测该铺叠不一致1130。也可以通过条带1126和层压板的下层1120之间的温度差异(超过阈值)来检测铺叠不一致。同时，可以基于其长而窄的形状并且相对于条带1126的其余部分具有已知的温度差异来检测铺叠不一致1140。

[0307] 图12是示出了在说明性实施方式中用于基于热像图像确定碎屑的位置的方法1200的流程图，并且可以经由图7所描绘的头380来进行该方法1200。关于图1的胶带铺叠检验系统100描述了方法1200的步骤，但是可以根据需要在其他系统中进行该方法1200的步

骤。方法1200包括在步骤1202中经由加热器141加热层压板150的表面156,并且在步骤1204中经由IR相机142产生表面156的热像图像118。方法1200还包括在步骤1206中经由胶带分配器143将胶带154的条带160铺叠在层压板150的表面156上。在步骤1208中,方法1200包括经由加热器144加热胶带154的条带160,并且步骤1210包括产生施加至层压板150的胶带154的条带160的热像图像。理想地,将条带160加热到与层压板150相同的温度。这使得碎屑(例如,FOD)能够更容易与制造条带160和层压板150的胶带154区分开。

[0308] 已经获取了描绘层压板150和施加到层压板150的条带160二者的热像图像118之后,可以通过鉴定温度差异来准确而有效地认出外来物体碎屑。在步骤1212中,控制器112分析热像图像内的对比度以鉴定具有不同温度的不同区域,这可以以与上述技术类似的方式来进行。然而,由于不同类别的碎屑可能与基本不同的热性质相关联,因此可以基于各种不同的温度阈值来区分区域,每个温度阈值对应于不同类型的碎屑。例如,胶带处的纤维丸可以预期为具有比其下面的层压板高的第一温度范围、尺寸小并且具有不规则的边界,而液体可以预期为具有比下面的层压板更冷的第二温度范围、具有较宽的尺寸范围、并且具有光滑的边界。因而,用作在方法1200中定义单独区域的标准的温度差异的量(例如,小于5度,小于2度等)可以比关于其他方法描述的温度差异的量小得多。

[0309] 因为在铺叠胶带条带之前和之后都获取了热像图像,所以分析热像图像内的对比度可以包括检查层压板的表面的热像图像以鉴定被至少一层胶带覆盖的碎屑,并且还包括检查施加到层压板的胶带条带的热像图像以鉴定胶带条带表面处的碎屑。该过程甚至可以在将横列铺叠在由IR相机710检测到的超出容限的碎屑片之前被停止。这允许在将横列施加在碎屑上之前进行处置(例如,清除碎屑片)。如果碎屑没有超出容限,则在其上施加横列可能是期望的行为。为了便于检测条带或横列之间的边界处的碎屑,图像可能具有足够宽的视场以捕获碎屑将定位的可能位置。

[0310] 在步骤1214中,控制器112基于区域的尺寸、区域的形状或区域与其他区域之间的温度差异中的至少一个,对区域内的碎屑类型进行分类。例如,纤维丸可以预期具有不规则的形状,具有与下面的层压板的特定的温度差异量,并且较小(例如,具有对应于横向小于1厘米的区域内的最大像素数)。颗粒比如金属屑可以期望为特别小或者与周围环境不同的温度,并且液体可以预期为具有与周围环境不同的温度差异范围,并且还具有圆形边界。此外,在一些实施方式中,任何尺寸的金属屑都被认为超出容限,而低于一定尺寸的球丸则可以被认为在容限内。检测函数122可以指示用于将层压板处的多个区域中的每个区域分类为碎屑类别的条件。在碎屑已经被控制器112分类和鉴定之后,控制器112可以生成指示所检测到的碎屑的性质、位置和/或严重性的报告。在步骤1216中,控制器112鉴定出超出容限的碎屑(例如,基于其尺寸和分类),并且在步骤1218中,将超出容限的碎屑报告给技术人员以进行处置(例如,去除)。

[0311] 图13是在说明性实施方式中包括碎屑的横列的一部分的热像图像1300。在热像图像内,代表具有不同温度的物体的像素将具有不同的值(例如,亮度水平)。因而,较冷物体的像素可能看起来比较暖物体的像素更暗。在该实施方式中,横列包括条带1322、条带1324和条带1326。条带1322包括恰好比其周围环境更热的金属球粒1330形式的碎屑,而条带1326包括恰好比其周围环境更冷的液体坑1340形式的碎屑。在这种情况下,金属球粒1330跨越了条带1322和下面的层压板1320的边界。这些横列沿X方向1360行进,并且具有沿Y方

向1350的宽度。

[0312] 图14是示出说明性实施方式中的将图像坐标与物理位置相关联的方法1400的流程图。在方法1400的步骤1402中,控制器1412在当IR相机145产生热像图像时确定IR相机145的位置和/或取向。这可以以由图1的位置传感器139报告的位置数据120的形式出现。在步骤1404中,控制器112确定在热像图像内描绘的特征的坐标(例如,X和Y位置)。这可以包括鉴定具有与相邻区域不同温度的区域,并计算该区域的质心。

[0313] 步骤1406包括基于IR相机145的位置和特征的坐标来确定层压板处的位置。例如,位置数据可以指示当拍摄热像图像时IR相机145的位置和取向。因为相机相对于胶带铺叠机的机头固定,所以所有图像内的每个坐标都可以对应于与IR相机145的已知物理偏移量。因此,通过应用该偏移量,可以可靠地确定层压板处特征的实际位置。

[0314] 图15示出了说明性实施方式中控制胶带铺设过程的方法1500。该方法包括在表面上铺叠胶带(步骤1502),并且在铺叠胶带时,使用IR成像检验其上铺叠胶带的表面以及所铺叠的胶带(步骤1504)。该方法进一步包括检查IR成像以便找到超出容限的情况,并且如果检测到超出容限的情况,则停止胶带铺设(步骤1508)。

[0315] 图16示出了说明性实施方式中在胶带铺设过程期间检测超出容限的不一致的方法1600。该方法包括:加热将在其上施加胶带的表面(步骤1602);获取该表面的IR图像(步骤1604);以及确定在IR图像中描绘了超出容限的不一致(步骤1606)。

[0316] 图17示出了说明性实施方式中检验复合表面的方法1700。方法1700包括在已加热的表面上创建温度差异(步骤1702),检测表面上的温度差异(步骤1704)以及基于该温度差异确定存在超出容限的不一致(步骤1706)。

[0317] 图18示出了说明性实施方式中创建复合结构的方法1800。该方法包括使用IR成像检验待在其上铺设层压板的表面(步骤1802)。该方法还包括检查IR成像以便找到超出容限的情况(步骤1804),并在达到超出容限的情况之前停止胶带铺叠(步骤1806)。

[0318] 图19A-19B示出说明性实施方式中检验胶带末端铺叠的方法1900和1950。方法1900包括在层压板处铺叠胶带条带(步骤1902),操作IR相机以对胶带条带热成像(步骤1904),检查热图像以鉴定胶带条带的末端(步骤1906),确定胶带条带的末端是否超出容限(步骤1908),并且报告该超出容限的胶带条带以便进行处置(步骤1910)。

[0319] 图19B示出了用于检验胶带末端铺叠的方法1950。方法1950集中于在铺放胶带之前加热胶带,以便改善粘性。在说明性实施方式中,方法1950可用于在胶带铺设过程期间检测超出容限的不一致。该方法包括在将胶带施加到表面上之前加热胶带(步骤1952),获取表面的IR图像(步骤1954),并且确定在IR图像中描绘了超出容限的不一致(步骤1956)。

[0320] 实施例

[0321] 更具体地参考附图,可以在如图20所示的方法2000中的飞机制造和服务以及图21所示的飞机2002的背景下描述本公开的实施方式。在预生产期间,方法2000可以包括飞机2002的规格和设计2004以及材料采购2006。在生产期间,进行飞机2002的部件和子组件制造2008以及系统集成2010。此后,飞机2002可能要经过认证和交付2012,以便投入使用2014。在客户使用期间,飞机2002被安排在维护和服务2016中进行例行工作(还可能包括修整、重新配置、翻新等)。可以在方法2000中描述的生产和服务的任何一个或多个合适阶段(例如,规格和设计2004、材料采购2006、部件和子组件制造2008、系统集成2010、认证和交

付2012、投入使用2014、维护和服务2016)期间和/或飞机2002的任何合适的部件(例如,机身2018、系统2020、内部2022、推进系统2024、电气系统2026、液压系统2028、环境系统2030)中采用本文中所体现的设备和方法。

[0322] 方法2000的每个过程都可以由系统集成商、第三方和/或运行商(例如,客户)进行或执行。为了说明的目的,系统集成商可以包括但不限于任何数量的飞机制造商和主系统分包商;第三方可以包括但不限于任何数量的销售商、分包商和供应商;运营商可以是航空公司、租赁公司、军事实体、服务组织等。

[0323] 如图21所显示,通过方法2000生产的飞机2002可以包括具有多个系统2020的机身2018和内部2022。系统2020的实例包括推进系统2024、电气系统2026、液压系统2028和/或环境系统2030中的一个或多个。可以包括任何数量的其他系统。虽然显示了航空实例,但是本发明的原理可以应用于其他工业,比如汽车工业。

[0324] 如上所提及,可以在方法2000中描述的生产和服务的任何一个或多个阶段期间采用本文体现的设备和方法。例如,可以以类似于飞机2002服务时生产的部件或子组件的方式制备或制造与部件和子组件制造2008相应的部件或子组件。而且,例如,通过实质上加快飞机2002的组装或降低其成本,可以在子组件制造2008和系统集成2010期间利用一个或多个设备实施方式、方法实施方式或其组合。类似地,在飞机2002服务期间,例如但不限于在维护和服务2016期间,可以利用一个或多个设备实施方式、方法实施方式或其组合。例如,本文所述的技术和系统可以用于材料采购2006、部件和子组件制造2008、系统集成2010、服务2014和/或维护和服务2016,和/或可用于机身2018和/或内部2022。这些技术和系统甚至可用于系统2020,其包括例如,推进系统2024、电气系统2026、液压系统2028和/或环境系统2030。

[0325] 在一个实施方式中,零件包括机身2018的一部分,并且在部件和子组件制造2008期间制造。然后,该零件可以在系统集成2010中组装成飞机,并且然后投入使用2014,直到磨损使得该零件无法使用。然后,在维护和服务2016中,该零件可以被丢弃并用新制造的零件替换。为了制造硬化成新零件的层压板,可以在整个部件和子组件制造2008中使用本发明的部件和方法。

[0326] 在附图中示出或在本文描述的各种控制元件(例如,电气或电子部件)中的任何一个可以被实现为硬件、实施软件的处理器、实施固件的处理器或这些的一些组合。例如,元件可以被实施为专用硬件。专用硬件元件可以被称为“处理器”、“控制器”或一些类似的术语。当由处理器提供时,函数可以由单个专用处理器、单个共享处理器或多个单独的处理器提供,其中一些可以共享。此外,术语“处理器”或“控制器”的明确使用不应解释为专门指能够执行软件的硬件,并且可以隐含包括但不限于数字信号处理器(DSP)硬件、网络处理器、专用集成电路(ASIC)或其他电路、现场可编程门阵列(FPGA)、用于存储软件的只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、非易失性存储器、逻辑或一些其他物理硬件部件或模块。

[0327] 而且,控制元件可以实施为可由处理器或计算机执行以进行该元件的功能的指令。指令的一些实例是软件、程序代码和固件。指令在由处理器执行时是可操作的,以指导处理器进行元件的功能。指令可以存储在处理器可读的存储装置上。存储装置的一些实例是数字或固态存储器、磁存储介质——比如磁盘和磁带、硬盘驱动器或光学可读数字数据存储介质。

[0328] 虽然本文描述了特定实施方式,但是本公开的范围不限于那些特定实施方式。本公开的范围由所附权利要求限定。

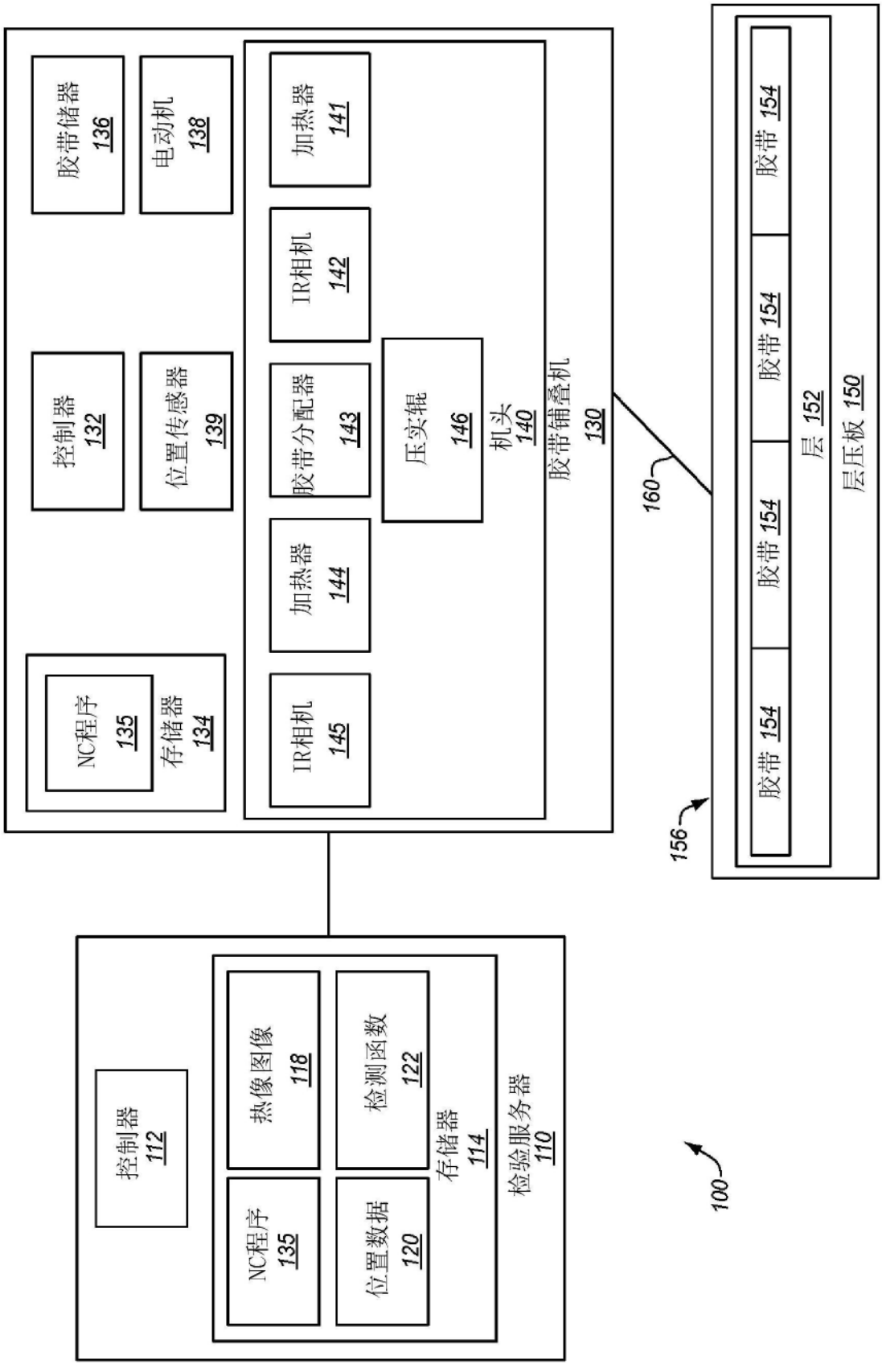

胶带储器 136
电动机 138
控制器 132
位置传感器 139
NC程序 135
存储器 134
IR相机 145
加热器 144
胶带分配器 143
压实辊 146
机头 140
IR相机 142
加热器 141
胶带铺叠机 130
160
156
胶带 154
胶带 154
胶带 154
胶带 154
层 152
层压板 150
100
控制器 112
热像图像 118
检测函数 122
NC程序 135
位置数据 120
存储器 114
检验服务器 110

图1

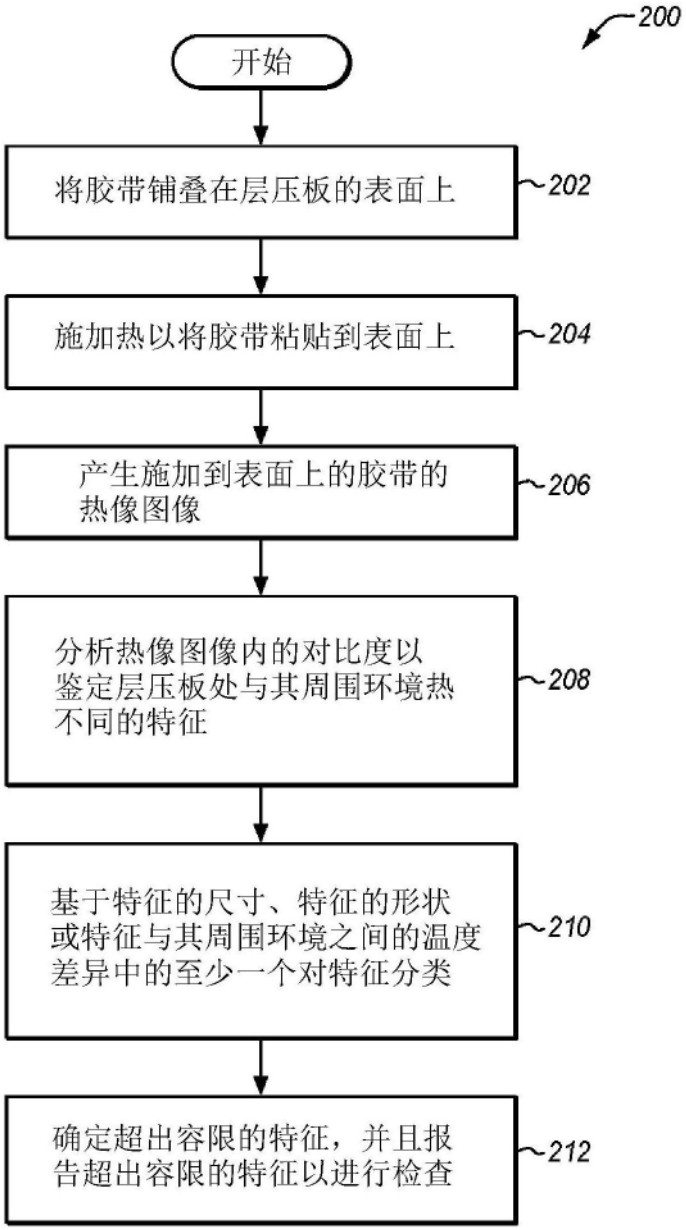

200
开始
将胶带铺叠在层压板的表面上
202
施加热以将胶带粘贴到表面上
204
产生施加到表面上的胶带的热像图像
206
分析热像图像内的对比度以鉴定层压板处与其周围环境热不同的特征
208
基于特征的尺寸、特征的形状或特征与其周围环境之间的温度差异中的至少一个对特征分类
210
确定超出容限的特征，并且报告超出容限的特征以进行检查
212

图2

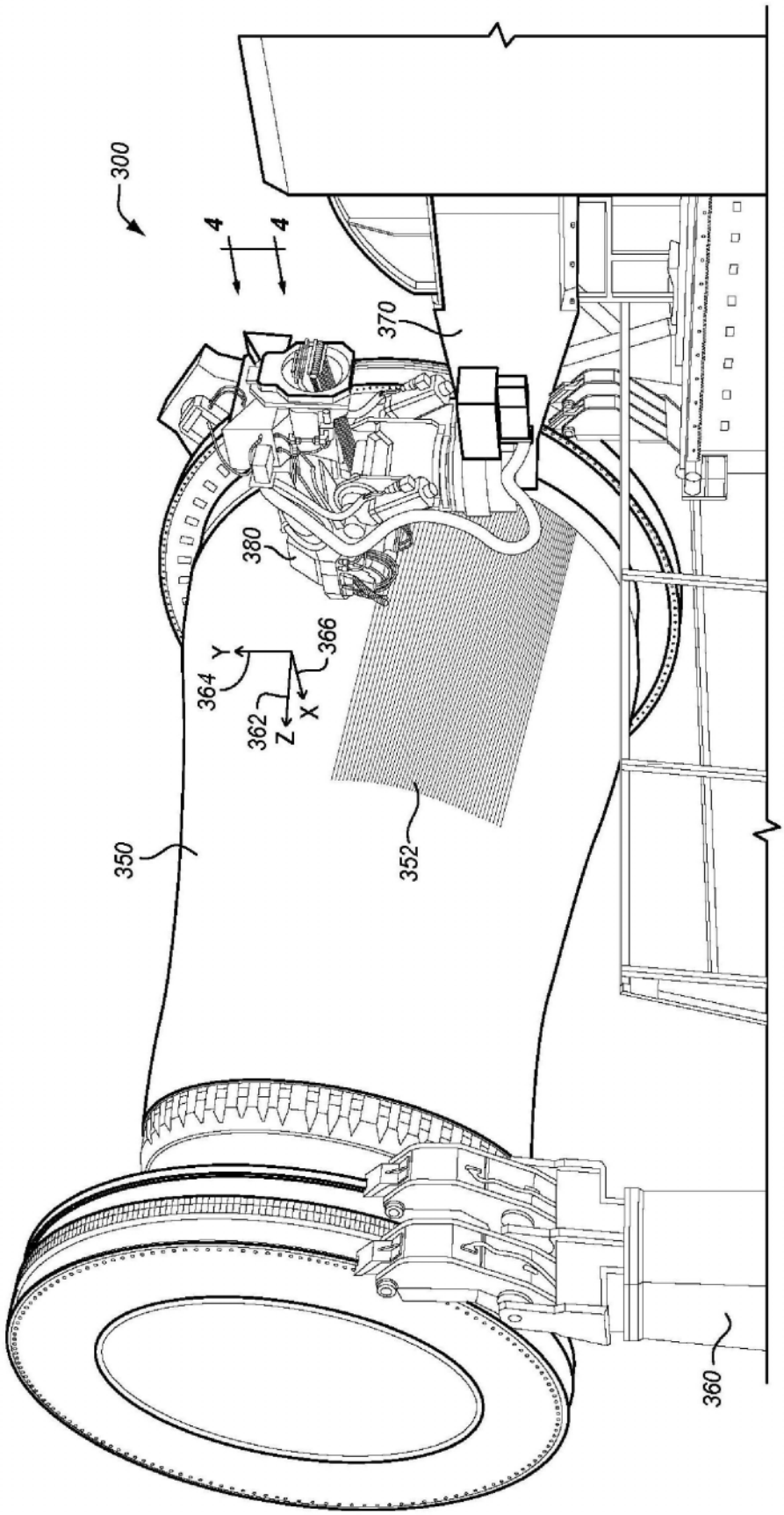


图3

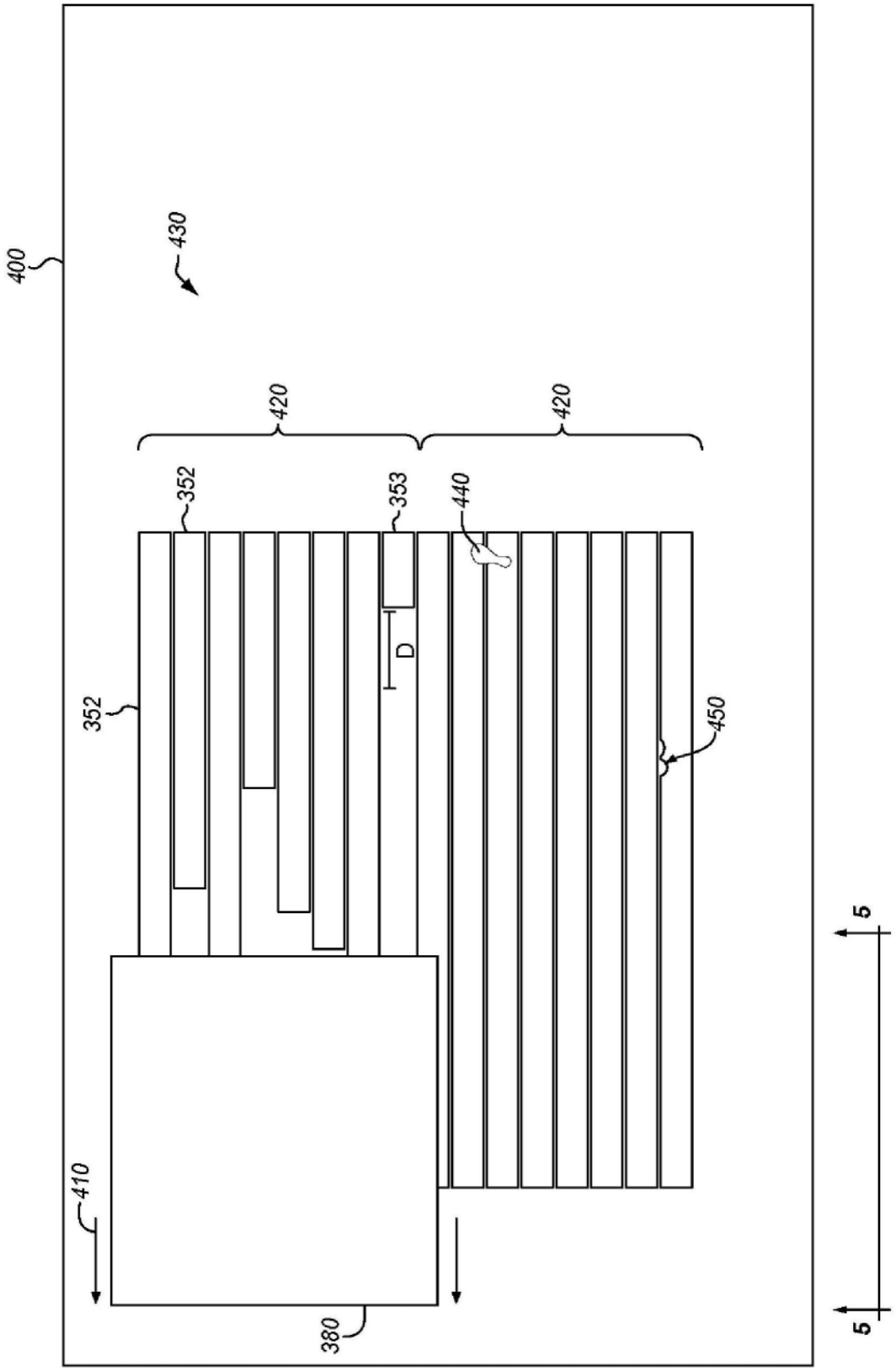


图4

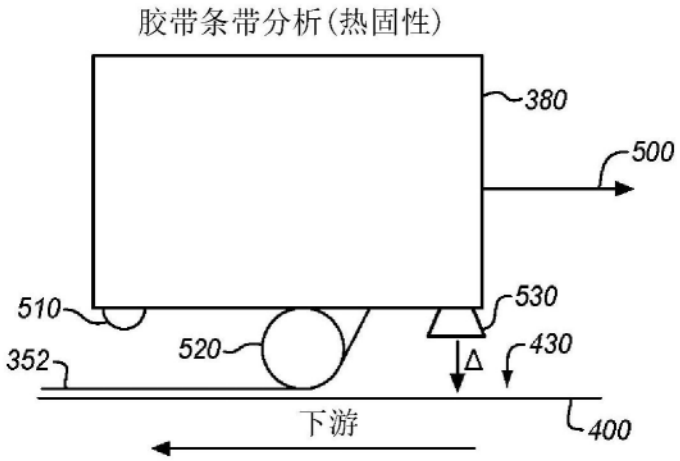

胶带条带分析(热固性)
380
500
510
530
520
430
352
下游
400

图5A

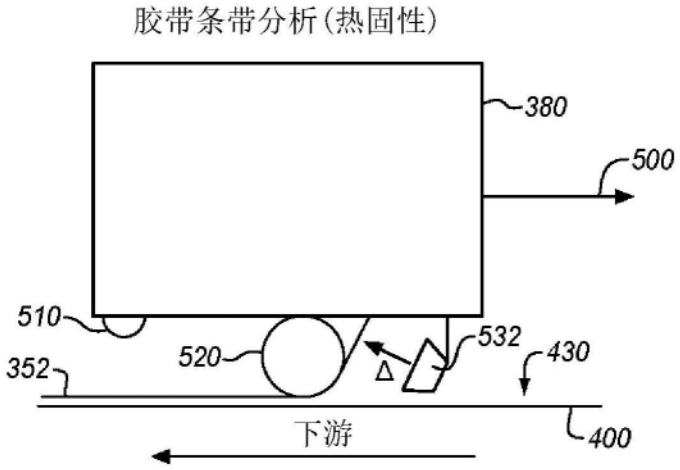

胶带条带分析(热固性)
380
500
510
532
520
430
352
下游
400

图5B

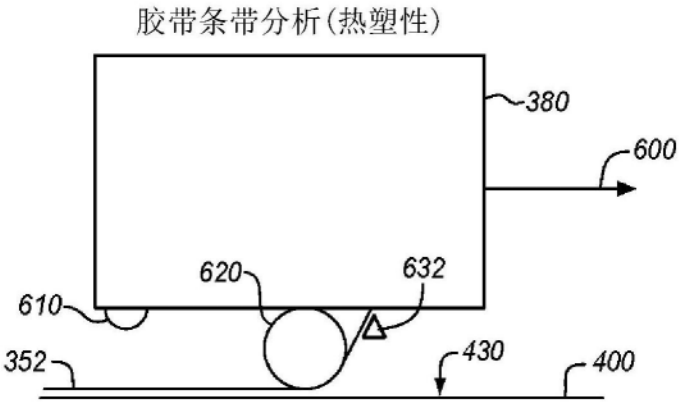

胶带条带分析(热塑性)
380
600
620
632
610
352
430
400

图6

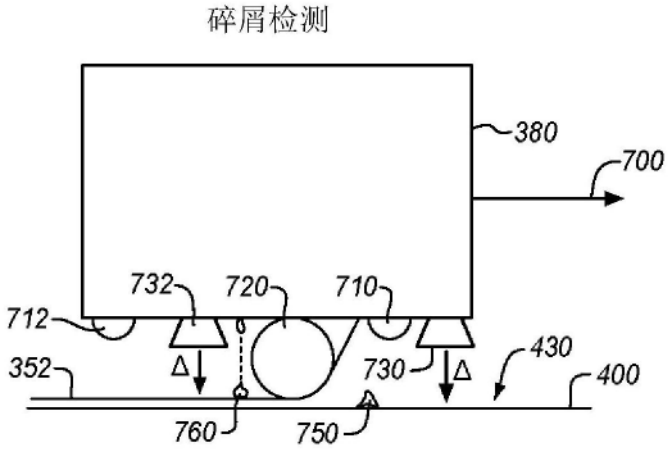


图7

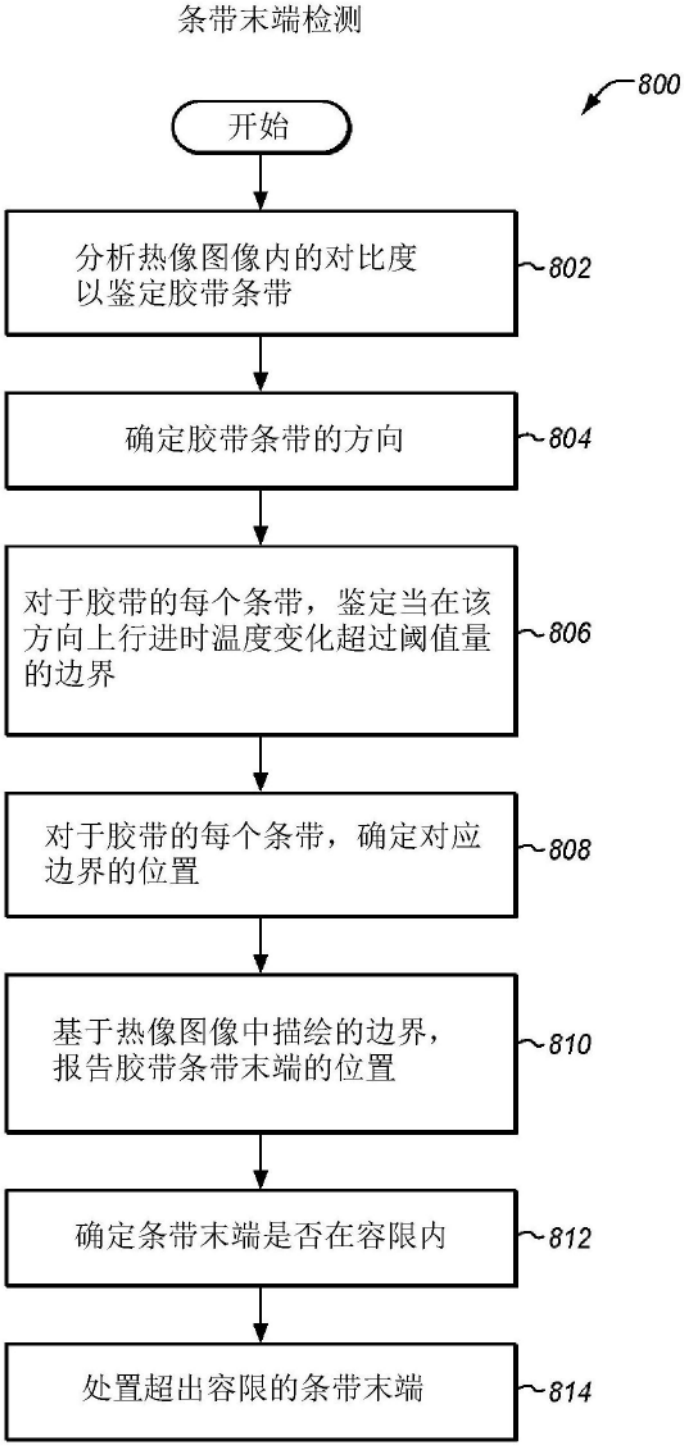

条带末端检测
800
开始
分析热像图像内的对比度以鉴定胶带条带
802
确定胶带条带的方向
804
对于胶带的每个条带，鉴定当在该方向上行进时温度变化超过阈值量的边界
806
对于胶带的每个条带，确定对应边界的位置
808
基于热像图像中描绘的边界，报告胶带条带末端的位置
810
确定条带末端是否在容限内
812
处置超出容限的条带末端
814

图8

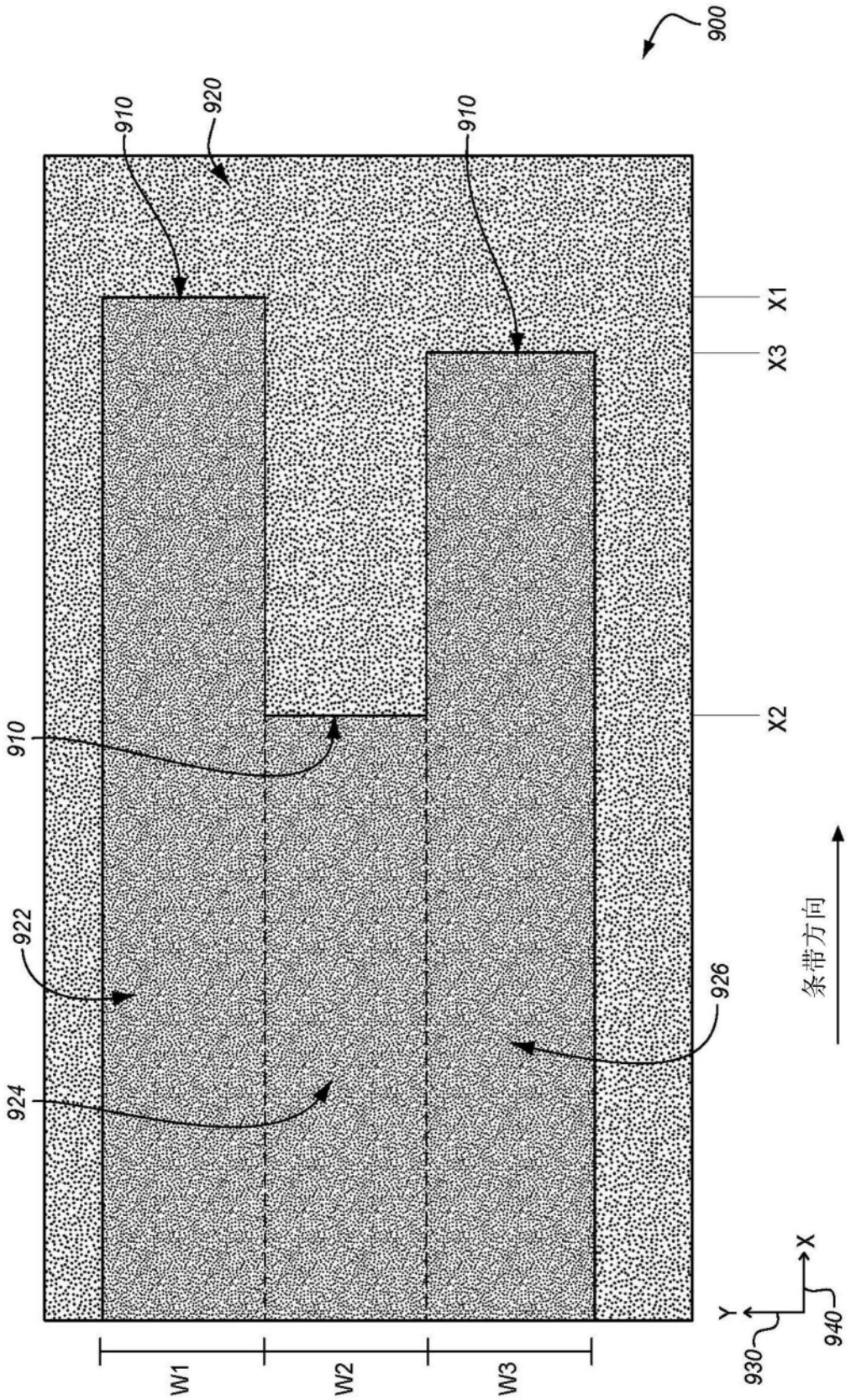


图9

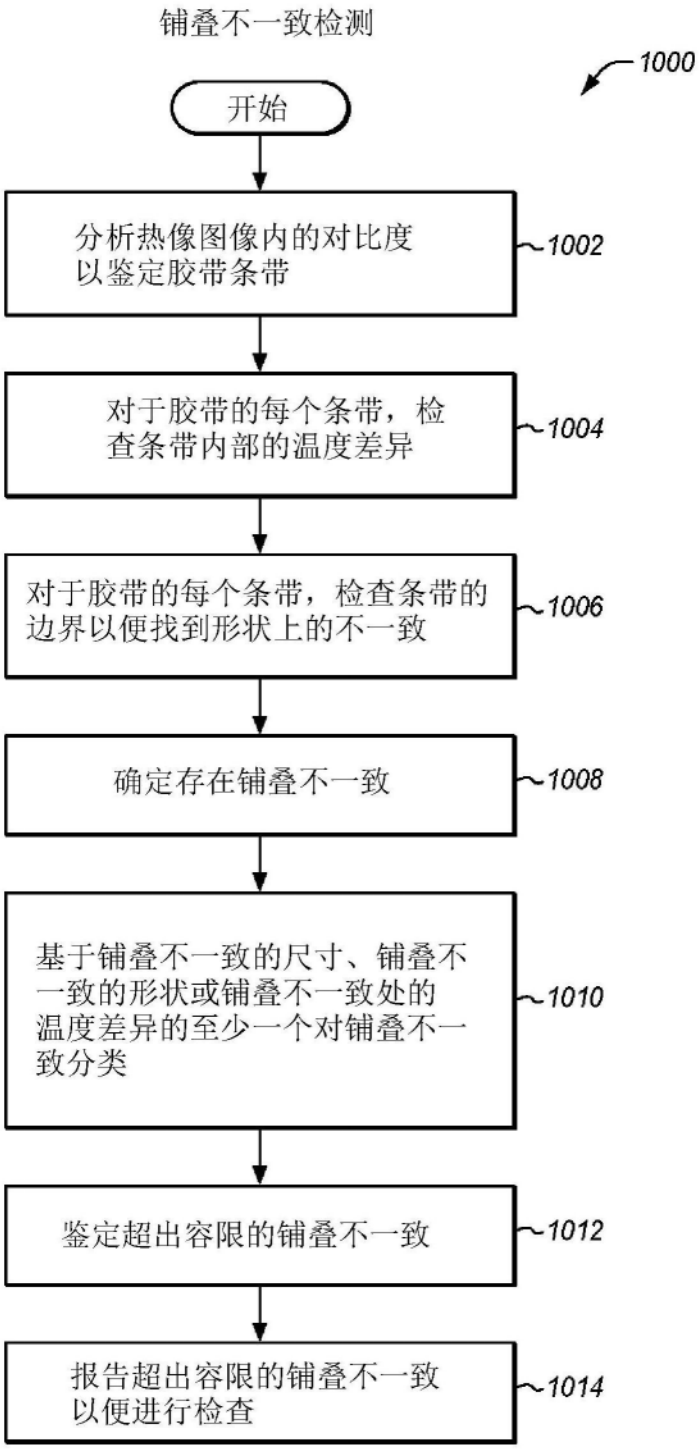

铺叠不一致检测
1000
开始
分析热像图像内的对比度以鉴定胶带条带
1002
对于胶带的每个条带，检查条带内部的温度差异
1004
对于胶带的每个条带，检查条带的边界以便找到形状上的不一致
1006
确定存在铺叠不一致
1008
基于铺叠不一致的尺寸、铺叠不一致的形状或铺叠不一致处的温度差异的至少一个对铺叠不一致分类
1010
鉴定超出容限的铺叠不一致
1012
报告超出容限的铺叠不一致以便进行检查
1014

图10

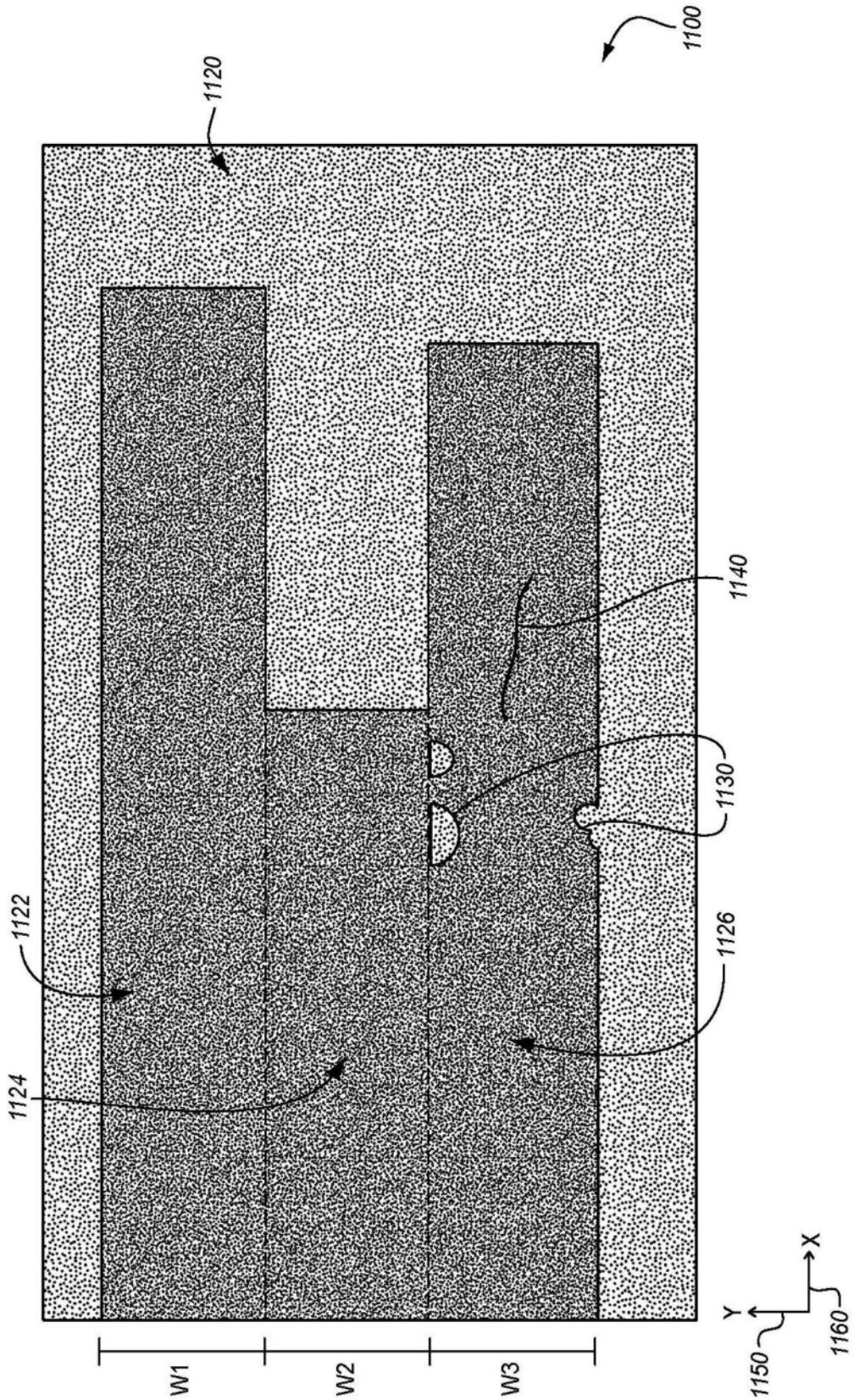


图11

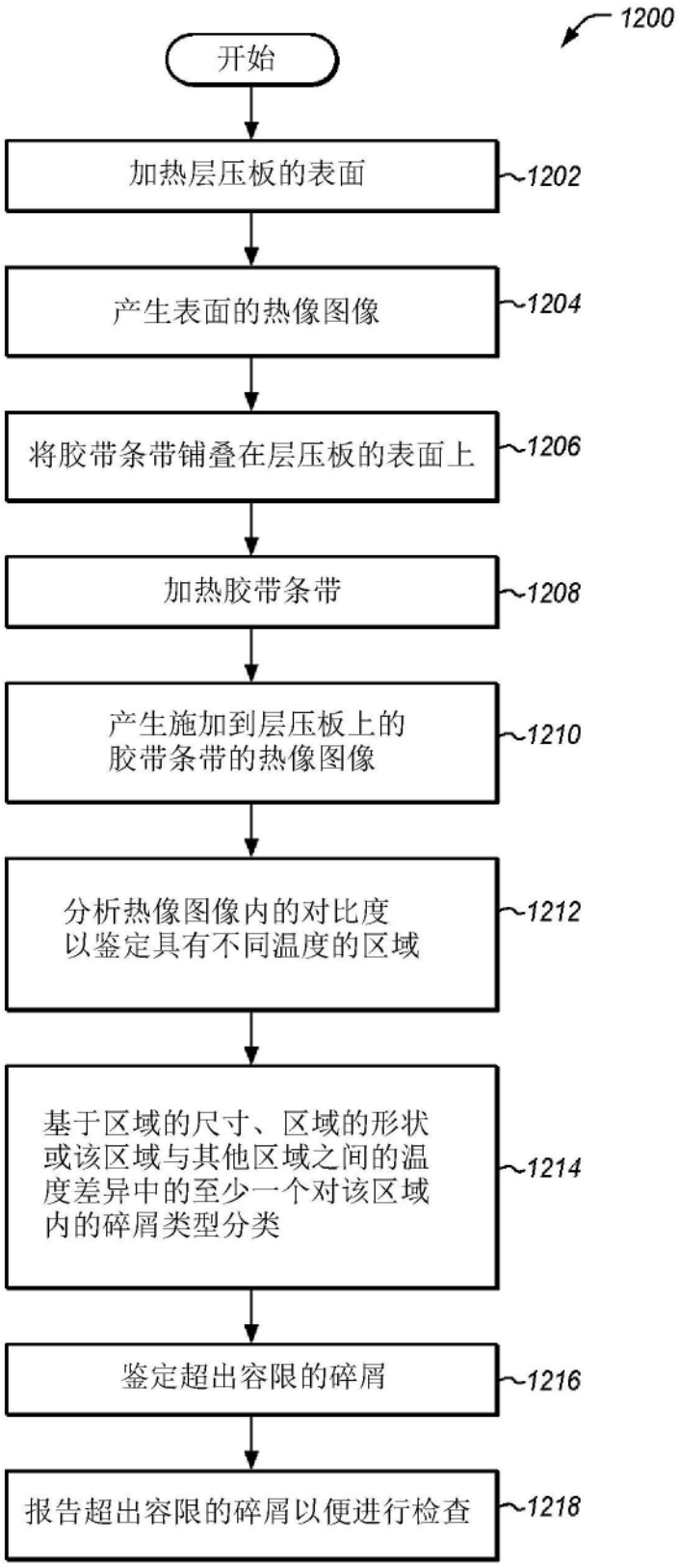

1200
开始
加热层压板的表面
1202
产生表面的热像图像
1204
将胶带条带铺叠在层压板的表面上
1206
加热胶带条带
1208
产生施加到层压板上的
胶带条带的热像图像
1210
分析热像图像内的对比度
以鉴定具有不同温度的区域
1212
基于区域的尺寸、区域的形状
或该区域与其他区域之间的温
度差异中的至少一个对该区域
内的碎屑类型分类
1214
鉴定超出容限的碎屑
1216
报告超出容限的碎屑以便进行检查
1218

图12

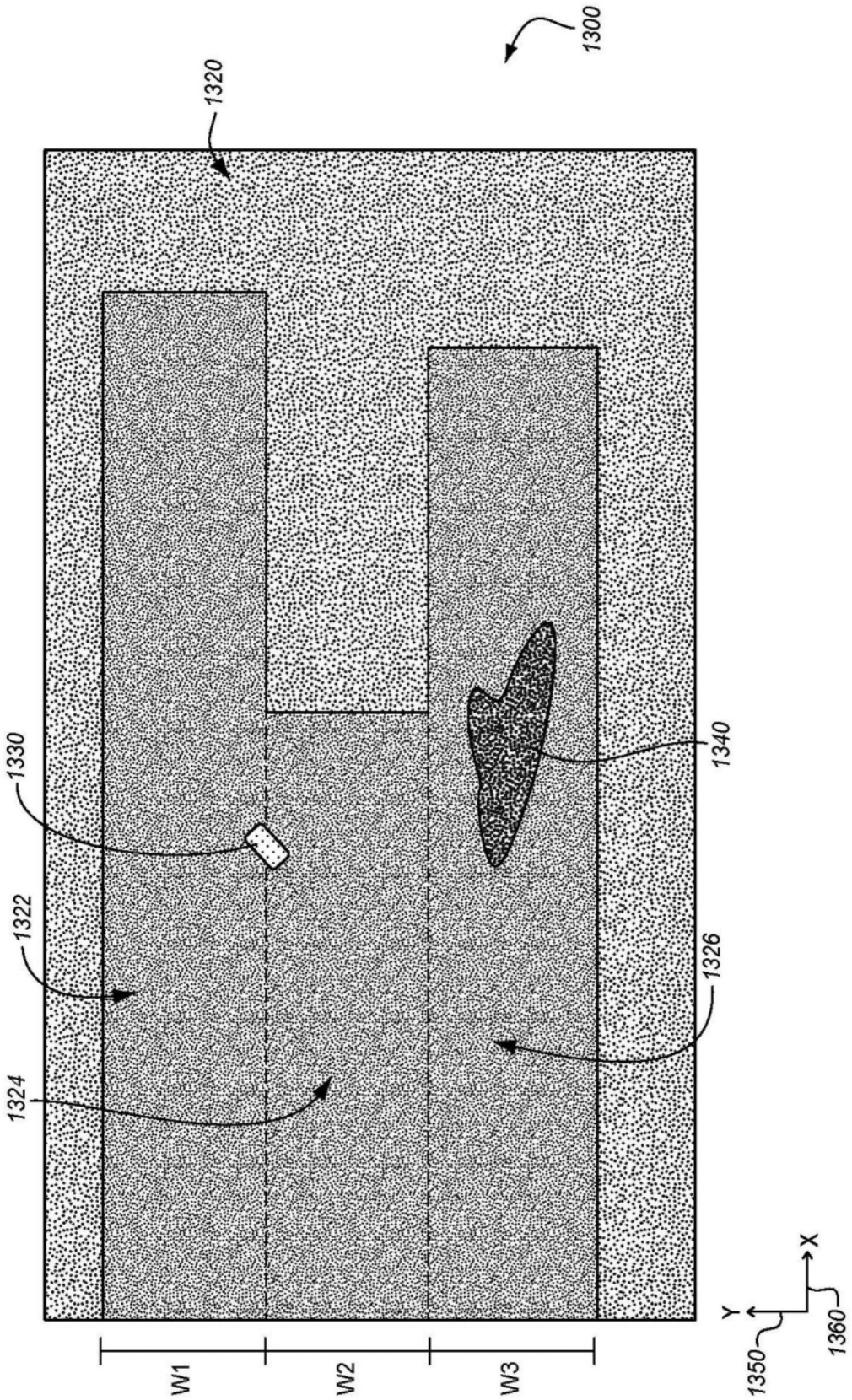


图13

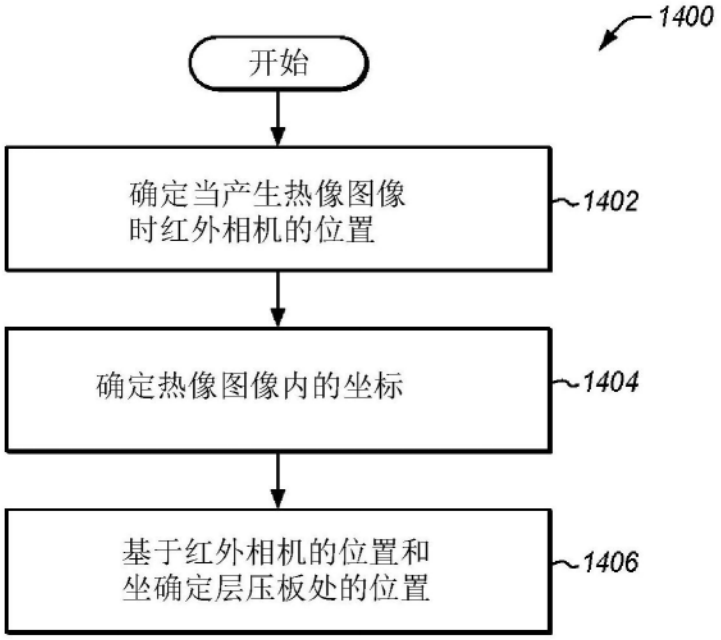

1400
开始
确定当产生热像图像时红外相机的位置
1402
确定热像图像内的坐标
1404
基于红外相机的位置和坐确定层压板处的位置
1406

图14

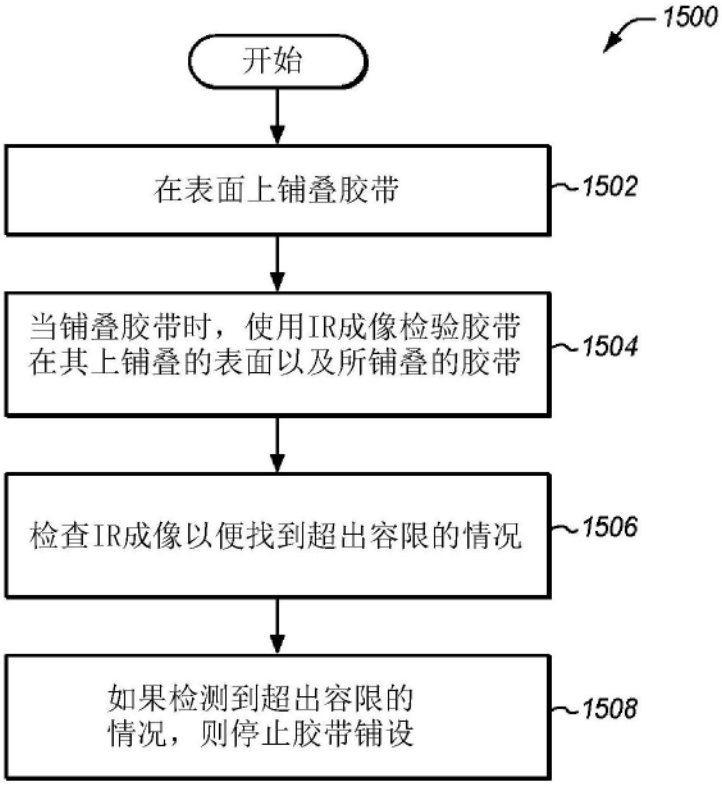

1500
开始
在表面上铺叠胶带
1502
当铺叠胶带时，使用IR成像检验胶带在其上铺叠的表面以及所铺叠的胶带
1504
检查IR成像以便找到超出容限的情况
1506
如果检测到超出容限的情况，则停止胶带铺设
1508

图15

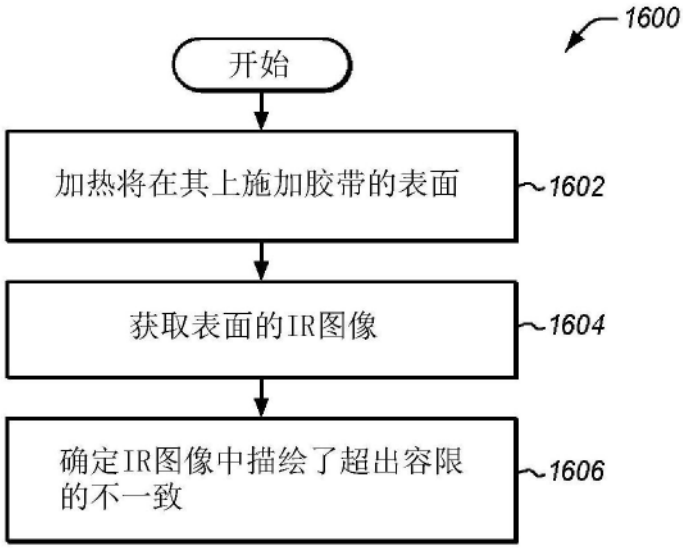

1600
开始
加热将在其上施加胶带的表面
1602
获取表面的IR图像
1604
确定IR图像中描绘了超出容限的不一致
1606

图16

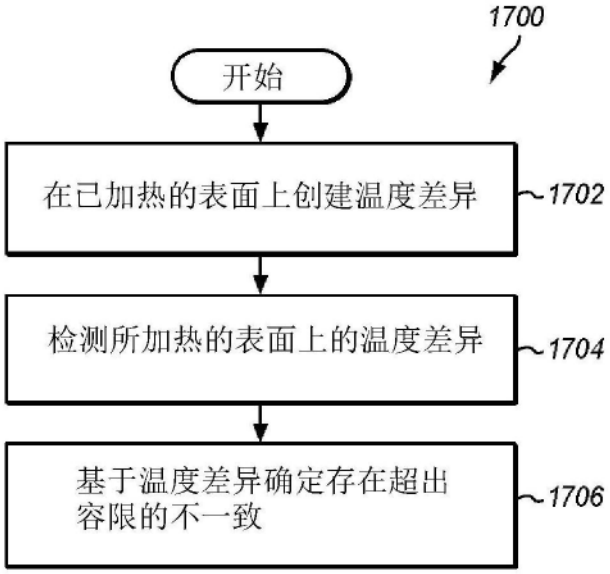

1700
开始
在已加热的表面上创建温度差异
1702
检测所加热的表面上的温度差异
1704
基于温度差异确定存在超出容限的不一致
1706

图17

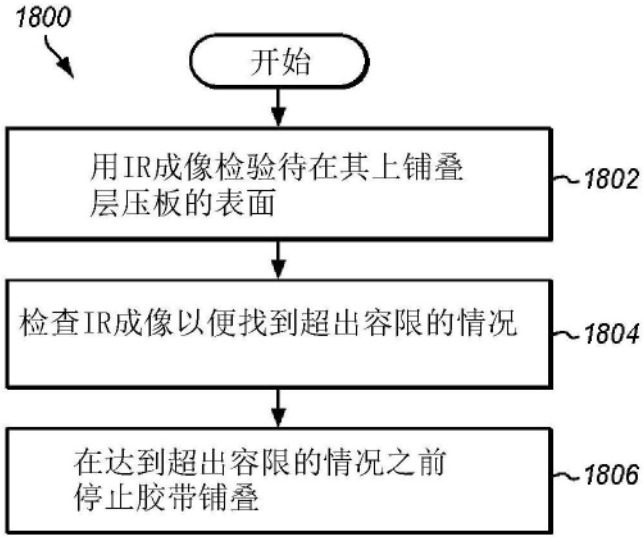

1800
开始
用IR成像检验待在其上铺叠层压板的表面
1802
检查IR成像以便找到超出容限的情况
1804
在达到超出容限的情况之前停止胶带铺叠
1806

图18

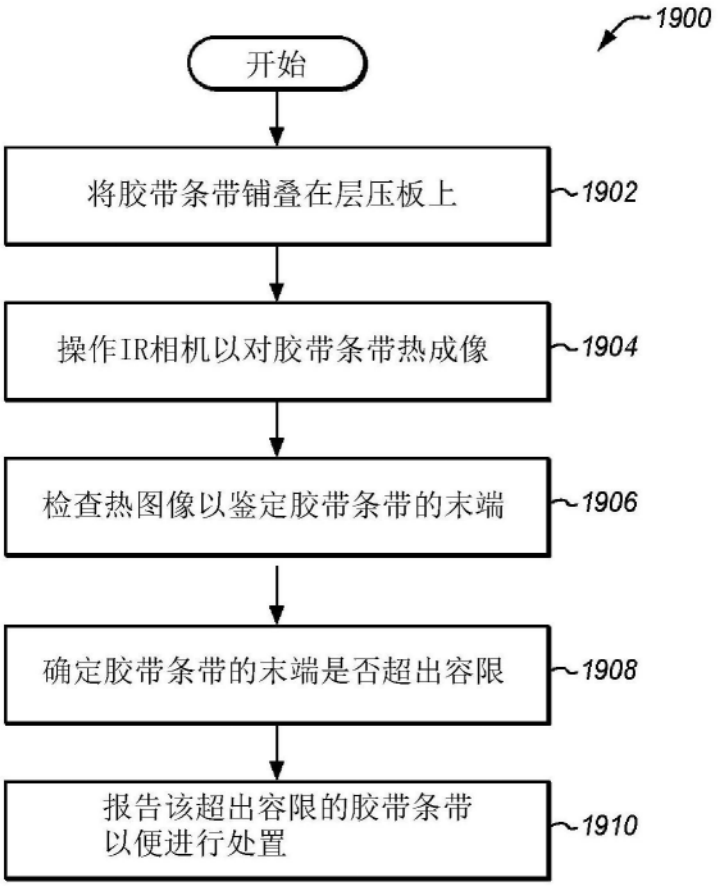

1900
开始
将胶带条带铺叠在层压板上
1902
操作IR相机以对胶带条带热成像
1904
检查热图像以鉴定胶带条带的末端
1906
确定胶带条带的末端是否超出容限
1908
报告该超出容限的胶带条带
以便进行处置
1910

图19A

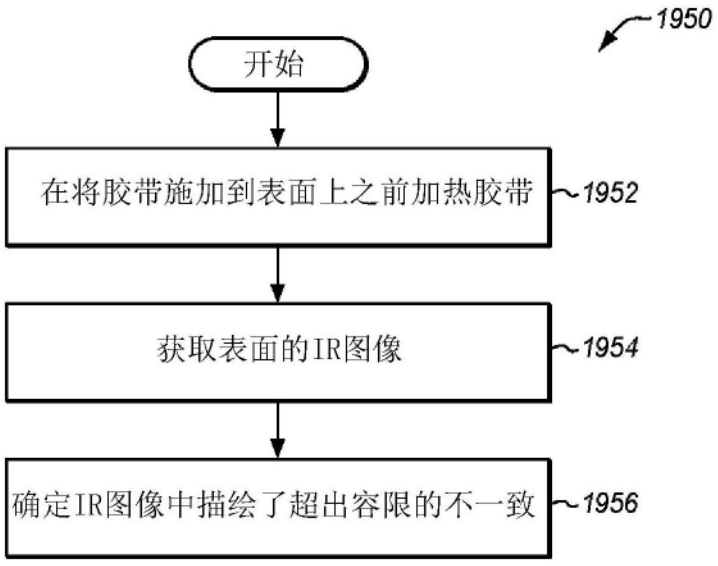

1950
开始
在将胶带施加到表面上之前加热胶带
1952
获取表面的IR图像
1954
确定IR图像中描绘了超出容限的不一致
1956

图19B

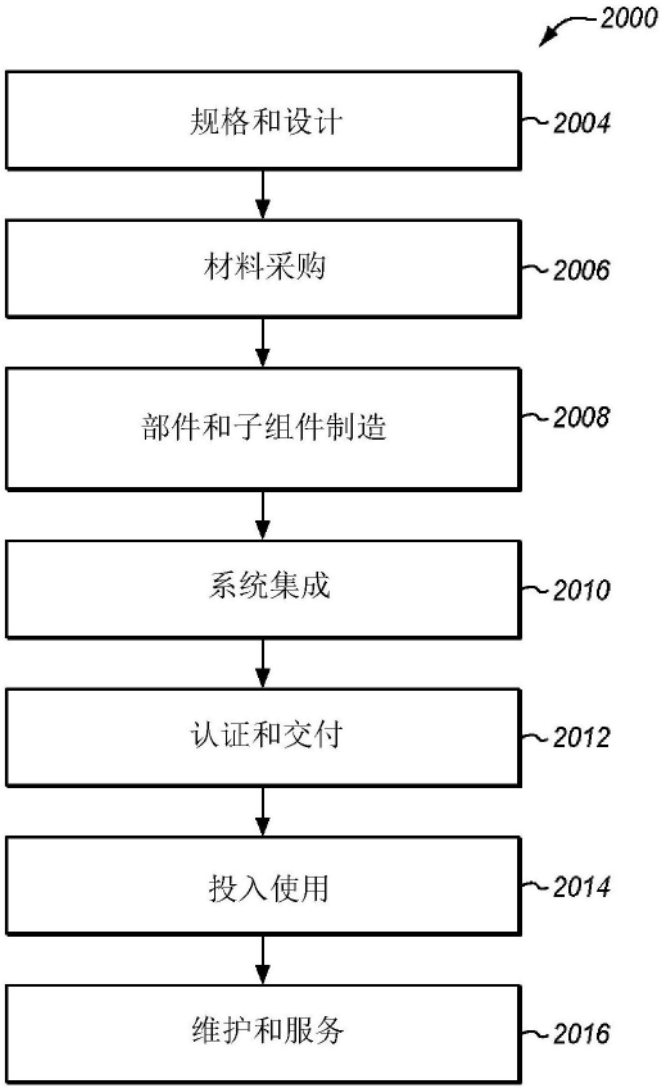

2000
规格和设计
2004
材料采购
2006
部件和子组件制造
2008
系统集成
2010
认证和交付
2012
投入使用
2014
维护和服务
2016

图20

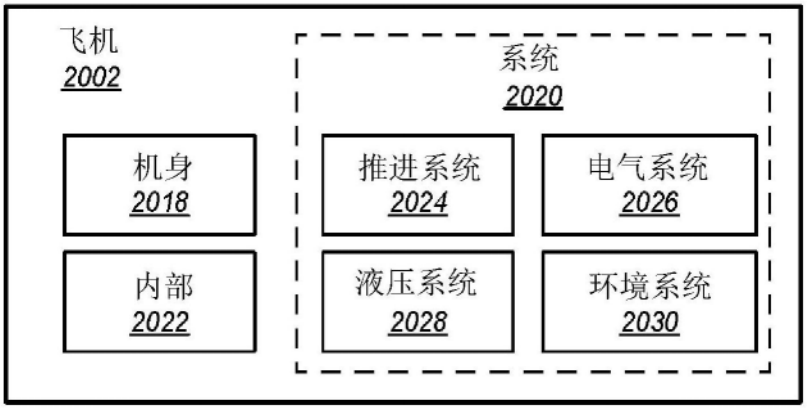

飞机
2002
系统
2020
机身
2018
推进系统
2024
电气系统
2026
内部
2022
液压系统
2028
环境系统
2030

图21