



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102725120 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 10

(21) 申请号 201080057785. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 12. 14

B29C 47/40 (2006. 01)

(30) 优先权数据

G06F 17/50 (2006. 01)

102009059073. 0 2009. 12. 18 DE

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 06. 18

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2010/069608 2010. 12. 14

(87) PCT申请的公布数据

W02011/073181 DE 2011. 06. 23

(71) 申请人 拜耳知识产权有限责任公司

地址 德国蒙海姆

(72) 发明人 M. 比尔德尔 T. 姆尔齐格洛德

L. 格利茨

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 杜荔南 李家麟

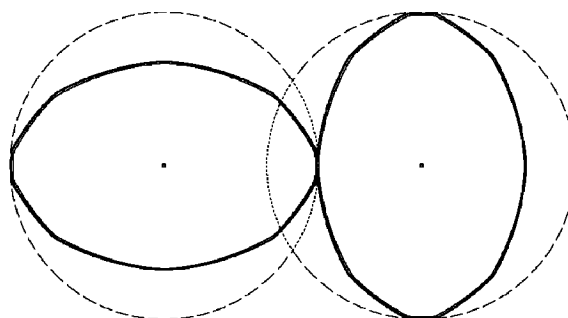
权利要求书 1 页 说明书 16 页 附图 9 页

(54) 发明名称

预测和优化螺杆挤压机和 / 或挤压方法的基于数据的模型

(57) 摘要

本发明涉及螺杆挤压机以及优化螺杆挤压机和挤压方法这一技术领域。本发明的主题是一种用于优化螺杆挤压机的几何结构以及用于优化挤压方法的方法。此外,本发明的主题是一种用于制造螺杆挤压机的方法。另外,本发明的主题是可用于实施根据本发明的方法的计算机系统和计算机程序产品。



1. 用于为螺杆挤压机和 / 或挤压方法创建预测工具的方法, 至少包括下列步骤:
 - (a) 确定参数空间;
 - (b) 选择所述参数空间内的代表性的值组合;
 - (c) 借助于模拟计算为所选值组合计算结果特征数;
 - (d) 基于所选值组合和所计算的结果特征数创建基于数据的模型;
 - (e) 必要时重复步骤(a)至(e)中的一个或多个步骤, 直到借助于基于数据的模型能够足够精确地计算出结果特征数。
2. 用于预测螺杆挤压机在对挤压物料进行挤压时的表现的方法, 至少包括下列步骤:
 - (I) 创建基于数据的模型作为预测工具;
 - (II) 将螺杆挤压机、挤压方法和挤压物料的表征值输入到基于数据的模型中;
 - (III) 借助于基于数据的模型计算结果特征数;
 - (IV) 输出结果。
3. 用于优化螺杆挤压机的几何结构和 / 或挤压方法的方法, 至少包括下列步骤:
 - (A) 创建基于数据的模型作为预测工具;
 - (B) 确定螺杆挤压机和 / 或挤压方法的目标剖面;
 - (C) 标识出满足所确定的目标剖面 and / 或最接近目标剖面的值组合;
 - (D) 输出在步骤(C)中确定的值组合。
4. 用于制造螺杆挤压机的方法, 至少包括下列步骤:
 - (i) 创建基于数据的模型作为预测工具;
 - (ii) 确定螺杆挤压机和 / 或挤压方法的目标剖面;
 - (iii) 标识出满足所确定的目标剖面 and / 或最接近该目标剖面的值组合;
 - (iv) 输出和 / 或存储在步骤(iii)中确定的值组合;
 - (v) 基于在步骤(iii)中确定的值组合创建螺杆挤压机。
5. 根据权利要求1至4之一所述的方法, 其特征在于, 螺杆元件的横截剖面通过圆弧来描述。
6. 根据权利要求1至5之一所述的方法, 其特征在于, 描述剖面的圆弧在其起始点和终点处彼此正切地过渡, 其中剖面中的扭结通过其半径等于0的圆弧来描述。
7. 通过根据权利要求1或6的方法生成的用于螺杆挤压机和 / 或挤压方法的预测工具。
8. 计算机系统, 用于执行根据权利要求1至6之一所述的方法。
9. 计算机程序产品, 具有用于在计算机上执行根据权利要求1至6之一所述的方法的程序代码装置。

预测和优化螺杆挤压机和 / 或挤压方法的基于数据的模型

[0001] 本发明涉及螺杆挤压机以及优化螺杆挤压机和挤压方法的技术领域。本发明的主题是一种用于优化螺杆挤压机的几何结构以及用于优化挤压方法的方法。此外,本发明的主题是一种用于制造螺杆挤压机的方法。另外,本发明的主题是可用来实施根据本发明的方法的计算机系统和计算机程序产品。

[0002] 不断优化工艺和改善产品特性是在工业中研究和开发的重要推动力。在此,数学方法的支持性使用长久以来就属于现有技术。

[0003] 越来越多地借助于计算机上的模拟来执行优化,以便例如最大程度地避免利用昂贵原材料进行高成本的试验以及清除在试验中积累的废物。

[0004] 这尤其是适用于螺杆挤压机的优化。螺杆挤压机例如在制造、制备和加工塑料和食品时使用。在此,具有同向旋转的轴的紧密啮合的双螺杆轴对挤压机具有支配性的意义。与单轴机器不同,紧密啮合的等速旋转螺杆的一个重要优点是,螺纹可以除了必要的余量以外精确地摩擦并且因此彼此清洁。螺杆挤压机在下列公开物 [1] 中详细描述:K. Kohlgrüber 的 Der gleichläufige Doppelschneckenextruder, Hanser 出版社,2007 年。在该公开物中详细阐述了双轴和多轴挤压机的构造、功能和运行。

[0005] 如容易看出的那样,出于经济原因不合理的是,为了在挤压方法中优化螺杆挤压机而制造多个不同的螺杆挤压机以便在试验中测试其品质,因为螺杆挤压机的制造是与高成本相联系的。因此,模拟在优化螺杆挤压机和挤压方法时起到重要的作用。

[0006] 在公开物 [1] 中在第 147 至 168 页进一步深入探讨了流动模拟及其在优化挤压机和挤压方法时的角色。

[0007] 流动模拟的目标是,对在挤压机中运行的流动过程获得加深的理解,以便一共利用少量试验就能保证可靠的和经济的挤压机设计。

[0008] 模拟将用于检测在试验中仅能困难地或完全不能测量的过程。在双轴挤压机的范围中,例如仅能测量整体的参量,例如轴的转矩、出口喷嘴处的压力和温度。而流动模拟提供关于整个计算范围中的压力、速度和温度的局部信息。通过计算梯度,附加地获得关于剪切速率和传热系数的陈述。在计算模型中,可以逐步地提高模型的复杂度。这实现了对产品质量的工艺参量起决定性作用的陈述。通过运行状态的变化,可以优化挤压方法。

[0009] 在此不利的是,通常必须为每个问题设置生成单独的计算模型。此外,已经执行的模拟仅能困难地或者根本不能重用于相近或其他问题设置。

[0010] 这也根据在 [1] 中在第 151 至 165 页所详述的螺杆挤压机中的模拟计算的示例是明显的。每个问题设置在三级方法中予以说明。在第一步骤(预处理)中,确定螺杆的几何结构并且将其转化成允许流动模拟的形式(网格生成)。在第二步骤(流动模拟)中,在确定流动模型和输入材料和运行数据以后通过解相应的差分方程计算出流动场。在第三步骤(后处理)中,在事先的问题设置方面对所计算出的流动场进行全面的分析。在新的或经改变的问题设置的情况下,必须重新进行所有步骤并且重新执行耗时的计算。结果不以其可重用于相似问题设置的形式存在。不存在如下的系统:该系统存储一次性模拟的过程并且将其保存为在稍后的时间能够用于以较少计算成本解决类似问题设置的形式。

[0011] 另外,正好在优化螺杆挤压机时存在的问题还有,不能自由选择定义过程的参数,并且成对地精确摩擦的螺杆元件的构造不是无关紧要的问题。这将简要地进一步阐述。按照公开物 [1] (第 151 页),Erdmenger 类型的螺纹元件的几何结构由下面六个给定量明确地定义:单位长度的螺纹数、壳体直径、轴线距离、螺杆与壳体之间的余量、相邻螺杆之间的余量、以及螺距。假定:执行具有在 [1] 中第 151 页所说明的参数组的模拟。单位长度的螺纹数为 2 并且初始温度为 300℃。于是可以简单地实现,在模拟开始时将温度例如设置到 310℃或 320℃并且执行新的模拟。但是没那么简单的是,将单位长度的螺纹数从 2 提高到 3 或 4。当从几何参数组出发提高单位长度的螺纹数时,螺杆元件对会看上去如何?是否完全允许在保持其余参数的情况下改变单位长度的螺纹数?此外,通过改变参数(例如单位长度的螺纹数)是否得到具有成对精确地摩擦的剖面的螺杆元件?

螺杆元件的问题在于,根据现有技术未公知有用于生成成对精确摩擦的任意螺杆剖面的一般性构造规定。存在几种螺杆元件,在这些螺杆元件的情况下存在构造规定。例如公知的是(参见 [1] 第 96 至 98 页),可以从圆弧中构造自清洁的 Erdmenger 螺杆剖面。用于生成 Erdmenger 螺杆剖面的另一方法在 Booby 的公开物 [2] 中:“Geometry of fully wiped twin-screw equipment”(Polymer Engineering and Science 18 (1978) 12,第 973-984 页)找出。

[0012] 在所述公开物中,为了生成螺杆剖面所利用的运动学特性是,两个轴围绕其位置固定轴线的同向旋转在运动学上等价于一个轴围绕另一、由此固定的轴的“移动而不是旋转”。该特性可以用于逐步地生成螺杆剖面。第一螺杆(“被生成”螺杆)在观察时为静止的,并且第二螺杆(“生成”螺杆)围绕第一螺杆在圆弧上平移地移动。仅能预先给定第二螺杆上的剖面的一部分,并且研究由此生成了第一螺杆上的哪个剖面。被生成螺杆由生成螺杆一定程度地“切割出”。但是在 [1] 中未说明第二螺杆上的预先给定部分如何自己生成的方法。在 [2] 中描述的可能方案是,可以如何产生可作为起点并从中生成其余剖面的剖面片段。但是该方案在数学上是成本非常高的并且尤其不是普遍适用的,也就是说,不能生成螺杆元件的任意剖面。

[0013] 总而言之可以确定:可以使用用于优化螺杆挤压机和挤压方法的模拟计算。但是在现有技术中所述的处理方式是低效的,因为必须为了每个问题设置执行新的耗时的模拟。在挤压机螺杆的领域中存在的附加问题是,不存在针对成对精确摩擦的螺杆元件的一般性构造规定,使得不能容易地改变定义挤压机螺杆的参数值。

[0014] 因此从现有技术出发提出的任务是,提供一种用于优化螺杆挤压机和 / 或挤压方法的有效方法。所寻求的方法将尤其是也适于标识出挤压机的经优化的几何结构。在此方面,任务还在于,提供一种用于生成经优化的螺杆挤压机的方法。

[0015] 根据本发明,该任务通过将模拟计算同具体优化去耦合来解决。根据本发明,首先在预定义参数空间中执行多个模拟计算。模拟计算的结果被用于为这些参数空间产生基于数据的模型。该基于数据的模型描述所定义参数空间并且为所存放参数的所有感兴趣的值组合提供预测值。

[0016] 因此,可提供针对多个不同问题设置的模拟计算的结果,并且不必为了答复具体问题设置而执行另外的模拟计算。根据基于数据的模型,可以用比执行模拟计算所需时间短得多的时间来为具体问题设置作出预测。此外,基于数据的模型可以用于优化挤压机和

/ 或挤压方法的参数值。

[0017] 根据本发明,对具体问题设置的耗时的单个模拟由此被总模型代替,所述总模型仅须生成一次。高计算成本一次出现并且可以最大程度地自动化。起决定性作用的是,模拟结果以如下形式——具体而言以基于数据的形式——被存储:在所述形式下,所述模拟结果可以用于以后的问题设置。各个模拟计算由于基于数据的模型的特性不仅对于相应的单个模拟具有用途,而且由基于数据的模型、更具体而言一种工具来提供,利用所述工具也可以通过内插确定未流入模拟计算中的值组合的结果。

[0018] 在当前的问题设置的情况下,将相应的值输入到基于数据的模型中,并且可以与单个模拟相比非常快地确定结果的预测值。不再需要为问题设置构造相应的模拟模型以及执行相应的模拟计算。

[0019] 因此,本发明的第一主题是一种用于为螺杆挤压机和 / 或挤压方法创建预测工具的方法,该方法至少包括下列步骤:

- (a) 确定参数空间;
- (b) 选择参数空间内的代表性的值组合;
- (c) 借助于模拟计算为所选值组合计算结果特征数;
- (d) 基于所选值组合和所计算出的结果特征数来创建基于数据的模型;
- (e) 必要时重复步骤(a)至(e)中的一个或多个步骤,直到借助于基于数据的模型能够足够精确地计算出结果特征数。

[0020] 根据本发明方法的步骤(a)至(e)优选地以所说明的顺序执行。

[0021] 在根据本发明的方法的步骤(a)中,确定参数空间。在此,首先确定为了模拟挤压方法所需的参数。可以区分三组参数组:用于描述螺杆挤压机的几何结构的参数、用于描述挤压物料的参数、以及方法参数。

[0022] 如上面已经描述的那样,对螺杆挤压机的几何结构的描述不是无关紧要的问题,因为对于成对精确摩擦的螺杆挤压机不存在一般性的构造规定,并且因此也不存在明确地描述所有可能的成对精确摩擦的螺杆挤压机的一般性的公知参数。

[0023] 但是令人意想不到地发现了成对精确摩擦的螺杆剖面的几何结构所基于的基本原理。这在附录1中描述。附录1是本申请的组成部分。

[0024] 该基本原理允许定义明确地描述成对精确摩擦的螺杆挤压机的参数并且为成对精确摩擦的螺杆挤压机创建构造规定。

[0025] 借助于该基本原理,可以通过圆弧来描述精确摩擦的螺杆挤压机对的横截剖面(根据与旋转轴线垂直的截面的剖面)。因此,该剖面可以通过给定中心、半径及构成其的圆弧的角度来精确定义。根据剖面向用于生成混合、揉捏、运送或过渡元件的旋转轴线方向的第三维的延伸,可以确定用于描述成对精确摩擦的螺杆挤压机的几何结构的另外的参数,比如螺纹元件处的螺距。此外,需要给定余量(螺杆与壳体之间的余量、螺杆之间的余量)。

[0026] 因此,螺杆的几何结构被精确定义。但是螺杆不必一定由作为参数的上述坐标和圆弧的参量来确定,而是例如也可以将所导出的参量用于描述螺杆。优选地将这样的所导出的参量用作为描述参量(参数),从所述描述参量中可以预期现实中的真实物理影响。例如,可以将螺杆用其摩擦壳体的顶尖(Kamm)的宽度用作为可能的参数。顶尖的宽度对能量到运送物料中的输入产生影响,并且因此是用于表征螺杆挤压机的重要参量。

[0027] 表征运送物料的参数例如是密度、比热容、热导率、粘度等等。针对挤压物料的这些参数常常依赖于方法参数的值。例如,粘度依赖于加工温度。

[0028] 表征方法的参数(方法参数)例如是压力、温度、螺杆挤压机的转速、轴的转矩等等。

[0029] 在参数本身被确定以后,进行参数空间的确定。也就是说,确定模拟将基于的相应参数的值范围。参数挤压时的起始温度的值范围例如可以被确定为 0℃至 500℃。

[0030] 如果可以预期或显示:在模拟中显示出不同的运送物料和 / 或不同类型的螺杆挤压机的完全不同的行为,则可能合理的是,为不同类型的运送物料和 / 或不同类型的螺杆挤压机生成不同的基于数据的模型。这些不同的模型可以在需要时在稍后被合并成单个模型。

[0031] 例如合理的是,在运送货物的情况下区分显示牛顿流动特性的运送物料和非牛顿的运送物料,并且为此执行单独的模拟和生成单独的模型。

[0032] 此外合理的是,还单独地观察螺杆挤压机的类型。一种类型的螺杆挤压机例如可以由具有 Erdmenger 剖面(参见 [1] 第 151 至 168 页)的双头螺纹元件构成,而另一类型例如可以由具有减少的顶尖角的单头螺纹元件构成,所述螺纹元件例如在 PCT/EP2009/004251 中予以了描述。

[0033] 在根据本发明方法的步骤(b)中,对参数空间内的代表性的值组合进行选择。应将代表性的值组合理解为如下的值组合:所述值组合尽可能全面地描述参数空间并且覆盖参数空间的尽可能不同的范围。目标是,找到如下的值组合:所述值组合如此良好地描述参数空间以至于该值组合(与模拟计算的结果一起)所流入到的基于数据的模型也可以对其它值作出预测。

[0034] 为此适宜地使用专业人员从试验计划中公知的方法,例如基于统计试验计划的试验计划方法(如 Plackett-Burmann 试验计划、中心组合(central composite)计划、Box-Behnken 试验计划、D 最优计划、平衡框计划)、根据 Shainin 或 Taguchi 的方法等等。用于试验计划的方法尤其是在如下文献中描述:Hans Bendemer “Opitmale Versuchsplanung”(Reihe Deutsche Taschenbücher, DTB,第 23 卷(ISBN 3 - 87144 - 278 - x))或者 Wilhelm Kleppmann “Taschenbuch Versuchsplanung, Produkte und Prozess optimieren”(第 2 版(ISBN 3 - 446 - 21615 - 4))。在此尤其是也可参阅 W02003/075169A 中所描述的方法。

[0035] 可能的是,在根据本发明方法的之后的时刻显示,所选择的值组合代表性不足地描述参数空间(参见步骤 d)。在这种情况下,可能需要选择其它和 / 或另外的值组合(参见步骤(e))。

[0036] 在根据本发明方法的步骤(c)中,进行所选择的值组合的模拟计算。对不同选择的场景进行计算和模拟:不同的螺杆挤压机在不同的方法参数和 / 或必要时在使用不同材料(挤压物料)的情况下表现如何。

[0037] 对于这样的模拟,三维螺杆轮廓必须以使得能够借助于计算机进行数学计算的形式存在。螺杆在计算机中的虚拟表示有利地如在 [1] 中在第 149 至 150 页上所描述的那样以所谓的计算网格的形式进行。

[0038] 成对精确摩擦的螺杆在计算机中的构造优选地首先通过确定其横截剖面(下面也

简称剖面)、即通过确定生成和被生成的螺杆剖面来进行。所述剖面从其一方优选地通过给定圆弧的中心、半径和角度来确定。在此应用附录 1 中详述的基本原理和附录 1 中详述的构造规定或者从其中导出的构造规定(参见 PCT/EP2009/003549)。

[0039] 然后,从二维剖面出发,进行剖面在第三维度、即旋转轴线方向上的延伸。运送元件的模型例如通过使剖面在轴线方向上螺杆式转动来生成。揉捏元件的模型例如通过使剖面分段地在轴线方向上延伸来生成,其中所述片段彼此偏移,使得产生彼此偏移的圆盘。

[0040] 螺杆挤压机在计算机中的表示以计算网格的形式进行。在此,将壳体的内表面与螺杆挤压机的表面之间的体积与计算网格联结,所述计算网格例如由四面体或六面体之类的多面体构成(例如参见 [1])。

[0041] 计算网格以及挤压物料的材料数据和在其中使用螺杆挤压机和挤压物料的螺杆机的运行数据被输入到用于流动模拟的程序中并且模拟流动行为(例如参见 [1])。

[0042] 流动模拟的结果例如以流动、压力和 / 或温度场的形式存在(参见 [1] 第 147 至 168 页)。从流动模拟中可以如在 [1] 中所述页中所描述那样确定运送和功率特性。根据本发明,从模拟结果中确定结果特征数,所述特征数可以与相应使用的值组合相关。优选地,从运送和功率特性(参见 [1] 第 158 页)中计算出直线的轴线片段和 / 或斜率(与体积流量有关的压力差、与体积流量有关的功率),并且将其用作结果特征数。

[0043] 在执行了模拟计算和确定了结果特征数以后,进行基于数据的模型的创建(步骤 d)。这样的模型将把输入参量(输入参数)的值组合与相应的结果特征数(输出参数)相关。该模型被称为基于数据的模型,因为该模型基于现有数据(值组合、结果特征数)进行该相关,而不必知道和 / 或引入数据之间的真实物理关系。

[0044] 从现有输入和输出参量中生成基于数据的模型属于一般的现有技术。公知的基于数据的模型例如是:线性和非线性的回归模型(例如参见 Hastie, Tibshirani, Friedman: The Elements of Statistical Learning, Springer, 2001)、线性逼近方法、人工神经网络(例如感知器、递归网络)(例如参见 Andreas Zell: Simulation neuronaler Netze. ISBN 3-486-24350-0 或者 Raúl Rojas: Theorie der Neuronalen Netze. ISBN 3-540-56353-9 或者 MacKay, David J. C. (2003 年 9 月): Information Theory, Inference and Learning Algorithms. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 0-521-64298-1)、支持向量机(例如参见 B. Schölkopf, A. Smola: Learning with Kernels, MIT Press, 2002)、混合模型(例如参见 A. A. Schuppert: Extrapolability of structured hybrid models: a key to optimization of complex processes (录入在 B. Fiedler, K. Gröger, J. Sprechels (Eds.), Proceedings of EquaDiff '99, 2000, 第 1135-1151 页)或者 G. Mogk, T. Mrziglod, A. Schuppert: Application of hybrid models in chemical industry (录入在 J. Grievink, J. van Schijndel (Eds.), Proceedings of European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 第 12 卷, The Hague, The Netherlands, 2002 年 5 月 26 - 29 日, Elsevier Science B.V., 第 931-936 页或者 EP-A1253491 中)。

[0045] 优选使用混合模型。

[0046] 所有模型类型都包含参数,所述参数借助于所生成的模拟数据被确定(训练)为使得模型的输入-输出表现在所确定的意义上是最优的。

[0047] 对于不同模型类型特有的训练方法可在所述文献中找到。用于两级感知器的有效训练方法例如在 F. Bärman, F. Biegler-König 的 Neural Networks (1992, 5(1), 139-144) 中予以了描述。

[0048] 此外,在步骤(d)中对模型品质进行评价。这例如可以借助于验证数据通过检查预测可靠性来进行(例如参见 Chiles, J.-P. 和 P. Delfiner (1999) 的 Geostatistics, Modeling Spatial Uncertainty, Wiley Series in Probability and statistics)。在参数空间的不同范围中的依赖性的可信度均衡优选地在使用先验知识的情况下进行。

[0049] 因此,为了评价模型品质,优选地使用如下的值组合(验证数据):为所述值组合已经执行模拟计算,但是所述值组合未曾被用于生成基于数据的模型。所研究的是,基于数据的模型在何种程度上还可以预测“未知”场景的结果。在此,根据相应的应用目的来确定所需的模型品质。对模型品质的度量例如是所计算的模拟结果与借助于模型预测的模型结果之间的最大偏差。在对挤压方法进行建模时,提出 5%、优选 2% 的最大偏差作为足够的模型品质。

[0050] 如果模型品质不够,则根据本发明重新确定参数空间和 / 或选择其他和 / 或另外的描述参数空间的值组合。因此根据本发明,必要时在步骤(e)重复步骤(a)至(e)中的一个或多个步骤,直到借助于基于数据的模型能够足够精确地计算出结果特征数。

[0051] 所描述的根据本发明方法的结果是经优化的基于数据的模型,该模型可以用作为预测工具。

[0052] 该预测工具可以作为程序代码存在于机器可读数据载体上,所述机器可读数据载体例如是磁盘、CD、DVD、硬盘、存储棒等等。位于机器可读数据载体上的预测工具可以读入到计算机的工作存储器中。借助于计算机和连接在计算机处的输入和输出设备,用户可以操作该预测工具、即将值输入到基于数据的模型中并且计算结果特征数。在此,优选地通过图形用户界面来支持用户。同样可能的是,将预测工具实现为微芯片,所述微芯片利用合适的外围设备(输入和输出设备)与读入到计算机中的程序类似地操作。

[0053] 本发明的主题还有一种用于螺杆挤压机和 / 或挤压方法的预测工具,所述预测工具是根据所述的用于生成预测工具的方法生成的。

[0054] 所述预测工具例如可以用于计算出挤压方法中的新的或经修改的螺杆挤压机的表现。预测工具例如可以用于确定方法参数的经改变的值对挤压物料的影响。

[0055] 因此,本发明的另一主题是一种用于预测螺杆挤压机在对挤压物料进行挤压时的表现的方法。该方法至少包括下列步骤:

- (I) 创建基于数据的模型作为预测工具;
- (II) 将螺杆挤压机、挤压方法和挤压物料的特征值输入到基于数据的模型中;
- (III) 借助于基于数据的模型计算结果特征数;
- (IV) 输出结果。

[0056] 根据本发明方法的步骤(I)至(IV)优选地以所给定的顺序进行。

[0057] 在步骤(I)中创建基于数据的模型如上面用于为螺杆挤压机和 / 或挤压方法创建预测工具的方法所述的那样进行。

[0058] 在步骤(II)中,输入描述对于其要实现预测的场景的值。这是螺杆挤压机的几何结构的值、表征挤压物料的值、以及确定挤压方法的值。

[0059] 该输入通常利用计算机系统处的鼠标和 / 或键盘进行, 在所述计算机系统上可以作为软件程序实施预测工具。

[0060] 在步骤(III)中, 借助于基于数据的模型计算结果特征数。该计算通常在单次模拟所需的时间的一小部分中进行。

[0061] 最后, 在步骤(IV)中进行结果的输出。结果可以是所计算出的结果特征数本身。所述结果特征数可以作为值显示在计算机屏幕上。也可以显示从结果特征数中导出的值或参量。结果的显示优选地通过图形和 / 或通过颜色表征来进行。

[0062] 除了纯粹预测螺杆挤压机在挤压方法中的表现以外, 还可以借助于预测工具优化螺杆挤压机和 / 或挤压方法。因此, 本发明的另一主题是一种用于优化螺杆挤压机的几何结构和 / 或挤压方法的方法。

[0063] 该方法至少包括下列步骤:

- (A) 创建基于数据的模型作为预测工具;
- (B) 确定螺杆挤压机和 / 或挤压方法的目标剖面;
- (C) 标识出满足所确定的目标剖面和 / 或最接近目标剖面的值组合;
- (D) 输出在步骤(C)确定的值组合。

[0064] 根据本发明方法的步骤(A)至(D)优选地以所给定的顺序进行。

[0065] 在步骤(A)中创建基于数据的模型如上面用于为螺杆挤压机和 / 或挤压方法创建预测工具的方法所述的那样进行。

[0066] 在步骤(B), 确定螺杆挤压机和 / 或挤压方法的目标剖面。目标剖面的确定包括: 为所有结果特征数(输出)建立将通过所寻找到的值组合(输入)得到满足的规则。例如可能的是, 确定挤压物料的最大温度升高或者为了将挤压物料运送通过挤压机所需的最小压力形成。

[0067] 对满足预先给定的目标剖面或最接近该剖面的值组合的寻找在步骤(C)在使用基于数据的模型的情况下进行。借助于基于数据的模型, 可以在非常短的时间内为大量值组合(输入参数)计算结果特征数(输出参数), 使得针对性地改变输入参数的值以及将输出参数的值与目标剖面相比较导致所寻找的满足该目标剖面或最接近该目标剖面的输入参数。为了实现预先给定的目标剖面而对“最优”值组合的寻找可以由公知的优化方法来支持, 所述优化方法例如蒙特卡罗方法、进化优化(基因算法)、模拟退火等等。例如在 M. Berthold 等人的书“Intelligent Data Analysis”(Springer, Heidelberg 1999)中提供了关于优化方法的概况。

[0068] 最后, 在步骤(D)中输出满足所确定的目标剖面或最接近该目标剖面的值组合。优选地还输出所计算出的结果参数以及所计算出的结果参数同目标剖面的偏差。该输出可以以数值和 / 或图形的形式在计算机屏幕或打印机处进行。

[0069] 该预测工具也可以在生成新的螺杆挤压机的情况下使用。因此, 本发明的另一主题是一种用于制造螺杆挤压机的方法, 该方法至少包括下列步骤:

- (i) 创建基于数据的模型作为预测工具;
- (ii) 确定螺杆挤压机和 / 或挤压方法的目标剖面;
- (iii) 标识出螺杆挤压机的满足所确定的目标剖面 and / 或最接近该目标剖面的值组合;

(iv) 输出和 / 或存储在步骤(iii) 中确定的值组合 ;

(v) 基于在步骤(iii) 中确定的值组合创建螺杆挤压机。

[0070] 根据本发明方法的步骤(i) 至(v) 优选地以所给定的顺序执行。

[0071] 步骤(i) 至(iii) 对应于用于优化螺杆挤压机的几何结构和 / 或挤压方法的方法的步骤(A)至(C)。因此, 确定针对预先给定的应用情况优化的螺杆挤压机的几何结构。然后, 在计算机处计算出的几何结构被用于生成真实的螺杆挤压机(步骤(v))。优选地将螺杆挤压机的几何结构数据转化成可以直接输送给 CNC 机床(CNC = Computerized Numerical Control, 计算机数值控制) 以用于生成螺杆元件的格式。这样的格式是专业人员公知的。

[0072] 在以所述方式生成几何结构以后, 可以生成例如具有铣床、车床或涡流粉碎机的螺杆挤压机。用于生成螺杆挤压机的优选材料是钢, 尤其是氮化钢、铬钢、工具钢和高级钢、基于铁、镍或钴的以粉末冶金法制造的金属复合材料、工程陶瓷材料(如氧化锆或碳化硅)。

[0073] 在此详述的所有根据本发明方法都优选地在计算机上实施。本发明的主题还有一种用于实施根据本发明方法的计算机系统。另外, 本发明的另一主题是一种具有用于在计算机上实施根据发明的方法的程序代码装置的计算机程序产品。

[0074] 下面根据示例进一步阐述本发明, 但是本发明不限于此。

[0075] 示例 1: 为具有 Erdmenger 螺杆剖面的双头螺杆元件创建预测工具。

[0076] 本示例描述了一种用于为螺杆挤压机和 / 或挤压方法创建预测工具的方法, 该方法包括下列步骤:

(a) 确定参数空间 ;

(b) 选择参数空间内的代表性的值组合 ;

(c) 借助于模拟计算为所选择的值组合计算结果特征数 ;

(d) 基于所选择的值组合和所计算出的结果特征数创建基于数据的模型 ;

(e) 必要时重复步骤(a) 至(d) 中的一个或多个步骤, 直到能够借助于基于数据的模型足够精确地计算结果特征数。

[0077] 步骤(a): 确定参数空间

如在 [1] 中第 151 页所述, 具有 Erdmenger 螺杆剖面的运送元件的几何结构通过给定 6 个几何参数来明确定义。这 6 个参数是单位长度的螺纹数、壳体直径、轴线距离、螺杆与壳体之间的余量、两个螺杆之间的余量以及螺距。为了减少参数的数目并且为了获得普遍适用的表示, 适宜地引入无量纲的几何参数。选择壳体直径作为参考参量。由此, 通过给定 5 个无量纲的几何参数明确地定义具有 Erdmenger 螺杆剖面的运送元件的几何结构。这 5 个参数是单位长度的螺纹数 Z 、无量纲的轴线距离 A 、螺杆与壳体之间的无量纲的余量 D 、两个螺杆之间的无量纲的余量 S 、以及无量纲的螺距 T 。

[0078] 在实际中, 通常使用具有单位长度的螺纹数 Z 为 1、2 或 3 的运送元件。适宜地为每个单位长度的螺纹数创建单独的预测工具。在该示例中, 考虑双头运送元件。因此有 $Z = 2$ 成立。因此剩下四个无量纲的特征数, 其中必须为所述特征数确定值范围。对于无量纲的轴线距离 A , 选择值范围 $0.72 \leq A \leq 0.91$ 。对于螺杆与壳体之间的无量纲的余量 D , 选择值范围 $0.002 \leq D \leq 0.024$ 。对于两个螺杆之间的无量纲的余量 S , 选择值范围 $0.004 \leq S \leq 0.060$ 。对于无量纲的螺距 T , 选择值范围 $0.3 \leq T \leq 4.0$ 。

[0079] 在图 1a 中示出自清洁的构造和紧密咬合的 Erdmenger 螺杆剖面。Erdmenger 螺杆

剖面具有两个对称轴线,所述对称轴线以 90° 角度相交。因此足够的是,生成螺杆剖面的四分之一并且然后通过在对称轴线处进行镜像来获得完整的螺杆剖面。

[0080] 接着进一步描述图 1a。在该图的中心处存在 xy 坐标系,在该坐标系的原点存在螺杆剖面的旋转点。螺杆剖面的圆弧用粗实线来表征,所述粗实线配备有圆弧的相应编号。圆弧的中心由小圆圈来表示。圆弧的中心利用细实线与起始点以及相关圆弧的终点相连接。直线 FP 由细点线来表示。

[0081] Erdmenger 螺杆剖面的四分之一是从彼此对应的 2×2 个圆弧中得出的。两个相对应的圆弧(1 和 1'、2 和 2')的半径之和等于轴线距离。1 和 1' 的半径等于外半径或等于核心半径。半径 2 和 2' 等于 0 或等于轴线距离。两个相对应的圆弧的中心角是大小相同的。中心角 1 和 2 之和等于 $\pi/4$ 。圆弧 1 和 1' 的中心处于坐标原点。所有圆弧都正切地彼此过渡。圆弧 2 和 2' 在公共点处接触直线 FP。直线 FP 同坐标原点的距离等于轴线距离的一半,并且该直线的斜率为 -1 。

[0082] 在图 1 中,无量纲的轴线距离 $A = 0.8333$,无量纲的外半径 $RA = 0.5$,并且无量纲的核心半径 $RK = 0.3333$ 。相对应的半径 1 和 1' 或 2 和 2' 具有弧度为 0.1997 或 0.5857 的中心角。

[0083] 如在公开物 [1] 中第 27 至 30 页所详述的那样,由螺杆元件和壳体构成的装置在实际中始终具有所述余量。专业人员公知有用于从预先给定的自清洁的紧密咬合的螺杆剖面出发导出具有余量的螺杆剖面的方法。为此公知的方法例如是 [1] 中第 28 页及以后描述的轴线距离扩大、纵剖面等距和空间等距的可能性。在轴线距离扩大的情况下,构造较小直径的螺杆剖面,并且在螺杆之间彼此移动余量的绝对值。在纵截面等距方法的情况下,纵截面剖面曲线(与相应元件的旋转轴线平行)垂直于剖面曲线地向内、向旋转轴线方向移动螺杆一螺杆余量的一半。在空间等距方法的情况下,从在其上螺杆元件进行清洁的空间曲线出发,将螺杆元件在与精确摩擦的剖面的表面垂直的方向上缩小螺杆与螺杆之间的余量的一半。在该示例中,使用空间等距。

[0084] 图 1b 中示出了根据图 1a 的自清洁的紧密咬合的 Erdmenger 螺杆剖面、以及由此导出的螺杆剖面,该螺杆剖面在 8 字形螺杆壳体内具有余量。螺杆壳体由细虚线来表示。在两个壳体钻孔的穿透部内,两个钻孔由细点线来表征。两个壳体钻孔的中心与螺杆剖面的两个旋转点相同,并且分别由小圆圈来表征。紧密咬合的自清洁的螺杆剖面由粗实线来表征。具有余量的螺杆剖面由粗实线来表示。具有余量的螺杆剖面通过空间等距的方法来获得。两个螺杆之间的无量纲的余量为 $S = 0.02$ 。螺杆与壳体之间的无量纲的余量为 $D = 0.01$ 。相关螺杆元件的无量纲的螺距为 $T = 1$ (具有余量的螺杆剖面在空间等距方法的情况下取决于螺距)。

[0085] 步骤(b):选择参数空间内的代表性的值组合。

[0086] 在图 2 中示出了所选参数空间中的无量纲的轴线距离 A 与无量纲的螺距 T 之间的 255 个值组合。这些值组合可以以不同的方式来确定。如果对参数空间内的确定值特别感兴趣,则可以将特别多的值组合放置到该值上。例如,对无量纲的轴线距离 $A = 0.82$ 特别感兴趣,因为常用的螺杆挤压机恰好具有该轴线距离。在 $T = 0.3$ 与 $T = 2.0$ 之间的假想线上,因此在 $A = 0.82$ 处存在特别多的值组合。类似的考虑在 $A = 0.8$ 与 $A = 0.9$ 之间导致 $T = 2.0$ 处的特别多的值组合。另外的值组合例如可以被分布为使得各个值组合彼此相

距尽可能远。从图 2 中的值组合的二维距离中不能推断出三维参数空间中的真实距离。

[0087] 在图 3 中示出了所选参数空间中的无量纲的轴线距离 A 与无量纲的螺距 T 之间的 1015 个值组合。除了值组合数目的总体上提高以外,在此尤其是将值组合设置在参数空间的边缘上。基于数据的模型仅仅是外插能力非常有限的。因此重要的是,恰好给参数空间的边缘配备值组合,以便直到参数空间的边缘仍保证内插。

[0088] 步骤(c):借助于模拟计算为所选值组合计算结果特征数。

[0089] 基于所选值组合,借助于模拟计算来计算结果特征数。

[0090] 结果特征数例如可以是几何特征数。几何特征数例如是螺杆元件的顶尖角、螺杆元件相对于外半径的倾斜角、螺杆元件相对于核心半径的倾斜角、螺杆元件的横截面积、螺杆元件的螺杆表面积、壳体表面积、螺杆表面积与壳体表面积之和、螺杆元件的自由横截面积(即螺杆元件与壳体之间的可流经的横截面积)、以及螺杆元件的相对于斜率的已经提到的面积(即例如相对于斜率的螺杆表面积)。所述几何特征数有利地在用于生成螺杆元件的几何结构、尤其是用于生成运送元件、揉捏元件、混合元件和过渡元件的几何结构的模拟程序中被计算出。

[0091] 结果特征数例如可以是用于判断计算网格的网格质量的特征数,其中所述计算网格用于计算螺杆元件中的流动过程。用于判断计算网格的网格质量的特征数例如是 Scewness 的“Aspect ratio sowie Warpage”(参见 Gambit User's Guide, Fluent Inc., Lebanon, NH, USA, 2006)。用于网格质量的所述特征数有利地在用于生成螺杆元件的计算网格、尤其是用于生成运送元件、揉捏元件、混合元件和过渡元件的计算网格的模拟程序中被计算出。

[0092] 结果特征数例如可以是用于表征螺杆元件的运行表现的特征数。如专业人员所知道的那样以及如在 [1] 中第 129 至 146 页中所查阅到的那样,诸如运送元件、揉捏元件和混合元件之类的螺杆元件的运行表现由压力差—通过量特性、以及通过功率—通过量特性来描述。为了促进到不同挤压机参量的可转用性,所述参量——即压力差、功率和通过量——常常以其无量纲的形式被使用。在具有牛顿流动表现的塑料材料的情况下,得出压力差与通过量以及功率与通过量之间的线性关联。在压力差—通过量特性中,轴线交点用 A1 和 A2 来表征([1],第 133 页)。工作点 A1 表征螺杆元件的实际通过量。工作点 A2 表征没有通过量的压力形成能力。在功率—通过量特性中,轴线交点用 B1 和 B2 来表征([1],第 136 页)。点 B1 是所谓的涡轮点。如果通过量大于 B1,则向螺杆轴输出功率。工作点 B2 表征没有通过量的功率需求。

[0093] 在压力形成区中,所引入的功率的仅仅一部分可以被转化成流动功率。所引入的功率的其余部分被散耗。流动功率作为通过量和压力差之积来计算。如专业人员能够认识到的那样,轴交点 A1 和 A2 处的流动功率分别等于 0,因为要么压力差等于 0 (A1)、要么通过量等于 0 (A2)。在 A1 与 A2 之间的范围中,压力差以及通过量都大于 0,并且得出正的流动功率。如果将工作点的由通过量给定的流动功率除以在该工作点由螺杆轴输出的功率,则获得在该工作点处在压力形成时的效率。通过根据通过量导出效率并且接着寻找零点,可以找出螺杆元件的最大效率。

[0094] 如在 K. Kohlgrüber 的“Co-Rotating Twin-Screw Extruders”(Hanser Verlag, 2007, ISBN 978-3-446-41372-6)中在第 126 页所描述的那样,当每旋转的通过量小于工作

点 A1 并且不存在反压时,在螺杆元件中出现部分填充。如果填充度基本上为 0,则螺杆元件的功率需求由工作点 B4 来表征。在该运行状态下,轴和壳体与熔化物交联,但是没有产品被运送。直到螺杆元件的在工作点 A1 实现的完全填充,功率需求才随着填充度升高。在该工作点 A1 处需要的功率需求用 B5 来表征。

[0095] 用于表征螺杆元件的运行表现的特征数例如是工作点 A1、A2、B1、B2、B4 和 B5 以及用于给定的产品通过量的压力形成的效率和用于压力形成的最大可实现的效率。所述用于表征螺杆元件——尤其是运送元件、揉捏元件、混合元件和过渡元件——的运行表现的特征数有利地在流动模拟程序(CFD 程序)中被计算出。

[0096] 步骤(d):基于所选择的值组合和所计算出的结果特征数创建基于数据的模型。

[0097] 从当前输入和输出参量中生成基于数据的模型属于一般的现有技术。公知的基于数据的模型例如是:线性和非线性的回归模型、线性逼近方法、人工神经网络、支持向量机、混合模型。

[0098] 为了为具有 Erdmenger 螺杆剖面的双头螺杆元件创建预测工具,使用混合模型。

[0099] 基于根据图 3 的值组合,图 4 根据无量纲的轴线距离 A (水平轴线)和无量纲的螺距 T (垂直轴线)示出了双头运送元件的所预测的顶尖角。螺杆之间的无量纲的余量被设置为 $S = 0.02$ 。螺杆与壳体之间的无量纲的余量被设置为 $D = 0.01$ 。

[0100] 基于根据图 3 的值组合,图 5 根据无量纲的轴线距离 A 和无量纲的螺距 T 示出了双头运送元件的所预测的压力形成参数 A2。螺杆之间的无量纲的余量被设置为 $S = 0.02$ 。螺杆与壳体之间的无量纲的余量被设置为 $D = 0.01$ 。

[0101] 所计算出和所预测的压力形成参数 A2 之间的所执行的比较带来下列结果。如果将所有值组合包括在比较中,则平均得出计算与预测之间的偏差为 6.75%,其中标准差为 11.3%。如果将值组合的范围限于具有正顶尖角的螺杆元件,则平均得出计算与预测之间的偏差为 4.04%,其中标准差为 5.16%。如果进一步限制值组合的范围使得参数空间的极限之间必须分别保持 5% 的距离(参数的长度等于 100%),则平均得出计算与预测之间的偏差为 3.22%,其中标准差为 3.59%。

[0102] 从图 4 和 5 的比较中变得明显的是,压力形成参数 A2 恰好在顶尖角小于 0 的范围中非常强烈地变化。在值组合的密度相同的情况下,由此在该范围中实现较差的预测精度。另外,即使在参数空间的边缘设置附加的值组合,预测精度仍向边缘略微下降。

[0103] 步骤(e):必要时重复一次或多个步骤(a)至(e),直到借助于基于数据的模型能够精确计算出结果特征数。

[0104] 在该示例的范围内,重复步骤(b)至(d)。平均为 3.22% 的预测精度(其中标准偏差为 3.59%)对于螺杆挤压机的设计而言经常是不可接受的。

[0105] 值组合的数目被提高到总共 3358。另外的值组合一方面在参数空间中被尽可能均匀地分布,另一方面,附加的值组合又被设置到参数空间的边缘上。放弃了根据局部偏差参量或结果特征数的局部梯度来设置另外的值组合的可能性。

[0106] 在计算出结果特征数并且生成了新的基于数据的模型以后,又执行在所计算的与所预测的压力形成参数 A2 之间的比较。如果将所有值组合包括到该比较中,则平均得出计算与预测之间的偏差为 3.07%,其中标准差为 4.74%。如果将值组合的范围限于具有正顶尖角的螺杆元件,则平均得出计算与预测之间的偏差为 1.91%,其中标准偏差为 2.41%。如果

进一步限制值组合的范围使得参数空间的极限之间必须分别保持 5% 的距离(参数的长度等于 100%), 则平均得出计算与预测之间的偏差为 1.52%, 其中标准偏差为 1.55%。得出了平均偏差和标准偏差高达 58% 的减少。

[0107] 平均为 1.52% 的预测精度(其中标准偏差为 1.55%)对于螺杆挤压机的设计是足够的。

[0108] 示例 2: 为具有与 Erdmenger 螺杆剖面相比减小的顶尖角的双头螺杆元件创建预测工具。

[0109] 步骤(a):确定参数空间

具有减小的顶尖角的螺杆元件、在下面称为 Rita 螺杆元件(Rita = reduced tip angle, 减小的顶尖角)与 Erdmenger 螺杆剖面相比具有减小的顶尖角。在此, 根据 Rita 螺杆剖面的顶尖角与 Erdmenger 螺杆剖面的顶尖角之商定义相对顶尖角 R , 其中分别考察自清洁的紧密咬合的螺杆剖面。为相对顶尖角 R 选择 $0 \leq R \leq 1$ 的参数空间。Rita 螺杆剖面的另外的无量纲参数和相关参数空间对应于来自示例 1 的 Erdmenger 螺杆元件。

[0110] 图 6a 示出了自清洁的紧密咬合的 Rita 螺杆剖面。图 6a 的原理构造对应于图 1a 的原理构造。Rita 螺杆剖面的四分之一由彼此对应的 2×3 个圆弧得出。在图 6a 中, 无量纲的轴线距离为 $A = 0.8333$ 。半径 1 或 1' 等于外半径 $RA = 0.5$ 或等于核心半径 $RK = 0.3333$ 。半径 2 或 2' 等于 0 或等于轴线距离。半径 3 或 3' 等于轴线距离的 0.9 倍或者等于轴线距离的 0.1 倍。相对应的圆弧 1 和 1'、2 和 2' 或 3 和 3' 具有弧度为 0.0999、0.4035 或 0.2820 的中心角。圆弧 1 和 1' 的中心处于坐标原点。所有圆弧都正切地彼此过渡。圆弧 3 和 3' 在公共点处接触直线 FP。

[0111] 图 6b 示出了根据图 6a 的自清洁的紧密咬合的 Rita 螺杆剖面、以及由此导出的在 8 字形螺杆壳体内具有余量的螺杆剖面。图 6b 的构造对应于图 1b。具有余量的螺杆剖面通过空间等距方法来获得。两个螺杆之间的无量纲的余量为 $S = 0.01$ 。螺杆与壳体之间的无量纲的余量为 $D = 0.01$ 。相关螺杆元件的无量纲的螺距为 $T = 1$ 。

[0112] 步骤(b):选择参数空间内的代表性的值组合

在图 7 中示出了所选参数空间中的无量纲的轴线距离 A 与相关顶尖角 R 之间的 6005 个值组合。从这些值组合中采用来自示例 1 的具有相对顶尖角为 $R = 1$ 的 3358 个值组合。另外的 2647 个值组合表征小于 $R = 1$ 的相对顶尖角。值组合的选择利用第 1 个示例中所述的方法来进行。

[0113] 基于 Erdmenger 螺杆元件, 可以无过渡地将新型螺杆元件集成到针对螺杆挤压机和 / 或挤压方法的预测工具中。该预测工具包含新型 Rita 螺杆元件以及 Erdmenger 螺杆元件。可替代地, 可以创建仅仅建立在具有小于 $R = 1$ 的相对顶尖角的 2647 个值组合之上的预测工具。

[0114] 步骤(c):借助于模拟计算为所选择的值组合计算结果特征数

基于所选择的值组合, 借助于模拟计算来计算结果特征数。如在第 1 示例中那样计算相同的结果特征数。

[0115] 步骤(d):基于所选择的值组合和所计算出的结果特征数创建基于数据的模型

为了为具有 Rita 螺杆剖面的双头螺杆元件创建预测工具, 使用混合模型。所生成的基于数据的模型允许预测所希望的结果特征数。

[0116] 基于根据图 7 的值组合,图 8 根据无量纲的轴线距离 A (水平轴线)和无量纲的螺距 T (垂直轴线)示出了具有相对顶尖角 $R = 1$ ——对应于 Erdmenger 螺杆元件——的双头 Rita 运送元件的所预测的工作点 B_2 。螺杆之间的无量纲的余量被设置为 $S=0.01$ 。螺杆与壳体之间的无量纲的余量被设置为 $D = 0.01$ 。图 9 同样示出了具有相对顶尖角 $R = 0.5$ 的双头 Rita 运送元件的所预测的工作点 B_2 。相比之下示出:较小的相对顶尖角 R 导致挤压压机中的较小的能量输入。

[0117] 图 8 和 9 中分别在左下方表征的阴影区域反映出存在负顶尖角的范围。预测工具允许利用对例如 B_2 的要求结合对例如顶尖角的其他要求来确定螺杆元件。

[0118] 在所计算出和所预测的工作点 B_2 之间执行的比较带来下列结果。如果将具有正顶尖角并且同参数空间的极限分别保持 5% 的距离(参数的长度等于 100%)的所有值组合包括到比较中,则平均得出计算与预测之间的偏差为 0.93%,其中标准偏差为 0.97%。

[0119] 步骤(e):必要时重复步骤(a)至(e)中的一个或多个步骤,直到借助于基于数据的模型能够足够精确地计算出结果特征数

由于高预测能力而不需要利用另外的值组合进行重复。

[0120] 附录

用于生成同向旋转的成对精确摩擦的螺杆挤压机的构造规定

令人意想不到地发现了成对精确摩擦的螺杆剖面的几何结构所基于的基本原理。所述基本原理在申请 PCT/EP2009/003549 和 PCT/EP2009/004249 中予以描述。这些基本原理允许为成对精确摩擦的螺杆挤压机创建构造规定并且由此还定义明确地描述成对精确摩擦的螺杆挤压机的参数。

[0121] 所述基本原理为:

1. 生成的螺杆剖面和被生成的螺杆剖面的剖面可以总是由圆弧构成。

[0122] 圆弧的大小是通过给定其中心角及其半径来给定的。下面将圆弧的中心角简称为圆弧的角。圆弧的位置可以通过其中心以及通过其起始点和终点的位置来确定,其中不确定:哪个是起始点以及哪个是终点,因为从起始点出发并且结束于终点的圆弧可以顺时针或者逆时针地来构造。起始点和终点因此是可调换的。

[0123] 2. 剖面的圆弧在其起始点和终点处彼此正切地过渡。

[0124] 3. 当扭结(Knick)由其半径等于 0 的圆弧来描述时,基本原理 2 对具有“扭结”的剖面也成立。

[0125] “扭结的大小”是由具有半径 0 的圆弧的相应角度来给定的,也就是说,在扭结的情况下,第一圆弧通过旋转具有半径 0 的第二圆弧的角度过渡到第三圆弧中。或者换言之:第一圆弧在具有半径 0 的第二圆弧的中心处的切线以一角度相交于第三圆弧处的同样在第二圆弧中心的切线,该角度对应于第二圆弧的角度。在考虑到第二圆弧的情况下,所有相邻的圆弧、即第一圆弧→第二圆弧→第三圆弧彼此正切地过渡。适宜地将具有半径 0 的圆弧看成是半径等于 ϵ 的圆弧,其中 ϵ 是非常小的趋于 0 的正实数($\epsilon \ll 1, \epsilon \rightarrow 0$)。

[0126] 4. 生成的螺杆剖面的圆弧分别对应于被生成的螺杆剖面的圆弧,其中应将“对应于”理解成:

- 相对应的圆弧的角度是大小相同的;
- 相对应的圆弧的半径之和等于轴线距离 a ;

- 生成的螺杆剖面的圆弧的中心与其终点之间的每一个连接线平行于被生成的螺杆剖面的相对应的圆弧的中心与其终点之间的每一个连接线；
- 生成的螺杆剖面的圆弧的终点从圆弧的中心出发所处的方向分别与被生成的螺杆剖面的相对应的圆弧从被生成的螺杆剖面的圆弧的中心出发所处的方向相反；
- 生成的螺杆剖面的圆弧的中心与被生成的螺杆剖面的相对应的圆弧的中心相距对应于轴线距离的距离；
- 生成的螺杆剖面的圆弧的中心与被生成的螺杆剖面的相对应的圆弧的中心之间的连接线平行于生成的螺杆剖面的旋转点与被生成的螺杆剖面的旋转点之间的连接线；
- 生成的螺杆剖面的圆弧的中心为了与被生成的螺杆剖面的相对应的圆弧的中心对齐而必须移动的方向等于生成的螺杆剖面的旋转点为了与被生成的螺杆剖面的旋转点对齐而必须移动的方向。

[0127] 基于这些基本原理可以为成对精确摩擦的螺杆轴制订构造方法。

[0128] 在此,该剖面优选地处于一个平面内。生成的螺杆剖面的旋转轴和被生成的螺杆剖面的旋转轴分别垂直于所述平面,其中旋转轴与所述平面的交点被称为旋转点。旋转点彼此的距离被称为轴线距离。在下面应将 π 理解成圆周率($\pi \approx 3.14159$)。

[0129] 在第一步骤中,生成生成的螺杆剖面。生成的螺杆剖面产生被生成的螺杆剖面。

[0130] 一选择将形成生成的螺杆剖面的数目 n 个圆弧,其中 n 是大于或等于 1 的整数。

[0131] 一选择外半径 r_a ,其中 r_a 可以呈现大于 0 ($r_a > 0$) 并且小于或等于轴线距离 ($r_a \leq a$) 的值。

[0132] 一选择内半径 r_i ,其中 r_i 可以呈现大于或等于 0 ($r_i \geq 0$) 并且小于或等于 r_a ($r_i \leq r_a$) 的值。

[0133] 一根据下列布置规则以顺时针或逆时针方式将 n 个圆弧布置为围绕生成的螺杆剖面：

○ $n-1$ 个圆弧的大小通过可选角度 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{(n-1)}$ 和可选半径 $r_1, r_2, \dots, r_{(n-1)}$ 来确定,其中弧度角度大于或等于 0 并且小于或等于 2π 并且半径大于或等于 0 并且小于或等于轴线距离 a ；

○ 最后的圆弧的角度 α_n 通过 n 个圆弧的 n 个角度之和在弧度方面等于 2π 来得出；

○ 最后的圆弧的半径 r_n 通过所述最后的圆弧使剖面闭合来得出；

○ 所有圆弧彼此正切地过渡,使得得出凸的剖面；

○ 优选地将半径等于 0 的圆弧看成是半径等于 ϵ 的圆弧,其中 ϵ 是趋于 0 的非常小的正实数($\epsilon \ll 1, \epsilon \rightarrow 0$)；

○ 每个圆弧都处于具有外半径 r_a 和内半径 r_i 的圆环的边界内或边界上,所述圆环的中心处于生成的螺杆剖面的旋转点上；

○ 所述圆弧至少之一接触外半径 r_a ；

○ 所述圆弧至少之一接触内半径 r_i 。

[0134] 一形成被生成的螺杆剖面的数目 n' 个圆弧,其角度 $\alpha_1', \alpha_2', \dots, \alpha_{n'}'$ 及其半径 $r_1', r_2', \dots, r_{n'}'$ 得出如下：

○ $n' = n$

○ $\alpha_{1'} = \alpha_1; \alpha_{2'} = \alpha_2; \dots; \alpha_{n'} = \alpha_n$

○ $r_{1'} = a - r_1; r_{2'} = a - r_2; \dots; r_{n'} = a - r_n$ 。

[0135] 一形成被生成的螺杆剖面的 n' 个圆弧的位置得出如下：

○ 被生成的螺杆剖面的第 i' 个圆弧的中心与生成的螺杆剖面的第 i 个圆弧的中心相距等于轴线距离 a 的距离；

○ 生成螺杆剖面的第 i' 个圆弧的中心与被生成的螺杆剖面的旋转点具有这样的距离，该距离对应于生成的螺杆剖面的第 i 个圆弧的中心与生成的螺杆剖面的旋转点的距离；

○ 被生成的螺杆剖面的第 i' 个圆弧的中心与生成的螺杆剖面的第 i 个圆弧的中心之间的连接线与被生成的螺杆剖面的旋转点与生成的螺杆剖面的旋转点之间的连接线平行；

○ 生成的螺杆剖面的第 i' 个圆弧的起始点相对于被生成的螺杆剖面的剖面的第 i' 个圆弧的中心所成方向是与生成的螺杆剖面的剖面的第 i 个圆弧的起始点相对于生成的螺杆剖面的第 i 个圆弧的中心所成的方向相反的方向；

其中 i 和 i' 是一般经过 1 至圆弧数目 n 或 n' 范围中的所有值的整数 ($i' = i$)。

[0136] 构造方法原则上可以单单用量角规和圆规在纸上实施。因此，例如在螺杆元件的剖面的第 i 个和第 $(i + 1)$ 个圆弧之间构造正切过渡，其方式是，在第 i 个圆弧的终点周围划出具有半径 $r_{(i+1)}$ 的圆，并且该圆与经过第 i 个圆弧的中心和终点定义的直线在接近螺杆元件的旋转点处的交点是第 $(i+1)$ 个圆弧的中心。在实际中，替代于使用草图本、量角规和圆规而借助于计算机虚拟地生成剖面。

[0137] 在申请 PCT/EP2009/003549 中描述了成对精确摩擦的螺杆剖面的构造规定。在此，当构造例如在使用笛卡尔坐标系的情况下进行时或者当螺杆剖面具有一定对称性时深入探讨所得出的变型方案。

[0138] 基本原理以及基于此的构造规定首先允许几乎完全自由地设计自清洁的螺杆元件的剖面并且因此按照应用通过最小的参数改变对其进行优化。此外可能的是，通过足够大数目的圆弧以所期望的精度逼近不由圆弧构成并且因此不是自清洁的螺杆剖面。在此，借助于圆弧逼近的剖面自然是自清洁的。

[0139] 因此，在使用基于数据的模型的情况下进行根据本发明的优化的螺杆挤压机的几何结构是可行的。为此，必须首先从二维剖面中产生三维螺杆剖面。从所构造的螺杆剖面中可以生成所有可想到的螺杆元件和过渡元件。尤其是可以生成运送元件、揉捏元件和混合元件。

[0140] 运送元件的公知特点(例如参见 [1] 第 227-248 页)是，螺杆剖面以一定轴向连续地螺杆式旋转和延伸。在此，运送元件可以为右旋或左旋的。运送元件的螺距优选地处于轴线距离的 0.1 倍至 10 倍的范围中，其中应将螺距理解成螺杆剖面的完整旋转所需的轴向长度，并且运送元件的轴向长度优选地处于轴线距离的 0.1 倍至 10 倍的范围中。

[0141] 揉捏元件的公知特点(例如参见 [1] 第 227-248 页)是，螺杆剖面以一定轴向分批地以揉捏圆盘的形式向前输送。揉捏圆盘的布置可以右旋或左旋地或者中性地。揉捏圆盘的轴向长度优选地处于轴线距离的 0.05 倍至 10 倍的范围中。两个相邻揉捏圆盘之间的轴向距离优选地处于轴线距离的 0.002 倍至 0.1 倍的范围中。

[0142] 混合元件公知地通过如下方式形式(例如参见[1]第227-248页):利用螺杆尖头中的贯穿部来实施运送元件。混合元件可以是右旋或左旋的。其螺距优选地处于轴线距离的0.1倍至10倍的范围中,并且该元件的轴向长度优选地处于轴线距离的0.1倍至10倍的范围中。所述贯穿部优选地具有u形或v形槽口的形式,所述槽口优选地以反向运送或轴平行的方式布置。

[0143] 将这样的螺杆元件称为过渡元件:所述螺杆元件实现两个不同螺杆剖面之间的连续过渡,其中在过渡的每个点处存在自清洁的螺杆剖面对。在此,不同的螺杆剖面可以具有不同的单位长度的螺纹数。过渡元件可以是右旋或左旋的。其螺距优选地处于轴线距离的0.1倍至10倍的范围中,并且其轴向长度优选地处于轴线距离的0.1倍至10倍的范围中。

[0144] 专业人员公知的是,直接摩擦的螺杆不能直接用在双螺杆挤压机中,而是需要螺杆之间的余量。

[0145] 专业人员公知的是从预先给定的精确摩擦的螺杆剖面出发导出具有余量的螺杆的方法。为此公知的方法例如是[1]中第28页及以后描述的轴线距离扩大、纵剖面等距和空间等距的可能性。在轴线距离扩大的情况下,构造较小直径的螺杆剖面,并且在螺杆之间彼此移动余量的绝对值。在纵截面等距方法的情况下,纵截面剖面曲线(与相应元件的旋转轴线平行)垂直于剖面曲线地向内、向旋转轴线方向移动螺杆一螺杆余量的一半。在空间等距方法的情况下,从在其上螺杆元件进行清洁的空间曲线出发,将螺杆元件在与精确摩擦的剖面的表面垂直的方向上缩小螺杆与螺杆之间的余量的一半。优选地使用纵截面等距和空间等距、特别优选地使用空间等距。

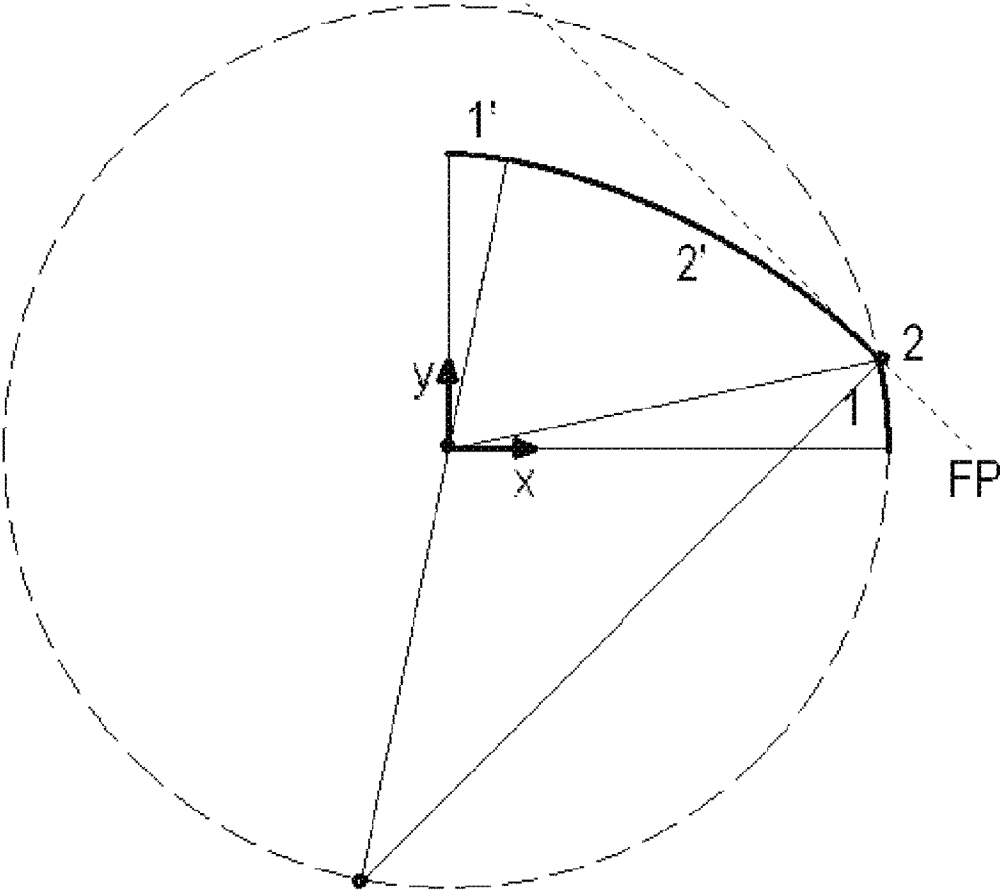


图 1a

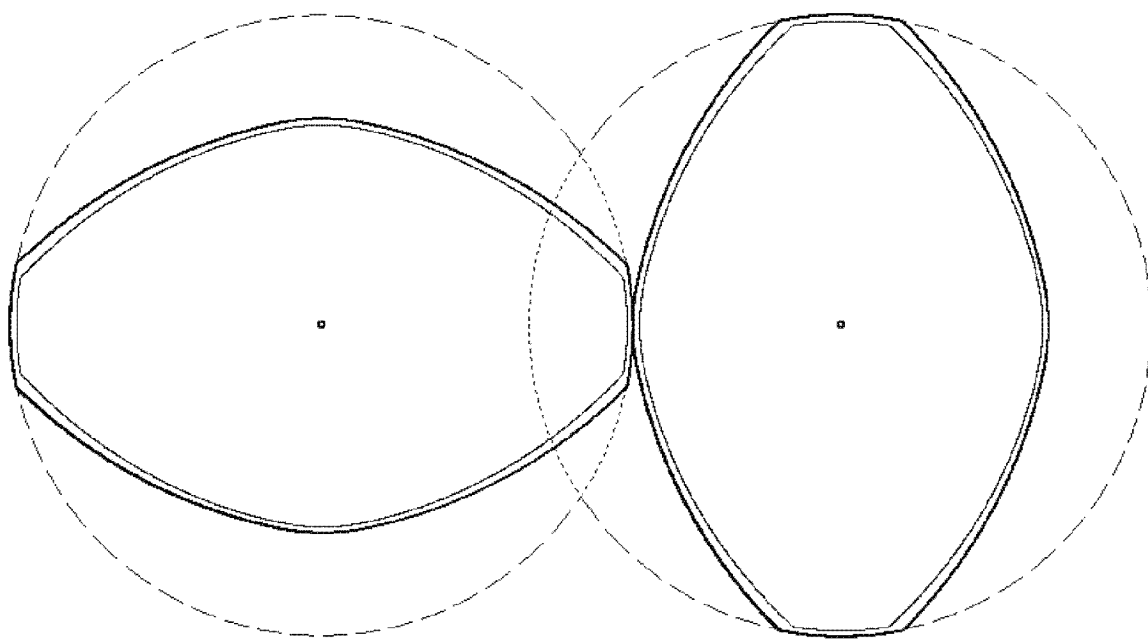


图 1b

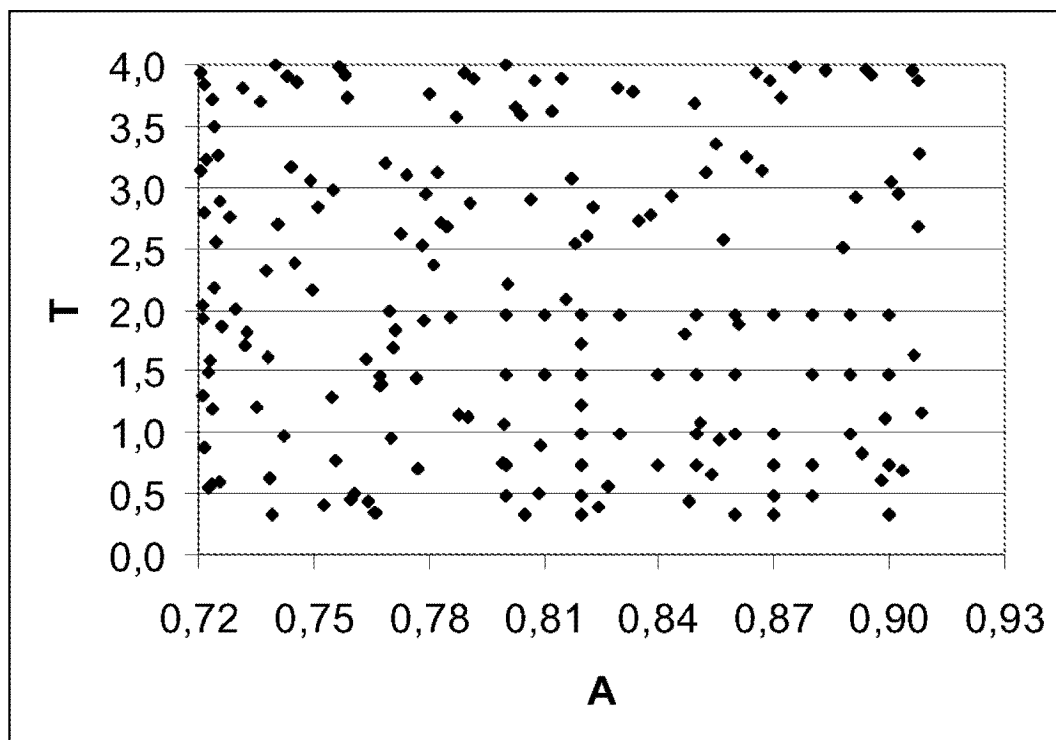


图 2

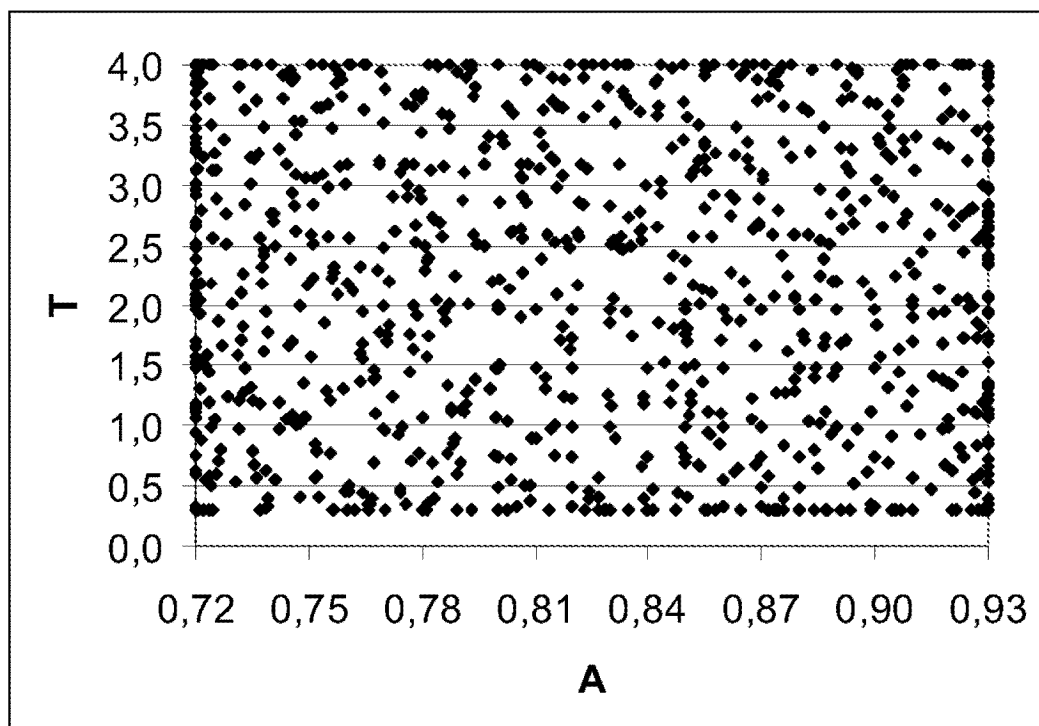


图 3

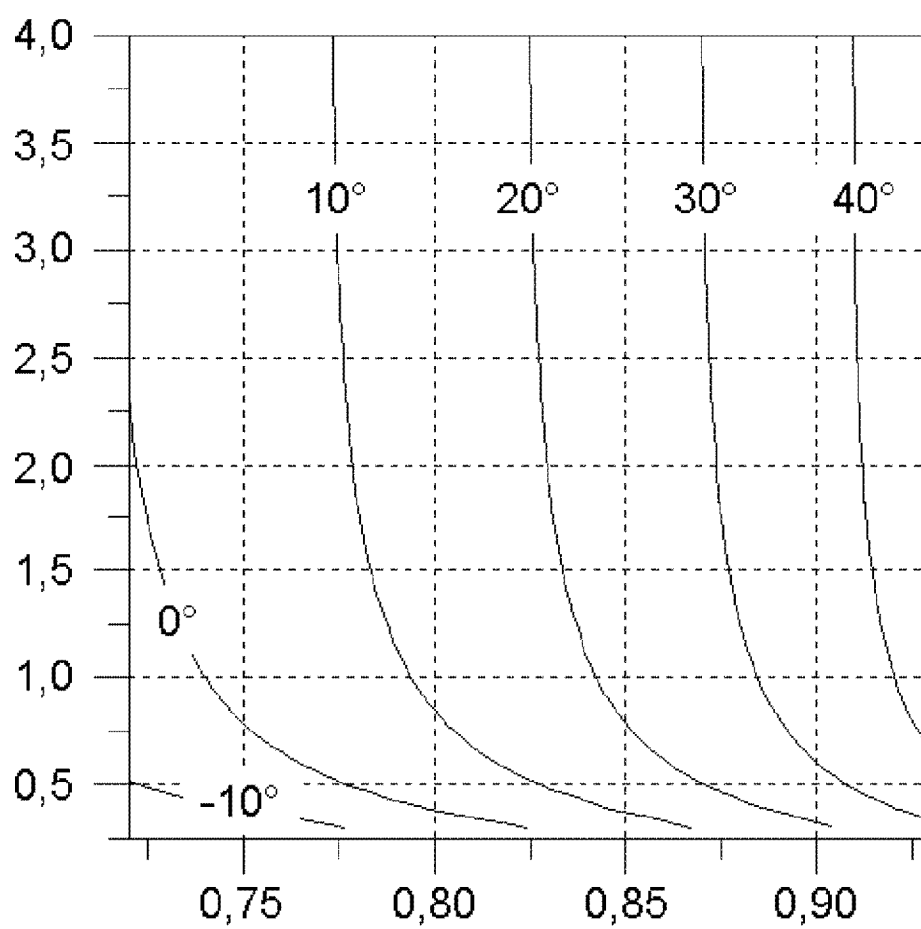


图 4

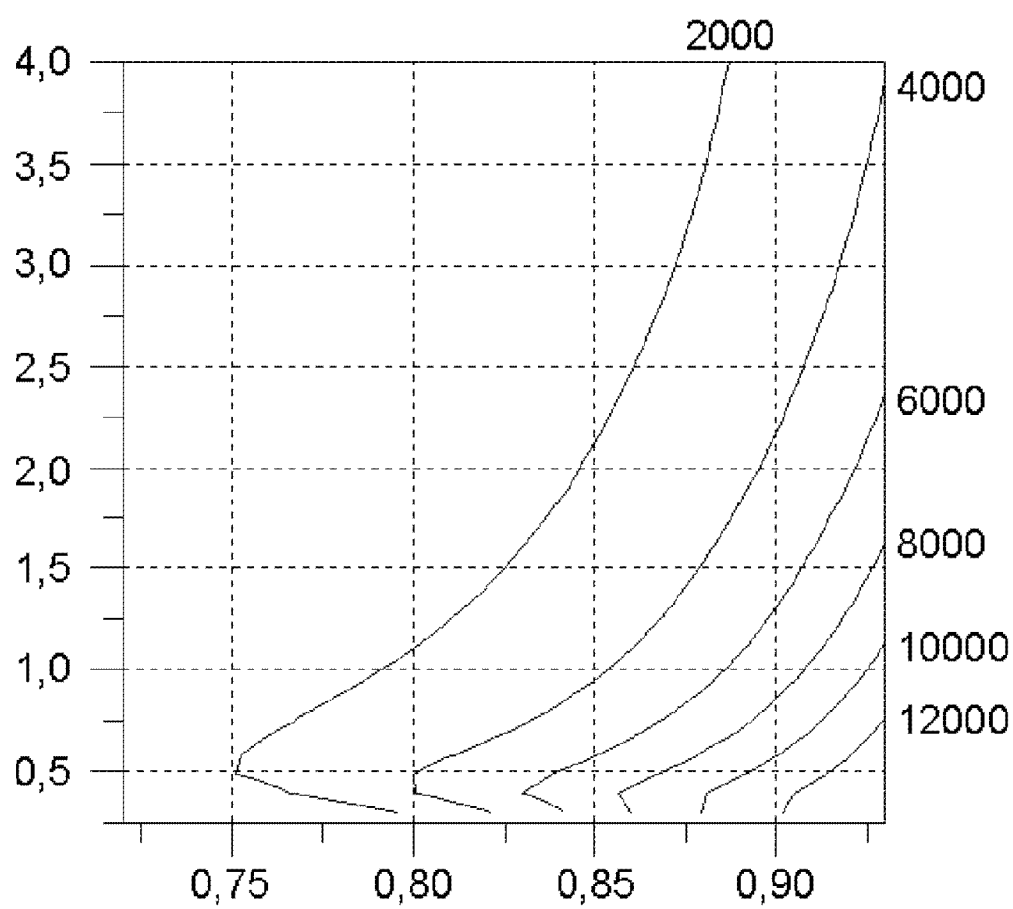


图 5

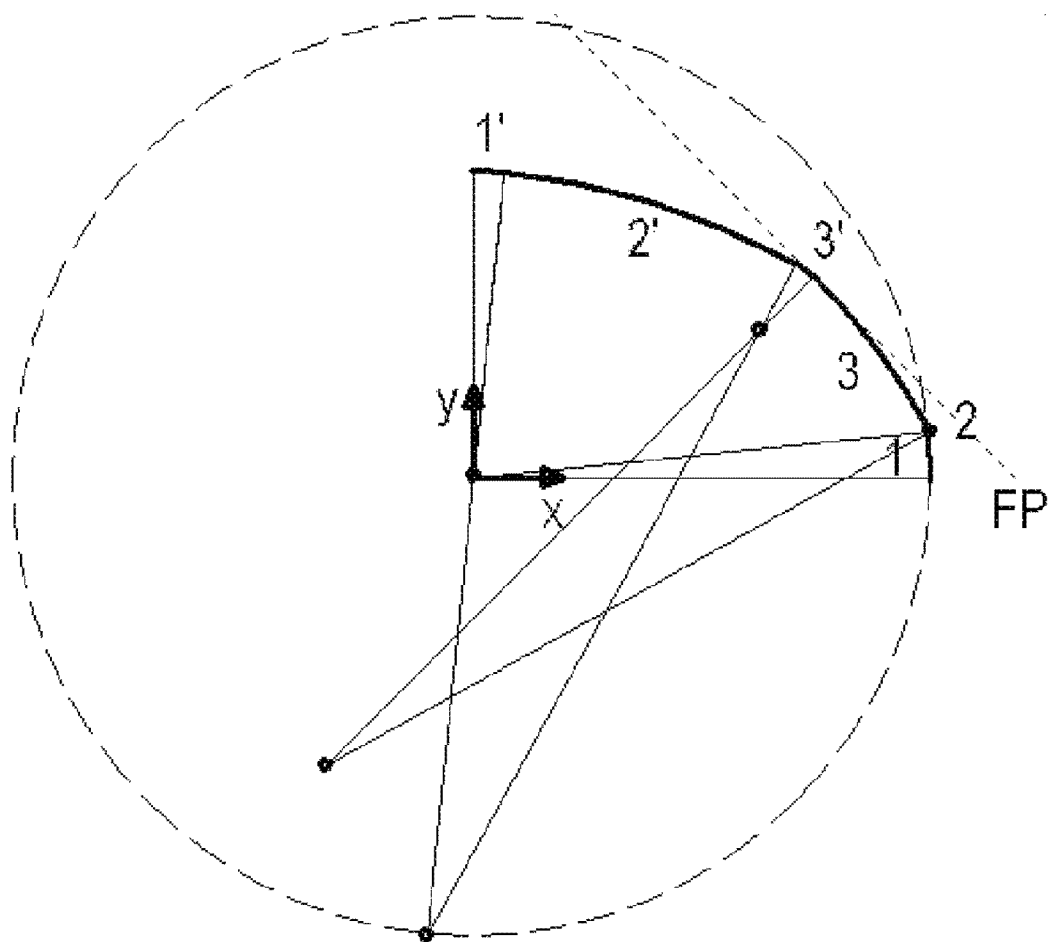


图 6a

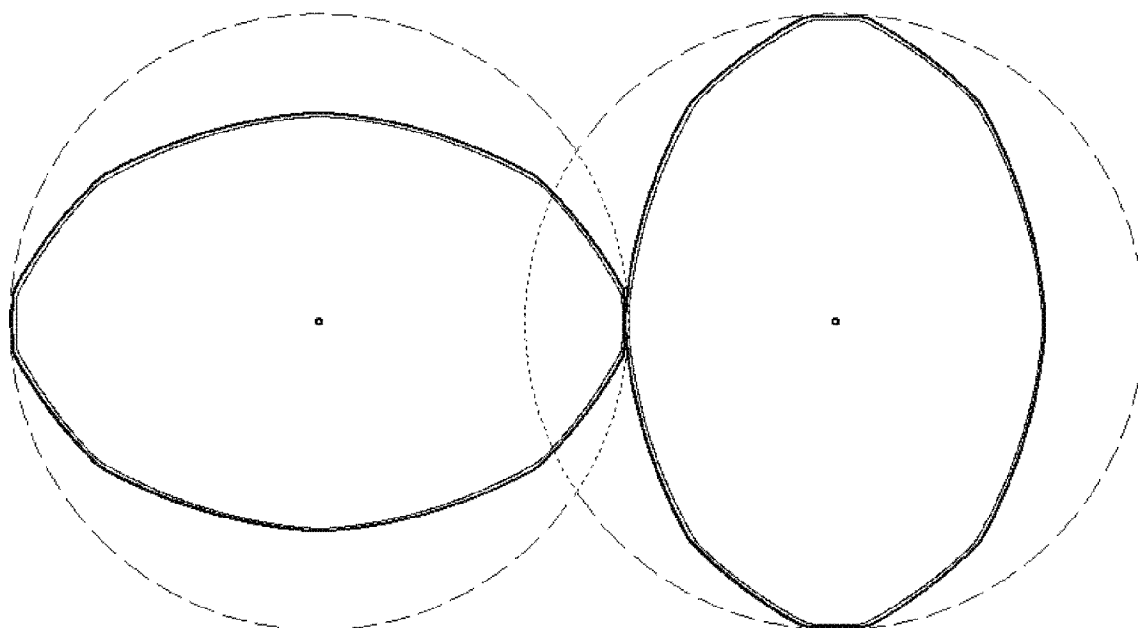


图 6b

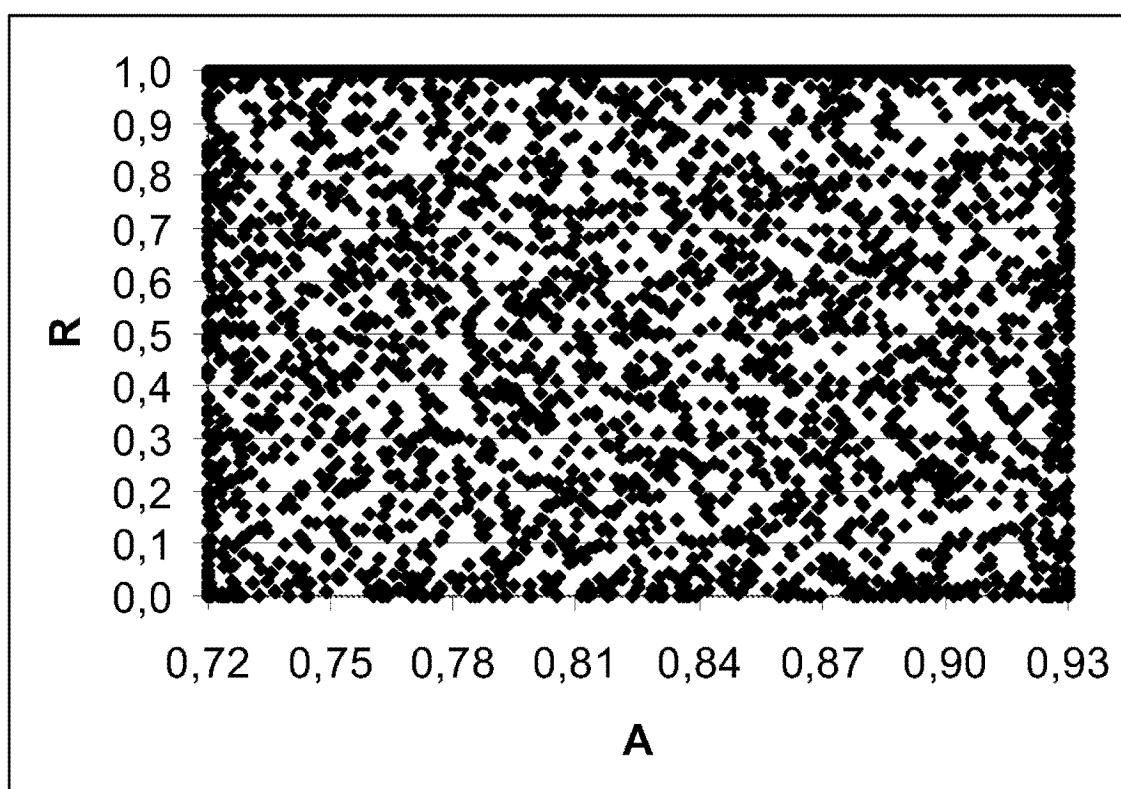


图 7

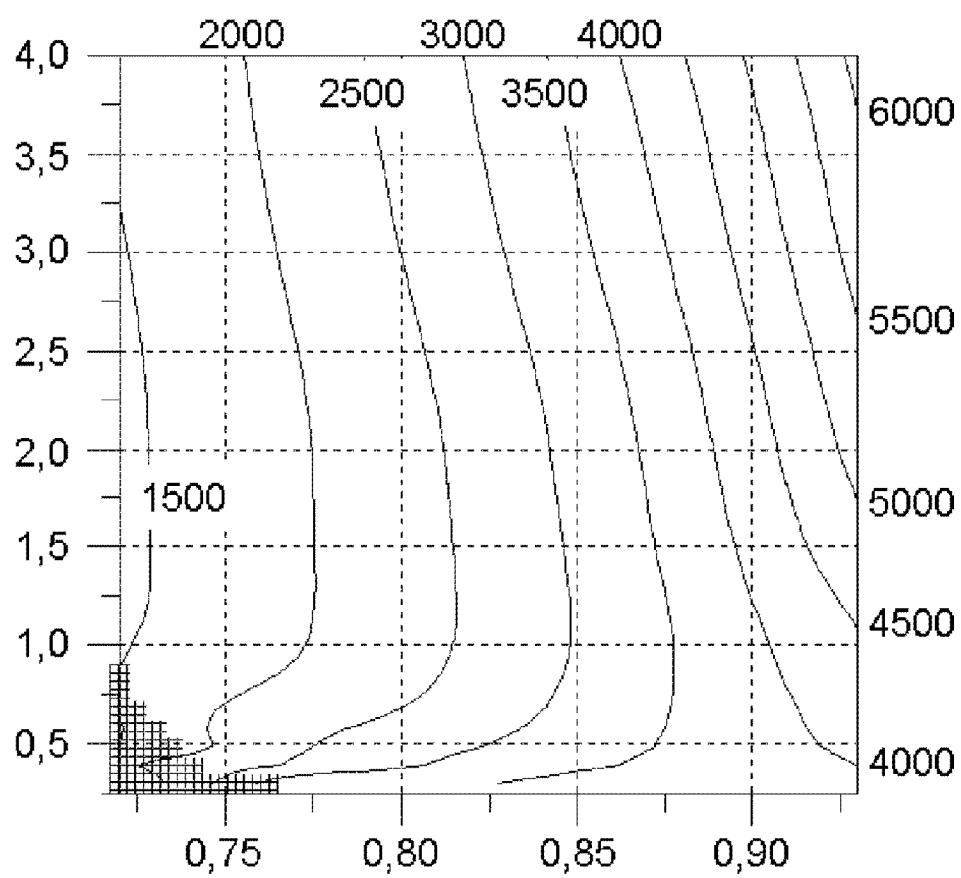


图 8

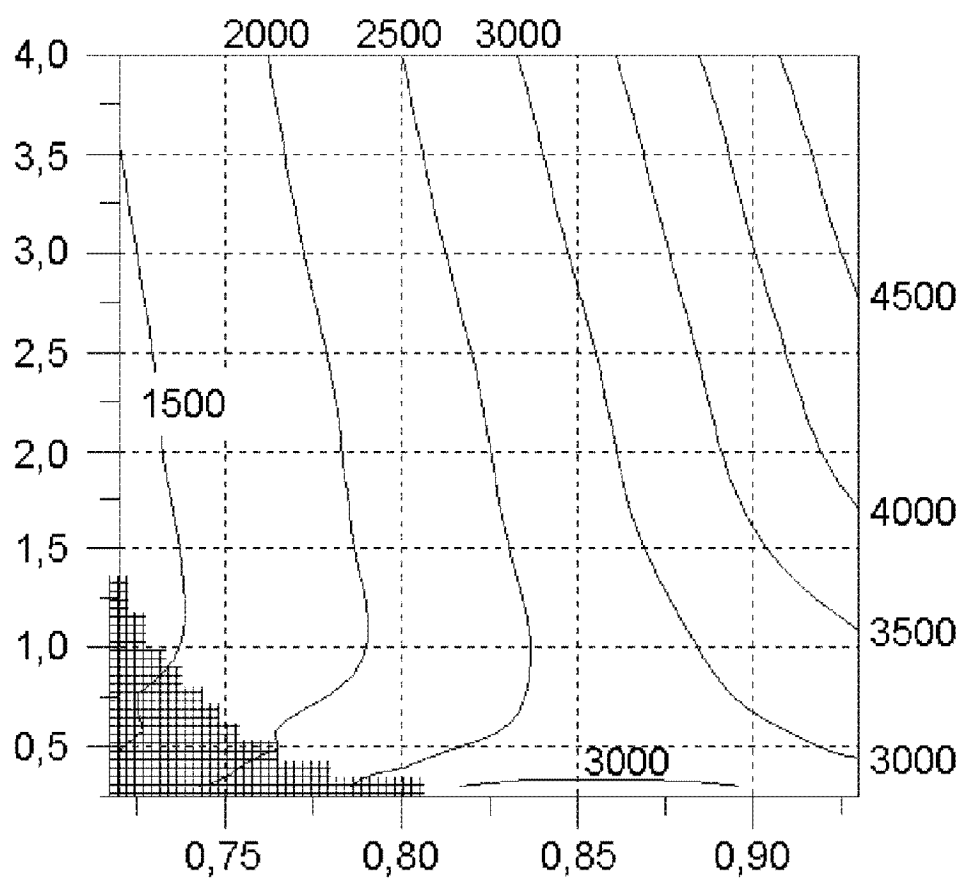


图 9