

# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102159933 A

(43) 申请公布日 2011. 08. 17

(21) 申请号 200980136067. 5

(22) 申请日 2009. 09. 15

(30) 优先权数据

0856192 2008. 09. 15 FR

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 03. 15

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2009/061942 2009. 09. 15

(87) PCT申请的公布数据

W02010/029179 FR 2010. 03. 18

(71) 申请人 雷恩第一大学

地址 法国雷恩

(72) 发明人 热拉尔·莫瓦桑

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理事

务所(普通合伙) 11270

代理人 武晨燕 周义刚

(51) Int. Cl.

G01N 3/42(2006. 01)

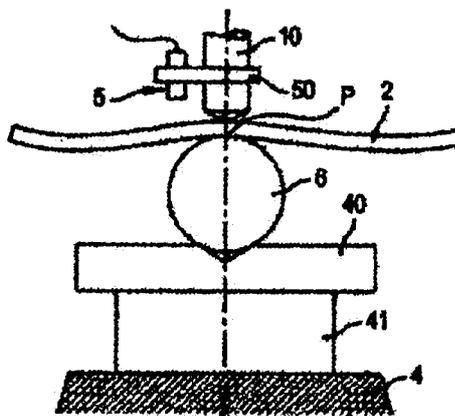
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 6 页

## (54) 发明名称

具有凸形支撑面的连续式或测量式压痕装置及其用途, 尤其用于板材压痕

## (57) 摘要

本发明尤其涉及一种“连续式”或“测量式”材料(2)压痕装置, 其包含: 压头(10), 用于待压痕材料(2)的支撑件(40; 6), 可以移动压头(10)和/或支撑件(40; 6)从而将压头(10)与材料(2)进行接触并将压头压入上述材料中的部件; 用于在压头(10)压入材料(2)的过程中, 测量压头的力度和位移的部件(5); 该装置尤其具有以下特点: 所述支撑件(40; 6)位于压头(10)的纵轴(X-X')延长线上, 包含可以放置上述材料(2)的凸形面(6), 该凸形面朝向压头(10), 从而可以使上述材料(2)能够以点状或类似点状地位于凸形面(6)上; 上述压头为整体结构, 即压头的尖端与其主体部分由一块材料制成; 用于在压头(10)压入材料(2)的过程中, 测量压头(10)位移的部件至少包含3个成角度的、等距离置于压头(10)周围的位移传感器(5)。



1. 一种“连续式”或“测量式”材料 (2) 压痕装置, 包含:  
压头 (10);  
用于待压痕材料 (2) 的支撑件 (40 ;6);  
可以移动压头 (10) 和 / 或支撑件 (40 ;6) 从而将压头 (10) 与材料 (2) 进行接触并将压头压入上述材料中的部件;  
用于在压头 (10) 压入材料 (2) 的过程中, 测量压头的力度和位移的部件 (8 ;5);  
其特征在于,  
所述支撑件 (40 ;6) 位于压头 (10) 的纵轴 (X-X') 延长线上, 包含可以放置上述材料 (2) 的凸形面 (6), 该凸形面朝向压头 (10), 从而可以使材料 (2) 能够以点状或类似点状地位于凸形面 (6) 上;  
压头 (10) 为整体结构, 即压头的尖端 (101) 与其主体部分由一块材料制成;  
用于在压头 (10) 压入材料 (2) 的过程中, 测量压头 (10) 位移的部件至少包含 3 个角度的、等距离置于压头 (10) 周围的位移传感器 (5)。
2. 如权利要求 1 所述的装置, 其特征在于, 所述凸形面为球体 (6) 的表面或球体一部分的表面。
3. 如权利要求 2 所述的装置, 其特征在于, 所述支撑件还包含压板 (40), 球体 (6) 或球体的一部分置于其上。
4. 如权利要求 3 所述的装置, 其特征在于, 所述压板 (40) 包括垫块机构 (401) 和 / 或固定球体 (6) 或球体的一部分的机构。
5. 如权利要求 1 所述的装置, 其特征在于, 所述凸形面 (6) 与支撑压板 (40) 由一块材料制成。
6. 如上述权利要求中任一项所述的装置, 其特征在于, 压头 (10) 的材质为碳化钨或其它高硬度材料。
7. 如上述权利要求中任一项所述的装置, 其特征在于, 传感器 (5) 为非接触式电容传感器。
8. 如上述权利要求中任一项所述的装置, 其特征在于, 所述装置包含能够记录每个传感器 (5) 测量的距离以及计算三个距离的平均值的部件, 该平均值视为压头 (10) 压入材料 (2) 的深度值。
9. 如上述权利要求 1 和 6 至 8 中任一项所述的装置, 其中当后者从属于权利要求 1 时, 其特征在于, 所述凸形面 (6) 由第二个压头 (10) 的尖端 (101) 组成, 所述第二个压头 (10) 位于第一个压头 (10) 的延长线上并与第一个压头相向而置。
10. 如权利要求 11 所述的装置, 其特征在于, 所述装置呈现一副钳子的形状, 每个压头 (10) 都与钳子 (7) 的一个钳口 (72、73) 相联结。
11. 如权利要求 9 或 10 所述的装置, 其特征在于, 只有一个压头 (10) 配有力度测量部件 (8)。
12. 如权利要求 9 至 11 中任一项所述的装置, 其特征在于, 只有一个压头 (10) 配有位移测量部件 (5)。
13. 如权利要求 9 或 10 所述的装置, 其特征在于, 两个压头 (10) 都配有力度和位移测量部件 (8 ;5)。

14. 如上述权利要求中任一项所述的装置的用途,其用于对板材(2),尤其是对薄板材或片材,进行“连续式”或“测量式”压痕。

## 具有凸形支撑面的连续式或测量式压痕装置及其用途, 尤其用于板材压痕

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种“连续式”或“测量式 (instrumented)”压痕装置。本发明还涉及该装置用于对板材, 尤其是对薄板材或片材进行压痕。

### 背景技术

[0002] “连续式”或“测量式”压痕需要在压头压入待测材料的过程中对压头承受的力度及压头位移情况进行测量。

[0003] 请参见图 1a, 其中压头尖端 (半径为  $R$  的滚珠) 标注为 1, 被测材料标注为 2。尖端 1 压入后, 材料 2 产生变形, 表面留下深度为  $h$  的印记 20。

[0004] 图 1b 中给出了一个压痕曲线  $F(h)$  示例, 体现了作用力  $F$  根据压头在材料中压入深度  $h$  的变化而变化的情况。该曲线包括了一个加力阶段和一个卸力阶段, 这两个阶段取决于多个试验参数以及被测材料的机械特性。

[0005] 一旦掌握并确定了试验参数, 压痕曲线即为材料特性曲线 (见图 1c), 可被用来确定材料的特性定律参数。后者通常需要通过材料试件进行拉伸试验获得, 而此类试验具有破坏性, 且需要准备一定数量的原料以制成专用的合格试件。

[0006] 但是, 压痕测试不是破坏性的, 只需要少量原料, 并且无需准备专用试件。

[0007] 压痕试验为局部测试, 尤其在用于纳米级的极薄层测试时; 且这项试验不妨碍接受过测试的试件在今后的继续使用。

[0008] 然而, 由于测得的压入值不够精确, 使得无法准确确定一般情况下应从压痕曲线图中提取的材料参数。

[0009] 例如, 我们根据负荷最大时的压入情况来确定材料的硬度  $H$ , 我们也可以依照奥利弗和法尔法 (Oliver and Pharr method), 通过解读卸力阶段之初的曲线  $F(h)$  的坡度来确定折合模数  $E^*$ 。

[0010] 还有好几种方法可用来确定材料的弹性限度及一到两个加工硬化参数。这些方法利用从压痕曲线中获取的某些量值, 如曲率、弹性能、塑性能、总能、或塑性能与总能之比等。而所有量值直接取决于压头在试验过程中压入深度  $h$  的变化情况。

[0011] 因此, 只有在正确评估压入深度时, 才能根据压痕曲线准确推断出材料参数。

[0012] 图 2 和图 3 非常简明地描述了已广为人知的不同压痕装置的结构状况。

[0013] 图中有一刚性框架 4, 其支撑着放置待测材料 2 的面板 40。

[0014] 图 2 显示的测试方式中, 压头 10 垂直固定在支架 100 的末端。因配有马达 101, 支架 100 在垂直方向上可运动。位移传感器 3 被固定在框架 4 的上部与支架 100 之间, 其测量压头 10 尖端在材料内的移动状况。

[0015] 图 3 显示的另一种方法中, 压头 10 是固定的, 放置有待测材料的支架 40 配有马达 400, 由待测材料在垂直方向上向压头移动。

[0016] 无论采用哪种方法, 评估压入深度时误差产生的第一个原因是在实践中, 对应于

压头 10 最低点的位移情况的压入深度不能直接测得,而是根据测得的位移推算得出。最佳状况下,测得的位移介于压头 10 和试件 2 之间。

[0017] 为了克服这种困难,已找到多种基本令人满意的解决办法。

[0018] 大多数解决办法在考虑测得的数值时,纳入了与框架某些构件产生的变形或因测试台的几何缺陷而产生的位移相关的位移。

[0019] 误差的第二个来源在于使用了市场上销售的压头,这些压头最初是准备用来在先加力后卸力的情况下,根据材料上遗留的印记来确定材料硬度的。压头带有一个钻石或碳化钨尖端,压头按照由硬度试验类型决定的几何形状进行切削,压接并 / 或粘接在一个钢制的圆柱形支架上,其末端状况取决于在测试台上的固定方式。

[0020] 压接使得两个从来不能完全贴合的表面进行接触,以避免压头尖端及支架之间的接触面产生变形,从而干扰对压入深度的测量。

[0021] 变形情况一般不是太明显,但从压痕测试过程中采用的量值角度来说,也从来不可忽视。

[0022] 由于使用者不了解接触在一起的表面的几何特性(包括光洁度),因此无法制模以确定试验过程中使压头尖端接近压头支架的变形。

[0023] 以上两种误差来源使得无法将测得的位移与要求的压入深度进行比较。

[0024] 此外,在有保护层的情况下,压痕测试通常应用于根据可用原料数量或待测层厚度而定的范围内。这就意味着人们根据物件的厚度或待定保护层的厚度来调整负荷。

[0025] 因此,当金属板材的厚度为 0.3-2 毫米时,应采用微米级甚至是纳米级压痕测试。

[0026] 不过,金属材料的显微结构由多种不同性质、不同大小的粒子组成,这些粒子使得金属材料在微观层面成为异质材料。

[0027] 对于此类材料,得到的弱负荷或极弱负荷(低于 1 牛顿)压痕曲线很难复制,原因在于这些曲线取决于测试是在什么位置进行的。

[0028] 当负荷较大时(直到 100 或 200 牛顿),根据粒子的大小,塑性变形量会非常大,以便能体现材料状况。这样一来,借助宏观规模的压痕测试,可以追溯材料的宏观特性。

[0029] 进行板材宏观层面压痕测试时遇到的困难与表面的几何形状有关。事实上,具体来说,不太可能制作出支撑表面完全平坦的板材试件。

[0030] 即便进行矫正也不能消除薄板材平整度方面的缺陷。实际上,在矫正过程中用来固定板材的磁板会产生使板材变形的力场。完成矫正后,只要不将板材从其磁性支撑物上取下来,矫正面就会是平直的。

[0031] 具体来说,从磁板上取下板材时,会产生数十微米的平整度缺陷(这些缺陷有时会在手工抛光阶段被放大)。

[0032] 平整度缺陷虽然不大,但由此产生的挠曲会导致位移传感器测到寄生位移(parasitic displacement),大小大约相当于压痕测试过程中的压头压入深度。

[0033] 所以,在试件上进行测试的位置不同,得到的压痕曲线也就不同。

[0034] 图 4 就表现了这种情况。其中人们有意夸大了待测材料 2 清单中的平整度缺陷。

[0035] 该图中出现了两个配有支架 50 的压头 10,采用传感器 5 来测量压入深度。

[0036] 压头(附图左边)垂直于板材完全贴合支架 40 的区域,或者是垂直于板材欠平直的部位(附图右边 - 板材下存在空隙),导致装置记录的压入深度测量数据会不同。

[0037] 我们观察到结果可复制性方面的问题。得到的曲线  $F(h)$  不像在材料厚重的情况下那样可以重叠。

[0038] 图 5 表现了这种状况。该图中 A、A' 和 A'' 三条曲线不重叠, 这些曲线是在同一试件上测试不同地方得出的结果。

### 发明内容

[0039] 本发明旨在解决以上不足之处。

[0040] 换种说法就是: 本发明意在提供一种压痕装置, 以摆脱所测材料的平整度缺陷。

[0041] 本发明也意在提供一种采用已知压痕装置通用结构的压痕装置。

[0042] 根据本发明的第一个方面, 本发明涉及一种“连续式”或“测量式”材料压痕装置。该装置包括:

[0043] 压头;

[0044] 用于待压痕材料的支撑件;

[0045] 可以移动压头和 / 或支撑件从而将压头与材料进行接触并将压头压入上述材料中的部件;

[0046] 用于在压头压入材料的过程中, 测量压头的力度和位移的部件;

[0047] 其特征在于,

[0048] 所述支撑件位于压头的纵轴延长线上, 包含可以放置上述材料的凸形面, 该凸形面朝向压头, 从而可以使所述材料以点状或类似点状地位于凸形面上;

[0049] 所述压头为整体结构, 即压头的尖端与其主体部分由一块材料制成;

[0050] 用于在压头压入材料的过程中, 测量压头位移的部件至少包含 3 个成角度的、等距离置于压头周围的位移传感器。

[0051] 通过这种装置, 可以在板材上获得与在厚重材料上获得的压痕曲线具有同等可靠性的压痕曲线, 可以在不做校准的情况下使用压痕曲线来对材料特性进行量化评估。

[0052] 此外, 本装置可避免出现各种固有的“外来”变形, 如压头框架出现的变形。

[0053] 本装置还包括但不限于以下优点:

[0054] 所述凸形面为球体的表面或球体的一部分的表面;

[0055] 所述支撑件还包括压板, 所述球体或球体的一部分置于其上;

[0056] 所述压板包括垫块机构和 / 或固定球体或球体的一部分的机构;

[0057] 所述凸形面与支撑压板由一块材料制成;

[0058] 所述压头的材质为碳化钨或其它高硬度材料;

[0059] 所述传感器为非接触式电容传感器;

[0060] 装置包含能够记录每个传感器测量的距离以及计算三个距离的平均值的部件, 该平均值视为压头压入材料的深度值;

[0061] 所述凸形面由第二个压头的尖端组成, 所述第二个压头在第一个压头的延长线上并与第一个压头相向而置;

[0062] 装置呈现一副钳子的形状, 每个压头都与这副钳子的一个钳口相联结;

[0063] 只有一个压头配有力度测量部件;

[0064] 只有一个压头配有位移测量部件;

[0065] 两个压头都配有力度和位移测量部件。

[0066] 本发明还涉及具有前述任一特征的装置的用途,用于对板材,尤其是对薄板材或片材进行“连续式”或“测量式”压痕。

### 附图说明

[0067] 本发明的其它特性将在具体实施方式中介绍,参考以下附图:

[0068] 图 6A 是依照发明首次制作的装置的形状示意图;

[0069] 图 6B 显示了融合了本发明装置的安装情况;

[0070] 图 7 为压头及其三个传感器(或触头)的仰观示意图,压头是本发明装置中不可或缺的一部分;

[0071] 图 8 展示了使用本发明装置时给出的压头压入深度值的全部曲线,压入深度值随着应用的负荷值变化;

[0072] 图 9 为装置变型方案的主视图;

[0073] 图 10 为图 9 中标注圆圈部分的放大图。

### 具体实施方式

[0074] 我们现在来参照图 6A,其中部分地展现了根据本发明的连续式压痕装置的情况。

[0075] 装置之所以只做局部展现,目的是仅仅聚焦该装置有所创新的方面。

[0076] 其中,我们可以注意到有一个类型已知的压头 10,垂直于 XX' 轴。

[0077] 为了简化附图,此处没有显示可以使压头垂直地从上至下或反向位移的机构。

[0078] 装置配有一个放置待测材料的压板 40。压板 40 置于力度传感器机构 41 之上,而后者由装置中的框架 4 予以支撑。

[0079] 依照本发明,在压头 10 的 XX' 纵轴延长线上,待测材料 2 的支撑件包含放置材料 2 的凸形面,方向朝向压头。

[0080] 这样的话,凸形面为置于压板 40 上的球体 6。压板 40 的表面经过镗孔处理,以保证球体 6 同压板 40 之间环状线性接触,从而固定球体 6。

[0081] 在此处未介绍的一种实现模式中,压板 40 可以具备固定所述球体的机构。

[0082] 该球体最好采用硬质材料,在试验过程中不会发生弹性变形。

[0083] 当然,该球体的直径必须足以保持待测材料试件的平衡。这就是说,从更普遍的角度而言,在凸形面的支撑区域内,该凸形面的曲率半径必须小于材料 2 的曲率半径。

[0084] 我们还知道当球体以压头 10 垂直轴 XX' 为中心时,压头作用于材料 2 上的垂直力会在接触点上产生球体对材料的垂直反作用力。

[0085] 因此,避免了材料 2 在试验过程中出现挠曲。

[0086] 在一些未介绍的实现模式中,球体 6 可被球体的一部分或其它东西所替代,只要与待测材料的接触表面是凸形的即可。这样可以使支撑件上的材料的支撑区域能够是点状或者类似点状的。

[0087] 图 6A 中还介绍了压头在材料 2 中压入深度的测量。

[0088] 该机构包括与压头 10 相联结的支架 50 以及固定在该支架 50 上的触头 5。

[0089] 这些触头或传感器在图 7 中特别明显。

[0090] 有三个或更多的触头或传感器,布置在一个虚拟的圆 C 上,以压头 10 的 XX' 轴为中心,相互之间呈相等角度且与压头轴等距离分布。在图 7 展示的三个传感器的配置中,这些传感器组成了一个等边三角形的各顶点,正中则是压头。

[0091] 传感器最好是非接触式电容传感器,也就是说可以通过恰当的手段,尤其是信息化手段来测量根据传感器与目标材料之间间距的变化而变化的电位测定值。

[0092] 未在图 6A 中进行介绍的信息化手段是为将该电位测定值转化为一个距离值而配备的。

[0093] 使用三个按相等角度等距离分布的传感器可以对其相互之间可能读到的距离差距进行补偿。

[0094] 考虑这种变型方案,信息化手段同样可以用来计算 3 份测量结果的平均值,并将该平均值视为与压头压入材料的深度值相等。

[0095] 图 7 中,压头 10 的尖端 101 也清晰可见。

[0096] 压头为整体机构,由整块碳化钨材料中加工而出。换句话说,就是尖端 101 和压头 10 由一块材料制成。

[0097] 图 6B 非常概括地表现了融合了本发明装置的安装情况。BI 和 EC 均被指定了传统的连续式压痕试验台,以及为实施本发明而设计的补充设备(压板 40,球体 6,等等)。

[0098] 通过一个采集试验台测量数据的电子接口,试验台联到一台电脑 PC 机上。

[0099] P1 和 P2 表示装入电脑中用于处理采集到的数据的软件。

[0100] 做压痕测试首先要考虑压痕试验的参数(如应用名称、试验速度、采集速度、压头尖端半径、要采用的最大力度、分几阶段、加力结束时有多少周期等)。

[0101] 这样就可进行试验了。

[0102] 配套的一个或几个软件来承担平行开展的多项任务,包括:

[0103] 控制垂直位移压板;

[0104] 对轴向力和三个垂直位移值的同期采集;

[0105] 显示作用力随着时间变化而变化的情况;

[0106] 显示作用力随着压头压入深度变化而变化的情况。

[0107] 最后,软件将数据记录到一个文档中。

[0108] 这些数据可借助专用软件或通过一个逆向分析程序在一个列表程序中进行解读。

[0109] 图 8 介绍了压痕曲线。这些曲线一部分取自本发明装置(曲线 D),另一部分取自一个没有球体支撑的装置(曲线 E)。

[0110] 曲线 D 的重叠状况远远好于曲线 E,这就说明本发明装置允许实施可复制性试验。

[0111] 此外,曲线 D 表现出的刚性也远大于曲线 E。事实上,在带有球体支架的配置中,测得的位移数据不会因压头下板材的挠曲而受到影响。我们最后观察到的是,无论支架类型如何,试验结束时的剩余弹性位移是一样的。这种现象进一步强化了以下想法:在没有球体支撑的情况下,增加给压入深度的挠曲诱发的挠度呈弹性。

[0112] 由于本发明综合了各种特性,因此获得的结果是本装置摆脱了所有寄生变形(parasitic deformation),即对待测材料来说的外来变形。

[0113] 图 9 展示了一种压痕装置的不同实现方式。

[0114] 该方式采用的形式为一副带有把手 70、71 以及配套钳口 72、73 的钳子 7。

[0115] 依照发明,两个压痕装置联到钳口 72 和 73 上,相向而置,使得其中一个压头 10 的尖端 101 成为放置材料的凸形面,相反亦然。

[0116] 这种情形在图 10 中尤其清晰,在此我们看到两个压头 10 沿同一个轴 XX' 布置,每个压头的尖端 101 相对对方而言都形成了一个支撑面。

[0117] 这副钳子于是配备了两个方向相对的压痕装置,每个装置都由一个整体压头、三个放置角度  $120^\circ$ 、围绕压头轴等距离布置的电容传感器以及一个力度传感器构成。

[0118] 这副钳子可以只配一个力度传感器,放置位置为上部钳口或下部钳口。带有两个力度传感器的配置只在待测板材重到足以以自身重量引起压痕的情况下才使用。

[0119] 两个压头的几何形状可以一样或不一样,因为上部传感器和下部传感器的数据采集工作是独立进行的。

[0120] 在下部传感器承担凸形支撑面角色的情况下,以相同于上部传感器的曲率,钳子完成双重压痕。当测试材料各处厚度完全一致时,双重压痕完美对称。

[0121] 在两个压头的几何形状完全一样的情况下,当测试材料完全均质时,只需使用固定在上部压头上的一套三个位移传感器即可进行正确测量,原因是装置具有对称结构。

[0122] 然而,如果测试材料在上表面和下表面呈现出不同的机械性能,或者两个压头的几何形状略有不同,如图 9 所示,就需要放置两套压痕装置来完成正确测量,即每个压头都需要配套位移传感器。该配置中,由于压头的几何形状完全一致,因此可以检测测试板材的上表面和下表面之间是否存在不同的机械特性。

[0123] 很明显,本发明装置主要应用于薄板材的压痕测试上。不过,无论材料的厚度和形状,均可应用材料压痕测试。本装置同样适于对不同性质的多层材料进行压痕测试。

[0124] 另外,以上描述的钳子尤其便于进行“原位”压痕测试。

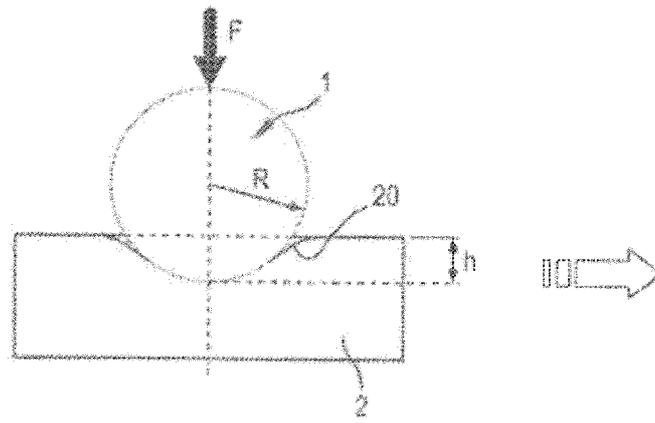


图 1a

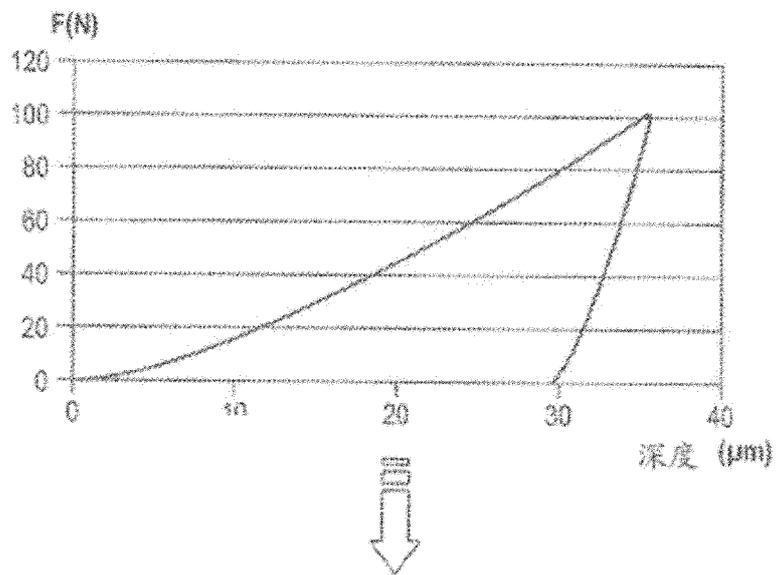


图 1b

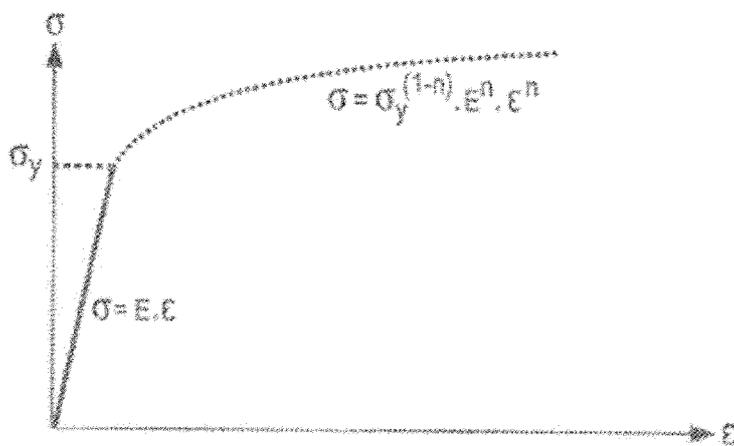


图 1c

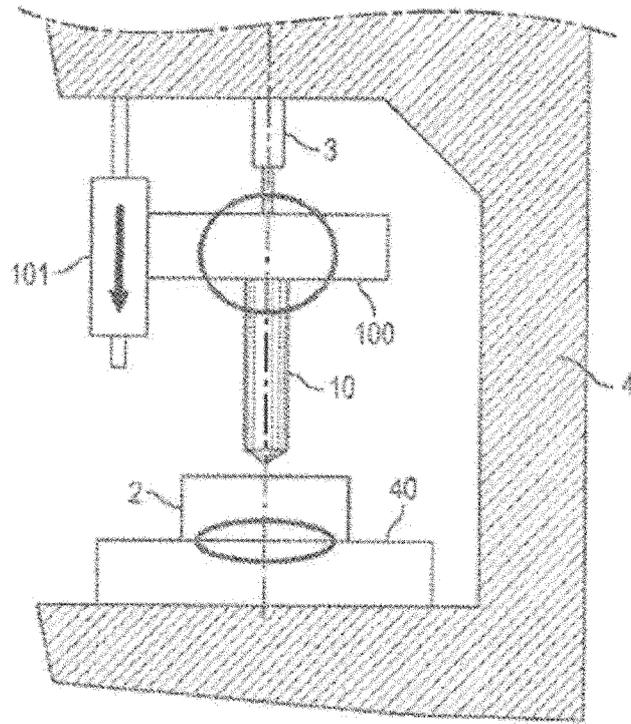


图 2

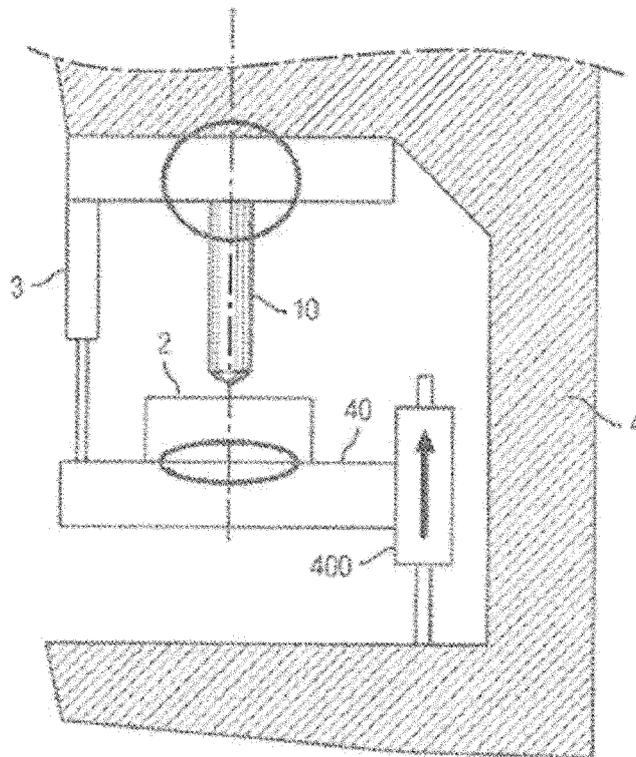


图 3

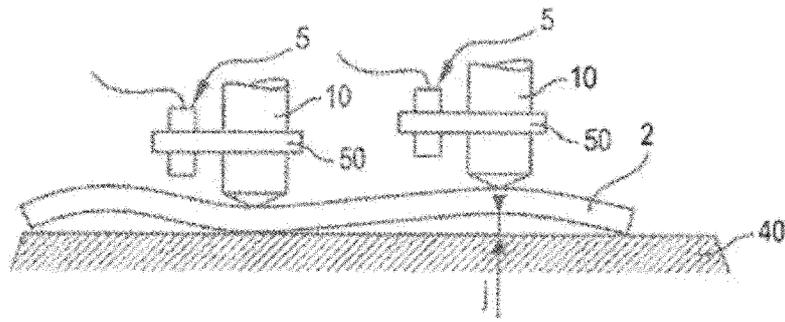


图 4

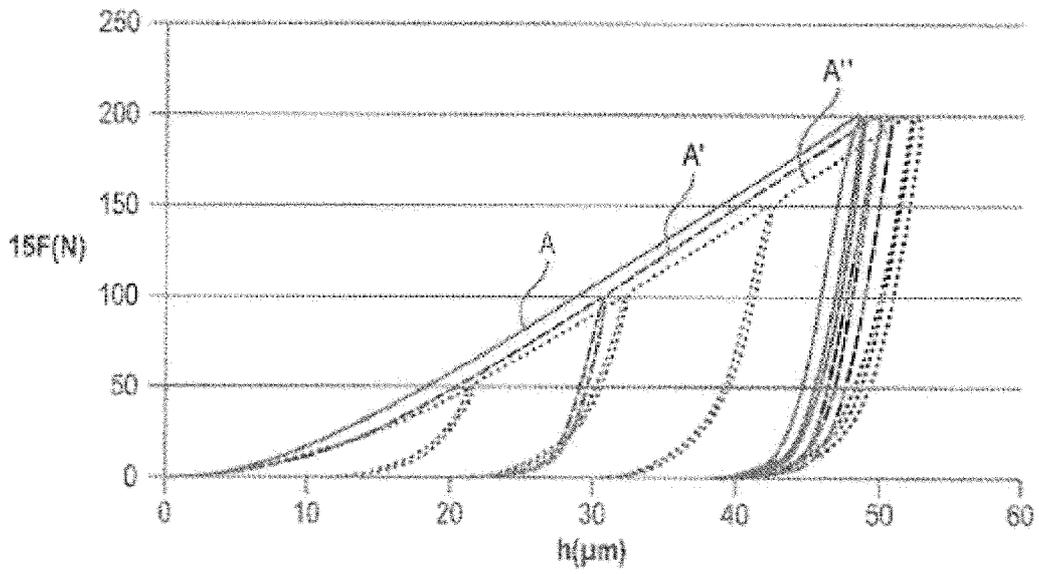


图 5

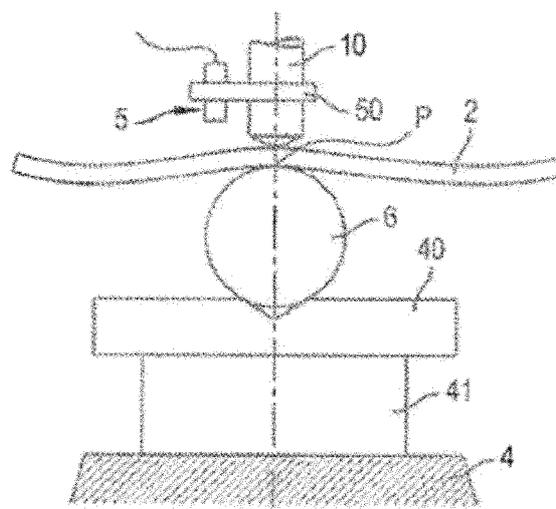


图 6A

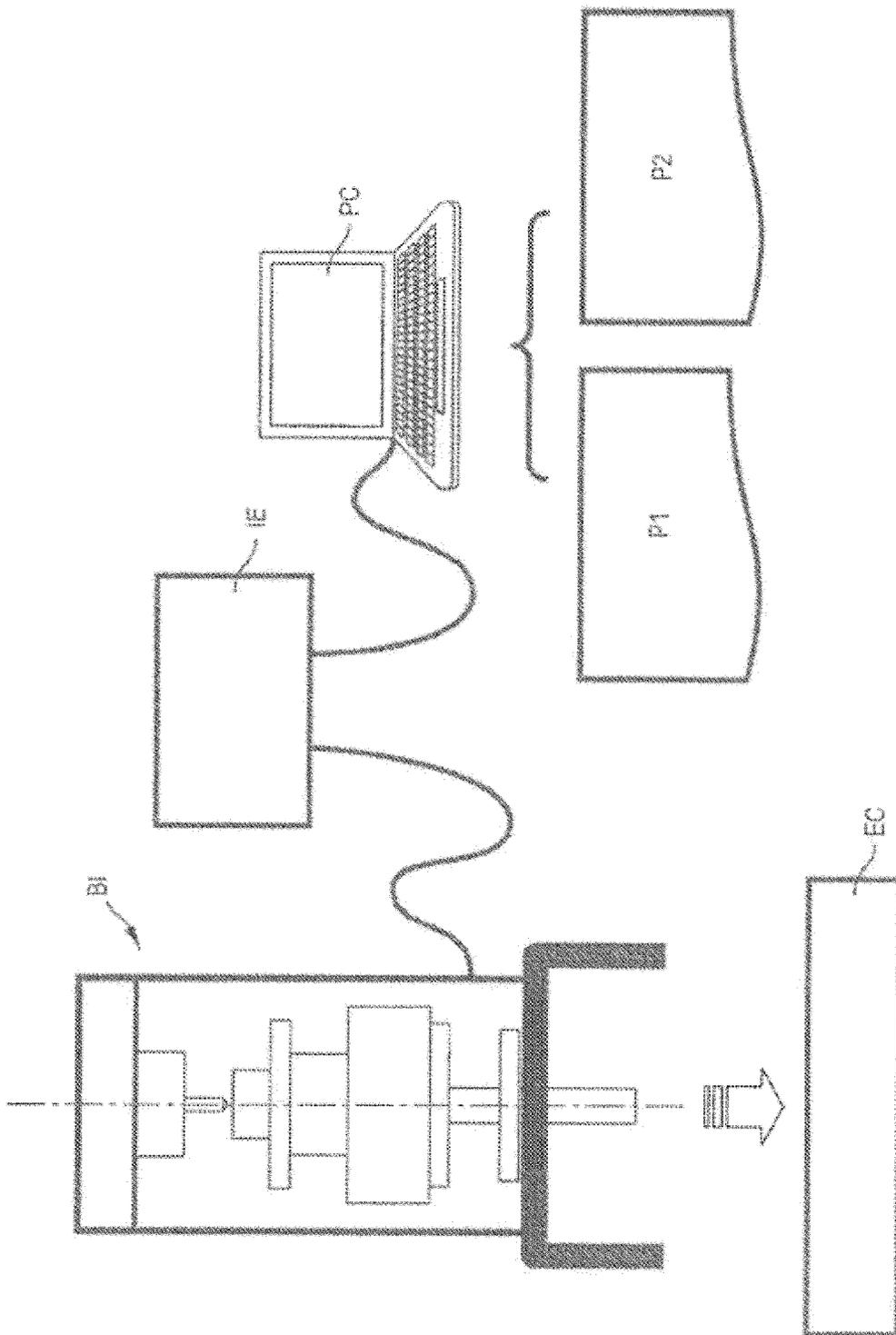


图 6B

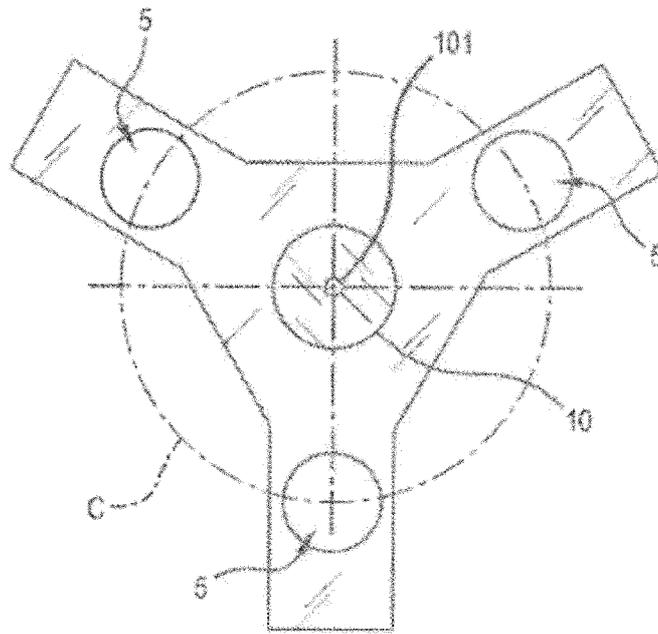


图 7

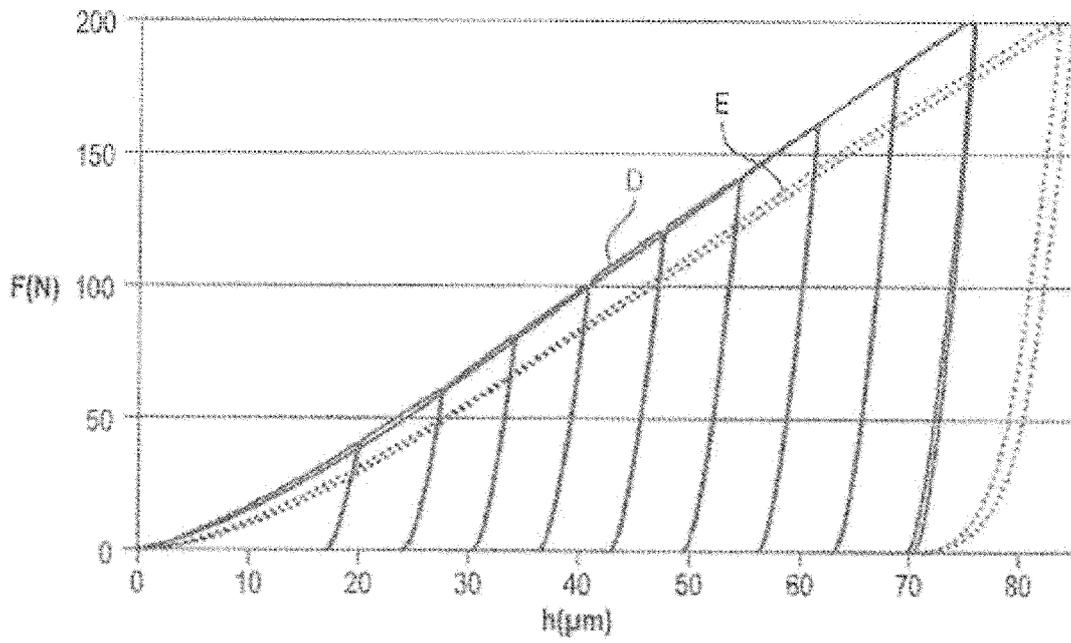


图 8

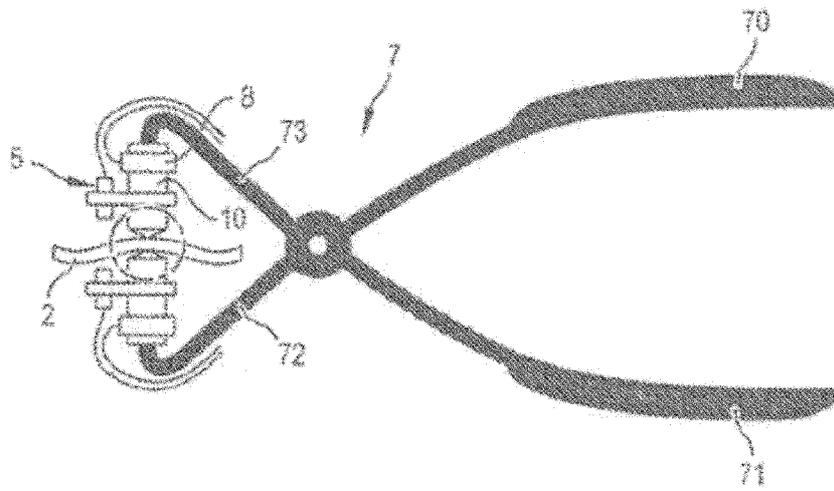


图 9

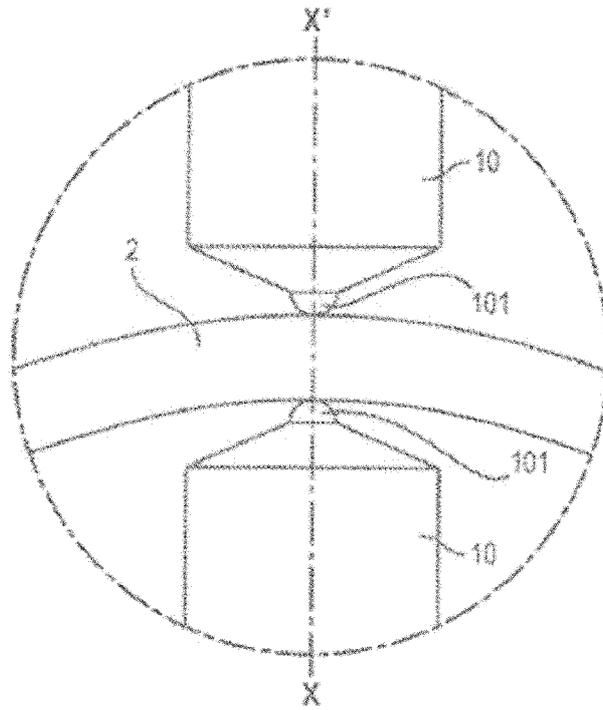


图 10