



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117371116 A

(43) 申请公布日 2024. 01. 09

(21) 申请号 202310671456.X

(22) 申请日 2023.06.07

(30) 优先权数据

17/811,461 2022.07.08 US

(71) 申请人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 T·A·斯图尔特 D·W·沙汉

C·亨利 J·M·亨德利

G·麦克奈特 A·L·鲍尔

G·M·L·格罗斯

M·E·罗加尔斯基

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

专利代理师 王青芝 党晓林

(51) Int.Cl.

G06F 30/15 (2020.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 113/26 (2020.01)

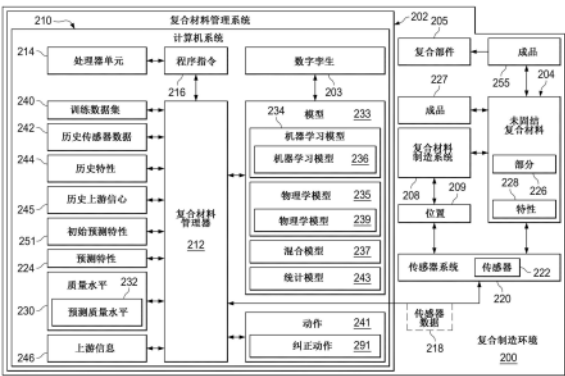
权利要求书3页 说明书31页 附图20页

(54) 发明名称

在制造未固结复合材料方面的实时管理

(57) 摘要

本申请涉及在制造未固结复合材料方面的实时管理。提供了一种用于制造未固结复合材料的系统、设备、计算机程序产品、以及方法。从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据。该传感器数据是在由复合材料制造系统制造未固结复合材料期间接收的。使用传感器数据来确定未固结复合材料的多个部分的一组预测特性。该组预测特性是针对未固结复合材料的作为成品的多个部分的。基于未固结复合材料的多个部分的质量水平来执行纠正动作。



1. 一种复合材料管理系统(202), 所述复合材料管理系统包括:

计算机系统(210); 以及

复合材料管理器(132、212), 所述复合材料管理器在所述计算机系统(210)中, 其中, 所述复合材料管理器(132、212)被配置成:

从复合材料制造系统(206、500、600、708)的传感器系统(220)接收传感器数据(134、218、722), 其中, 所述传感器数据(134、218、722)是在由所述复合材料制造系统(206、500、600、708)制造未固结复合材料(204、702)期间接收的;

使用所述传感器数据(134、218、722)来确定所述未固结复合材料(204、702)的多个部分(226)的一组预测特性(224), 其中, 所述一组预测特性(224)是针对所述未固结复合材料(204、702)的作为成品的所述多个部分(226)的; 并且

基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的质量水平(230、308)来执行纠正动作(291)。

2. 根据权利要求1所述的复合材料管理系统(202), 其中, 在基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述质量水平(230、308)来执行所述纠正动作(291)中, 所述复合材料管理器(132、212)被配置成:

响应于所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在针对所述未固结复合材料(204、702)指定的公差(312)之外, 来执行所述纠正动作(291)。

3. 根据权利要求1或2所述的复合材料管理系统(202), 其中, 在基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述质量水平(230、308)执行所述纠正动作(291)中, 所述复合材料管理器(132、212)被配置成:

响应于所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在针对所述未固结复合材料(204、702)指定的公差(312)之外, 来调整所述复合材料制造系统(206、500、600、708)中的一组参数(307), 以改变所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)。

4. 根据权利要求1或2所述的复合材料管理系统(202), 其中, 在基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述质量水平(230、308)执行所述纠正动作(291)中, 所述复合材料管理器(132、212)被配置成:

调整所述复合材料制造系统(206、500、600、708)中的一组参数(307), 使得所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在所述未固结复合材料(204、702)的公差(312)内。

5. 根据权利要求1或2所述的复合材料管理系统(202), 其中, 所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在所述未固结复合材料(204、702)的第一类型使用的第一公差(309)之外, 并且其中, 在基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述质量水平(230、308)执行所述纠正动作(291)中, 所述复合材料管理器(132、212)被配置成:

调整所述复合材料制造系统(206、500、600、708)中的一组参数(307), 使得所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在所述未固结复合材料(204、702)的第二类型使用的第二公差(313)内。

6. 根据权利要求1或2所述的复合材料管理系统(202), 其中, 在基于所述未固结复合材

料(204、702)的所述多个部分(226)的所述质量水平(230、308)执行所述纠正动作(291)中,所述复合材料管理器(132、212)被配置成:

响应于所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在针对所述未固结复合材料(204、702)指定的公差(312)之外,来调整所述复合材料制造系统(206、500、600、708)中的一组参数(307),使得所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的后续部分(302、700、824)的所述一组预测特性(224)在所述未固结复合材料(204、702)的所述公差(312)内。

7. 根据权利要求1或2所述的复合材料管理系统(202),其中,在基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述质量水平(230、308)执行所述纠正动作(291)中,所述复合材料管理器(132、212)被配置成:

响应于所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在针对所述未固结复合材料(204、702)指定的公差(312)之外,来改变被用于形成所述未固结复合材料(204、702)的多个原料(319),使得所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的后续部分(302、700、824)的所述一组预测特性(224)在所述未固结复合材料(204、702)的所述公差(312)内。

8. 根据权利要求1或2所述的复合材料管理系统(202),其中,所述复合材料制造系统(206、500、600、708)是碳纤维预浸料涂布生产线、增强纤维树脂浸渍生产线、树脂混合工艺系统、树脂成膜生产线、预浸料系统以及纵切工艺系统中的一者。

9. 根据权利要求1或2所述的复合材料管理系统(202),所述复合材料管理系统还包括:机器学习模型(138、236),其中,所述复合材料管理器(132、212)使用所述传感器数据(134、218、722)和所述机器学习模型(138、236)来确定所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)。

10. 根据权利要求1或2所述的复合材料管理系统(202),所述复合材料管理系统还包括:

机器学习模型(138、236);以及

物理学模型(239),其中,所述复合材料管理器(132、212)使用所述传感器数据(134、218、722)、所述机器学习模型(138、236)和所述物理学模型(239),来确定所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)。

11. 根据权利要求10所述的复合材料管理系统(202),其中,在确定所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)中,所述复合材料管理器(132、212)被配置成:

根据使用所述传感器数据(134、218、722)生成的所述机器学习模型(138、236),来确定所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的第一组初始预测特性(251);

根据使用所述传感器数据(134、218、722)生成的所述物理学模型(239),来确定所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的第二组所述初始预测特性(251);并且

根据所述第一组所述初始预测特性(251)和所述第二组所述初始预测特性(251)的融合,来确定所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)。

12. 一种用于制造未固结复合材料(204、702)的方法,所述方法包括以下步骤:

从复合材料制造系统(206、500、600、708)的传感器系统(220)接收(1800)传感器数据(134、218、722),其中,所述传感器数据(134、218、722)是在由所述复合材料制造系统(206、500、600、708)制造所述未固结复合材料(204、702)期间接收的;

使用所述传感器数据(134、218、722)来确定(1802)所述未固结复合材料(204、702)的多个部分(226)的一组预测特性(224),其中,所述一组预测特性(224)是针对所述未固结复合材料(204、702)的作为成品的所述多个部分(226)的;以及

基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的质量水平(230、308)来执行(1804)纠正动作(291)。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述质量水平(230、308)来执行纠正动作(291)的步骤包括:

响应于所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在针对所述未固结复合材料(204、702)指定的公差(312)之外,来执行(1900)所述纠正动作(291)。

14. 根据权利要求12或13所述的方法,其中,基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述质量水平(230、308)来执行纠正动作(291)的步骤包括:

响应于所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)在针对所述未固结复合材料(204、702)指定的公差(312)之外,来调整(2000)所述复合材料制造系统(206、500、600、708)中的一组参数(307),以改变所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的所述一组预测特性(224)。

15. 一种用于制造未固结复合材料(204、702)的计算机程序产品(2622),所述计算机程序产品(2622)包括计算机可读存储介质(2624),所述计算机可读存储介质具有随所述计算机可读存储介质实施的程序指令(2618),所述程序指令(2618)能被计算机系统(210)执行,以使所述计算机系统(210)执行方法的以下步骤:

从复合材料制造系统(206、500、600、708)的传感器系统(220)接收传感器数据(134、218、722),其中,所述传感器数据(134、218、722)是在由所述复合材料制造系统(206、500、600、708)制造未固结复合材料(204、702)期间接收的;

使用所述传感器数据(134、218、722)来确定所述未固结复合材料(204、702)的多个部分(226)的一组预测特性(224),其中,所述一组预测特性(224)是针对所述未固结复合材料(204、702)的作为成品的所述多个部分(226)的;以及

基于所述未固结复合材料(204、702)的所述多个部分(226)的质量水平(230、308)来执行纠正动作(291)。

## 在制造未固结复合材料方面的实时管理

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请涉及以下专利申请,题为“PROPERTY PREDICTION FOR UNCONSOLIDATED COMPOSITE MATERIALS”,序列号为17/811,433,代理人档案号为22-0421-US-NP,提交于2022年7月8日并转让给同一受让人。前述申请通过整体引用而并入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开总体上涉及制造复合材料,特别是涉及制造未固结(unconsolidated)复合材料。而且更特别地,本公开涉及用于在未固结复合材料的制造期间管理该未固结复合材料的制造的方法、设备、系统、以及计算机程序产品。

### 背景技术

[0004] 在飞行器设计和制造中复合材料的占比越来越大。在飞行器中使用复合材料以降低飞行器重量并通过设计来提高航空效率。这种减少的重量改进了性能特征,诸如增加的有效负载能力和燃料效率。此外,复合材料为飞行器中的各种组件提供更长的使用寿命。

[0005] 复合材料是通过组合两种或更多种功能组件而形成的坚韧、轻质材料。例如,复合材料可以包括被结合在聚合物树脂基质中的增强纤维。该纤维可以是单向的,或者可以采取编织布或织物形式。将纤维和树脂进行设置和固化以形成复合材料。

[0006] 此外,使用复合材料来形成航空航天复合结构潜在地允许飞行器的多个部分被制造成更大的零件或区段。例如,飞行器的机身可以圆筒形区段形成然后进行组装以形成飞行器的机身。其它示例包括但不限于被连接以形成机翼的机翼段或者被连接以形成安定面的安定面段。

[0007] 在制造复合结构方面,通常将复合材料层敷设在工具上。这些层可以由采用片材的纤维组成。这些片材可以采取织物、带、丝束、或其它合适形式的形式。在一些情况下,可以将树脂注入或预浸渍到片材中。这些类型的片材被通称为预浸料(prepreg)。预浸料可以以长片材来制造,在预浸料被用于制造复合结构之前是以卷来储存该预浸料的。

[0008] 不同的预浸料层可以以不同的取向敷设(laid up),并且根据正被制造的复合结构的厚度可以使用不同数量的层。这些层可以手工或者使用自动化层压设备(诸如带层压机(tape laminating machine)或纤维铺放系统(fiber placement system))来进行敷设。

[0009] 在将不同的复合材料层敷设在工具上之后,这些复合材料层可以在暴露至温度和压力时固结(consolidated)并固化,由此形成最终复合结构。

[0010] 最终复合结构的质量可以使用包括非破坏性测试的测试来加以确定。此外,被用于制造复合结构的组件也可以出于质量目的而进行监测和测试。维持复合组件的所希望质量可以提高最终复合结构的质量。例如,可以检查预浸料以确定厚度是否在指定的公差内。复合组件(诸如预浸料组件)的质量测试可能比所希望的要更耗时。

[0011] 因此,希望具有一种考虑上面所讨论的问题中的至少一些问题以及其它可能问题的方法和设备。例如,希望具有一种克服伴随预浸料组件的质量测试的技术问题的方法、设

备、系统、以及计算机程序产品。

## 发明内容

[0012] 本公开的实施方式提供了一种复合材料管理系统,该复合材料管理系统包括计算机系统和在该计算机系统上的复合材料管理器。复合材料管理器从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据。该传感器数据是在由复合材料制造系统制造未固结复合材料期间接收的。复合材料管理器使用传感器数据来确定未固结复合材料的多个部分的一组预测特性。该组预测特性是针对未固结复合材料的作为成品的多个部分的。复合材料管理器基于未固结复合材料的多个部分的质量水平来执行纠正动作(corrective action)。

[0013] 在本公开的另一实施方式中,提供了一种方法,所述方法制造未固结复合材料。从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据。该传感器数据是在由复合材料制造系统制造未固结复合材料期间接收的。使用传感器数据来确定未固结复合材料的多个部分的一组预测特性,其中,该组预测特性是针对未固结复合材料的作为成品的多个部分的。基于未固结复合材料的多个部分的质量水平来执行纠正动作。

[0014] 在本公开的又一实施方式中,提供了一种用于制造未固结复合材料的计算机程序产品,该计算机程序产品包括计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质具有随其具体实施的程序指令。程序指令可由计算机系统执行以使计算机系统执行包括以下步骤的方法:从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据,其中,该传感器数据是在由复合材料制造系统制造未固结复合材料期间接收的;使用传感器数据来确定未固结复合材料的多个部分的一组预测特性,其中,该组预测特性是针对未固结复合材料的作为成品的多个部分的;以及基于未固结复合材料的多个部分的质量水平来执行纠正动作。

[0015] 该特征和功能可以在本公开的不同实施方式中独立实现,或者可以在可以参照下列描述和附图看到进一步细节的其它实施方式中组合。

## 附图说明

[0016] 例示性实施方式的新颖特征或受信任特性在所附权利要求中加以阐述。然而,当结合附图阅读时,通过参照本公开的例示性实施方式的下列详细描述将最佳地理解例示性实施方式,以及优选使用模式、进一步的目的及其特征,其中:

[0017] 图1是其中可以实现例示性实施方式的数据处理系统的网络的图示表示;

[0018] 图2是根据例示性实施方式的复合制造环境的框图;

[0019] 图3是根据例示性实施方式的可以使用未固结复合材料的部分的预测特性来采取的动作的例示框图;

[0020] 图4是根据例示性实施方式的用于制造未固结复合材料的制造工艺流程的例示图;

[0021] 图5是根据例示性实施方式的被配置用于执行成膜过程的复合材料制造系统的例示图;

[0022] 图6是根据例示性实施方式的被配置用于执行预浸料生产过程的复合材料制造系统的例示图;

[0023] 图7是根据例示性实施方式的复合材料制造系统中的传感器位置的例示框图;

- [0024] 图8是根据例示性实施方式的复合材料制造系统的一部分的例示侧视图；
- [0025] 图9是根据例示性实施方式的复合材料制造系统的一部分的例示俯视图；
- [0026] 图10是根据例示性实施方式的用于标识未固结复合材料的部分的质量水平的过程的例示流程图；
- [0027] 图11是根据例示性实施方式的用于标记未固结复合材料的过程的例示流程图；
- [0028] 图12是根据例示性实施方式的用于将未固结复合材料的在公差之外部分标记为不可用的过程的例示流程图；
- [0029] 图13是根据例示性实施方式的用于将未固结复合材料的公差内部分标记为可用的过程的例示流程图；
- [0030] 图14是根据例示性实施方式的用于以质量水平来标记未固结复合材料的一部分的过程的例示流程图；
- [0031] 图15是根据例示性实施方式的用于记录未固结复合材料的部分的质量水平的过程的例示流程图；
- [0032] 图16是根据例示性实施方式的用于确定未固结复合材料的一部分的预测特性的过程的例示流程图；
- [0033] 图17是根据例示性实施方式的用于在完成未固结复合材料的制作之前对机器学习模型进行训练以预测该未固结复合材料的特性的过程的例示流程图；
- [0034] 图18是根据例示性实施方式的用于对未固结复合材料的部分执行纠正动作的过程的例示流程图；
- [0035] 图19是根据例示性实施方式的用于对未固结复合材料的在公差之外部分执行纠正动作的过程的例示流程图；
- [0036] 图20是根据例示性实施方式的用于调整未固结复合材料的在公差之外部分的参数的过程的例示流程图；
- [0037] 图21是根据例示性实施方式的用于调整未固结复合材料的公差内部分的参数的过程的例示流程图；
- [0038] 图22是根据例示性实施方式的用于调整参数使得未固结复合材料的部分在公差内的过程的例示流程图；
- [0039] 图23是根据例示性实施方式的用于调整未固结复合材料的后续部分的参数的过程的例示流程图；
- [0040] 图24是根据例示性实施方式的用于改变原料的过程的例示流程图；
- [0041] 图25是根据例示性实施方式的用于确定未固结复合材料的预测特性的过程的例示流程图；
- [0042] 图26是根据例示性实施方式的数据处理系统的例示框图；
- [0043] 图27是根据例示性实施方式的飞行器制造和保养方法的例示图；
- [0044] 图28是可以实现例示性实施方式的飞行器的例示框图；以及
- [0045] 图29是根据例示性实施方式的产品管理系统的例示框图。

### 具体实施方式

- [0046] 例示性实施方式认识并考虑到如下所述的一个或多个不同的事项。例如，可以

使用来自预浸料卷(诸如由碳纤维预浸料涂布生产线制造的预浸料卷)的样品执行未固结复合组件的当前测试。如果样品无法满足所希望的质量水平,则丢弃或回收整个预浸料卷。然而,可能不是整个预浸料卷都具有所不希望的质量水平。仅预浸料卷的一部分可能未满足所希望质量水平的公差。当前技术不能实现在不测试整个预浸料卷的多个部分的情况下标识预浸料卷的哪些部分可能具有在公差之外的特性。测试整个预浸料卷的多个部分是耗时且低效的。

[0047] 而且,确定预浸料卷具有处于所不希望的质量水平的特性的原因目前无法在制造过程期间执行。相反地,在制造预浸料卷之后执行分析,并且测试预浸料卷的样品来指示样品不具有所希望的质量水平。此外,当可以确定原因时,可以对碳纤维预浸料涂布生产线进行调整以确保将来的预浸料卷具有所希望的质量水平。在更多的预浸料卷已经完成并且一个或更多个预浸料卷已经被确定为不具有所希望的质量水平之前,该确定所需的时间可能是不可接受的。因此,一种解决方案是停止使用制造预浸料卷的碳纤维预浸料涂布生产线制造该预浸料卷,直到可以确定原因并且可以对碳纤维预浸料涂布生产线进行调整。碳纤维预浸料涂布生产线的这种不可用性降低了制造预浸料卷的能力。

[0048] 例示性实施方式进一步认识并考虑到希望具有确定预浸料材料的特性的能力。制造过程可以是树脂混合、树脂成膜、树脂浴操作,或者是在制造预浸料的同时为在该制造过程期间生产预浸料而执行的其它操作中的至少一个。可以将实时地从碳纤维预浸料涂布生产线中的不同位置获得的不同类型的传感器数据用于预测仍在制造预浸料的同时该预浸料的特性。可以将该信息用于确定预浸料卷的哪些部分具有在公差内的特性,以及该预浸料卷的其它部分具有在公差之外的特性。正被制造的预浸料的的部分的特性的这种类型的确定可以以允许标记或记录哪些部分在公差内或者在公差之外的方式来实时进行。结果,当预浸料卷的一些部分在公差之外时,所记录或标记的部分将不被使用,而预浸料卷的其它部分仍可以被使用。结果,可以减少丢弃或回收的预浸料的量。

[0049] 现在,参照附图,并且特别是参照图1,描绘了其中可以实现例示性实施方式的数据处理系统的网络的图示表示。网络数据处理系统100是可以实现例示性实施方式的计算机网络。网络数据处理系统100包含网络102,网络102是被用于在网络数据处理系统100内连接在一起的各种装置与计算机之间提供通信链路的介质。网络102可以包括诸如导线、无线通信链路、或者光纤线缆的连接。

[0050] 在所描绘的示例中,服务器计算机104和服务器计算机106与存储单元108一起连接至网络102。另外,客户端装置110连接至网络102。如图所描绘的,客户端装置110包括:客户端计算机112、客户端计算机114、以及客户端计算机116。客户端装置110例如可以是计算机、工作站、或者网络计算机。在所描绘的示例中,服务器计算机104向客户端装置110提供诸如引导文件、操作系统映像、以及应用的信息。此外,客户端装置110还可以包括其它类型的客户端装置,诸如预浸料系统118、平板计算机120、以及智能眼镜。在该例示性示例中,服务器计算机104、服务器计算机106、存储单元108、以及客户端装置110是连接至网络102的网络装置,其中网络102是这些网络装置的通信介质。客户端装置110中的一些或全部可以形成物联网(IoT),在物联网中这些物理装置可以连接至网络102并且通过网络102彼此交换信息。

[0051] 在该示例中,客户端装置110是服务器计算机104的客户端。网络数据处理系统100

可以包括:附加服务器计算机、客户端计算机、以及未示出的其它装置。客户端装置110利用导线、光纤、或者无线连接中的至少一个连接至网络102。

[0052] 可以将位于网络数据处理系统100中的程序指令存储在计算机可记录存储介质上,并下载至数据处理系统或其它装置以供使用。例如,可以将程序指令存储在服务器计算机104上的计算机可记录存储介质上,并通过网络102下载至客户端装置110以在客户端装置110上使用。

[0053] 在所描绘的示例中,网络数据处理系统100是具有网络102的互联网,该网络表示使用传输控制协议/互联网协议(TCP/IP)协议套件彼此通信的网络和网关的全球集合。互联网的核心是主要节点或主计算机之间的高速数据通信线路的骨干,该主节点或主计算机包含成千上万的商业、政府、教育计算机系统、以及路由数据和消息的其它计算机系统。当然,网络数据处理系统100也可以使用多个不同类型的网络来实现。例如,网络102可以包括互联网、企业内联网、局域网(LAN)、城域网(MAN)、或者广域网(WAN)中的至少一个。图1旨在作为示例,而非对不同的例示性实施方式的体系结构的限制。

[0054] 如本文所使用的,当参考项目使用时,“多个”意味着一个或更多个项目。例如,“多个不同类型的网络”是指一个或更多个不同类型的网络。

[0055] 此外,短语“…中的至少一个”在与项目列表一起使用时,意指可以使用列出的项目中的一个或更多个的不同组合,并且可以需要列表中的每个项目中的仅一个。换句话说,“…中的至少一个”意指项目的任何组合,并且项目数可以根据列表使用,但不需要列表中的所有项目。该项目可以是特殊物体、事物或类别。

[0056] 例如,在无限制的情况下,“项目A、项目B或项目C中的至少一个”可以包括项目A、项目A和项目B、或者项目B。该示例还可以包括项目A、项目B、以及项目C,或者项目B和项目C。当然,可以存在这些项目的任何组合。在一些例示性示例中,“…中的至少一个”例如可以是但不限于,项目A中的两个;项目B中的一个;以及项目C中的十个;项目B中的四个和项目C中的七个;或者其它合适的组合。

[0057] 在该示例中,预浸料系统118位于复合制造设施130中。该位置使用预浸料系统118来制造诸如预浸料的未固结复合材料。如图所描绘的,服务器计算机104处的复合材料管理器132可以与复合制造设施130处的预浸料系统118进行通信。该通信可以包括从传感器数据134、命令136、或者可以通过网络102发送的其它类型的信息中的至少一个中选择的信息的交换。

[0058] 在该示例中,复合材料管理器132可以从预浸料系统118的传感器系统接收传感器数据134。传感器系统可以位于预浸料系统118或复合制造设施130中的另一位置中的至少一者处。

[0059] 在该例示性示例中,传感器数据134是从预浸料系统118实时接收的。换句话说,实时接收传感器数据134意味着随着预浸料系统118操作以制造预浸料来接收传感器数据134。当实时发送传感器数据134时,尽可能快地发送传感器数据134,而不存在潜在的延迟。在实时分析传感器数据134方面,复合材料管理器132可以随着接收到传感器数据134来对该传感器数据134进行处理和分析。

[0060] 如图所描绘的,传感器数据134可以由复合材料管理器132进行分析,以在完成预浸料的制造时确定该预浸料的特性预测。在通过预浸料系统118制造预浸料的同时进行这

种特性预测。该预测特性是正在预浸料系统118内制造的预浸料的多个部分的特性。这些特性例如可以包括：预浸料厚度、面积重量、以及完成的预浸料的其它特性。换句话说，复合材料管理器132可以在预浸料的制造已经完成之前对正由预浸料系统118制造的预浸料的特性进行实时预测。基于预测特性，复合材料管理器132可以标识预浸料的哪些部分处于供在制造复合部件方面使用的公差内。基于针对预浸料预测的该组特性，复合材料管理器132可以记录在公差内的一个或更多个部分以及可能在供在制造复合部件方面使用的公差之外的部分。此外，复合材料管理器132可以确定这些部分有多长时间仍将保持在公差内。在一些情况下，未固结复合材料可能具有可以根据为预浸料预测的特性而改变的保存期(shelf life)。

[0061] 另外，在知道预浸料的一部分的预测特性的情况下，复合材料管理器132基于这样的质量水平来执行纠正动作，即，该质量水平是当所述部分是未固结复合材料中的成品时，根据在完成制造操作之前进行的未固结复合材料的特性预测而为该未固结复合材料的所述部分确定的。

[0062] 例如，复合材料管理器132可以确定需要对预浸料系统118进行什么调整，使得预浸料的所述部分的进一步加工导致该部分在公差内或者具有所希望的质量水平。利用该确定，复合材料管理器132可以向预浸料系统118发送命令136以进行调整。

[0063] 利用命令136，这些调整可以由复合材料管理器132在预浸料的所述部分仍在制造时进行。可以对预浸料系统118的尚未加工预浸料的所述部分的部分进行这些调整。利用这些调整，可以接收额外的传感器数据以确定所执行的动作是否已将预浸材料的所述部分改变成具有所希望的质量水平。以这种方式，复合材料管理器132可以以这样的方式来管理未固结复合材料的制造，即，该方式可以增加未固结复合材料的将满足所希望的质量水平的部分并且减少丢弃未固结复合材料的部分。

[0064] 在该例示性示例中，可以使用机器学习模型138来进行该预测。在该示例中，机器学习模型138已经使用由预浸料系统118从先前制造预浸料生成的历史传感器数据进行了训练。

[0065] 图1的网络数据处理系统100的例示并不意味着限制可以实现其它例示性示例的方式。例如，复合材料管理器132可以位于另一位置而不是位于服务器计算机104中。例如，复合材料管理器132可以位于客户端计算机112中、预浸料系统118中、或者位于复合制造设施130处的另一计算机中。在其它例示性示例中，附加的预浸料系统可以位于复合制造设施130或者可以由复合材料管理器132管理的其它位置。

[0066] 现在参照图2，根据例示性实施方式，描绘了复合制造环境的框图。在该例示性示例中，复合制造环境200包括可以采用诸如图1的网络数据处理系统100中所示的硬件的硬件来实现的组件。

[0067] 在该例示性示例中，复合材料管理系统202操作以管理供在制造复合部件205方面使用的未固结复合材料204的制造。

[0068] 未固结复合材料204是尚未未被加工以形成复合部件205的复合材料。例如，尚未向未固结复合材料204施加诸如压力、加热、或固化中的至少一者的加工。换句话说，未固结复合材料204尚未以形成最终复合部件的方式来进行加工。

[0069] 未固结复合材料204可以选自以下项中的至少一种：预浸料、航空航天级预浸料、

热固性预浸料、热塑性预浸料、编织织物预浸料、纤维丝束预浸料、丝束预浸料、单向带预浸料、树脂涂覆膜、无卷曲织物、树脂混合物、或者其它合适的未固结复合材料。未固结复合材料204中的纤维可以采取多种不同的形式。例如,诸如纤维和织物的未固结复合材料204可以选自以下项中的至少一种:玻璃纤维、碳纤维、凯夫拉尔(Kevlar)纤维、对位芳族聚酰胺纤维、混杂纤维、具有玻璃丝的碳织物、具有交织线的碳纤维织物、硼硅酸盐纤维、或者其它合适类型的材料。复合部件205例如可以是机身段、蒙皮面板、机翼、肋、门、或者其它合适类型的部件。

[0070] 在另一示例中,可以将未固结复合材料204用于制造另一未固结复合材料。例如,未固结复合材料204可以是覆膜纸(filmed paper)。可以将这种覆膜纸用于制造另一未固结复合材料,诸如预浸料。

[0071] 例如,复合材料管理系统202可以控制复合材料制造系统206的操作以制造未固结复合材料204。如图所描绘的,复合材料制造系统206可以采取多种形式。例如,复合材料制造系统206可以选自以下项中的至少一者:碳纤维预浸料涂布生产线、增强纤维树脂浸渍生产线、树脂混合工艺系统、树脂成膜生产线、预浸料系统、纵切工艺(slitting process)系统、以及其它合适类型的复合材料制造系统。

[0072] 如图所描绘的,复合材料管理系统202包括计算机系统210和复合材料管理器212。复合材料管理器212位于计算机系统210中。

[0073] 复合材料管理器212可以采用软件、硬件、固件或其组合来实现。当使用软件时,由复合材料管理器212执行的操作可以采用被配置成在诸如处理器单元的硬件上运行的程序指令来实现。当使用固件时,由复合材料管理器212执行的操作可以采用程序指令和数据来实现,并且存储在持久性存储器中以在处理器单元上运行。当采用硬件时,该硬件可以包括能操作以执行复合材料管理器212中的操作的电路。

[0074] 在例示性示例中,该硬件可以采取选自以下项中的至少一者的形式:电路系统、集成电路、专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑装置、或者被配置成执行多个操作的某一其它合适类型的硬件。在可编程逻辑装置的情况下,该装置可以被配置成执行多个操作。所述装置可以在以后时间重新配置,或者可以被永久性地配置成执行多个操作。可编程逻辑装置例如包括:可编程逻辑阵列、可编程阵列逻辑、现场可编程逻辑阵列、现场可编程门阵列、以及其它合适的硬件装置。另外,这些过程可以在集成有无机组件的有机组件中实现,并且可以完全由除人类之外的其它有机组件组成。例如,可以将这些过程实现为采用有机半导体的电路。

[0075] 计算机系统210是物理硬件系统,并且包括一个或更多个数据处理系统。当计算机系统210中存在多于一个数据处理系统时,那些数据处理系统利用通信介质彼此通信。该通信介质可以是网络。该数据处理系统可以选自以下项中的至少一者:计算机、服务器计算机、平板计算机、或者某一其它合适的数据处理系统。

[0076] 如图所描绘的,计算机系统210包括能够执行程序指令216的多个处理器单元214,该程序指令实现例示性示例中的过程。如本文所使用的,所述多个处理器单元214中的处理器单元是硬件装置,并且包括诸如集成电路上的那些硬件电路,这些硬件电路响应并处理操作计算机的指令和程序代码。当多个处理器单元214执行针对过程的程序指令216时,所述多个处理器单元214是可以处于同一计算机上或者处于不同计算机上的一个或更多个处

理器单元。换句话说,该过程可以分布在计算机系统上的相同或不同计算机上的处理器单元之间。此外,所述多个处理器单元214可以是相同类型或不同类型的处理器单元。例如,多个处理器单元可以选自以下项中的至少一者:单核处理器、双核处理器、多处理器核、通用中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、数字信号处理器(DSP)、或者某一其它类型的处理器单元。

[0077] 在该例示性示例中,将复合材料管理器212配置成,从复合材料制造系统208的传感器系统220接收传感器数据218。传感器数据218可以采取多个不同的形式。例如,传感器数据218可以包括以下项中的至少一个:组件温度、未固结复合材料温度、周围温度、湿度、辊速度、未固结复合材料的速度、一对辊之间的压力、一对辊之间的间隙、未固结复合材料厚度、傅里叶变换红外(Fourier transform infrared,FTIR)光谱、拉曼(Raman)光谱数据、光谱数据、材料宽度、纤维网宽度、材料面积重量、纤维面积重量、树脂粘度(viscosity)、跨未固结复合材料的尺寸的电测量、跨未固结复合材料的尺寸的电压、跨未固结复合材料的尺寸的电磁测量、跨未固结复合材料的尺寸的声学测量、张力、复合材料制造系统中的位置处的预浸料的图像。

[0078] 在该例示性示例中,可以将复合材料制造系统208的传感器系统220认为是复合材料管理系统202、复合材料制造系统208、或两者的部分。传感器系统220可以操作以在复合材料制造系统208的操作期间生成关于未固结复合材料204或复合材料制造系统208中的至少一者的传感器数据218。传感器数据218可以是关于正由复合材料制造系统208制造的未固结复合材料204的信息。传感器数据218是在由复合材料制造系统208制造未固结复合材料204期间接收的。传感器数据218由传感器系统220实时生成并实时发送至复合材料管理器212。

[0079] 传感器系统220包括传感器222。如图所描绘的,传感器222处于相对于复合材料制造系统208的位置209中。位置209可以处于复合材料制造系统208之上、之中,或者最接近该复合材料制造系统。在该示例中,传感器222可以选自以下项中的至少一个:温度传感器、摄像机、红外摄像机、热像仪、线扫描摄像机、张力传感器、密度传感器、点滴计(drop gauge)、红外传感器、非接触激光距离传感器、 $\beta$ (beta)计、速度传感器、傅里叶变换红外(FTIR)光谱仪、拉曼光谱仪、力检测器、线性可变差动变压器(LVDT)传感器、旋转第三差动变压器(RVDT)传感器、厚度传感器、间隙宽度传感器、粘度计、光反射传感器、电导率传感器、电阻传感器、电容传感器、电磁传感器、声学传感器、湿度传感器、激光多普勒(Doppler)传感器、或者其它合适的传感器。

[0080] 如图所描绘的,复合材料管理器212使用传感器数据218,来确定随着复合材料制造系统208制造完成的未固结复合材料204的多个部分226的一组预测特性224。

[0081] 未固结复合材料204的多个部分226可以是未固结复合材料204的各个部分226中的一部分或全部。在该描绘的示例中,随着复合材料制造系统208制造完成的未固结复合材料204形成成品255,所述成品255可以被用于制造复合部件205。多个部分226可以是未固结复合材料204的区段。例如,多个部分226可以是形成预浸料卷的预浸料片或预浸料段。这些部分可以具有相同或不同的长度。

[0082] 在该示例中,复合材料管理器212可以预测未固结复合材料204的部分226在未固结复合材料204的制造完成时将具有的一组特性228。换句话说,在未固结复合材料204的部

分226仍在进行制造时进行该预测。部分226中的不同部分可以处于复合材料制造系统206中不同制造状态或阶段。

[0083] 该组特性228可以采取多个不同的形式。例如,该组特性228包括以下项中的至少一个:预浸料纤维面积重量、预浸料树脂含量、预浸料厚度、预浸料渗透水平、预浸料粘性(tack)水平、树脂膜面积重量、树脂膜厚度、离型纸(release liner)面积重量、离型纸厚度、或者层压结构特性。

[0084] 复合材料管理器212基于未固结复合材料204的多个部分226的一组预测特性224,来标识未固结复合材料204的多个部分226的质量水平230。质量水平230的该标识是预测质量水平232。换句话说,使用预测特性224来确定质量水平230。可以执行对多个部分226的实际测试以确定用于确定实际质量水平的实际特性。

[0085] 在该例示性示例中,可以由复合材料管理器212使用一组模型233来进行对该组预测特性224的确定。该组模型233可以包括以下项中的至少一个:一组机器学习模型234、一组物理学模型235、一组混合模型237、或者其它合适类型的模型。在该例示性示例中,可以将模型233的任何组合用于确定预测特性228。

[0086] 当使用一组机器学习模型234时,可以对该组机器学习模型234进行训练,以使用传感器数据218来预测特定类型的未固结复合材料204的特性228。机器学习模型是一种类型的人工智能模型,并且是可以在不被明确编程的情况下学习的数据驱动模型。机器学习模型可以基于被输入到机器学习模型中的训练数据来学习。机器学习模型可以使用各种类型的机器学习算法来学习。机器学习算法包括以下项中的至少一个:监督学习和无监督学习、特征学习、稀疏字典学习、异常检测、强化学习、推荐学习、或者其它类型的学习算法。

[0087] 机器学习模型的示例包括:人工神经网络、决策树、支持矢量机、随机森林机器学习模型、回归机器学习模型、分类机器学习模型、贝叶斯(Bayesian)网络、以及其它类型的模型。可以使用数据来训练这些机器学习模型并且处理附加数据以提供所希望的输出。

[0088] 例如,可以使用训练数据集240来对机器学习模型236进行训练,以确定诸如预浸料的未固结复合材料204的预测特性224。可以使用从复合材料制造系统206接收的历史传感器数据242来创建训练数据集240,以用于制造采用预浸料形式的未固结复合材料204。训练数据集240可以包括采用历史特性244的形式的标签。历史特性244可以根据在复合材料制造系统206中的不同位置处对未固结复合材料204进行的测量结果来加以确定。换句话说,历史特性244可以包括当未固结复合材料204的制造已经完成时该未固结复合材料204的特性228。

[0089] 另外,训练数据集240还可以包括历史上游信息245。历史上游信息245可以与在制造未固结复合材料时所生成的历史传感器数据242相关联,其中,制造过程包括历史上游信息。历史上游信息245可以包括关于在制造未固结复合材料方面使用的组件或设定的信息。例如,历史上游信息245可以选自以下项中的至少一个:增强信息、纤维信息、增强胶料(sizing)信息、树脂信息、离型纸信息、树脂膜信息、或者可以被测量以生成历史传感器数据242的其它合适的信息。

[0090] 根据未固结复合材料204的类型,所关注的特性228可以采取多个不同的形式。例如,当未固结复合材料204是预浸料时,特性228可以包括以下项中的至少一个:厚度、纤维面积重量(FAW)、树脂重量含量(RC)、预浸料面积重量(PAW)、吸水(water pickup)、粘性、起

皱性(pucker)、或者采用预浸料形式的未固结复合材料204的其它所关注特性。

[0091] 在使用机器学习模型236来确定预测特性224的情况下,复合材料管理器212可以在完成未固结复合材料204的制造之前预测这些特性。换句话说,处于完成的或制造的状态下的未固结复合材料204的预测特性224可以在未固结复合材料204的制造期间,以不同的时间、在不同的位置期间制成。

[0092] 在另一示例中,可以将一组物理学模型235用于确定未固结复合材料204的预测特性224。在该示例中,该组物理学模型235中的物理学模型239是包含方程的数学模型,该方程可以至少基于数学方程来描述关于在制造未固结复合材料的材料上执行的动作的影响。这些动作例如可以是响应于传感器数据218中的诸如热、张力、压力、力、或者其它参数的动作。

[0093] 该组物理学模型235可以采取多个不同的形式。例如,该组物理学模型可以选自以下项中的至少一个:机器动力学(dynamics)热和机械模型、树脂渗透模型、包括粘度的达西(Darcy)渗透模型、树脂流动模型、固化反应动力学(kinetics)模型、渗透的有限元分析(FEA)模型、敷层(layerup)的有限元分析(FEA)模型以及其它合适类型的基于物理学的模型。

[0094] 该组混合模型237是使用物理学组件和机器学习组件两者的混合的基于物理学的模型和数据驱动模型。在该示例中,混合模型237将物理学(实时软件)或测量数据连同所学习的/预测的数据一起组合成单个模型,使得被嵌入预测中的传感器的分布/噪声与其它项目一起被加以评估。

[0095] 统计模型243也可以存在于模型233中。统计模型243可以选自以下项中的至少一个:卡尔曼(Kalman)滤波器、扩展卡尔曼滤波器、无迹卡尔曼滤波器、或者其它合适的统计模型。例如,可以将卡尔曼滤波器与噪声数据一起使用,以估计正被测量的系统的特性,从而增加正被测量的特性的估计的准确度。

[0096] 在预测何时确定未固结复合材料204的多个部分226的预测特性224的情况下,复合材料管理器212可以使用为未固结复合材料204的多个部分226确定的一组预测特性224,来确定未固结复合材料204的多个部分226的质量水平230。在该例示性示例中,部分226中的不同部分可以具有与其它部分不同的质量水平。

[0097] 在标识质量水平230的情况下,复合材料管理器212可以执行多个动作241。根据为多个部分226中的各个部分标识的质量水平230,可以为该部分执行动作241中的不同动作。

[0098] 此外,除了传感器数据218之外,还可以使用其它信息来确定未固结复合材料204的多个部分的预测特性224。例如,复合材料管理器212可以将上游信息246与传感器数据218一起用于确定多个部分226的预测特性224。上游信息246可选自以下项中的至少一个:增强信息、纤维信息、增强胶料信息、树脂信息、离型纸信息、树脂膜信息、或者可以与传感器数据218一起使用以确定未固结复合材料204的多个部分226的预测特性224的其它合适信息。

[0099] 模型233可以作为数字孪生203来操作,并且可以由复合材料管理器212用来确定未固结复合材料204的多个部分226的预测特性224。结果,传感器系统220中的传感器222在复合材料制造系统206的位置209中的放置可以提供由数字孪生203的模型233使用的传感器数据218,以预测未固结复合材料204的多个部分226的多个特性228。使用模型233作为数字孪生203使得能够对未固结复合材料204的多个部分226进行实时检查和认证,该实时检

查和认证可以标识未固结复合材料204的多个部分226的特性228,而不必对未固结复合材料204的多个部分226进行采样。如果希望实际测试,那么可以测试未固结复合材料204的部分226的标识以验证预测(若需要的话)。

[0100] 此外,可以使用不同类型的模型233的任何组合来提供预测特性224的增加的准确度。例如,可以从使用传感器数据218生成的机器学习模型236为未固结复合材料204的一部分确定第一组初始预测特性251。可以从使用传感器数据218生成的物理学模型239为未固结复合材料204的同一部分确定第二组初始预测特性251。未固结复合材料204的所述部分的一组预测特性224可以由第一组初始预测特性和第二组初始预测特性的融合来加以确定。

[0101] 在确定了该组预测特性的情况下,复合材料管理器212可以使用该组预测特性224来确定未固结复合材料204的多个部分226的质量水平230。质量水平230是预测质量水平232,即,未固结复合材料204的多个部分226在所述多个部分226的制造已经完成并且未固结复合材料204的所述多个部分226形成成品227时被预测或预期具有的质量水平。

[0102] 复合材料管理器212可以基于为未固结复合材料204的多个部分226预测的质量水平230来执行多个动作241。在该示例中,使用未固结复合材料204的多个部分226的多个预测特性224来确定质量水平230。例如,多个动作241可以包括纠正动作291。复合材料管理器212可以基于未固结复合材料204的多个部分226的质量水平230来执行纠正动作291。

[0103] 在该描绘的示例中,可在完成未固结复合材料204的多个部分226的制造以形成成品227之前执行纠正动作291。在例示性示例中,未固结复合材料204的多个部分226的制造可以在未固结复合材料204的部分226中的其它部分之前或之后来完成。换句话说,未固结复合材料204的多个部分226可以是成品227,而其它部分尚不是成品227并且仍在复合材料制造系统208内进行加工。

[0104] 结果,当执行纠正动作291时,可以将未固结复合材料204的增加数量的部分226用于制造复合部件205。例如,通过在完成未固结复合材料204的多个部分226的制造之前执行纠正动作291,可以避免丢弃、再加工、或者回收多个部分226中的至少一个动作。

[0105] 接下来参照图3,根据例示性实施方式,描绘了可以使用未固结复合材料的部分的预测特性来采取的动作的例示框图。在例示性示例中,相同标号可以在一个以上的图中使用。一标号在不同图中的重新使用标识不同图中的相同部件。

[0106] 如图所描绘的,动作241可以采取多个不同的形式。例如,随着完成未固结复合材料204的多个部分226的制造,可以对所述多个部分226执行动作241。

[0107] 动作241可以包括标记动作300。如图所描述的,标记动作300可以包括:将未固结复合材料204的处于所述多个部分226中的部分302标记为不可用304、可用306、质量水平308和、以及复合部件类型310。

[0108] 在该示例中,不可用304是这样的动作,即,复合材料管理器212基于处于未固结复合材料204的多个部分226中的未固结复合材料204的部分302的质量水平230在公差312之外,来将所述部分302标记为不可用。在该示例中,公差312可以是部分302的一个或多个特性228的被认为可接受或可容忍的范围或阈值。可以将处于公差213内的一个或多个所关注特性用于确定部分302的质量水平308是否可接受。

[0109] 如图所描绘的,可用306是这样的动作,即,复合材料管理器212基于处于未固结复

合材料204的多个部分226中的未固结复合材料204的部分302的质量水平230处于公差312内,来将所述部分302标记为可用。质量水平308是这样的动作,即,复合材料管理器212向处于未固结复合材料204的多个部分226中的未固结复合材料204的部分302标记为该部分302标识的质量水平。

[0110] 作为另一示例,复合部件类型是这样的动作,即,复合材料管理器212向处于未固结复合材料204的多个部分226中的未固结复合材料204的部分302标记该部分302可以被用于制造的复合部件的类型的标识。例如,质量水平可以使得部分302不适合用于预期类型的复合部件。然而,质量水平可以使得部分302可以被用于制造另一类型的复合部件。结果,部分302仍然可以被使用而不是被丢弃或回收。

[0111] 可以使用标记物(marker) 314在部分302上标记这些动作的标识。标记物314可以是标识符(诸如射频(RFID)标识符)、微点、一组量子点、墨水标记、条形码、快速响应(QR)码、或者某一其它合适类型的标记物。标记物314可以标识该动作。标记动作300还可以包括:使用标记物314来记录关于部分302的信息316。例如,该信息可以包括:部分302的长度、部分302在未固结复合材料204中的位置、质量水平、预测特性224、保存期、或者关于部分302的其它信息。信息316可以根据部分302的预测特性224来加以确定。标记物314和标记动作300还包括记录所述卷上的位置或将关于部分302的信息316记录在存储器2606中,如图26所示,以便稍后将部分302的质量与卷上的位置相关联。这种使用的一个示例是在卷上的特定位置处打印出指定该卷上的质量的位置信息。换句话说,除了实际标记部分302本身之外或代替实际标记部分302本身,标记还可以包括在记录或日志中指示或记录关于质量的信息中的至少一者。结果,标记的结果也可以是打印输出或拇指驱动(thumb drive),其与“标记”一起伴随着各个卷。

[0112] 在该例示性示例中,动作241还可以包括纠正动作301。纠正动作301是可以对包括部分302的多个部分226执行的动作241。在该例示性示例中,可以由复合材料管理器212响应于多个部分226的该组预测特性224在针对未固结复合材料204指定的公差312之外,来执行该组纠正动作301中的纠正动作291。

[0113] 可以执行这些纠正动作以努力改变多个部分226的该组预测特性224,使得该组预测特性224在随着完成未固结复合材料204的多个部分226的制造以形成成品227时处于所述多个部分226的公差312内。

[0114] 如图所描绘的,纠正动作301可以采取多个不同的形式。例如,纠正动作301可以包括以下项中的至少一个:调整动作303、改变动作305、或者一些其它合适的纠正动作。

[0115] 例如,当纠正动作301中的纠正动作291采取调整动作303的形式时,复合材料管理器212可以响应于多个部分226的该组预测特性224在针对未固结复合材料204指定的公差312之外,来调整复合材料制造系统208中的一组参数307,以改变未固结复合材料的所述多个部分的该组预测特性。

[0116] 在该描绘的示例中,复合材料制造系统208的一组参数可以采取多种不同形式。例如,该组参数307可以选自以下项中的至少一个:速度、扭矩、电压、电流、间隙、辊隙间隙(nip gap)、力、张力、位置处的厚度、压力或者可以在复合材料制造系统208中设定的其它合适参数。

[0117] 例如,纠正动作291可以是调整(jesting)复合材料制造系统208中的一组参数

307。调整该组参数307可以使得未固结复合材料204的多个部分226的该组预测特性224处于该未固结复合材料204的公差312内。

[0118] 在又一示例中,调整可以不使该组预测特性224落在未固结复合材料204的多个部分226的公差312内,以满足未固结复合材料204的所指定使用的公差312。在该描绘的示例中,未固结复合材料204的多个部分226的该组预测特性224处于未固结复合材料204的第一类型使用311的第一公差309之外。

[0119] 在这种情况下,基于未固结复合材料204的多个部分226的质量水平230执行纠正动作291包括:调整复合材料制造系统208中的一组参数307,使得未固结复合材料204的多个部分226的该组预测特性224处于未固结复合材料204的第二类型使用315的第二公差313内。

[0120] 例如,第一类型使用311可以是用于在蒙皮面板中使用未固结复合材料204。第二种类型使用315可以是用于在飞行器内的建造物(monument)中使用未固结复合材料204。

[0121] 还可以执行这种类型的纠正动作291以创建未固结复合材料204的用于第二类型使用315而不是第一类型使用311的一些部分。换句话说,即使一组预测特性224处于公差312内,也可以执行该动作。结果,当出现对用于第二类型使用315的未固结复合材料204的需要时,未固结复合材料204中的被制造用于第一类型使用311的一些部分可以转向用于第二类型使用315。

[0122] 在另一例示性示例中,纠正动作291包括:响应于多个部分226的该组预测特性224在针对未固结复合材料204指定的公差312之外,来调整复合材料制造系统208中的一组参数307,使得未固结复合材料204的多个部分226的后续部分317的该组预测特性224处于未固结复合材料204的第二公差312内。当改变参数307不会导致未固结复合材料204的多个部分226具有落在公差312内的该组预测特性224时,可以执行这种类型的纠正动作。然而,可以将这种纠正动作用于使未固结复合材料204的稍后部分具有落在公差312内的一组预测特性224。结果,在该示例中仍然对多个部分226执行标记动作。

[0123] 在另一例示性示例中,纠正动作291可以是改变动作305中的改变动作。例如,纠正动作291可以改变被用于形成未固结复合材料204的多个原料319。响应于多个部分226的该组预测特性224在针对未固结复合材料204指定的公差312之外,对多个原料319的改变使得后续部分的该组预测特性224可以成为处于未固结复合材料204的公差312内的未固结复合材料204的多个部分。

[0124] 在该例示性示例的情况下,原料319中的原料可以是复合材料制造系统208用来制造未固结复合材料204的任何材料。例如,多个原料319可以选自以下项中的至少一种:树脂、纸、膜、织物、丝束、展开的丝束织物、纤维类型、丝束大小、纤维大小、或者被用于制造未固结复合材料204的其它材料。

[0125] 在一些例示性示例中,可以采取多个纠正动作。例如,可以执行调整动作和改变动作两者。

[0126] 在一个例示性示例中,存在一种或更多种解决方案,其克服了不能如所希望的那样快速地确定未固结复合材料的特性的问题。一个或更多个例示性示例可以使得能够在未固结复合材料的不同部分的制造已经完成之前预测那些部分的特性。利用这种类型的预测,可以比在未固结复合材料的制造已经完成之后对样品进行测试更快地,进行诸如标记

不同部分或执行其它动作的动作。

[0127] 可以将计算机系统210配置成使用软件、硬件、固件、或其组合来执行在不同的例示性示例中描述的步骤、操作、或动作中的至少一个。结果,计算机系统210作为专用计算机系统来操作,其中,计算机系统210中的复合材料管理器212使得能够在未固结复合材料的制造已经完成之前,预测在未固结复合材料的制造期间该未固结复合材料的特性。在未固结复合材料的制造期间关于该未固结复合材料的实时数据的使用使得能够在未固结复合材料的制造期间确定该未固结复合材料的预测特性。此外,使用机器学习模型使得能够在未固结复合材料的制造已经完成之前确定该未固结复合材料的预测特性。换句话说,预测特性的确定不需要在未固结复合材料的制造已经完成之后进行取样和测试未固结复合材料。此外,在未固结复合材料的制造已经完成之前,操作人员无法足够快地执行该确定以获得对未固结复合材料的特性的预测。

[0128] 特别是,与没有复合材料管理器212的目前可用的通用计算机系统相比,复合材料管理器212将计算机系统210变换成专用计算机系统。

[0129] 在例示性示例中,在计算机系统210中使用复合材料管理器212将过程集成到用于制造未固结复合材料的实际应用中,其提高了计算机系统210在预测未固结复合材料204的部分226的特性228方面的性能。换句话说,计算机系统210中的复合材料管理器212是针对被集成到计算机系统210中的复合材料管理器212中的过程的实际应用的,其实时生成未固结复合材料204的特性228的预测,使得可以相对于未固结复合材料204更快地采取动作241。使用复合材料管理器212以使用模型233从实时接收的传感器数据218来生成预测特性224的该过程可以在制造未固结复合材料204完成之前实时执行以获得预测特性224,而这对于操作人员手工分析传感器数据218是不可能的。

[0130] 在该例示性示例中,计算机系统210中的复合材料管理器212使得能够在完成未固结复合材料的制造之前预测诸如预浸料或树脂涂覆膜的未固结复合材料的特性。结果,可以随着这些部分的制造正在完成来对这些部分执行动作。

[0131] 例如,可以随着未固结复合材料的不同部分被完成来标不同部分,以指示该未固结复合材料的那些部分的适合性或质量。由于使用从复合材料制造系统206的位置209中的不同位置获得的传感器数据218来制造未固结复合材料,因此,复合材料管理器212提供管理未固结复合材料的实际应用。可以将预测特性224用于标记未固结复合材料204的部分226。可以基于使用预测特性224的预测质量水平232来执行标记。

[0132] 这种类型的管理与当前技术形成对比,当前技术可能采取卷(role)中的预浸料材料的样品来确定整个卷的质量。复合材料管理器212提供了一种改进,其中,该确定可以针对预浸料卷的不同部分来进行,并且可以在预浸料卷正被制造时执行。结果,使用复合材料管理器212来预测未固结复合材料的质量水平部分,实现了为制造未固结复合材料所需的时间量的减少。

[0133] 接下来参照图4,根据例示性实施方式,描绘了用于制造未固结复合材料的制造工艺流程的例示图。在该示例中,制造工艺流程400开始于对未固结复合材料生产实体工厂404和数据预处理406进行未固结复合材料生产过程输入402。未固结复合材料生产过程输入402中的这些输入包括材料和设定408。在该示例中,材料和设定408是标识将在制造未固结复合材料204方面使用的材料的信息。当未固结复合材料204是预浸料时,材料例如可以

是纤维类型、纤维尺寸、树脂膜规格、增强信息、纤维信息、增强胶料信息、树脂信息、离型纸信息、树脂膜信息、或者关于被用于制造预浸料的材料的其他合适信息。

[0134] 设定可以是诸如温度、压力、张力的信息,以及可以被用于设定或者配置未固结复合材料生产实体工厂404中的复合材料制造系统以制造预浸料的其他信息。材料和设定408可以是上游信息246的部分。

[0135] 以材料和设定408作为输入,未固结复合材料生成实体工厂404可以执行制造操作,以生成采用未固结复合材料204的形式的未固结复合材料生产过程输出410。可以使用诸如工厂中的复合材料制造系统的设备来执行这些操作。在该示例中,随着未固结复合材料204的各部分的制造完成,可以将未固结复合材料204的各部分作为未固结复合材料生产过程输出410而输出。

[0136] 数据预处理406可以是位于计算机系统210中的组件,其处理未固结复合材料生产过程输入402以供多个模型233用来确定预测特性224。例如,数据预处理406可以处理材料和设定408,以形成被输入到多个模型233中的上游信息246。

[0137] 传感器222随着未固结复合材料204正被制造而实时监测未固结复合材料204的制造,并且随着未固结复合材料204正被制造来向复合材料管理器212实时发送传感器数据。复合材料管理器212从传感器222获取传感器数据并将该传感器数据发送到多个模型233中。

[0138] 在该示例中,可以将传感器数据发送至模型233中的单个模型或者模型233中的多个模型。当多个模型233是单个模型时,该模型可以是机器学习模型。当多个模型233是多个模型时,那些模型例如可以是两个机器学习模型、机器学习模型和物理学模型、或者模型的某一组合。当使用模型233中的多于一个模型时,可以比较那些模型的输出以标识预测特性224的最佳预测,或者进行组合或融合以形成预测特性224。

[0139] 模型233生成预测特性224。该预测是在未固结复合材料204的制造完成之前实时进行的。例如,预测特性224可以是针对未固结复合材料204的尚未完成制造的一部分的。换句话说,可以在未固结复合材料204的部分被作为成品输出之前来确定该部分的预测特性224。可以将成品用于制造复合部件205。

[0140] 在该示例中,可以将预测特性224用于以实时质量记录412的形式来执行动作241中的动作。可以将该记录用于跟踪未固结复合材料204的各部分,以执行附加的制造操作来制造其它未固结复合材料或复合部件。

[0141] 图2至图4例示的复合制造环境200并非意在暗示针对可以实现例示性实施方式的方式的物理或结构性限制。除了所例示的组件之外或者代替所例示的组件,还可以使用其它组件。一些组件可能是不必要的。而且,呈现所述框来例示一些功能组件。当在例示性实施方式中实现时,可以将这些框中的一个或多个框组合、划分、或者组合并划分成不同的框。

[0142] 例如,可以将复合材料管理器212用于预测除未固结复合材料204之外的其它一种或更多种未固结复合材料的特性。除了复合材料制造系统208之外,还可以使用其它复合材料制造系统来制造这些其它未固结复合材料。此外,使用复合材料制造系统制造的附加的未固结复合材料可以是使用不同类型的复合材料制造系统制造的不同类型的未固结复合材料。

[0143] 图5和图6是可以被用于实现图2中的复合材料制造系统206的复合材料制造系统的示例。可以将传感器系统添加至这些复合材料制造系统,或者可以将现有传感器系统进行扩充以包括采用以下配置的一个或更多个传感器:该配置可以随着未固结复合材料正由这些复合材料制造系统进行制造来生成为预测该未固结复合材料的特性所需的传感器数据。

[0144] 现在参照图5,根据例示性实施方式,描绘了被配置用于执行成膜过程的复合材料制造系统的例示图。图2以框形式示出了复合材料制造系统500。

[0145] 如图所描绘的,将复合材料制造系统500配置成执行将树脂涂覆到膜纸(film paper)上的成膜过程。

[0146] 在该示例中,未覆膜纸(unfilmed paper)卷501将纸503送入辊隙(nip)502。辊隙包括一对辊,辊之间设定有间隙。如图所描绘的,辊隙502包括辊504和辊506,在辊504与辊506之间具有间隙508。该间隙可以是固定的或变化的以提供恒定的压力。

[0147] 树脂505被加热并位于坐落在辊504和辊506上的树脂坝(dam)510中。树脂坝510将树脂505进给到间隙508中,同时纸503被纸张重绕机512拉动通过间隙508并到达覆膜纸卷511上。随着来自树脂坝510的树脂505在间隙508处涂覆纸503,纸503变成覆膜纸514。在覆膜纸卷511上收集覆膜纸514。

[0148] 在该例示性示例中,可以使用由复合材料制造系统500的传感器系统生成的传感器数据来预测覆膜纸514的特性。例如,传感器系统可以测量纸503上的张力、纸503移动的速度、间隙508的间隙宽度、树脂坝510中的树脂505的树脂粘度、基重/面积重量、以及其它参数。间隙508的间隙宽度以及树脂坝510中的树脂的树脂粘度可以影响将多少树脂涂覆到纸503上以形成覆膜纸514。树脂粘度是液体树脂的厚度,并且通常是以厘泊(cenipoise, cP)来测量的。

[0149] 树脂坝510中的树脂505的树脂粘度可以使用树脂坝510中的传感器520来进行测量。传感器520可以是粘度计。可以将树脂粘度与间隙508的间隙宽度的测量结果用于预测树脂505在覆膜纸514上的厚度。作为另一示例,可以使用介电测量结果来确定树脂粘度。例如,传感器520可以向树脂坝510中的树脂505施加振荡电压并测量电流。这种类型的测量也可以由刚好位于间隙508之后的传感器522来进行,其中,传感器522施加振荡电压并测量电流。可以将该测量结果用于预测被收集在覆膜纸卷511上的覆膜纸514上将存在的树脂量。

[0150] 当创建训练数据集时,该传感器数据可以利用覆膜纸514上的树脂的实际测量结果来进行标记。例如,来自各个卷的纸可以在未覆膜纸卷501的开始处和在覆膜纸卷511的结束处加以预先测量。可以减去两个卷的重量以获得重量差,从而确定树脂量。该测量结果提供所有覆膜纸514上而不是覆膜纸514的部分上的总体树脂。可以取出各部分的样品,其中切出固定面积的纸并对不同部分进行称重。纸的重量是已知的,并且可以减去该重量来测量样品的重量以确定树脂的重量。可以标识纸与树脂之间的差异以获得样品上的树脂量。

[0151] 转至图6,根据例示性实施方式,描绘了被配置用于执行预浸料生产过程的复合材料制造系统的例示图。在该示例中,复合材料制造系统600是图2中的以框形式示出的复合材料制造系统208的实现的另一示例。将复合材料制造系统600配置成以预浸料的形式来制造未固结复合材料。预浸料可以使用热熔预浸料过程或基于溶剂的预浸料过程来制造。

[0152] 如图所描绘的,复合材料制造系统600具有两个覆膜卷,即,覆膜卷1 602和覆膜卷2 604。这些卷上的覆膜纸是具有树脂的纸。例如,覆膜卷1 602是覆膜纸603的来源,而覆膜卷2 604是覆膜纸605的来源。这些覆膜卷可以使用图5的复合材料制造系统500来制造。

[0153] 在该示例中,复合材料制造系统600具有四个辊隙。辊隙1 606具有辊608和辊610,在这两个辊之间具有辊隙1间隙612。辊隙2 614具有辊616和辊618,这两辊具有辊隙2间隙620。辊隙3 622具有辊624和辊626,这两辊具有辊隙3间隙628。辊隙4 630具有辊632和辊634,这两辊具有辊隙1间隙636。在该例示性示例中,这些辊隙操作为挤压点,在该挤压点,可以将压力施加至行进通过该辊隙的材料。

[0154] 如图所描绘的,热板640和热板642存在于复合材料制造系统600中。该系统还具有冷板644。

[0155] 在该例示性示例中,辊隙1 606、辊隙2 614、辊隙3 622、辊隙4 630、热板640、以及和热板642被保持在设定温度。这些组件中的各个组件的温度可以与其它组件分开设定。换句话说,可以将辊隙1 606的温度设定成与辊隙2 614不同的温度。

[0156] 在该例示性示例中,纤维线轴架637是纤维638的来源。这些纤维在被移动到辊隙1 606中之前被进给通过梳639并到达平压机(spreader bar)641上。

[0157] 如图所描绘的,覆膜纸603和覆膜纸605都分别从覆膜卷1 602和覆膜卷2 604移动到辊隙1 606中。覆膜卷1 602上的制动器645保持覆膜纸603的张力,并且覆膜卷2 604上的制动器646保持覆膜纸605的张力,使得预浸料648不松弛。

[0158] 覆膜纸603的具有树脂的侧面和覆膜纸605的具有树脂的侧面面对纤维638。在该示例中,通过辊隙1 606施加温度和压力,以使树脂在辊隙1 606处从覆膜纸603和覆膜纸605渗入纤维638中。

[0159] 例如,将辊隙1 606中的辊隙1间隙612的宽度选择成,对被夹在覆膜纸603与覆膜纸605上的树脂之间的纤维638施加压力。此外,将辊隙1 606的辊608和辊610的温度选择成加热纤维638以及覆膜纸603和覆膜纸605上的树脂。当纤维638、覆膜纸603、以及覆膜纸605离开辊隙1 606时,热或压力中的至少一者导致树脂渗入纤维638以形成预浸料648。

[0160] 可以使其它辊隙(辊隙2 614、辊隙3 622、辊隙4 630)的辊隙间隙和辊温度设定成,随着预浸料648在复合材料制造系统600中向预浸料卷650行进而提供所希望量的压力和加热。辊隙间隙和辊温度可以改变树脂的粘度,进而改变渗透过程的速度。热板640位于辊隙1 606与辊隙2 614之间,并且热板642位于辊隙2 614与辊隙3 622之间。这些热板随着预浸料648在辊隙之间移动来加热预浸料648。冷板644位于辊隙3 622之后和辊隙4 630之前。该冷板可以降低预浸料648的温度。冷板644可以降低增加树脂粘度的温度,以减少或停止树脂进入纤维的渗透过程。

[0161] 在移除覆膜纸605之前,可以通过纵切机656来设定预浸料648的宽度。在辊652处,覆膜纸605被移除并卷绕到纸卷654上。预浸料648现在由浸渍有覆膜纸603上的树脂的纤维638组成,并且被卷绕到预浸料卷650上。

[0162] 在该例示性示例中,传感器可以位于复合材料制造系统600中的各点之间的不同位置。在该例示性示例中,这些点可以是执行动作以制造预浸料648的加工点。这些加工点例如可以是辊隙1 606、辊隙2 614、辊隙3 622、辊隙4 630。其它加工点可以是热板640、热板642、冷板644,其中,向预浸料648施加热或冷以加热或冷却预浸料648。

[0163] 加工点可以改变预浸料648的特性,这是因为预浸料648在预浸料卷650处是处于其最终形式的所制造的预浸料648。传感器可以位于这些点之间,并且可以被用于随着在预浸料卷650处完成制造预浸料648来预测该预浸料648的特性。换句话说,利用来自这些加工点之间的传感器的传感器数据,可以从复合材料制造系统600中的预浸料卷650之前的其它位置确定预浸料卷650处的预浸料648的预测特性。

[0164] 例如,传感器位置660位于辊隙1 606与辊隙2 614之间。作为另一示例,传感器位置662位于辊隙2 614与辊隙3 622之间,并且传感器位置664位于辊隙3 622与热板640之间。作为又一示例,传感器位置666位于辊隙2 614与热板642之间。作为又一示例,传感器位置667位于辊隙3 622与冷板644之间。

[0165] 在该示例中,另一传感器位置,即,传感器位置671可以位于覆膜卷1 602与辊隙1 606之间。作为另一示例,传感器位置669位于辊隙4 630与预浸料卷650之间。传感器位置是即使位置不在两个加工点之间也可以使用的传感器位置的示例。关于覆膜纸603的传感器数据可以在预测预浸料卷650处的预浸料648的特性方面使用。

[0166] 在该示例中,复合材料制造系统600是热熔膜预浸料系统。该例示性预浸料系统并不意味着限制可以使用的预浸料系统的类型。其它示例可以涵盖利用浴、浆料、喷雾、或者其它机制来将树脂施加至载体纤维的那些其它类型的预浸料系统。

[0167] 接下来参照图7,根据例示性实施方式,描绘了复合材料制造系统中的传感器位置的例示框图。在该例示性示例中,未固结复合材料702的部分700在复合材料制造系统708中沿箭头707的方向从第一点704向第二点706行进。

[0168] 在该例示性示例中,随着未固结复合材料702的部分700经过第一点704,可以在第一点704处对未固结复合材料702的部分700执行一组动作710。该组动作710可以是在制造未固结复合材料702方面执行的一个或更多个动作。在该示例中,该组动作710可以选自以下项中的至少一个:施加热、施加压力、施加张力、施加力、施加冷、改变粘度、或者其它合适的动作。

[0169] 例如,当未固结复合材料702是预浸料712并且第一点704是诸如具有辊的辊隙的位置组件时,该组动作710可以向部分700施加压力和热。该组动作710导致在第一点704之后存在一组特性714。该组特性714可以相对于正在第一点704处对部分700执行该组动作710之前存在的内容而改变。

[0170] 部分700的该组特性714可以不同于正在第一点704处对部分700执行该组动作之前存在的特性。换句话说,在第一点704处执行的该组动作可以改变未固结复合材料702的部分700的该组特性714。

[0171] 在未固结复合材料702的部分700上执行该组动作710之后存在的该组特性714可以使用在传感器位置718处的一组传感器716来进行检测。该组传感器716可以生成传感器数据722。传感器数据722可以包括测量结果723和元数据725。当传感器数据722中存在元数据725时,元数据725例如可以包括以下项中的至少一个:时间戳、传感器位置、传感器标识符、或者关于测量结果723的其它合适信息。

[0172] 当未固结复合材料702是预浸料712时,可以将传感器数据722中的测量结果723用于确定诸如部分700的区域中存在的树脂量。例如,传感器数据722中的测量结果723可以是空中重量(aerial weight)。可以将存在的当前树脂量用于预测在未固结复合材料702的部

分700的制造过程完成之前将存在的树脂量。

[0173] 可以将该传感器数据用于预测当未固结复合材料702的部分700的制造完成时未固结复合材料702的部分700将具有的特性714。该组传感器16可以是复合材料制造系统206的传感器系统220中的传感器222中的一个或更多个传感器。

[0174] 在该例示性示例中,传感器位置718位于第一点704之后且位于第二点706之前。可以将传感器位置718选择成处于最接近第一点704的特定位置,使得在第一点704处由执行动作710而造成的特性714的变化可以由传感器716来进行测量以生成传感器数据722。

[0175] 在该示例中,第二点706是复合材料制造系统708中的位置,在该位置处可以对未固结复合材料702的部分700执行另一组动作720。在第二点706执行的该组动作720可以改变特性714。

[0176] 结果,在第一点704与第二点706之间的传感器位置718处的该组传感器716可以测量在对第一点704处的部分700执行动作710之后存在的特性714。该测量可以以时间间隔715来进行。例如,可以每一秒钟进行一次测量。已知未固结复合材料702移动的速度,可以标识特定部分719(诸如部分700)的特性。该组传感器716可以根据该组特性714的那些测量结果来生成传感器数据722,以供在确定未固结复合材料702的部分700的预测特性方面使用,该预测特性将在未固结复合材料702的部分700的制造已经完成时出现。

[0177] 现在参照图8,根据例示性实施方式,描绘了复合材料制造系统的一部分的例示侧视图。在该例示性示例中,点1 800和点2 802是图7中的第一点704和第二点706的示例。辊804位于点1 800处,并且辊806位于点2 802处。

[0178] 采用预浸料807的形式的未固结复合材料沿箭头809的方向从点1 800向点2 802移动。移动速度是距离/时间,诸如英尺/秒钟。知道预浸料807移动的速度使得随着部分824在复合材料制造系统内移动而能够知道该部分的长度和位置。

[0179] 在该示例中,传感器808和传感器810位于传感器位置812。在传感器位置812处,传感器808位于预浸料807的顶侧814上。传感器810位于预浸料807的底侧816上。

[0180] 在该示例中,存在点1 800处的张力820以及点2 802处的张力822。另外,随着预浸料807在辊804上行进,辊804向预浸料807施加热和压力。传感器808和传感器810可以对传感器位置812处的预浸料807的部分824的厚度和反射率进行实时测量,该厚度和反射率是由于向预浸料807施加张力、热、以及压力以生成传感器数据而产生的。

[0181] 转至图9,根据例示性实施方式,描绘了复合材料制造系统的一部分的例示俯视图。在该示例中,与图8中的示例相比,存在传感器的不同定位。如该俯视图所描绘的,传感器900位于预浸料807的第一侧902上的传感器位置812处。传感器904在传感器位置812处位于预浸料807的第二侧906上,第二侧906与第一侧902相对。

[0182] 在该示例中,存在点1 800处的张力820以及点2 802处的张力822。另外,随着预浸料807在辊804上行进,辊804向预浸料807施加热和压力。

[0183] 如图所描绘的,传感器900和传感器904可以对预浸料807的部分824的宽度、电导、以及电容进行实时测量以生成传感器数据。可以将电测量的传感器数据用于确定预浸料807的部分824的特性,诸如树脂吸收的量和宽度。

[0184] 利用来自传感器位置812或其它传感器位置中的至少一个的传感器数据,当预浸料807的部分824的制造完成时,诸如当预浸料807的部分824被卷绕到预浸料卷上时,可以

对部分824进行预浸料807的部分824的特性的预测。例如,可以将传感器数据用于预测预浸料807的部分824将具有的特性,诸如纤维面积重量 (FAW) 和吸水。

[0185] 所述点、传感器位置、以及传感器的例示图是作为一个实现的示例来提供的,而并不意味着限制可以实现其它例示性示例的方式。例如,在另一例示性示例中,可以仅存在单个传感器,或者可以存在3个或更多个传感器。此外,附加传感器可以在传感器位置812处或者在点1 800与点2 802之间的另一传感器位置处。

[0186] 作为又一示例,点1 800和点2 802可以是除了辊804和辊806之外还对预浸料807执行动作的其它组件的位置。例如,套环(collar)、平压机、梳、套环、辊隙、重绕机、或者其它组件可以在点1 800和点2 802处。

[0187] 转至图10,根据例示性实施方式,描绘了用于标识未固结复合材料的部分的质量水平的过程的例示流程图。可以采用硬件、软件或两者来实现图10中的处理。当以软件实现时,该处理可以采取由位于一个或更多个计算机系统中的一个或更多个硬件装置中的更多个处理器单元中的一个处理器单元运行的程序代码的形式。例如,可以在图2的计算机系统210中的复合材料管理器212中实现该过程。

[0188] 如图所描绘的,该过程开始于从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据,其中,该传感器数据是在由复合材料制造系统制造未固结复合材料期间接收的(操作1000)。该过程使用传感器数据确定随着复合材料制造系统制造完成的未固结复合材料的多个部分的一组预测特性(操作1002)。该过程基于未固结复合材料的多个部分的一组预测特性,来标识未固结复合材料的所述多个部分的质量水平(操作1004)。此后,该过程终止。

[0189] 图11描绘了根据例示性实施方式的用于标记未固结复合材料的过程的例示流程图。该图中的操作是可以在图10的过程中的操作内使用的附加操作的示例。

[0190] 如图所描绘的,该过程基于针对未固结复合材料的多个部分标识的质量水平来执行标记动作(操作1100)。此后,该过程终止。

[0191] 接下来在图12中,根据例示性实施方式,描绘了用于将未固结复合材料的在公差之外部分标记为不可用的过程的例示流程图。该图中的操作是图11中的操作1100的实现的示例。

[0192] 该过程基于处于未固结复合材料的所述多个部分中的未固结复合材料的多个部分的质量水平在公差之外,将该部分标记为不可用(操作1200)。此后,该过程终止。

[0193] 接下来参照图13,根据例示性实施方式,描绘了用于将未固结复合材料的公差内部分标记为可用的过程的例示流程图。该图中的操作是图11中的操作1100的实现的示例。

[0194] 该过程基于处于未固结复合材料的所述多个部分中的未固结复合材料的多个部分的质量水平处于公差内,将该部分标记为可用(操作1300)。此后,该过程终止。

[0195] 转至图14,根据例示性实施方式,描绘了用于以质量水平来标记未固结复合材料的多个部分的过程的例示流程图。该图中的操作是图11中的操作1100的实现的示例。

[0196] 该过程利用质量水平来标记处于未固结复合材料的所述多个部分中的未固结复合材料的一部分(操作1400)。此后,该过程终止。

[0197] 现在参照图15,根据例示性实施方式,描绘了用于记录未固结复合材料的部分的质量水平的过程的例示流程图。该图中的操作是图11中的操作1100的实现的示例。

[0198] 该过程记录未固结复合材料的多个部分的质量水平(操作1500)。此后,该过程终

止。

[0199] 参照图16,根据例示性实施方式,描绘了用于确定未固结复合材料的一部分的预测特性的过程的例示流程图。该图中的操作是图10中的操作1002的一个实现的示例。

[0200] 如图所描绘的,该过程开始于根据使用传感器数据生成的机器学习模型,来确定未固结复合材料的所述部分的第一组初始预测特性(操作1600)。该过程根据使用传感器数据生成的物理学模型,来确定未固结复合材料的所述部分的第二组初始预测特性(操作1602)。该过程根据第一组初始预测特性和第二组初始预测特性的融合,来确定未固结复合材料的所述部分的该组预测特性(操作1604)。此后,该过程终止。

[0201] 接下来转至图17,根据例示性实施方式,描绘了用于在完成未固结复合材料的制作之前对机器学习模型进行训练以预测该未固结复合材料的特性的过程的例示流程图。可以采用硬件、软件或两者来实现图17中的处理。当以软件实现时,该处理可以采取由位于一个或多个计算机系统中的一个或多个硬件装置中的更多个处理器单元中的一个处理器单元运行的程序代码的形式。例如,可以在图2的计算机系统210中的复合材料管理器212中实现该过程。

[0202] 该过程开始于使得数据收集的范围(操作1700)。在操作1700中,设定范围,使得以足够的分辨率重复收集数据,用于训练、证实测试模型。

[0203] 该过程收集数据(操作1702)。在该操作中,从未固结复合材料的制造中收集历史数据。该数据可以包括:传感器数据、上游数据、以及检查数据。通过对所制造的未固结复合材料进行样品测试来生成检查数据,以确定所关注的特性。这些所关注的特性被用于评估未固结复合材料的质量以及其是否适合于特定使用。

[0204] 该过程训练一组机器学习模型(操作1704)。在操作1704中,可以选择一个或多个模型类型用于训练。当选择多于一种类型的模型时,可以执行评估以查看哪个机器学习模型提供最准确的预测。

[0205] 在操作1704中,选择特性和参数以供在训练方面使用。所述特性是未固结复合材料的特性,其在确定质量以及未固结复合材料是否适合使用方面是所关注的。所述参数被选择为对所选择的特性具有相关性或影响的参数。换句话说,当参数改变时,那些变化可以对由未固结复合材料产生的特性有影响。

[0206] 操作1704还可以包括超参数优化,其中,模型中的超参数可以被设定为在实际优化被选择用于训练模型的参数或变量之前设定的参数或变量。超参数例如可以包括模式选择。

[0207] 该过程确定特性估计方面的误差(操作1706)。在操作1706中,可以将验证数据用于确定在预测特性方面发生的错误。

[0208] 然后,该过程确定所选择的机器学习模型是否具有所希望的准确度水平(操作1708)。可以使用历史数据的被隔开(partitioned off)为测试数据的一部分来测试这种所希望的准确度水平。如果不存在该准确度水平,则该过程使用实验设计(DOE)来生成测试数据集(操作1710)。然后,该过程返回至操作1702,以使用由实验设计生成的数据生成方法来收集数据。实验设计是指导实验执行以生成训练的统计方法。

[0209] 再次参照操作1708,如果所选择的机器学习模型具有所希望的准确度水平,则该过程实时预测未固结复合材料的各部分的特性,其中,预测在完成未固结复合材料的各部

分的制造之前所述部分的特性(操作1712)。此后,该过程终止。

[0210] 转至图18,根据例示性实施方式,描绘了用于对未固结复合材料的部分执行纠正动作的过程的例示流程图。可以采用硬件、软件或两者来实现图18中的处理。当以软件实现时,该处理可以采取由位于一个或多个计算机系统中的一个或多个硬件装置中的更多个处理器单元中的一个处理器单元运行的程序代码的形式。例如,可以在图2的计算机系统210中的复合材料管理器212中实现该过程。

[0211] 如图所描绘的,该过程开始于从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据,其中,该传感器数据是在由复合材料制造系统制造未固结复合材料期间接收的(操作1800)。该过程使用传感器数据来确定未固结复合材料的多个部分的一组预测特性,其中,该组预测特性是针对未固结复合材料的作为成品的多个部分的(操作1802)。该过程基于未固结复合材料的多个部分的质量水平来执行纠正动作(操作1804)。此后,该过程终止。

[0212] 转至图19,根据例示性实施方式,描绘了用于对未固结复合材料的在公差之外部分执行纠正动作的过程的例示流程图。该图中的操作是图18中的操作1804的实现的示例。

[0213] 如图所描绘的,该过程响应于多个部分的该组预测特性在针对未固结复合材料指定的公差之外,来执行纠正动作(操作1900)。此后,该过程终止。

[0214] 接下来转至图20,根据例示性实施方式,描绘了用于调整未固结复合材料的在公差之外部分的参数的过程的例示流程图。该图中的操作是图18中的操作1804的实现的示例。

[0215] 如图所描绘的,该过程响应于多个部分的该组预测特性在针对未固结复合材料指定的公差之外,来调整复合材料制造系统中的一组参数,以改变未固结复合材料的多个部分的该组预测特性(操作2000)。此后,该过程终止。

[0216] 参照图21,根据例示性实施方式,描绘了用于调整未固结复合材料的公差内部分的参数的过程的例示流程图。该图中的操作是图18中的操作1804的实现的示例。

[0217] 如图所描绘的,该过程调整复合材料制造系统中的一组参数,使得未固结复合材料的多个部分的该组预测特性处于未固结复合材料的公差内(操作2100)。此后,该过程终止。

[0218] 接下来转至图22,根据例示性实施方式,描绘了用于调整参数使得未固结复合材料的部分处于公差内的过程的例示流程图。该图中的操作是图18中的操作1804的实现的示例。

[0219] 如图所描绘的,该过程调整复合材料制造系统中的一组参数,使得未固结复合材料的多个部分的该组预测特性处于未固结复合材料的第二类型使用的第二公差内(操作2200)。此后,该过程终止。

[0220] 参照图23,根据例示性实施方式,描绘了用于调整未固结复合材料的后续部分的参数的过程的例示流程图。该图中的操作是图18中的操作1804的实现的示例。

[0221] 如图所描绘的,该过程响应于多个部分的该组预测特性在针对未固结复合材料指定的公差之外,来调整复合材料制造系统中的一组参数,使得未固结复合材料的多个部分的后续部分的该组预测特性处于未固结复合材料的公差内(操作2300)。此后,该过程终止。

[0222] 转至图24,根据例示性实施方式,描绘了用于改变原料的过程的例示流程图。该图中的操作是图18中的操作1804的实现的示例。

[0223] 如图所描绘的,该过程响应于多个部分的该组预测特性在针对未固结复合材料指定的公差之外,改变被用于形成未固结复合材料的多个原料,使得未固结复合材料的多个部分的后续部分的该组预测特性处于未固结复合材料的公差内(操作2400)。此后,该过程终止。

[0224] 接下来转至图25,根据例示性实施方式,描绘了用于确定未固结复合材料的预测特性的过程的例示流程图。该图中的操作是可以在图18的过程中的操作内使用的附加操作的示例。

[0225] 如图所描绘的,该过程使用传感器数据、机器学习模型、以及物理学模型,来确定未固结复合材料的多个部分的该组预测特性(操作2500)。此后,该过程终止。

[0226] 不同的描绘实施方式中的流程图和框图在例示性实施方式中例示了设备和方法的一些可能实现的架构、功能、以及操作。在这点上,流程图或框图中的各个框可以表示模块、节段、功能或者操作或步骤的一部分中的至少一个。例如,可以将这些框中的一个或多个框实现为程序代码、硬件、或者程序代码和硬件的组合。当以硬件实现时,该硬件例如可以采取集成电路的形式,该集成电路被制造或配置成按流程图或框图来执行一个或多个操作。当被实现为程序代码和硬件的组合时,该实现可以采取固件的形式。流程图或框图中的各个框可以利用执行不同操作的专用硬件系统或者专用硬件与由该专用硬件运行的程序代码的组合来实现。

[0227] 在例示性实施方式的一些另选实现中,这些框中提到的所述功能可以出现在图中所提到的次序之外。例如,在一些情况下,根据所涉及功能,接连示出的两个框可以大致同时执行,或者这些框有时可以按逆序执行。而且,除了流程图或框图中的所例示的框之外,还可以添加其它的框。

[0228] 现在转至图26,根据例示性实施方式,描绘了数据处理系统的例示框图。可以将数据处理系统2600用于实现图1中的服务器计算机104、服务器计算机106、客户端装置110。还可以将数据处理系统2600用于实现图2中的计算机系统210。在该例示性示例中,数据处理系统2600包括通信框架2602,该通信框架2602在处理器单元2604、存储器2606、持久性存储部2608、通信单元2610、输入/输出(I/O)单元2612、以及显示器2614之间提供通信。在该示例中,通信框架2602采取总线系统的形式。

[0229] 处理器单元2604用于执行可以加载到存储器2606中的软件的指令。处理器单元2604包括一个或多个处理器。例如,处理器单元2604可以选自以下项中的至少一者:多核处理器、中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、物理学处理单元(PPU)、数字信号处理器(DSP)、网络处理器、或者某一其它合适类型的处理器。此外,处理器单元2604可以利用一个或多个异类处理器系统来实现,其中,主处理器与辅助处理器一起存在于在单个芯片上。作为另一例示性示例,处理器单元2604可以是包含处于单个芯片上的同一类型多处理器的对称多处理器系统。

[0230] 存储器2606和持久性存储部2608是存储装置2616的示例。存储装置是能够以临时性为基础、以永久性为基础或者以临时性和永久性两者为基础来存储信息(举例来说,如在无限制的情况下,数据、按功能形式的程序代码或者其它合适的信息中的至少一种)的任何硬件。在这些例示性示例中,存储装置2616还可以被称为计算机可读存储装置。在这些示例中,存储器2606例如可以是随机存取存储器或者任何其它合适的易失性或非易失性存储装

置。持久性存储部2608可以根据特定的实现采取各种形式。

[0231] 例如,持久性存储部2608可以包含一个或多个组件或装置。例如,持久性存储部2608可以是:硬盘、固态驱动器(SSD)、闪速存储器、可重写光盘、可重写磁带、或者上述的某一组合。由持久性存储部2608使用的介质还可以是可去除的。例如,可以将可去除硬盘驱动器用于持久性存储部2608。

[0232] 在这些例示性例中,通信单元2610向其它数据处理系统或装置提供通信。在这些例示性示例中,通信单元2610是网络接口卡。

[0233] 输入/输出单元2612使得能够利用可以连接至数据处理系统2600的其它装置来输入和输出数据。例如,输入/输出单元2612可以通过键盘、鼠标器、或者某一其它合适的输入装置中的至少一种来提供用于用户输入的连接。此外,输入/输出单元2612可以向打印机发送输出。显示器2614提供向用户显示信息的机制。

[0234] 用于操作系统、应用、或者程序中的至少一者的指令可以位于存储装置2616中,该存储装置经由通信框架2602与处理器单元2604通信。处理器单元2604可以使用可以位于诸如存储器2606的存储器中的计算机实现的指令来执行不同的实施方式的过程。

[0235] 这些指令是程序指令并且还被称为可以通过处理器单元2604中的处理器来读取和执行的程序代码、计算机可用程序代码或者计算机可读程序代码。不同的实施方式中的程序代码可以具体实现在诸如存储器2606或持久性存储部2608的不同的物理或计算机可读存储介质上。

[0236] 程序代码2618按功能形式位于可选择性地去除的计算机可读介质2620上,并且可以加载到或传递至数据处理系统2600,以供处理器单元2604执行。在这些例示性示例中,程序代码2618和计算机可读介质2620形成计算机程序产品2622。在例示性示例中,计算机可读介质2620是计算机可读存储介质2624。

[0237] 计算机可读存储介质2624是被用于存储程序代码2618的物理或有形存储装置,而非传播或传输程序代码2618的介质。如本文所使用的,计算机可读存储介质2624本身不应被解释为暂时性信号,诸如无线电波或其它自由传播的电磁波、通过波导或其它传输介质传播的电磁波(例如,通过光缆的光脉冲)或者通过导线传输的电信号。

[0238] 另选地,程序代码2618可以利用计算机可读信号介质传递至数据处理系统2600。计算机可读信号介质是信号并且例如可以是包含程序代码2618的传播的数据信号。例如,计算机可读信号介质可以是电磁信号、光学信号、或者任何其它合适类型的信号中的至少一种。可以通过诸如无线连接、光缆、同轴线缆、导线、或者任何其它合适类型的连接来传送这些信号。

[0239] 此外,如本文所使用的,“计算机可读介质2620”可以是单数或复数。例如,程序代码2618可以位于采用单个存储装置或系统的形式的计算机可读介质2620中。在另一示例中,程序代码2618可以位于被分布在多个数据处理系统中的计算机可读介质2620中。换句话说,程序代码2618中的一些指令可以位于一个数据处理系统中,而程序代码2618中的其它指令可以位于一个数据处理系统中。例如,程序代码2618的一部分可以位于服务器计算机的计算机可读介质2620中,而程序代码2618的另一部分可以位于一组客户端计算机的计算机可读介质2620中。

[0240] 用于数据处理系统2600的所示不同的组件不意指提供针对可以实现不同的实施

方式的方式的结构性限制。在一些例示性示例中,所述组件中的一个或多个组件可以并入另一组件中或者以其它方式形成另一组件的一部分。例如,在一些例示性示例中,存储器2606或其部分可以并入处理器单元2604中。该不同的例示性实施方式可以在包括除了针对数据处理系统2600例示的那些组件之外或代替那些组件的其它组件的数据处理系统中实现。图26所示的其它组件可以根据所示的例示性示例加以改变。不同的实施方式可以使用能够运行程序代码2618的任何硬件装置或者系统来实现。

[0241] 本公开的例示性实施方式可以在如图27所示的飞行器制造和保养方法2700以及如图28所示的飞行器2800的背景下加以描述。首先转至图27,根据例示性实施方式,描绘了飞行器制造和保养方法的例示图。在预生产期间,飞行器制造和保养方法2700可以包括图28中的飞行器2800的规范和设计2702以及材料采购2704。

[0242] 在生产期间,可以进行图28中的飞行器2800的组件和子组件制造2706以及系统集成2708。此后,图28中的飞行器2800可以经历认证和交付2710,以便付诸使用2712。当通过客户使用2712时,对图28中的飞行器2800安排例行维护和保养2714,这可以包括修改、重新配置、翻新、以及其它维护或保养。

[0243] 飞行器制造和保养方法2700的所述过程中的各个过程皆可以由系统集成商、第三方、运营商、或其某一组合来执行或实行。在这些示例中,运营商可以是客户。出于本描述的目的,系统集成商可以包括但不限于任何数量的飞行器制造商和主系统分包商;第三方可以包括但不限于,任何数量的厂商、分包商、以及供应商;并且运营商可以是航空公司、租赁公司、军事实体、服务组织等。

[0244] 现在参照图28,描绘了可以实现一例示性实施方式的飞行器的例示图。在该示例中,飞行器2800通过图27中的飞行器制造和保养方法2700来生产,并且可以包括具有多个系统2804和内部2806的机体2802。系统2804的示例包括以下项中的一个或多个:推进系统2808、电气系统2810、液压系统2812、以及环境系统2814。可以包括任何数量的其它系统。尽管示出了航空航天示例,但是可以将不同的例示性实施方式应用至诸如汽车工业的其它工业。

[0245] 在图27的飞行器制造和保养方法2700的所述阶段中的至少一个阶段期间,可以采用本文所具体实施的设备和方法。

[0246] 在一个例示性示例中,可以以类似于在飞行器2800处于图27的使用中2712时所生产的组件或子组件的方式,来制作或制造在图27的组件和子组件制造2706中生产的组件或子组件。作为又一示例,可以在诸如图27的组件和子组件制造2706以及系统集成2708的生产阶段期间,利用一个或多个设备实施方式、方法实施方式、或其组合。当飞行器2800处于使用中2712时、在图27的维护和保养2714期间、或两者,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。使用多个不同例示性实施方式可以大致加速组装飞行器2800,缩减飞行器成本2800,或加速组装飞行器2800和缩减飞行器成本2800两者。在组件和子组件制造2706或者维护和服务2714中的至少一者期间的制造未固结复合材料方面增加的质量可以减少在制造未固结复合材料方面所需要的时间量或成本中的至少一者。在能够确定未固结复合材料的哪些部分满足所希望的质量水平的情况下,可以发生较少的未固结复合材料的丢弃或再加工。

[0247] 现在转至图29,根据例示性实施方式,描绘了生产管理系统的例示框图。产品管理

系统2900是物理硬件系统。在该例示性示例中,产品管理系统2900包括制造系统2902或维护系统2904中的至少一个。

[0248] 将制造系统2902配置成制造产品,诸如图28的飞行器2800。如图所描绘的,制造系统2902包括制造设备2906。制造设备2906包括制作设备2908或组装设备2910中的至少一个。

[0249] 制作设备2908是被用于制作用于形成图28的飞行器2800的组件的设备。例如,制作设备2908可以包括机器和工具。这些机器和工具可以是以下项中的至少一个:钻、液压机、炉、高压釜、模具、复合铺带机、自动纤维铺放 (AFP) 机、真空系统、机器人拾放系统、平板切割机、激光切割机、计算机数控 (CNC) 切割机、车床、或者其它合适类型的设备。可以将制作设备2908用于制作以下项中的至少一个:金属部件、复合部件、半导体、电路、紧固件、肋、蒙皮面板、翼梁、天线、或者其它合适类型的部件。

[0250] 组装设备2910是被用于组装部件以形成图28的飞行器2800的设备。特别地,将组装设备2910用于组装组件和部件以形成图28的飞行器2800。组装设备2910还可以包括机器和工具。这些机器和工具可以是机器人臂、履带牵引装置、快速安装系统、基于轨道的钻孔系统、或者机器人中的至少一种。可以将组装设备2910用于组装诸如座椅、水平安定面、机翼、发动机、发动机壳体、起落架系统、以及图28的飞行器2800的其它部件的部件。

[0251] 在该例示性示例中,维护系统2904包括维护设备2912。维护设备2912可以包括为在图28的飞行器2800上执行维护所需的任何设备。维护设备2912可以包括用于对图28的飞行器2800上的部件执行不同操作的工具。这些操作可以包括拆卸部件、翻新部件、检查部件、再加工部件、制造替换部件、或者用于在图28的飞行器2800上执行维护的其它操作中的至少一个。这些操作可以用于例行维护、检查、升级、翻新、或者其它类型的维护操作。

[0252] 在例示性示例中,维护设备2912可以包括超声检查装置、x射线成像系统、视觉系统、钻、履带牵引装置、以及其它合适的装置。在一些情况下,维护设备2912可以包括制作设备2908、组装设备2910、或两者,以生产和组装维护所需的部件。

[0253] 产品管理系统2900还包括控制系统2914。控制系统2914是硬件系统,并且还可以包括软件或其它类型的组件。将控制系统2914配置成,控制制造系统2902或维护系统2904中的至少一个的操作。特别地,控制系统2914可以控制制作设备2908、组装设备2910、或维护设备2912中的至少一个的操作。

[0254] 控制系统2914中的硬件可以使用包括计算机、电路、网络、以及其它类型设备的硬件来实现。该控制可以采取制造设备2906的直接控制的形式。例如,机器人、计算机控制的机器、以及其它设备可以由控制系统2914来控制。在其它例示性示例中,控制系统2914可以管理由操作人员2916在制造飞行器2800或者对该飞行器执行维护时执行的操作。例如,控制系统2914可以指派任务、提供指令、显示模型、或者执行其它操作以管理由操作人员2916执行的操作。在这些例示性示例中,图2中的复合材料管理器212可以在控制系统2914中实现以管理未固结复合材料的制造,以供在图28的飞行器2800的制造或维护中的至少一者中使用。可以将这些未固结复合材料用于制造复合部件或者在图28的飞行器2800的制造或维护中的至少一者中再加工复合部件。

[0255] 在不同的例示性示例中,操作人员2916可以操作制造设备2906、维护设备2912、或控制系统2914中的至少一个或者与其交互。这种交互可以发生以制造图28的飞行器2800。

[0256] 当然,可以将产品管理系统2900配置成,管理除图28的飞行器2800之外的其它产品。虽然已经参照航空航天工业中的制造描述了产品管理系统2900,但是可以将产品管理系统2900配置成管理其它工业的产品。例如,可以将产品管理系统2900配置成,制造汽车工业以及任何其它合适工业的产品。

[0257] 以下条款中描述了例示性示例的一些特征。这些条款是特征的示例并且不旨在限制其它例示性示例。

[0258] 条款1

[0259] 一种复合材料管理系统,所述复合材料管理系统包括:

[0260] 计算机系统;以及

[0261] 复合材料管理器,所述复合材料管理器处于所述计算机系统中,其中,所述复合材料管理器被配置成:

[0262] 从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据,其中,所述传感器数据是在由所述复合材料制造系统制造未固结复合材料期间接收的;

[0263] 使用所述传感器数据来确定所述未固结复合材料的多个部分的一组预测特性,其中,所述一组预测特性是针对所述未固结复合材料的作为成品的所述多个部分的;以及

[0264] 基于所述未固结复合材料的所述多个部分的质量水平来执行纠正动作。

[0265] 条款2

[0266] 根据条款1所述的复合材料管理系统,其中,在基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作方面,所述复合材料管理器被配置成:

[0267] 响应于所述多个部分的所述一组预测特性在针对所述未固结复合材料指定的公差之外,来执行所述纠正动作。

[0268] 条款3

[0269] 根据条款1或2所述的复合材料管理系统,其中,在基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作方面,所述复合材料管理器被配置成:

[0270] 响应于所述多个部分的所述一组预测特性在针对所述未固结复合材料指定的公差之外,来调整所述复合材料制造系统中的一组参数,以改变所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性。

[0271] 条款4

[0272] 根据条款1或2所述的复合材料管理系统,其中,在基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作方面,所述复合材料管理器被配置成:

[0273] 调整所述复合材料制造系统中的一组参数,使得所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性处于所述未固结复合材料的公差内。

[0274] 条款5

[0275] 根据条款1或2所述的复合材料管理系统,其中,所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性在所述未固结复合材料的第一类型使用的第一公差之外,并且其中,在基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作方面,所述复合材料管理器被配置成:

[0276] 调整所述复合材料制造系统中的一组参数,使得所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性处于所述未固结复合材料的第二类型使用的第二公差内。

[0277] 条款6

[0278] 根据条款1或2所述的复合材料管理系统,其中,在基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作方面,所述复合材料管理器被配置成:

[0279] 响应于所述多个部分的所述一组预测特性在针对所述未固结复合材料指定的公差之外,来调整所述复合材料制造系统中的一组参数,使得所述未固结复合材料的所述多个部分的后续部分的所述一组预测特性处于所述未固结复合材料的所述公差内。

[0280] 条款7

[0281] 根据条款1或2所述的复合材料管理系统,其中,在基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作方面,所述复合材料管理器被配置成:

[0282] 响应于所述多个部分的所述一组预测特性在针对所述未固结复合材料指定的公差之外,改变被用于形成所述未固结复合材料的多个原料,使得所述未固结复合材料的所述多个部分的后续部分的所述一组预测特性处于所述未固结复合材料的所述公差内。

[0283] 条款8

[0284] 根据条款1或2中的任一条款所述的复合材料管理系统,其中,所述复合材料制造系统是碳纤维预浸料涂布生产线、增强纤维树脂浸渍生产线、树脂混合工艺系统、树脂成膜生产线、预浸料系统以及纵切工艺系统中的一者。

[0285] 条款9

[0286] 根据条款1或2所述的复合材料管理系统,所述复合材料管理系统还包括:

[0287] 机器学习模型,其中,所述复合材料管理器使用所述传感器数据和所述机器学习模型,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性。

[0288] 条款10

[0289] 根据条款1或2所述的复合材料管理系统,所述复合材料管理系统还包括:

[0290] 机器学习模型;以及

[0291] 物理学模型,其中,所述复合材料管理器使用所述传感器数据、所述机器学习模型、以及所述物理学模型,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性。

[0292] 条款11

[0293] 根据条款10所述的复合材料管理系统,其中,在确定所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性方面,所述复合材料管理器被配置成:

[0294] 根据使用所述传感器数据生成的所述机器学习模型,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的第一组初始预测特性;

[0295] 根据使用所述传感器数据生成的所述物理学模型,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的第二组所述初始预测特性;以及

[0296] 根据所述第一组所述初始预测特性和所述第二组所述初始预测特性的融合,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性。

[0297] 条款12

[0298] 一种用于制造未固结复合材料的方法,所述方法包括以下步骤:

[0299] 从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据,其中,所述传感器数据是在由所述复合材料制造系统制造所述未固结复合材料期间接收的;

[0300] 使用所述传感器数据来确定所述未固结复合材料的多个部分的一组预测特性,其中,所述一组预测特性是针对所述未固结复合材料的作为成品的所述多个部分的;以及

[0301] 基于所述未固结复合材料的所述多个部分的质量水平来执行纠正动作。

[0302] 条款13

[0303] 根据条款12所述的方法,其中,基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作的步骤包括:

[0304] 响应于所述多个部分的所述一组预测特性在针对所述未固结复合材料指定的公差之外,来执行所述纠正动作。

[0305] 条款14

[0306] 根据条款12或13所述的方法,其中,基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作的步骤包括:

[0307] 响应于所述多个部分的所述一组预测特性在针对所述未固结复合材料指定的公差之外,来调整所述复合材料制造系统中的一组参数,以改变所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性。

[0308] 条款15

[0309] 根据条款12或13所述的方法,其中,基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作的步骤包括:

[0310] 调整所述复合材料制造系统中的一组参数,使得所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性处于所述未固结复合材料的公差内。

[0311] 条款16

[0312] 根据条款12或13所述的方法,其中,所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性在所述未固结复合材料的第一类型使用的第一公差之外,并且其中,基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作的步骤包括:

[0313] 调整所述复合材料制造系统中的一组参数,使得所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性处于所述未固结复合材料的第二类型使用的第二公差内。

[0314] 条款17

[0315] 根据条款12或13所述的方法,其中,基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作的步骤包括:

[0316] 响应于所述多个部分的所述一组预测特性在针对所述未固结复合材料指定的公差之外,来调整所述复合材料制造系统中的一组参数,使得所述未固结复合材料的所述多个部分的后续部分的所述一组预测特性处于所述未固结复合材料的所述公差内。

[0317] 条款18

[0318] 根据条款12或13所述的方法,其中,基于所述未固结复合材料的所述多个部分的所述质量水平来执行所述纠正动作的步骤包括:

[0319] 响应于所述多个部分的所述一组预测特性在针对所述未固结复合材料指定的公差之外,改变被用于形成所述未固结复合材料的多个原料,使得所述未固结复合材料的所述多个部分的后续部分的所述一组预测特性处于所述未固结复合材料的所述公差内。

[0320] 条款19

[0321] 根据条款12或13所述的方法,其中,所述复合材料制造系统是碳纤维预浸料涂布

生产线、增强纤维树脂浸渍生产线、树脂混合工艺系统、树脂成膜生产线、预浸料系统以及纵切工艺系统中的一者。

[0322] 条款20

[0323] 根据条款12或13所述的方法,其中,使用所述传感器数据和机器学习模型,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性。

[0324] 条款21

[0325] 根据条款12或13所述的方法,所述方法还包括以下步骤:

[0326] 使用所述传感器数据、机器学习模型以及物理学模型,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性。

[0327] 条款22

[0328] 根据条款21所述的方法,其中,确定所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性的步骤包括:

[0329] 根据使用所述传感器数据生成的所述机器学习模型,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的第一组初始预测特性;

[0330] 根据使用所述传感器数据生成的所述物理学模型,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的第二组所述初始预测特性;以及

[0331] 根据所述第一组所述初始预测特性和所述第二组所述初始预测特性的融合,来确定所述未固结复合材料的所述多个部分的所述一组预测特性。

[0332] 条款23

[0333] 一种用于制造未固结复合材料的计算机程序产品,所述计算机程序产品包括计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质具有随其具体实施的程序指令,所述程序指令可由计算机系统执行以使所述计算机系统执行包括以下步骤的方法:

[0334] 从复合材料制造系统的传感器系统接收传感器数据,其中,所述传感器数据是在由所述复合材料制造系统制造未固结复合材料期间接收的;

[0335] 使用所述传感器数据来确定所述未固结复合材料的多个部分的一组预测特性,其中,所述一组预测特性是针对所述未固结复合材料的作为成品的所述多个部分的;以及

[0336] 基于所述未固结复合材料的所述多个部分的质量水平来执行纠正动作。

[0337] 因此,这些例示性示例提供了一种用于在制造过程发生时预测未固结复合材料在制造该未固结复合材料完成时将具有的特性的方法、设备、系统、以及计算机程序产品。此外,这些例示性实施方式还可以使用这些预测来执行纠正动作,以改变未固结复合材料随着从制造到形成成品所具有的特性。

[0338] 在不同的例示性示例中,复合材料管理器执行操作以确定未固结复合材料的多个部分的一组预测特性已经从制造完成。换句话说,预测是针对在完成未固化(uncured)复合材料的多个部分的制造以形成成品时该未固化复合材料的所述多个部分的。

[0339] 结果,使用复合材料管理器212预测未固结复合材料的质量水平部分可以实现制造未固结复合材料所需的费用或时间量中的至少一者的减少。此外,可以通过在制造未固结复合材料期间执行纠正动作而出现所述未固结复合材料的减少,使得出现未固结材料的额外量处于公差内。结果,可以减少未固结复合材料的额外制造、再加工、或丢弃。

[0340] 不同例示性实施方式的描述已经出于例示和描述的目的而进行了呈现,而非旨在

排它或限制于所公开形式的实施方式。不同的例示性示例描述了执行动作或操作的组件。在例示性实施方式中,可以配置组件以执行所述动作或操作。例如,所述组件可以具有针对向所述组件提供以下能力的结构的构造或设计:执行由所述组件执行的、在该例示性示例中描述的动作或操作。此外,就本文中使用的术语“包括(include)”、“包括(including)”、“具有(has)”、“包含(contain)”及其变体来说,此类术语是指以类似于术语“包括(comprise)”作为开放性过渡词的方式来包括的,而不排除任何附加的或其它的要素。

[0341] 多个修改例和变型例对于本领域普通技术人员将是显而易见的。此外,与其它希望的实施方式相比,不同的例示性实施方式可以提供不同的特征。选择并描述该实施方式和所选定实施方式,以便最佳地说明该实施方式的原理、实践应用,并且使得本领域普通技术人员能够针对具有如适于预期特定用途的各种修改例的各种实施方式来理解本公开。

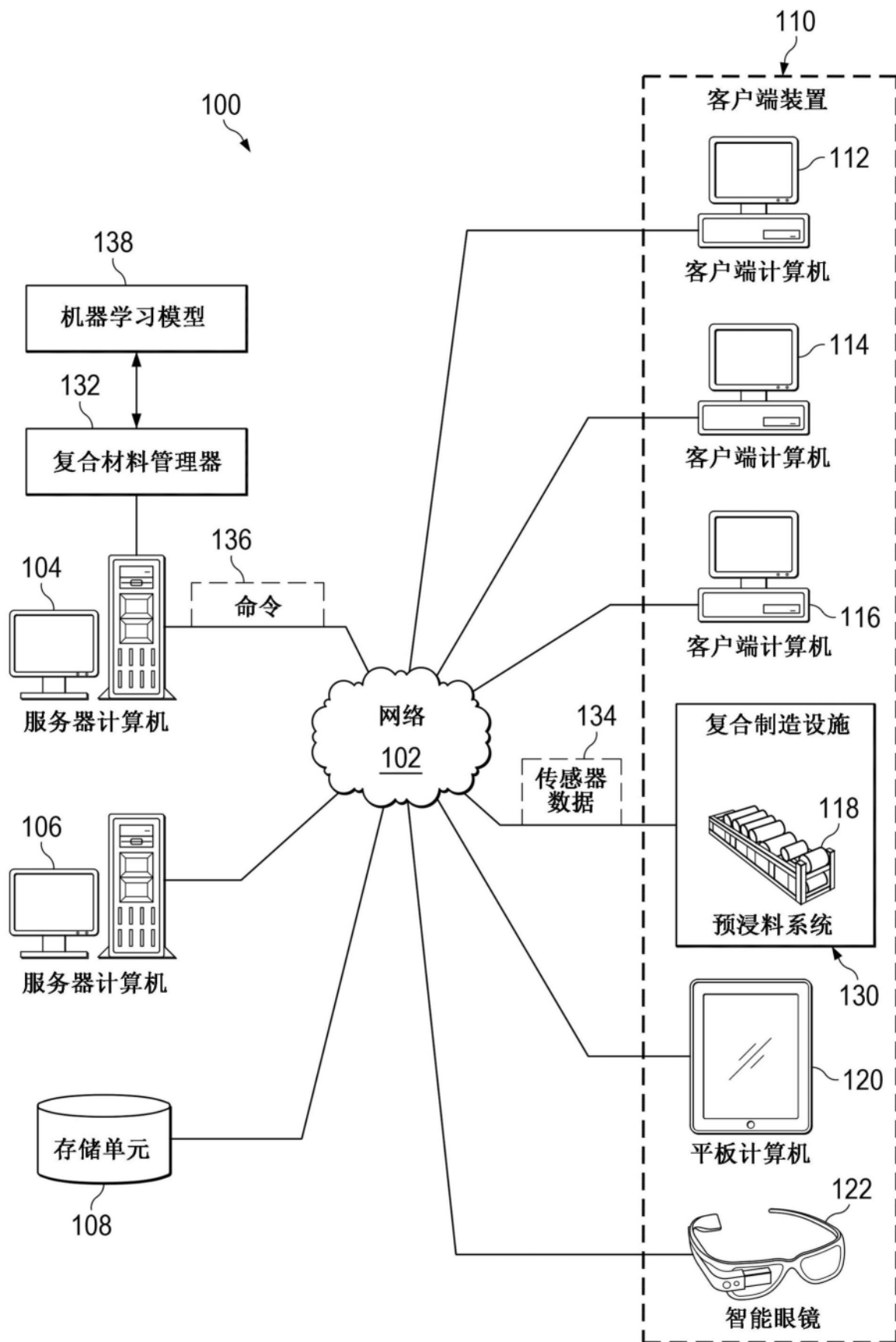


图1

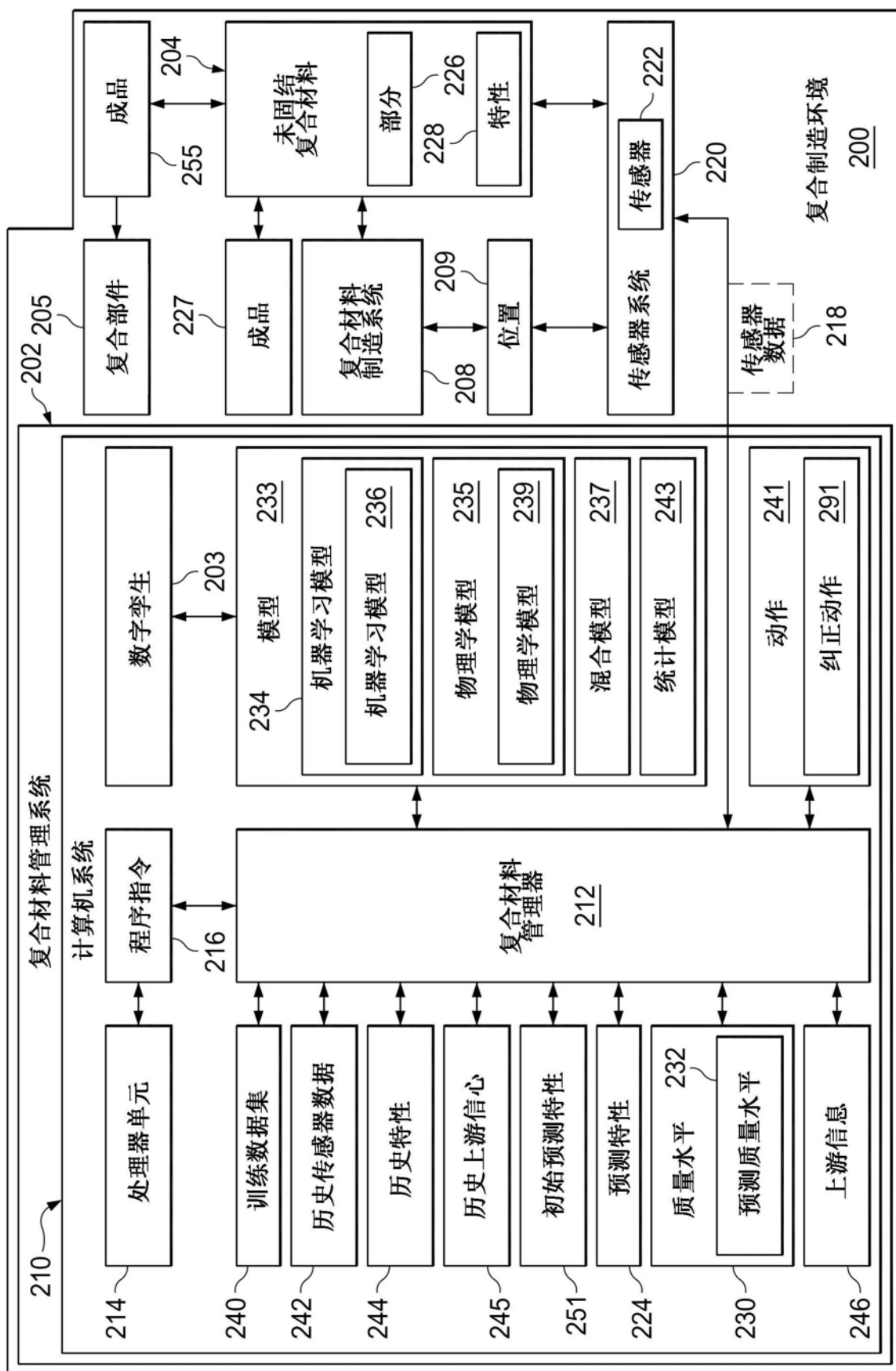


图2

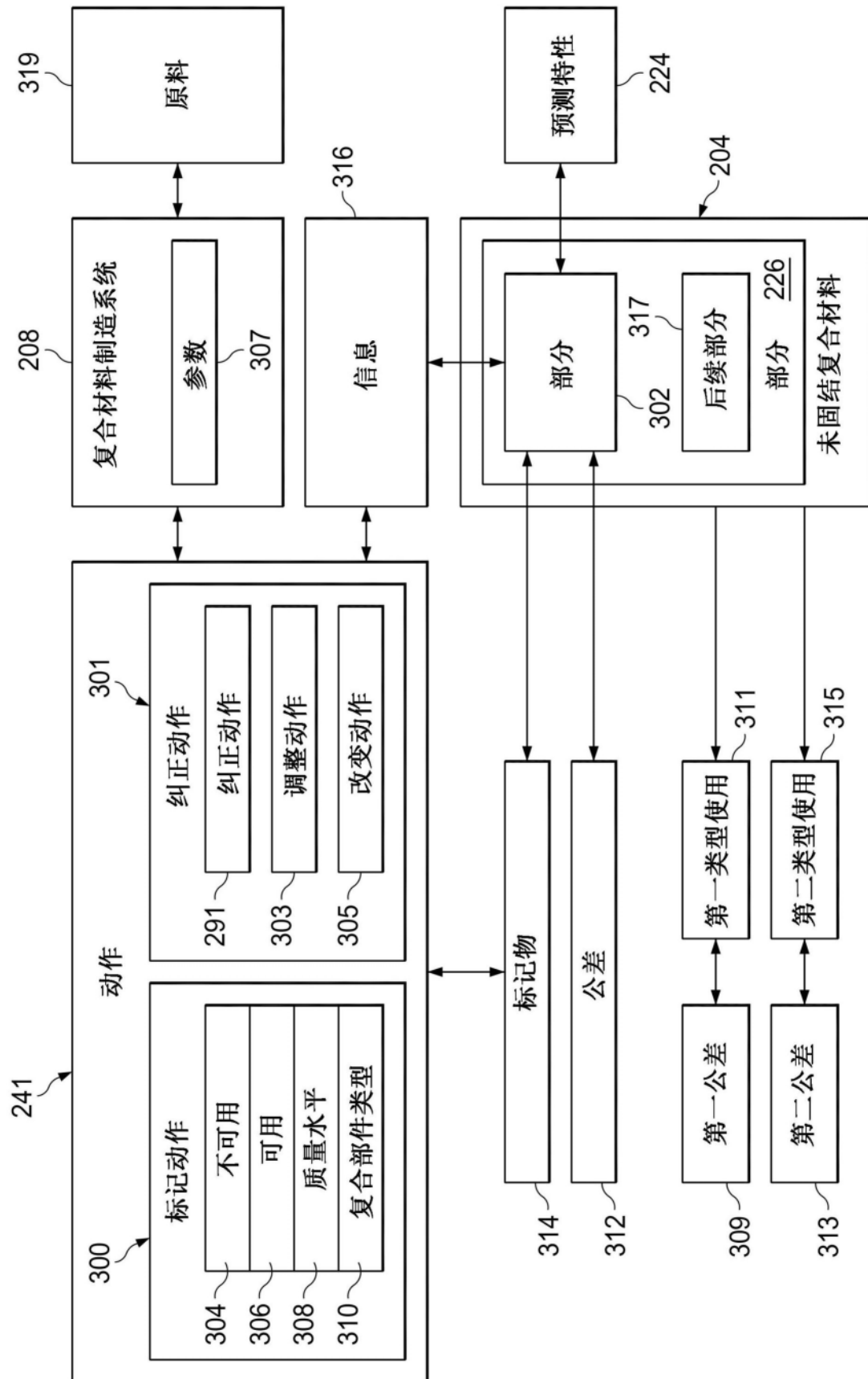


图3

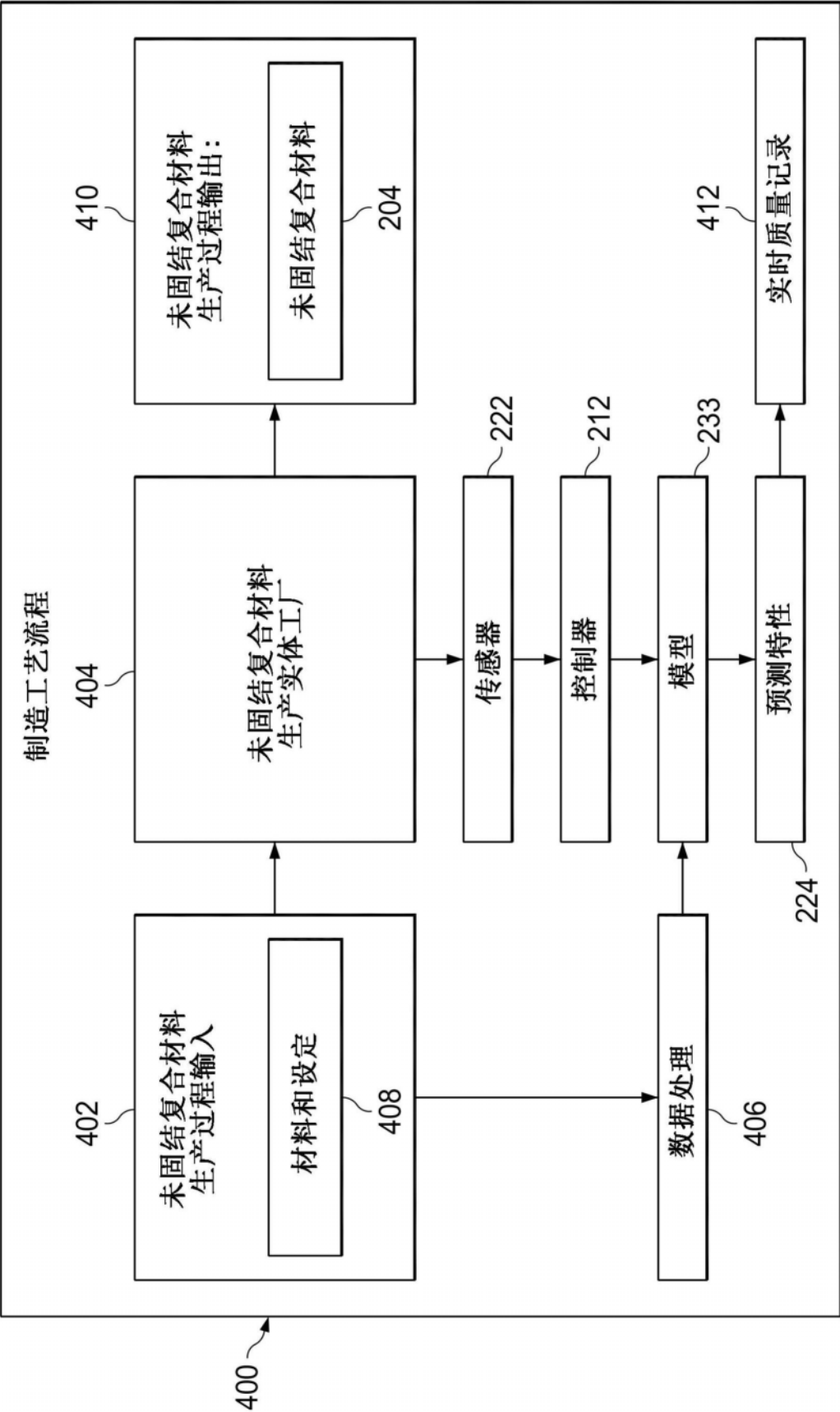


图4

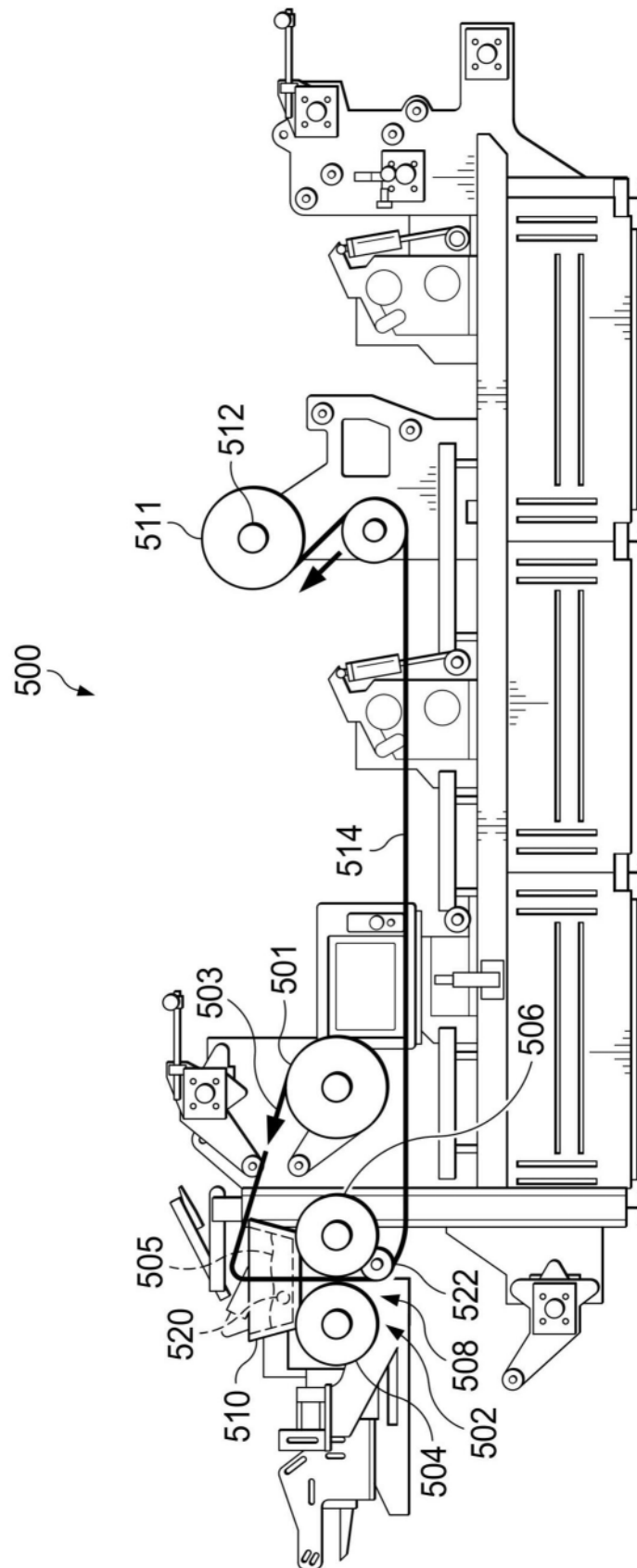


图5

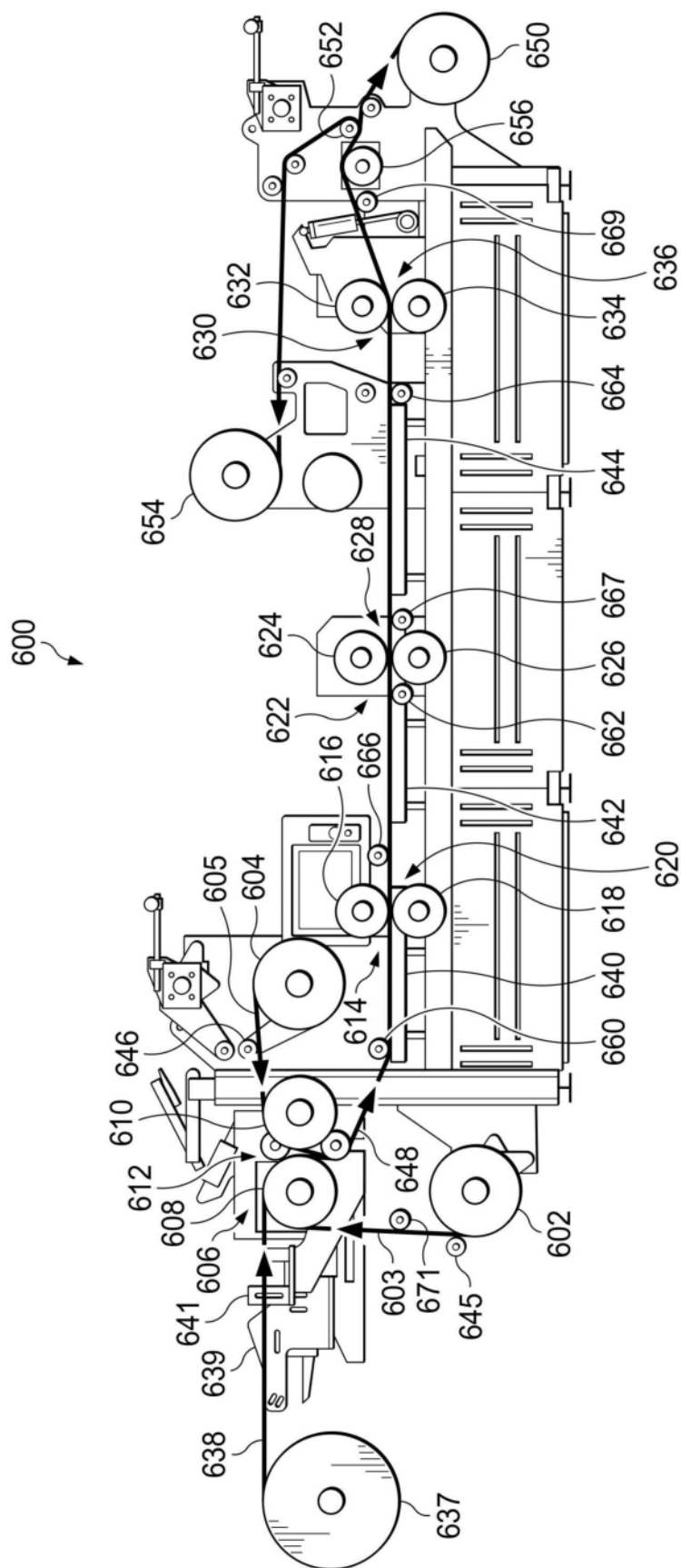


图6

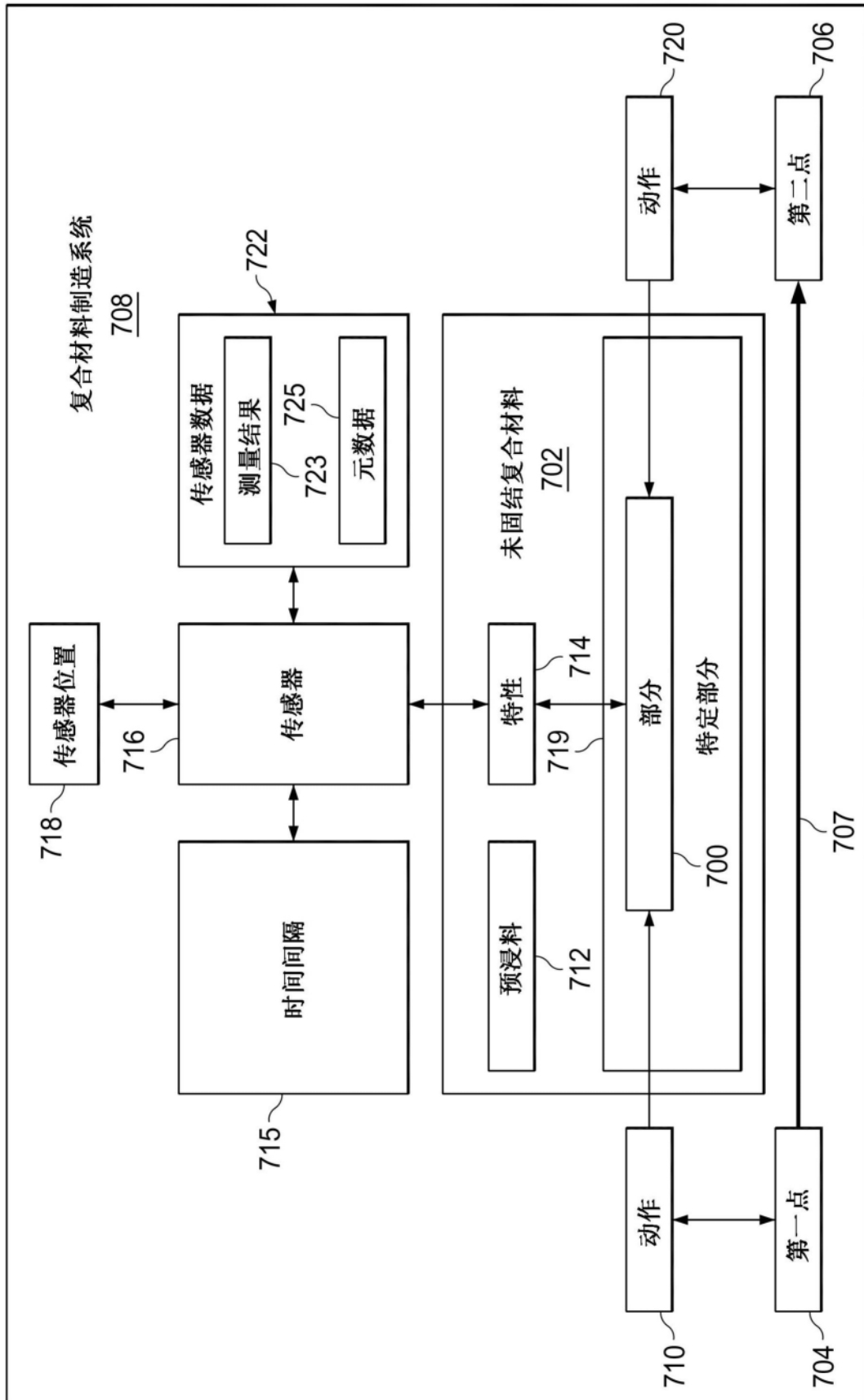


图7

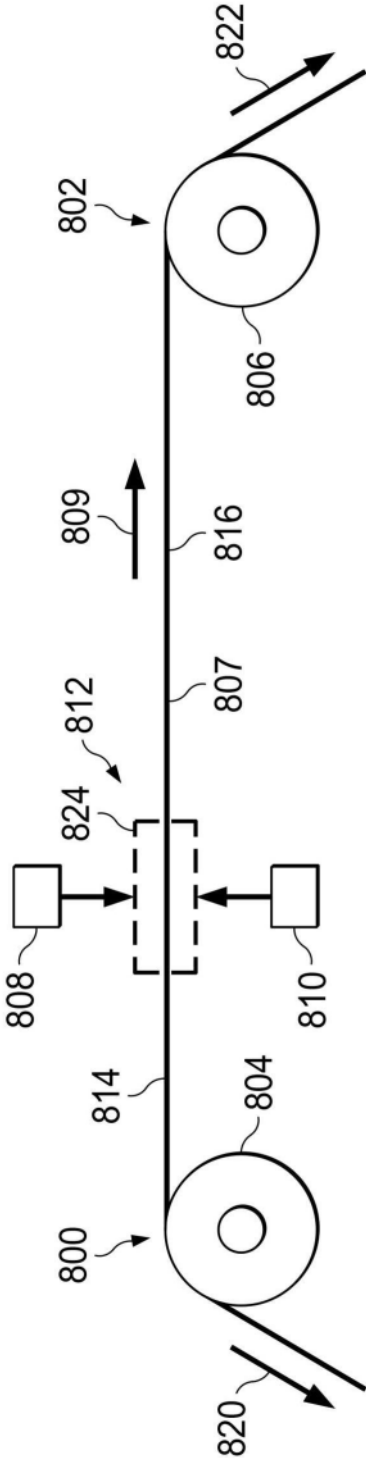


图8

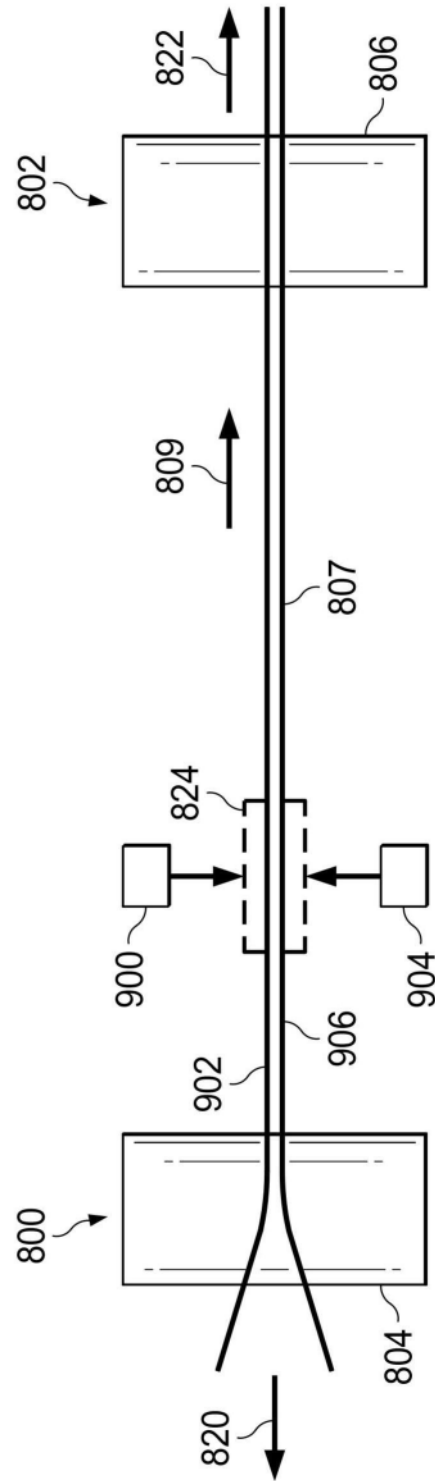


图9

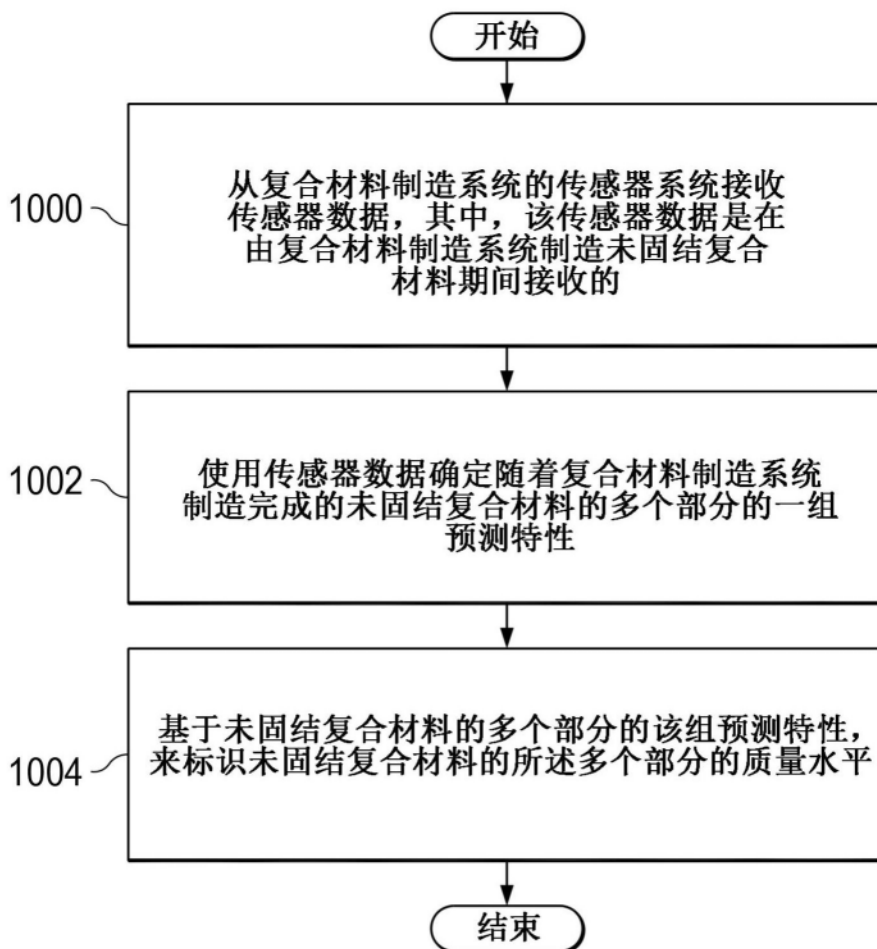


图10

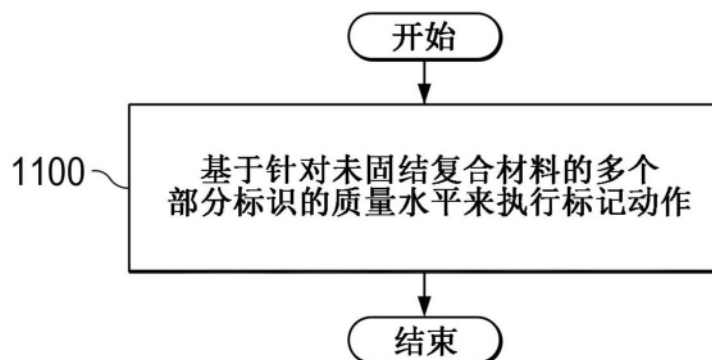


图11

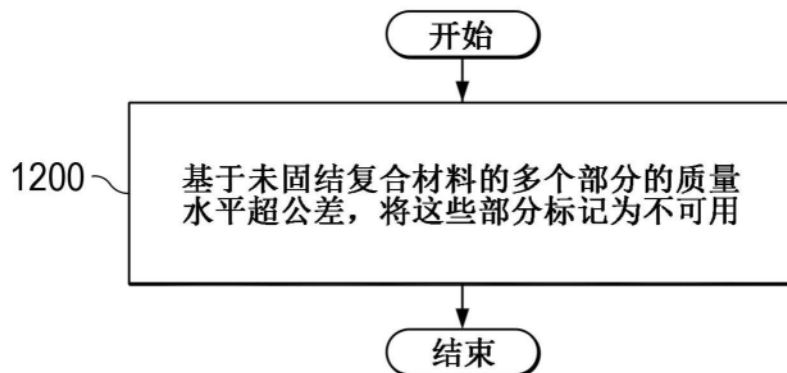


图12

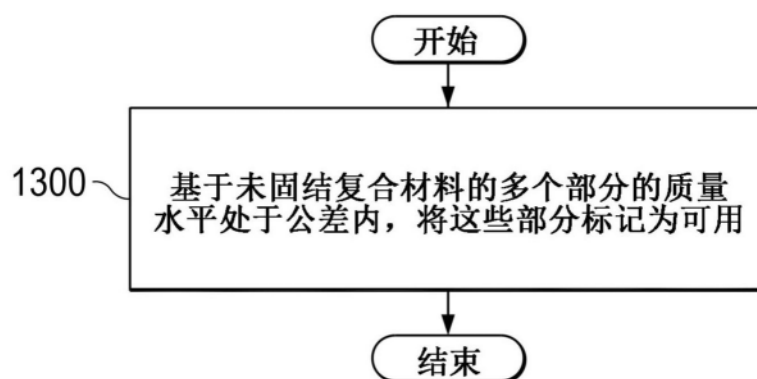


图13

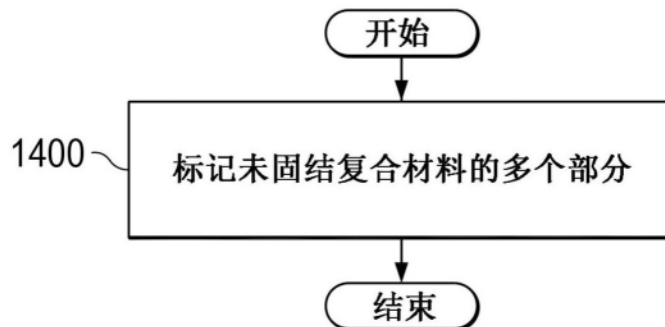


图14

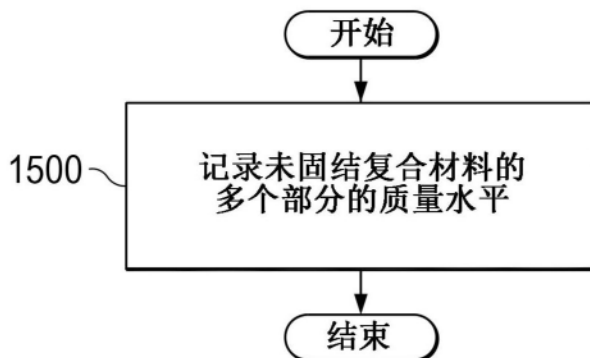


图15

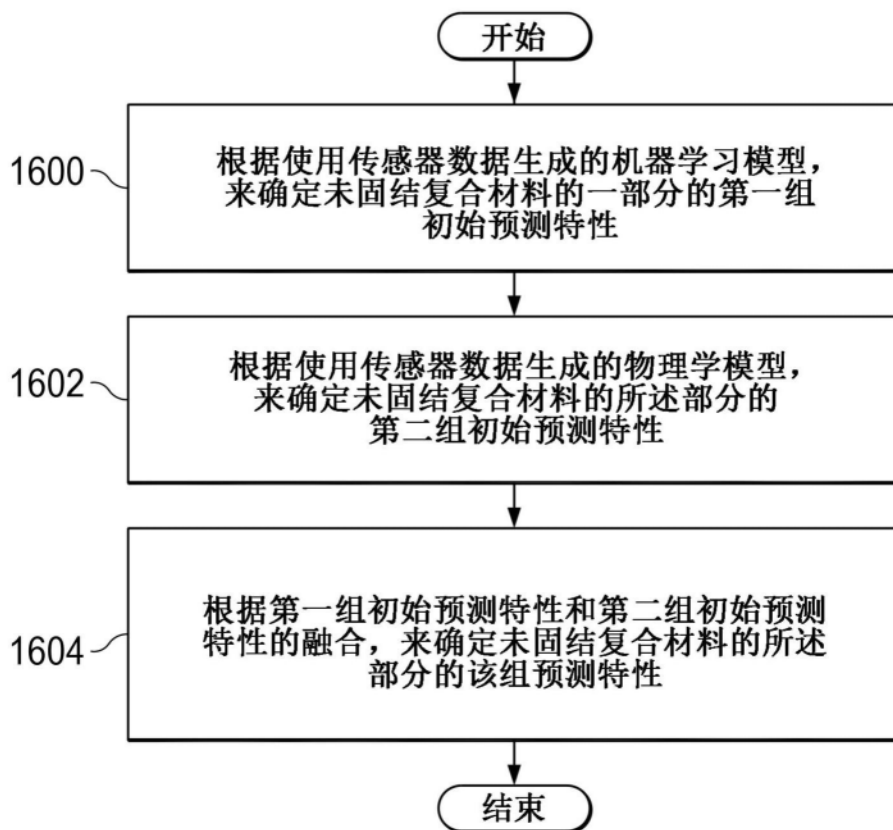


图16

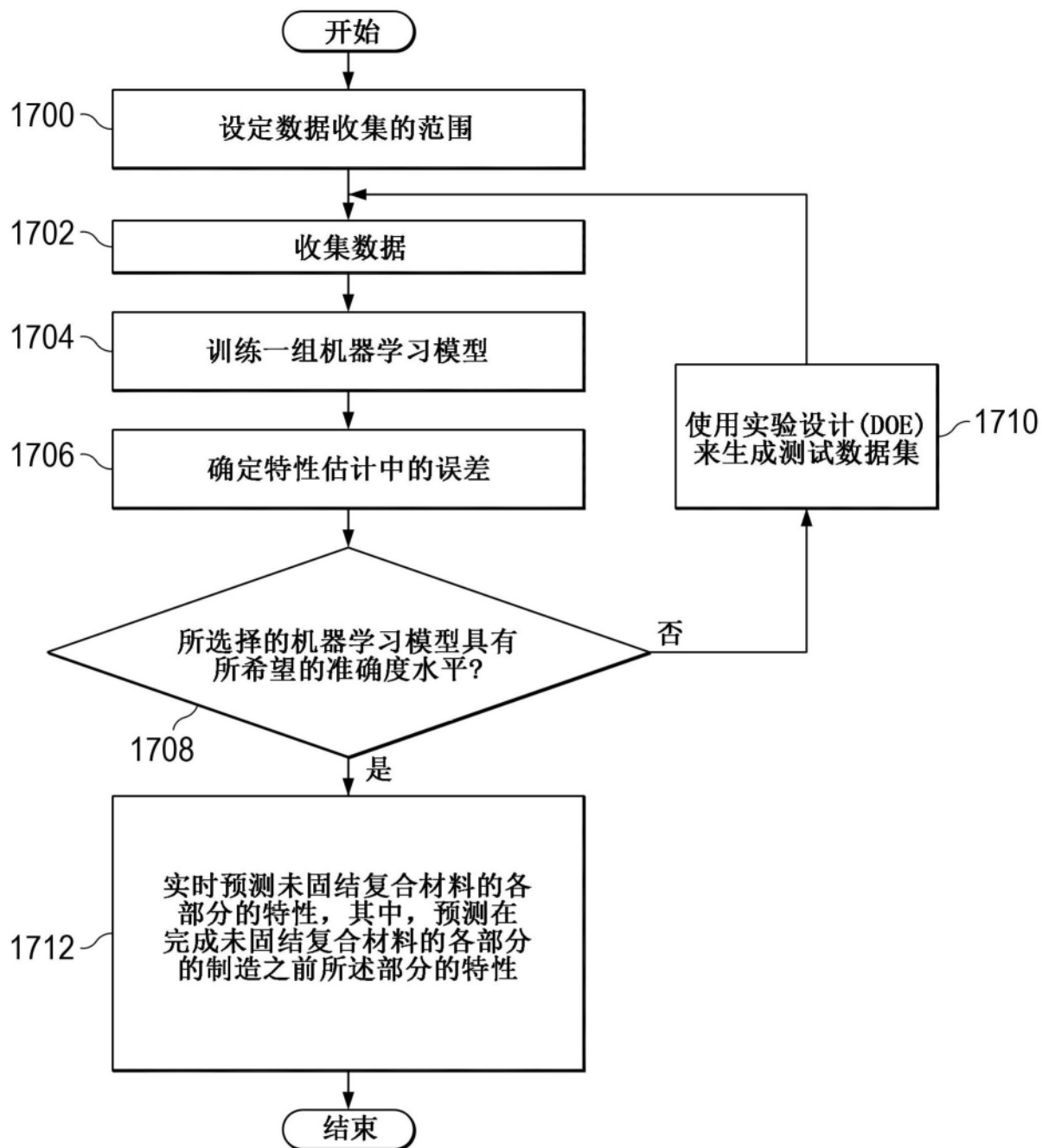


图17

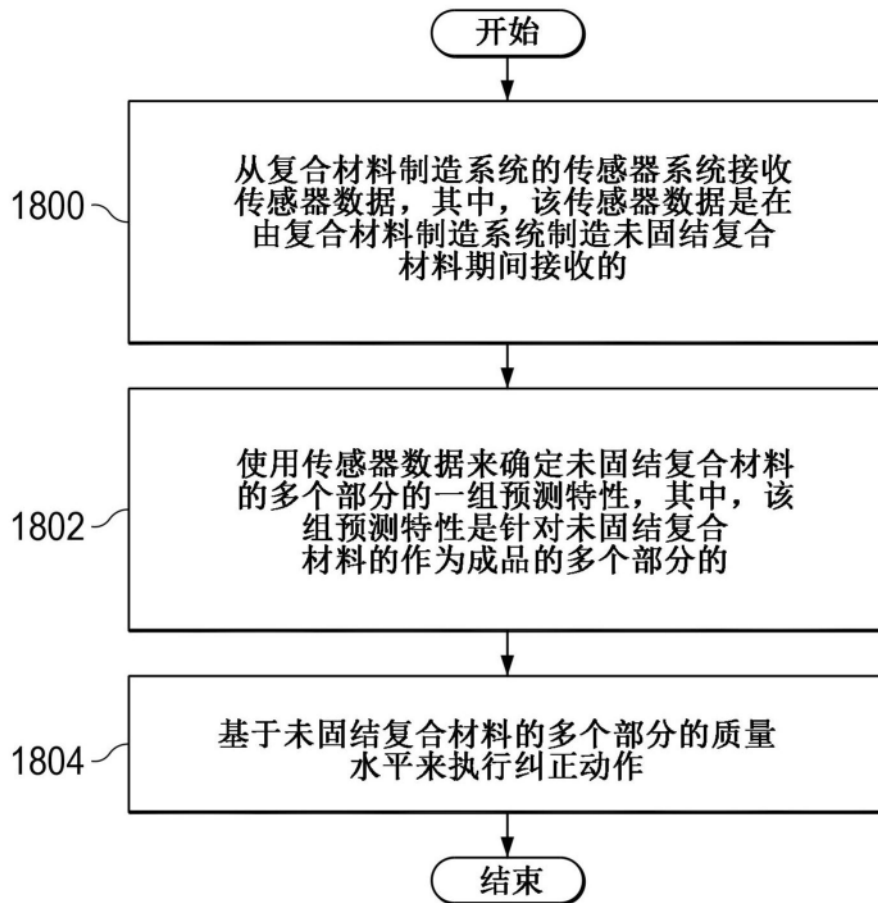


图18

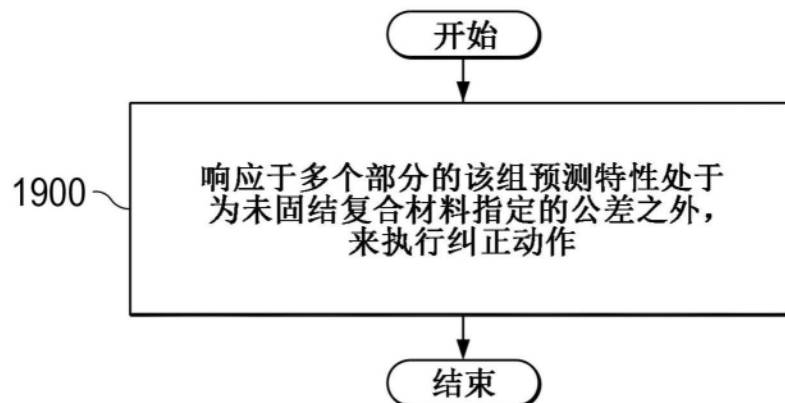


图19

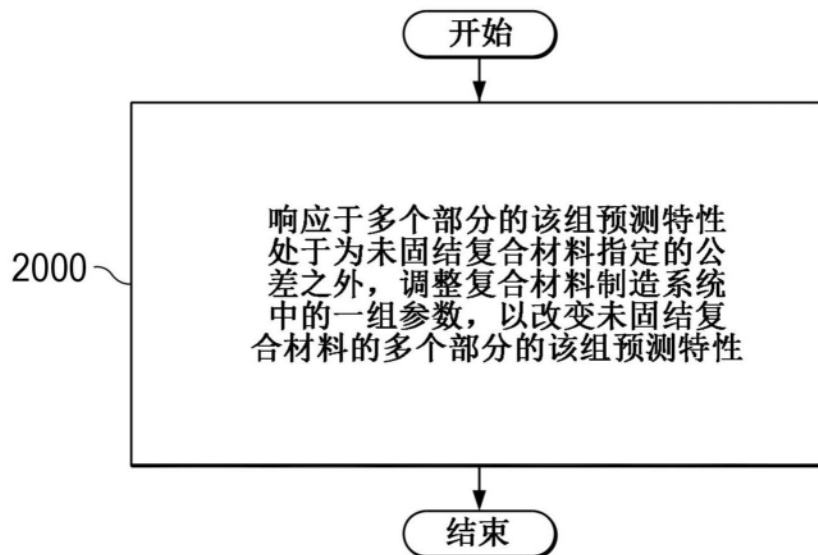


图20

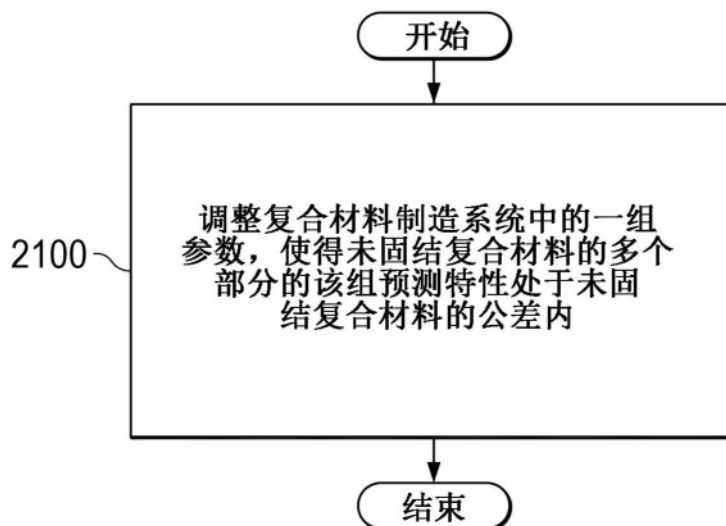


图21

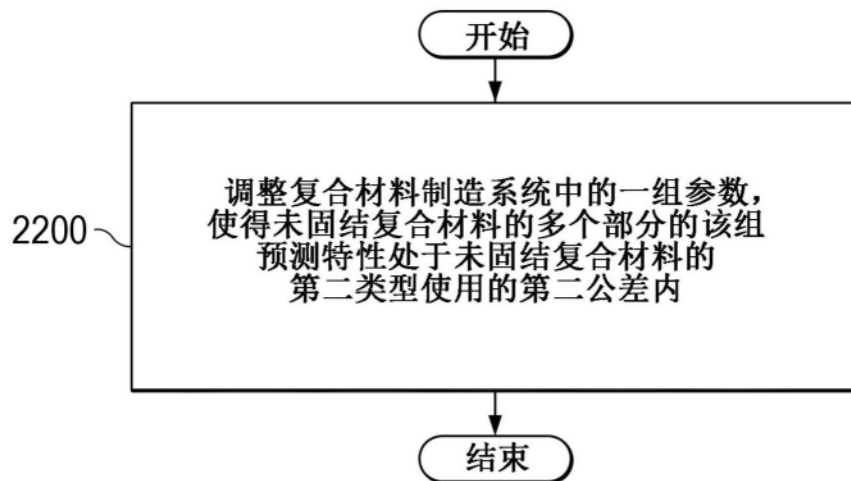


图22

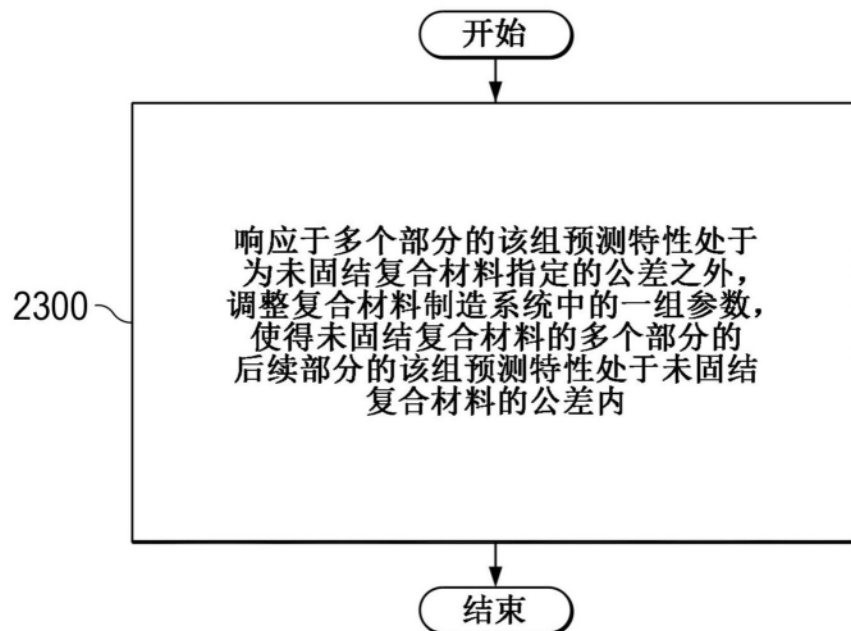


图23

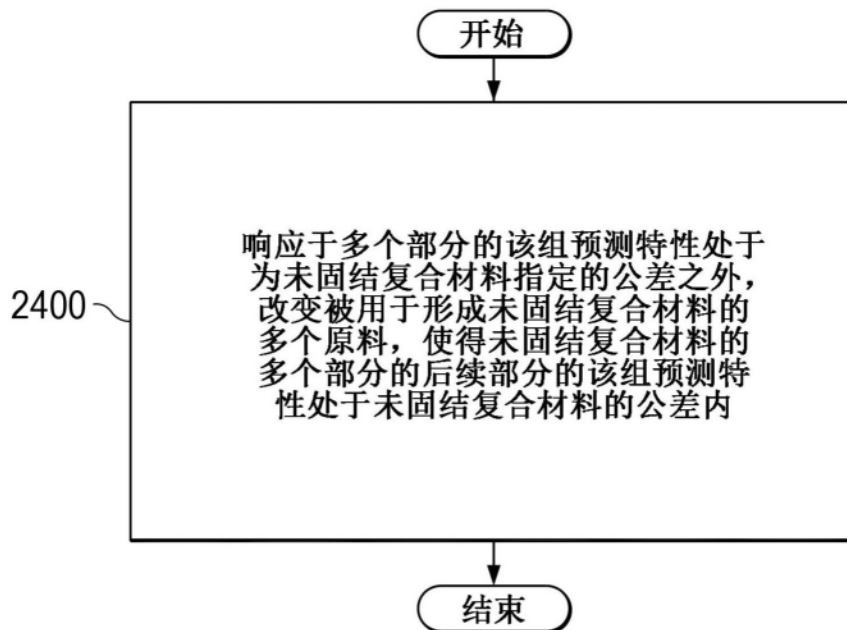


图24

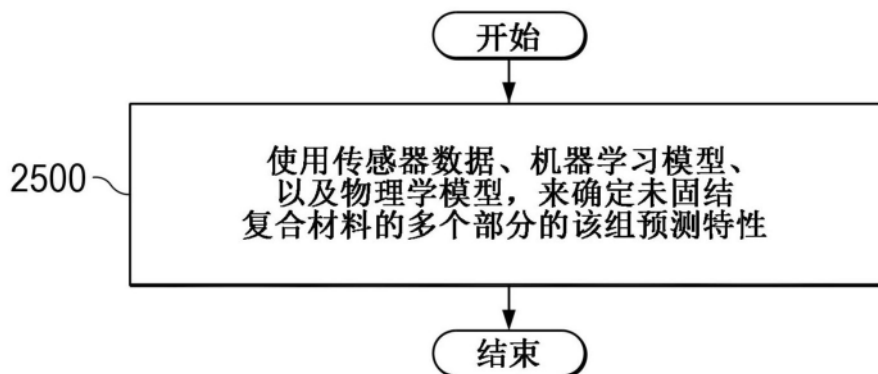


图25

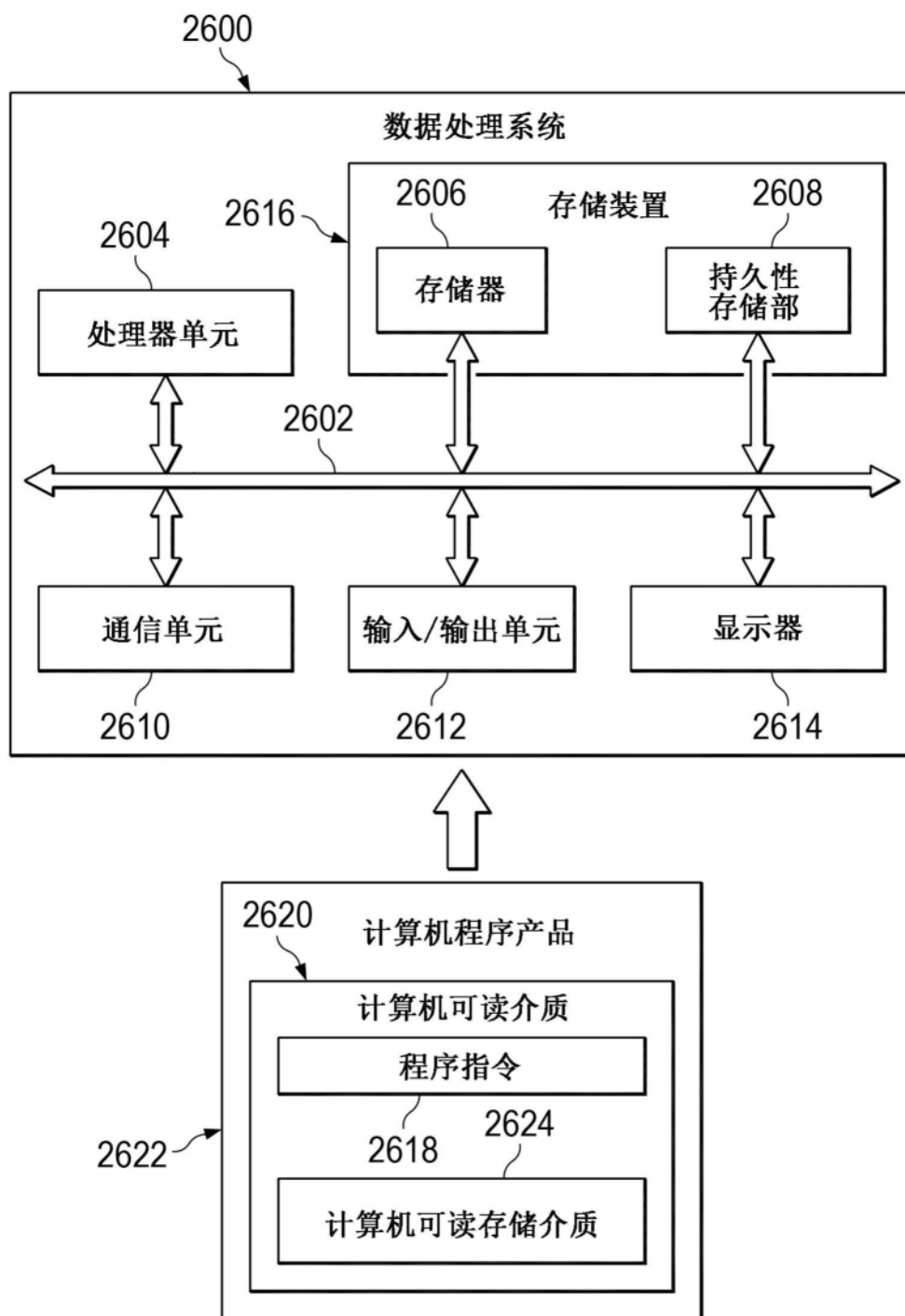


图26

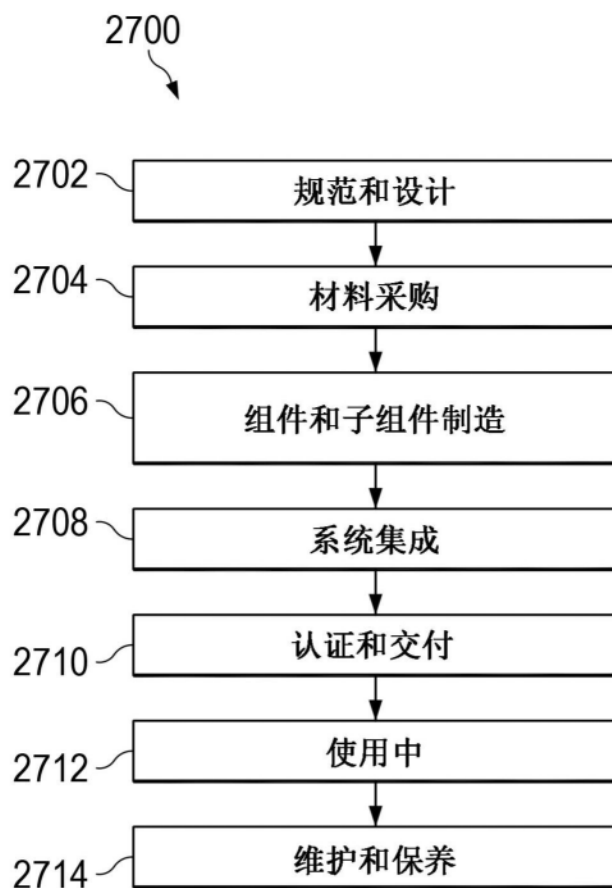


图27

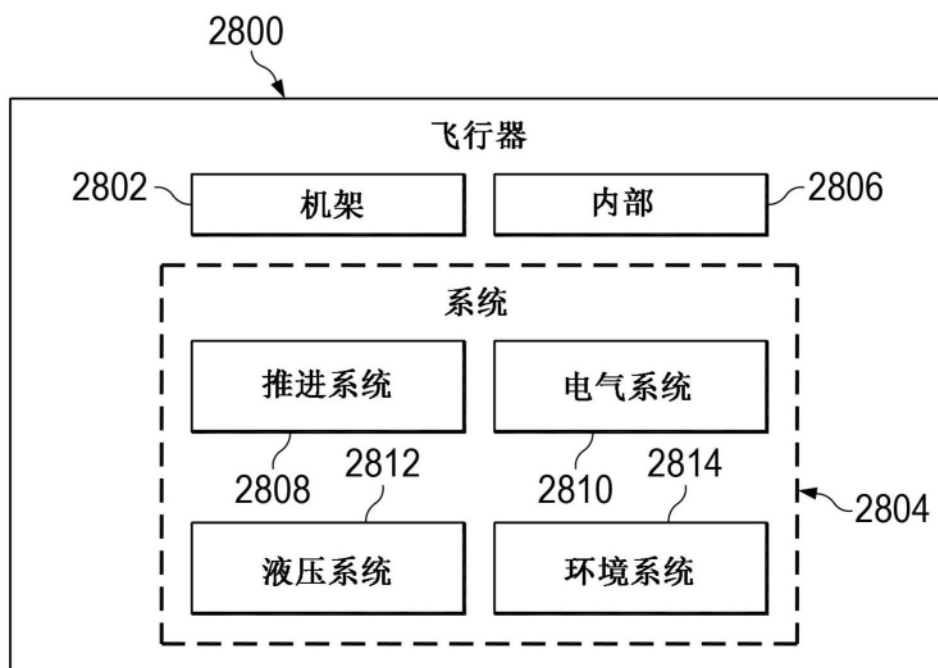


图28

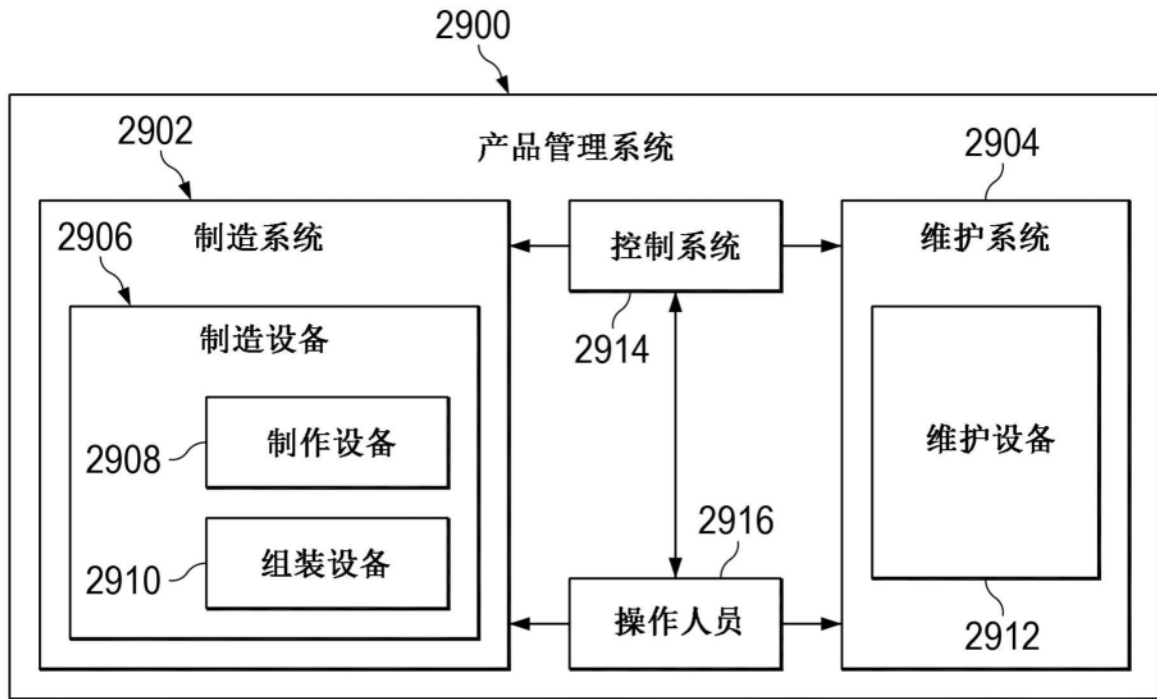


图29