



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104850249 A

(43) 申请公布日 2015. 08. 19

(21) 申请号 201510069970. 1

(22) 申请日 2015. 02. 10

(30) 优先权数据

14/184, 169 2014. 02. 19 US

(71) 申请人 罗技欧洲公司

地址 瑞士洛桑市

(72) 发明人 克里斯多佛·罗尔夫·路斯恩·温特
伊夫·佩里亚尔德

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理
有限公司 11262

代理人 周靖 郑霞

(51) Int. Cl.

G06F 3/0354(2013. 01)

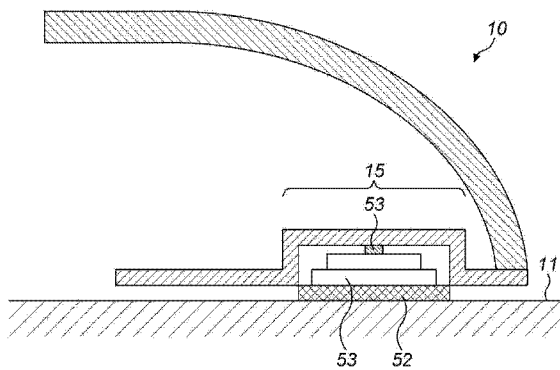
权利要求书1页 说明书10页 附图27页

(54) 发明名称

用于减小输入设备和基准面之间的摩擦的超级滑动的用途

(57) 摘要

本公开涉及用于减小输入设备和基准面之间的摩擦的超级滑动的用途。输入设备通信地耦合到主机，其中输入设备相对于基准面的运动被测量，且其中输入设备和所述基准面之间的摩擦是动态可减小的。输入设备包括壳体和用于接触基准面的执行器。执行器包括第一层和第二层，第一层包括向其施加电压的压电材料，而第二层包括与第一层不同的、粘结到第一层的材料。电压到第一层的施加导致一层空气存留在执行器和基准面之间。这层空气将输入设备和基准面之间的摩擦从第一数量的摩擦减小到第二数量的摩擦。



1. 一种输入设备,其通信地耦合到主机,其中所述输入设备相对于基准面的运动被测量,且其中所述输入设备和所述基准面之间的摩擦是动态可减小的,所述输入设备包括:

壳体;以及

执行器,其用于接触所述基准面,所述执行器包括:

第一层,其包括压电材料,电压被施加到所述压电材料;以及

第二层,其包括与所述第一层不同的材料,并粘结到所述第一层;

其中电压到所述第一层的施加导致一层空气存留在所述执行器和所述基准面之间,其中所述一层空气将在所述输入设备和所述基准面之间的摩擦从第一数量的摩擦减小到第二数量的摩擦;以及

其中所述第一层为具有外径的圆盘形状,而所述第二层为具有外径的圆盘形状,所述第二层的外径等于或大于所述第一层的外径,其中所述第二层的外径在 5-8.5mm 的区间中。

2. 如权利要求 1 所述的输入设备,其中所述第一层具有 0.3-0.4mm 的厚度,且其中所述第二层具有 0.3-0.6mm 的厚度。

3. 如权利要求 1 所述的输入设备,其中所述第一层为具有与所述第二层对应的外径的圆盘形状,且其中所述第一层的厚度在 0.3-0.35mm 的区间内。

4. 如权利要求 1 所述的输入设备,其中所述第一层为环的形状,所述环具有与所述第二层的外径对应的外径并具有 2-3.5mm 的内径。

5. 如权利要求 4 所述的输入设备,其中所述第一层具有 0.3-0.35mm 的厚度。

6. 如权利要求 1 所述的输入设备,其中所述第一层为具有小于所述第二层的第二外径的外径的圆盘形状,其中所述第一层的外径在 1.5-6mm 的区间内。

7. 如权利要求 6 所述的输入设备,其中所述第二层的厚度在 0.3-0.5mm 的区间内。

8. 如权利要求 1 所述的输入设备,其中所述第二层包括玻璃。

9. 如权利要求 1 所述的输入设备,其中所述第二层包括钢。

10. 如权利要求 1 所述的输入设备,其中所述第二层包括铝合金。

11. 一种输入设备,其通信地耦合到主机,其中所述输入设备相对于基准面的运动被测量,且其中所述输入设备和所述基准面之间的摩擦是动态可减小的,所述输入设备包括:

壳体;以及

执行器,其用于接触所述基准面,所述执行器包括:

第一层,其包括压电材料,电压被施加到所述压电材料;以及

第二层,其包括与所述第一层不同的材料,并粘结到所述第一层;

其中电压到所述第一层的施加导致一层空气存留在所述执行器和所述基准面之间,其中所述一层空气将所述输入设备和所述基准面之间的摩擦从第一数量的摩擦减小到第二数量的摩擦。

用于减小输入设备和基准面之间的摩擦的超级滑动的用途

技术领域

[0001] 本公开通常涉及输入设备,且特别涉及用于控制输入设备和基准面之间的摩擦的设备和方法。

背景技术

[0002] 在过去几十年来,发展了用于生成计算机的指令的几种类型的输入设备。这些设备包括鼠标、轨迹球、键盘和触控板。那些输入设备中的一些相对于基准面(例如支座)进行移动以生成指令。这些输入设备包括例如鼠标。其它输入设备适合于将物体相对于输入设备的有效表面的运动转换成用于计算机的指令。那些设备包括触控板。

[0003] 随着时间的推移,用户形成了关于使用用于生成特定的指令的特定输入设备的某些偏好。例如,鼠标特别适合于控制在计算机屏幕上的光标的运动。触控板特别适合于允许用户链接到特定的手势功能例如以翻看一叠文件。当使用输入设备时,应注意,在输入设备和基准面(输入设备在基准面上进行使用)之间的摩擦直接影响使用输入设备的舒适度和所产生的指令的准确度。

[0004] 例如,对于鼠标,该摩擦对鼠标相对于基准面的运动和由用户在将计算机屏幕上的光标从一个位置移动到另一位置时消耗的力有影响。当使用鼠标时,摩擦减小了用户的行动速度以及他对光标的定位的精确度。此外,当鼠标在基准面上移动时,摩擦可导致噪声的产生。减小摩擦将增加鼠标滑动和精确度。此外,这将帮助减小或甚至消除滑动粘附(slip stick),其为由在静摩擦和动摩擦之间的差异引起的效应。由于这个和其它原因,减小并控制鼠标和基准面之间的摩擦可明显增强用户的体验。

[0005] 应注意,当在基准面上使用鼠标时,为了使用户舒适地使用鼠标,需要一些摩擦。例如,如果用户不能够点击同一点两次,他将不能够执行用得很多的双击操作。另一例子是,当鼠标未被使用时,鼠标不应从用户由于缺少摩擦而留下它的位置移走。这可例如是假设基准面是倾斜的情况。

[0006] 在输入设备和基准面或支座之间的摩擦水平对其它类型的设备(例如触控板)也是重要的。当使用触控板时,用户将在触控板的有效表面之上或相对于触控板的有效表面移动物体或手指。在触控板和基准面之间的摩擦应足以避免当在有效表面之上移动手指或物体时设备本身产生位移。如果摩擦不是足够的,则用户会最终使用两只手来向计算机提供指令。将需要一只手来将触控板保持在固定位置处,而使用另一只手来在触控板的有效表面上生成指令。

发明内容

[0007] 输入设备通信地耦合到主机,其中输入设备相对于基准面的运动被测量,且其中在输入设备和所述基准面之间的摩擦是动态可减小的。输入设备包括壳体和用于接触基准面的执行器。执行器包括第一层和第二层,第一层包括向其施加了电压的压电材料,而第二层包括与第一层不同的、粘结到第一层的材料。电压到第一层的施加导致一层空气存留在

执行器和基准面之间。这层空气将在输入设备和基准面之间的摩擦从第一数量的摩擦减小到第二数量的摩擦。第一层为具有外径的圆盘形状，而第二层为具有等于或大于第一层的外径的外径的圆盘形状。第二层的外径在 5-8.5mm 的区间中。

[0008] 输入设备通信地耦合到主机，其中输入设备相对于基准面的运动被测量，且其中在输入设备和所述基准面之间的摩擦是动态地可减小的。输入设备包括壳体和用于接触基准面的执行器。执行器包括第一层和第二层，第一层包括向其施加了电压的压电材料，而第二层包括与第一层不同的、粘结到第一层的材料。电压到第一层的施加导致一层空气存留在执行器和基准面之间。这层空气将在输入设备和基准面之间的摩擦从第一数量的摩擦减小到第二数量的摩擦。

附图说明

[0009] 在附图中，示出了结构，其连同下面提供的详细描述一起描述示例性实施方式。使用相同的参考数字标示相同的元件。应理解，被示为单个部件的元件可以用多个部件代替，且被示为多个部件的元件可以用单个部件代替。附图并不是按比例画的，且某些元件的比例可为了说明的目的而被放大。

[0010] 图 1 是以具有三个设备的鼠标的形式的输入设备的三维表示，这三个设备用于在鼠标的底部和基准面之间产生挤压膜；

[0011] 图 2 示出根据图 1 的用于产生挤压膜的设备之一的细节；

[0012] 图 3 示出用于产生挤压膜的设备侧视图；

[0013] 图 4A 和 4B 示出压电元件分别在扩张和收缩阶段期间的运动；

[0014] 图 5 示出用于产生包括压电材料的叠层的挤压膜的设备；

[0015] 图 6 示出所绘制的空气间隙与时间的关系曲线图；

[0016] 图 7 示出所绘制的压力与时间的关系曲线图；

[0017] 图 8 示出在弯曲支柱的执行器的截面图中的第一实施方式；

[0018] 图 9 示出由挤压膜产生的平均力的示意性表示；

[0019] 图 10 示出完整的圆盘压电折弯机执行器；

[0020] 图 11 示出所产生的 1000 个随机选择的执行器，在实验的空间中表示了其的轨迹；

[0021] 图 12、13 和 14 示出表示作为计算的力的函数的最大振动幅度、扫过体积和扫过表面的三个曲线图；

[0022] 图 15 表示优化过程流动指示；

[0023] 图 16 示出作为迭代数量的函数的 Pareto 前沿的演变；

[0024] 图 17 示出完整的压电圆盘的优化结果；

[0025] 图 18 示出 Pareto 前沿个体的完整的压电圆盘的相关函数；

[0026] 图 19 示出由模拟力代替的相关性的优化结果；

[0027] 图 20 示出如图 8 所示的压电环元件的优化结果；

[0028] 图 21 示出 Pareto 前沿个体的压电环元件的相关函数；

[0029] 图 22 示出由模拟力代替的相关性的优化结果；

[0030] 图 23 表示具有轴对称执行器横截面的弯曲执行器的第三实施方式；

- [0031] 图 24 示出根据图 23 的压电执行器的优化结果；
- [0032] 图 25 示出 Pareto 前沿个体的圆形压电补片的相关函数；
- [0033] 图 26 示出由模拟力代替的相关性的优化结果；
- [0034] 图 27 表示所产生的归一化平均力与归一化相关假设的比较；
- [0035] 图 28 示出具有波长 $\lambda \geq 20\text{mm}$ 的相关函数；
- [0036] 图 29 示出具有波长 $\lambda \geq 10\text{mm}$ 的相关函数；
- [0037] 图 30 表示振动拓扑；
- [0038] 图 31 示出三个所研究的折弯机拓扑的相关函数；
- [0039] 图 32 示出三个折弯机拓扑的最佳 Pareto 前沿；
- [0040] 图 33 示出根据图 8、10 和 23 的最佳执行器的归一化 Pareto 前沿；以及
- [0041] 图 34 以表 1 的形式示出优化边界。

具体实施方式

[0042] 在下面的说明书中,如在本文使用的,“输入设备”可包括常规的鼠标、光学鼠标、触控板、轨迹球等。用于减小和控制由输入设备在基准面上的运动产生的摩擦的设备和/或方法可与需要连续四处移动的任何输入设备一起使用(例如以控制光标运动)。因此虽然随后的讨论致力于鼠标,但应认识到,设备可与其它这样的输入设备一起使用。此外,“基准面”、“桌子”、“表面”和“工作表面”可互换地使用,并被考虑为包括包含鼠标垫的任何表面,输入设备可在该表面上进行使用。

[0043] 在一个实施方式中,公开了用于减小和控制由输入设备在基准面上的运动产生的摩擦或用于减小和控制由控制指令的生成的输入设备内的移动零件产生的摩擦的设备和方法。

[0044] 各种实施方式涵盖可单独地或组合地使用以减小动摩擦和/或静摩擦的解决方案。一些实施方式以材料的组合形式进行优化。该材料导致对在输入设备和基准面之间的摩擦的更好控制以及噪声抑制。

[0045] 在一个实施方式中,通过优化在输入设备和基准面之间的超级滑动效应来控制输入设备和基准面之间的摩擦的减小。因此,使用了即使当用户使她/他的手的重量加到自己的输入设备的重量时也防止输入设备接触基准面的挤压膜。例如,这通过使用包括压电材料的输入设备的底脚以产生振荡来实现。施加到底脚的功率可被改变以动态地控制在输入设备和基准面之间的摩擦的数量。

[0046] 在一些情况中,当到桌子的距离增加时,提升力急剧降低,产生到基准面的小的但相对稳定的距离。

[0047] 另一实施方式包括用于适当地控制如情况所需要的摩擦的智能算法。例如,当用户期望使用输入设备双击显示器上的特定点时,可能需要在输入设备和工作表面之间的更大的摩擦。此外,为了在各种游戏环境中使用,更多或更少的摩擦可能是合乎需要的。

[0048] 本文所述的特征和优点并不是包括一切的,且具体地,基于本文的附图、说明书和权利要求书,很多额外的特征和优点将对本领域中的普通技术人员明显。而且,应注意,在说明书中使用的语言主要被选择用于可读性和教学目的,且不能被选择来描绘或限制该创造性主题,采用确定这样的创造性主体所必需的权利要求。

[0049] 图 2 示出一个实施方式,其中超声挤压膜被用于减小在输入设备 10(例如,如在图 1 上描绘的鼠标 10) 和工作表面 11 之间的摩擦。鼠标 10 设有三个设备(或底脚)15 以由于所述设备 15 的振动而产生挤压膜。在一个实施方式中,这样的振动垂直于在表面 11 之上的鼠标 10 的运动的平面。如图 1 所示的鼠标具有包括由压电材料制成的层的三个单独的圆盘形的底脚 15。在一个实施方式中,这个压电层粘接到由不同材料制成的另一层。在另一实施方式中,底脚 15 由上下振动的叠层(例如压电层的叠层)制成。可使用的压电材料的例子包括压电陶瓷材料 PIC 151、PIC 155、PIC 255。在一个实施方式中,可使用压电聚合物来代替压电陶瓷材料。应注意,也可使用可类似地进行激励的其它材料。

[0050] 当这些底脚 15 中的一个或多个在正确的频率下被电子地激励时,它们在它们和工作表面 11 之间振动并存留一层空气。空气膜由于振动而出现,且振动太快而不允许空气逸出薄间隙。这层空气显著地减小了摩擦,且鼠标 10 仅以最轻的接触在工作表面 11 上四处移动。该结果可比得上使用空气泵产生的一层空气。

[0051] 图 2 示出具有相当详细地示出的底脚 15 之一的鼠标 10 的部分视图。在这个实施方式中,一层压电材料 51 粘接到由另一材料制成的衬板层 52。在这个讨论中,这些层被称为圆盘,但应注意,这些层可具有任何形状,例如矩形、椭圆形等。如图 2 所示,压电圆盘 51 粘接到由另一适当的材料制成的衬板圆盘 52。在一个实施方式中,压电圆盘 51 是压电陶瓷圆盘,且衬板圆盘 52 由玻璃制成。在另一实施方式中,衬板圆盘 52 由钢制成。在另一实施方式中,衬板圆盘 52 包括铝合金。在一个实施方式中,压电圆盘 51 和衬板圆盘 52 具有匹配的厚度。例如,这些圆盘中的每个可以为 1mm 厚。压电圆盘 51 具有沉积在其上的电极。在一个实施方式中,在压电圆盘 51 上的电极在每个侧面上有一个。在一个实施方式中,一个卷绕式电极用于单面布线。对本领域中的技术人员将明显,其它振荡模式和电极配置是可能的。也可看到用于支承压电圆盘 51 和连接到其的衬板圆盘 52 的压电支座 53。未示出的压电驱动器用于在电极之间施加电压。在一个实施方式中,为了使压电层振荡,电压必须随着时间的推移以期望的振荡频率改变。在一个实施方式中,使用了交流电流(A/C)。

[0052] 图 3 更详细示出底脚 15 的结构。在底部处,存在振荡粘接的圆盘:在顶部上的一层压电陶瓷 51 和在底部上的一层玻璃层 52。当电压施加在电极之间时,压电陶瓷 51 在直径方向上扩张或收缩。玻璃 52 是惰性的,粘结的圆盘变形,使得中心稍微高于或低于边缘并在这两个位置之间振荡,通常振荡仅仅几微米。存在保持固定但能够轻微旋转的波节圆。这个圆是支座 53 与圆盘接触的地方,因此它不抑制振荡。支座 53 放置在枢销 54 上,使得它可绕着销的顶端在枢轴上转动并保持在基准面 11(即使存在一些不均匀度)上的振荡粘接的圆盘平坦。

[0053] 图 4 示出压电底脚 15 的功能。如上面提到的,压电圆盘 51 粘接到衬板圆盘 52。在一个实施方式中,这两层 51 和 52 被选择来优化连接的圆盘的弯曲。在一个实施方式中,这两个圆盘 51 和 52 的相对厚度被调节以优化形变。

[0054] 压电陶瓷圆盘 51 在特定的频率下被激发。在一个实施方式中,振荡频率高于可听见的频率,使得它不能被听到。在一个实施方式中,该频率为大约 20kHz。当被激发时,压电圆盘 51 在直径方向上扩张和收缩。衬板圆盘 52 不扩张和收缩,导致粘结的圆盘的弯曲。在可选的实施方式中,两个陶瓷圆盘可被粘结在一起,使得当施加了电压时,一个收缩而另一个扩张,导致增强的弯曲效应。在这种情况下,在一个实施方式中,在下面添加了附加的

低摩擦表面。如图 4 所示,这导致在底脚 15 之下的空气的膨胀和压缩。图 4A 示出压电扩张阶段,而图 4B 示出压电收缩阶段。

[0055] 在一个实施方式中,如图 5 所示的几层压电元件 51a...51n 可堆叠在一起,代替单个压电圆盘 51,以增加由施加电压而产生的机械运动。叠层 51a...51n 不是如上面关于图 4 描述地那样进行弯曲。而是,叠层 51a...51n 相对于基准面 11 上下平移。如果使用单个厚的压电圆盘 51,则所需的电压非常大。制造叠层 51a...51n 以允许各层并联地连接。在叠层 51a...51n 中的每层的厚度的例子是大约 1mm。在一个实施方式中,两个相邻压电层的电极接触,且各层在交替的方向上进行组装,使得当施加电压时它们都扩张或都收缩。在一个实施方式中,压电叠层 51a...51n 进一步与衬板圆盘 52 粘结,使得衬板圆盘 52 保护在压电元件 51a...51n 上的易碎电极。

[0056] 图 6 和 7 示出在图 4 中所示的鼠标 10 的底脚 15 之下的空气的压缩和膨胀如何导致减小的摩擦。图 6 示出所绘制的空气间隙,即在粘结的圆盘和工作表面 11 之间的距离与时间的关系曲线图。图 7 示出积累的压力与时间的关系曲线图。通过比较图 6 和 7,可看到,鼠标底脚的一部分高度的减小(即,压缩)导致压力的增加,而高度的增加(即,膨胀)导致压力的降低。重要的是注意到,在空气间隙“h”和压力“p”之间的关系是非线性的。这个非线性度的结果是提升力。

[0057] 在一个实施方式中,驱动信号的频率匹配组件的谐振频率之一,以便最大化振荡幅度。在一个实施方式中,两个圆盘 51 和 52 沿着其波节圆进行附接,因此组合的圆盘可自由振荡。这样的附接还允许完整的底脚组件稍微绕枢轴转动以适应于基准面 11 并以均匀的接触压力完美地保持平坦。如上面提到的,只要粘结的圆盘的适当弯曲是可能的,材料(例如玻璃、钢或铝)就可用于衬板圆盘 52。调节这两层 51 和 52 的直径和厚度也是优化形变幅度和振荡频率的方式。

[0058] 在一个实施方式中,每个底脚 15 具有被调谐以经由微调器或通过自动调节系统而谐振的单独振荡器/放大器电路。在一个实施方式中,使用了低电压输入,且电感器被用于升高压电圆盘 51 被激励时的电压。例如,输入电压是 24V,而压电圆盘 51 被激励时的电压是 200V。

[0059] 根据另一实施方式,底脚 15 包括具有由胶合在无源支座 61 上的有源环形压电元件 60 制成的压电执行器的弯曲支柱。压电元件 60 在轴向方向上极化并具有在两个主表面上的电极。图 8 示出所使用的拓扑的截面视图。在这两种材料之间的双压电晶片效应应用于放大执行器的位移。

[0060] 四个因子,例如分别为 $D_{in} = 2R_{in}$ 和 $D_{ext} = 2R_{ext}$ 的内径和外径以及两个厚度 h_s 和 h_p 是可调谐的,且可选择有源材料和无源材料。因子 h_s 指衬板圆盘 52 的厚度;因子 h_p 指压电圆盘 51 的厚度。例如,用于连接这两个圆盘的胶是环氧树脂。这可例如是 Araldite 2011。接触电极线使用导电环氧树脂(例如 EPO-TEK E4110)来胶合。这两者在执行器的设计期间都被忽略。

[0061] 为了适当地使底脚 15 形成所需尺寸,进行以下推测:只基于摩擦反馈执行器的机械振动特性估计的数量与摩擦反馈执行器所产生的压力相关。隐藏在相关推测后面的构想是最大化机械值而不是挤压膜压力且由于所假设的相关性对摩擦反馈应用仍然得到有效的执行器的可能性。这是特别有吸引力的,因为它是除去由挤压膜效应产生的力的耗时数

值估计的方便方式。通过选择来最大化执行器中心位移而容易和常常隐含地产生那种相关性。圆形振荡表面用作说明目的的例子。

[0062] 由挤压膜效应产生的平均力 \bar{F} 是压力。以非常一般的方式,它可根据图 9 被表示为:

[0063]

$$(1) \quad \bar{F} = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_{ext}} \bar{p}_f(r, \varphi) r dr d\varphi$$

[0064] 然而通过挤压膜的 Reynolds 方程已知过压取决于空气膜厚度。因此,压力 p_f 也是空气膜厚度 h 的函数并可被重写为:

[0065]

$$(2) \quad \bar{F} = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_{ext}} \bar{p}_f(h(r, \varphi, t), r, \varphi) r dr d\varphi$$

[0066] 其中 $h(r, \varphi, t) = h_0 + h_a(r, \varphi) \sin(\omega_0 t)$ 。重要的是记住,压力函数 p_f 相对于空气膜厚度 h 是非线性的,且对于大部分情况是不分析的。

[0067] 现在考虑由振动表面扫过的体积 V_{sw} , 其被定义为:

[0068]

$$(3) \quad V_{sw} = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_{ext}} |h_a(r, \varphi)| r dr d\varphi$$

[0069] 根据描述 \bar{F} 和 V_{sw} 的这两个方程的闭合形式和 p_f 和 h_a 之间的关系,可预期力和扫过体积之间的相关性,其为感兴趣的第一相关性。

[0070] 所研究的第二相关性是边界运动的重要影响。这里的构想是考虑由边界振动扫过的表面,且其被定义为:

[0071]

$$(4) \quad S_{sw} = \int_0^{2\pi} |h_a(r_{ext}, \varphi)| r_{ext} d\varphi$$

[0072] 为了加强对所呈现的相关性的假设,研究了向活塞一样移动的振动表面的特定情况。空气膜厚度是:

[0073]

$$(5) \quad h(r, \varphi, t) = h_0 + h_v \sin(\omega_0 t)$$

[0074] 其中 $h_a(r, \varphi, t) = h_v$, 且沿着振动表面是不变的。对于这个特定的情况,在空气膜内部的平均压力的分析解是:

$$(6) \quad \bar{F} = p_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{3}{2} \left(\frac{h_v}{h_0}\right)^2}{1 - \left(\frac{h_v}{h_0}\right)^2}} - p_0$$

[0076] 在积分之后方程 (1)、(3) 和 (4) 分别变成:

$$[0077] \quad (7) \quad \bar{F} = \pi r_{ext}^2 \left(p_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{3}{2} \left(\frac{h_v}{h_0} \right)^2}{1 - \left(\frac{h_v}{h_0} \right)^2}} - p_0 \right)$$

$$[0078] \quad (8) \quad V_{sw} = \pi r_{ext}^2 h_v$$

$$[0079] \quad (9) \quad S_{sw} = 2 \pi r_{ext} h_v$$

[0080] 根据物理考虑因素 ($h_v < h_0$ 和 $r_{ext}, h_v, h_0 > 0$), (7)、(8) 和 (9) 是单调函数。作用于增加扫过体积或扫过表面因此与平均力的增加相关。相关性在这种情况下明确地得到证实。

[0081] 在图 10 中示出各种直径和层厚度的圆形压电折弯机的情况。谐振频率和形变可由 (10) 表示：

$$[0082] \quad (10) \quad f_{ru} = \left[\frac{\partial f(\xi_u, \theta)}{\partial \theta_i} \right]_{\bar{\theta} = \bar{\theta}}$$

[0083] 具有修改的等效硬度是 D_c 和泊松系数 V_c 。然而, 在本例中, 数值地计算每个执行器的机械行为。做出这个选择是因为解决挤压膜效应所需的有限元 (FE) 模型必须被编程, 且当几何条件被输入时估计本征频率问题变得几乎是无成本的。生成了一千个随机选择的执行器, 且其轨迹呈现在图 11 所示的实验的空间中。对于每个执行器, (3)、(4) 连同平均力一起被估计。图 12、13 和 14 示出呈现作为所计算的力的函数的最大振动幅度、扫过体积和扫过表面的三个曲线图。这些值被归一化以使比较容易。从这些结果中, 扫过体积显示出比最大振动幅度标准有更好的相关性, 但所生成的力的最佳相关值无疑是扫过表面。相关性推测因此在这个情况下得到验证。

[0084] 已经说明了相关性推测对避免挤压膜效应现象的完全计算且仍然能够比较两个摩擦反馈执行器是有吸引力的。在这个工作中, 优化算法用作工具, 且因此被考虑为功能黑匣子。工具链已经被建立以使用相关性推测执行启发式优化并用 Matlab 来实现以尽可能是灵活的。可由设计者发挥他自己在优化问题中的技能来选择优化算法, 并且最终可选择其它可用的定制算法。为了广播容易性的缘故, 使用 NSGA-II 算法的变型的 Matlab 多目标 GA 工具箱被用于下面的例子, 并返回 Pareto 前沿作为优化结果。对目标函数的估计使用 COMSOL 多物理场 (Multiphysics) 来执行并由 Matlab 脚本驱动。这允许容易修改执行器拓扑、2D/3D 模型或甚至增加各种物理计算。显然, 对目标函数的估计可容易适合于由用户容易研究的情况。这导致接下来的呈现优化流程的图 15。避免了经典方法 (其以计算压力为主要部分), 且使用相关性假设来执行优化。一旦达到停止标准, 与经典路径比较, 优化结果的验证步骤就被添加以估计由优化解所生成的压力。一般, 一旦目标函数变换到压力, 就预期 Pareto 前沿特性保持有效, 而不是例如应加强相关性推测的扫过表面。如果相关性推测是足够可信的, 这个最终评估步骤可甚至被跳过, 以便节省更多的计算时间。

[0085] 下面的结果呈现目的在于提供摩擦反馈而对圆形压电折弯机的优化。定义了两个目标函数: 扫过面积 S_{sw} 和所使用的压电材料的体积 V_{pzt} 。昂贵的压电材料需要被最小化, 而扫过体积需要被最大化以增加摩擦反馈性能。在优化过程期间, 根据虚拟参考执行器来归一化目标函数, 其中 $S_{sw} = 0.1 \text{ mm}^2$ 且 $V_{pzt} = 100 \text{ mm}^3$ 。为了减小不需要的可听得见的噪声,

需要高于 20kHz 的工作频率。罚函数 P_o 因此被添加到目标函数：

[0086]

$$(11) P_o = \begin{cases} 1s \cdot (20kHz - f_0) & \text{对于 } f_0 < 20kHz \\ 0 & \text{对于 } f_0 \geq 20kHz \end{cases}$$

[0087] 在最大数量为 500 次的迭代之后，设定了优化停止标准。每次生成的个体的数量被设定为 30。然而对于如图 16 所示的足够数量的迭代，一旦解保持局部稳定状态，算法就被手动地停止。考虑到三个不同的压电元件，执行三种不同的优化：完整的压电圆盘、压电环和圆形压电补片。用于这些模拟的材料特性对于支承层是铝 AW-7075，且对于压电元件是一层 PZT-5A。将显示所有结果与相关性推测相干。

[0088] 在图 10 中已经呈现这个执行器。优化具有三个自由参数：外径 r_{ext} 、支承层厚度 h_s 和压电厚度 h_p 。在表 1 中给出优化边界（参见图 34）。图 16 从左到右并从顶部到底部示出在 10、50、100 和 150 次生成之后每个所估计的个体的目标函数值。Pareto 前沿以黑色进行突出。值得注意的是，已经在 50 次生成之后，最终的最优 Pareto 前沿几乎被找到。算法在 172 次生成之后被手动地停止，且最终结果在图 17 中示出。

[0089] 然后验证相关性推测。对于 Pareto 前沿的每个成员，使用 FE 模拟来估计压力，且在图 18 中呈现相关性函数。如所预期的，扫过面积 S_{sw} 与力很好地相关，并确认构想出的假设。图 19 通过显示优化结果来介绍另一观点，但这次使用所计算的力，而不是扫过表面。如可看到的，Pareto 前沿定义仍然被遵守。使用相关性推测来比较优化过程的计算时间是有吸引力的。目标函数被调用 5131 次，且优化在 2h30 内完成。为了估计执行器的相同数量但以模拟挤压膜效应（其每个对这个执行器拓扑花费大约 10 分钟）进行，所需的时间将为大约 36 天。最后，为了执行 Pareto 前沿的 83 个个体的验证步骤，需要 14 小时来数值地计算压力。该方法的益处因此是无可非议的，因为它可导致以几乎少 36 倍的计算时间得到结果。

[0090] 在图 8 中呈现了压电环拓扑。对于优化的边界，优化具有如参见表 1 所示的四个自由参数：外径 r_{ext} 、内径和外径之间的比 r_{in}/r_{ext} 、支承层厚度 h_s 和压电厚度 h_p 。与前面的执行器类似地执行优化，且结果在 336 次迭代之后呈现在图 20、21 和 22 中。如所预期的，结果确认相关性推测标准的良好使用。图 21 示出服从遵守从图 20 到图 22 产生的 Pareto 前沿标准的很好地相关的函数。

[0091] 最后呈现的拓扑在图 23 中示出，且被构建有压电圆形补片。对于优化的边界，优化也具有如在表 1 中所示的四个自由参数：外径 r_{ext} 、内径和外径之间的比 r_{in}/r_{ext} 、支承层厚度 h_s 和压电厚度 h_p 。与两个前面的执行器类似地执行优化，且结果在 335 次迭代之后呈现在图 24、25 和 26 中。从这个最终例子中，可引出相同的结论，并再次确认该方法假设。

[0092] 相关性假设被展现为是比较多个执行器的性能的方便方式。然而，还没有讨论相关性及其限制的有效性领域。力均匀性分布是讨论相关性推测的限制的良好例子。图 27 以简单的线条示出根据执行器机械波长数值地计算的归一化线性力。在虚线中，对每个波长计算归一化的扫过体积 V_{sw} 。两个相关函数对波长 $\lambda = 20mm$ 是相等的。通过更细致地观看在图 28 中的关于两个机械位置 $\alpha_x = 0^\circ$ 和 90° 呈现的相关函数来找到解释。相关函数明显不是相等的，且这是解释它们为什么不能以一个与另一个进行比较的原因。然而，针对

每个位置单独地验证相关性推测。其导致下列结论：相关函数独立于可被称为振动拓扑的东西，以及推测只在同一振动拓扑内是有效的。

[0093] 为了加强这个结论，可对较小的波长估计相关函数。它引向图 29，其强调相关函数甚至不再是双射的，这绝对不与以前介绍的优化方法兼容。再一次，这可与振动拓扑有关，记住在本例中，浮动表面的长度是 $l_0 = 10\text{mm}$ 。它意味着，相关性推测的每部分是有效的，每个部分对应于特定的振动拓扑。

[0094] 图 30 通过呈现四种不同的情况（其为四种不同的振动拓扑）来帮助使振动拓扑的概念变得清晰。波节和波腹位置和数量产生具有不能被比较的四个独立的相关函数的四个虚拟的摩擦反馈执行器。它们被称为虚拟的，因为可根据位置和其振动模式在同一物理执行器上呈现多个振动拓扑。因此，为了正确地比较两个执行器，它们需要有相同类型的机械位移。这是关于上面介绍的三种执行器拓扑的情况。它们有非常类似的相关函数，如图 31 所示，允许使用相关性推测来比较它们的摩擦反馈能力，即，每个优化得到的 Pareto 前沿。这在图 32 中进行验证，图 32 示出相关性推测和模拟的压力的 Pareto 前沿。

[0095] 基于上面的考虑因素和在附图中呈现的关于鼠标底脚的优化结果并参考图 8、10 和 23，可能推断出：

[0096] 每个激活器的可能范围是：

[0097] $R_{in} < 8\text{mm}$

[0098] $h_s < 1\text{mm}$

[0099] $h_p < 1\text{mm}$

[0100] h_p 可例如在 $0.3 - 0.4\text{mm}$ 的区间内。

[0101] 在完整的压电圆盘被使用的情况下，如图 10 所示，下面的参数出现以对允许鼠标底脚 h_s 和 h_p 的优化：

[0102] $R_{ext} = [5 ; 8.5]\text{mm}$

[0103] $h_s = [0.3 ; 0.6]\text{mm}$

[0104] $h_p = [0.3 ; 0.35]\text{m}$

[0105] 在压电环被使用的情况下，如图 8 所示，可使用下面的参数：

[0106] $R_{ext} = [5 ; 8.5]\text{mm}$

[0107] $R_{in} = [2 ; 3.5]\text{mm}$

[0108] $h_s = [0.3 ; 0.6]\text{mm}$

[0109] $h_p = [0.3 ; 0.35]\text{mm}$

[0110] 在圆形补片被使用的情况下，如图 23 所示，下面的参数出现以允许优化：

[0111] $R_{ext} = [5 ; 8.5]\text{mm}$

[0112] $R_{in} = [1.5 ; 6]\text{mm}$

[0113] $h_s = [0.3 ; 0.5]\text{mm}$

[0114] $h_p = [0.3 ; 0.4]\text{mm}$

[0115] 看起来如图 23 所示的实施方式允许对鼠标底脚的设计的优化。对于输入设备中的超级滑动的这个特定的用途，考虑压电圆盘的相对高的成本，如上面介绍的激活器的可能范围允许对通过鼠标底脚生成的挤压膜的优化并允许鼠标底脚的成本有效的生产。

[0116] 下面将给出用作鼠标底脚的激活器的可能实施方式的另一例子。

[0117] 实施例 I

[0118] 为了产生功能示范者,来自 Noliac 目录表的可用压电元件例如 RINGOD20ID12TH0.5-NCE51 根据其与计算机鼠标尺寸兼容的机械尺寸被预先选择。无源支撑材料的选择由其它振动执行器激发。因此考虑铜铍合金 (CuBe) 和铝合金 (ENAW-7075)。

[0119] 可用的原型示出产生挤压膜效应的能力。然而由于可用的压电元件,它们的拓扑被任意选择。因此在这个章节中解决执行器的最佳拓扑和最佳设计的问题。

[0120] 对如在图 8、10 和 23 中所示的三个拓扑 (a)-(c) 执行优化过程。估计两个目标函数。第一个目标函数目的在于最大化扫过体积 V_{sw} 。方程 (12) 用于计算每个个体的 V_{sw} 。第二个目标函数目的在于最小化所使用的压电材料的体积 V_{pzt} 。其针对拓扑 (a)-(c) 分别被计算为:

[0121]

$$(12) V_{sw} = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_{ext}} |w(r, \varphi)| r dr d\varphi$$

$$[0122] V_{pzt(a)} = \pi h_p r_{ext}^2$$

$$[0123] V_{pzt(b)} = \pi h_p (r_{ext}^2 - r_{in}^2)$$

$$[0124] V_{pzt(c)} = \pi h_p r_{in}^2$$

[0125] 而且,为了避免可听得见的噪声,设置对谐振频率 $f_0 = 20\text{kHz}$ 的约束。在图 33 中呈现了优化结果。在两个目标函数的空间中的 Pareto 前沿针对每个拓扑进行绘制,并可进行比较。基于图 33,如图 23 所示的拓扑 (c) 对使用较少的压电材料得到高的扫过体积 V_{sw} 更有吸引力。因此它是对减少材料成本的工业生产更有吸引力的拓扑。然而,两种其它拓扑仍然可在类似的范围内实现扫过体积值。

[0126] 由优化展示的主要趋势表明,为了增加 V_{sw} ,执行器的外径应是大的,这导致较大的压电材料需求。另一方面,为了减小压电体积,需要减小执行器的外径,因此牺牲扫过体积。对于所有拓扑,压电材料的厚度应是最薄的。

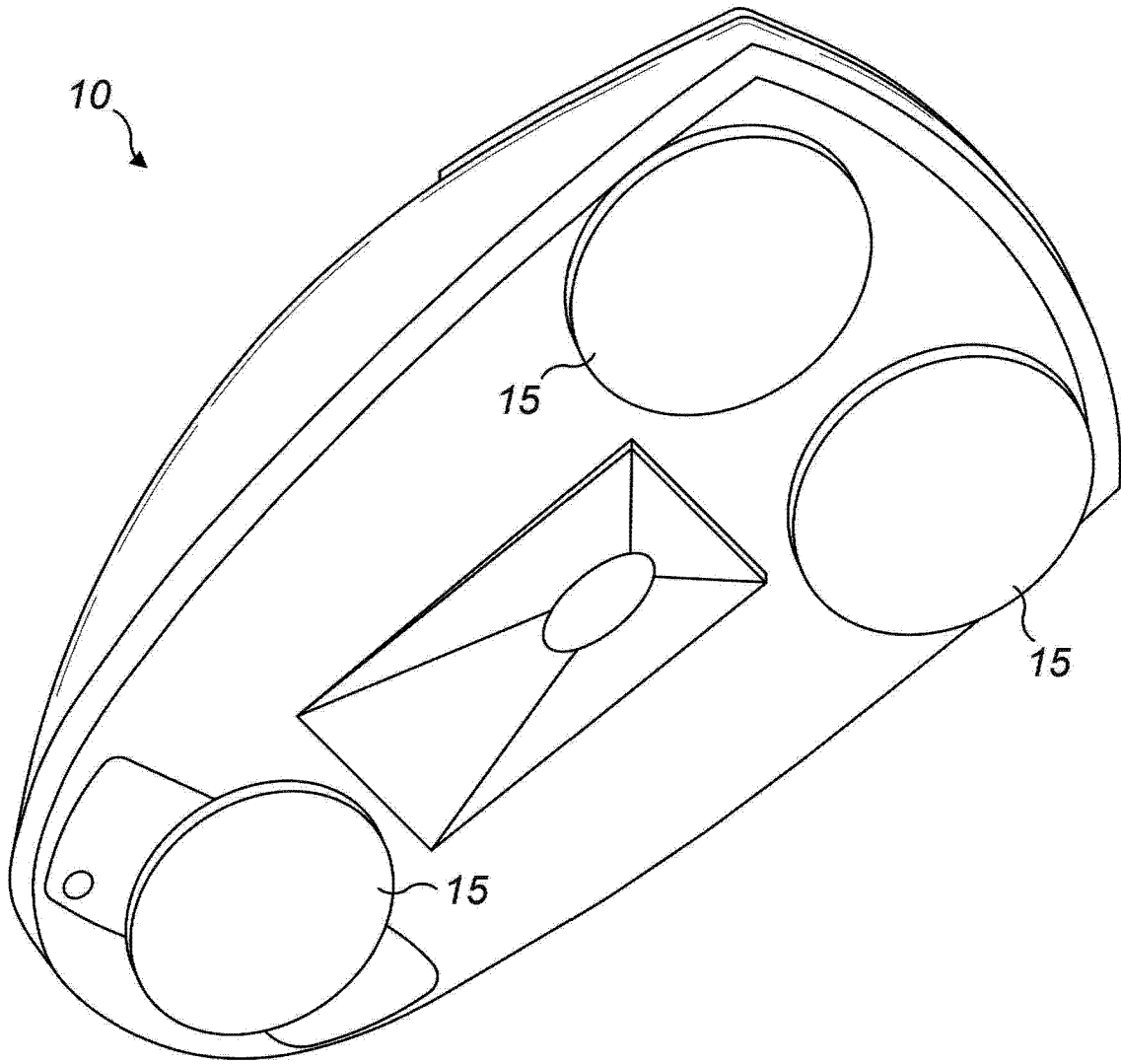


图 1

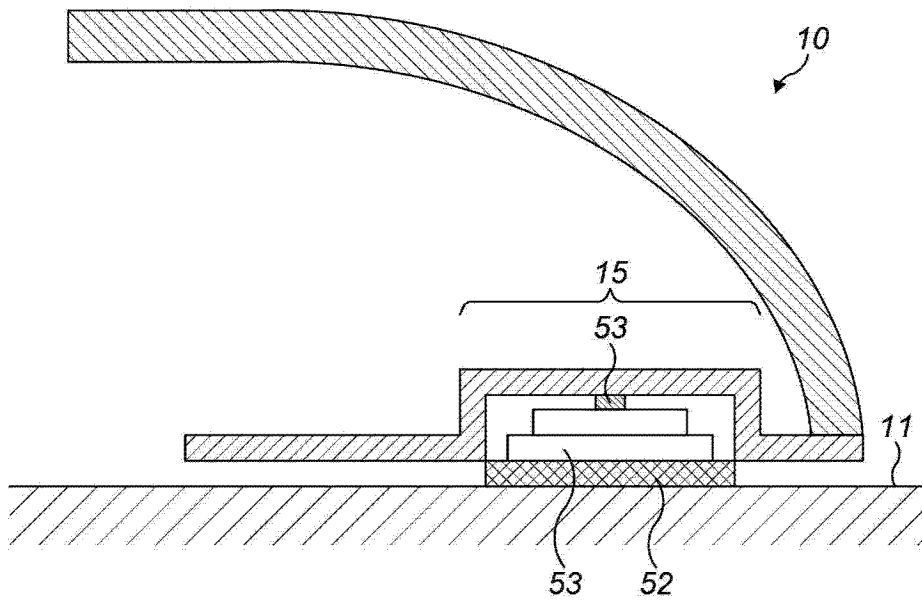


图 2

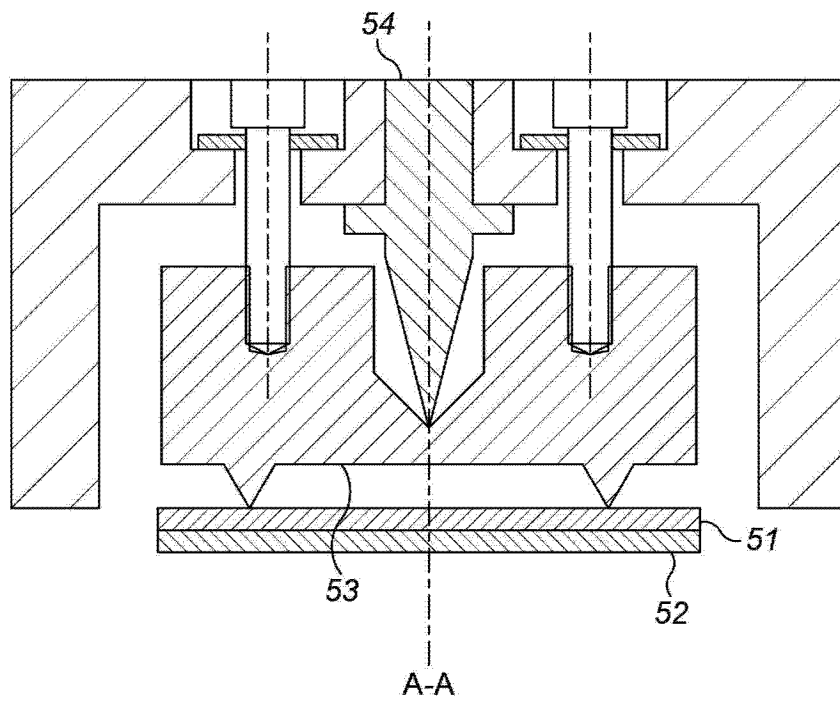


图 3

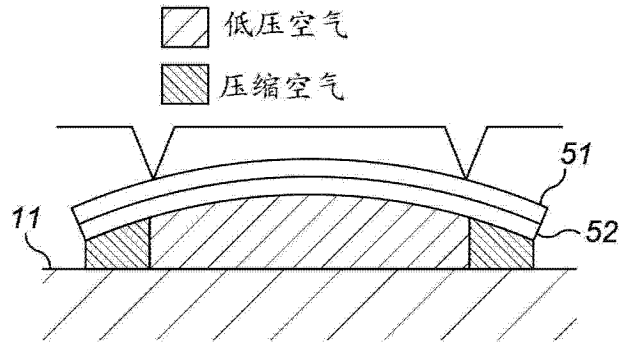


图 4A

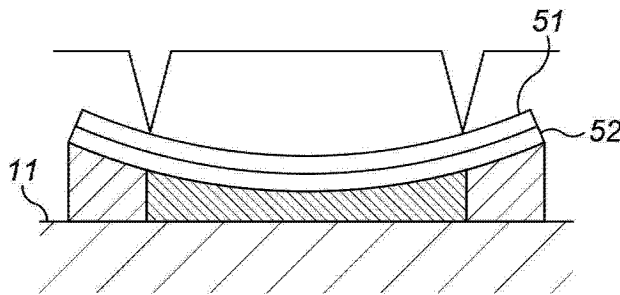


图 4B

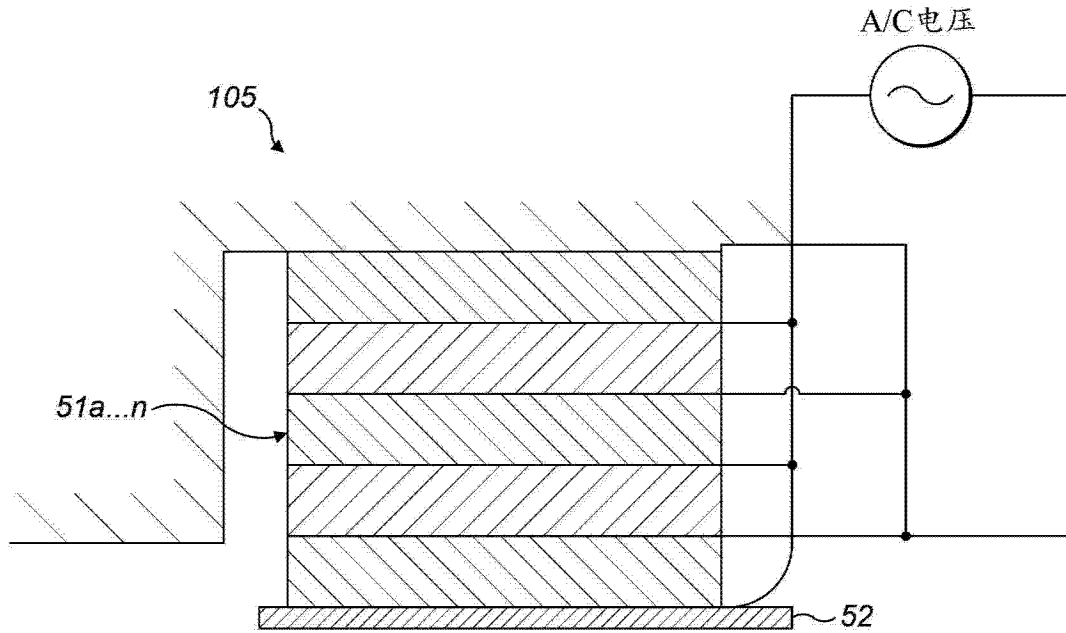


图 5

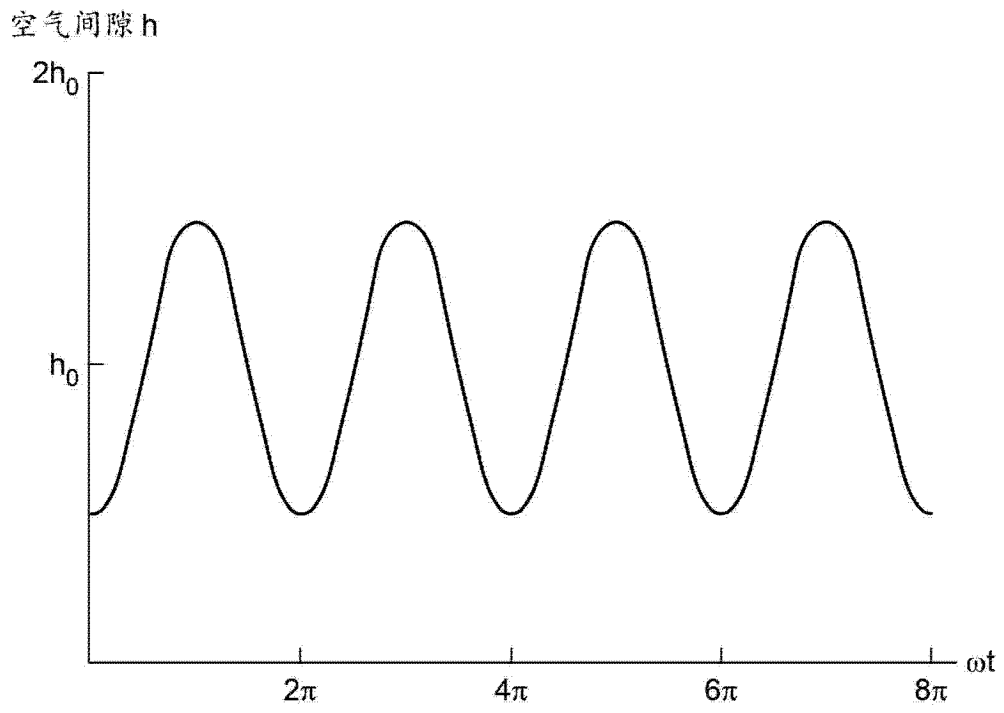


图 6

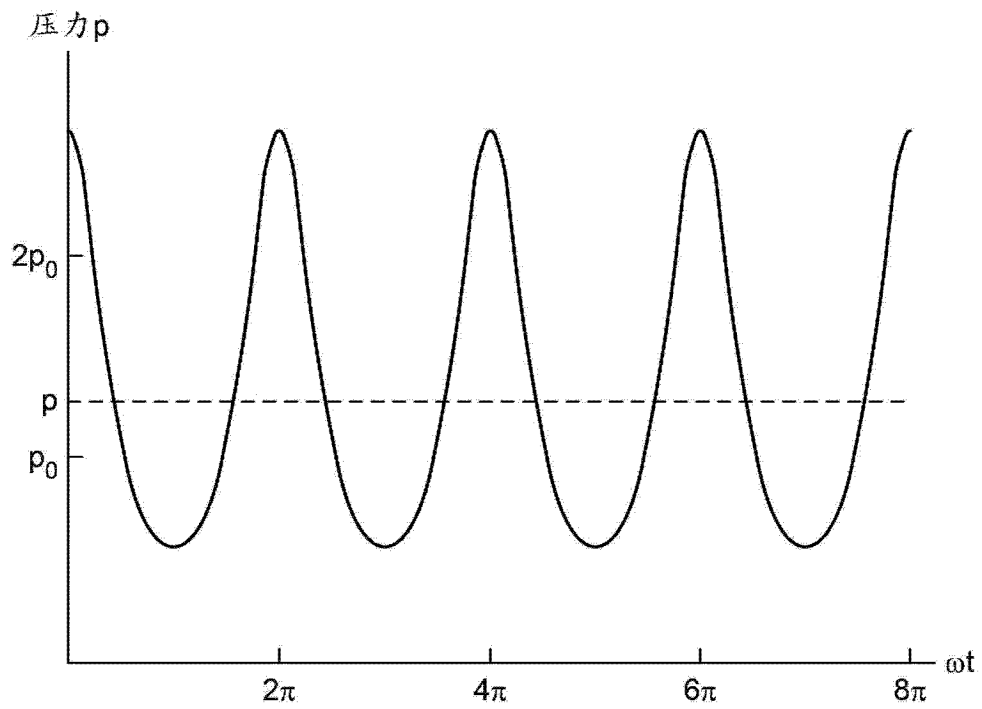


图 7

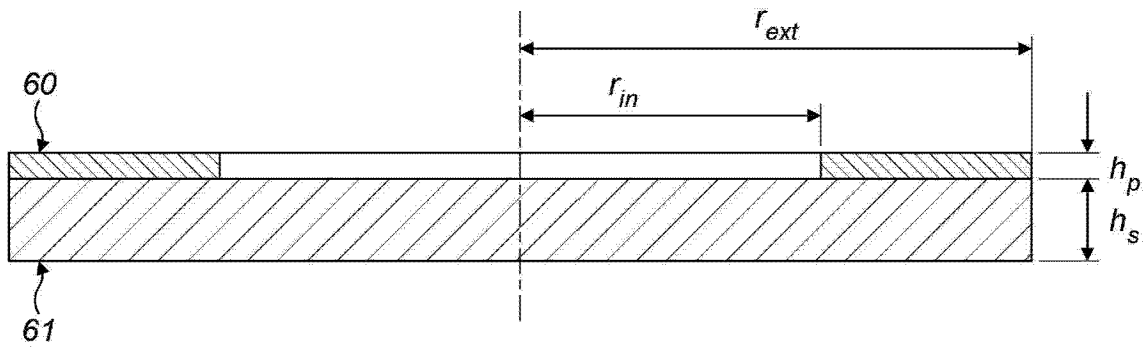


图 8

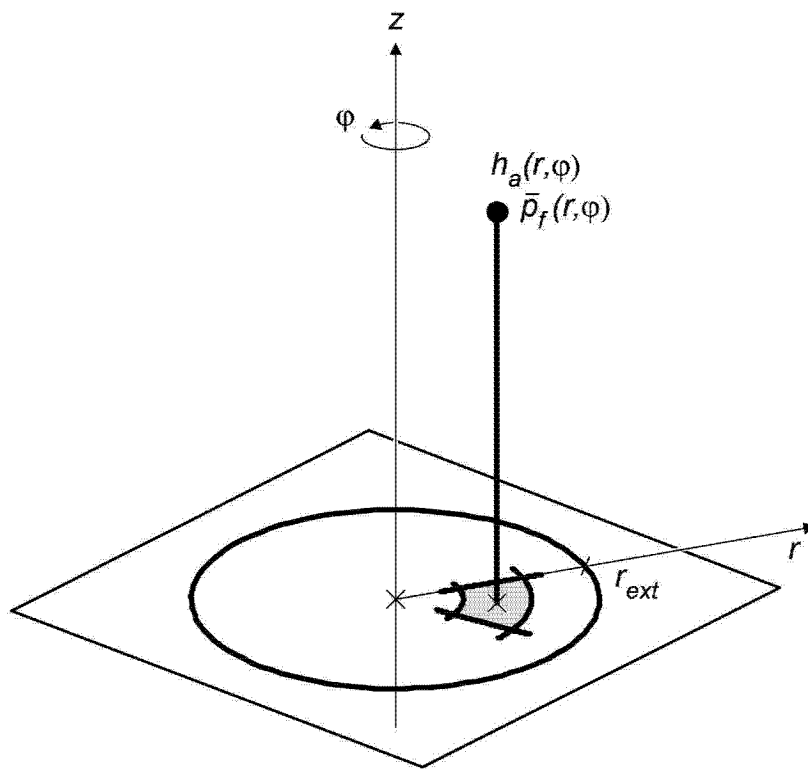


图 9

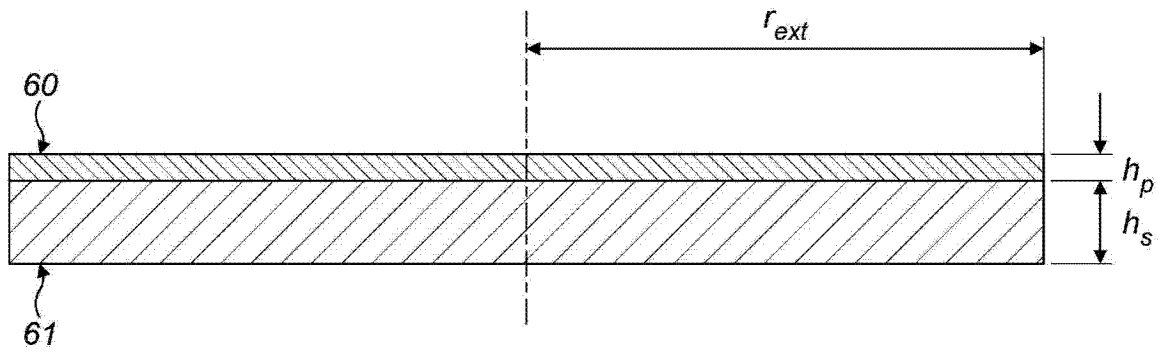


图 10

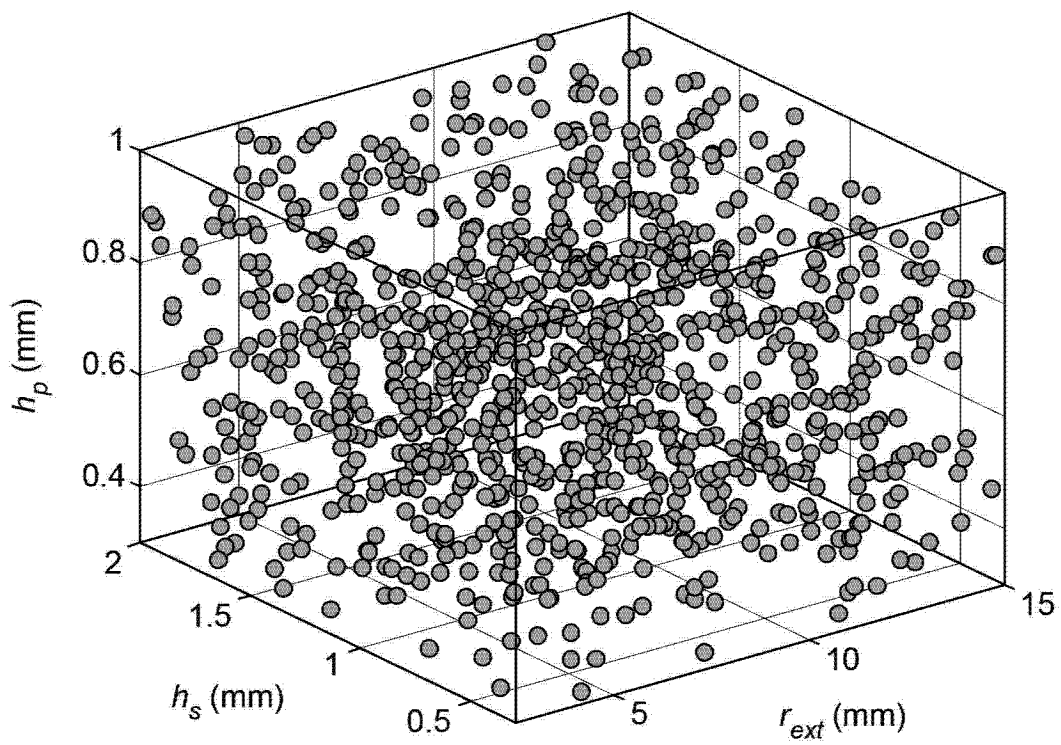


图 11

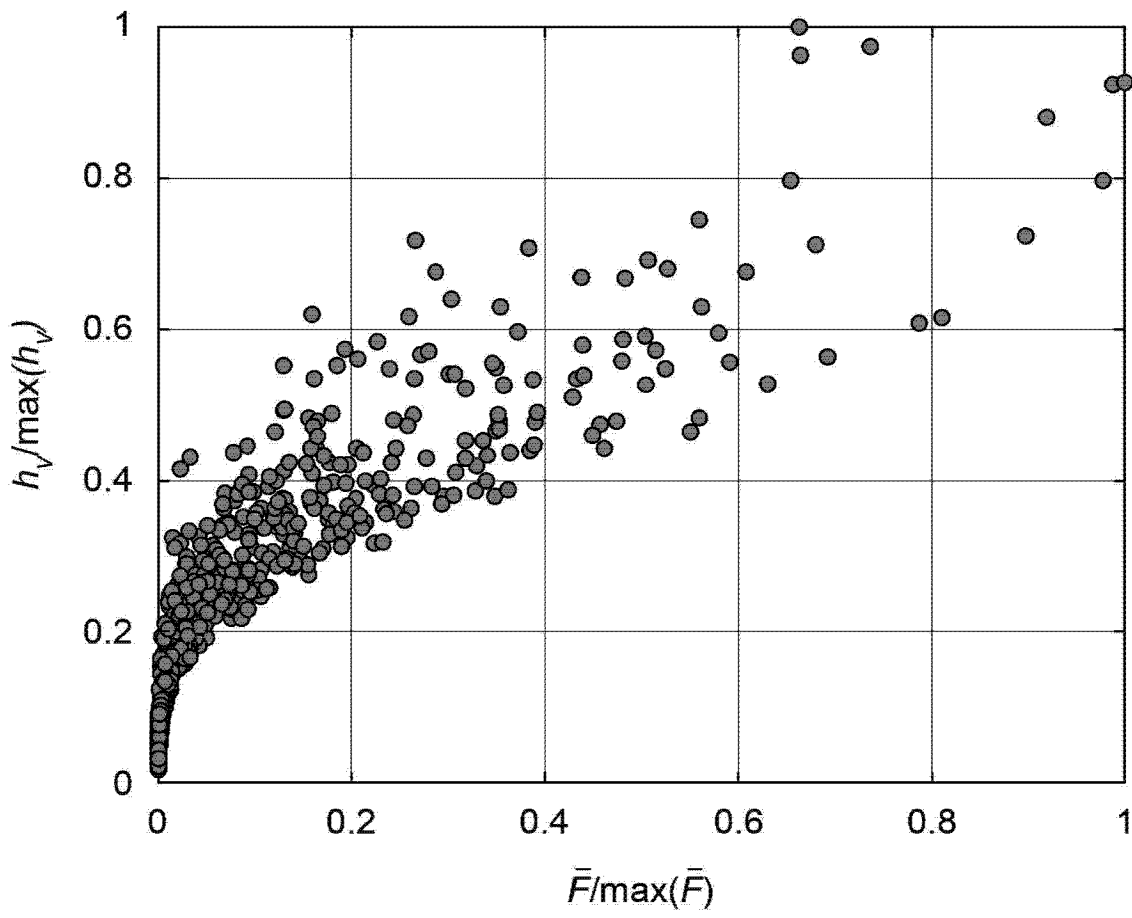


图 12

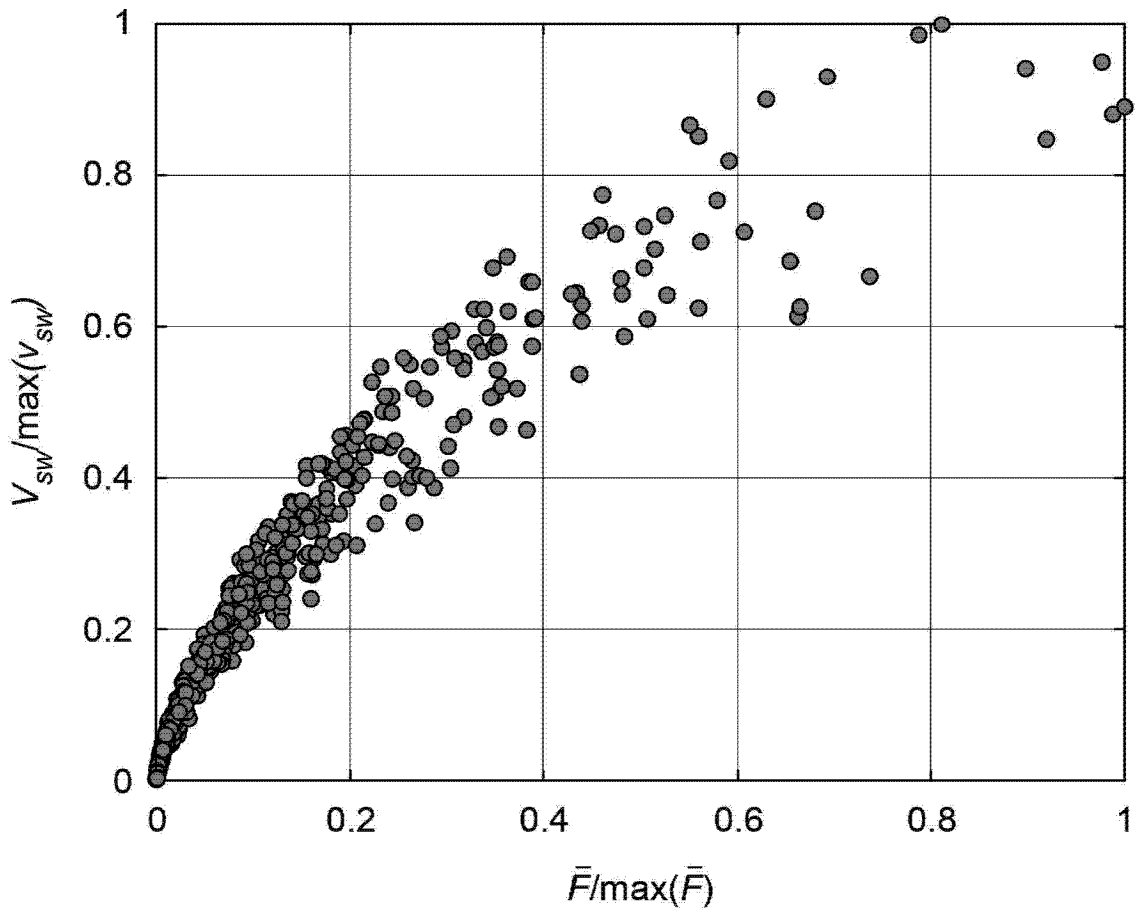


图 13

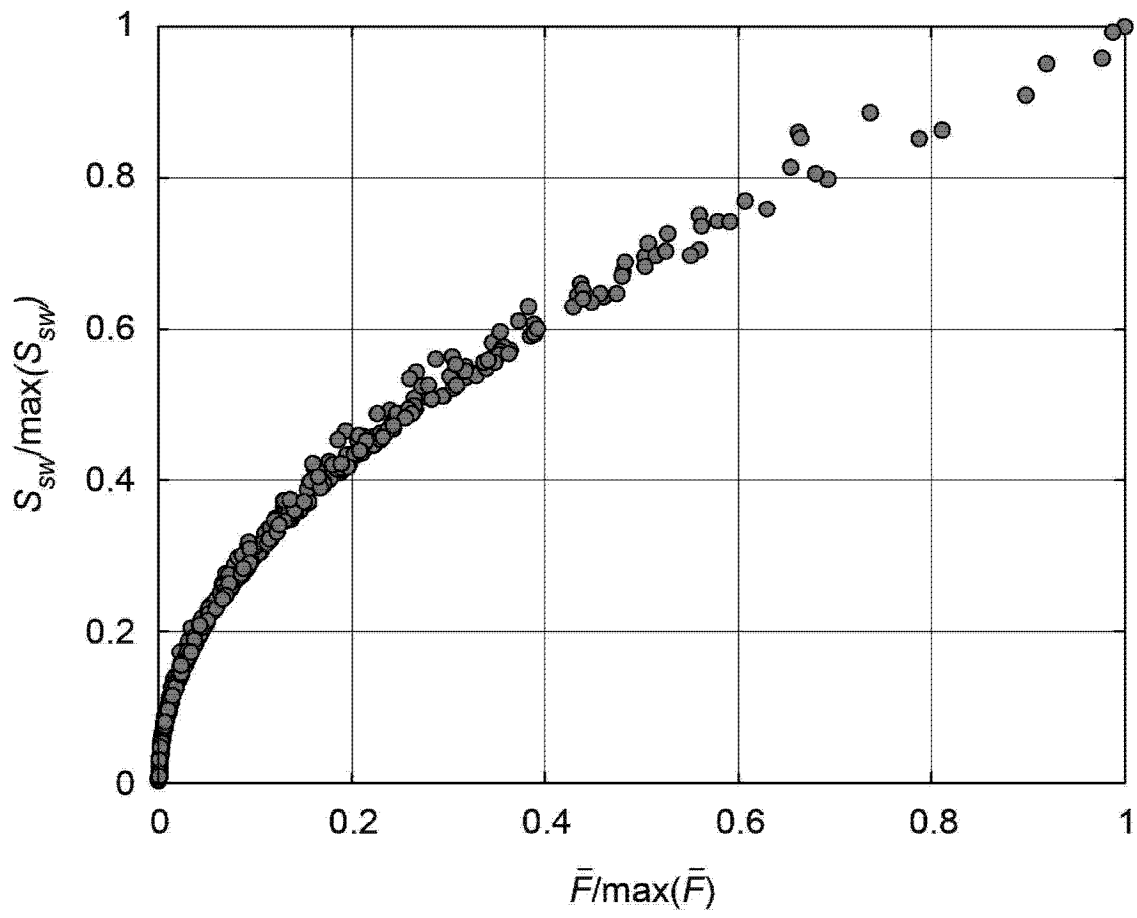


图 14

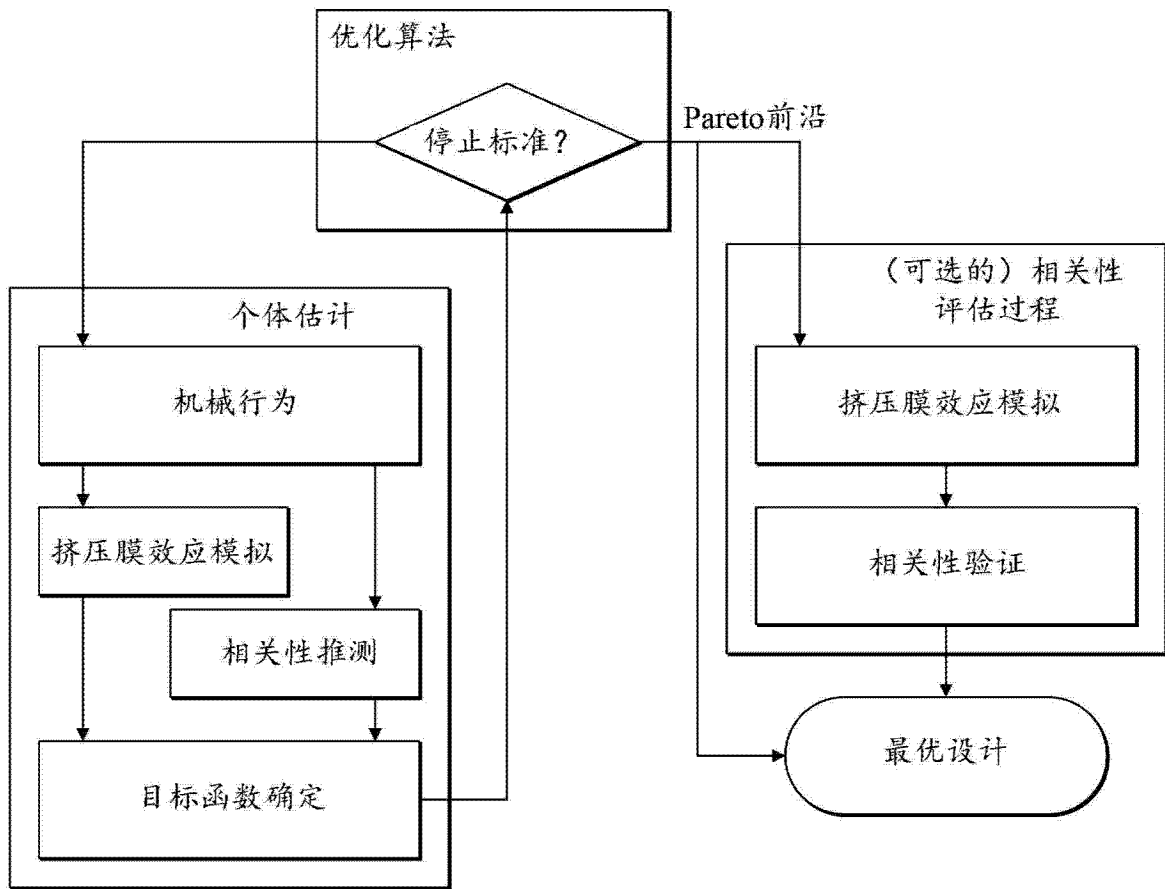


图 15

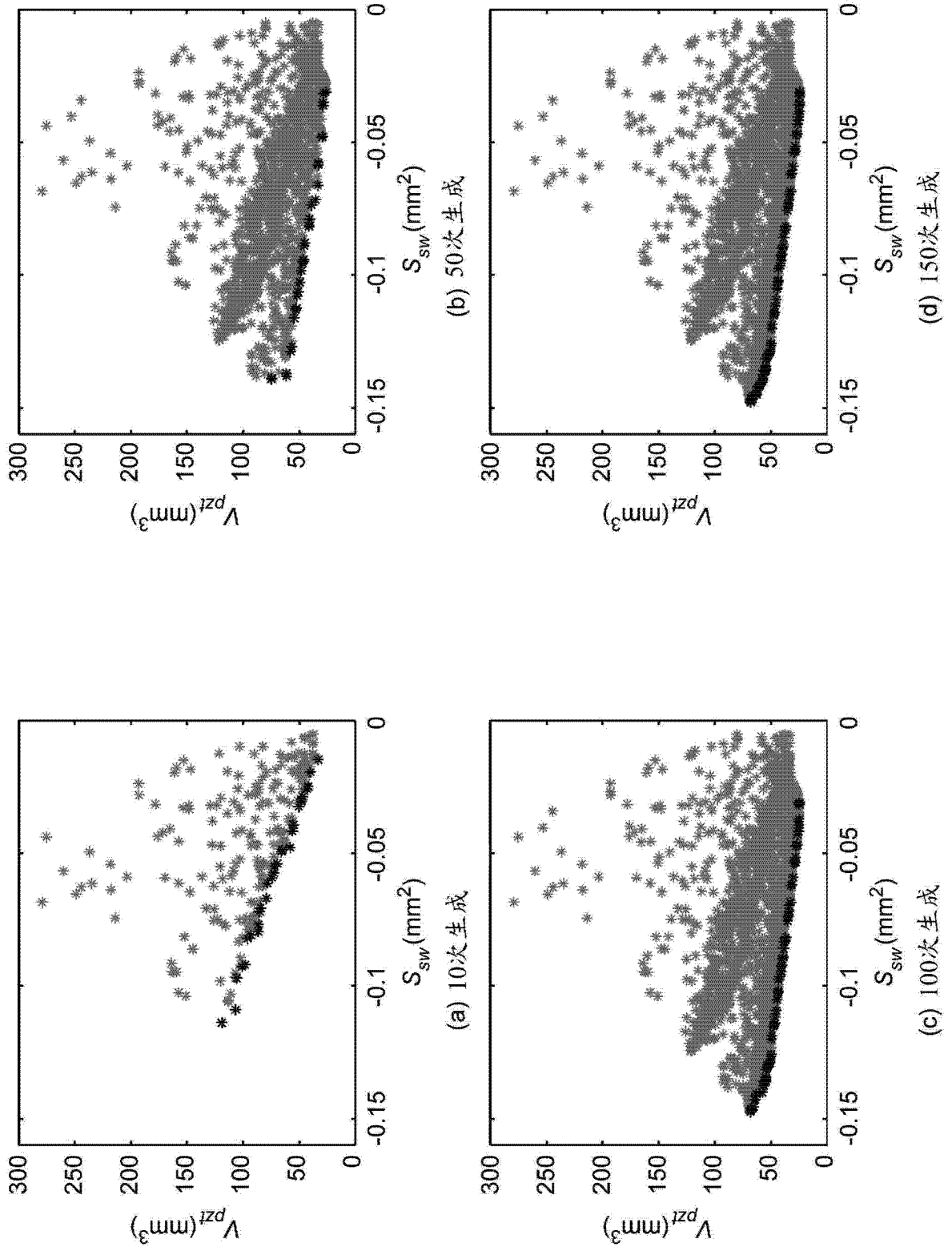


图 16

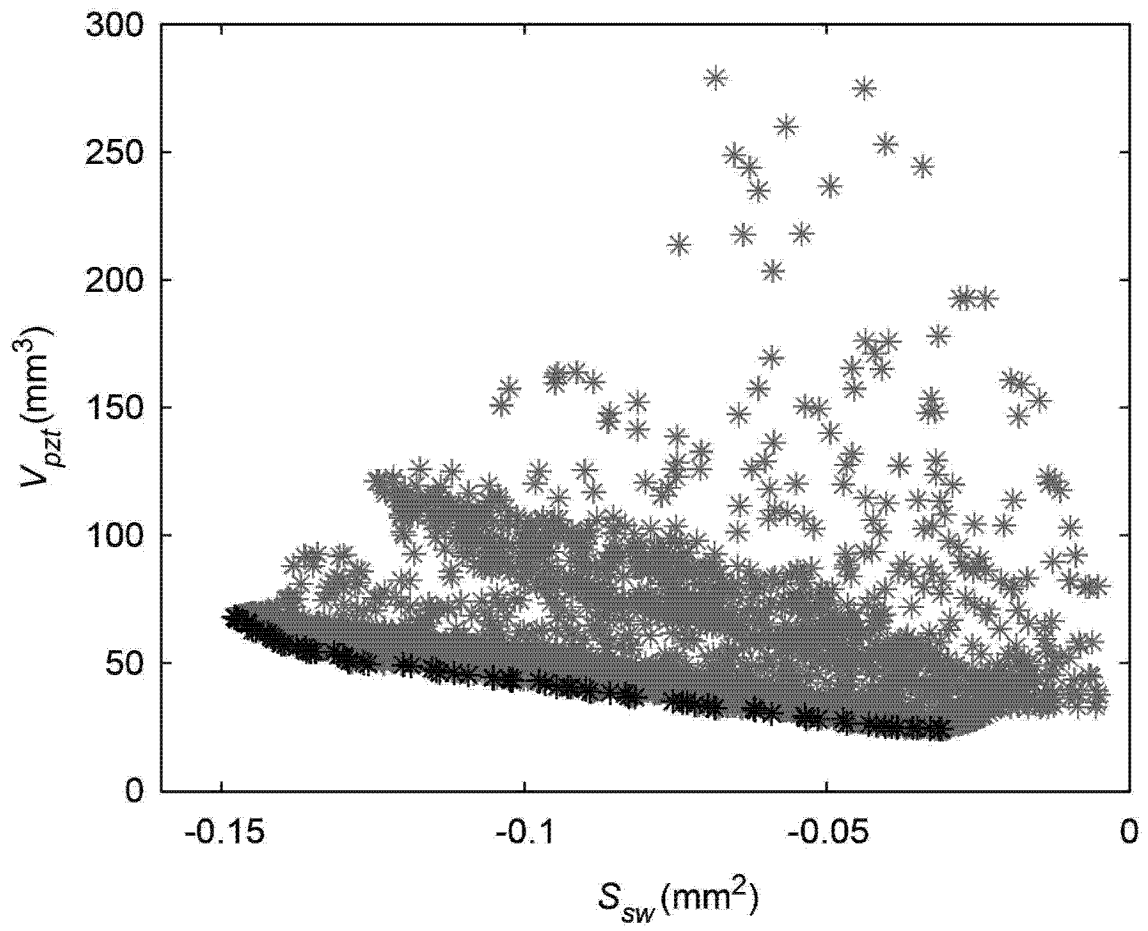


图 17

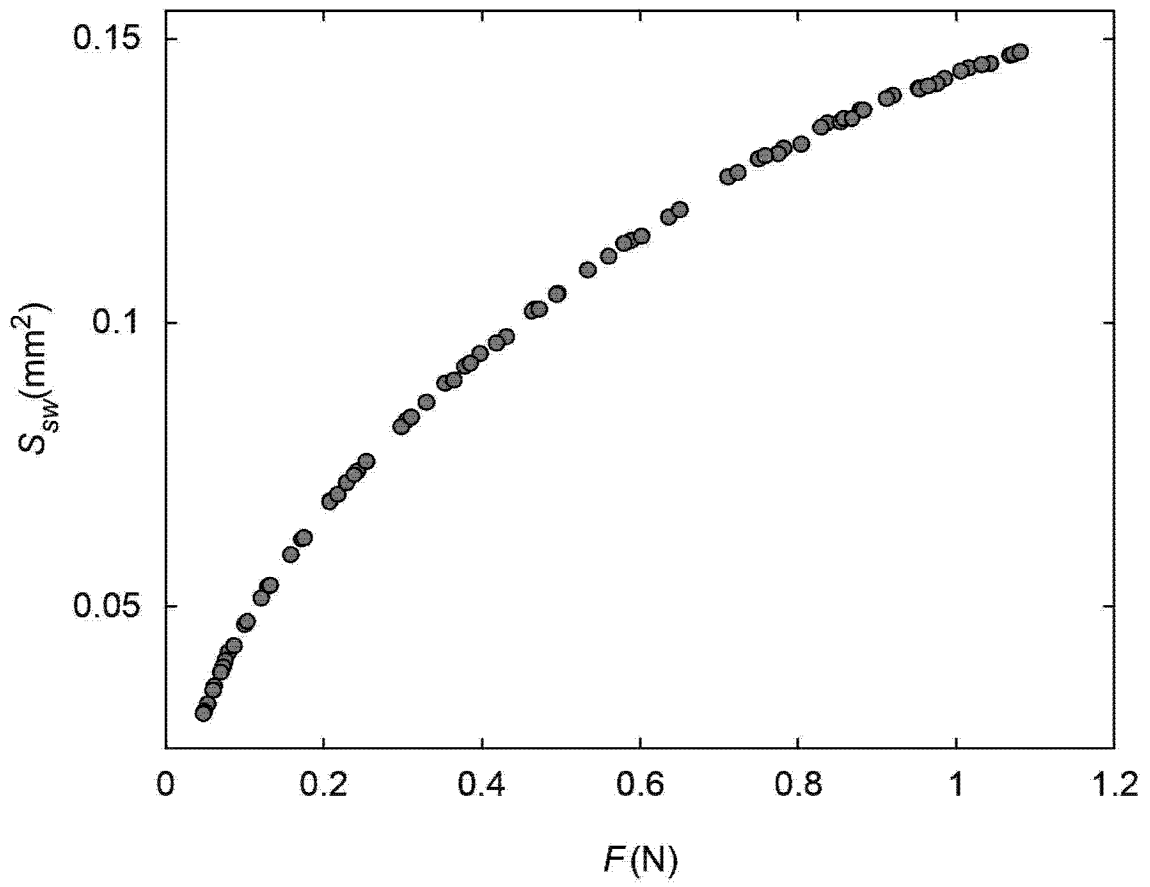


图 18

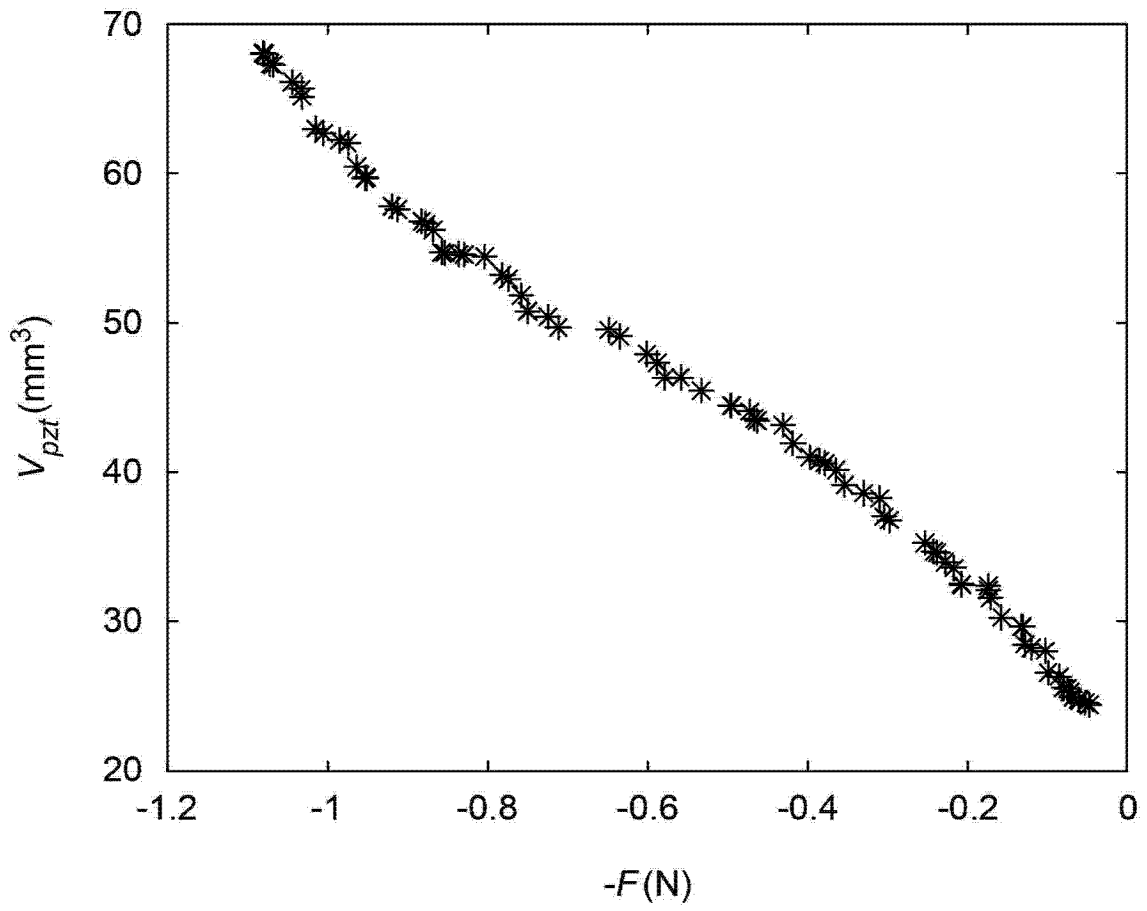


图 19

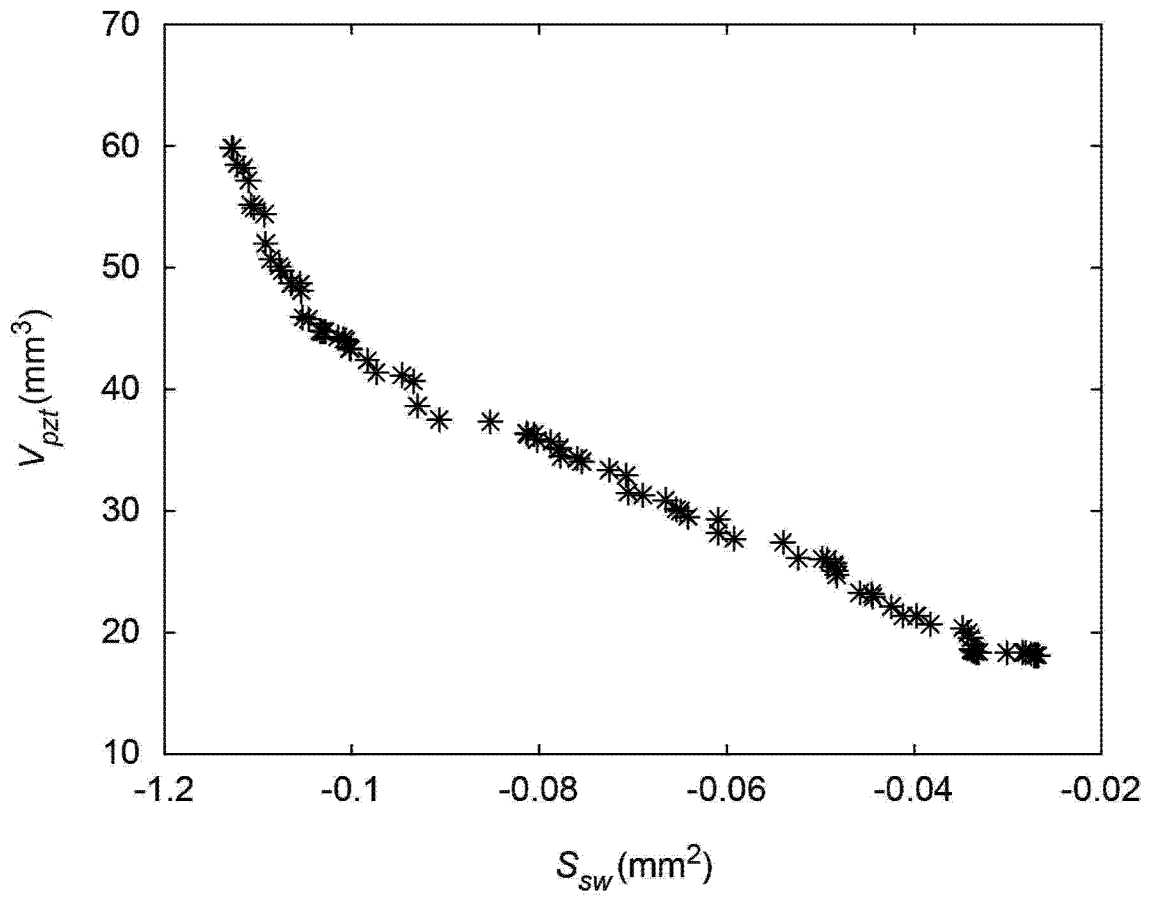


图 20

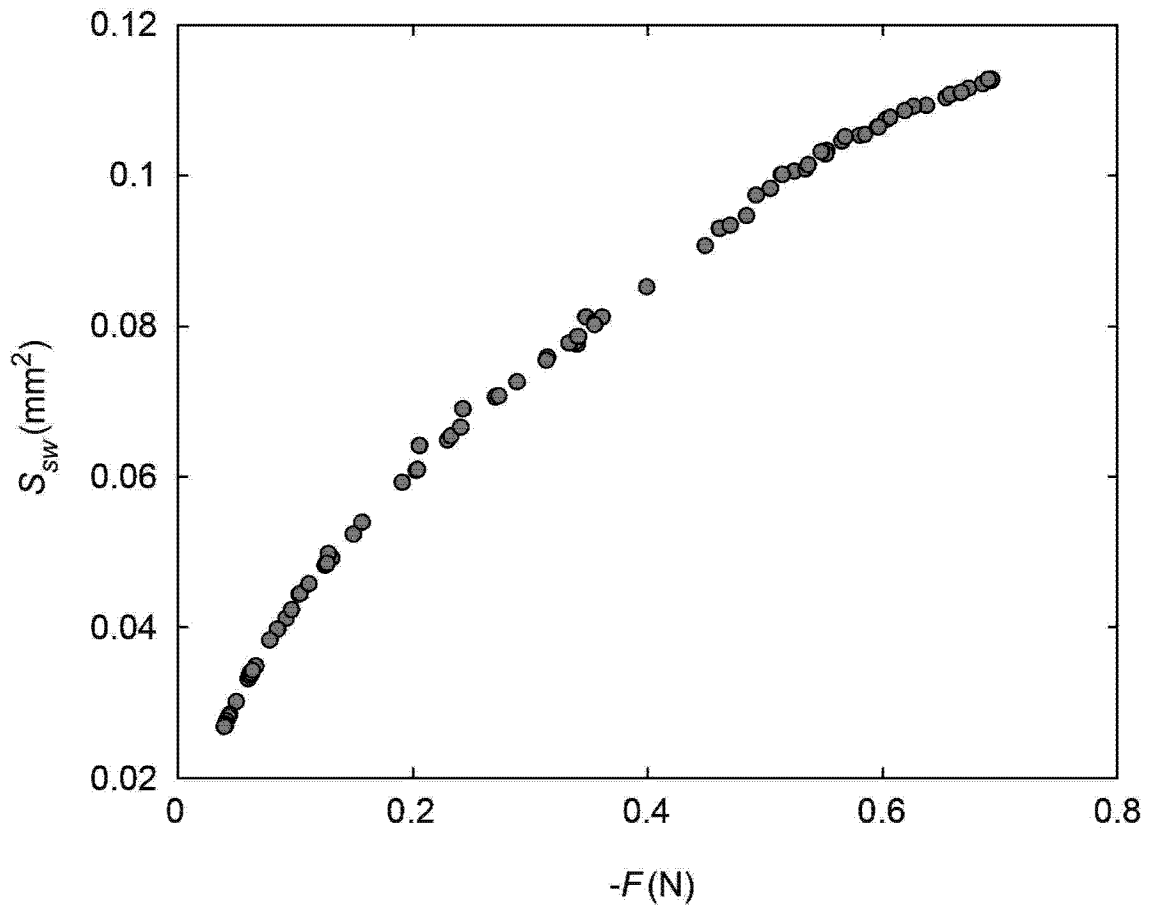


图 21

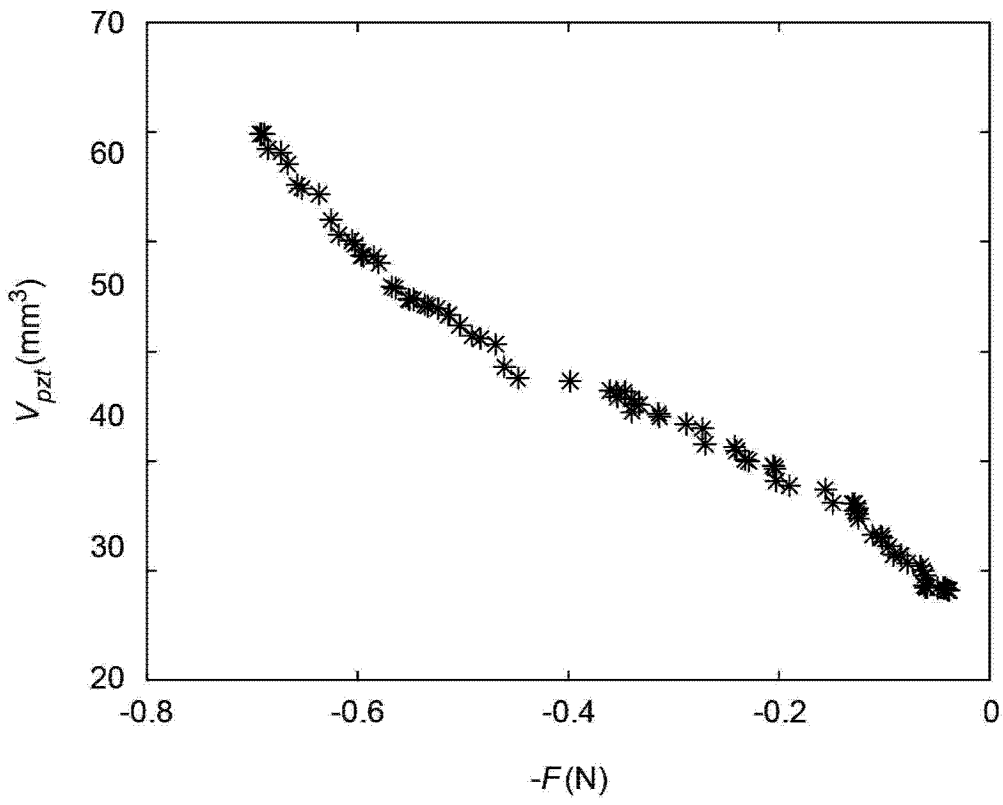


图 22

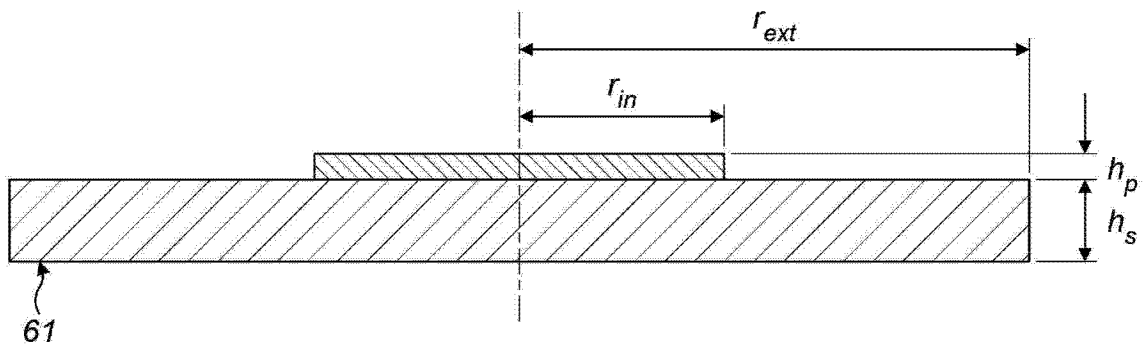


图 23

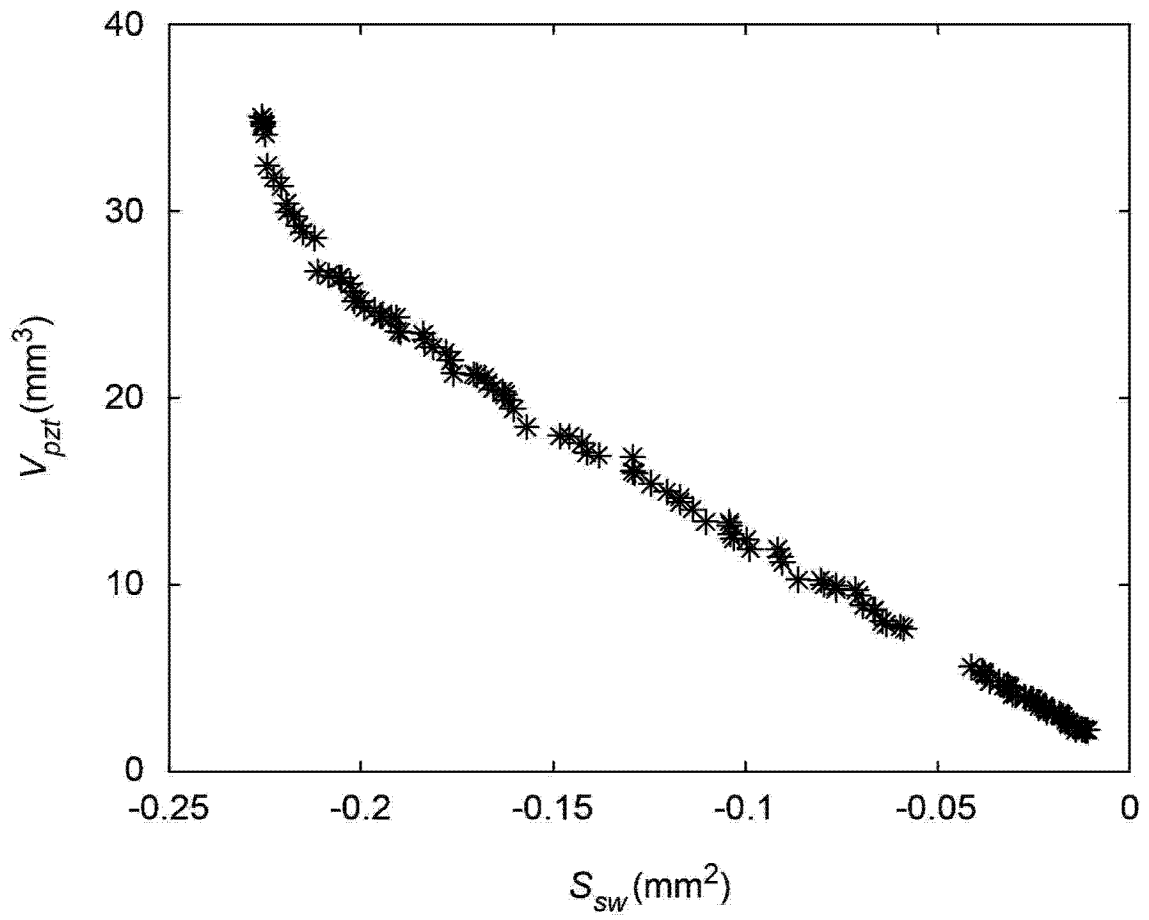


图 24

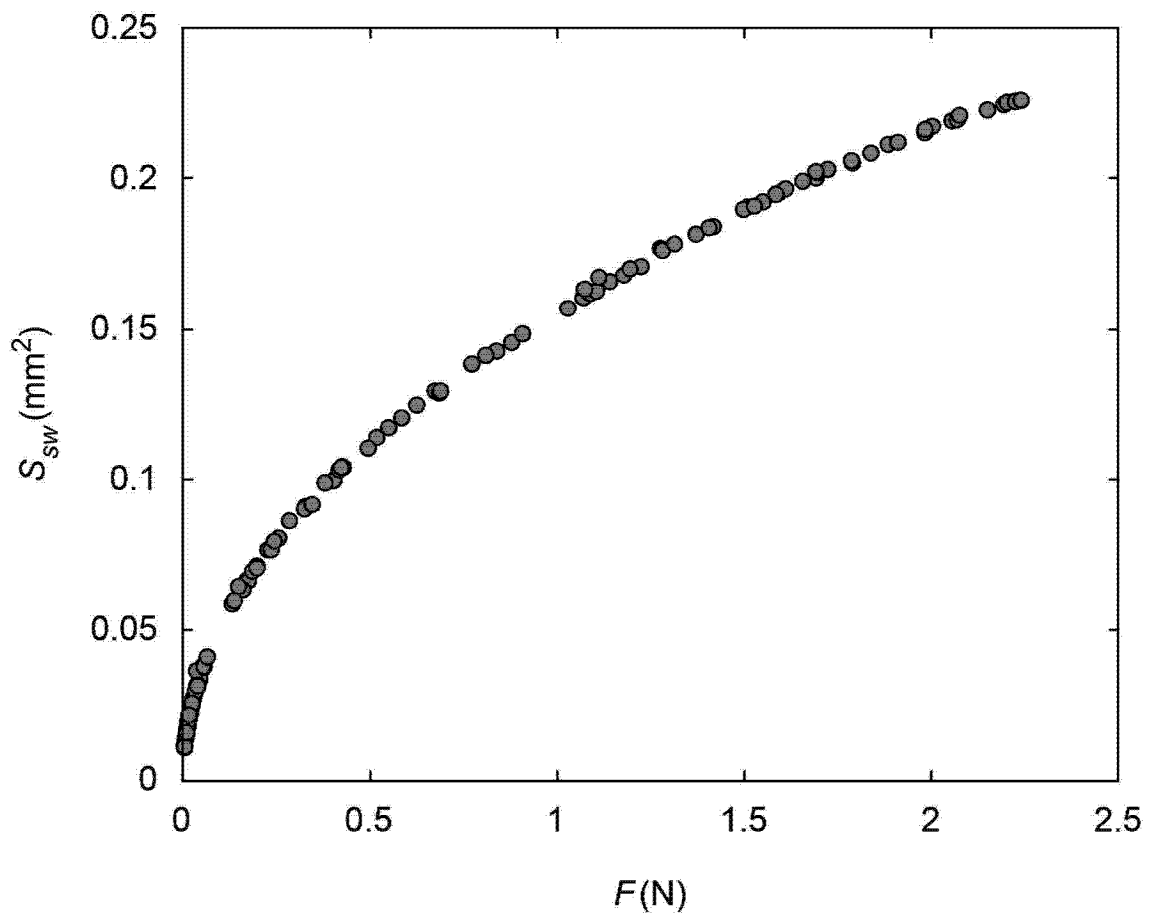


图 25

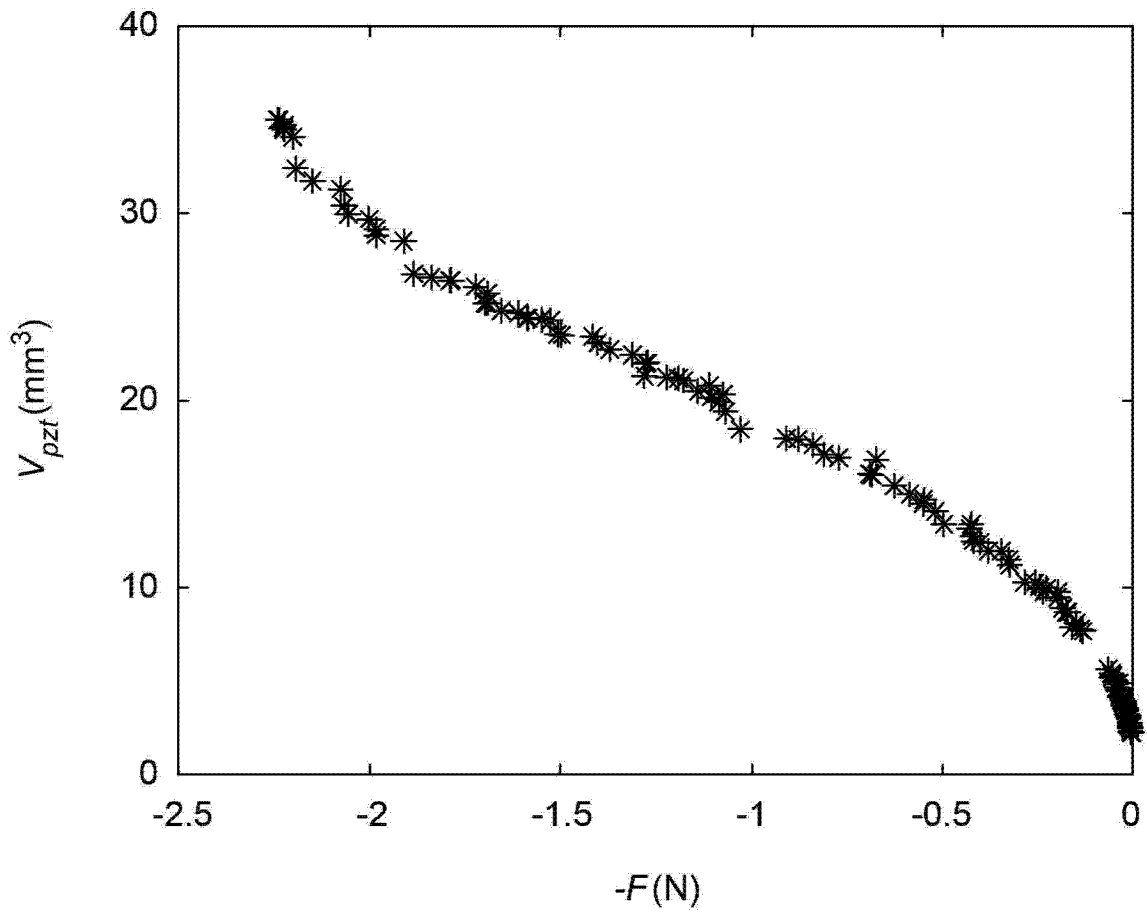


图 26

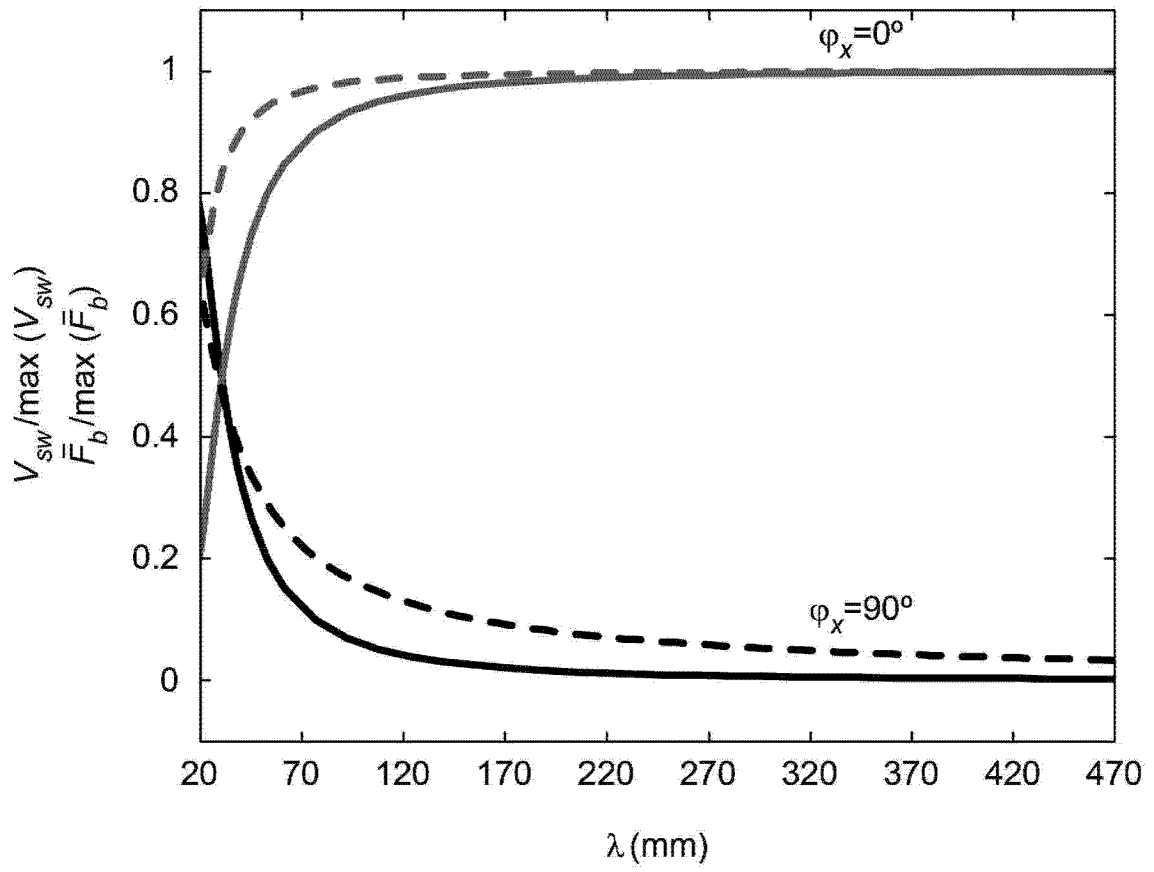


图 27

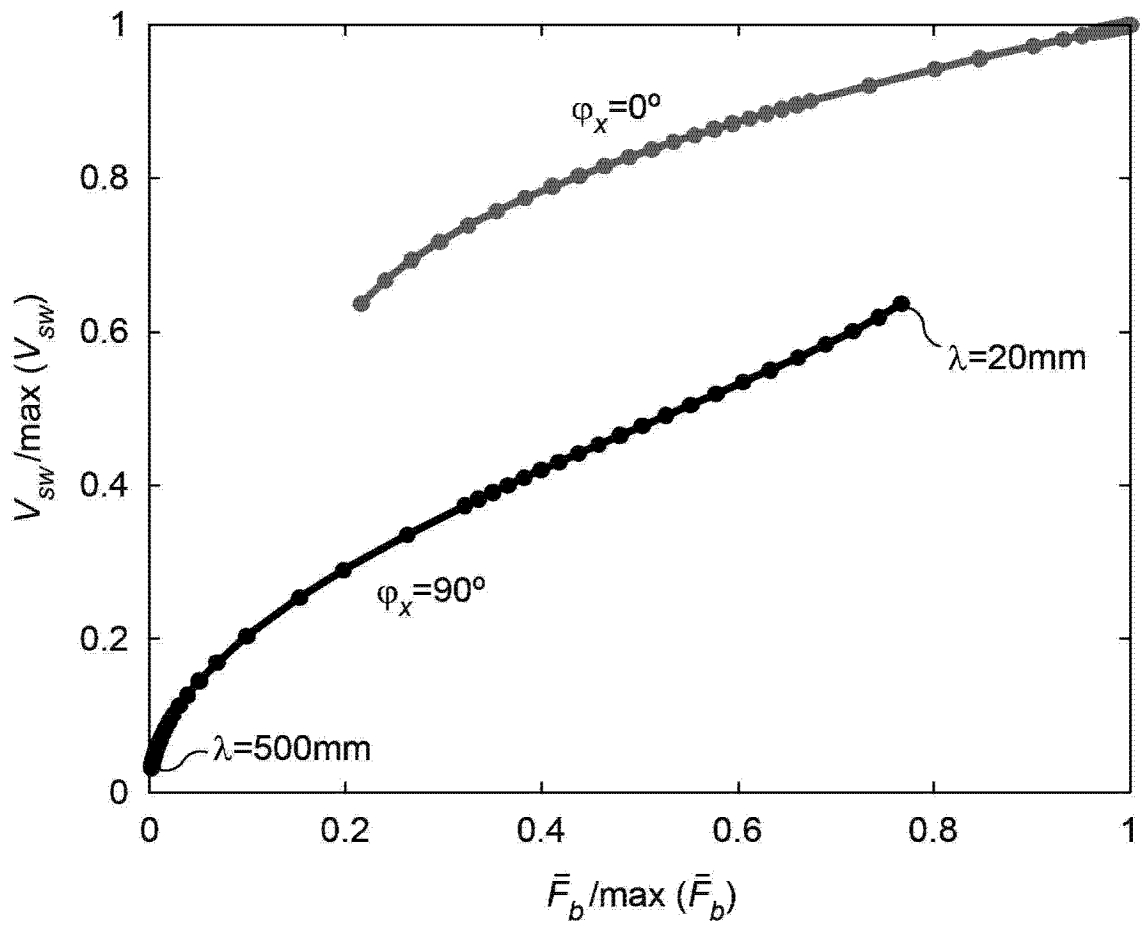


图 28

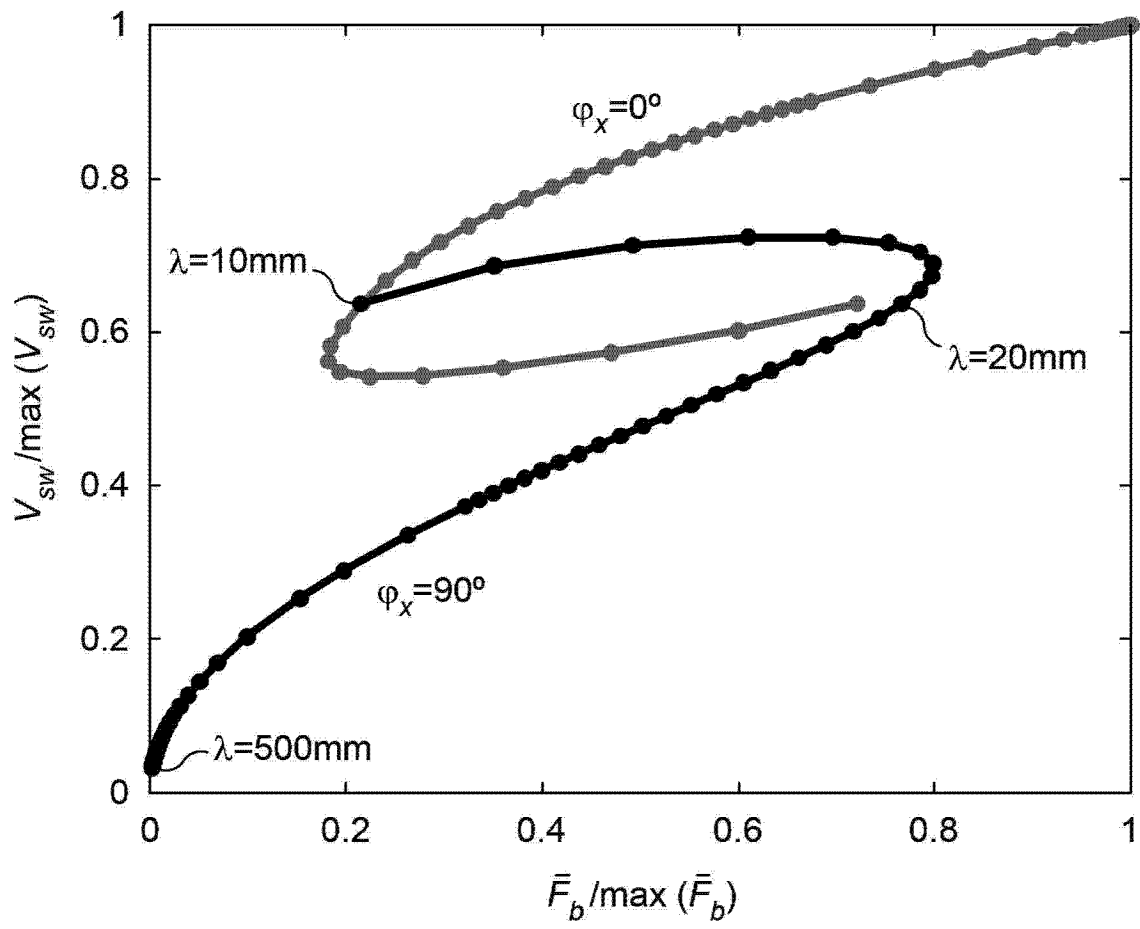


图 29

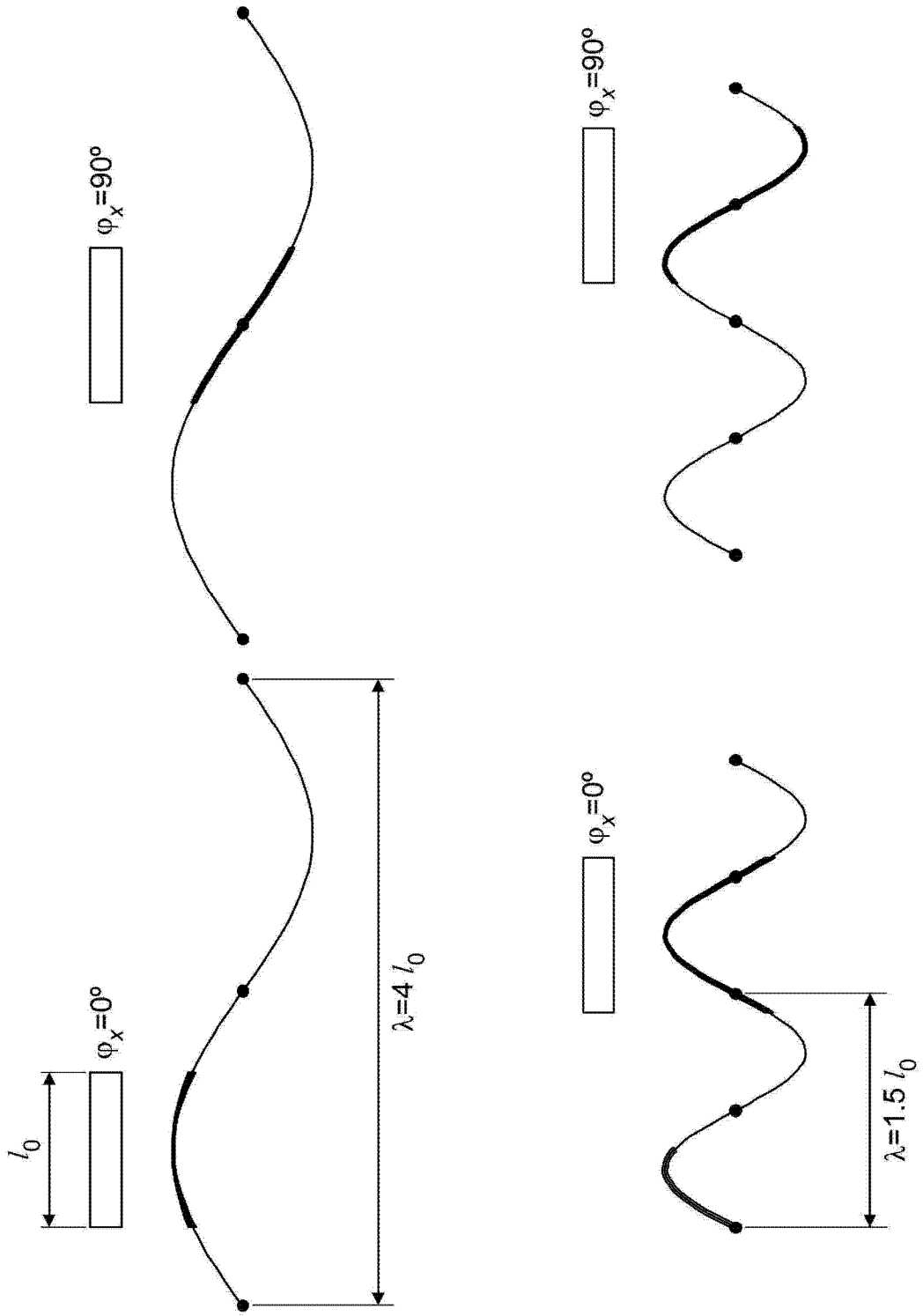


图 30

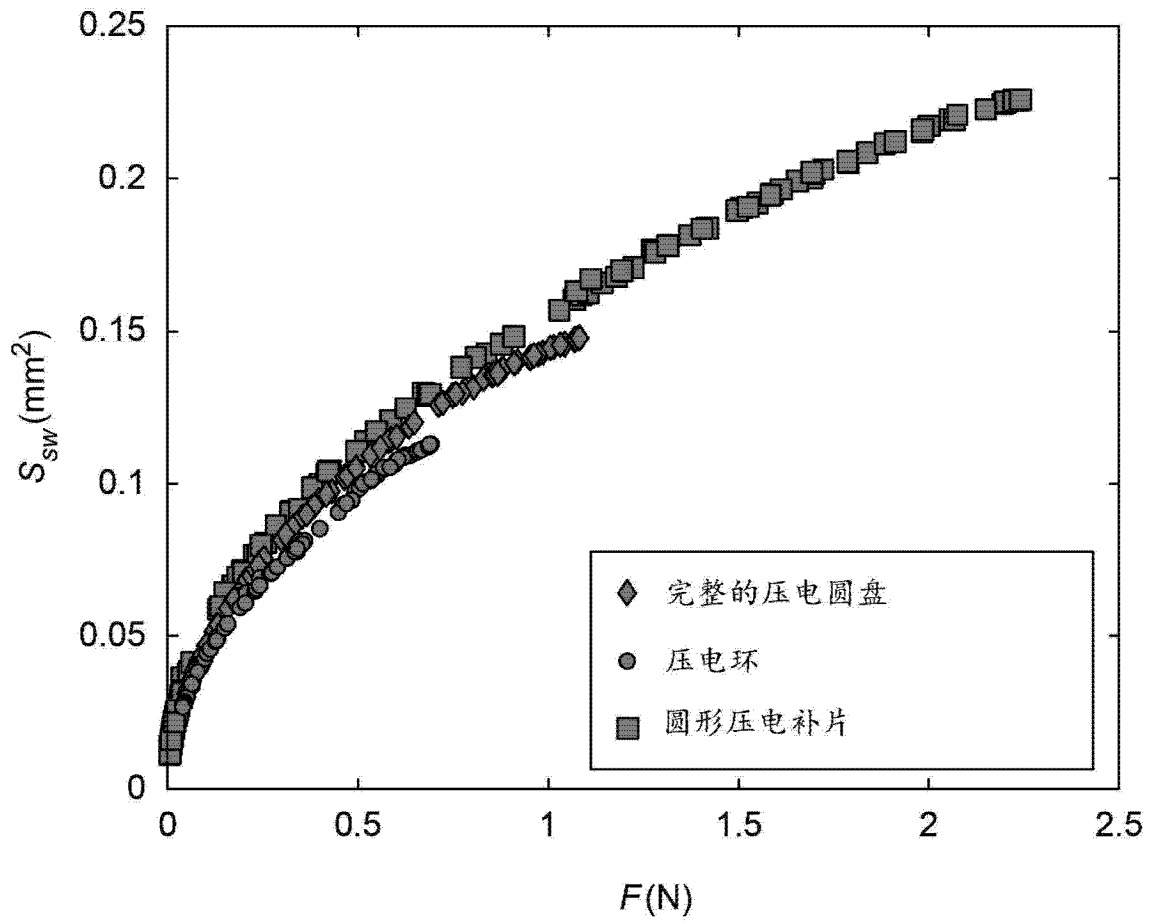


图 31

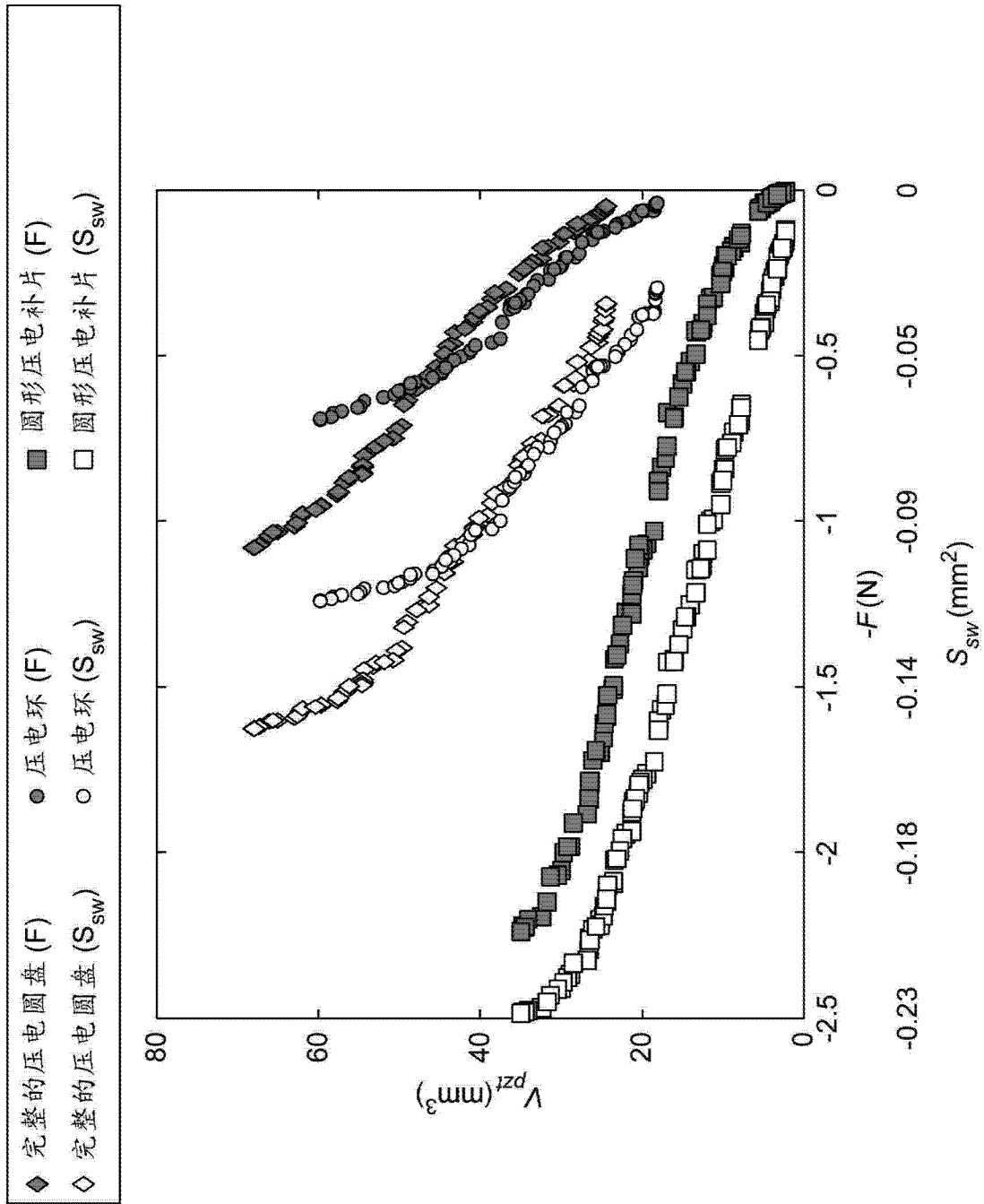


图 32

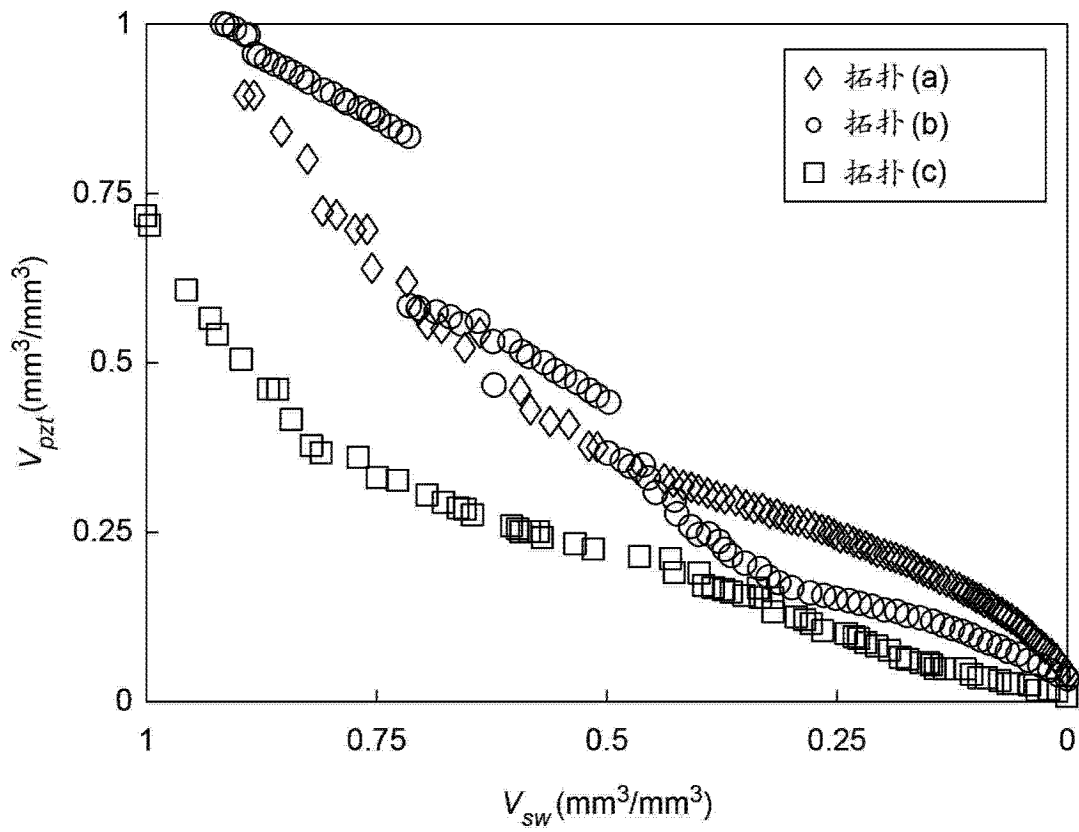


图 33

表1: 优化边界

	完整的圆盘	环	圆形补片
$2r_{ext}$	10 .. 25mm		
r_{in}/r_{ext}	NA	5 .. 65%	30 .. 95%
h_s	0.3 .. 2mm		
h_p	0.3 .. 1mm		

图 34