



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104321540 B

(45)授权公告日 2016.11.02

(21)申请号 201380026238.5

(22)申请日 2013.04.04

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104321540 A

(43)申请公布日 2015.01.28

(30)优先权数据

61/620,326 2012.04.04 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.11.19

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/CA2013/050272 2013.04.04

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/149345 EN 2013.10.10

(73)专利权人 全面熔合有限公司

地址 加拿大不列颠哥伦比亚省

(72)发明人 维多利亚·苏波尼斯基

桑德拉·朱斯蒂娜·巴尔斯基

J·迈克尔·G·拉伯齐

道格拉斯·哈维·理查森

彼得·莱谢克·科斯特卡

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 王艳江 魏金霞

(51)Int.Cl.

F15D 1/08(2006.01)

H05H 1/00(2006.01)

H05H 1/24(2006.01)

(56)对比文件

US 4317068 A, 1982.02.23, 全文.

审查员 赵鹏

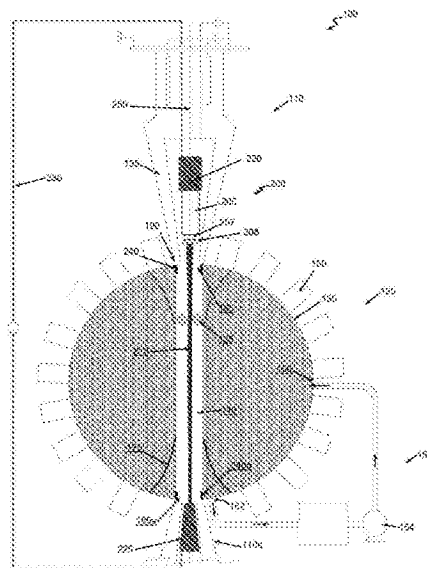
权利要求书3页 说明书14页 附图8页

(54)发明名称

射流控制设备及方法

(57)摘要

描述了一种射流控制设备的示例。该射流控制设备可以包括射流偏转构件,该射流偏转构件构造成拦截自射流形成位置出现的高速射流和/或与该高速射流相撞。射流偏转构件与射流的相互作用可以促使高速射流散布成具有许多流动方向的多股射流,该许多流动方向相对于高速射流的初始方向可能是偏斜的。在一种实施方式中,偏转构件可以包括通过将流体射出出口喷嘴而形成的液体导引部,使得该液体导引部远离出口喷嘴纵向地延伸。在另一实施方式中,偏转构件可以包括沿高速射流出现的方向通过出口注射的固体颗粒的阵列,此阵列构造为与出现的射流相撞从而使该射流的初始方向偏转。



1. 一种用于扰乱或偏转流体射流以避免所述流体射流到达选定位置的射流控制设备，所述设备包括：

挤出机，所述挤出机用于将固态射流偏转物材料注射到包含射流形成位置的空间中，所述流体射流在所述射流形成位置处形成，所述挤出机与射流偏转物材料源相连通，并且具有指向所述射流形成位置的排出端部以及具有口模和柱塞，所述挤出机构造成将所述射流偏转物材料以长形杆的形式挤出所述排出端部，所述长形杆具有从所述挤出机的所述排出端部延伸至所述射流形成位置的长度，以使得在所述射流形成位置处形成的所述流体射流被扰乱或偏转而远离所述选定位置。

2. 一种等离子体压缩系统，所述系统包括：

等离子体发生器，所述等离子体发生器构造成产生等离子体，并且具有用于排出所产生的等离子体的排出出口；

等离子体压缩室，所述等离子体压缩室具有限定所述等离子体压缩室的内腔的外壁并且具有开口，所述等离子体压缩室的所述内腔以液体介质部分地充填，所述等离子体发生器的所述排出出口与所述等离子体压缩室的所述内腔通过所述开口流体连通，使得所产生的等离子体能够排入所述等离子体压缩室中；

压力波发生器，所述压力波发生器包括布置在所述等离子体压缩室周围的多个活塞，所述活塞构造成产生进入所述液体介质的会聚压力波；

腔生成装置，所述腔生成装置用于产生进入所述液体介质的长形空腔，所述长形空腔具有第一端部和第二端部，所述第一端部与所述等离子体发生器的所述排出出口至少部分地对准，使得由所述等离子体发生器排出的所述等离子体进入所述长形空腔，并且其中，到达腔的界面的所述会聚压力波使所述长形空腔发生塌缩从而包围所述等离子体；以及

射流控制设备，所述射流控制设备包括：用于注射射流偏转物材料的装置，用于注射的所述装置与射流偏转物材料源相连通，并且具有指向所述长形空腔内的射流形成位置的排出端部，用于注射的所述装置构造成将所述射流偏转物材料注射到所述长形空腔中，使得形成于所述射流形成位置处的流体射流被扰乱或偏转而远离所述等离子体发生器。

3. 根据权利要求2所述的等离子体压缩系统，其中，所述射流偏转物材料为液态，用于注射的所述装置是包括液体导管的液体注射器，所述液体导管带有位于所述排出端部处的注射喷嘴。

4. 根据权利要求3所述的等离子体压缩系统，其中，用于注射的所述装置还包括用于控制离开所述喷嘴的所述液体射流偏转物的流动的控制阀。

5. 根据权利要求3所述的等离子体压缩系统，其中，所述注射器还包括增压装置，所述增压装置联接至所述导管并且构造成供应足够的压力，以将所述液体射流偏转物材料的连续流指向所述射流形成位置，所述流具有基本上一致的半径。

6. 根据权利要求5所述的等离子体压缩系统，其中，所述增压装置选自泵和加压气源组成的组。

7. 根据权利要求2所述的等离子体压缩系统，其中，所述射流偏转物为固态，所述用于注射的装置是包括口模和柱塞的挤出机，所述挤出机构造成将所述射流偏转物材料以长形杆的形式挤出所述挤出机。

8. 根据权利要求7所述的等离子体压缩系统，其中，所述挤出机还构造成将所述射流偏

转物材料以具有如下长度的长形杆的形式挤出,所述长度至少从所述挤出机的所述排出端部延伸至所述射流形成位置。

9.根据权利要求2所述的等离子体压缩系统,其中,所述射流偏转物为固态的离散颗粒形式,用于注射的所述装置是颗粒驱动器,所述颗粒驱动器具有豁口和可移动的门,所述可移动的门用于控制至少一个固态射流偏转物颗粒在所述射流形成位置处的注射。

10.根据权利要求9所述的等离子体压缩系统,其中,所述颗粒驱动器选自轨道枪和压缩气枪组成的组。

11.根据权利要求9所述的等离子体压缩系统,其中,每个颗粒均具有凹形的面部表面。

12.根据权利要求3或7所述的等离子体压缩系统,其中,所述射流偏转物材料的长形固体杆或连续液体流具有的尺寸使得所述长形空腔的塌缩在所述长形固体杆或连续液体流的表面处发生。

13.根据权利要求2所述的等离子体压缩系统,还包括布置在所述等离子体压缩室的所述开口附近的屏障,所述屏障具有环形构型,以便阻止液体介质的团迹从所述等离子体压缩室漏出而进入所述等离子体发生器。

14.根据权利要求13所述的等离子体压缩系统,其中,所述屏障是向下伸入所述等离子体压缩室的所述内腔中的围绕所述开口的壁。

15.根据权利要求13所述的等离子体压缩系统,其中,所述屏障是形成在所述开口的边缘处并且朝向所述长形空腔的中央径向伸出的唇形收缩部。

16.根据权利要求2所述的等离子体压缩系统,其中,所述射流偏转物材料具有与所述液体介质相同的成分,所述系统还包括与所述等离子体压缩室流体连通的液体介质收集罐以及将所述收集罐与所述射流偏转物材料源流体联接的流体导管。

17.根据权利要求9所述的等离子体压缩系统,还包括控制器,所述控制器编程为控制至少一个固态射流偏转物颗粒向所述长形空腔内的注射的定时,使得在所述长形空腔塌缩时所述颗粒在所述塌缩点附近。

18.根据权利要求3所述的等离子体压缩系统,还包括控制器,所述控制器编程为控制所述射流偏转物材料的连续液体流向所述长形空腔内的注射的定时,使得所述长形空腔在所述连续液体流的表面处塌缩。

19.一种用于保护等离子体压缩系统的等离子体发生器免受在所述等离子体压缩系统的压缩室内形成流体射流的影响的方法,所述方法包括:

将射流偏转物材料指向形成所述流体射流的射流形成位置,使得所述流体射流被扰乱或偏转而远离所述等离子体发生器;

其中,所述压缩室包含液体介质,在所述液体介质中产生有长形空腔,等离子体通过所述等离子体发生器注射到所述长形空腔内,所述射流偏转物材料指向所述长形空腔。

20.根据权利要求19所述的方法,其中,产生进入所述液体介质的会聚压力波,从而在所述会聚压力波到达所述长形空腔的界面时引起所述界面塌缩,以及注射所述射流偏转物材料,使得所述长形空腔在所述射流偏转物材料的表面处塌缩。

21.根据权利要求19所述的方法,还包括在所述压缩室内维持比在包含所述射流偏转物材料的射流控制设备处的压力低的压力,使得所述射流偏转物材料被吸入所述压缩室并且指向所述射流形成位置。

22. 根据权利要求19所述的方法, 其中, 通过在压力作用下将所述射流偏转物材料注射至所述长形空腔中, 使所述射流偏转物材料指向所述射流形成位置。

23. 根据权利要求19所述的方法, 其中, 包含所述射流偏转物材料的射流控制设备位于所述压缩室的上方并且与所述压缩室相连通, 使得所述射流偏转物材料通过重力指向所述射流形成位置。

24. 根据权利要求19所述的方法, 其中, 所述射流偏转物材料为液态, 并且以足以扰乱或偏转所述流体射流而使所述流体射流远离所述等离子体发生器的质量流率指向所述射流形成位置。

25. 根据权利要求19所述的方法, 其中, 所述射流偏转物材料为固态的长形杆形式, 并且指向所述射流形成位置以便所述长形杆从射流控制设备延伸至所述射流形成位置, 并且所述射流偏转器材料具有的尺寸足以扰乱或偏转所述流体射流而使所述流体射流远离所述等离子体发生器。

26. 根据权利要求19所述的方法, 其中, 所述射流偏转物材料为固态的至少一个颗粒的形式, 并且所述射流偏转物材料以足以扰乱或偏转所述流体射流而使所述流体射流远离所述等离子体发生器的质量流率指向所述射流形成位置。

## 射流控制设备及方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请基于美国法典第35卷第119(e)节(35U.S.C.§119(e))要求2012年4月4日提交的名为“JET CONTROL DEVICES AND METHODS(射流控制设备及方法)”的美国临时专利申请No.61/620,326的权益,该申请的整体内容通过引证方式结合于此。

### 技术领域

[0003] 本公开总体上涉及流体射流控制设备及其使用方法,更具体地,涉及用于消除、减少和/或偏转从射流形成位置出来的高速流体射流的流动的流体射流控制设备。

[0004] 射流控制设备与方法的示例的详细描述

[0005] 概要

[0006] 在将流体用作工作介质的系统中,会产生高速流体射流。高速流体射流的产生可能带来各种缺点,例如工作介质的能量、质量或动量的损失。此外,流体射流可以从受控空间中漏出,从而引起设备或周围系统的损坏。例如,在等离子体压缩系统中,高速液体射流可以由于包封和压缩等离子体的腔的塌缩产生。这样的高速液体射流可以从等离子体压缩系统漏出,并且可以进入邻近的系统,从而引起对这种系统的设备或性能的损坏。

[0007] 因此,需要控制高速流体射流的强度和/或方向,使得流体射流不能到达选定位置以及在那个位置处引起破坏。

[0008] 综述

[0009] 根据本发明的一个方面,提供一种用于扰乱或偏转流体射流以避免其到达选定位置的射流控制设备。该设备包括用于将射流偏转物材料注射到包含射流形成位置的空间中的装置,其中,流体射流在射流形成位置处形成。用于注射的装置与射流偏转物材料源相连通,并且具有指向射流形成位置的排出端部,该用于注射的装置构造成以使得在射流形成位置处形成的流体射流被扰乱或偏转而远离选定位置的方式注射射流偏转物材料。

[0010] 射流偏转物材料可以是液态的,在该情况下,用于注射的装置是包括液体导管的液体注射器,该液体导管带有位于排出端部处的注射喷嘴。注射装置还可以包括用于控制离开喷嘴的液体射流偏转物的流动的控制阀和/或联接至导管并且构造成供应足够的压力以使液体射流偏转物材料的连续流指向射流形成位置的增压装置,其中,该流具有基本上一致的半径。该增压装置可以是泵或加压气源。

[0011] 替代性地,射流偏转物可以是固态的,在这种情况下,用于注射的装置可以是包括口模和柱塞的挤出机,该柱塞构造成将射流偏转物材料以长形杆的形式挤出该挤出机。挤出机还可以构造成将射流偏转物材料以具有如下长度的长形杆的形式挤出,该长度至少从挤出机的排出端部连续地延伸至射流形成位置。

[0012] 取代固态长形杆,射流偏转物还可以是固态的离散颗粒形式,在该情况下,用于注射的装置是颗粒驱动器,该颗粒驱动器具有豁口和可移动的门,所述可移动的门用于控制固态射流偏转物颗粒在射流形成位置处的注射。颗粒驱动器可以是轨道枪或压缩气枪。每个颗粒均可以具有凹形的面部表面。

[0013] 根据本发明的另一方面,提供一种包括等离子体发生器、等离子体压缩室、压力波发生器、腔生成装置以及射流控制设备的等离子体压缩系统。等离子体发生器构造成产生等离子体,并且其具有用于排出所产生的等离子体的排出出口。等离子体压缩室具有开口和限定室的内腔的外壁;室的内腔以液体介质部分地充填,等离子体发生器的排出出口与压缩室的内腔通过开口流体连通,使得所产生的等离子体可以被排入等离子体压缩室中。压力波发生器包括布置在室周围的多个活塞,其中,活塞构造成产生进入液体介质的会聚压力波。腔生成装置构造成在液体介质中产生长形空腔;该腔具有第一端部和第二端部,其中,第一端部与等离子体发生器的排出出口至少部分地对准,使得由等离子体发生器排出的等离子体进入长形腔。当会聚压力波到达腔的界面时,腔会塌缩从而包封等离子体。射流控制设备包括与射流偏转物材料源相连通的用于注射射流偏转物材料的装置,此装置具有在腔内的指向射流形成位置的排出端部。用于注射的装置构造成将射流偏转物材料注射到腔中,使得形成于射流形成位置处的流体射流被扰乱或偏转而远离等离子体发生器。

[0014] 射流偏转物材料可以是液态的,在这种情况下,用于注射的装置是包括液体导管的液体注射器,该液体导管具有在排出端部处的注射喷嘴。液体注射器还可以包括用于控制离开喷嘴的液体射流偏转物的流动的控制阀和/或联接至导管的增压装置,此增压装置构造成供应足够的压力以使具有基本上一致半径的液体射流偏转物材料的连续流指向射流形成位置。该增压装置可以是泵或加压气源。

[0015] 替代性地,射流偏转物可以是固态的,在该情况下,用于注射的装置可以是包括口模和柱塞的挤出机,该柱塞构造成将射流偏转物材料以长形杆的形式从挤出机挤出。挤出机还可以构造成将射流偏转物材料以具有如下长度的长形杆的形式挤出,该长度至少从挤出机的排出端部延伸至射流形成位置。

[0016] 取代固态长形杆,射流偏转物还可以呈固态的离散颗粒形式,在该情况下,用于注射的装置是具有豁口和可移动的门的颗粒驱动器,可移动的门用于控制在射流形成位置处的至少一个固态射流偏转物颗粒的注射。该颗粒驱动器可以是轨道枪或压缩气枪。

[0017] 射流偏转物材料的长形固体杆或连续液体流可以具有促使腔的塌缩发生在长形固体杆或连续液体流的表面处的尺寸。

[0018] 等离子体压缩系统还可以包括布置在等离子体压缩室的开口的附近的屏障,该屏障具有环形构型,以便阻止液体介质的团迹从等离子体压缩室漏出并进入等离子体发生器。更具体地,屏障可以是向下伸入室的内腔中的围绕开口的壁。屏障可以是形成在开口的边缘处并且朝向腔的中央径向伸出的唇形收缩部。

[0019] 射流偏转物材料可以具有与液体介质相同的成分,在该情况下,该系统还包括与室流体连通的液体介质收集罐以及使收集罐与射流偏转物材料源流体联接的流体导管。

[0020] 等离子体压缩系统还可以包括控制器,该控制器编程为控制至少一个固态射流偏转物颗粒向腔内的定时注射,使得在腔塌缩时颗粒靠近塌缩点。替代性地,控制器可以编程为控制射流偏转物材料的连续液体流向腔内的定时注射,使得腔在连续液体流的表面处塌缩。

[0021] 根据本发明的另一方面,提供用于保护等离子体压缩系统的等离子体发生器免受在等离子体压缩系统的压缩室内形成的流体射流的影响的方法,该方法包括:将射流偏转物材料指向形成流体射流的射流形成位置,使得流体射流被扰乱或偏转而远离等离子体发

生器。压缩室可以包含液体介质,在该情况下,腔在液体介质中产生,等离子体通过等离子体发生器被注射到腔内,射流偏转物材料被指引到腔内。在液体介质中可以产生会聚压力波,使得当会聚压力波到达界面时腔的界面的塌缩;在该情况下,注射射流偏转物材料,使得腔在射流偏转物材料的表面处塌缩。

[0022] 该方法可以包括在压缩室内维持比在包含射流偏转物材料的射流控制设备处的压力低的压力,使得射流偏转物材料被吸入压缩室并且指向射流形成位置。替代性地或附加地,通过在压力作用下将射流偏转物材料注射至腔中,可将射流偏转物材料指向射流形成位置。替代性地或附加地,包含射流偏转物材料的射流控制设备可以位于压缩室的上方并且与压缩室相连通,使得通过重力将射流偏转物材料指向射流形成位置。

[0023] 除上述方面和实施方式之外,通过参考附图以及研究下文的详细描述,其他的方面和实施方式将变得显而易见。

[0024] 附图的简要描述

[0025] 附图中的元件的尺寸和相对位置不一定按照比例绘制。例如,各种元件的形状以及角度不是按照比例绘制的,这些元件中的一些是任意扩大与定位的,以提高附图的易读性。

[0026] 图1A是根据一种非限制性实施方式的构造成排出液体射流偏转物的射流控制设备的示意性横截面视图。

[0027] 图1B是根据另一非限制性实施方式的构造成排出固体杆射流偏转物的射流控制设备的示意性横截面视图。

[0028] 图2是安装在等离子体压缩系统中的图1A所示的射流控制设备的实施方式的示意性横截面视图。

[0029] 图3是安装在等离子体压缩系统中的、根据另一非限制性实施方式的构造成排出固体粒化的射流偏转物的射流控制设备的示意性横截面视图。

[0030] 图4是等离子体压缩室的计算模型的纵向横截面视图,其中示出了处于传播的早期阶段的压力波前以及腔的形状的示例。

[0031] 图5是图4所示等离子体压缩室的计算模型的沿水平方向的横截面视图。位于该图底部的图例条示出了单位为帕斯卡的流体压力。

[0032] 图6是等离子体压缩室的计算模型的局部视图,其中示出了围绕室的壁布置的多个活塞的示例以及居中地插入腔内的射流偏转物的示例。

[0033] 图7a是等离子体压缩室的计算模型的局部横截面视图,其中示出了当射流偏转物不存在于涡流腔中时的中央高速液体射流与液体团迹的示例。附图的右上角处的图例条示出了液体与气体的体积分数。

[0034] 图7b是等离子体压缩室的计算模型的局部横截面视图,其中示出了当射流偏转物存在于腔中时的液体射流与液体团迹的示例。

[0035] 图8a是等离子体压缩室的计算模型的局部横截面视图,其中示出了中央高速射流速率的示例。

[0036] 图8b是等离子体压缩室的计算模型的局部横截面视图,其中示出了液体团迹速率的示例。

[0037] 图9a是等离子体压缩室的计算模型的局部横截面视图,其中示出了当射流偏转物

不存在于腔中时的中央高速射流速率的示例。

[0038] 图9b是等离子体压缩室的计算模型的局部横截面视图,其中示出了当射流偏转物存在于腔中时出现射流的速率的示例。

[0039] 具体实施方式的详细描述

[0040] 高速流体射流的形成可以是腔的塌缩过程中的自然的结果,这在过去已经例如被 Enriquez 等人在文章“Collapse of Nonaxisymmetric Cavities”(Phys.Fludes 22(2010) 091104)中观察到,其中,当通过固态体与液体储液器的碰撞形成的气腔由于流体静压而塌缩时,就会产生高速中央液体射流。高速液体射流的形成可能是通用聚变公司(加拿大,博纳比)所构造的等离子体压缩系统的某些技术原型的相关因素。在等离子体压缩系统的一些示例中,腔(例如涡流腔)可以通过使液体介质在等离子体压缩室内旋转而创建。等离子体可以通过等离子体发生器注射到压缩室的涡流腔中。会聚压力波可以由多个气动活塞在液体介质中创建,该多个气动活塞定时冲击等离子体压缩室的外表面。活塞的冲击会产生朝向压缩室的中央行进的会聚压力波。会聚压力波可以使涡流腔塌缩并且可以包封等离子体,从而压缩等离子体。压力波引起的涡流腔的塌缩可以促使中央高速液体射流的形成,该中央高速液体射流可以沿着漩涡的轴线从塌缩点射出。此外,当压力波接近等离子体发生器的喷嘴时,可产生液体介质的“团迹”。如本文所使用的,液体团迹可以包括(但不限于)当压力波前接近发生器的喷嘴时形成的大量的液体。液体团迹的流动可以远慢于中央射流,并且可以滴入等离子体发生器的喷嘴中。液体团迹可以具有团迹(例如,相对无定形量的液体)的形式或可以具有喷雾、一个或多个液滴或微滴等的形式。液体团迹的示例在图7a、图7b和图8b中示出。从塌缩点发射的中央射流与液体介质的团迹可以进入等离子体发生器,从而污染等离子体传播通道或者引起对发生器或用于压缩室或等离子体发生器中的任何诊断系统的任何其他破坏。

[0041] 本文所描述的本发明的实施方式涉及一种流体射流控制设备10,该流体射流控制设备10用于将射流偏转物材料指向流体射流形成位置,从而防止在流体射流形成位置处形成流体射流,或者使流体射流偏转,再或者防止流体射流到达诸如前述等离子体发生器的选定位置。流体射流控制设备包括射流偏转物材料容器和用于在流体射流形成位置处注射射流偏转物材料的装置。射流偏转物材料可以是与流体射流相同或不同的状态以及相同或不同的材料成分。图1A至图1B示出了流体射流控制设备的两种不同的实施方式,图2至图9涉及一种流体射流控制设备的实施方式,其安装在等离子体压缩系统中,以防止在系统压缩室内侧的射流形成位置处形成的液体射流到达系统100的等离子体发生器(即,选定位置)。然而,应理解的是,射流控制设备不仅限于该应用,相反地,该射流控制设备可以用于消除和/或减少需要射流控制的任意系统、设备或发动机中的高速射流,和/或使该高速射流重新定向。

[0042] 在一种实施方式中,参照图1A,射流控制设备10构造成将液态射流偏转物材料(“液体射流偏转物”)12指向从射流形成位置20处出现的流体射流18。射流偏转物材料可以具有与此流体射流相同的材料成分或具有与此流体射流不同的成分,并且流体射流可以是液体或者气体。射流偏转物容器是液体储液器11,注射装置是液体注射器14,该液体注射器14具有一个端部流体地联接至液体储液器11的液体导管16,并且还具有位于导管16的相对端部处的排出喷嘴17。液体注射器16还可以包括用于控制离开液体注射器14的射流偏转物

液体的流动的控制阀(未图示)。

[0043] 为了使液体射流偏转物12从液体注射器14中排出,可以在液体注射器14与包含射流形成位置20的环境之间设置压力差;压力差与液体射流偏转物12的量应当足够大,以促使液体射流偏转物12以如下的质量流率被射入(或吸入)该环境中,其中,该质量流率足以扰乱流体射流18或至少能够偏转流体射流18使之远离需要保护的位置(“选定位置”)。该压力差与液体射流偏转物12的量的选择将取决于流体射流的某些特性,诸如其密度和流率。在一些实施方式中,液体注射器14包括诸如联接至液体导管16的泵(未图示)的增压装置,此增压装置可操作于使液体导管16中的液体射流偏转物12增压至足够的压力,该压力高于包含射流形成位置20的环境的压力,以提供所需的压力差;在这种情况下,液体射流偏转物12将在该压力下注射到环境中。在另一实施方式中,射流控制设备10可以在包含射流形成位置20的环境中工作,该环境处于低于射流控制设备10的压力的足够的压力中,以提供所需的压力差(“负压力差”);在该情况下,当控制阀打开时,液体射流偏转物12将被吸入环境中。在又一实施方式中,射流控制设备10设有增压装置,其可在压力低于射流控制设备10的压力的环境中工作,使得增压装置与环境的较低压力结合起来提供所需的压力差。

[0044] 在操作中,液体射流偏转物12通过液体注射器14指向射流形成位置,其中,液体射流偏转物12与从射流形成位置出现的流体射流相撞。当流体射流18与偏转物液体12相撞时,流体射流的方向可以相对于其初始方向偏移,流体射流可以重新定向至不同于初始射流方向的方向,并且远离目标位置。同时,流体射流的速率可以因为与偏转物液体12的碰撞而下降。此外,由于流体射流18与液体射流偏转物12之间的碰撞,高速射流的聚集体会碎裂,从而减小射流的尺寸。较小的射流不太可能保持为聚集体,并且可以进一步分裂成射流的喷雾,从而降低射流对受这样的高速射流影响的区域周围的设备和系统上的作用。

[0045] 在另一实施方式中,参照图1B,射流控制设备10构造成将长形杆形式的固态射流偏转物材料12(“固体杆射流偏转物”)指向流体射流18。用于注射的装置是挤出机14,该挤出机14挤出长形杆形式的固态射流偏转物材料12。射流偏转物容器11可以构造成储存处于固态或液态的射流偏转物原料。在前一种情况下,原料是固体坯的形式,容器11可以设有用于将坯输送至挤出机14的输送机装置。在后一种情况下,射流偏转物容器是液体储液器11,并且流体地联接至挤出机14,使得原料流入挤出机14并且在其中固化。挤出机14包括一个端部联接至射流偏转物容器11的口模16,还包括在相对的排出端部处的挤出喷嘴17。挤出机14还包括柱塞(未图示)以迫使原料经过口模。挤出机14可以采用热挤压工艺或温挤压工艺,在该情况下,挤出机14还可以包括加热器,该加热器热联接至口模以将原料加热至适当的挤出温度。射流偏转物材料12可以具有与流体射流18相同的材料成分或具有与流体射流18不同的成分。例如,射流偏转物材料可以是铅或者是铅和锂的混合物。

[0046] 挤出机14构造成将固体射流偏转物12挤出为长形杆,该长形杆足够长以到达射流形成位置,同时还与挤出机14物理地接合。当流体射流的动量仍然很低时,固体射流偏转物12可以挤出至与形成位置20处的流体射流18相遇;固体射流偏转物可以是静态的或者在射流形成位置20处移动。长形杆12的尺寸基于形成位置20处的流体射流18的参数确定。

[0047] 形成位置处的流体射流的动量可以计算为:

$$[0048] \quad P = v \times m$$

[0049] 其中, $v$ 是形成位置处的流体射流的速度(初始速度), $m$ 是形成位置处的流体射流

的质量。

[0050] 例如,当流体射流由熔铅组成时,其中该熔铅的质量大约为0.04-0.1kg,在形成位置处的射流速度为大约400-1500m/s,则形成位置20处的流体射流18的动量为大约20-160kg m/s。可以预料的是,当固体杆射流偏转物12放置于射流形成位置20处的静态位置时,其将需要具有这样的尺寸,大约2-4cm的直径和大约1-10m的长度,以便使流体射流18的方向偏转。如果长形杆以大约10m/s的速度注射,则杆的长度可以在大约0.1-3m的范围内,杆的直径为大约2-4cm。

[0051] 在另一实施方式中,射流偏转物可以为固态的离散颗粒的形式。该颗粒可以通过使用颗粒驱动器来注射,该颗粒驱动器具有豁口和可移动的门,所述可移动的门用于控制射流偏转物颗粒向射流形成位置20处的注射。颗粒驱动器可以是轨道枪或压缩气枪。

[0052] 现参照图2,根据图1A所示的实施方式的射流控制设备(标号为200)安装在等离子体压缩系统100中,并且被操作用于防止形成于系统100的压缩室120中的液体射流到达系统100的等离子体发生器110,其中,液体射流由压缩室120中的液体介质形成。射流控制设备200构造成将液体射流偏转物210的流注射到压缩室120中。压缩室120可以部分地充填有液体介质,该液体介质中可以形成长形空腔140。等离子体125可以由等离子体发生器110注射到腔140中。等离子体125可以是磁化环形等离子体,例如,球形马克(等离子体的一种反场构型(FRC))或任何其他紧凑的环形构型,或者是它们的一种或多种组合。在一种实施方案中,任何其他气态介质都可以注射到腔140中。

[0053] 压缩室120包括限定压缩室的内腔的壁130、开口185以及布置在压缩室120的周围的多个压力波发生器160,等离子体125可以通过开口185注射到腔140中。室120的内腔可以部分地充填有液体介质。该液体介质可以是熔融金属,例如铅、锂、钠或者金属合金、金属的组合物或金属的混合物。在一种实施方案中,长形腔140通过使包含在压缩室120内的液体介质旋转而形成,具体地,压缩室120包括用于产生长形腔140的涡流发生器150。涡流发生器150包括出口导管152、泵154和入口导管156。在所示示例中,泵154可操作用于通过位于室120的一个极附近的出口导管152将一部分液体介质泵送出室120,并且泵154可操作用于通过入口导管156在靠近室120的中纬线处切向地将液体介质注射到室120中。在一种实施方案中,出口152与所述极间隔开并朝向室120的中纬线。在替代性实施方式(未图示)中,可以使用多于一个的入口156和/或出口152使液体介质在室120内循环。液体介质以足够快的旋转速率流动从而创建了基本上没有液体介质的腔140。

[0054] 在不偏离本发明的范围的情况下,也可以使用该领域的其他已知的用于产生腔140的装置。例如,在一种实施方案中,长形腔140例如可以通过以下方式形成:通过从形成于压缩室120的开口185处的环形喷嘴注射液体介质的射流(一股或多股),或者通过使成形的固体物体高速穿过液体介质等。

[0055] 相对于图2所示的实施方式,压缩室120具有球形形状,其开口185形成在室120的一个极处。然而,这仅出于说明的目的,在不偏离本发明的范围的情况下,等离子体压缩室120可以具有其他形状(例如,柱形、球形、椭圆形、锥形或任意其他适当的形状,或者是这些形状的组合)和/或尺寸。

[0056] 长形腔140具有与开口185至少部分地对准的第一端部。等离子体发生器110构造成产生等离子体125,并且将该等离子体125通过开口185注射到腔140中。等离子体发生器

110的第二出口端部190稍微插入开口185中,以提供等离子体发生器110与压缩室120之间的流体连通。在所示实施方式中,室120具有位于室120的各个极的两个环形开口185和185a。可选地,系统100可以包括第二等离子体发生器110a(只在图2中部分地示出),其定位成与第一等离子体发生器110直径上对置。两个开口185、185a中的每一者与两个单独的等离子体发生器110和110a相连通。关于可以与系统100一起使用的等离子体发生器110、110a的不同实施方式的细节在共同拥有的美国专利申请公开No.2006/0198483、美国专利申请公开No.US2011/0026657与美国专利申请公开No.US2011/002665中进行了描述,这些专利申请公开的全部内容以参引的方式并入本文。

[0057] 在一种实施方案中,长形腔140具有基本上为圆柱体的形状,并且从室120的一个极一直延伸至相对的极而穿过室120。在另一实施方案中,腔140具有更接近锥形的形状,其延伸贯穿室120的整个长度(极至极)或者只是部分地经过室120的长度。在不偏离本发明的范围的情况下,长形腔140可以基本上竖直地或基本上水平地定位在室120中。腔140的至少一个端部需要与开口185和等离子体发生器的第二端部190相对准,从而使等离子体125(或任意其他气态介质)能够注射到腔140中。

[0058] 多个压力波发生器160构造成在包含在室120内的液体介质中创建压力波。压力波发生器160自壁130径向向外地定向。压力波发生器160可以操作为通过冲击室120的壁130来在液体介质中产生压力波。在一种实施方式中,压力波发生器160包括被驱动用于冲击室120的壁130的汽锤活塞。由于活塞冲击产生的动能会在壁130中引起压缩波,压缩波行进穿过壁并且进入液体介质中,从而在液体介质中产生压力波。所产生的压力波应当通过液体介质传播并且朝向室120的中央聚集。在另一实施方式中,压力波发生器160包括固定在壁130的对应开口内或者联接至壁130的换能器。压力波是通过以对应的汽锤活塞冲击换能器而产生的。关于能够与系统100的不同实施方式一起使用的压力波发生器160的不同实施方式的细节可以在共同拥有的美国专利公开No.2010/0163130与国际专利申请(PCT)公开No.WO2012/113057中找到,该两个专利申请的整体内容通过参引的方式并入本文。

[0059] 压力波发生器的数量和位置是可以选择的,从而可以在液体介质中产生具有理想的形状和振幅的压力波。为清晰起见,图2只示出了压力波发生器160中的一些。

[0060] 等离子体通过等离子体发生器110(以及110a,如果使用的话)产生和加速,并且通过出口端部190和开口185注射到压缩室120中。出口端部190与室120的开口185相对准。所产生的会聚压力波可以具有前缘或波前170。会聚压力波可以行进穿过液体介质并且可以击打腔界面(液体/气体界面)。因此,界面可以经历快速的加速以及可以继续其朝向室120的中央的运动,从而使腔塌缩并且压缩会聚腔(见图3)内的等离子体125。定时的冲击以及产生的会聚压力波可以精确地控制,以便使等离子体可以在腔140塌缩之前注射到腔140中。由会聚压力波引起的腔140的塌缩可以在室120中触发液体的高速中央射流(图2中未示出,而在图3中示为180)。液体射流可以具有远离塌缩点的指向中央的液体“尖状物”的形式。当从塌缩点发射的液体射流沿朝向等离子体发生器110、110a的方向移动时,液体射流可以进入和/或损坏发生器110、110a,或者污染发生器110、110a中的等离子体传播通道195。

[0061] 为了降低中央射流进入等离子体发生器110、110a的可能性,射流控制设备200被用于扰乱或偏转液体射流,防止其到达等离子体发生器110、110a。射流控制设备200包括液

体注射器,此液体注射器包括带有出口喷嘴207的液体导管205。射流控制设备200还可以包括构造成关闭和打开出口喷嘴207的控制阀208。射流控制设备200被定向为使得液体射流偏转物210可以沿着其轴线250从射流控制设备200注射至腔140中。液体储罐220流体地联接至导管205,并且将液体射流偏转物供应至导管。液体储罐220放置在等离子体发生器110的中央部分中。在一种实施方式中,储罐220可与等离子体发生器110电绝缘。

[0062] 在该实施方式中,液体射流偏转物210具有与压缩室120内的液体介质相同的成分,鉴于偏转物210的液体与室120的液体介质的可能的混合,该实施方式可能是有利的。例如,液体射流偏转物210与室中的液体介质是诸如铅、锂或钠的熔融金属。替代性地,假如偏转物210在操作条件下是液态的,并且提供了用于将偏转物210的不同材料从室120的液体介质中分离出来的系统(未图示),液体射流偏转物210可以具有与室120内的液体介质不同的成分。

[0063] 等离子体压缩室120通常维持在低于等离子体发生器110的内部压力的压力处;由于液体储罐220位于等离子体发生器110中,因此在射流控制设备200与包含射流形成位置的腔140之间存在负压差。此外,射流控制设备200定位在腔140的上方,使得喷嘴207朝下瞄准。因此,当控制阀208打开时,重力以及由压力差引起的吸力将会导致液体射流偏转物210从液体储罐220流动至流体导管205,然后流出出口喷嘴207,继而进入腔140中。如将在下文更详细地描述的,射流控制设备200与腔140之间的压力差可以构造成为液体射流偏转物210提供(在重力的帮助下)足够的质量流率以扰乱或偏转液体射流,从而防止液体射流到达等离子体发生器110、110(a)。可选地,诸如泵或增压气体供应器(均未示出)的增压装置可以联接至导管205,以将压力差增大至所需的程度。

[0064] 为了确定用于提供液体射流偏转物210的所需质量流率而需要的压力,限定了用于液体射流偏转物210的某些操作参数。第一,液体射流偏转物注射系统200应当将足够的液体射流偏转物材料注射到腔中,使得液体的连续流从喷嘴207延伸至腔140中。此外,液体射流偏转物210流的半径应当沿着其长度尽可能的一致,从而使液体射流偏转物210可以以如下的初始速率注射,该初始速率足以防止液体射流偏转物210在沿腔140向下流动时由于重力而产生的变窄。从能量平衡中已知的是:

$$[0065] \quad V_{\text{bottom}}^2 - V_{\text{top}}^2 = 2gH,$$

[0066] 其中 $V_{\text{top}}$ 和 $V_{\text{bottom}}$ 是液体射流偏转物210在顶部(靠近控制阀208)和底部(液体射流偏转物210的相对端部)处的速率; $g$ 是重力加速度, $H$ 是液体射流偏转物210的长度。在压缩室120高度大约为 $\sim 3\text{m}$ 且腔140从室120的一个极延伸至另一极的情况下,液体射流偏转物具有大约 $3\text{m}$ 的长度(延伸贯穿腔140的整个长度)。如果我们假设速率的变化例如比如下面的注射速率小25%( $V_{\text{bottom}} = 1.25V_{\text{top}}$ ),

$$[0067] \quad V_{\text{top}} = \sqrt{\frac{2gH}{1.25^2 - 1}} \approx 10\text{m/s}$$

[0068] 为了实现该注射速率,需要在如下压力下注射流体:

$$[0069] \quad P = \frac{1}{2} \rho V_{\text{top}}^2$$

[0070] 在熔铅偏转物的密度为 $\rho = 10000\text{kg/m}^3$ 且速率 $V_{\text{top}} = 10\text{m/s}$ 时,注射液体射流偏转

物210所需的压力大约为 $P=500000\text{Pa}\approx 5\text{Atm}$ ,该压力可以通过由诸如液罐220内的压缩气体的增压装置提供,或者通过维持射流控制设备200与腔140之间的压力差提供,或者两者兼有,以推动熔融金属沿导管205向下。这仅用于说明的目的,假设提供沿其长度半径的几乎一致的偏转物,则在不偏离本发明的范围的情况下,可以以更高的初始速率注射液体射流偏转物210。液体射流偏转物210的半径( $R_{\text{deflector}}$ )取决于腔140的半径( $R_{\text{cavity}}$ ),并且其是腔的半径的一部分。例如,液体射流偏转物210的半径为大约 $0.1R_{\text{cavity}} < R_{\text{deflector}} \leq 0.2R_{\text{cavity}}$ 。液体射流偏转物210的材料成分可以与压缩室120内的液体介质相同。例如,在腔的半径为大约20cm的情况下,液体射流偏转物210的半径为大约2-4cm。

[0071] 液体循环组件230可以用于使液体从收集罐225循环回到储罐220中以便再利用;该组件230包括具有流体地联接至收集罐225的入口和联接至液体储罐220的出口的流体管道。当偏转物210是贯穿涡流的整个长度流动的连续液柱时,可以防止高速液体射流180的形成,因为腔不是在一点处而是在液体射流偏转物210的表面处塌缩。因此,可以在腔140于偏转物的表面处塌缩的过程中产生的一股或更多股射流应当通过液体射流偏转物210引导至室120内的液体主体中。

[0072] 在一种实施方案中,以受控的以及定时的方式将液体射流偏转物210注射到腔140中。提供控制器(未图示),其被编程为控制控制阀208的开口和/或压力波的产生,使得当等离子体进入腔140时,液体射流偏转物210可以被注射并且至少部分地延伸贯穿腔140的长度,从而使腔的塌缩可以在液体射流偏转物210的表面发生。液体射流偏转物210的尺寸可以根据出现的射流的能量变化。例如,偏转物210的流的长度可以与压缩室120的半径相同。在一些实施方案中,偏转物210的流的长度可以大于或小于压缩室120的半径。

[0073] 如上文所指出的,液体射流偏转物210可以在压力下使用泵或压缩气体注射,以将液体射流偏转物210推入导管205中以及推出喷嘴207。该压力可以选择成促使液体射流偏转物205流入腔140内并且与塌缩点处出现的高速液体射流相撞。例如,液体射流偏转物210的流的半径为约2-4cm,其流率为约10m/s或更大,该液体射流偏转物210的流与塌缩点处的或靠近塌缩点的液体射流(其射流动量为大约 $\sim 20-160\text{kg m/s}$ )相遇,从而可以将射流的聚集体分裂成更小的射流,这些更小的射流可以重新定向进入液体介质的主体中。液体射流偏转物210的注射及其能量(或压力)可以与腔塌缩同时发生,由此减少射流的大部分的能量并且防止射流到达发生器的出口端部190。

[0074] 在另一实施方式中,如图1B所示的射流控制设备可以安装在与图2所示的等离子体压缩系统类似的等离子体压缩系统100中,并且其操作成防止形成在系统100的压缩室120中的液体射流到达系统100的等离子体发生器110,其中,液体射流由压缩室120中的液体介质形成。射流控制设备构造成将连续固体杆射流偏转物210注射到压缩室120中;坯料包含用于挤出机14的足够的原材料,以形成具有如下长度的固体杆,该长度足以从挤压喷嘴17延伸贯穿腔140的整个长度。在一些工作模式中,固体杆射流偏转物12在系统100的工作过程中可以完全地或部分地毁坏。因此,固体杆射流偏转物12由与室120中的液体金属相同的金属制成是有利的。在这种情况下,可以通过使用室120中的液体材料中的一些挤出新的固体杆射流偏转物12。根据腔140的尺寸和/或室120的尺寸与形状,固体杆射流偏转物12可以具有各种不同尺寸和形状。固体杆射流偏转物12的尺寸可以设定为使得其不与进入腔的等离子体相干涉。例如,偏转物可以为直径约为腔140的直径的1/5-1/10的圆柱体形状。

[0075] 在替代性实施方案中,射流控制设备(未图示)构造成同时注射固体杆射流偏转物与液体射流偏转物。该射流控制设备设有与图1B所示实施方式类似的挤出机,并且还具有定位在挤出机旁边的与图1A所示实施方式类似的液体注射器,使得液体流与固体杆一同流进腔内。替代性地,挤出机与液体注射器同轴地定位,并且位于液体注射器的内侧,使得液体流在固体杆外围的周围注射,并且围绕杆的长度流入腔内。液体流的成分可以是锂,可以在固体杆射流偏转物上形成锂的薄层,其被期望在面向等离子体的表面处存在低Z材料,从而将由于等离子体污染而引起的辐射损耗最小化。替代性地,固体和液体射流偏转物都可以由与液体介质不同的材料制成,在这种情况下,该系统设有用于将偏转物210的材料与液体介质分离的装置。在分离之后,液体介质返回至压缩室120中,同时射流偏转物材料返回至射流控制设备。

[0076] 在等离子体压缩系统100使用图1A的液体射流控制设备10或者图1B的固体杆射流控制设备10的情况下,压力波前与发生器110的出口端部190的相互作用会导致液体介质的团迹在靠近出口190处形成。为了抑制或防止这样的液体团迹进入等离子体发生器110(或者发生器110a,如果使用的话),射流控制设备200还包括如在图2中可见的屏障240。该屏障240可以防止液体介质的团迹进入发生器110的出口端部190。当使用第二等离子体发生器110a时,射流控制设备200包括总体上类似于屏障240的第二屏障240a,其位于靠近第二等离子体发生器110a的出口端部的位置。

[0077] 在图2所示实施方式中,屏障240连接至靠近环形开口185的壁130;替代性地,屏障240形成壁130的组成部分。在任一情况下,用于面向下方的等离子体发生器110的屏障240是从壁130的内表面向下延伸的圆柱体(例如,裙部)(用于面向上方的等离子体发生器110a的屏障是向上延伸的)。屏障240、240a的尺寸设计为使得其可以防止液体团迹进入等离子体发生器110、110a。例如,屏障240、240a的长度可以大约为等离子体压缩室120的高度的1/10至1/7(在图2所示的等离子体压缩系统100的情况下为0.2-0.4m,其中,等离子体压缩系统100具有高度大约为3m的室120)。在另一实施方式(未图示)中,屏障240、240a形成等离子体发生器110、110a的外壁的出口端部190的组成部分。由于发生器110、110a的出口端部190插入开口185、185a中,发生器110、110a的外壁可以在压缩室120内进一步突伸,从而形成围绕出口端部190的竖直的、环形的壁。屏障240、240a的形状和尺寸还可以设定成不与腔形成和/或腔生成系统相干涉,并且可以调整为配合压缩室120的特定的几何形状。屏障240、240a的壁可以平行于轴线250,或者可以略微地相对于轴线250成角度。

[0078] 在另一实施方式中,参照图3,液体射流控制设备构造成将多个固态颗粒300(“固体颗粒射流偏转物”)的形式的射流偏转物300指向液态流体射流(“液体流体射流”)180。用于注射的装置是诸如图3所示的轨道枪的颗粒驱动器320;然而,可以提供诸如压缩气枪的其他颗粒驱动器。轨道枪定位在等离子体发生器110的内部,并且沿着轴线350面向下进入室140中,其中,腔140被期望形成于室140内。

[0079] 取代颗粒驱动器,用于注射的装置可以是面向下的导管形式的被动颗粒注射器,其中,在导管的排出端部处具有可控制的门(未图示)。导管尺寸设定为储存单列颗粒,门可以打开以允许颗粒300排出到腔140内。在射流控制设备110与室120之间有足够的负压力差时可以使用颗粒注射器,以从导管中提取颗粒300(借助于重力),并使颗粒300进入腔140,使得颗粒达到足够的速率,以扰乱或偏转从液体射流形成位置出现的液体射流180。

[0080] 射流控制设备还包括储存颗粒300的颗粒容器310,此颗粒容器310具有用于将颗粒运送至颗粒驱动器320的装载机构。容器310包括入口(未图示)和出口,通过该入口可以再填充附加颗粒,通过该出口可以进行颗粒的从容器310到颗粒驱动器320中的受控释放。装载机构可以是将颗粒300加载至轨道枪320的豁口内的输送带;轨道枪320可以是以相对快的连续动作沿着轴线350发射颗粒300的操作器。在一些情况下,可以提供短暂的时间段(1-2s)来允许下一筒颗粒300的装载。

[0081] 为了拦截中央液体射流180并与之相撞,可以将一个或多个颗粒300注射到腔140内,其中,中央液体射流180可以在腔140的塌缩时产生。例如,可以注射颗粒300,使得该颗粒300沿着轴线250移动以拦截射流180。颗粒300的尺寸被设定为抵消在塌缩点处出现的射流180的动量。根据实施和操作条件,颗粒300的流动速率可以在从几十m/s至几百m/s之间的范围内。例如,对于在塌缩点处的流体射流的动量 $P=v \times m$ 为大约20-160kg m/s,铅粒的质量大约为0.08kg(2立方厘米)至0.64kg(4立方厘米),颗粒300的速率大约为30-2000m/s。因此,颗粒300尺寸和形状可以设定为不与进入腔140的等离子体相干涉或者不干扰腔140本身(例如,颗粒的尺寸可以为腔140的直径的大约1/5至1/10)。每个颗粒300均构造成与高速射流180相撞并使其偏转,从而将其散布成多个更小的射流。具体地,每个颗粒300均具有面部表面301,该面部表面301尺寸和形状设定为将高速射流180的初始方向偏转至期望的新方向。例如,颗粒300可以具有凹形或锥形的面部表面301。每个颗粒300均可以由与室120内的液体介质相同的材料制成,并且可以具有各种不同的形状,例如,球形、椭球形、圆柱形、矩形,或任意其他适当的形状。

[0082] 射流控制设备还可以包括定时系统(未图示),该定时系统构造成使颗粒300的释放和注射与腔塌缩以及液体射流180的形成相协调。在一种实施方案中,可以注射单个的颗粒300以拦截液体射流180并且使液体射流180重新定向。在另一实施方案中,可以将颗粒300的阵列注入腔140中。可以通过一个或多个颗粒300拦截液体射流180。当颗粒为与液体介质相同的成分时,提取室120中的液体介质的一部分,以便制造新的颗粒300(未示出用于制造颗粒的装置)。

[0083] 射流控制设备还可以包括诸如形成在室120的环形开口185附近的收缩部330的液体团迹屏障。收缩部330可以构造成允许等离子体经过收缩部330而防止在压力波170接近出口端部190时形成的液体团迹进入等离子体发生器110。收缩部330可以充当形成在发生器110的入口(出口端部190)处的唇部。收缩部330可以朝向室120的内部略微向下伸出,并且可以构造成室120的组成部分或者发生器110的外壁的组成部分。此外,收缩部330可以至少部分地防止射流180进入等离子体传播通道,从而也起到对于射流180的屏障和/或偏转物的作用。在一些实施方案中,收缩部330和屏障240都可以用于防止液体材料的团迹进入发生器110、110a。

[0084] 对腔塌缩以及随后的流体射流的形成的模拟已经通过使用计算流体动力学(CFD)代码OpenFOAM(从英国Winnersh的OpenFOAM基金会获得)以及有限元分析(FEA)代码LS-DYNA(从位于加利福尼亚州的利沃莫尔(Livermore)的利沃莫尔软件技术公司获得)来执行。模拟的示例结果在图4至图9中示出。

[0085] 通过使用圆柱形几何形状执行具有1.5m的半径以及2m的高度的圆柱形等离子体压缩系统的CFD模拟。腔的半径设定为0.2m,该腔被设定为在圆柱体的整个高度上延伸。模

拟是通过将熔融金属用作示例流体来执行的,诸如熔铅或者熔铅与锂的混合物。流体(例如铅)中的音速取作1800m/s。模拟针对压力脉冲的三种不同振幅执行:

[0086] 1.  $P=1.5 \times 10^{10}$ Pa, 在球面会聚波的情况下, 其对应于靠近腔界面的一个原型等离子体压缩室中的压力振幅;

[0087] 2.  $P=2 \times 10^9$ Pa, 其对应于在活塞速率为大约50m/s的情况下在小尺寸压缩室内的初始压力振幅;

[0088] 3.  $P=5 \times 10^8$ Pa, 其对应于在活塞速率为大约15m/s的情况下在小尺寸压缩室内的压力振幅;

[0089] 图4和图5示出了对于振幅为 $P=1.5 \times 10^{10}$ Pa的压力脉冲的CFD计算模型的竖直和水平的横截面(对于其他压力脉冲振幅, 该横截面的外观总体上是类似的)。弯曲区段410(图4和图5)示出了处于传播的早期阶段的压力脉冲。图4的竖直的黑色实线420与图5的圆形曲线420分别沿竖直方向(图4)和沿水平方向(图5)示出了腔140的初始流体/气体界面。

[0090] 在脉冲为 $1.5 \times 10^{10}$ Pa的情况下, 颗粒速度为大约800m/s(铅作为流体), 该速度通过如下等式(1)计算。

$$[0091] \quad V_{\text{particle}} = P / (\rho \times c) \quad (1)$$

[0092] 其中P是脉冲压力,  $\rho$ 是流体的密度,  $c$ 是流体内的音速。

[0093] 腔的塌缩的形状至少部分地取决于在压力脉冲撞击界面的时候沿着腔界面的压力分布。界面的初始速率与压力脉冲的颗粒速度成比例, 压力脉冲的颗粒速度继而与压力脉冲到达界面时的压力成比例。如图4和图5所示, 压力脉冲410具有球形形状, 使得室的中央部分(例如, 沿着图4所示的圆柱形室的中线或中纬线)内的脉冲可以首先到达腔界面。远离中线的压力脉冲将在一段时间的延迟之后到达腔界面。因此, 沿着腔的长度的压力脉冲的到达将会经过一段时间间隔而发生。在高振幅压力脉冲(例如,  $P=1.5 \times 10^{10}$ Pa)的情况下, 基于线性关系, 流体内的界面速率( $V_{\text{interface}} = 2 \times V_{\text{particle}}$ )可以具有与流体内的音速同样的数量级。例如, 铅中的界面速率大致为大约1600m/s, 其接近于大致为1800m/s的音速。在该示例中, 沿着腔界面长度的压力脉冲到达的时间延迟可以相对较大, 使得腔的挤压塌缩发生在室的中央。在低振幅脉冲的情况下, 界面速率可以远慢于流体中的音速, 使得沿着腔的长度的压力脉冲到达的时间延迟变得可以忽略, 从而导致沿着腔界面的长度的更一致的塌缩(当与高振幅压力脉冲相比时)。大量的模拟示出的是, 在不考虑腔塌缩的形状(例如挤压塌缩或腔界面的更一致的塌缩)的情况下, 这样的腔塌缩导致高速中央射流与液体团迹的产生(见图7a所示示例)。

[0094] FEA代码用于对椭圆形等离子体压缩容器内的活塞系统、流体(例如铅)和真空/空气的建模。建模针对二维轴对称几何形状进行。图6示出了所模拟的模型的示例。椭圆形容器的内部610以流体(例如, 铅或者铅/锂混合物)部分地充填。腔由参考标记620示出, 活塞由参考标记630示出。容器的内径为2m, 其外径为2.3m。活塞以大致为40m/s的速率加速, 并且击打球体的壁, 随后击打容器内的流体。参考标记640指代中央轴, 其插入腔的中央以与射流偏转物12(图1A、图1B)或偏转物210(图2)相对应。

[0095] CFD与FEA模拟的结果都示出了由于腔塌缩而出现的射流可以被划分成:(i)由腔的轴线处(例如, 单个塌缩点)的实际塌缩产生的高速中央射流, 以及(ii)流体团迹, 例如, 当压力脉冲波前接近发生器的出口端部时滴入注射器的喷嘴中的大量流体。在所执行的模

拟中,在压力脉冲的所有振幅下都观察到团迹,团迹的速度远慢于高速中央射流的速度。图8a和图8b分别示出了高速射流与液体团迹的速率的示例。如图8a所示出的,中央射流720可以每秒几千米的速度出现,而团迹710可以每秒几十米的速度出现(图8b)。图8a和图8b的模拟的示例显示中央射流720的速率可以处于从大致1500m/s至大致2500m/s的范围内,而团迹710的速率则可以处于从大致50m/s至大致75m/s的范围内,团迹710的速率仅为中央射流的速率的大约3%。

[0096] 图7和图9中示出了在带有中央轴640与不带中央轴640的情况下流体射流的对比。图7a和图9a示出了当腔内不存在偏转物(轴640)时诸如流体720的细丝的高速中央射流的形成。图7a还示出了团迹710在室的开口附近的形成。射流720可以是沿着腔的轴线流动的高速射流。为了消除或减少中央射流,在轴640插入腔的中央的情况下执行模拟(见图7b、图9b)。图7b和图9b示出了当轴640插入腔内时形成的多股散布的射流730。模拟已经示出的是,当中央轴存在于腔内时,可以避免中央高速射流的形成,并且由于腔的塌缩而在轴640的表面处形成的射流730趋向于被偏转为撞击流体的主体。此外,根据模拟,当轴存在时形成的射流730的尺寸大致为当轴不存在时形成的射流720的尺寸的四分之一。在图7b所示示例中,轴640的存在没有完全消除流体团迹710,然而其的确减小了流体团迹710的尺寸。

[0097] 图9a示出了当腔内不存在中央轴640时形成的射流的速率,而图9b示出了当中央轴640插入腔内时形成的射流的速率。该模拟示出,当轴存在于腔内时的射流730的速率可以减小至当轴640不存在于腔内时射流720的速率的大约60%。

[0098] 还模拟了对应于图2的屏障240的几何屏障。该模拟示出了屏障的使用可以减少流体团迹进入发生器的可能性以及防止流体团迹进入发生器。屏障的竖直长度取决于室的尺寸,在所模拟的示例中,竖直长度被取为大约0.25m。这仅出于示例的目的,屏障的不同尺寸也可以用于其他实施方案中。

[0099] 虽然已经示出和描述了本公开的特定元件、实施例和应用,但是应当理解的是,本公开的范围不限于此,因为本领域内的技术人员在不偏离本公开的范围的情况下,特别是根据上面的教导可以进行修改。因此,例如,在本文所公开的任何方法或处理中,构成该方法/处理的行为或操作可以以任何适当的顺序执行,而一定局限于任何特定的公开顺序。在各种实施方式中,各个元件和部件可以不同的构造或布置,组合和/或消除。上述各个特征和处理可以相互独立地使用,或者可按照各种方式组合。所有可能的组合和子组合均旨在落在本公开的范围之内。本公开通篇对“一些实施方式”,“一种实施方式”等的引用意味结合所述实施方式说明的特定特征、结构、步骤、处理或特性包括在至少一种实施方式中。因此,出现在本公开通篇中的短语“在一些实施方式中”,“在一种实施方式中”等不一定都指的是相同实施方式,而是可以指代相同或不同实施方式中的一个或多个。事实上,可以用各种其他形式具体体现本文所描述的新方法和系统;此外,在不脱离本文所述发明的精神的情况下,可以在本文所述实施方式的形式上做出各种省略、增加、替换、等同物、重排和变化。

[0100] 上文已适当地说明了实施方式的各个方面和优点。应理解的是,并不是所有这些方面或优点都可以根据任何特定实施例实现。因此,例如,应认识到的是,可以如下方式实现各个实施例,其实现或优化本文所教导的一个优点或一组优点,而不一定实现本文中可能教导或建议的其他方面或优点。

[0101] 除非另有其他明确说明,或者在使用的上下文内有另外的理解,否则这里使用的条件语言,诸如“能够”、“可”、“可能”、“可以”以及“例如”等通常意图表达某些实施方式包括某些特征、要素和/或步骤,而其他实施方式不包括这些特征、要素和/或步骤。因此,这样的条件语言通常并不旨在暗示:一种或多种实施方式无论如何都需要所述特征、要素和/或步骤;或者,一种或多种实施方式必定包括以下逻辑,即,在有或没有操作者输入或提示的情况下判定这些特征、要素和/或步骤是否包括在任何特定实施方式中或者将在任何特定实施方式中被实行。没有任何一个特征或者一组特征是任意特定实施方式所需的或者必不可少的。术语“包括”、“包含”、“具有”等意思相同,并以开放式的包含性的方式使用,并且不排除另外的元件、特征、动作、操作等等。另外,术语“或”的使用是包含意义的(而不是排他意义的),从而当例如被用于连接一系列元件时,术语“或”意味该所列元件中的一个、一些或者全部的元件。

[0102] 本文所述的实施方式的示例性计算、模拟、结果、图表、数值和参数意在举例说明而并无意于限制所公开的实施方式。可与在此描述的说明性示例不同地构造和/或操作其他实施方式。

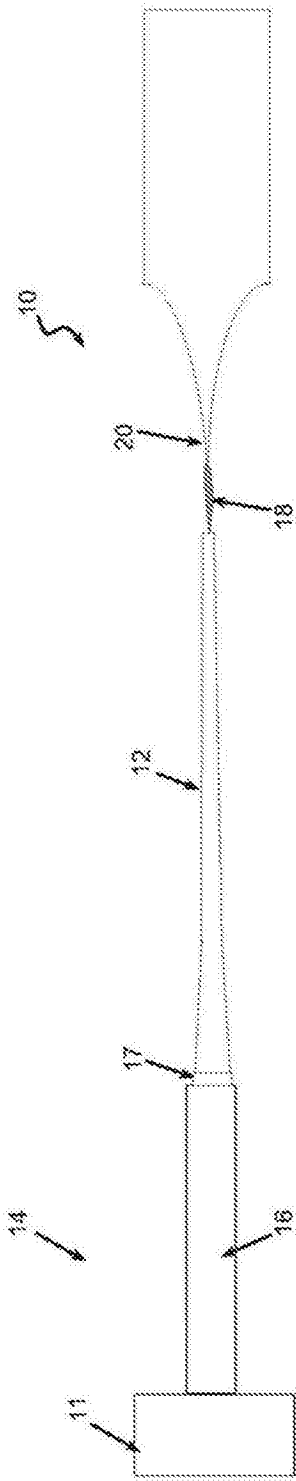


图1A

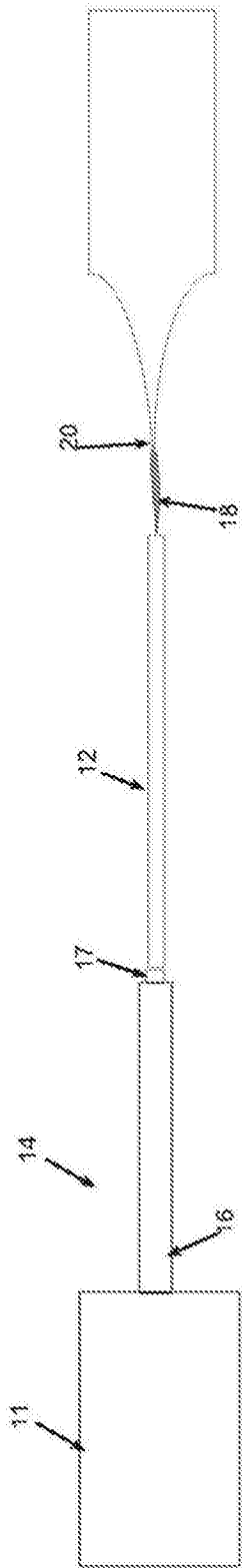


图1B

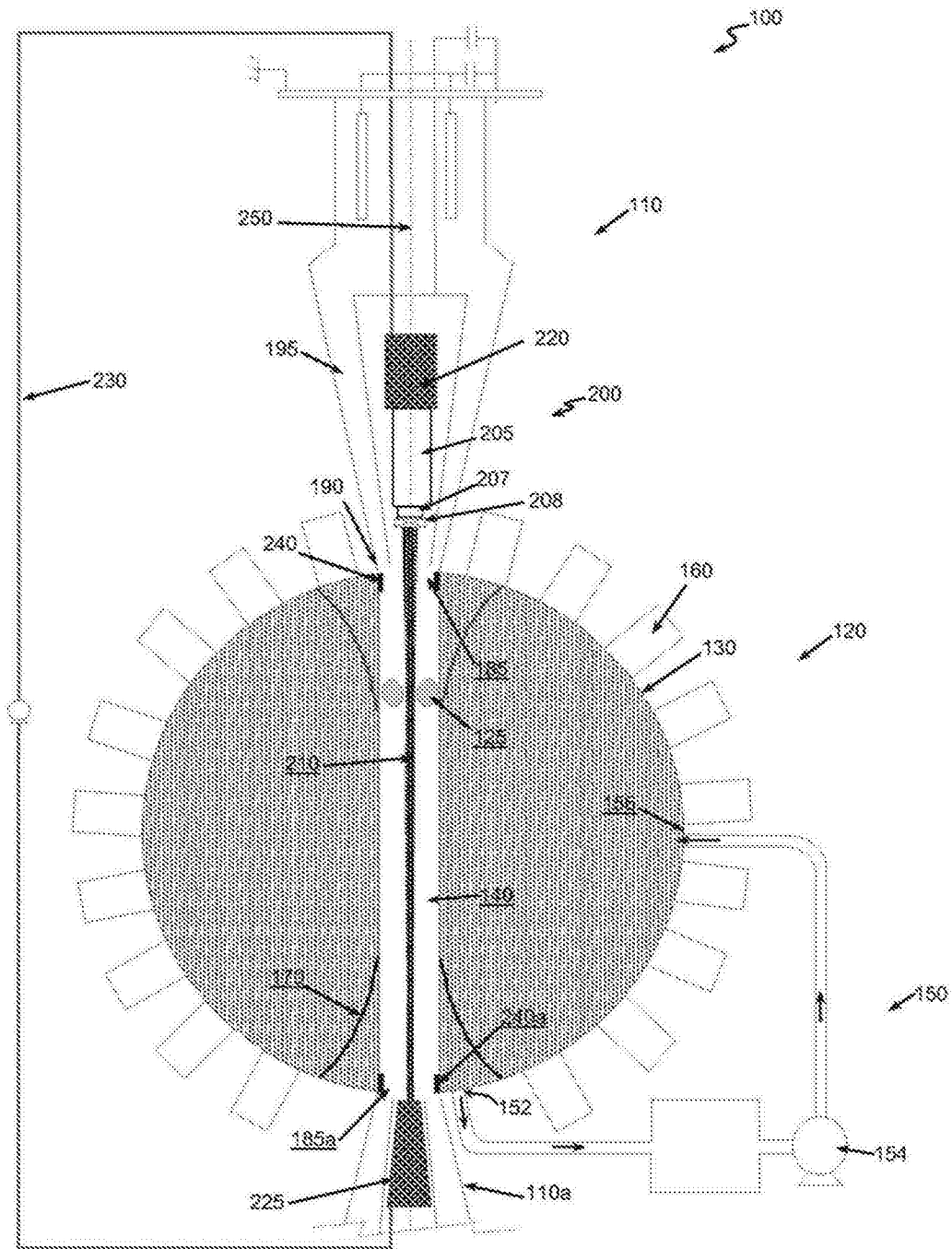
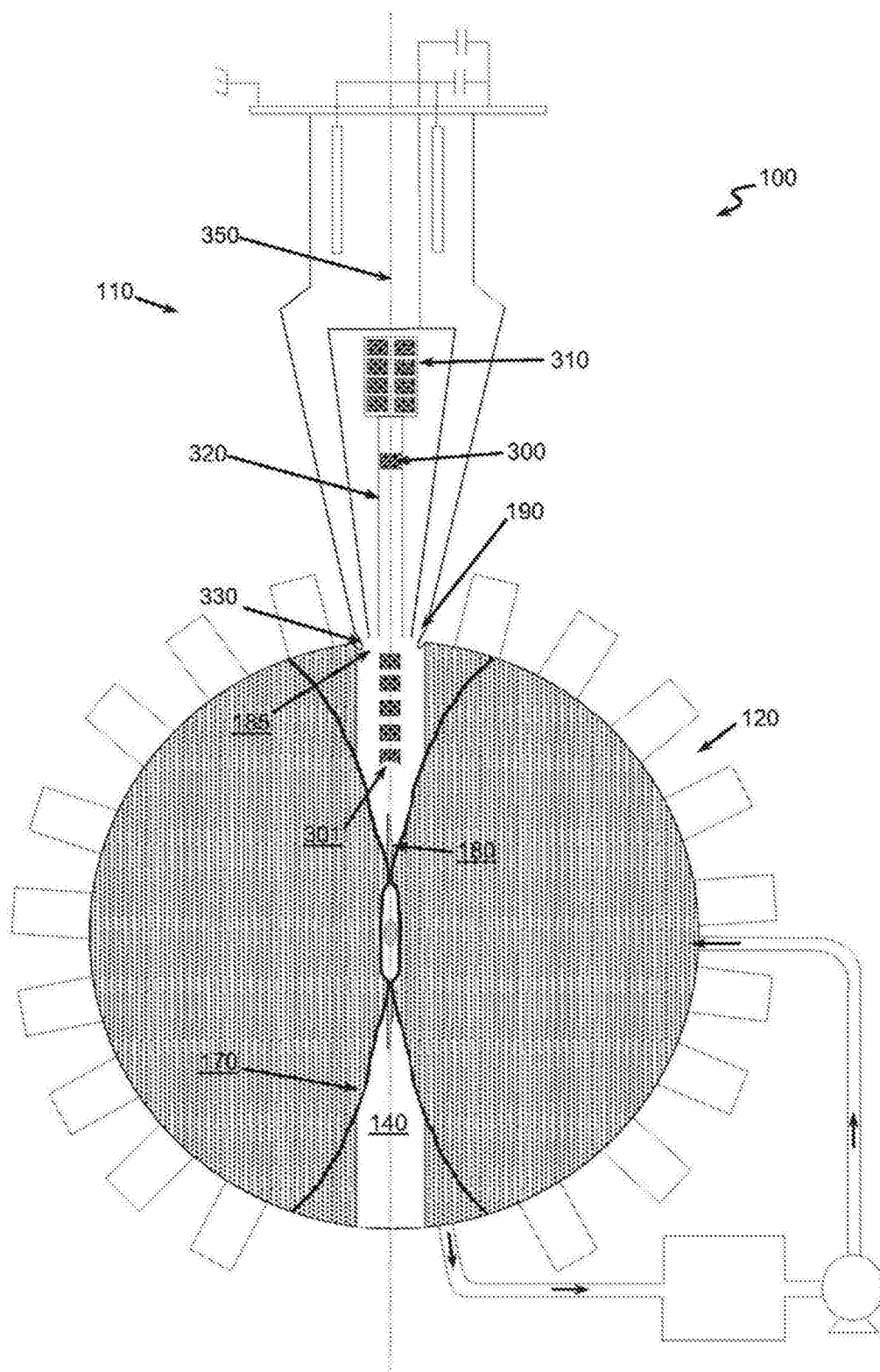


图2



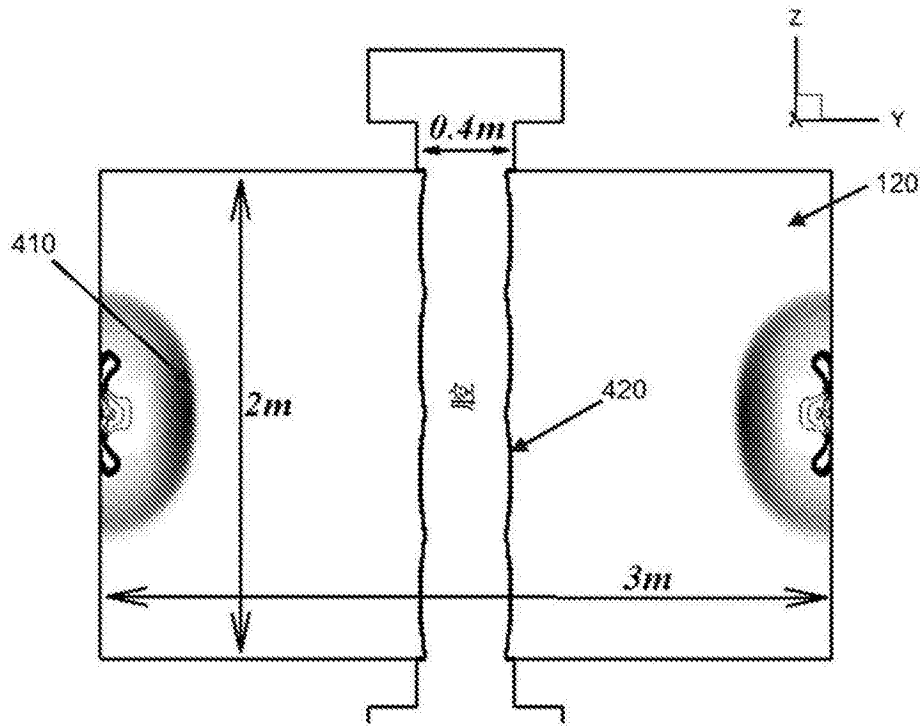


图4

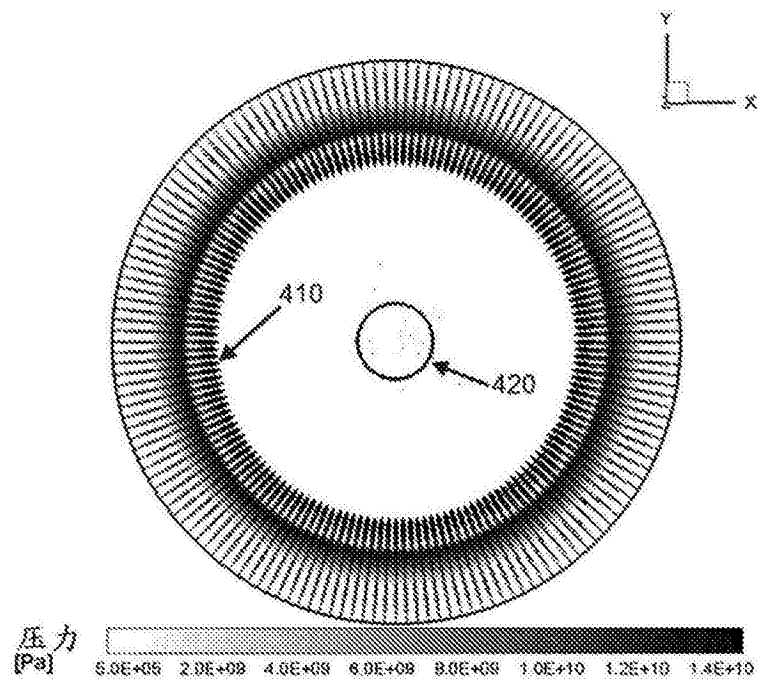


图5



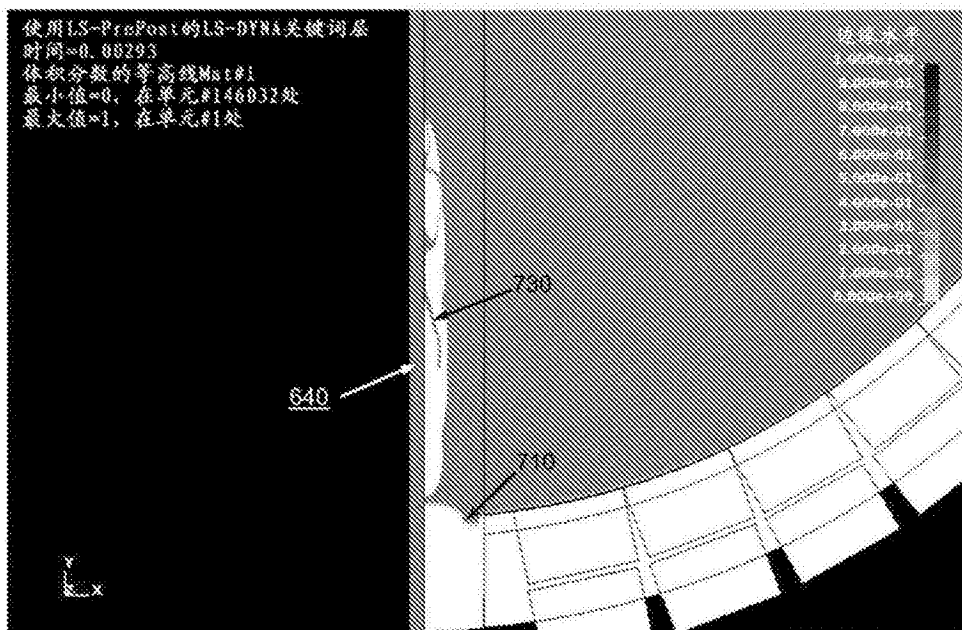


图7b

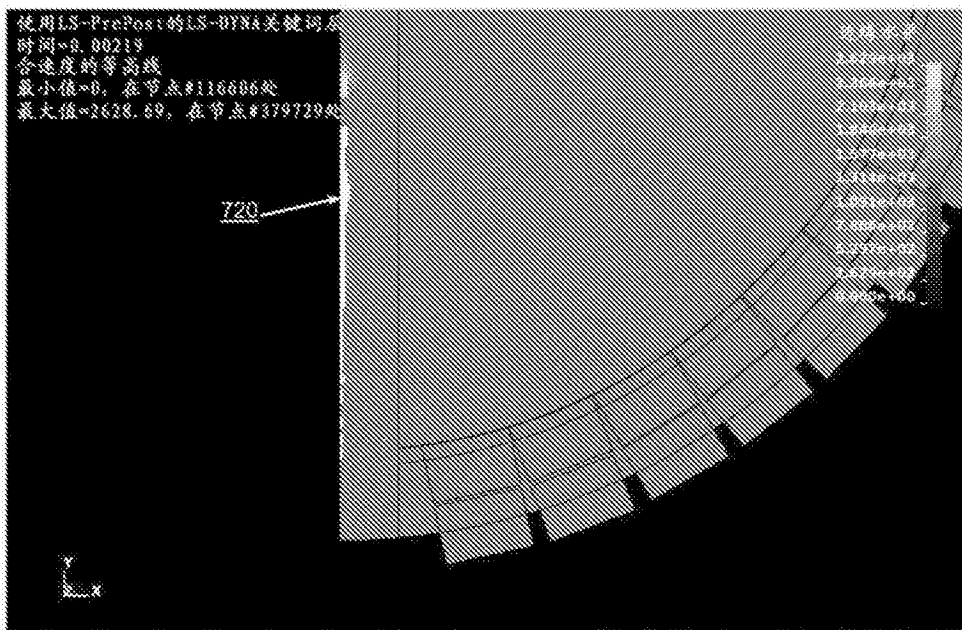


图8a



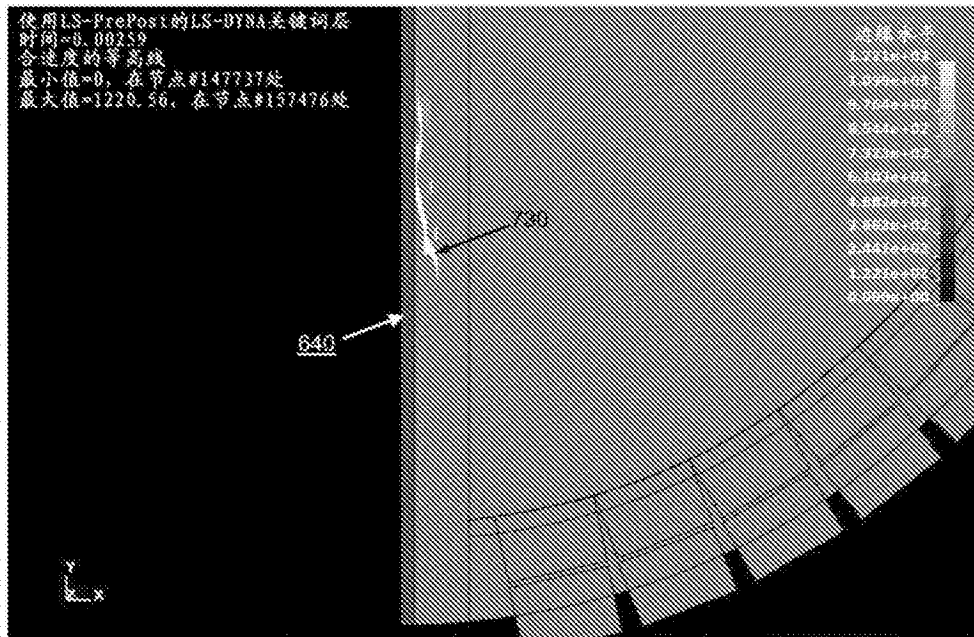


图9b