



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107621418 B

(45) 授权公告日 2021.09.17

(21) 申请号 201710578668.8

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2017.07.14

G01N 3/14 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G01N 3/02 (2006.01)

申请公布号 CN 107621418 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2018.01.23

CN 103207122 A, 2013.07.17

(30) 优先权数据

CN 104677760 A, 2015.06.03

15/211,891 2016.07.15 US

KR 20130034321 A, 2013.04.05

(73) 专利权人 波音公司

CN 105571961 A, 2016.05.11

地址 美国伊利诺斯州

CN 103091159 A, 2013.05.08

(72) 发明人 威廉·J·斯威特

CN 102135480 A, 2011.07.27

凯文·理查德·豪森

CN 105424470 A, 2016.03.23

阿瑟·C·达伊

CN 103353425 A, 2013.10.16

詹森·斯科特·达马佐

CN 103207122 A, 2013.07.17

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司

CN 105571961 A, 2016.05.11

责任公司 11240

US 2015308932 A1, 2015.10.29

代理人 张英 宫传芝

CN 203643279 U, 2014.06.11

审查员 齐欣

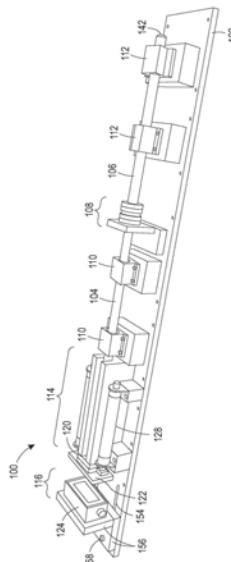
权利要求书2页 说明书12页 附图9页

(54) 发明名称

用于测量延性材料的动态应力/应变响应的装置

(57) 摘要

本发明涉及用于测量延性材料的动态应力/应变响应的装置，具体涉及用于测量材料如弹性材料和/或延性材料的动态拉伸应力和/或拉伸应变响应的方法和装置。该装置可以包括撞击杆、拉伸杆和配置为朝向拉伸杆推动撞击杆的驱动组件。该装置可以进一步包括接收测试样品的静止试样支座和可移动试样支座。装置的撞击杆和拉伸杆可以提供对测试样品的连续的应力和精确的拉伸应力/应变测量。



1. 一种用于测量材料的动态拉伸应力/应变响应的装置,包括:

撞击杆(104) ;

拉伸杆(106) ;

驱动组件(114),配置为朝向所述拉伸杆(106)推动所述撞击杆(104) ;

静止试样支座(132),配置为接收测试样品(600,1100)的第一部分并将所述测试样品(600,1100)的第一部分保持在固定位置;和

可移动试样支座(134),配置为接收所述测试样品(600,1100)的第二部分并在所述测试样品(600,1100)的测试或测量期间移动远离所述静止试样支座(132) ,

其中,所述撞击杆(104)与所述拉伸杆(106)对准,并且所述拉伸杆(106)配置为由所述撞击杆(104)与所述可移动试样支座(134)的碰撞而移动远离所述静止试样支座(132) ,

所述撞击杆(104)配置为由于所述撞击杆(104)与所述可移动试样支座(134)的碰撞而产生通过所述拉伸杆(106)的压力波;

所述撞击杆(104)和所述拉伸杆(106)配置为使得所述压力波从所述拉伸杆(106)的第一端穿至所述拉伸杆(106)的第二端并返回所述拉伸杆(106)的第一端;

所述撞击杆(104)和所述拉伸杆(106)配置为使得在所述撞击杆(104)与所述拉伸杆(106)的物理接触期间所述压力波从所述拉伸杆(106)的第一端穿入所述撞击杆(104)中;并且

所述撞击杆(104)和所述拉伸杆(106)配置为在所述压力波从所述拉伸杆(106)的第一端穿入所述撞击杆(104)中之后彼此物理分离,从而在所述测试样品(600,1100)的测试或测量期间将所述压力波捕获在所述撞击杆(104)内。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中:

所述撞击杆(104)由第一材料形成;

所述拉伸杆(106)由所述第一材料形成;

所述撞击杆(104)具有第一长度;

所述拉伸杆(106)具有第二长度;且

所述第一长度比所述第二长度长。

3. 根据权利要求1所述的装置,其中

所述撞击杆(104)由第一材料形成;

所述拉伸杆(106)由不同于所述第一材料的第二材料形成;且

所述第一材料和所述第二材料配置为使得所述压力波以比通过所述第二材料慢的速度通过所述第一材料。

4. 根据权利要求1或2所述的装置,进一步包括接收所述静止试样支座(132)的试样支座支架。

5. 根据权利要求4所述的装置,其中,所述试样支座支架包括穿过其中的第一孔,并且所述静止试样支座(132)包括穿过其中的第二孔,并且所述撞击杆(104)配置为在撞击所述可移动试样支座(134)之前延伸穿过所述第一孔和所述第二孔。

6. 根据权利要求5所述的装置,其中:

所述驱动组件(114)包括位于通道组件内的弹簧;并且

所述弹簧配置为朝向所述拉伸杆(106)推动所述撞击杆(104)。

7. 根据权利要求1-2中任一项所述的装置，其中：

所述静止试样支座(132)包括在其中的第一凹槽，所述第一凹槽配置为接收所述测试样品(600,1100)的第一部分；

所述可移动试样支座(134)包括在其中的第二凹槽，所述第二凹槽配置为接收所述测试样品(600,1100)的第二部分；并且

所述静止试样支座(132)和所述可移动试样支座(134)中的至少一种包括其中的凹部，所述凹部配置为使得所述测试样品(600,1100)在所述测试样品(600,1100)的测试或测量期间跨越所述凹部。

8. 根据权利要求1-2中任一项所述的装置，进一步包括释放组件，配置为将所述撞击杆(104)保持在预备位置并且释放所述撞击杆(104)以启动所述测试或测量。

## 用于测量延性材料的动态应力/应变响应的装置

### 技术领域

[0001] 本教导涉及材料计量学领域,且更具体地,涉及一种用于测量柔性可以弯折材料或另一种材料的应力和应变特性的装置。

### 背景技术

[0002] 本部分提供了与的本公开相关的背景信息,其不一定是现有技术。

[0003] 结构的设计和制造需要为结构构件或装置子结构选择合适的材料。为选择合适的材料,科学家、工程师、设计师、建筑师等需要材料的专业知识,如材料在失效之前能够承受的应力和应变。大多数材料展现出取决于速率的性能,并且许多应用将材料暴露于低和高应变率负载两者之下。

[0004] 已经开发了各种测量装置用于测试和量化材料的物理性能和应力特性。例如,分离式霍普金森压杆(Split-Hopkinson pressure bar)可以用于测试材料的动态应力-应变响应。在使用分离式霍普金森压杆时,将试样或测试样品放置在入射杆和传动杆之间并与其物理接触。在远离试样的入射杆的第一端,使用撞击杆产生应力波、压力波或入射波。入射波通过入射杆从第一端朝向与试样物理接触的第二端传播。在到达试样时,来自入射波的能量的第一部分穿过试样,而第二部分被反射离开试样并通过入射杆返回。波的第一部分穿过试样、对试样施加应力并使试样变形,然后被传输到与试样物理接触的传动杆。可以通过动量杆和动量陷阱(momentumtrap)使传动杆的移动停止。

[0005] 当入射波的第一和第二部分分别到达入射杆和传动杆的端部时,入射波的部分反射离开杆的端部并且快速地来回穿过杆多次。每当入射波到达杆的试样端时,入射波能量的一部分被传输到试样,试样再次受到增加的应力。入射波来回通过入射杆和传动杆并因此通过试样的这些传递在试样中产生步进运动和非恒定的应变率。因此,分离式霍普金森压杆测量仅在第一运动步进期间有效,但许多材料在第一运动步进期间不会失效。

[0006] 此外,弹性材料如硫化橡胶(例如,天然橡胶)、弹性体(例如,硅酮、聚合物)等的运行和失效特性在选择用作密封件、阻隔件、减震器、吸震器和缓冲件以及其它用途的材料中是重要的考虑因素。当入射波穿过测试试样时,分离式霍普金森压杆使入射杆和传动杆之间的测试样品承受压缩力。因此,分离式霍普金森压杆可以测试处于张力下的材料,但对于具有高应变失效的试样作用不佳。此外,当入射波来回传播通过入射杆和传动杆时,使用分离式霍普金森压杆测试试样使材料承受非恒定的应变率。因此,分离式霍普金森压杆提供高应变率但不是高应变。使用伺服机械方法的其它装置可以提供高应变,但不能提供高应变率。

[0007] 适用于在各种材料如灵活、可弯折和延性的材料以及其它材料的恒定应变率下测量各种特性如拉伸强度和失效应力,提供高应变率和高应变二者的装置将是现有技术受欢迎的补充。

## 发明内容

[0008] 下文呈现简化的概述,以提供对本教导的一个或多个实施方式的一些方面的基本理解。该概述不是广泛的综述,也不旨在确定本教导的重要或关键要素,也不旨在描绘本公开的范围。而是,其主要目的仅仅是以简化形式呈现一个或多个概念作为之后提出的详细描述的序言。

[0009] 一种用于测量材料的动态拉伸应力/应变响应的装置包括撞击杆、拉伸杆、配置为将撞击杆朝向拉伸杆推动的驱动组件,以及配置为接收测试样品的第一部分并将测试样品的第一部分保持在固定位置的静止试样支座。该装置进一步包括配置为接收测试样品的第二部分并在测试样品的测试或测量期间移动远离静止试样支座的可移动试样支座。在一个实施方式中,将撞击杆与拉伸杆对准,并且拉伸杆配置为由于撞击杆与可移动试样支座的碰撞移动远离静止试样支座。撞击杆可以被配置为由撞击杆与可移动试样支座的碰撞通过拉伸杆产生压力波。

[0010] 在一个实施方式中,可以配置撞击杆和拉伸杆使得压力波从拉伸杆的第一端穿至拉伸杆的第二端并返回到拉伸杆的第一端。可以进一步配置撞击杆和拉伸杆使得在撞击杆与拉伸杆的物理接触期间压力波从拉伸杆的第一端穿入撞击杆中。此外,可以配置撞击杆和拉伸杆以在压力波从拉伸杆的第一端穿入撞击杆中之后彼此物理分离,从而在测试样品的测试或测量期间将压力波捕获在撞击杆内。

[0011] 在一个实施方式中,撞击杆和拉伸杆可以由第一材料形成,撞击杆可以具有第一长度,拉伸杆可以具有第二长度,并且第一长度可以比第二长度长。在另一个实施方式中,撞击杆可以由第一材料形成,拉伸杆由不同于第一材料的第二材料形成,并且配置第一材料和第二材料使得压力波以比穿过第二材料慢的速率穿过第一材料。

[0012] 该装置可以进一步包括接收静止试样支座的试样支座支架。试样支座支架可以包括穿过其中的第一孔,并且静止试样支座可以包括穿过其中的第二孔,并且撞击杆可以配置为在撞击可移动试样支座之前延伸穿过第一孔和第二孔。

[0013] 在一个实施方式中,驱动组件可以包括放置在通道组件内的弹簧,并且弹簧可以配置为朝向拉伸杆推动撞击杆。

[0014] 静止试样支座可以包括其中的第一凹槽,配置为接收测试样品的第一部分。可移动试样支座可以包括其中的第二凹槽,配置为接收测试样品的第二部分。静止试样支座和可移动试样支座中的至少一个可以包括其中的凹部,配置使得在测试样品的测试或测量期间测试样品跨越凹部。

[0015] 该装置可以进一步包括配置为将撞击杆保持在预备位置并且释放撞击杆以启动测试或测量的释放组件。释放组件可以包括与电源电连接的电磁体,并且释放组件可以配置为当电磁体被供电时将撞击杆保持在预备位置。此外,释放组件可以配置为在从电磁体中去除电力时开始测试或测量。

[0016] 一种用于测试或测量测试样品的方法,包括将撞击杆朝向拉伸杆推动,用撞击杆撞击可移动试样支座,由于撞击杆撞击可移动试样支座,可移动试样支座移动远离静止试样支座,并且由于可移动试样支座移动远离静止试样支座,将动态拉伸应力和/或应变施加到附接至静止试样支座和可移动试样支座的测试样品。

[0017] 该方法可以进一步包括由于撞击杆撞击可移动试样支座在拉伸杆内产生压力波,

其中压力波从拉伸杆的第一端穿至拉伸杆的第二端并返回到拉伸杆的第一端。在撞击杆与可移动试样支座的物理接触期间,该方法可以包括使压力波从可移动试样支座传递到撞击杆中,并且在从可移动试样支座传递压力波之后,将撞击杆与可移动试样支座物理分离以在其间形成间隙,从而从拉伸杆去除压力波并将压力波捕获在撞击杆内。

[0018] 该方法可以进一步包括使用驱动组件将撞击杆朝向拉伸杆推动。撞击杆可以在用撞击杆撞击可移动试样支座之前延伸穿过静止试样支座。

[0019] 可以使用包括以下的方法制备测试样品:形成测试材料的矩形条,将支撑材料粘附到测试材料的矩形条的两个或多个边缘以提供第一附接条和第二附接条,将第一附接条放置在静止试样支座中的第一凹槽中,将第二附接条放置在可移动试样支座中的第二凹槽中,并将测试材料置于由静止试样支座和可移动试样支座中的至少一个形成的凹部上,使得测试材料跨越凹部。可以以斑纹图样涂覆测试材料。在一个实施方式中,对测试样品施加动态拉伸应力和/或应变可以对测试样品施加100至2500应变/秒的动态拉伸应变。

## 附图说明

[0020] 结合在本说明书中并构成本说明书的一部分的附图示出了本教导的实施方式,并与描述一起用于解释本公开的原理。在附图中:

[0021] 图1是根据本教导的实施方式的可以用于测量和测试试样的特性和响应的装置的透视图。

[0022] 图2是描绘图1结构的俯视图。

[0023] 图3是描绘图1结构的侧视图。

[0024] 图4是描绘根据本教导的实施方式的试样安装组件的透视侧视图。

[0025] 图5是包括根据本教导的实施方式的试样安装组件的透视图。

[0026] 图6是描绘根据本教导的实施方式的试样安装组件和测试样品的侧视图。

[0027] 图7是处于预备位置的图1装置的透视图。

[0028] 图8是当撞击杆接触可移动试样支座时图6结构的侧视图。

[0029] 图9是在撞击杆撞击可移动试样支座后,以及测试样品暴露于拉伸应变和/或应力时图8结构的侧视图。

[0030] 图10是根据本教导的实施方式的用于测试或测量测试样品的方法的流程图。

[0031] 图11是根据本教导的实施方式的测试样品、静止试样支座和可移动试样支座的侧视图。

[0032] 图12是在附接测试样品之后图11结构的侧视图。

[0033] 应当注意,附图的一些细节已被简化并绘制为便于理解本教导,而不是保持严格的结构准确性、细节和比例。

## 具体实施方式

[0034] 现在将对本教导的示例性实施方式进行详细参考,在附图中示出其实例。在任何可能的情况下,在整个附图中使用相同的附图标记来指示相同或相似的部件。

[0035] 本教导提供了用于在如弹性或非弹性材料样品的测试试样上测试和/或获得性能数据的方法和结构。该方法可以包括在相对恒定的应变率下动态测量材料样品的拉伸强

度。虽然一些常规测量技术通过各种装置结构以及测试试样来回地传播压力波多次,但这导致测试样本上的非恒定应力/应变,在一些实施方式中,本教导的装置或测试结构可以具有通过各种装置结构和测试样品的减小的压力波传播,从而导致更准确的应力和/或应变数据。

[0036] 图1是用于测试和/或测量测试样品的拉伸特性、性能数据或其它物理性能的装置或设备100的透视图,图2是其俯视图,且图3是其侧视图。应当理解,图1-3描绘了示例性结构,并且根据本教导的测量装置可以包括为了简单而未示出的其它装置子结构,而各种所描绘的装置子结构可以被移除或修改。

[0037] 装置100可以包括底座102,使用一个或多个紧固件,例如一个或多个螺钉、螺栓、栓钉、夹子、夹具、粘合剂等(为了简单而未单独描绘)将其它测量装置子结构附接和/或安装至底座102。测量装置100进一步包括撞击杆104,拉伸杆106和试样安装组件108。

[0038] 装置100可以进一步包括一个或多个附接至底座102的撞击杆支撑件110,其引导和支持撞击杆104,并且允许撞击杆104在使用期间朝向和远离拉伸杆106的轴向运动。每个撞击杆支撑件110可以包括一个或多个轴承500(图5),如一个或多个衬套(例如,实心套筒衬套或拼合衬套)、滚珠轴承或其它低摩擦支撑件,其支撑撞击杆104并允许撞击杆104的低摩擦轴向运动。类似地,装置100还可以包括一个或多个附接至底座102的拉伸杆支撑件112,其引导和支持拉伸杆106,并且允许拉伸杆106在使用期间远离撞击杆104的轴向运动。各个拉伸杆支撑件112可以包括一个或多个轴承,例如一个或多个衬套(例如,实心套筒衬套或拼合衬套)、滚珠轴承或其它低摩擦支撑件,其支撑拉伸杆106并允许拉伸杆106的低摩擦轴向运动。

[0039] 图1-3的装置100进一步包括驱动组件114和释放组件116。驱动组件114配置为使用例如,一个或多个弹簧、压缩气体或另外的方法将撞击杆104朝向拉伸杆106推动。驱动组件114推动撞击杆104的力可以是可调节的,例如以适应不同的测试样品材料和测试条件。释放组件116配置为将撞击杆104维持或保持在预备、接合或待发位置并且释放撞击杆104以启动测试样品的测试或测量(在下文统称为“测试”)。在包括弹簧的驱动组件114中,当装置100处于预备位置时,可以将弹簧保持在拉紧状态下。在包括快速动作气体阀的驱动组件114中,当装置100处于预备位置时,可以将气体在罐内加压。除了本文描述的那些之外,包括驱动组件114和释放组件116以及装置100的其它组件的其它实施方式。

[0040] 图1-3的装置100的驱动组件114包括围绕撞击杆104的弹簧118和附接到弹簧118的第一端119的座圈120。可以将弹簧118的第二端121固定到通道组件123内的撞击杆104,其中将弹簧118的至少一部分和撞击杆104的一部分布置和/或包含在通道组件123的通道内。驱动组件114可以进一步包括邻近座圈120的板122。板122可以制造为铁磁材料或包含铁磁材料,如铁、铁合金或另一种铁磁材料。在一个实施方式中,可以将板122附接到撞击杆104的第一端,并且撞杆104的第一端可以延伸通过座圈120中的孔。

[0041] 释放组件116可以包括附接到电源126的电磁体124。布置电磁体124使得可以在收回板122之后通过电磁体124将板122保持在预备位置。

[0042] 装置100还可以包括一个或多个收回件128,以帮助将驱动组件114从空闲位置收回至预备位置。收回件128收回板122远离通道组件123以将板122、弹簧118和撞击杆104定位到预备位置中。收回件128可以包括一个或多个与电力、气体或液压流体源130流体连通

的电气、气体或液压活塞128。

[0043] 试样安装组件108可以包括静止试样支座132和可移动试样支座134，其各自在测试期间接收试样(即，测试样品)。可以将静止试样支座132附接到试样支座支架136上，而可以将可移动试样支座134附接到拉伸杆106的第一端。下面参考图4和5更详细地描述试样安装组件。

[0044] 可以使用一个或多个数据采集装置在测试期间采集数据。数据采集装置可以包括例如，在测试期间聚焦在例如样品安装组件108上的高速摄像机140。数据采集还可以包括位于拉伸杆106的第二端上或在适于在测试期间监测拉伸杆106的力和/或加速度的另一位置处的加速度计142。

[0045] 可以组装装置100使得撞击杆104指向为与拉伸杆106轴向对准。换言之，撞击杆104的轴与拉伸杆106的轴对准。为了建立装置100子结构的对准，可以将任何数量的间隔件150布置在底座102和通道组件123、撞击杆支撑件110、试样支座支架136、拉伸杆支撑件112中的一种或多种之间和/或在必要或期望的其它位置处。

[0046] 底座102可以是工作台或固定到工作台的表面或其它安装表面。为了最精确的测试结果，在测试期间可以将如装置100的振动的无意运动最小化。这包括由外部来源如其它装置产生的振动和其它无意运动。装置100的部件和子组件可以由各种材料制成，如聚合物、金属如钢或铝和/或其它天然或合成材料。

[0047] 图4是试样安装组件108的区域中的装置100的平面图，且图5是其透视图。图4和5描绘了在两个不同的位置的装置100，但没有固定到试样安装组件108的测试样品。如图所示，试样支座支架136包括在测试期间撞击杆104通过其延伸的孔400。此外，静止试样支座132还包括在测试期间撞击杆104通过其延伸的孔402，其中孔400与孔402对准以使得撞击杆104从其中通过。孔400、402使得撞击杆104延伸通过或穿过试样支座支架136和静止试样支座132以物理接触可移动试样支座134的暴露面404，并在测试期间推动拉伸杆106和附接的可移动试样支座134。图5还描绘了如上所述的撞击杆支撑件110和拉伸杆支撑件112中的轴承500。

[0048] 如图所示，可以使用紧固件406如一个或多个螺栓或快拆紧固件将静止试样支座可拆卸地或永久地安装到试样支座支架136。可以使用紧固件408如一个或多个螺栓或快拆紧固件将可移动试样支座134可拆卸地或永久地安装到拉伸杆106。在另一个实施方式中，静止试样支座132和试样支座支架136可以由单块材料制成，使得静止试样支座132是试样支座支架136的一部分。此外，拉伸杆106和可移动试样支座134可以由单块材料制成，使得可移动试样支座134是拉伸杆106的一部分。

[0049] 图6是在试样安装组件108的区域中的截面，其中使用一个或多个紧固件602如胶带、环氧树脂、夹具等将测试样品600安装或附接到静止试样支座132和可移动试样支座134。测试样品600可以是例如，柔性材料的矩形条，其至少部分地或完全地卷绕在静止试样支座132和可移动试样支座134二者的周长上。如图6所示，测试样品600跨越由静止试样支座132和可移动试样支座134中的一种或两种形成的凹部604，使得跨越凹部604的测试样品600的部分物理上不受静止试样支座132和可移动试样支座134支撑。图6描绘了在测试测试样品600之前的试样安装组件108。在撞击可移动试样支座134的暴露面404之前，撞击杆104处于预备位置。

[0050] 为了进行测试,首先将图1的装置100置于预备位置。在所描述的实施方式中,通过使用气体源130对一个或多个气体活塞128加压使板122朝向电磁体124移动,以延伸各个气体活塞128的臂152,使得板122接合或物理接触图7所示的电磁体124。电磁体124被供电以将板122保持在预备位置,并且使气体活塞128减压以使臂152收回远离板122。在该位置中,对通道组件123内的弹簧118给予势能。

[0051] 为了说明的目的,图7描绘了远离静止试样支座132放置的可移动试样支134,试样安装组件108内没有布置测试样本。通常,在将装置100布置在预备位置之前,如图6所示,将测试样品600布置在试样安装组件108内。

[0052] 在将测试样品600放置到装置100的试样安装组件108中并将装置100置于预备位置之后,可以通过从电磁体124去除电力来启动测试。给予弹簧118的势能被释放并转换成动能,其朝向拉伸杆106推动撞击杆104。在测试阶段期间,撞击杆104的第二端可以通过样试样支座支架136延伸到孔400中,并通过静止试样支座132进入孔402中,以物理接触可移动试样支座134的暴露面404。图8描绘了当其恰好与可移动试样支座134的面404接触时的撞击杆104。

[0053] 随后,来自撞击杆104的能量被传递到附接至拉伸杆106的可移动试样支座134,并且例如如图9所示,拉伸杆106和可移动试样支座134被推动远离静止试样支座132。可移动试样支座134移动远离静止试样支座132,从而如所示的在测试样品600上产生拉伸应力和拉伸应变。如果用足够的力推动撞击杆104,则测试样品600可能由于拉伸应力或应变而部分地或完全地失效。

[0054] 可以例如通过使用具有较高压缩力弹簧(即,更硬的弹簧)的弹簧118和/或通过移动电磁体124进一步远离通道组件123来增加撞击杆104置于可移动试样支座134的暴露面404上的力,使得弹簧118在较高的势能下置于预备位置中。在一个实施方式中,底座102可以包括一个或多个槽154,其通过电磁体支座158接收一个或多个调整螺栓156。可以将调整螺栓156松开用于重新布置电磁体支座158和附接到电磁体支座158的电磁体124,然后紧固以固定电磁体支座158和电磁体124。

[0055] 在测试样品的测试期间,可以通过任何数量的期望的数据采集装置如高速摄像机140和/或加速度计142来采集数据。

[0056] 当撞击杆104接触可移动试样支座134时,产生通过可移动试样支座134传播并进入拉伸杆106中的压力波。当压力波到达拉伸杆106的第二端(即,与可移动试样支座134相对的端部)时,其反射离开第二端并且通过拉伸杆106和可移动试样支座134传播回来。如上所述,在分离式霍普金森压杆中,压力波通过杆和测试样品持续来回传播多次,从而在测试样品内和通过测试样品产生非连续应力和非连续应变。与分离式霍普金森压杆的操作相反,装置100的撞击杆104和拉伸杆106可以设计为在测试样品600上提供更连续的应力。

[0057] 在一个实施方式中,可以设计或选择装置100的撞击杆104和拉伸杆106以在压力波通过拉伸杆106仅一个循环之后将压力波捕获在撞击杆104内。如图8所示,在撞击杆104和拉伸杆106之间的初始接触时,产生通过拉伸杆106传播到拉伸杆106的第二(相对)端并反射离开第二端返回到第一端的第一压力波。类似地,在该初始接触时,产生通过撞击杆104传播到撞击杆104的第一(相对)端并反射离开第一端返回到第二端的第二压力波。

[0058] 在第一压力波穿过拉伸杆106期间,撞击杆104保持与暴露面404物理接触。一旦第

一压力波返回到拉伸杆106的第一端，则第一压力波进入撞击杆104。此时，如图9所示，撞击杆104和拉伸杆106分离，使得在撞击杆104的第二端和可移动试样支座134的暴露面404之间存在间隙900，使得当第一压力波反射离开撞击杆104的第一端并返回到撞击杆104的第二端时，第一压力波不能重新进入拉伸杆106。类似地，第二压力波不能进入拉伸杆106。间隙900保持直到测试样品600的测试完成。因此，与使测试样品承受多次压力波的分离式霍普金森压杆相反，测试样品600承受较少次的压力波，从而在测试期间对测试样品施加更持续的应力。相反，分离式霍普金森压杆具有持续传播并反射通过测试装置和测试试样的波。这产生了步进运动和非恒定的应变。至少出于该原因，分离式霍普金森压杆测量仅在第一步进期间是有效的。

[0059] 在一个实施方式中，当撞击杆104撞击拉伸杆106时，在杆104、106二者中产生压缩波。压缩波从撞击位置传播出去。当压缩波到达各个杆104、106的相对端时，压缩波反射为朝向两个杆104、106之间的界面(即，朝向测试样品600)移动回来的张力波。净结果是张力波和迎面而来的压缩波合并以产生零的净应力。然而，当来自撞击杆104的张力波和来自拉伸杆106的张力波相遇时，张力波合并以形成净拉伸应力。如果撞击杆104和拉伸杆106具有相等的长度，则拉伸应力首先形成在两个杆104、106之间的界面处。界面不能支撑张力，因此杆104、106分离。在这种情况下，然后拉伸杆106留下了继续通过拉伸杆106传播和反射的应力波。该波传播导致拉伸杆106具有不期望的步进运动，并且因此在测试样品600中具有非恒定应变。然而，如果拉伸杆106比撞击杆104短，则反射的张力波在撞击杆104内相遇并合并。当该张力波到达两个杆104、106之间的界面时，张力波导致两个杆104、106分离，从而将波捕获在撞击杆104内，使得拉伸杆106具有平稳的线性运动。

[0060] 在一个实施方式中，撞击杆104和拉伸杆106可以由相同的材料制成，例如不锈钢、铝、其它金属或金属合金，或其他合适的材料。在该实施方式中，压力波以相同的速率穿过撞击杆104和拉伸杆106两者。可以通过提供具有第一长度的撞击杆104和具有第二长度的拉伸杆106(包括可移动试样支座134)来选择撞击杆104和拉伸杆106之间接触的时机(即，“接触时机”)，其中第一长度比第二长度长。在该实施方式中，第一波压力波穿过拉伸杆106并在第二波穿过撞击杆104之前进入撞击杆104，因为撞击杆104中的第二波具有更长的行进距离。在第二波到达撞击杆104的第二端之前，撞击杆104和拉伸杆106分离以形成间隙900。

[0061] 在另一个实施方式中，撞击杆104可以由第一材料制造，并且拉伸杆106可以由第二材料制造，其中第一材料以比第二材料更慢的速率或更慢的速度传播压力波。因此，在该实施方式中，撞击杆104和拉伸杆106可以具有相同的长度，且接触时机由形成杆的材料控制。在该实施方式中，撞击杆104可以由黄铜形成，而拉伸杆106由钢形成，其中钢中的波速大约为黄铜的1.7倍。因此，接触时机本身可以与上述的相似，使得当两个杆104、106分离并且出现间隙900时，第一和第二压力波被捕获在撞击杆104内。在任何情况下，选择材料使得撞击杆104和拉伸杆106在冲击时不变形，或者使得由变形产生的样品600的任何测量误差在可以接受的偏差内。

[0062] 图10是描绘根据本教导的实施方式的用于测试或测量测试样品的示例性方法1000的流程图。应当理解，所描述的方法是示例性方法。当实施时，根据本教导的方法可以包括比描述和/或描绘的那些更少的或另外的处理阶段，并且所描述的处理阶段可以与

本文所描述的不同的顺序来实施。此外，方法1000可以通过图1-9、11和12的装置的一个或多个部分的操作来进行，因此通过对其参考进行描述。然而，应当理解，除非另有明确说明，方法1000不限于任何特定结构。

[0063] 在一个实施方式中，可以制备一个或多个测试样品用于如1002所示的测量。测试样品可以是弹性材料，例如硅酮或其它聚合物，或者测试样品可以是固体如陶瓷、金属、金属合金、天然或合成复合材料等。在一个实施方式中，可以例如通过将液体或凝胶分配为均匀或不均匀的厚度来制备测试材料的片。可以使用热处理、紫外光或另外合适的方法将测试材料固化。可以将测试材料成型、模制、切割等成为期望的形状用于测试。例如，可以将测试材料的片切成多个测试样品，如多个矩形条。在一个实施方式中，可以将固体材料例如压制或冲压成片，或者拉制成线用于测试。测试样品可以包括材料的单层，或一种或多种材料的两层或更多层。

[0064] 在一个实施方式中，可以通过形成一个或多个测试材料的矩形条来制备测试样品。例如，图11是试样安装组件108的一部分的分解放大截面图，并描绘了测试样品1100。图11的截面图是通过测试样品1100的宽度的截面，并且测试样品1100可以部分或完全地围绕静止试样支座132和可移动试样支座134的周长延伸。测试样品1100可以包含测试材料1102以及支撑材料如环氧树脂、另一种合成或天然粘合剂，或粘附到测试材料1102的两个或更多个边缘的其它支撑材料，以提供附接条1104。附接条1104对测试材料1102的拉伸粘附应超过在测试或测量期间测试材料1102不能防止附接条1104与测试材料1102分离时的拉伸应力。此外，附接条1104的拉伸强度应超过测试材料1102的拉伸强度以防止在测试材料1102失效之前附接条1104的失效。在一个实施方式中，可以将附接条1104调整尺寸并配置为适配在形成在静止试样支座132和可移动试样支座134内并围绕二者的周长形成的测试样品凹槽1106之内。从而静止试样支座132接收测试样品1100的第一部分，并在测试或测量期间将测试样品的第一部分保持在固定位置。此外，可移动试样支座134从而接收测试样品1100的第二部分并在测试样品1100的测试或测量期间移动远离静止试样支座132。在一个实施方式中，测试样品1100的制备可以包括用斑纹图样1108涂覆测试材料1102以用于例如数字图像相关。斑纹图样1108可以包括例如，反光聚合物、金属薄片如银薄片或另一种反光材料。

[0065] 如1004所示，将测试样品安装到试样安装组件。这可以包括例如，将附接条1104布置在图12所示的测试样品凹槽1106内。可以使用一个或多个紧固件1200如一个或多个粘合剂、胶带条、环氧树脂或其它紧固件1200将测试样品1100附接到试样安装组件108。如图12所示，测试材料1102跨越由静止试样支座132和可移动试样支座134中的一种或两种形成的凹部604，使得测试材料1102的至少一部分跨越凹部604并且物理上不受静止试样支座132和可移动试样支座134支撑。上面描绘和描述的试样安装组件108仅仅是安装组件的一种设计，并且可以设想其它设计。

[0066] 在一个实施方式中，一种方法可以包括将测试样品附接到远离装置100的其余部分的位置处的试样安装组件(或子组件)，然后可以将试样安装组件随后附接到装置100的其余部分，如1006所示。

[0067] 接下来，可以将驱动组件114从静止或停止位置移动到待发或预备位置，如1008所示。在图2的装置100中，这可以包括用来自气体源130的气体填充气体活塞128以延伸臂

152,从而将板122移动到抵靠电磁体124的位置。当将来自电源126的电力接合时,使用磁力将板122保持抵靠电磁体124,这将驱动组件114包括弹簧118保持在预备位置。以上描绘和描述的驱动组件114仅仅是一种可能的驱动组件,并且设想其它电气、机械、机电、气动和化学驱动组件。

[0068] 在将驱动组件114放置在预备位置之后,将驱动组件114释放或触发以启动测试或测量。在图2的装置中,例如,可以从电磁体124中去除电力,从而释放板122和弹簧118。从而驱动组件114使用由弹簧118施加的力推动拉伸杆106朝向撞击杆104,如1012所示。撞击杆104延伸穿过试样支座支架136中的孔400和静止试样支座132中的孔402以撞击可移动试样支座134的暴露面404。这导致静止试样支座132和可移动试样支座134的物理分离,并且使用试样安装组件的运动在测试样品上施加拉伸应力,如1014所示。在拉伸应力期间,可以使用例如高速摄像机140、加速度计142或另外的测量技术来测量拉伸应力的效果,如1016所示。在一个实施方式中,来自高速摄像机140的图像可以捕获试样600,且特别是斑纹图样1108。可以使用数字图像相关(DIC)计算试样600内的应变。例如,可以使用粒子图像测速(PIV)技术对高速视频帧进行后处理,以允许跟踪例如斑纹图样1108和计算样品600的应变。

[0069] 因此,本教导的实施方式可以包括用于测量延性材料、弹性材料或其它材料的动态应力/应变响应的装置或设备。当测量动态强度时,恒定速率负载是获得精确测试或测量结果的重要因素。与常规装置如具有相对短的撞击杆、传动杆和接收杆的分离式霍普金森压杆相反,根据本教导的装置可以仅包括撞击杆和拉伸杆。在一个实施方式中,例如通过形成具有比拉伸杆更长的长度的撞击杆或通过形成以比撞击杆更慢的速率传播压力波的撞击杆,压力波需要比拉伸杆更长的时间穿过撞击杆。因此,在撞击杆与拉伸杆的撞击后,两个杆保持接触足够长的时间,以使压力波反射离开拉伸杆的远端并返回到撞击杆中。此时,在波处于撞击杆中时,杆分离,使拉伸杆具有平滑的向前运动直到试样失效。伺服液压测试框架在低应变速率下工作良好,但不能提供高应变速率负载。在本教导的一个实施方式中,装置100可以提供大于2应变/秒的应变率负载,例如在约100至约2500应变/秒的范围内。虽然分离式霍普金森压杆对脆性材料工作良好,但其不能在较大的距离上提供恒定的应变速率,并且至少出于该原因,不适用于测试高延性材料至失效点。

[0070] 此外,本公开包括根据以下条款的实施方式:

[0071] 条款1.一种用于测量材料的动态拉伸应力/应变响应的装置,包括:

[0072] 撞击杆;

[0073] 拉伸杆;

[0074] 驱动组件,配置为朝向拉伸杆推动撞击杆;

[0075] 静止试样支座,配置为接收测试样品的第一部分并将测试样品的第一部分保持在固定位置;和

[0076] 可移动试样支座,配置为接收测试样品的第二部分并在测试样品的测试或测量期间移动远离静止试样支座。

[0077] 条款2.条款1的装置,其中撞击杆与拉伸杆对准,并且拉伸杆配置为由于撞击杆与可移动试样支座的碰撞而移动远离静止试样支座。

[0078] 条款3.条款2的装置,其中:

- [0079] 撞击杆配置为由于撞击杆与可移动试样支座的碰撞产生通过拉伸杆的压力波；  
[0080] 配置撞击杆和拉伸杆使得压力波从拉伸杆的第一端穿至拉伸杆的第二端并返回到拉伸杆的第一端；  
[0081] 配置撞击杆和拉伸杆使得在撞击杆与拉伸杆的物理接触期间压力波从拉伸杆的第一端穿入撞击杆中；并且  
[0082] 配置撞击杆和拉伸杆以在压力波从拉伸杆的第一端穿入撞击杆中之后彼此物理分离，从而在测试样品的测试或测量期间将压力波捕获在撞击杆内。
- [0083] 条款4. 条款3的装置，其中：  
[0084] 撞击杆由第一材料形成；  
[0085] 拉伸杆由第一材料形成；  
[0086] 撞击杆具有第一长度；  
[0087] 拉伸杆具有第二长度；且  
[0088] 第一长度比第二长度长。  
[0089] 条款5. 条款3的装置，其中：  
[0090] 撞击杆由第一材料形成；  
[0091] 拉伸杆由不同于第一材料的第二材料形成；且  
[0092] 配置第一材料和第二材料使得压力波以比通过第二材料更慢的速率通过第一材料。  
[0093] 条款6. 条款2的装置，进一步包括接收静止试样支座的试样支座支架。  
[0094] 条款7. 条款6的装置，其中试样支座支架包括穿过其中的第一孔，并且静止试样支座包括穿过其中的第二孔，并且撞击杆配置为在撞击可移动试样支座之前延伸穿过第一孔和第二孔。  
[0095] 条款8. 条款7的装置，其中：  
[0096] 驱动组件包括位于通道组件内的弹簧；并且  
[0097] 弹簧配置为朝向拉伸杆推动撞击杆。  
[0098] 条款9. 条款1的装置，其中：  
[0099] 静止试样支座包括其中的第一凹槽，配置为接收测试样品的第一部分；  
[0100] 可移动试样支座包括其中的第二凹槽，配置为接收测试样品的第二部分；且  
[0101] 静止试样支座和可移动试样支座中的至少一个包括在其中的凹部，配置为使得测试样品在测试样品的测试或测量期间跨越凹部。  
[0102] 条款10. 条款1的装置，进一步包括释放组件，配置为将撞击杆保持在预备位置并且释放撞击杆以启动测试或测量。  
[0103] 条款11. 条款10的装置，其中：  
[0104] 释放组件包括与电源电连接的电磁体；  
[0105] 释放组件配置为在电磁铁被供电时将撞击杆保持在预备位置；并且  
[0106] 释放组件配置为在从电磁体中去除电力时开始测试或测量。  
[0107] 条款12. 一种用于测试或测量测试样品的方法，包括：  
[0108] 朝向拉伸杆推动撞击杆；  
[0109] 用撞击杆撞击可移动试样支座；

[0110] 由于撞击杆撞击可移动试样支座,使可移动试样支座移动远离静止试样支座;并且

[0111] 由于可移动试样支座移动远离静止试样支座,将动态拉伸应力和/或应变施加到附接至静止试样支座和可移动试样支座的测试样品。

[0112] 条款13.条款12的方法,进一步包括:

[0113] 由于撞击杆撞击可移动试样支座而在拉伸杆内产生压力波,其中压力波从拉伸杆的第一端穿至拉伸杆的第二端并返回到拉伸杆的第一端;

[0114] 在撞击杆与可移动试样支座物理接触期间,压力波从可移动试样支座传递到撞击杆;并且

[0115] 在压力波从可移动试样支座传递之后,将撞击杆与可移动试样支座物理分离以在其间形成间隙,从而从拉伸杆移除压力波,并将压力波捕获在撞击杆内。

[0116] 条款14.条款13的方法,进一步包括使用驱动组件将撞击杆朝向拉伸杆推动。

[0117] 条款15.条款14的方法,进一步包括在可移动试样支座与撞击杆的撞击之前,将撞击杆延伸到通过静止试样支座的孔中。

[0118] 条款16.条款12的方法,进一步包括使用包括以下的方法来制备测试样品:

[0119] 形成测试材料的矩形条;

[0120] 将支撑材料粘附到测试材料的矩形条的两个或更多个边缘以提供第一附接条和第二附接条;

[0121] 将第一附接条放置在静止试样支座中的第一凹槽中;

[0122] 将第二附接条放置在可移动试样支座中的第二凹槽中;以及

[0123] 将测试材料置于由静止试样支座和可移动试样支座中的至少一个形成的凹部上,使得测试材料跨越凹部。

[0124] 条款17.条款16的方法,进一步包括用斑纹图样涂覆测试材料。

[0125] 条款18.条款12的方法,其中对测试样品施加动态拉伸应力和/或应变对测试样品施加100至2500应变/秒的动态拉伸应变。

[0126] 尽管阐述本教导的较宽范围的数值范围和参数是近似值,但尽可能精确地报告具体实施例中阐述的数值。然而,任何数值固有地包含必然地由它们各自的测试测量中发现的标准偏差所致的某些误差。此外,本文公开的所有范围应被理解为包括其中的任何和所有子范围。例如,“小于10”的范围可以包括在最小值零和最大值10之间(并且包括最小值零和最大值10)的任何和全部子范围,即具有等于或大于0的最小值和等于或小于10的最大值的任何和所有子范围,例如1至5。在某些情况下,对于参数所述的数值可以取负值。在这种情况下,表述为“小于10”的范围的示例性值可以采取负值,例如-1、-2、-3、-10、-20、-30等。

[0127] 虽然已相对于一个或多个实施方式说明了本教导,但在不脱离所附权利要求的精神和范围的情况下,可以对例示的实施例进行改变和/或修改。例如,应当理解,虽然该方法被描述为一系列动作或事件,但本教导不限于这种动作或事件的顺序。一些动作可以以不同的顺序发生,和/或与除了本文所描述的那些之外的其它动作或事件同时发生。此外,不是所有的处理阶段可以需要实施根据本教导的一个或多个方面或实施方式的方法。应当理解,可以添加结构部件和/或处理阶段,或者可以去除或修改现有的结构部件和/或处理阶段。此外,本文描述的一个或多个动作可以在一个或多个单独动作和/或阶段中进行。此外,

在术语“包括(including)”、“包括/includes)”、“具有(having)”、“具有(has)”、“带有(with)”或其变体在详细描述和权利要求中使用的程度上,这些术语旨在以与术语“包含(comprising)”类似的方式为包含性的。术语“至少一个”用于表示可以选择列出的项目中的一个或多个。此外,在本文的讨论和权利要求中,关于两种材料一个在另一个“上”而使用的术语“之上”意指材料之间的至少一些接触,而“上方”意指材料相互邻近,但可能具有一种或多种另外的中间材料使得接触是可能的但不是必需的。如本文所用的,“上”或“上方”都不表示任何方向性。术语“保形”描述了其中下层材料的角度由保形材料保持的涂层材料。术语“约”表示列出的值可能稍微改变,只要改变不会导致与示出的实施方式的方法或结构的不一致。最后,“示例性”表示描述用作实例,而不是不是其是理想的。通过考虑本文的公开内容的说明书和实践,本教导的其它实施方式对于本领域技术人员将是显而易见的。说明书和实施例旨在仅被认为是示例性的,而本教导的真实范围和精神由所附权利要求书表示。

[0128] 基于与工件的常规平面或工作表面平行的平面来定义在本申请中使用的相对位置的术语,而与工件的取向无关。如本申请所用,术语“水平”或“横向”被定义为与工件的常规平面或工作表面平行的平面,而与工件的取向无关。术语“垂直”是指垂直于水平的方向。相对于在工件的表面上的常规平面或工作表面来定义术语如“上”、“侧”(如在“侧壁”中)、“高于”、“低于”、“上方”、“顶部”和“下方”,而与工件的取向无关。

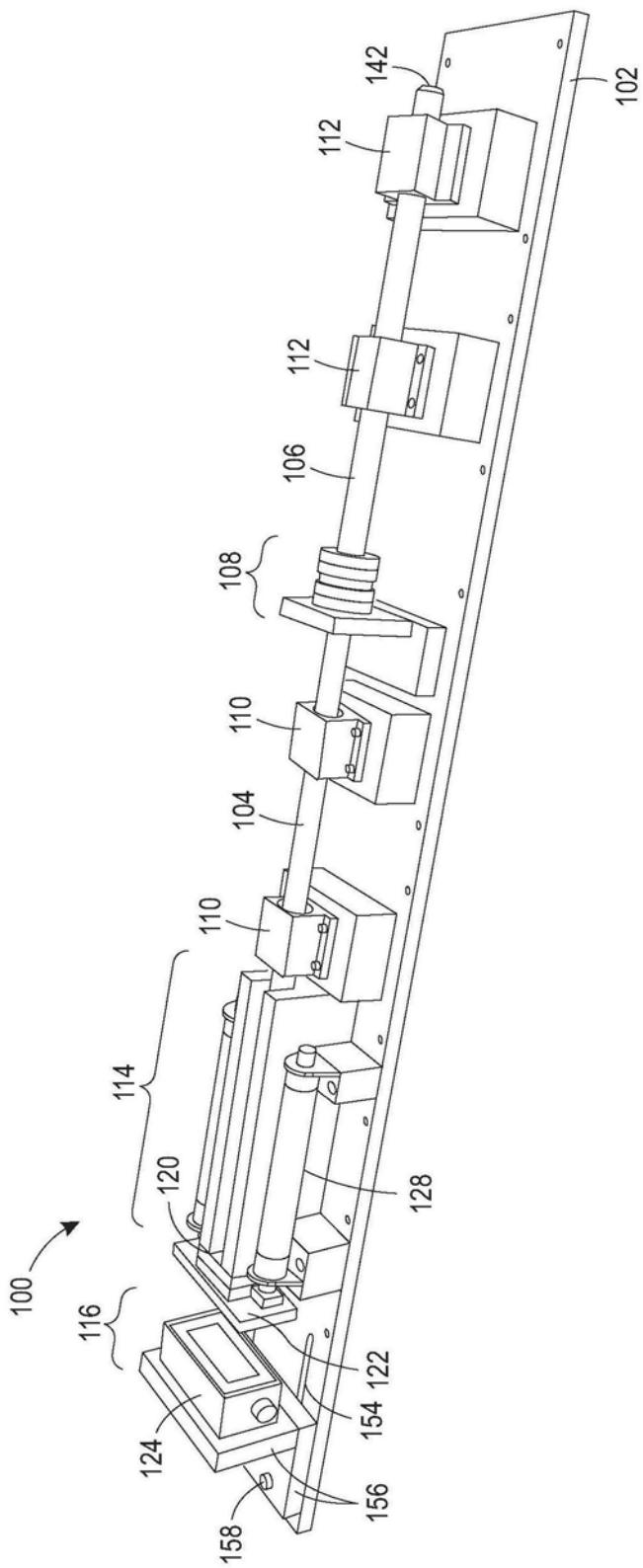


图1

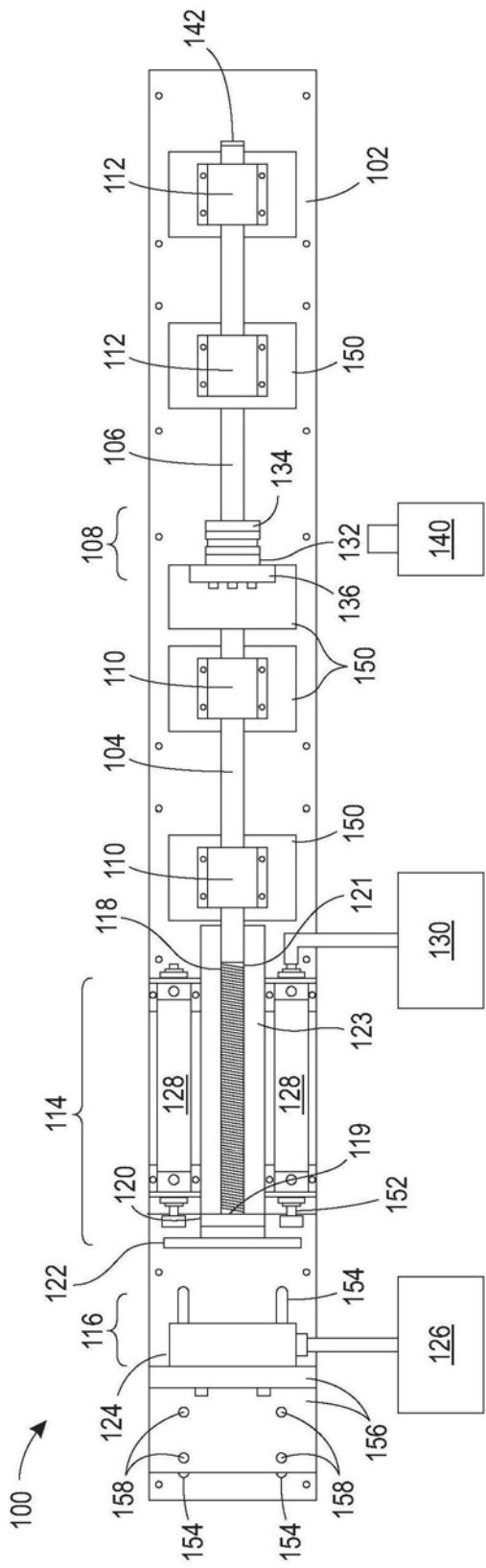


图2

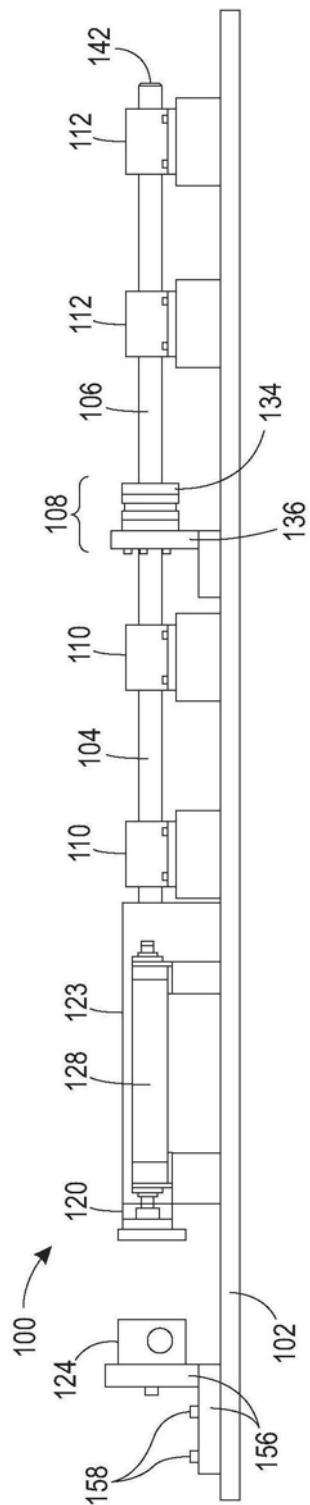


图3

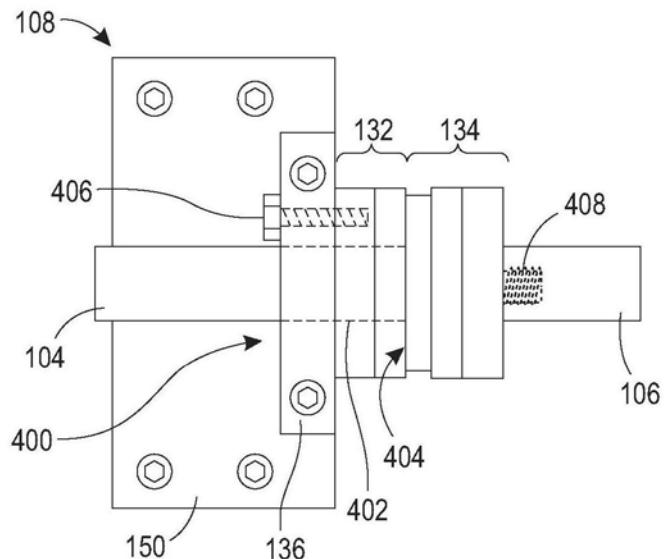


图4

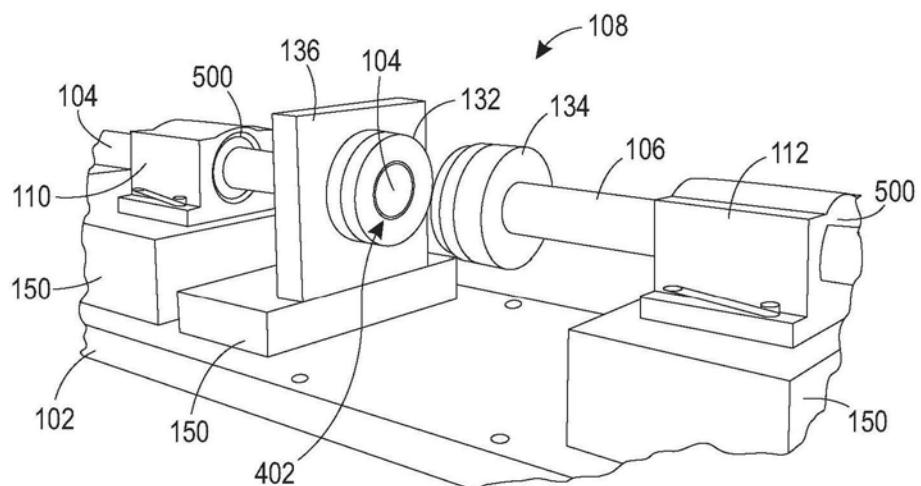


图5

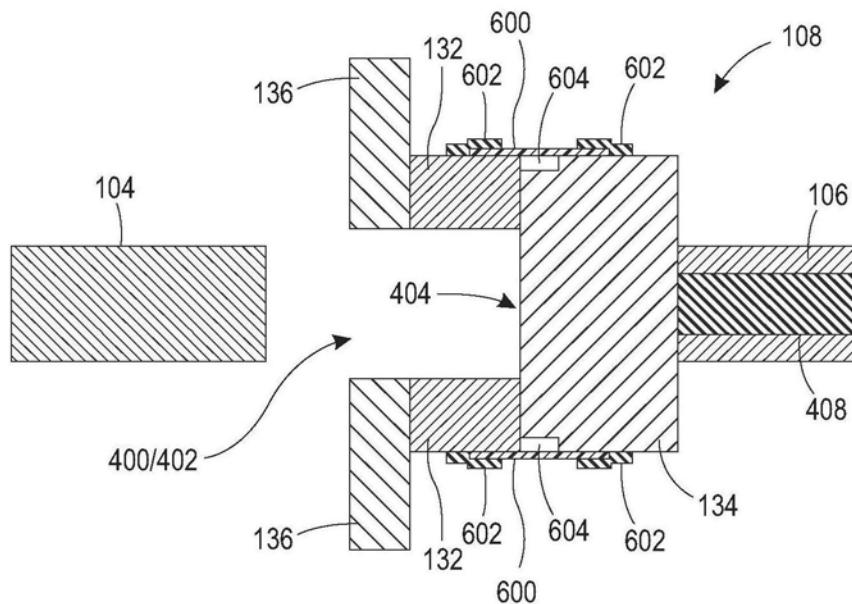


图6

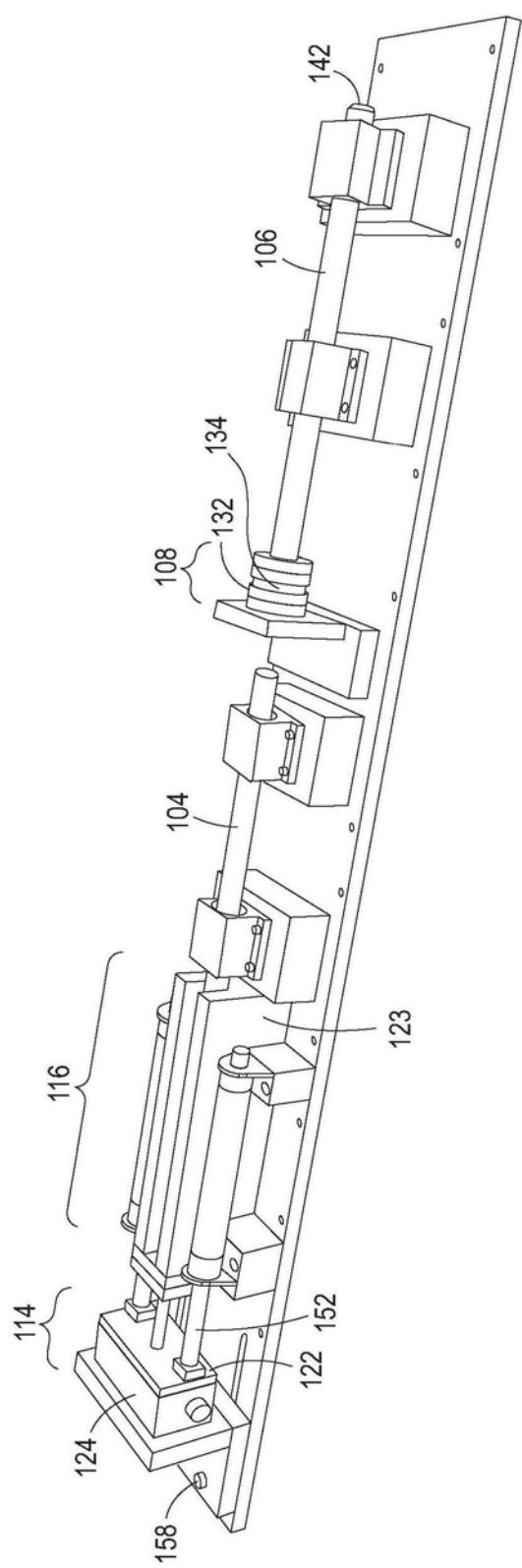


图7

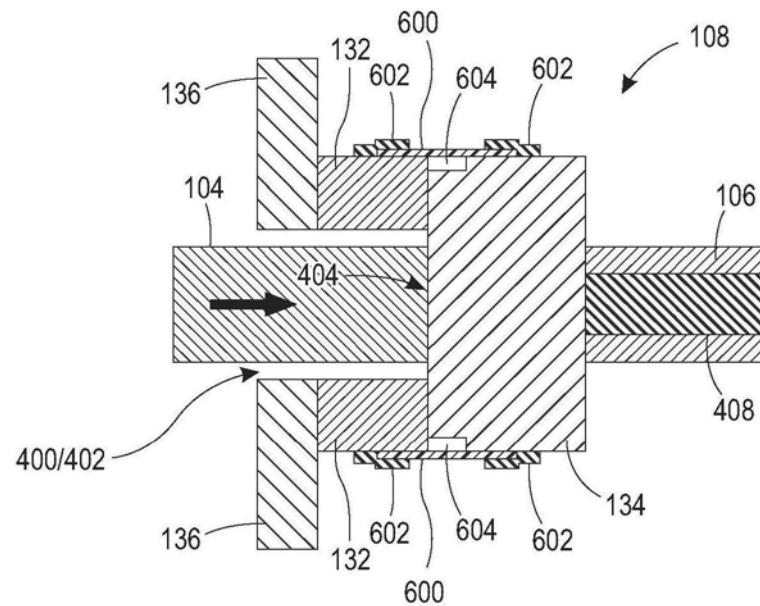


图8

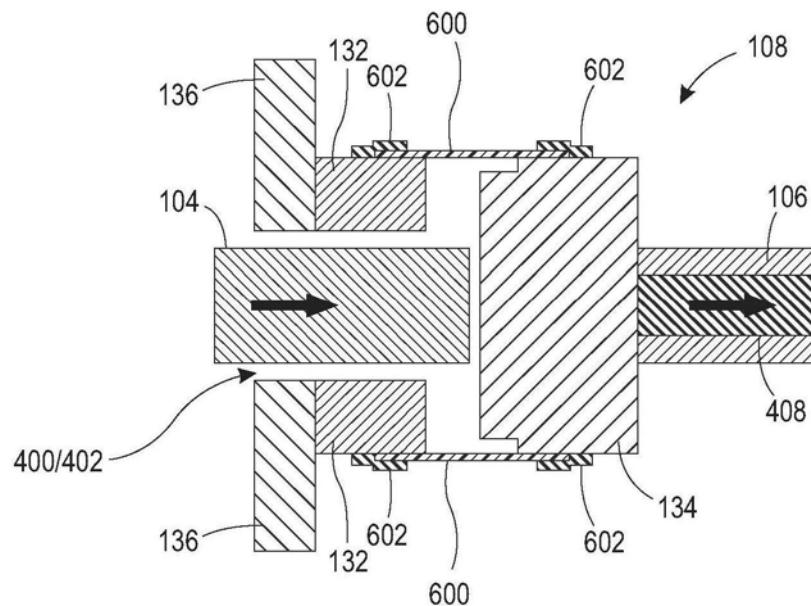


图9

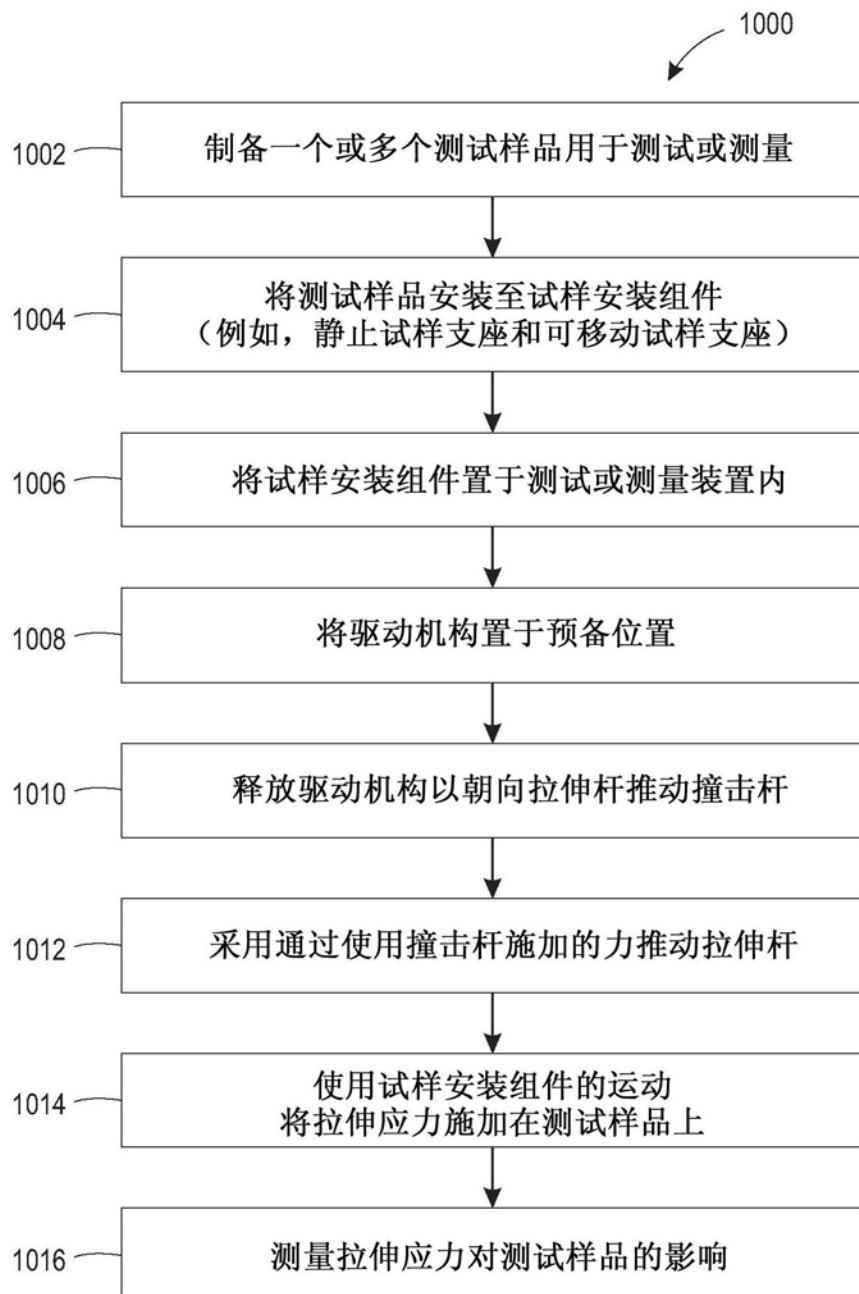


图10

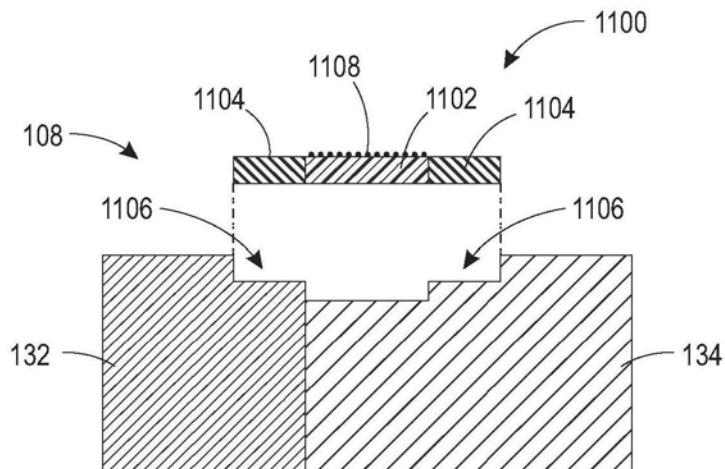


图11

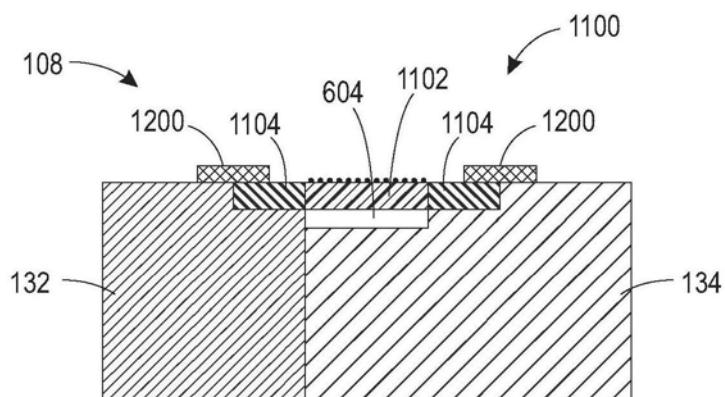


图12