



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114270358 A

(43) 申请公布日 2022. 04. 01

(21) 申请号 202080052580.2

(22) 申请日 2020.07.23

(30) 优先权数据

19188138.2 2019.07.24 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.01.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2020/070858 2020.07.23

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/013958 EN 2021.01.28

(71) 申请人 巴斯夫欧洲公司

地址 德国莱茵河畔路德维希港

(72) 发明人 S·格拉瑟尔 A·翁尼诗

(74) 专利代理机构 北京北翔知识产权代理有限公司 11285

代理人 李星宇 郑建晖

(51) Int.Cl.

G06F 30/23 (2020.01)

G06F 30/10 (2020.01)

G06T 17/20 (2006.01)

B29C 45/00 (2006.01)

B29C 45/76 (2006.01)

权利要求书2页 说明书20页 附图8页

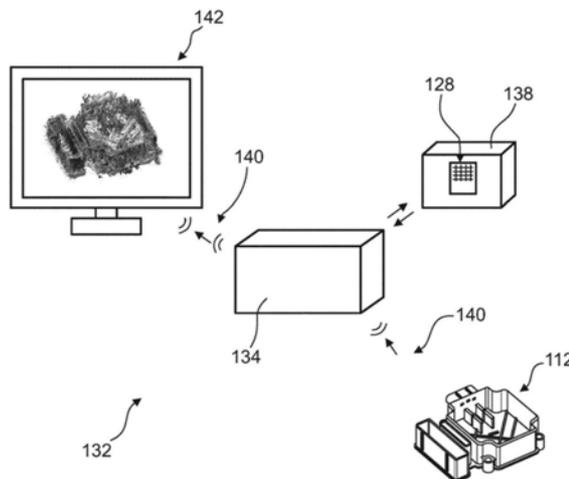
(54) 发明名称

用于模拟模具腔的填充工艺的计算机实施方法

(57) 摘要

公开了一种计算机实施方法、一种被配置成执行该计算机实施方法的计算机系统(132)、一种包括指令的计算机程序以及一种用在该方法中使用的数据库(128),当由计算机或计算机系统(132)执行该程序时,所述指令使所述计算机或计算机系统(132)执行该方法。一种用于模拟使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔(112)的填充工艺的计算机实施方法,该方法包括:i)将所述模具腔(112)的至少一部分离散化成多个单元(116);ii)定义腔注射点(114);iii)确定每个单元(116)的垂直于最接近的腔表面(125)的表面法线方向(124);iv)确定每个单元(116)的单元坐标系,该单元坐标系由以下项定义-第一主方向(118),该第一主方向平行于流动方向(120),-第三主方向(122),该第三主方向平行于该法线方向(124),以及-第二主方向(126),该第二主方向垂直于该第一主方向(118)和该第三主

方向(122);以及v)确定每个单元(116)的模具流的流动方向(120)。



1. 一种用于模拟使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔 (112) 的填充工艺的计算机实施方法, 所述方法包括:

- i) 将所述模具腔 (112) 的至少一部分离散化成多个单元 (116);
- ii) 定义腔注射点 (114);
- iii) 确定每个单元 (116) 的垂直于最接近的腔表面 (125) 的表面法线方向 (124);
- iv) 确定每个单元 (116) 的单元坐标系, 所述单元坐标系由以下项定义
  - 第一主方向 (118), 所述第一主方向 (118) 平行于流动方向 (120),
  - 第三主方向 (122), 所述第三主方向 (122) 平行于所述法线方向 (124), 以及
  - 第二主方向 (126), 所述第二主方向 (126) 垂直于所述第一主方向 (118) 和所述第三主方向 (122); 以及
- v) 确定每个单元 (116) 的模具流的所述流动方向 (120)。

2. 根据前一权利要求所述的方法, 如果所述塑料材料是纤维增强塑料材料, 则所述方法还包括:

- vi) 确定所述纤维增强塑料材料的纤维定向。

3. 根据前一权利要求所述的方法, 其中所述步骤vi) 包括:

vi.1) 提供数据库 (128), 所述数据库 (128) 包含关于用于至少一个虚拟元件 (130) 的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

4. 根据前一权利要求所述的方法, 其中所述数据库 (128) 中所包含的信息包括关于纤维定向的模拟数据或经验检索数据中的一个或两者。

5. 根据前两个权利要求中任一项所述的方法, 其中所述步骤vi) 还包括:

vi.2) 通过使用所述单元 (116) 的单元位置并且确定所述单元 (116) 在所述单元坐标系中的纤维定向, 从所述数据库 (128) 中检索关于每个单元 (116) 的纤维定向的信息。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 其中通过使用所述模具腔 (112) 和所述虚拟元件 (130) 之间的相似性考虑来执行步骤vi.2)。

7. 根据前一权利要求所述的方法, 其中所述相似性考虑基于以下假设: 通过对所述模具腔 (112) 的单元 (116) 和所述虚拟元件 (130) 使用相似定义的坐标系, 对于所述模具腔 (112) 和所述虚拟元件 (130) 内相同的相对位置, 所述模具腔 (112) 中的纤维定向与所述虚拟元件 (130) 中的纤维定向分别相同。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 其中所述方法还包括确定所述多个单元中的每个个体单元 (116) 的相邻单元 (184)。

9. 根据前一权利要求所述的方法, 其中所述方法还包括使用关于所述相邻单元 (184) 的信息来确定单元填充顺序。

10. 根据前一权利要求所述的方法, 其中所述方法包括对于每个个体单元 (116), 递归地确定来自相邻单元 (184) 的塑料材料的熔融物的流入。

11. 根据前一权利要求所述的方法, 其中所述方法包括通过考虑来自相邻单元 (184) 的流入和进入相邻单元 (184) 的流出, 递归地求解每个个体单元 (116) 的连续性方程。

12. 根据前九个权利要求中任一项所述的方法, 其中所述数据库 (128) 包含关于多种纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

13. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 其中所述方法还包括确定所述多个单元

中的每个单元的壁厚信息,具体地在执行所述步骤v)之前,更具体地在所述步骤iv)和v)之间。

14.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中执行所述方法的至少步骤i)至v)需要处理时间T,其中 $0s < T \leq 300s$ ,具体地 $0s < T \leq 120s$ ,更具体地 $0s < T \leq 60s$ ,特别地 $0s < T \leq 30s$ 。

15.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述方法还包括:

vii)输出至少一个形象(142),其中通过至少一个接口(140)或端口输出所述形象(142)。

16.一种用于验证对象(110)的设计的方法,所述方法包括:

I.提供所述对象(110)的CAD数据;

II.将所述对象(110)的CAD数据转换成用于注射成型所述对象(110)的对应模具腔(112)的CAD数据;

III.选择至少一种塑料材料以及至少一个注射点(114);

IV.通过使用根据前述权利要求中任一项所述方法来模拟所述模具腔(112)的填充工艺;以及

V.评估由所述步骤IV所提供的模拟结果。

17.根据前一权利要求所述的方法,其中在步骤V中所评估的模拟结果是通过至少一个接口(140)或端口输出的至少一个形象(142)。

18.一种包括至少一个处理器(143)的计算机系统(132),所述至少一个处理器(143)被配置为执行根据权利要求1至38中任一项所述的用于模拟填充工艺的计算机实施方法。

19.一种包括指令的计算机程序,当由计算机或计算机系统(132)执行所述程序时,所述指令使所述计算机或计算机系统(132)执行根据权利要求1至38中任一项所述的方法。

20.一种用于在根据权利要求1至38中任一项所述的方法中使用的数据库(128),所述数据库(128)包含关于用于至少一个虚拟元件(130)的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

## 用于模拟模具腔的填充工艺的计算机实施方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于模拟注射成型工艺中的模具腔的填充工艺的计算机实施方法、用于验证对象的设计的方法、计算机系统、计算机程序以及用于在计算机实施方法中使用的数据库。一般来说,这种方法、系统和设备可以用于技术设计或配置的目的,例如,在注射成型工艺的开发阶段。然而,其他应用也是可能的。

### 背景技术

[0002] 注射成型工艺是在近期的小型 and 大型制造业中常见的制造工艺。在典型的注射成型工艺中,塑料材料(诸如热塑性材料、热固性材料或弹性体材料)通常在加热工艺中被熔化,然后(例如在施加的压力下)被注射到空模子中。塑料材料随后通常在冷却或固化工艺中硬化,以保持由模子给定的形状,从而成为制成品。这允许大量复制由模子形成的产品。由于设计和配置模子的成本很高,如果在注射成型期间出现任何问题,则不易修改模子。因此,为了最小化生产成本和浪费,通常在使用常见的模拟方法之前对模子或模具腔的填充工艺进行模拟。

[0003] 已知用于模拟注射成型工艺中的模具腔的填充工艺的多种方法。然而,这种方法的执行通常非常耗时且复杂。具体地,这种方法通常需要执行复杂的计算,例如数值求解复杂的微分方程组。因此,这种方法通常需要大的存储和计算能力。

[0004] 为了减少生成一组注射模具模拟结果所需的时间和资源,作为示例,EP2612266B1描述了用于交互地模拟注射模具模型的方法、系统和装置,包括编码在计算机储存介质上的计算机程序。识别代表注射模具腔的三维CAD模型。该模具腔包括至少一个浇口位置。确定潜在的填充模式,以将材料注射到注射模具腔中。所确定的填充模式至少部分地基于建模的模具腔的几何形状和尺寸以及该至少一个浇口的位置。至少部分地基于所确定的填充模式来生成CAD模型的条状模型。该条状模型被用来执行模拟将材料注射到注射模具腔内的条状分析。

[0005] 另外,作为示例,EP1376415A2描述了一种用于对将流体注射到限定三维腔的模具中建模的方法。该方法包括:提供限定该腔的三维计算机模型;离散化基于该模型的解域;指定边界条件;以及对解域的至少一部分使用质量守恒、动量守恒和能量守恒方程来求解过程变量。离散化解的步骤可以包括通过将模型细分为由多个节点定义的多个连接的元素生成基于模型的有限元网格;以及各向异性地细化网格,使得在材料特性变化较大的第一方向上比在材料特性变化较小的第二方向上存在更多节点,所述细化包括计算从节点到边界的距离的子步骤中的至少一个;以及使用节点层编号系统。

[0006] 另外,US9919465B1描述了一种成型系统,包括:具有模具腔的模具;配置为用复合成型树脂填充模具腔的成型机,该复合成型树脂包括具有多个纤维的聚合材料;与成型机连接的计算装置;以及与该计算装置连接的控制器。该计算装置包括处理器,该处理器被配置为基于成型机的成型条件在模具腔中生成纤维的先前定向分布,基于纤维的先前定向分布生成纤维的旋转扩散分布,并且基于纤维的旋转扩散分布生成更新的纤维定向分布。该

控制器被配置为控制成型机以将复合成型树脂注射到模具腔的至少一部分中的成型条件执行实际成型。

[0007] 此外,US2008/221845A1描述了用于使用混合模型执行工艺模拟和结构分析的装置和方法。例如,该发明的方法通过将塑料部件或模具腔的表示分为两部分(可以在其中进行简化的分析的部分以及其中需要更复杂的分析的部分)来自动定义混合解域。该方法可以使用描述部件或模具的表面的任何形式的CAD数据作为输入。此外,该发明提供了通过自动创建混合解域、自动离散化该域并且求解过程变量在该解域内的分布来模拟模具腔内的流体流动的方法。

[0008] US9862133B1描述了一种使用由与成型机连接的控制模块控制的成型机制备注射成型的纤维增强复合物品的的方法。该方法执行在控制模块上执行的成型模拟,以在模拟域中生成复合成型树脂的切变率分布。随后,该方法通过考虑切变率对纤维间相互作用的影响和/或切变率对降低纤维的响应率的影响生成在控制模块上执行的纤维在复合成型树脂中的定向分布。控制器随后用成型条件控制成型机执行将复合成型树脂注射到模具腔的至少一部分中的实际成型。

[0009] 尽管最新的注射成型工艺模拟方法中具有很多优点,但仍存在一些技术挑战。因此,模拟填充工艺可能仍非常耗时和复杂,并且所需的计算能力可能仍过高。另外,除了填充模式和可制造性之外,还需要考虑所生产产品的特性。

[0010] 待解决问题

[0011] 因此,期望提供解决模拟注射成型工艺中的模具腔的填充工艺的上述技术挑战的装置和方法。具体地,应提出与本领域已知的装置、方法和系统相比进一步提高模拟注射成型工艺中的模具腔的填充工艺的性能的方法、系统、程序和数据库。

## 发明内容

[0012] 此问题通过具有独立权利要求的特征的方法、系统、程序和数据库来解决。在从属权利要求中列出了能够以孤立的方式或以任意组合的方式实现的有利实施方案。

[0013] 在下文中所使用的,术语“具有”、“包括”或“包含”或其任何任意语法变体是以非排他性的方式使用的。因此,这些术语既可以指代除了由这些术语引入的特征外在此背景下所描述的实体中不存在其他特征的情况,也可以指代存在一个或多个其他特征的情况。作为示例,表述“A具有B”、“A包括B”和“A包含B”既可以指代除了B之外A中没有其他元素存在的情况(即A单独地并且排他地由B组成的情况),也可以指代除了B之外实体A中存在一个或多个其他元素(诸如元素C、元素C和D甚至更多元素)的情况。

[0014] 另外,应注意,术语“至少一个”、“一个或多个”或类似的表述指示特征或元素可能存在一次或一次以上,通常在将引入相应的特征或元素时仅使用一次。在下文中,在大多数情况下,当提到相应的特征或元素时,将不再重复表述“至少一个”或“一个或多个”的表述,尽管事实上相应的特征或元素可能存在一次或一次以上。

[0015] 另外,如在下文中所使用的,术语“优选地”、“更优选地”、“特别地”、“更特别地”、“具体地”、“更具体地”或类似术语与可选特征结合使用,而不限替代的可能性。因此,通过这些术语引入的特征是可选特征并且不旨在以任何方式限制权利要求的范围。如技术人员将认识到的,本发明可以通过使用替代特征来执行。类似地,通过“在本发明的一个实施

方案中”或类似表述引入的特征旨在作为可选特征,对本发明的替代实施方案没有任何限制,对本发明的范围没有任何限制,并且对通过这种方式引入的特征与本发明的其他可选或不可选特征相结合的可能性没有任何限制。

[0016] 在本发明的第一方面,公开了一种用于模拟使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔的填充工艺的计算机实施方法。该计算机实施方法也可以被称为方法或模拟方法。该计算机实施方法包括可以以给定的顺序执行的以下步骤。然而,不同的顺序也是可能的。另外,可以执行一次或重复地执行所述步骤中的一个步骤或一个以上的步骤甚至所有步骤。另外,该方法步骤可以以在时间上重叠的方式执行甚至平行地执行。该方法还可以包括未列出的附加方法步骤。

[0017] 该计算机实施方法包括以下步骤:

[0018] i) 将该模具腔的至少一部分离散化成多个单元;

[0019] ii) 定义腔注射点;

[0020] iii) 确定每个单元的垂直于最接近的腔表面的表面法线方向;

[0021] iv) 确定每个单元的单元坐标系,所述单元坐标系由以下项定义

[0022] -第一主方向,该第一主方向平行于流动方向,

[0023] -第三主方向,该第三主方向平行于所述法线方向,以及

[0024] -第二主方向,该二主方向垂直于该第一主方向和该第三主方向;以及

[0025] v) 确定每个单元的模具流的流动方向。

[0026] 本文中所使用的术语“填充工艺”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体地可以指代,但不限于,将至少一种材料,特别是无定形材料(诸如液体或熔融材料),倒入、压入或吸入任意收集器或容器(诸如模具)的工序。因此,术语“模具腔的填充工艺”可以指代将无定形材料(诸如液体或材料的熔融物)填充至模子或造型的任意空隙中的工序。特别地,模具腔(例如模子或造型的空隙)可以被配置用于将形状或造型转移至无定形材料上。特别地,“注射成型工艺中的模具腔的填充工艺”可以通过注射(具体地通过向无定形材料施加压力)将无定形材料(诸如液体或材料的熔融物)填充至模具腔(例如模子或造型的空隙)的工序。具体地,对于无定形材料,可以使用塑料材料的熔融物。

[0027] 本文中所使用的术语“塑料材料”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,任意热塑性、热固性或弹性体材料。特别地,塑料材料可以是包括单体和/或聚合物的物质的混合物。具体地,塑料材料可以是或可以包括热塑性材料。附加地或替代地,塑料材料可以是或可以包括热固性材料。附加地或替代地,塑料材料可以包括弹性体材料。

[0028] 塑料材料可以包括例如分散在该塑料材料内的其他物质,诸如填充材料。特别地,所述其他物质例如可以是一种或多种任意纤维,诸如至少一种增强纤维。具体地,塑料材料可以是纤维增强塑料材料。作为示例,分散在塑料材料内的纤维可以是长度为L的纤维,其中 $0\text{mm} < L \leq 50\text{mm}$ ,具体地 $0\text{mm} \leq L \leq 10\text{mm}$ ,更具体地 $0.05\text{mm} \leq L \leq 1\text{mm}$ 。

[0029] 本文中所使用的术语“离散化”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,将任意预定义空间(诸如二维或三维外形)划分成有限数量的实体或子空间的过程。特

别地,模具腔的至少一部分可以被离散化成多个单元。

[0030] 本文中所使用的术语“单元”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,任意形状的实体或空间,特别是子空间。单元可以具有包括多个平坦表面的表面,其中所述多个平坦表面中的每一个平坦表面可以同时构成至少一个相邻或邻近单元的平坦表面。具体地,单元可以具有四面体、立方体或八面体的形状或外形。具有弯曲边缘的单元外形也是可能的。作为示例,多个单元中的所有单元可以在单元的至少一个特性上彼此相等,诸如单元的体积、外形或形状。因此,作为示例,模具腔的至少一部分可以被离散化成具有四面体外形的多个单元。

[0031] 本文中所使用的术语“腔注射点”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,在填充工艺中材料通过其进入腔的入口的位置。特别地,腔注射点可以是或可以包括模具腔的腔壁上的至少一个孔的位置,通过该孔将无定形的材料(例如塑料材料的熔融物)注射至模具腔中。具体地,材料(例如塑料材料)流动到模具腔中可以始于腔注射点。

[0032] 本文中所使用的术语“表面法线方向”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,平行于直线的路线,其中所述线与表面正交。特别地,在步骤iii)中为每个单元确定的表面法线方向可以是最接近的腔表面的表面法线方向。具体地,对于多个单元中的每一个单元,可以确定垂直于最接近的腔表面的表面法线方向。因此,对于每个单元,可以确定单元的法线方向,该法线方向垂直于最接近该单元的模具腔的表面。

[0033] 如在步骤iv)中所确定的单元坐标系可以被分配给多个单元中的每一个单元。本文中所使用的术语“单元坐标系”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,分配给单元的笛卡尔坐标系。因此,单元坐标系可以是笛卡尔坐标系,所述笛卡尔坐标系包括三个彼此成直角排列的主方向,其中第一主方向平行于流动方向,具体地平行于单元的流动方向,第三主方向平行于法线方向,具体地平行于单元的法线方向,更具体地平行于单元的最接近表面或表面单元的法线方向,而第二主方向垂直于第一主方向和第三主方向。

[0034] 本文中所使用的术语“流动方向”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,任意材料在其上正在移动或旨在移动的线或路线。特别地,流动方向可以指代例如在填充工艺中塑料材料的熔融物正在运动的局部方向。流动方向具体地可以指代例如在填充工艺中塑料材料的熔融物的平均质量流的局部方向。因此,单元坐标系的第一主方向可以平行于塑料的熔融物在单元内移动或移动穿过该单元的方向。特别地,单元坐标系的第一主方向可以平行于塑料的熔融物在(具体在填充工艺中)首次进入单元时在单元内移动或移动穿过该单元的初始方向。

[0035] 如果所述塑料材料是纤维增强塑料材料,则该方法还可以包括以下步骤:

[0036] vi) 确定所述纤维增强塑料材料的纤维定向。

[0037] 本文中所使用的术语“纤维定向”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限

于,描述纤维在空间中的空间定向的至少一个信息项。因此,作为示例,纤维定向可以包括描述纤维的纤维轴线相对于至少一个坐标系或角坐标系的定向的至少一个角度。附加地或替代地,至少一个信息项可以包括平行于纤维的纤维轴线定向的矢量,诸如单位矢量。

[0038] 特别地,步骤vi)还可以包括评估将要在注射成型工艺中使用的塑料材料,以及在注射成型工艺中使用的塑料材料是纤维增强塑料材料的情况下,确定该纤维增强塑料材料的纤维定向。

[0039] 步骤vi)还可以包括提供数据库的子步骤vi.1)。特别地,该数据库可以包含关于用于至少一个虚拟(dummy)元件的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

[0040] 本文中所使用的术语“数据库”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,信息的任意集合,诸如储存在至少一个数据储存装置中的信息。该数据库也可以包括其中储存由信息的至少一个数据储存装置。特别地,数据库可以包含信息的任意集合。作为示例,该数据库可以包括关于纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

[0041] 本文中所使用的术语“虚拟元件”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,用于分析和测试的任意对象。特别地,可以至少出于分析或确定该虚拟元件的特性的目的创建或制造虚拟元件。具体地,虚拟元件可以被配置用于提供信息,例如关于虚拟元件的至少一个特性的信息。虚拟元件例如可以包括至少一个纤维增强塑料材料,并且可以被配置用于提供关于纤维定向的信息,特别是关于虚拟元件内的纤维定向的信息。关于虚拟元件内的纤维定向的信息可以被储存在数据库中。

[0042] 该数据库中所包含的信息例如可以包括关于纤维定向的模拟数据或经验检索数据中的一个或两者。具体地,数据库中包含的信息可以包括关于纤维定向的经验检索数据,诸如通过使用至少一个虚拟元件而检索的数据。附加地或替代地,数据库可以包括关于纤维定向的模拟数据,诸如例如通过使用本领域的技术人员已知的一个或多个模拟工具(诸如基于有限元方法(FEM)模拟的模拟工具)检索的关于纤维定向的数据。

[0043] 步骤vi)还可以包括子步骤vi.2),所述子步骤vi.2)通过使用单元的单元位置并且确定该单元在单元坐标系中的纤维定向,从数据库中检索关于每个单元的纤维定向的信息的。

[0044] 数据库可被组织成使得关于每个单元的纤维定向的信息可以通过关于单元位置的信息来检索或访问。具体地,数据库可以被构造成使得关于单元位置的信息可以与关于纤维定向的信息关联。

[0045] 单元位置例如可以包括选自以下项组成的组的至少一个距离:

[0046] -单元距该模具腔的中心平面的距离;

[0047] -单元距该模具腔的中心轴线的距离;

[0048] -单元距所述最接近的腔表面的距离;以及

[0049] -单元距所述腔注射点的距离。

[0050] 所述距离可以以相对单位和/或以绝对单位给出。因此,所述距离可以以相对距离单位给出,诸如例如以单元的数量给出。作为示例,所述距离可以以距模具腔的中心平面、距模具腔的中心轴线、距最接近的腔表面和/或距腔注射点的单元数量给出。

[0051] 特别地可以通过使用该模具腔和所述虚拟元件之间的相似性考虑来执行步骤vi.2)。具体地,可以通过使用该模具腔的形状和所述虚拟元件的形状之间的相似性考虑来执行步骤vi.2)。

[0052] 本文中所使用的术语“相似性考虑”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,对至少两个主体之间的任意相似点或对应关系的关注或评估。从而例如通过相似性考虑,已知对象的特性可以被转移至未知对象上。特别地,可以考虑两个主体(诸如模具腔和虚拟元件)之间的相似性(例如相似点或对应关系)。具体地,可以通过比较至少两个主体中的每一个的至少一个特性(诸如形状、外形、膨胀(expansion)等)来考虑至少两个主体(例如模具腔和虚拟元件)之间的相似性。

[0053] 特别地,所述相似性考虑可以基于以下假设:通过对该模具腔的单元和所述虚拟元件使用相似定义的坐标系,对于该模具腔和所述虚拟元件内相同的相对位置,该模具腔中的纤维定向与所述虚拟元件中的纤维定向分别相同。

[0054] 该方法还可以包括确定所述多个单元的表面单元。特别地,该方法可以包括在执行该方法的步骤iii)之前确定所述多个单元的表面单元。具体地,该方法可以包括在该方法的步骤i)和ii)之间确定所述多个单元的表面单元。

[0055] 本文中所使用的术语“表面单元”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,位于或布置在任意对象的最外部分的任意单元。特别地,表面单元可以位于任意对象的形状或外形的外部边界。因此,作为示例,离散化模具腔的多个单元的表面单元可以例如位于模具腔的表面。具体地,离散化模具腔的多个单元的表面单元可以包括位于模具腔的表面处的任意数量的单元。

[0056] 该方法还可以包括确定所述多个单元中的每个个体单元的相邻单元。具体地,该方法可以包括在执行该方法的步骤v)之前确定所述多个单元的相邻单元。更具体地,该方法可以包括在该方法的步骤i)和iii)之间确定所述多个单元中的每个个体单元的相邻单元。

[0057] 本文中所使用的术语“相邻单元”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,任意邻接或毗连单元。特别地,多个单元中的个体单元的相邻单元可以是与该个体单元毗连定位的单元。具体地,多个单元中的每个个体单元可以具有多个相邻单元。

[0058] 该方法还可以包括使用关于所述相邻单元的信息来确定单元填充顺序。特别地,通过确定所述多个单元中的每个个体单元的相邻单元收集的关于所述相邻单元的信息可以被用于确定所述单元填充顺序。特别地,所述单元填充顺序可以始于起始单元,其中该起始单元位于腔注射点处。

[0059] 该方法还可以包括对于每个个体单元,递归地确定来自相邻单元的塑料材料的熔融物的流入。因此,特别是对于多个单元中的每个个体单元,可以递归地确定来自其相邻单元的塑料材料的熔融物的流入。作为示例,可以迭代地计算质量或质量流的平衡。

[0060] 另外,该方法可以包括通过考虑来自相邻单元的流入和进入相邻单元的流出,递归地求解每个个体单元的连续性方程。具体地,对多个单元中的每个个体单元,可以递归地

求解连续性方程,例如,通过考虑来自其相邻单元的流入和进入其相邻单元的流出。本文中所使用的术语“连续性方程”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,描述任意量的运输的方程或公式。特别地,连续性方程可以基于物理守恒原理。具体地,连续性方程可以基于质量守恒原理。连续性方程因此可以考虑质量平衡。例如,在连续性方程中,可以认为对于任何单元,塑料材料的熔融物进入邻近单元的流出等于从邻近单元到该单元的流入减去保留在该单元本身中的塑料材料的熔融物。

[0061] 该方法还可以包括确定所述多个单元中的每个单元的壁厚信息。具体地,该方法可以包括在执行步骤v)之前确定壁厚。更具体地,该方法可以包括在步骤iv)和v)之间确定壁厚。本文中所使用的术语“壁厚”,具体来说术语“壁厚信息”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,任意元件在该元件的表面的法线方向上的局部延伸。具体地,模具腔的壁厚可以是或可以包括关于该模具腔在该模具腔的表面的法线方向上的延伸的信息。附加地或替代地,模具腔的壁厚可以是或可以包括关于该模具腔在垂直于流动方向上的延伸的信息,该流动方向具体指代在模具腔的填充工艺中塑料材料的熔融物的流动方向。例如,多个单元中的一个单元的壁厚信息,具体地离散化该模具腔的多个单元中的一个单元的壁厚信息,可以是该单元在模具腔的表面的法线方向上的延伸。附加地或替代地,多个单元中的一个单元的壁厚信息,具体地离散化该模具腔的多个单元中的一个单元的壁厚信息,可以是该单元在垂直于流动方向的方向上的延伸,具体地该单元在垂直于塑料材料的熔融物的流动方向的方向上的延伸。作为示例,多个单元中的一个单元的壁厚信息可以是在模具腔的表面的法线方向上的延伸,其中该延伸被进一步定向成垂直于塑料材料的熔融物的流动方向。

[0062] 该方法还可以包括确定流动前沿前进。特别地,可以确定塑料材料的熔融物的流动前沿的进展或前进。具体地,可以确定塑料材料的熔融物在模具腔内的流动前沿的前进。本文中所使用的术语“流动前沿”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,移动或前进的流体或熔融材料的最前部。特别地,流动前沿可以是或可以包括例如在填充工艺中塑料材料的熔融物在模具腔内前进的最前部。本中文所使用的术语“流动前沿前进”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,流动前沿的进展。特别地,流动前沿前进可以是或可以包括流动前沿的向前行进的进展,诸如在填充工艺中在模具腔内移动或前进的塑料材料的熔融物的前沿的进展。

[0063] 确定流动前沿前进的步骤可以具体地包括确定流动前沿速度。作为示例,可以使用以下公式计算流动前沿速度:

$$[0064] \quad v = \frac{h^2}{12 \eta} \cdot \frac{P_1 - P_0}{l}, \text{ 并且} \quad (1)$$

$$[0065] \quad Q = v \cdot A = \text{常量}, (2)$$

[0066] 其中,h可以表示单元的壁厚。特别地,壁厚例如可以是或可以包括在模具腔的例如上侧和下侧上的对应表面单元或元件之间的距离,具体地是在表面单元的法线方向上的

距离。具体地， $\eta$ 可以表示所述塑料材料的熔融物的粘度。特别地， $p_1$ 可以表示所述塑料材料的熔融物的填充压力，并且 $p_0$ 可以表示该模具腔内的环境压力。例如， $l$ 可以表示所述流动前沿距该腔注射点的距离。 $Q$ 可以表示所述塑料材料的体积流速。 $A$ 可以表示填充的表面积，具体地用所述塑料材料填充的表面积。可以具体地假设，在流动前沿处的压力等于模具腔中的环境压力。因此，模具腔中的环境压力 $p_0$ 可以被假设成等于模具腔内在塑料材料的熔融物的流动前端处的局部压力。

[0067] 如果所确定的压力水平高于预定的压力阈值，则所述流动前沿前进可以停止。因此，在所确定的压力水平（例如计算出的压力水平）超出预定的压力阈值的情况下，流动前沿的进展就可以终止。预定的压力阈值例如可以类似于在注射成型工艺期间作用在塑料材料的熔融物上的最大压力，具体地最大可达到的压力值。

[0068] 所确定的压力水平可能取决于注射成型工艺中所使用的塑料材料的熔融物的特性以及模具的几何形状中的一个或多个。具体地，所确定的压力水平可能取决于注射成型工艺中所使用的塑料材料的熔融物的特性（例如塑料材料的熔融物的至少一个粘度）以及模具的几何形状（诸如至少一个壁厚或至少一个流道长度）中的一个或多个。

[0069] 该方法还可以包括确定用所述塑料材料的熔融物完全地填充该模具腔所需的最小压力。例如，在塑料材料是纤维增强塑料材料的情况下，该方法可以包括确定用纤维增强塑料材料完全地填充模具腔所需的最小压力。具体地，确定所需的最小压力可以是或可以包括识别适合于用塑料材料的熔融物完全地填充模具腔的最小压力值。

[0070] 数据库中包含的信息例如可以包括关于具有预定厚度的至少一个虚拟元件中的纤维定向的数据。特别地，可以在数据库中根据虚拟元件内的位置给出所述纤维定向。

[0071] 在数据库中可以根据选自以下项组成的组的至少一个距离给出关于纤维定向的信息：

[0072] -距所述虚拟元件的中心平面的距离；

[0073] -距所述虚拟元件的中心轴线的距离；

[0074] -距所述虚拟元件的最接近腔表面的距离；以及

[0075] -距所述虚拟元件的注射点的距离。

[0076] 所述距离例如可以以相对单位给出。因此，所述距离可以以相对距离单位给出，诸如例如以单元的数量给出。作为示例，所述距离可以以距虚拟元件的中心平面、距虚拟元件的中心轴线、距虚拟元件的最接近腔表面和/或距虚拟元件的注射点的单元数量给出。

[0077] 关于纤维定向的信息可以具体地包含纤维定向的方向和纤维定向的角度中的至少一个。特别地，关于纤维定向的信息可以包含纤维定向的方向以及纤维定向的角度（具体地在每个主方向上的纤维定向的角度）中的一个或多个。

[0078] 另外，关于纤维定向的信息可以包含虚拟元件的虚拟坐标系中的纤维定向的方向。作为示例，虚拟坐标系可以由以下项定义：

[0079] -第一主方向，该第一主方向平行于所述虚拟元件中的流动方向，具体地平行于所述虚拟元件的中心轴线；

[0080] -第三主方向，该第三主方向垂直于所述虚拟元件的表面，具体地垂直于板状虚拟元件的表面或垂直于所述板状虚拟元件的延伸平面；以及

[0081] -第二主方向，该第二主方向垂直于该第一主方向和该第三主方向。

[0082] 所述至少一个虚拟元件可以具体地包括具有至少两个平行表面的至少一个板状元件。特别地,虚拟元件的至少一部分可以具有平坦的形状,例如板状或片状,诸如平坦的矩形形状。具体地,所述板状元件可以具有宽度超过厚度的矩形横截面。特别地,所述板状元件可以具有宽度超过厚度至少两倍的矩形横截面。更具体地,所述板状元件可以具有宽度超过厚度至少三倍或四倍的矩形横截面。

[0083] 该数据库可以具体包含关于多种增强塑料材料的纤维定向的信息。因此,该数据库可以包含关于至少两种,优选地两种以上的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。另外,该数据库可以包含关于用于相同虚拟元件的多种纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

[0084] 该方法还可以包括确定所述多个单元的焊接线单元,其中在每个焊接线单元中至少两个流动前沿相遇。

[0085] 例如可以从所述方法的步骤vi.1)中所提供的数据库中检索关于在所述焊接线单元中的纤维定向的信息。

[0086] 该方法还可以包括确定每个单元的填充压力、流道长度、切变率、收缩率和临界厚度中的一个或多个,具体地质量累积。

[0087] 作为示例,执行该方法的至少步骤i)至v)可能需要处理时间 $T$ ,其中 $0s < T \leq 300s$ ,具体地 $0s < T \leq 120s$ ,更具体地 $0s < T \leq 60s$ ,特别地 $0s < T \leq 30s$ 。

[0088] 该方法还包括:

[0089] vii) 输出选自以下项组成的组的至少一个形象(visualization):纤维定向,具体地纤维定向的方向;纤维定向的角度,具体地在至少一个主方向上的纤维定向的角度;填充状态,具体地经过预定的时间量之后的填充状态;压力状态,具体地经过预定的时间量之后的压力状态;切变率分布,具体地经过预定的时间量之后的切变率分布状态;质量累积状态;流道长度状态;收缩率状态。

[0090] 特别地,可以通过至少一个接口或端口输出该形象。本文中所使用的术语“接口”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,形成配置用于传输信息的边界的项或元件。特别地,接口可以被配置用于从计算设备(例如计算机)传输信息,诸如将信息发送或输出到例如另一设备上。附加地或替代地,接口可以被配置用于将信息传输到(诸如用于接收信息的)计算设备上,例如计算机上。接口或端口可以具体地提供用于传输或交换信息的装置。特别地,接口可以提供数据传输连接,例如蓝牙、NFC、感应耦合等。作为示例,接口或端口可以是或可以包括网络或互联网端口、USB端口以及磁盘驱动器中的一个或多个。也可以将该形象显示在视觉显示器上。

[0091] 在本发明的另一方面中,公开了一种用于验证对象的设计的方法。该方法也可以被称为验证方法。该方法包括以下步骤,这些步骤可以以给定的顺序执行。然而,不同的顺序也是可能的。另外,可以执行一次或重复地执行所述步骤中的一个步骤或一个以上的步骤甚至所有步骤。另外,该方法步骤可以以在时间上重叠的方式执行甚至平行地执行。该方法还可以包括未列出的附加方法步骤。

[0092] 该方法包括以下步骤:

[0093] I. 提供该对象的CAD数据;

[0094] II. 将该对象的CAD数据转换成用于注射成型该对象的对应模具腔的CAD数据;

[0095] III. 选择至少一种塑料材料以及至少一个注射点;

[0096] IV. 通过使用如上面所描述的或如在下面进一步详细描述的方法,具体地模拟方法,来模拟该模具腔的填充工艺;以及

[0097] V. 评估由步骤IV所提供的模拟结果。

[0098] 本文中所使用的术语“设计”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,对象或工艺的计划 and/或规格。作为示例,设计可以包括对象的形状和/或呈现在计划中的其他技术细节。

[0099] 本文中所使用的术语“验证”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,审查、检查或测试产品中的一个或多个的过程或符合一个或多个先决条件或标准的过程,诸如以确立和记录产品、服务或系统满足监管或技术标准。具体地,对设计的验证可以包括例如通过模拟和/或测试来评估该设计是否适合于预期的用途,诸如对象的设计是否与所期望的制造工艺(诸如注射成型)兼容。

[0100] 验证方法,具体地在该方法的步骤IV中,包括使用如上面所描述的或如在下面进一步详细描述的模拟方法。因此,对于本文中所使用的大多数术语的可能定义,可以参考如在本发明的第一方面中所公开的模拟方法的描述。

[0101] 在步骤III中,可以例如通过算法自动地选择至少一种塑料材料和至少一个注射点。然而,替代地,该至少一种塑料材料可以由至少一个用户选择,具体地由使用该验证方法的用户选择。

[0102] 在步骤V中所评估的模拟结果例如可以是至少一个形象并且可以通过至少一个接口或端口输出。

[0103] 在本发明的另一方面中,公开了一种计算机系统。该计算机系统包括至少一个处理器,所述至少一个处理器被配置为执行如上面所描述的或如在下面进一步详细描述的用于模拟填充工艺的计算机实施方法,例如,模拟方法。

[0104] 本文中使用的术语“处理器”是广义术语,应赋予该术语对于本领域的普通技术人员来说普通和通用的含义,而不限于特殊或定制的含义。该术语具体可以指代,但不限于,被配置用于执行计算机或系统的基础操作的任意逻辑电路。特别地,处理器可以被配置用于处理驱动计算机或系统的基础指令。作为示例,处理器可以包括:至少一个算术逻辑单元(ALU)、至少一个浮点单元(FPU)(诸如数学协处理器或数字协处理器)、多个寄存器(具体地被配置用于向ALU提供操作数并且储存操作结果的寄存器)以及存储器(诸如L1和L2高速缓冲存储器)。特别地,处理器可以是多核处理器。具体地,处理器可以是或可以包括一个中央处理单元(CPU)。附接地或替代地,处理器可以是或可以包括一个微处理器,具体地处理器的元件因此可以被包含在一个单个集成电路(IC)芯片中。

[0105] 作为示例,计算机系统还可以包括用于储存数据库的数据储存器或存储器中的至少一个或两者。特别地,计算机系统可以包括用于储存如上面所描述的数据库的数据储存器和/或存储器。

[0106] 特别地,所述数据储存器或存储器可以选自由以下项组成的组:内部数据储存器,例如内部驱动器或存储器;外部数据储存器,例如外部驱动器、外部数据服务器(诸如云服

务器);便携式存储器,诸如存储器棒或便携式驱动器。

[0107] 此外,该计算机系统可以包括至少一个接口或端口。作为示例,所述接口或端口可以被配置用于以下中的一个或多个:接收与注射成型工艺有关的信息,其中所述信息与模具腔形状和要使用的塑料材料中的一个或两者有关;输出与模拟结果有关的信息,具体地输出至少一个形象。

[0108] 具体地,至少一个接口或端口可以选自由以下项组成的组:网络或互联网端口,USB端口,例如用于通过计算机鼠标或键盘来输入信息的USB端口;磁盘驱动器。

[0109] 在本发明的另一方面中,公开了一种计算机程序。该计算机程序包括指令,当由计算机或计算机系统执行该程序时,所述指令使所述计算机或计算机系统执行如上面所描述的或如在下面进一步详细描述模拟方法。特别地,可以通过使用计算机或计算机网络,优选地通过使用计算机程序来执行如上面指示的模拟方法的方法步骤i)至v)中的一个方法步骤或一个以上的方法步骤甚至所有方法步骤。因此,对于本文中所使用的大多数术语的可能定义,可以参考在本发明的第一方面中所公开的模拟方法的描述。

[0110] 在本发明的另一方面中,公开了一种验证计算机程序。该验证计算机程序包括指令,当由计算机或计算机系统执行该程序时,所述指令使所述计算机或计算机系统执行如上面所描述的或如在下面进一步详细描述验证方法的至少步骤II、IV和V。因此,为了使计算机或计算机系统具体地执行验证方法的步骤IV,该验证计算机程序包括如上面所描述的或如在下面进一步详细描述的计算机程序。

[0111] 具体地,计算机程序和验证计算机程序中的一个或两者可以被储存在计算机可读的数据载体和/或计算机可读的储存介质上。如在本文中所使用的,术语“计算机可读的数据载体”以及“计算机可读的储存介质”具体地可以指代非暂时性的数据储存装置,诸如其上储存有计算机可执行的指令的硬件储存介质。计算机可读的数据载体或储存介质具体地可以是或可以包括储存介质,诸如随机存取存储器(RAM)和/或只读存储器(ROM)。

[0112] 本文中公开和提出了一种计算机程序产品,该计算机程序产品具有程序代码装置,以当在计算机或计算机网络上执行程序时执行包含在本文中的实施方案中的一个或多个中的根据本发明所述的模拟方法和验证方法中的一个或两者。具体地,程序代码装置可以被储存在计算机可读的数据载体和/或计算机可读的储存介质上。

[0113] 本文中公开和提出了一种其上储存有数据结构的数据载体,所述数据载体在被加载至计算机或计算机网络(诸如计算机或计算机网络的主存储器或工作存储器)中后可以执行根据本文中所公开的实施方案中的一个或多个的模拟方法和验证方法中的一个或两者。

[0114] 本文中公开和提出了一种计算机程序产品,该计算机程序产品具有储存在机器可读的载体上的程序代码装置,以当在计算机或计算机网络上执行程序时执行根据本文中所公开的实施方案中的一个或多个的模拟方法和验证方法中的一个或两者。如本文中所使用的,计算机程序产品指代作为可交易产品的程序。该产品一般可以以任意格式存在,诸如以纸质格式存在,或存在于计算机可读的数据载体上。具体地,计算机程序产品可以分布在数据网络上。

[0115] 在本发明的另一方面中,公开了一种用于在模拟方法中使用的数据库。该数据库包含关于至少一个虚拟元件的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。具体地,该数据库可

以是在该模拟方法的步骤vi.1)中提供的数据库。因此,对于本文中所使用的大多数术语的可能定义,可以参考如在本发明的第一方面中所公开的模拟方法的描述。

[0116] 本发明的方法、系统、程序和数据库相对于本领域已知的方法、系统、程序和数据库具有许多优点。特别地,与本领域已知的设备、方法和系统相比,如本文中所公开的方法、系统、程序和数据库可以提高模拟注射成型工艺中的模具腔的填充工艺的性能。具体地,通过本发明可以显著地减少处理时间,例如运行时间。另外,与现有技术的注射成型工艺模拟方法相比,本发明需要更少的计算能力和更少的存储器需求。它还需要较少的工作量以用于准备模拟模型。

[0117] 特别地,将如用于模拟使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔的填充工艺的计算机实施方法的步骤iv)中所确定的单元坐标系分配给每个单元可以显著地减少计算时间。特别地,确定每个单元的单元坐标系可以尽可能地显著减少用于确定纤维定向张量所需的时间。

[0118] 汇总并不排除其他可能的实施方案,可以设想以下实施方案:

[0119] 实施方案1.一种用于模拟使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔的填充工艺的计算机实施方法,该方法包括:

[0120] i) 将该模具腔的至少一部分离散化成多个单元;

[0121] ii) 定义腔注射点;

[0122] iii) 确定每个单元的垂直于最接近的腔表面的表面法线方向;

[0123] iv) 确定每个单元的单元坐标系,所述单元坐标系由以下项定义

[0124] -第一主方向,该第一主方向平行于流动方向,

[0125] -第三主方向,该第三主方向平行于所述法线方向,以及

[0126] -第二主方向,该二主方向垂直于该第一主方向和该第三主方向;以及

[0127] v) 确定每个单元的模具流的流动方向。

[0128] 实施方案2.根据前一实施方案所述的方法,其中,如果所述塑料材料是纤维增强塑料材料,则该方法还包括:

[0129] vi) 确定所述纤维增强塑料材料的纤维定向。

[0130] 实施方案3.根据前一实施方案所述的方法,其中步骤vi)包括:

[0131] vi.1) 提供数据库,该数据库包含关于用于至少一个虚拟元件的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

[0132] 实施方案4.根据前一实施方案所述的方法,其中该数据库中所包含的信息包括关于纤维定向的模拟数据或经验检索数据中的一个或两者。

[0133] 实施方案5.根据前两个实施方案中的任一项所述的方法,其中步骤vi)还包括:

[0134] vi.2) 通过使用单元的单元位置并且确定该单元在所述单元坐标系中的纤维定向,从该数据库中检索关于每个单元的纤维定向的信息。

[0135] 实施方案6.根据前一实施方案所述的方法,其中该单元位置包括至少一个距离,所述至少一个距离选自自由以下项组成的组:

[0136] -单元距该模具腔的中心平面的距离;

[0137] -单元距该模具腔的中心轴线的距离;

[0138] -单元距所述最接近的腔表面的距离;以及

[0139] -单元距所述腔注射点的距离。

[0140] 实施方案7.根据前一实施方案所述的方法,其中所述距离以相对单位给出。

[0141] 实施方案8.根据前三个实施方案中的任一项所述的方法,其中通过使用该模具腔和所述虚拟元件之间,具体地该模具腔的形状和所述虚拟元件的形状之间的相似性考虑来执行步骤vi.2)。

[0142] 实施方案9.根据前一实施方案所述的方法,其中所述相似性考虑基于以下假设:通过对该模具腔的单元和所述虚拟元件使用相似定义的坐标系,对于该模具腔和所述虚拟元件内相同的相对位置,该模具腔中的纤维定向与所述虚拟元件中的纤维定向分别相同。

[0143] 实施方案10.根据前述实施方案中任一项所述的方法,其中该方法还包括确定所述多个单元的表面单元,具体地在执行步骤iii)之前,更具体地在步骤i)和ii)之间。

[0144] 实施方案11.根据前述实施方案中任一项所述的方法,其中该方法还包括确定所述多个单元中的每个个体单元的相邻单元,具体地在执行步骤v)之前,更具体地在步骤i)和iii)之间。

[0145] 实施方案12.根据前一实施方案所述的方法,其中该方法还包括使用关于所述相邻单元的信息来确定单元填充顺序。

[0146] 实施方案13.根据前一实施方案所述的方法,其中所述单元填充顺序始于起始单元,其中该起始单元位于所述腔注射点处。

[0147] 实施方案14.根据前述两个实施方案中任一项所述的方法,其中该方法包括对于每个个体单元,递归地确定来自相邻单元的塑料材料的熔融物的流入。

[0148] 实施方案15.根据前一实施方案所述的方法,其中该方法包括通过考虑来自相邻单元的流入和进入相邻单元的流出,递归地求解每个个体单元的连续性方程。

[0149] 实施方案16.根据前述实施方案中任一项所述的方法,其中该方法还包括确定所述多个单元中的每个单元的壁厚信息,具体地在执行步骤v)之前,更具体地在步骤iv)和v)之间。

[0150] 实施方案17.根据前述实施方案中任一项所述的方法,其中该方法还包括确定流动前沿前进。

[0151] 实施方案18.根据前一实施方案所述的方法,其中确定所述流动前沿前进的步骤包括确定流动前沿速度。

[0152] 实施方案19.根据前三个实施方案所述的方法,其中使用以下公式计算该流动前沿速度v:

$$[0153] \quad v = \frac{h^2}{12 \eta} \cdot \frac{p_1 - p_0}{l}, \text{ 并且}$$

$$[0154] \quad Q = v \cdot A = \text{常量},$$

[0155] 其中h表示单元的壁厚,其中 $\eta$ 表示所述塑料材料的熔融物的粘度,其中 $p_1$ 表示所述塑料材料的熔融物的填充压力,其中 $p_0$ 表示该模具腔内的环境压力,其中l表示所述流动前沿距该腔注射点的距离,其中Q表示所述塑料材料的体积流速,其中A可以表示填充的面积,具体地用所述塑料材料填充的表面积。

[0156] 实施方案20.根据前三个实施方案中任一项所述的方法,其中如果所确定的压力水平高于预定的压力阈值,则所述流动前沿前进停止。

[0157] 实施方案21.根据前一实施方案所述的方法,所确定的压力水平取决于注射成型工艺中所使用的塑料材料的熔融物的特性以及模具的几何形状中的一个或多个,所述特性具体地是所述塑料材料的熔融物的至少一个粘度,并且所述模具的几何形状具体地是至少一个壁厚或至少一个流道长度。

[0158] 实施方案22.根据前两个实施方案中任一项所述的方法,还包括确定用所述塑料材料,例如纤维增强塑料材料的熔融物完全地填充该模具腔所需的最小压力。

[0159] 实施方案23.根据前二十个实施方案中任一项所述的方法,其中该数据库中包含的信息包括关于具有预定厚度的至少一个虚拟元件中的纤维定向的数据,其中根据所述虚拟元件内的位置给出所述纤维定向。

[0160] 实施方案24.根据前二十一个实施方案中任一项所述的方法,其中在数据库中根据至少一个距离给出关于纤维定向的信息,所述至少一个距离选自由以下项组成的组:

[0161] -距所述虚拟元件的中心平面的距离;

[0162] -距所述虚拟元件的中心轴线的距离;

[0163] -距所述虚拟元件的最接近腔表面的距离;以及

[0164] -距所述虚拟元件的注射点的距离。

[0165] 实施方案25.根据前一实施方案所述的方法,其中所述距离以相对单位给出。

[0166] 实施方案26.根据前二十三个实施方案中任一项所述的方法,其中所述关于纤维定向的信息包含纤维定向的方向和纤维定向的角度中的至少一个,所述纤维定向的角度具体地是在每个主方向上的纤维定向的角度。

[0167] 实施方案27.根据前一实施方案所述的方法,其中所述关于纤维定向的信息包含所述虚拟元件的虚拟坐标系中的纤维定向的方向。

[0168] 实施方案28.根据前一实施方案所述的方法,其中所述虚拟坐标系由以下项定义:

[0169] -第一主方向,该第一主方向平行于所述虚拟元件的流动方向,具体地平行于所述虚拟元件的中心轴线;

[0170] -第三主方向,该第三主方向垂直于所述虚拟元件的表面,具体地垂直于板状虚拟元件的表面或垂直于所述板状虚拟元件的延伸平面;以及

[0171] -第二主方向,该第二主方向垂直于该第一主方向和该第三主方向。

[0172] 实施方案29.根据前二十六个实施方案中任一项所述的方法,其中所述至少一个虚拟元件包括具有至少两个平行表面的至少一个板状元件。

[0173] 实施方案30.根据前一实施方案所述的方法,其中所述板状元件具有宽度超过厚度至少两倍,更优选地至少三倍或至少四倍的矩形横截面。

[0174] 实施方案31.根据前二十八个实施方案中任一项所述的方法,其中该数据库包含关于多种纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

[0175] 实施方案32.根据前二十九个实施方案中任一项所述的方法,其中该数据库包含关于用于相同虚拟元件的多种纤维增强塑料材料的纤维定向的信息

[0176] 实施方案33.根据前述实施方案中任一项所述的方法,其中该方法还包括确定所述多个单元的焊接线单元,其中在每个焊接线单元中至少两个流动前沿相遇。

[0177] 实施方案34.根据前一权利要求且根据实施方案3所述的方法,其中从在步骤vi.1)中所提供的数据库中检索关于所述焊接线单元中的纤维定向的信息。

[0178] 实施方案35.根据前述实施方案中任一项所述的方法,其中该方法还包括确定每个单元的填充压力、流道长度、切变率、收缩率和临界厚度中的一个或多个,具体地质量累积。

[0179] 实施方案36.根据前述实施方案中任一项所述的方法,其中执行该方法的至少步骤i)至v)需要处理时间 $T$ ,其中 $0s < T \leq 300s$ ,具体地 $0s < T \leq 120s$ ,更具体地 $0s < T \leq 60s$ ,特别地 $0s < T \leq 30s$ 。

[0180] 实施方案37.根据前述实施方案中任一项所述的方法,其中该方法还包括:

[0181] vii)输出选自由以下项组成的组的至少一个形象:纤维定向,具体地纤维定向的方向;纤维定向的角度,具体地在至少一个主方向上的纤维定向的角度;填充状态,具体地经过预定的时间量之后的填充状态;压力状态,具体地经过预定的时间量之后的压力状态;切变率分布,具体地经过预定的时间量之后的切变率分布状态;质量积累状态;流道长度状态;收缩率状态。

[0182] 实施方案38.根据前一实施方案所述的方法,其中通过至少一个接口或端口输出该形象。

[0183] 实施方案39.一种用于验证对象的设计的方法,该方法包括:

[0184] I.提供该对象的CAD数据;

[0185] II.将该对象的CAD数据转换成用于注射成型该对象的对应模具腔的CAD数据;

[0186] III.选择至少一种塑料材料以及至少一个注射点;

[0187] IV.通过使用根据前述实施方案中任一项所述方法来模拟该模具腔的填充工艺;以及

[0188] V.评估由步骤IV所提供的模拟结果。

[0189] 实施方案40.根据前一实施方案所述的方法,其中在步骤V中所评估的模拟结果是通过至少一个接口或端口输出的至少一个形象。

[0190] 实施方案41.一种包括至少一个处理器的计算机系统,所述至少一个处理器被配置为执行根据实施方案1至38中任一项所述的用于模拟填充工艺的计算机实施方法。

[0191] 实施方案42.根据前一实施方案所述的计算机系统,其中该计算机系统包括用于储存数据库的数据储存器或存储器中的至少一个或两者。

[0192] 实施方案43.根据前一实施方案所述的计算机系统,其中所述数据储存器或存储器选自由以下项组成的组:内部数据储存器,例如内部驱动器或存储器;外部数据储存器,例如外部驱动器、外部数据服务器(诸如云服务器);便携式存储器,诸如存储器棒或便携式驱动器。

[0193] 实施方案44.根据前三个实施方案中任一项所述的计算机系统,其中该计算机系统包括至少一个接口或端口。

[0194] 实施方案45.根据前一实施方案所述的计算机系统,其中所述接口或端口被配置用于以下项中的一个或多个:接收与注射成型工艺有关的信息,其中所述信息与模具腔形状和要使用的塑料材料中的一个或两者有关;输出与所述模拟结果有关的信息,具体地输出至少一个形象。

[0195] 实施方案46.根据前述实施方案所述的计算机系统,其中所述至少一个接口或端口选自由以下项组成的组:网络或互联网端口,USB端口,例如用于通过计算机鼠标或键盘

来输入信息的USB端口;磁盘驱动器。

[0196] 实施方案47.一种包括指令的计算机程序,当由计算机或计算机系统执行所述程序时,所述指令使所述计算机或计算机系统执行根据实施方案1至38中任一项所述的方法。

[0197] 实施方案48.一种用于在根据实施方案1至38中任一项所述的方法中使用的数据库,该数据库包含关于至少一个虚拟元件的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。

## 附图说明

[0198] 在实施方案的后续描述中,优选地与从属权利要求结合,将更详细地公开其他可选特征和实施方案。在此,如技术人员将意识到的,可以以孤立的方式以及以任意可行组合实现相应的可选特征。优选实施方案不限制本发明的范围。在附图中示意性地描述实施方案。在此,这些图中相同的附图标记指代相同或功能相近的元件。

[0199] 在附图中:

[0200] 图1以立体图示出了对象的CAD数据的一个实施方案和用于注射成型该对象的模具腔的一个对应实施方案;

[0201] 图2示出了如图1中例示的对象的CAD数据的实施方案和模具腔的对应实施方案的部分截面视图;

[0202] 图3和图4以立体图示出了模具腔的不同实施方案;

[0203] 图5以立体图示出了数据库的一个实施方案;

[0204] 图6以立体图示出了计算机系统的一个实施方案;

[0205] 图7A和图7B示出了模拟方法的不同实施方案的流程图;

[0206] 图8示出了验证方法的一个实施方案的流程图;

[0207] 图9示出了使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔的一个实施方案的截面图;

[0208] 图10以俯视图示出了使用塑料材料的注射成型工艺中的离散化的模具腔的一个实施方案的一部分;以及

[0209] 图11以立体图示出了使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔的一个实施方案的填充工艺。

## 具体实施方式

[0210] 在图1中,以立体图例示了对象110的CAD数据的一个实施方案和用于注射成型该对象的模具腔112的一个对应实施方案。出于说明目的,部分地例示了具有成模具腔112的形状的空隙的模子113。可以在模具腔112上定义腔注射点114。图2示出了如图1中例示的模具腔112的部分截面图。模具腔112可以被离散化成多个单元116。每个单元116可以包括单元坐标系。如图1中示例性例示的,单元坐标系可以由平行于流动方向120的第一主方向118定义。另外,如图2中示例性例示的,单元坐标系可以由平行于表面法线方向124的第三主方向122定义,其中表面法线方向124可以以垂直于最接近的腔表面125的方式定向。最后,单元坐标系可以由垂直于第一主方向118和第三主方向122的第二主方向126定义。

[0211] 在图3和图4中,例示了具有腔注射点114的模具腔112的不同实施方案。特别地,每个模具腔112可以被离散成多个单元116。

[0212] 在图5中,例示了数据库128的一个实施方案。数据库128包括关于用于至少一个虚

拟元件130的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。具体地,如图5中例示的,数据库128可以包括关于用于一个以上(例如三个)虚拟元件130的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。特别地,数据库128中包含的信息可以包括关于纤维定向的模拟数据或经验检索数据中的一个或两者,具体地用于虚拟元件130的纤维增强塑料材料的纤维定向。

[0213] 图6以立体图例示了计算机系统132的一个实施方案。计算机系统132包括至少一个处理器134,所述至少一个处理器134被配置用于执行用于模拟填充工艺的计算机实施方法,例如模拟方法136。图7A和7B中例示了用于模拟填充工艺的计算机实施方法136,特别地模拟方法136的不同实施方案的流程图。计算机系统132可以包括数据储存器138,例如用于储存数据库128的数据储存器138。另外,计算机系统132可以包括至少一个接口140。接口140可以被配置用于接收与模具腔112的形状有关的信息。附加地或替代地,接口140可以被配置用于输出与模拟结果有关的信息,诸如形象142。

[0214] 用于模拟使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔112的填充工艺的计算机实施方法136,具体地模拟方法136,包括以下步骤,这些步骤可以具体地以给定的顺序执行。然而,不同的顺序也是可能的。可以完全或部分地同时执行方法步骤中的两个或多个。还可以执行一次或重复地执行方法步骤中的一个方法步骤、一个以上的方法步骤甚至所有方法步骤。方法可以包括未在本文中列出的附加方法步骤。模拟方法136的方法步骤如下:

[0215] 步骤i)(用附图标记144表示)将模具腔112的至少一部分离散化成多个单元116;

[0216] 步骤ii)(用附图标记146表示)定义腔注射点114;

[0217] 步骤iii)(用附图标记148表示)确定每个单元116的垂直于最接近的腔表面125的表面法线方向124;

[0218] 步骤iv)(用附图标记150表示)确定每个单元116的单元坐标系,所述单元坐标系由以下项定义

[0219] -第一主方向118,该第一主方向118平行于流动方向120,

[0220] -第三主方向122,该第三主方向122平行于法线方向124,以及

[0221] -第二主方向126,该二主方向126垂直于第一主方向118和第三主方向122;以及

[0222] 步骤v)(用附图标记152表示)确定每个单元116的模具流的流动方向120。

[0223] 另外,在塑料材料是纤维增强塑料材料的情况下,模拟方法136可以包括步骤vi)(用附图标记154表示),步骤vi)包括确定纤维增强塑料材料的纤维定向。

[0224] 如图7B中例示的,模拟方法136的一个实施方案可以附加地包括分支点156。分支点156可以指示条件查询,诸如在第一分支158和第二分支160之间做出决定。例如,条件查询可以利用关于塑料材料的信息,诸如关于塑料材料是否为纤维增强塑料材料的信息。第一分支158可以指示塑料材料是或包括纤维增强塑料材料,因此第一分支可以通向步骤vi)154。第二分支160可以指示塑料材料不包括纤维增强塑料材料。

[0225] 步骤vi)154可以具体地包括提供数据库128的子步骤vi.1)(用附图标记162表示),数据库128包含关于用于至少一个虚拟元件130的纤维增强塑料材料的纤维定向的信息。步骤vi)154还可以包括子步骤vi.2)(用附图标记164表示),该子步骤vi.2)通过使用单元116的单元位置并且确定单元116在单元坐标系中的纤维定向,从数据库128中检索关于每个单元116的纤维定向的信息。

[0226] 特别地,可以通过使用模具腔112和虚拟元件130之间的相似性考虑来执行子步骤

vi1) 164。具体地,可以通过使用模具腔112的形状和虚拟元件130的形状之间的相似性考虑来执行子步骤vi.2) 164。

[0227] 模拟方法136还可以包括输出至少一个形象142的步骤vii) (用附图标记166表示),其中形象142可以选自由以下项组成的组:纤维定向,具体地纤维定向的方向;纤维定向的角度,具体地在至少一个主方向上的纤维定向的角度;填充状态,具体地经过预定的时间量之后的填充状态;压力状态,具体地经过预定的时间量之后的压力状态;切变率分布,具体地经过预定的时间量之后的切变率分布状态;质量积累状态;流道长度状态;收缩率状态。

[0228] 特别地,可以在执行步骤vi) 之后执行步骤vii) 166。替代地,在塑料材料不包括纤维增强塑料材料的情况下,可以跳过模拟方法136的步骤vii) 154。因此,作为示例,可以在执行步骤v) 152之后地直接执行步骤vii) 166,如图7B中由直接通向模拟方法136的步骤vii) 166的第二分支160所例示的。

[0229] 具体地,执行模拟方法136可能需要处理时间 $T$ ,例如运行时间。作为示例,在表1中可以例示用于执行三个不同的模具腔112的填充模拟的运行时间比较。特别地,通过使用技术人员已知的注射成型工艺模拟方法,诸如通过使用FEM模拟,来执行填充模拟所需的运行时间 $T_{\text{现有技术}}$ 可以与执行如本文中提出的模拟方法136所需的运行时间 $T_{\text{模拟}}$ 进行比较。具体地,表1中例示的运行时间比较在表1的第二列中示出运行时间 $T_{\text{现有技术}}$ 并且在表1的第三列中示出运行时间 $T_{\text{模拟}}$ 。这些运行时间针对三种不同的模具腔112,特别地针对如图1、图3和图4中例示的模具腔112的三个不同的实施方案进行比较。对于所有三个模具腔112,用于执行填充模拟的网格尺寸可以是2.0mm。在表1的第四列中列出性能增益,其中性能增益可以指示在通过使用技术人员已知的注射成型工艺模拟方法执行一次填充模拟所需要的运行时间 $T_{\text{现有技术}}$ 内可以执行模拟方法136的绝对次数。

模具腔	$T_{\text{现有技术}}$	$T_{\text{模拟}}$	性能增益
“P11 饰板” (图 1 中例示的)	78 min	15 s	312 x
“埃菲尔铁塔测试件” (图 3 中例示的)	160 min	27 s	355 x
“ECU 外壳” (图 4 中例示的)	130 min	20 s	390 x

[0231] 表1:对于多种对象,FEM模拟的运行时间( $T_{\text{现有技术}}$ )与根据本发明的模拟的运行时间( $T_{\text{模拟}}$ )的比较。

[0232] 在图8中,示出了用于验证对象110的设计的方法,具体地验证方法168的一个实施方案的流程图。验证方法168包括以下步骤,这些步骤可以具体地以给定的顺序执行。然而,不同的顺序也是可能的。可以完全或部分地同时执行方法步骤中的两个或多个。还可以执行一次或重复地执行方法步骤中的一个方法步骤或一个以上的方法步骤甚至所有方法步骤。该方法可以包括在本文中未列出的附加方法步骤。验证方法168的方法步骤如下:

[0233] 步骤I.(用附图标记170表示)提供对象110的CAD数据;

[0234] 步骤II.(用附图标记172表示)将对象110的CAD数据转换成用于注射成型对象110的对应模具腔112的CAD数据;

[0235] 步骤III.(用附图标记174表示)选择至少一种塑料材料以及至少一个注射点114;

[0236] 步骤IV. (用附图标记176表示) 通过使用模拟方法136来模拟模具腔112的填充工艺;以及

[0237] 步骤V. (用附图标记178表示) 评估由步骤IV 176所提供的模拟结果。

[0238] 特别地,例如如图6中所例示的,在步骤V中所评估的模拟结果可以是通过至少一个接口140输出的至少一个形象142。

[0239] 在图9中,例示了在使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔112的一个实施方案的截面图。特别地,图9可以示出如上面所描述的公式(1)的(例如物理方程的)直观推导,公式(1)指定了塑料材料的熔融物的流动前端180的速度 $v$ 与塑料材料的熔融物的厚度 $h$ 、粘度 $\eta$ 、填充压力 $p_1$ 、环境压力 $p_0$ 以及从流动前沿180到腔注射点114的距离 $l$ 之间的关系。

[0240] 在图10中,例示了使用塑料材料的注射成型工艺中的离散化模具腔112的一个实施方案的一部分。特别地,图10可以示出填充工艺的拓扑方法,具体地塑料材料的熔融物从腔注射点114开始并且从一个单元116,具体地从起始单元182,扩散至如由图9中的箭头所指示的其相邻单元184填充模具腔112的填充工艺。

[0241] 在图11中,以立体图例示了使用塑料材料的注射成型工艺中的模具腔112的一个实施方案的填充工艺。特别地,示出了注射成型工艺中的模具腔112的四个填充阶段,其中如图11的底部的指示时间 $t$ 的前进的 $x$ 轴线所指示的,填充阶段从左至右前进。特别地,流动前沿180可以根据拓扑方法和物理方法的混合在模具腔112内前进。

[0242] 附图标记列表

[0243] 110 对象

[0244] 112 模具腔

[0245] 113 模子

[0246] 114 腔注射点

[0247] 116 单元

[0248] 118 第一主方向

[0249] 120 流动方向

[0250] 122 第三主方向

[0251] 124 法线方向

[0252] 125 腔表面

[0253] 126 第二主方向

[0254] 128 数据库

[0255] 130 虚拟元件

[0256] 132 计算机系统

[0257] 134 处理器

[0258] 136 模拟方法

[0259] 138 数据储存器

[0260] 140 接口

[0261] 142 形象

[0262] 144 步骤i)

[0263] 146 步骤ii)

---

[0264]	148	步骤iii)
[0265]	150	步骤iv)
[0266]	152	步骤v)
[0267]	154	步骤vi)
[0268]	156	分支点
[0269]	158	第一分支
[0270]	160	第二分支
[0271]	162	步骤vi.1)
[0272]	164	步骤vi.2)
[0273]	166	步骤vii)
[0274]	168	验证方法
[0275]	170	步骤I
[0276]	172	步骤II
[0277]	174	步骤III
[0278]	176	步骤IV
[0279]	178	步骤V
[0280]	180	流动前沿
[0281]	182	起始单元
[0282]	184	相邻单元
[0283]		参考文献
[0284]		EP2612266B1。

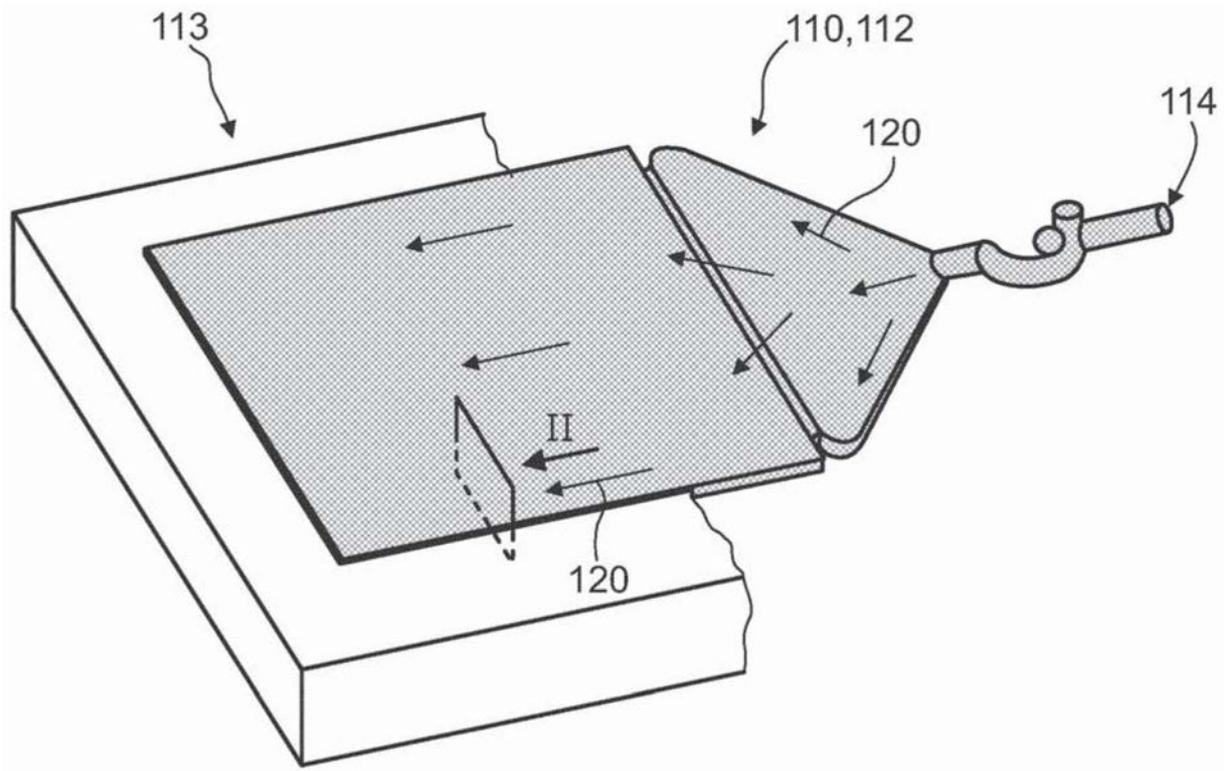


图1

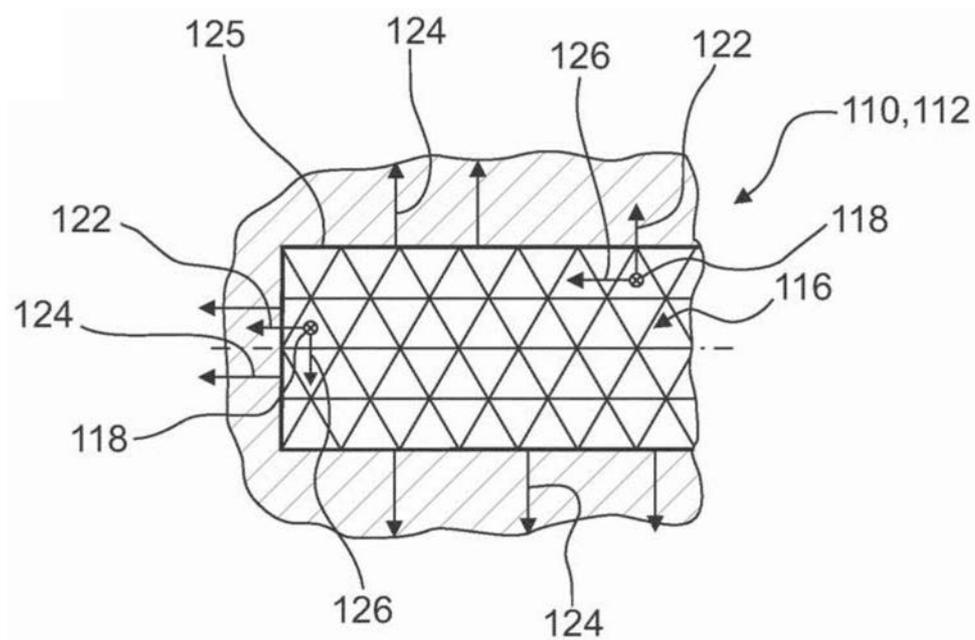


图2

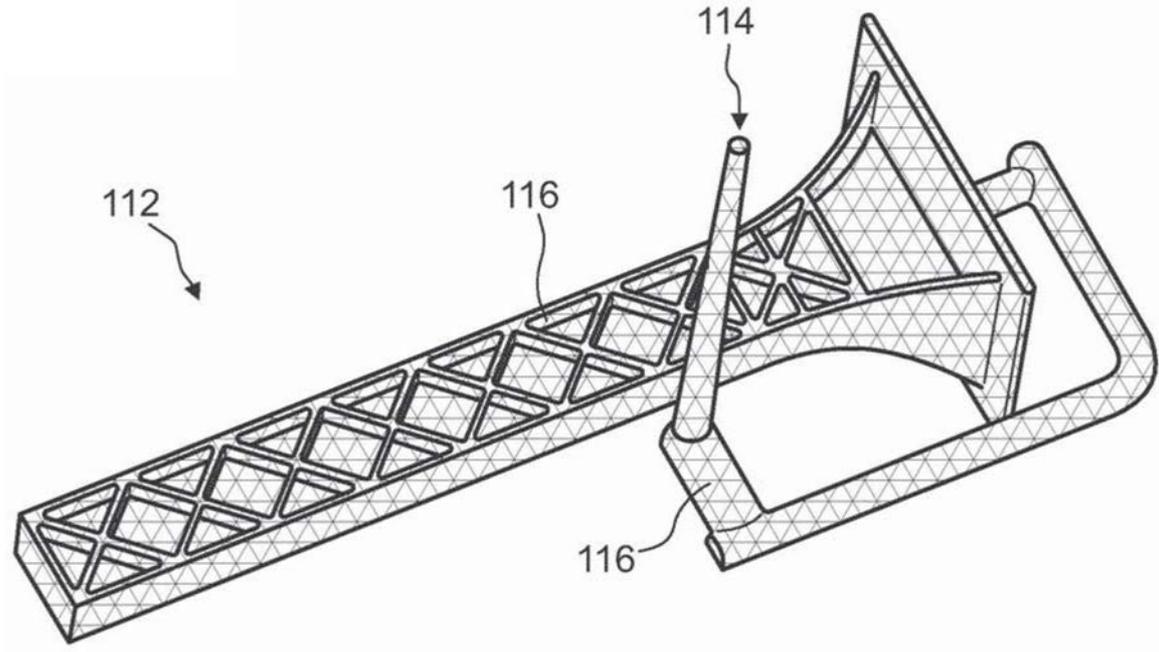


图3

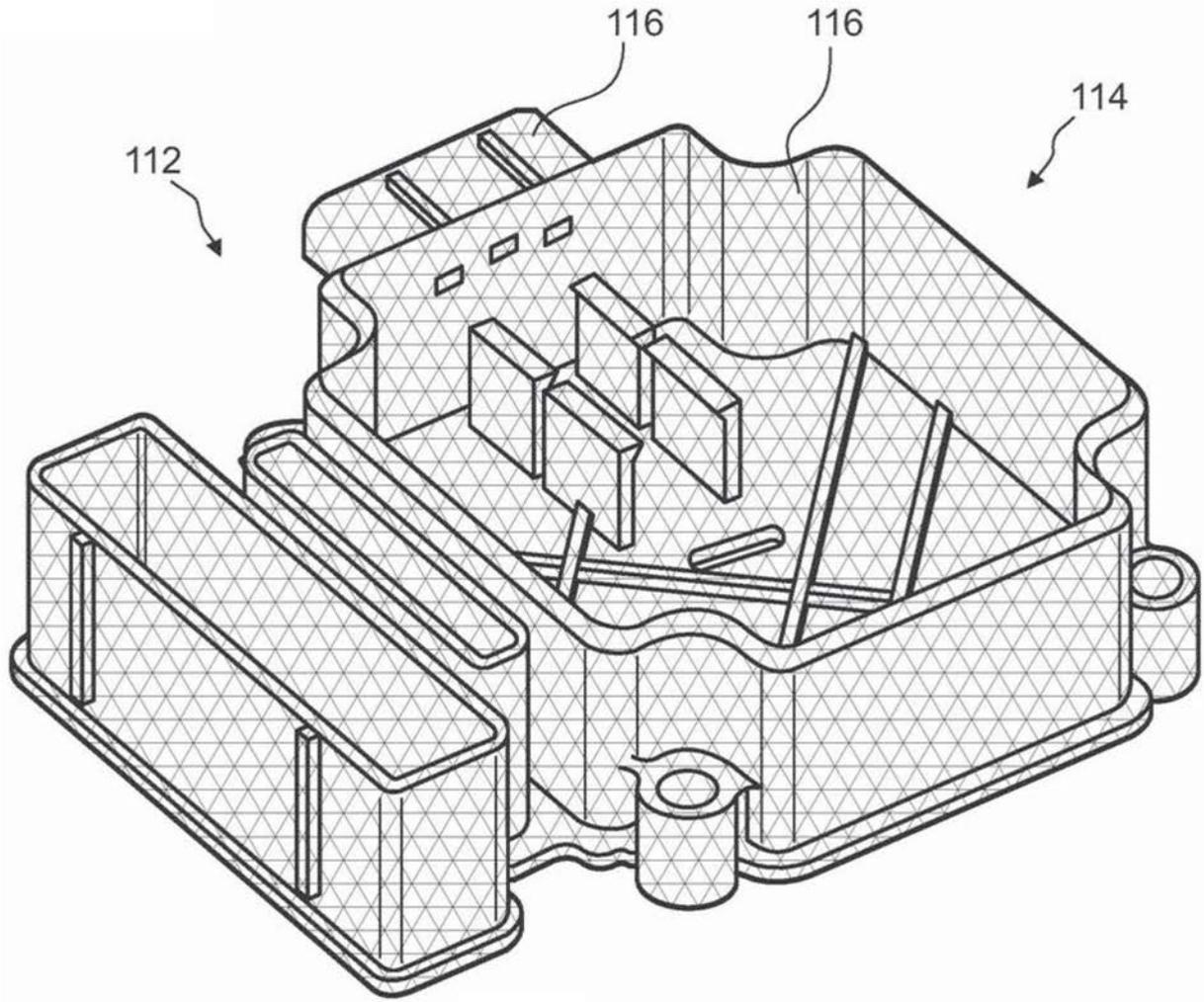


图4

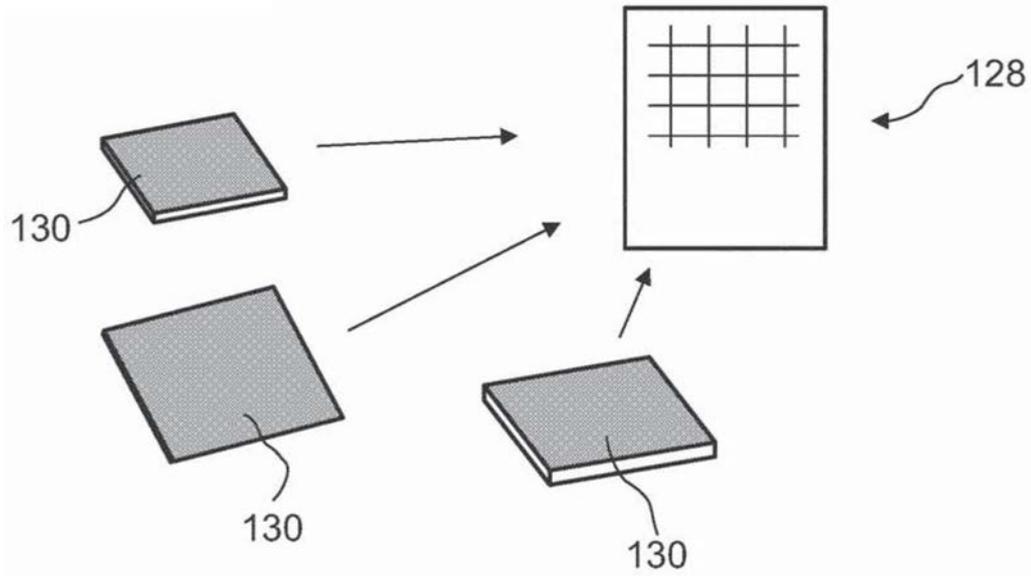


图5

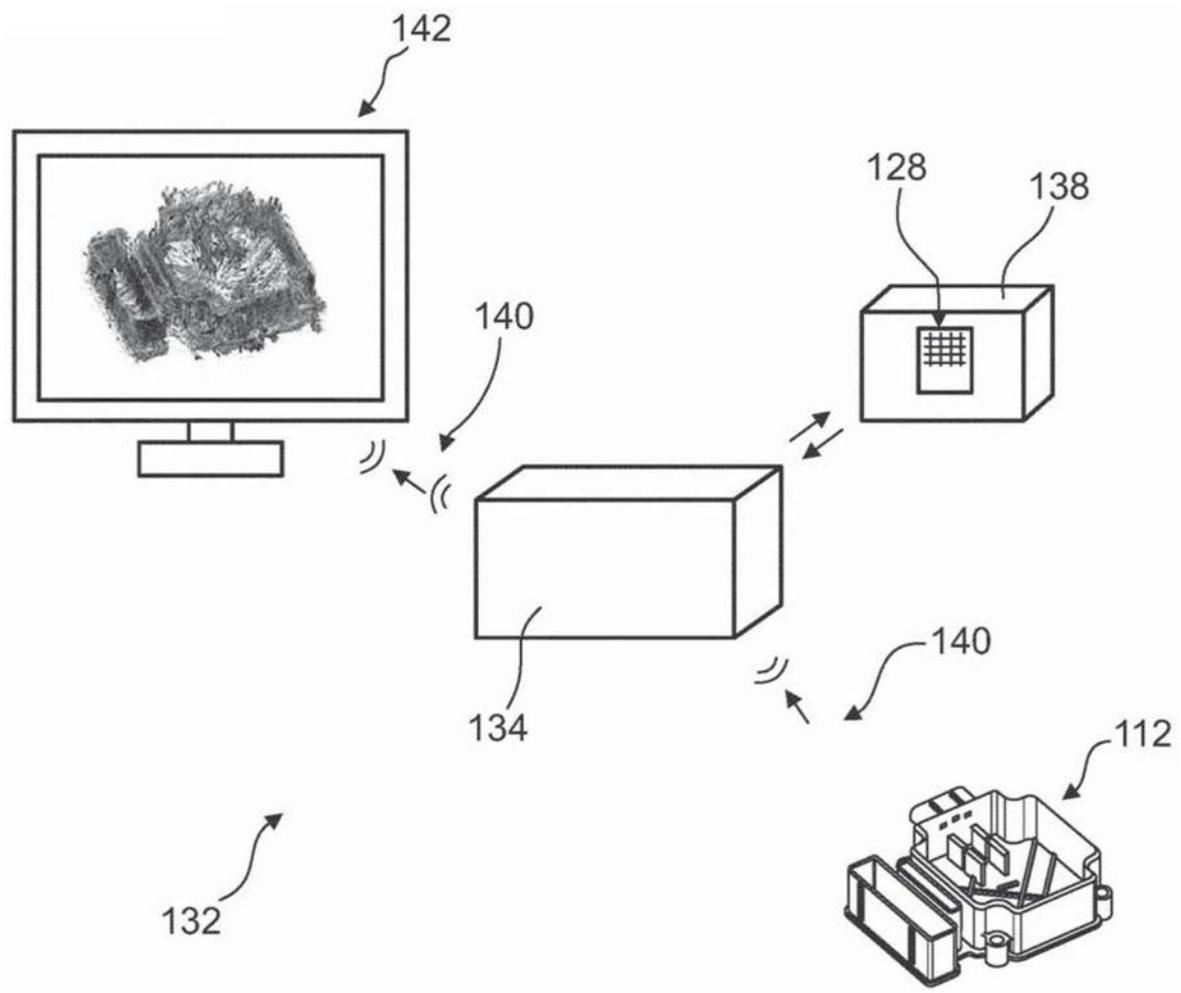


图6

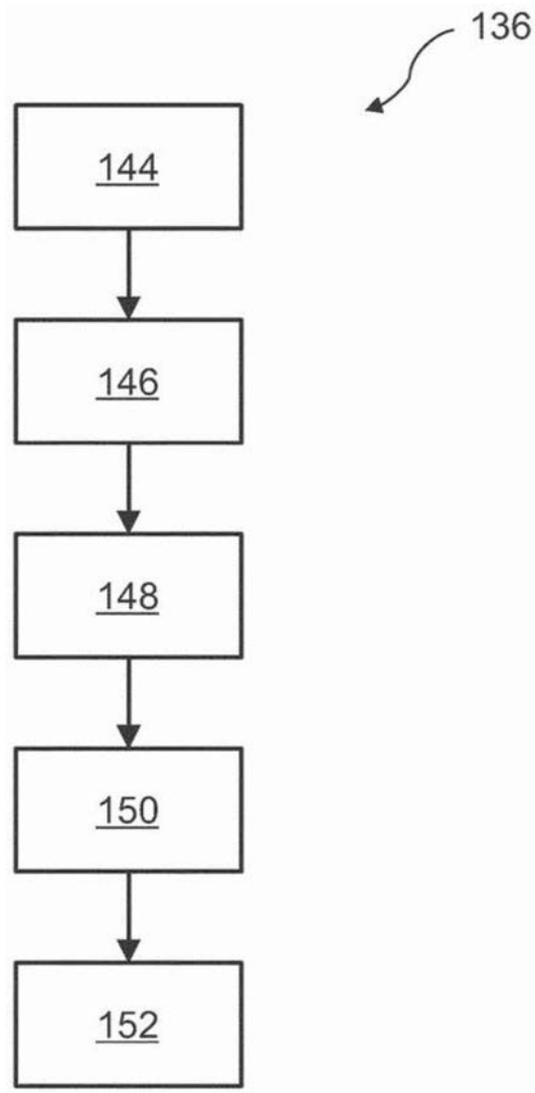


图7A

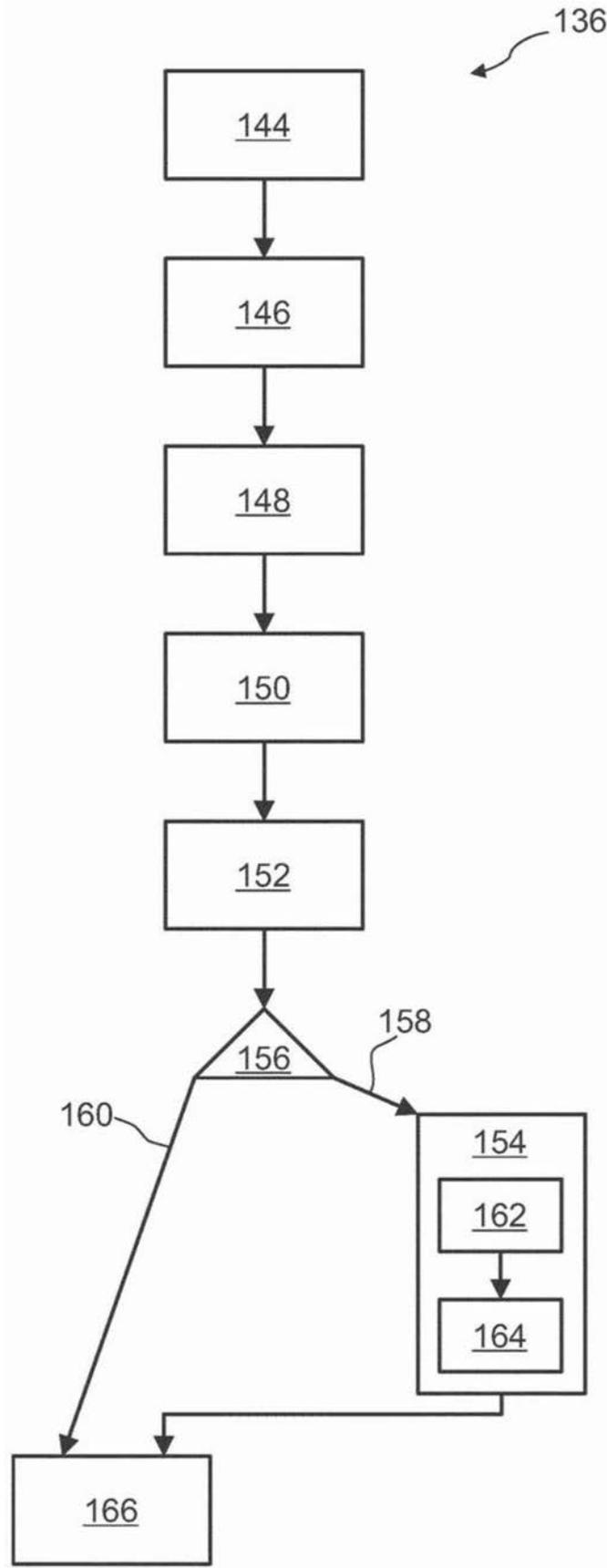


图7B

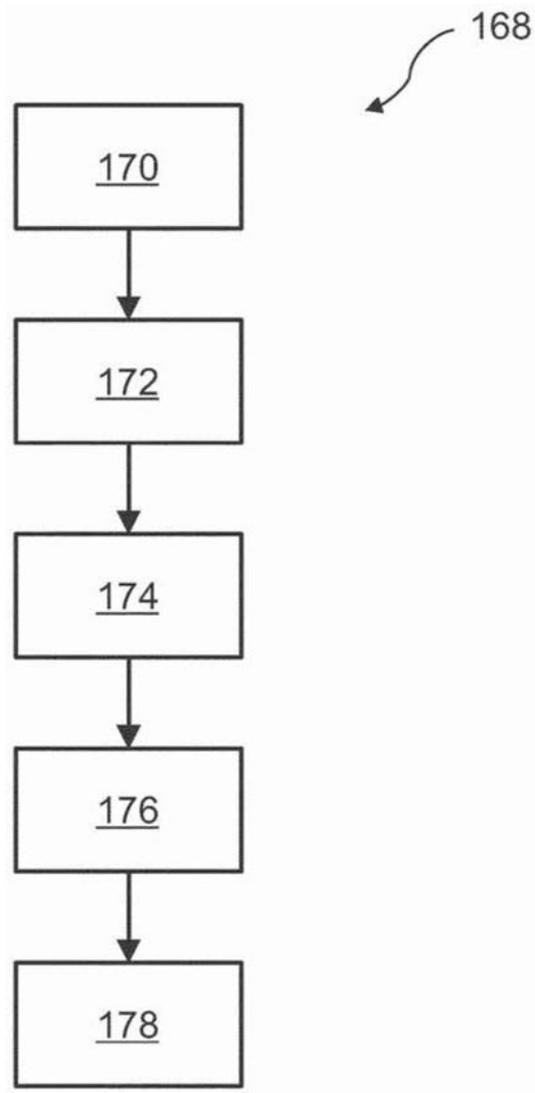


图8

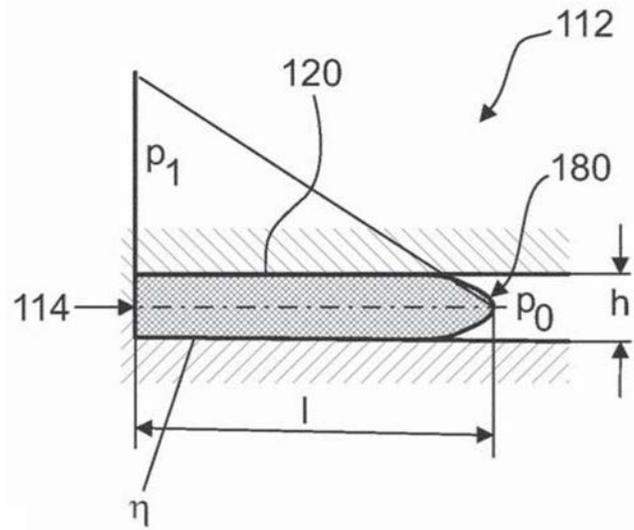


图9

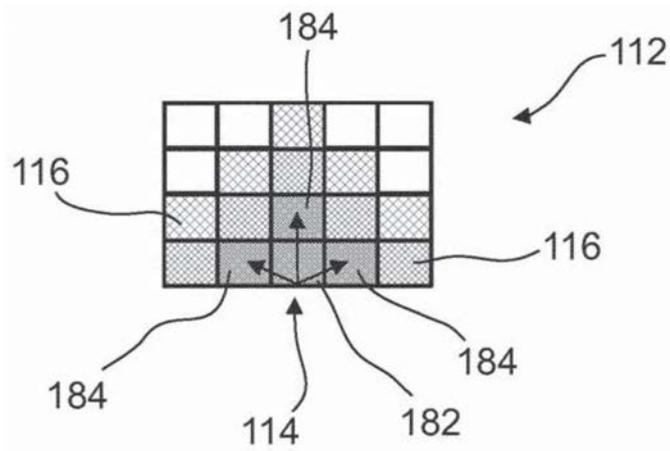


图10

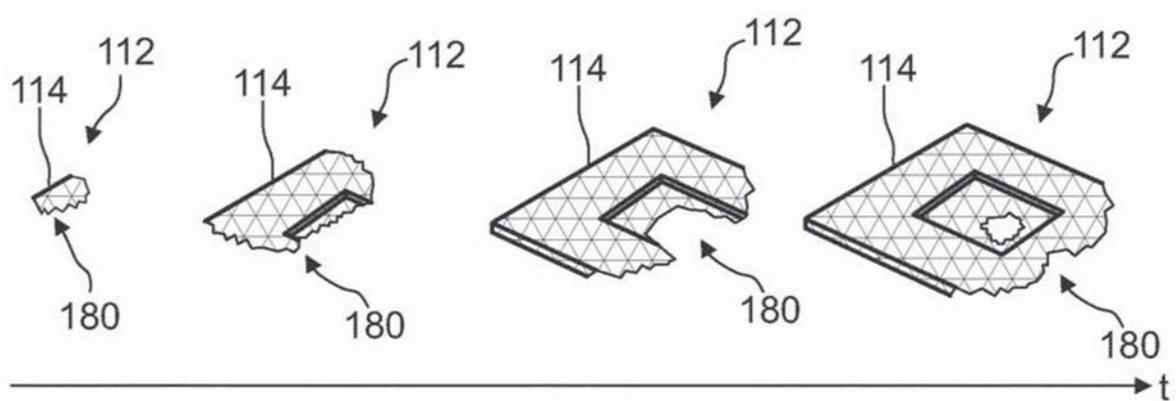


图11