



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104221069 B

(45)授权公告日 2017.06.09

(21)申请号 201380017661.9

(22)申请日 2013.02.01

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104221069 A

(43)申请公布日 2014.12.17

(30)优先权数据
13/364,489 2012.02.02 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.09.28

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2013/000129 2013.02.01

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/114189 EN 2013.08.08

(73)专利权人 林肯环球股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 M·A·金迪格 J·利奇
A·阿代蒂安德拉
D·波斯尔思韦特 M·A·贝内特

(74)专利代理机构 北京嘉和天工知识产权代理
事务所(普通合伙) 11269

代理人 严慎

(51)Int.Cl.
G09B 19/24(2006.01)

审查员 钱瑾

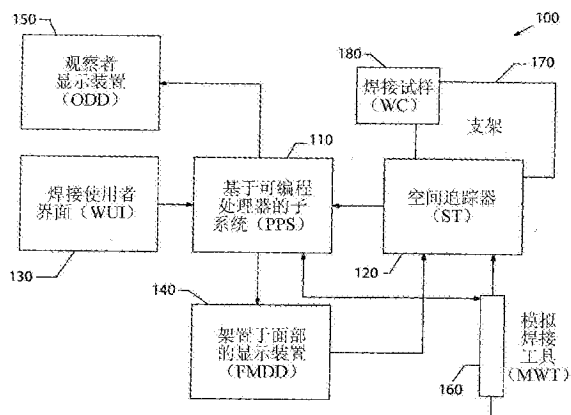
权利要求书3页 说明书19页 附图20页

(54)发明名称

虚拟焊接系统

(57)摘要

本书面说明书使用实施例来公开本发明,包括最佳实施模式,并且也使本领域普通技术人员能够实行本发明,包括制作和使用任何装置或系统以及执行任何并入的方法。本发明可取得专利权的范围由权利要求书限定,并且可以包括本领域技术人员想到的其他实施例。这样的其他实施例意图在权利要求书的范围内,如果它们具有不是不同于权利要求的书面语言的结构要素,或者如果它们包括和权利要求书的书面语言无实质不同的等同结构要素。



1. 一种虚拟焊接系统,所述虚拟焊接系统包括:
基于可编程处理器的子系统;
空间追踪器,所述空间追踪器被可操作地连接到所述基于可编程处理器的子系统;
模拟焊接工具,所述模拟焊接工具能够被所述空间追踪器在空间上追踪,所述模拟焊接工具包括,
两个或更多个适配器,其中每个适配器仿真一特定焊接类型的真实世界外观;以及
基座,所述基座被可移除地耦合到所述两个或更多个适配器中的每个,所述基座包括一个或更多个传感器,以确定相对于所述空间追踪器的空间位置;并且其中
所述两个或更多个适配器中的每个与所述基座连接,并且
所述基于可编程处理器的子系统执行与每个适配器相关联的适当的指令集,以在架置于面部的显示装置上呈现与所述两个或更多个适配器中的每个相应的显示。
2. 如权利要求1所述的虚拟焊接系统,还包括:
被设置在所述基座内的一个或更多个传感器;以及
具有空间位置的磁体,所述磁体被所述一个或更多个传感器追踪来识别所述模拟焊接工具到所述磁体的相对位置。
3. 如权利要求2所述的虚拟焊接系统,还包括:
焊接试样,所述焊接试样具有至少一个表面并且仿真要被焊接的真实世界部件,所述焊接试样被设置为离所述磁体一已知距离,其中所述焊接试样的所述至少一个表面在虚拟现实空间中被仿真为包括固体移置层和熔池移置层的双移置层,其中所述熔池移置层能够改变所述固体移置层。
4. 如权利要求3所述的虚拟焊接系统,还包括:
支架,所述支架被利用来以预定的空间关系支撑所述磁体和所述焊接试样。
5. 如权利要求2所述的虚拟焊接系统,还包括:
被使用者佩戴的头盔;以及
被设置在所述头盔内的架置于面部的显示装置,所述架置于面部的显示装置显示仿真的焊接熔池的实时熔融金属流动性和散热特征,以在被显示在所述架置于面部的显示装置上时为所述模拟焊接工具的使用者提供实时可视反馈,允许所述使用者响应于所述实时可视反馈而实时地调整自己或保持焊接技法。
6. 如权利要求5所述的系统,其中
所述头盔位置由所述空间追踪器确定并且被传送到所述基于可编程处理器的子系统。
7. 如权利要求6所述的系统,还包括:
被设置在所述头盔内的一个或更多个传感器,以追踪所述头盔相对于所述磁体的空间位置。
8. 如权利要求7所述的系统,其中
所述传感器是电容传感器、压电传感器、红外接近度传感器、霍尔效应传感器、涡流感应器、电感传感器以及超声传感器中的一个或更多个。
9. 一种在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,其中所述虚拟焊接系统包括基于可编程处理器的子系统和空间追踪器,所述模拟焊接工具包括:
两个或更多个适配器,每个适配器仿真一特定焊接类型的物理特征;以及

基座,所述基座被可移除地耦合到所述两个或更多个适配器中的每个,所述基座识别所述模拟焊接工具相对于基准位置的实时空间位置,所述基座包括一个或更多个传感器,以确定相对于所述空间追踪器的空间位置;并且其中

所述两个或更多个适配器中的每个与所述基座连接,并且

所述基于可编程处理器的子系统执行与每个适配器相关联的适当的指令集,以在架置于面部的显示装置上呈现与所述两个或更多个适配器中的每个相应的显示。

10. 如权利要求9所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,其中

基准点是焊接试样,所述焊接试样在仿真要被焊接的真实世界部件时具有至少一个表面,所述焊接试样具有至少一个表面并且仿真要被焊接的真实世界部件,其中所述焊接试样的所述至少一个表面在虚拟现实空间中被仿真为包括固体移置层和熔池移置层的双移置层,其中所述熔池移置层能够改变所述固体移置层。

11. 如权利要求10所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,还包括:

磁体,所述磁体相对于所述焊接试样以预定的位置被设置。

12. 如权利要求11所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,还包括:

支架,所述支架固定所述磁体相对于所述焊接试样的空间位置。

13. 如权利要求12所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,还包括:

一个或更多个传感器,所述一个或更多个传感器被设置在所述基座内,所述一个或更多个传感器确定所述基座相对于所述磁体的位置。

14. 如权利要求13所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,其中所述传感器将它们的位置传送到所述基于可编程处理器的子系统。

15. 如权利要求14所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,还包括:

被设置在所述基座的第一端的接口,所述接口便利与所述两个或更多个适配器中的一个的可移除的机械耦合。

16. 如权利要求15所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,其中

所述接口包括至少一个第一机械特征,所述至少一个第一机械特征与所述适配器内的至少一个第二机械特征互补,以便利每个适配器到所述基座的可移除的机械耦合。

17. 如权利要求9所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,其中

所述基座还包括触发装置,所述触发装置被用来在虚拟焊接系统内指示有效的焊缝状态。

18. 如权利要求17所述的在虚拟焊接系统内使用的模拟焊接工具,其中

所述触发装置经由套被结合在每个适配器内,所述套被使用者经由所述适配器机械地操纵来开始有效的焊缝状态。

19. 一种在虚拟焊接系统内使用模拟焊接工具的方法,所述方法包括:

可移除地将第一适配器连接到基座,所述第一适配器与第一焊接类型相关联;

针对基于可编程处理器的子系统识别所述第一适配器,以允许所述子系统加载并且执行与所述第一适配器相关联的适当的指令集,并且将所述指令集呈现为架置于面部的显示装置上的显示;

从所述基座移除所述第一适配器;以及

可移除地将第二适配器连接到相同的基座,所述第二适配器与第二焊接类型相关联;

针对所述基于可编程处理器的子系统识别所述第二适配器,以允许所述子系统加载并且执行与所述第二适配器相关联的适当的指令集,并且将所述指令集呈现为架置于面部的显示装置上的显示;

其中所述基座包括传感器,所述传感器确定所述模拟焊接工具相对于焊接试样的空间位置,其中所述基座的位置被实时地更新到显示器。

20. 如权利要求19所述的方法,还包括:

磁体,所述磁体相对于所述焊接试样被设置在一已知位置处,其中所述传感器确定所述磁体的位置并且至少基于所述磁体的所述位置计算所述焊接试样的位置。

21. 如权利要求19所述的方法,还包括:

按照第一焊接技法相对于焊接试样移动具有所述第一适配器的所述模拟焊接工具;

使用所述虚拟焊接系统在三维空间中追踪具有所述第一适配器的所述模拟焊接工具;

观看所述虚拟焊接系统的显示器,在仿真的具有所述第一适配器的所述模拟焊接工具通过在从具有所述第一适配器的所述模拟焊接工具发射出的仿真的电弧附近形成仿真的焊接熔池而将第一仿真的焊道材料熔敷到仿真的焊接试样的至少一个仿真的表面上时,所述显示器示出具有所述第一适配器的所述模拟焊接工具以及所述焊接试样在虚拟现实空间中的实时虚拟现实仿真;

在所述显示器上观看第一仿真的焊接熔池的第一实时熔融金属流动性和散热特征;以及

响应于观看所述第一仿真的焊接熔池的所述第一实时熔融金属流动性和散热特征而实时地改变所述第一焊接技法的至少一个方面。

22. 如权利要求19所述的方法,还包括:

按照第二焊接技法相对于焊接试样移动具有所述第二适配器的所述模拟焊接工具;

使用所述虚拟焊接系统在三维空间中追踪具有所述第二适配器的所述模拟焊接工具;

观看所述虚拟焊接系统的显示器,在仿真的具有所述第二适配器的所述模拟焊接工具通过在从仿真的具有所述第二适配器的所述模拟焊接工具发射出的仿真的电弧附近形成仿真的焊接熔池而将第二仿真的焊道材料熔敷到仿真的焊接试样的至少一个仿真的表面上时,所述显示器示出具有所述第二适配器的所述模拟焊接工具以及所述焊接试样在虚拟现实空间中的实时虚拟现实仿真;

在所述显示器上观看第二仿真的焊接熔池的第二实时熔融金属流动性和散热特征;以及

响应于观看所述第二仿真的焊接熔池的所述第二实时熔融金属流动性和散热特征而实时地改变所述第二焊接技法的至少一个方面。

虚拟焊接系统

[0001] 相关申请的交叉引用: 本申请是2009年7月10日递交的美国专利申请序号为 No.12/501,257的部分继续申请。

[0002] 背景

技术领域

[0003] 本公开涉及虚拟现实仿真,并且更具体地,涉及用于在仿真的虚拟现实环境或增强现实环境下提供弧焊训练的系统和方法。

[0004] 技术讨论

[0005] 学习如何进行弧焊传统上需要许多小时的指导、训练和练习。存在可以进行学习的许多不同类型的弧焊和弧焊工艺。学员通常使用真实的焊接系统并且在真实的金属工件上执行焊接操作来学习焊接。这样的真实世界的训练会占用稀缺的焊接资源并耗尽有限的焊接材料。然而,近来使用焊接仿真的训练想法已经变得更加流行。一些焊接仿真经由个人电脑和/或经由互联网在线实现。可是,当前已知的焊接仿真往往被限于其训练重点(focus)。

[0006] 例如,一些焊接仿真将重点放于仅仅针对“肌肉记忆”的训练,这只不过是训练焊接学员如何握持和定位焊接工具。其他焊接仿真也仅是以有限的且常常为不实际的方式来将重点放于示出焊接工艺的视觉效果和音频效果,所述方式不给学员提供是真实世界焊接的高度表征的期望反馈。正是这种实际的反馈引导学员进行必要的调节以完成好的焊接。通过查看电弧和/或熔池(puddle)而不是仅通过肌肉记忆来学习焊接。

[0007] 通过将这样的途径与如参照附图在本申请其余内容中阐述的本发明的实施方案进行比较,本领域技术人员将清楚常规的、传统的以及已提出的途径的其他限制和缺点。

发明内容

[0008] 在本发明的一个方面中,虚拟焊接系统包括基于可编程处理器的子系统和被可操作地连接到基于可编程处理器的子系统的空间追踪器。模拟焊接工具被采用,所述模拟焊接工具能够被空间追踪器在空间上追踪。模拟焊接工具包括一个或更多个适配器,其中每个适配器仿真一特定焊接类型(weld type)的真实世界外观。基座被可移除地耦合到一个或更多个适配器中的每个。

[0009] 在本发明的另一个方面中,模拟焊接工具在虚拟焊接系统内被使用。一个或更多个适配器被采用,其中每个适配器仿真一特定焊接类型的物理特征。基座被可移除地耦合到一个或更多个适配器中的每个,基座识别模拟焊接工具相对于基准位置的实时空间位置。

[0010] 进一步地,采用一种方法来在虚拟焊接系统内使用模拟焊接工具。第一适配器被可移除地连接到基座,第一适配器与第一焊接类型相关联。第一适配器从基座被移除,其中第二适配器被可移除地连接到基座,第二适配器与第二焊接类型相关联。多种适配器类型和共同基座的使用便利便携式虚拟焊接系统的使用,所述便携式虚拟焊接系统可以在基本

上任何移动的 (mobile) 位置被采用。

[0011] 本简要说明被提供来以简化的形式介绍构思的选择, 所述构思在本文被进一步描述。本简要说明不意图限定所要求保护的的主题的关键特征或必要特征, 也不意图被用来限制所要求保护的的主题的范围。另外, 所要求保护的的主题不限于解决记载在本公开的任何部分中的任何或所有缺点的实现方式。本发明的进一步实施方案、方面和优点从说明书、附图和权利要求书中是可推断的。

[0012] 附图简要说明

[0013] 参考附图, 其中如在下面说明书中更详细描述, 特定的实施方案及本发明进一步的优点被图示说明, 在附图中:

[0014] 图1是包括具有基座的可互换的模拟焊接工具的虚拟焊接系统的方框图, 所述基座可以连接到多个适配器中的每个;

[0015] 图2是图1中所阐述的系统的实现方式;

[0016] 图3是可移除地耦合到基座的GMAW适配器的示例性侧向平面图;

[0017] 图4是可移除地耦合到基座的手工焊工具适配器的示例性透视图;

[0018] 图5是可移除地耦合到基座的可燃气体 (oxyfuel) 适配器的示例性透视图;

[0019] 图6是可以与图3、图4和图5中所阐述的适配器连接的基座的透视图;

[0020] 图7是图6中所描述的基座的剖开透视图;

[0021] 图8A是包括基座和手工焊工具适配器的装配好的模拟焊接工具的透视图;

[0022] 图8B是包括基座和手工焊工具适配器的分解的模拟焊接工具的透视图;

[0023] 图9是被用来将焊接试样和磁体保持在已知的空间位置中的支架的透视图;

[0024] 图10是图示说明以可替换的、紧凑的位置来将焊接试样和磁体保持在已知的空间位置中的图9的支架的透视图;

[0025] 图11是图示说明包括来运输和操作移动虚拟焊接系统的部件的成套件的组件视图;

[0026] 图12是图示说明来与虚拟焊接系统通信的使用者界面的前立面视图;

[0027] 图13是图示说明来与虚拟焊接系统通信的可替换的使用者界面的前立面视图;

[0028] 图14是可以被使用者在虚拟焊接系统内使用的头盔的透视图;

[0029] 图15是安装在焊接头盔内的FMDD的后向透视图, 所述焊接头盔在虚拟焊接系统内被使用;

[0030] 图16是图1中所示出的基于可编程处理器的子系统 (PPS) 的子系统方框图的示例性实施方案的流程图;

[0031] 图17是图16的PPS的图形处理单元的方框图的示例性实施方案的流程图;

[0032] 图18是图1的系统的功能方框图的示例性实施方案的流程图;

[0033] 图19是使用图1的虚拟现实训练系统的训练方法的实施方案的流程图;

[0034] 图20是根据本发明的实施方案示出焊接像元 (welding pixel) (焊元 (wexel)) 位移图 (displacement map) 的正视图;

[0035] 图21是在图1的系统中仿真的平坦焊接试样的试样空间 (coupon space) 和对应的 x-y 焊缝空间 (weld space) 的透视图;

[0036] 图22是在图1的系统中仿真的拐角 (T型接头) 焊接试样的拐角和对应的 T-S 焊缝空

间的透视图；

[0037] 图23是在图1的系统中仿真的管焊接试样的管试样和对应的T-S焊缝空间的透视图；以及

[0038] 图24A-24C是图示说明图1的系统的双移置熔池的概念的正视图。

[0039] 详细描述

[0040] 现在参照附图，本发明的一些实施方案或实现方式在下文中结合附图被描述，其中相似的参考标号在通篇中被用来指示相似的元素。本实施方案指的是虚拟焊接系统，所述虚拟焊接系统采用模拟焊接工具，所述模拟焊接工具具有基座来接纳多个适配器，其中每个适配器仿真不同的焊接类型。适配器可以具有共同的尺寸，以在被期望时允许与基座无缝的可移除的耦合。尽管在各种示例性虚拟焊接系统的背景下在下文中被图示说明和描述，本发明不限于所图示说明的实施例。

[0041] 更具体地，本主题的实施方案涉及虚拟现实焊接系统，所述虚拟现实焊接系统包括基于可编程处理器的子系统、被可操作地连接到基于可编程处理器的子系统的空间追踪器、能够被空间追踪器在空间上追踪的至少一个模拟焊接工具，以及被可操作地连接到基于可编程处理器的子系统的至少一个显示装置。为了提供附加的灵活性，模拟焊接工具包括基座和多个适配器，其中每个适配器被用来仿真不同的焊接类型。例如，第一适配器可以仿真GMAW焊接，第二适配器可以仿真SMAW焊接，第三适配器可以仿真可燃气焊接等等。可替换地或此外，工具可以被用来仿真切割装置，例如可燃气或其他切割炬。适配器可以都具有标准化的尺寸来提供便携使用，紧凑的支架被用来将焊接试样保持在空间中，以与模拟焊接工具一起使用。以这种方式，系统能够在虚拟现实空间中仿真多种焊接类型，其中焊接熔池具有与每种焊接类型相应的实时熔融金属流动性和散热特征。

[0042] 当被显示时，所述仿真的熔池的实时熔融金属流动性和散热特征提供实时可视反馈给所述模拟焊接工具的使用者，允许所述使用者响应于所述实时可视反馈而实时地调节或保持焊接技法。所显示的熔池是基于使用者的焊接技法和所选择的焊接工艺与参数而将会被形成于真实世界中的熔池的表征。通过观看熔池（例如形状、颜色、熔渣、大小），使用者可以修正其技法来进行良好的焊接并确定被完成的焊接类型。所述熔池的形状响应于模拟焊接工具的运动。如本文所使用的，术语“实时”意指以与使用者在真实世界的焊接情景下将会感知和体验的相同的方式，在仿真的环境下及时感知和体验。此外，所述熔池响应于包括重力的物理环境的作用，允许使用者以各种位置（包括水平、垂直和仰焊（overhead welding））和各种管焊接角度逼真地练习焊接。

[0043] 现在参见附图，其中所示出的内容是为了图示说明示例性实施方案的目的，图1为系统100的系统方框图，系统100在实时虚拟现实环境下提供弧焊训练。虚拟焊接系统100包括基于可编程处理器的子系统（PPS）110。虚拟焊接系统100进一步包括可操作地连接到PPS 110的空间追踪器（ST）120。虚拟焊接系统100还包括可操作地连接到PPS 110的物理焊接使用者界面（WUI）130，以及可操作地连接到PPS 110和ST 120的架置于面部的显示装置（FMDD）140。虚拟焊接系统100还包括可操作地连接到PPS 110的观察者显示装置（ODD）150。虚拟焊接系统100还包括可操作地连接到ST 120和PPS 110的至少一个模拟焊接工具（MWT）160。虚拟焊接系统100还包括支架170，以及能够被附接到支架170的至少一个焊接试样（WC）180。MWT 160可以包括耦合到一个或更多个适配器（未示出）的基座（未示出），以仿真

多种不同的焊接类型。

[0044] 图2图示说明系统200,所述系统200图示说明图1中所阐述的系统的一种实现方式。FMDD 140被用来为使用者显示仿真的虚拟环境来可视地体验焊接。为了提供这种仿真环境的精确呈现(rendering),FMDD 140与PPS 110通信来接收并且发送关于系统200中的FMDD 140的空间位置的数据。可以利用已知的有线和/或无线技术(包括蓝牙、无线以太网等等)来便利通信。为获得空间位置数据,一个或更多个传感器142被设置在FMDD 140内和/或邻近FMDD 140。依次地,传感器142相对于系统200内的特定的基准(例如磁体172)来评估空间位置。磁体172可以位于已知的基准点并且被设置为相对于焊接试样180的一预定的距离178。这个预定的距离178可以通过利用与支架170相关联的形状因素、模板或预配置的结构来保持。因此,传感器142相对于磁体172的移动可以固有地提供FMDD 140相对于支架170内的焊接试样180的位置数据。传感器142可以无线地通信来识别相对于磁体的位置,利用已知的通信协议来实时地更新FMDD 140以与使用者的动作一致。

[0045] 系统200还包括MWT 160,所述MWT 160包括被耦合到基座166的适配器162。将理解的是,适配器162仅是代表多个适配器中的一个,每个适配器仿真特定的焊接类型。适配器162被可移除地耦合到基座166,以允许一个适配器作为另一个的替代的移除和置换。可移除的耦合可以利用凸耳、凹处、滑块、按钮等等来完成,以允许使用者按下、扭转或以其他方式机械地改变适配器162和/或基座166。为了精确地仿真特定的焊接类型,每个适配器162被确定尺寸来表征真实世界的等同装置,所述等同装置将被用于执行实际的焊接操作。一旦特定的适配器被耦合到基座,使用者可以在使用中输入适配器的类型,以允许PPS加载并且执行与其相关联的适当的指令集。以这种方式,与每个适配器类型相应的精确呈现被显示在FMDD 140上。

[0046] 一个或更多个传感器168可以被设置在基座166内或邻近基座166。与FMDD 140一样,传感器168可以无线的方式确定关于支架170上的磁体172的空间位置。以这种方式,以组合方式的适配器162和基座166相对于磁体172固有地具有已知的位置和空间,因为适配器162和基座166二者的尺寸是预先确定的。为了确保系统200被正确地校准来接纳每个适配器162,使用者可以(例如经由WUI 130)与PPS 110界面连接,以指示一特定的适配器当前在使用中。一旦形成这样的指示,PPS 110可以从存储器112检索查找表,所述存储器112包含规则集,以在使用者通过FMDD 140体验时正确地呈现仿真的环境。

[0047] 在实施方案中,PPS 110是可操作来执行所公开的体系结构的计算机。为了对本发明的各种方面提供附加背景,下面的讨论意图提供适合的计算环境的简洁、一般的描述,在该适合的计算环境中本发明的各种方面可以被实现。PPS 110可以采用计算机可执行的指令,该指令可以在一台或更多台计算机上运行,该指令结合其他程序模块和/或作为硬件和软件的结合来实现。一般地,程序模块包括例程、程序、部件和数据结构等,所述程序模块执行特定的任务或实现特定的抽象数据类型。例如,这样的程序和计算机可执行的指令可以经由机器人使用各种机器控制范例来处理。

[0048] 而且,本领域技术人员将意识到发明方法可以用其他计算机系统配置来实施,包括单处理器或多处理器计算机系统、微型计算机、大型计算机和个人计算机、手持式计算装置、基于微处理器的或可编程的消费性电子产品等等,它们中的每个可以被可操作地耦合到一个或更多个相关联的装置。本发明的图示说明的方面也可以在分布式的计算环境被实

施,在该分布式的计算环境中,特定的任务由通过通信网络被链接的远程处理装置执行。在分布式的计算环境中,程序模块可以位于本地和远程存储器储存装置两者。

[0049] PPS 110可以利用示例性环境来实现包括计算机的发明的各种方面,其中为了通信目的该计算机包括处理器114、存储器112和系统总线。系统总线将系统部件(包括但不限于存储器112)耦合到处理器114。处理器114可以是任何各种商业上可获得的处理器。双微处理器和其他多处理器体系结构也可以作为处理器114被采用。

[0050] 系统总线可以是若干总线结构类型中的任何一种,包括使用任何种类商业上可获得的总线体系结构的存储器总线或存储控制器、外围总线和本地总线。存储器112可以包括只读存储器(ROM)和随机存取存储器(RAM)。基本输入/输出系统(BIOS)被储存在ROM,该基本输入/输出系统(BIOS)包括基本例程,该基本例程有助于在PPS 110内的元件之间传递信息,例如在启动阶段。

[0051] PPS 110还可以包括硬盘驱动器、磁盘驱动器以及光盘驱动器,该磁盘驱动器例如从可移动磁盘读取或写入可移动磁盘,该光盘驱动器例如用来读取CO-ROM磁盘或者从其他光介质读取或写入其他光介质。PPS 110可以包括计算机可读介质的至少某种形式。计算机可读介质可以是可被计算机访问的任何可获得的介质。通过实施例的方式而不是限制,计算机可读介质可以包括计算机储存介质和通信介质。计算机储存介质包括以任何方法或技术实现来用于信息(例如,计算机可读指令、数据结构、程序模块或其他数据)储存的易失的和非易失的,可移动的和非可移动的介质。计算机储存介质包括,但不限于,RAM、ROM、EEPROM、闪存或其他存储技术、CD-ROM、数字多功能磁盘(DVD)或其他磁性储存装置,或者可以被用来储存所需信息并且可以被PPS 110访问的其他媒介。

[0052] 通信介质典型地包含计算机可读指令、数据结构、程序模块或在被调制的数据信号中的其他数据(例如载波或其他传输机制),并且包括任何信息递送介质。术语“被调制的数据信号”意思是具有以这样的方式为了在信号中编码信息而设置或改变的其特性中的一个或更多的信号。通过实施例的方式而不是限制,通信介质包括有线介质例如有线网或直接有线连接,以及无线介质例如声音的(acoustic)、RF、红外的介质和其他无线介质。任何上面的结合也应该被包括在计算机可读介质的范围内。

[0053] 大量程序模块可以被储存在驱动器和RAM中,包括操作系统、一个或更多个应用程序、其他程序模块和程序数据。在PPS 110的操作系统可以是任何大量商业上可获得的操作系统。

[0054] 此外,使用者可以通过键盘和指向装置(例如鼠标)将命令和信息输入计算机。其他输入装置可以包括传声器、IR远程控制、轨迹球、笔输入装置、控制杆、游戏板、数字化板、卫星碟和扫描仪等等。这些或其他输入装置通常由被耦合到系统总线的串行端口接口连接到处理器,但是可以由其他接口连接,例如并行端口、游戏端口、通用串行总线(“USB”)、IR接口和/或各种无线技术。监视器(未示出)或显示装置的其他类型也可以经由接口(例如视频适配器)连接到系统总线。可视化输出也可以由远程显示网络协议(例如远程桌面协议、VNC和X-窗口系统等)完成。除了可视化输出,计算机典型地包括其他外围输出装置,例如扬声器和打印机等。

[0055] 显示器(例如ODD 150和WUI 130)可以与PPS 110一起使用来呈现电子地从处理器接收的数据。例如,显示器可以是LCD、等离子体和CRT等的监视器,该监视器电子地呈现数

据。可替换地或此外,显示器可以以硬复制格式(例如打印机、传真机和绘图仪等)呈现接收的数据。显示器可以以任何颜色呈现数据并且可以经由任何无线或硬连线协议和/或标准从PPS 110接收数据。在实施方案中,WUI 130是触摸屏,所述触摸屏允许使用者与PPS 110界面连接,例如复核来自一个或更多个之前仿真的焊接数据。使用者还可以通过各种数据范例操纵来识别关于特定分析(例如焊接质量)的信息,其中这样的数据针对一个或更多个基准被评估,用于储存或其他比较。

[0056] 计算机可以在使用到一个或更多个远程计算机(例如远程计算机(一个或多个))的逻辑和/或物理连接的网络环境中操作。远程计算机(一个或多个)可以是工作站、服务器计算机、路由器、个人计算机、基于娱乐工具的微处理器、对等(peer)装置或普通网络节点,并且典型地包括相对于计算机描述的部件中的许多或所有。描述的逻辑连接包括局域网(LAN)和广域网(WAN)。这样的网络化环境在办公室、企业范围的计算机网络、企业内部网和互联网是常见的。

[0057] 当被用在LAN网络化环境时,计算机由网络接口或适配器连接到本地网络。当被用在WAN网络化环境时,计算机典型地包括调制解调器,或者被连接到LAN上的通信服务器,或者具有用于在WAN(例如互联网)上建立通信的其他装置。在网络环境中,关于计算机描述的程序模块或其中的部分可以被储存在远程存储器储存装置。将理解的是,本文描述的网路连接是示例性的并且在计算机间建立通信链接的其他装置可以被使用。

[0058] 图3-图5图示说明适配器162的非限制性的示例性实施方案,其中图3示出作为GMAW焊枪300的适配器162;图4示出作为手工焊接工具400的适配器162;并且图5示出作为可燃气炬500的适配器162。尽管在本文适配器被描述为具有多个不同的部件,将理解的是,适配器的单一和多部件的实施方案被考虑在本发明的范围内。首先转到图3,GMAW焊枪300包括嘴310,所述嘴310经由管312连接到接口(interface)318。焊枪300可以具有与如在真实世界应用中所使用的GMAW焊枪基本上相同的重量和尺寸。焊枪300内的每个部件的尺寸可以是已知的值,所述尺寸可以被用来在考虑到焊接试样180和磁体172的情况下校准焊枪。接口318可以包括一个或更多个机械特征来允许适配器300到基座的可移除的耦合。

[0059] 图4图示说明用于板焊接和管焊接的手工焊接工具400,并且包括夹持器422和仿真的手工焊条410。在实施方案中,仿真的手工焊条410可以包括触觉型(tactilely)阻力末端,以仿真发生在例如真实世界的管焊接中的焊根焊道(root pass)焊接过程期间或者焊接平板时的阻力反馈。如果使用者过于背离焊根移动仿真的手工焊条162,则使用者将能够感觉或感知到较低的阻力,从而获得用于调节或保持当前焊接工艺的反馈。接口418允许手工焊接工具400到基座的可移除的耦合。

[0060] 图5图示说明包括嘴510和接口518的可燃气适配器500,所述接口518允许可燃气适配器500到基座的可移除的耦合。在这个实施方案中,接口518包括颈圈522,所述颈圈522可以围绕基座的直径被固定。按钮520可以包括突出部或其他特征来与基座上的互补特征(例如凹处)机械地连接。以这种方式,适配器500可以根据按钮是否被按下或以其他方式操纵而“锁”到基座。在其他实施方案中,可燃气适配器可以被用来表征切割炬,所述切割炬被用来切割金属物体。在这个实施方案中,切割炬被显示在虚拟焊接系统内如同它在真实世界的应用中操作一样。例如,PPS 110可以加载和执行代码,所述代码代表切割炬应用,而不是焊炬。

[0061] 根据本发明的其他实施方案,其他模拟焊接工具也是可能的,包括例如仿真手持半自动焊枪的MWT,所述MWT具有被送进通过所述枪的焊丝焊条。另外,根据本发明的其他特定实施方案,即使在虚拟焊接系统100中工具不会用于实际上创建真实的电弧,真实的焊接工具可以用作MWT 160来更好地仿真使用者手中的所述工具的实际感觉。再者,可以提供仿真的打磨工具(grinding tool)用来在虚拟焊接系统100的仿真的打磨模式下使用。类似地,可以提供仿真的切割工具,用来在虚拟焊接系统100的仿真的切割模式下使用。另外,可以提供仿真的气体保护钨极弧焊(GTAW)焊炬或填充物材料,用来在虚拟焊接系统100中使用。

[0062] 图6图示说明基座600,所述基座600被用来接口连接一个或更多个适配器,例如GMAW焊枪300、手工焊接工具400和可燃气适配器500。基座600包括本体620,所述本体620可以容纳一个或更多个电子部件,例如本文所描述的传感器168。在实施方案中,本体620由两个半部分组成,所述两个半部分经由紧固件640(如,例如螺钉、螺栓、铆钉等等)保持在一起。硬线线缆630从本体620延伸以便利基座600和PPS 110的通信。

[0063] 接口610包括在接口610的相对侧上的靠接部(landing)614和被设置在所述靠接部中的凹处616。靠接部和凹处组合可以在示例性适配器300,400,500的接口内用作互补部件的可移除的互锁结构。然而,基本上任何的机械接口被考虑来便利适配器到基座600的有效移除和置换。被设置在突出部636内的按钮618可以被用来指示当按钮618被按下时使用者是在有效的焊接模式。至少参照适配器400,互补形状因素可以被包括在适配器中来配合作为按钮618之上的套,其中使用者可以经由适配器上的形状因素特征按下按钮。出于这个目的,适配器形状因素可以仿真真实世界的触发装置或者类似的装置来给予使用者对于焊接操作的真实世界的外观和感觉。

[0064] 图7是基座600的剖开透视图,以展现设置在基座600内的传感器652。传感器652经由线缆654与一个或更多个不同部件(例如PPS 110)通信,并且以预定的位置被设置在基座600内并且经由紧固件658被保持在适当位置。叶板672贯穿本体620为基座600提供结构支撑。在实施方案中,传感器652利用已知的非接触技术,例如电容传感器、压电传感器、涡流传感器、电感传感器、超声传感器、霍尔效应传感器和/或红外接近度传感器技术。这样的技术可以被用于本文所描述的其他传感器,包括分别在头盔146和基座166中使用的传感器142和168。图8图示说明模拟焊接工具800,其中适配器400被可移除地耦合到基座600,用来在虚拟焊接系统100内使用。

[0065] 图9图示说明支架700,所述支架700被用来在空间中将焊接试样758设置在相对于磁体710的一已知位置。支架700包括经由立柱722耦合在一起的臂714和底座724。在实施方案中,立柱722被可移除地结合到底座724,以允许支架700分解成单个的部件用于包装和运送。此外,底座724和立柱722可以具有一个或更多个结构特征(例如叶板),所述结构特征为这样的部件增加结构支撑同时保持相对低的重量。柱塞732可以从臂714被拉开,以允许在可重复的空间位置上试样在支架700之上的移除和置换。

[0066] 臂714的尺寸和焊接试样758相对于设置在靠接部738上的磁体710的位置都是已知的,邻近焊接试样758的模拟焊接工具将具有已知的并且可重复的输出,从而为使用者提供适当的实时虚拟焊接环境。销762,764可以从支架700移除来允许臂714如图10所描述的围绕销764枢转。在这个实施方案中,销762从孔766,768中移除,从而允许臂714围绕销764

旋转到第二位置。以这种方式,使用者可以在大量的平面(例如水平的和垂直的)仿真焊接来体会与每个相关联的细微差别。值得注意的是,支架700的设计确保磁体710相对于焊接试样758的空间位置被保持在两个位置中的任一个位置,以提供精确的可重复的结果用于实时焊接环境仿真的创建和显示。

[0067] 图11图示说明便携式焊接成套件,所述便携式焊接成套件可以从一个位置到另一个位置被方便地运输。成套件可以在基本上邻近电源的任何位置被构建起来,所述电源可以包括电池、A/C或其他电源。容器810可以基本上被形成为焊接机器壳体,其中内部包括多个壳、平台和其他储存区域来容纳WUI 130、支架700、模拟焊接工具800和头盔900。容器可以进一步包括轮子,以便利容器810的有效运输。

[0068] 图12图示说明示例性使用者界面830,所述使用者界面830显示多个与典型的焊接系统相关联的度量标准。界面830包括选择器832,以识别用于仿真的焊接系统的适配器的类型。温度测量装置836、电流测量装置838和电压测量装置842可以在焊接操作期间为使用者提供实时反馈。类似地,854和856显示附加信息并且允许使用者输入来更改所述的信息。图13示出仿真真实世界硬件焊接系统界面的可替换的使用者界面860。在实施方案中,使用者能够使用触控屏幕或本文所描述的其他外围输入方法来为显示器860提供输入。

[0069] 图14和图15图示说明当操作虚拟焊接系统时被使用者佩戴的头盔900。图14示出头盔900的前向透视图,所述头盔900可以是用于真实世界应用中并且,如上面所描述的,被改装为包括FMDD的实际焊接头盔。以这种方式,使用者可以佩戴焊接头盔,正如他们在真实世界的情景下一样,其中虚拟环境经由FMDD 140实时地显示给使用者。图15图示说明被集成到焊接头盔900的FMDD 140的示例性实施方案。FMDD 140经由有线装置或以无线的方式可操作地连接到PPS 110和ST 120。根据本发明的各种实施方案,ST 120的传感器142可以被附接到FMD 140或被附接到焊接头盔900,允许FMDD 140和/或焊接头盔900相对于由ST 120创建的3D空间框架的参照被追踪。

[0070] 图16图示说明图1的虚拟焊接系统100的基于可编程处理器的子系统(PPS) 110的子系统方框图的示例性实施方案。根据本发明的实施方案,PPS 110包括中央处理单元(CPU) 111和一个或多个图形处理单元(GPU) 115。在一个实施方案中,一个GPU 115被用来在FMDD 140上提供单视场视觉。在另一实施方案中,两个GPU 115被编程来在FMDD 140上提供立体视觉。在任一种情况中,根据本发明的实施方案,使用者查看具有实时熔融金属流动性和吸热与散热特征的熔池(又叫焊池(weld pool))的虚拟现实仿真。

[0071] 图17图示说明图10的PPS 110的图形处理单元(GPU) 115的方框图的示例性实施方案。每个GPU 115支持数据并行算法的实现。根据本发明的实施方案,每个GPU 115提供能够提供两个虚拟现实视图的两个视频输出118和119。视频输出中的两个可以被传送至FMDD 140,给出焊接者的视野,并且第三视频输出例如可以被路由至ODD 150,给出焊接者的视野或者一些其他的视野。余下的第四视频输出例如可以被路由至投影仪。两个GPU 115执行相同的焊接物理计算,但可以从相同或不同的视野呈现虚拟现实环境。GPU 115包括统一计算设备架构(CUDA) 116和着色器117。CUDA 116是软件开发商通过行业标准编程语言可使用的GPU 115的计算引擎。CUDA 116包括并行核心并且被用于运行本文所描述的熔池仿真的物理模型。CPU 111提供实时焊接输入数据至GPU 115上的CUDA 116。着色器117负责绘制并应用全部的仿真画面。焊道和熔池画面由本文稍后描述的焊元移置图的状态来驱动。根据本

发明的实施方案,物理模型以约每秒30次的速率运行和更新。

[0072] 图18图示说明图1的虚拟焊接系统100的功能方框图的示例性实施方案。如图12所示的虚拟焊接系统100的各种功能块大部分经由运行在PPS 110上的软件指令和模块实现。虚拟焊接系统100的各种功能块包括物理界面1201、焊炬和夹具模型1202、环境模型1203、声音内容功能1204、焊接声音1205、支架/桌台模型1206、内部架构功能1207、校准功能1208、焊接试样模型1210、焊接物理1211、内部物理调节工具(调整装置(tweaker))1212、图形使用者界面功能1213、绘图功能1214、学员报告功能1215、呈现装置1216、焊道呈现1217、3D纹理1218、视觉提示功能1219、评分和公差功能1220、公差编辑器1221以及特殊效果1222。

[0073] 内部架构功能1207提供虚拟焊接系统100的处理的更高等级的软件运算,包括例如加载文件、保持信息、管理线程、启用物理模型以及触发菜单。根据本发明的实施方案,内部架构功能1207运行在CPU 111上。针对PPS 110的特定实时输入包括电弧位置、焊枪位置、FMDD或头盔位置、焊枪启用/关闭状态以及接触产生的状态(是/否)。

[0074] 图形使用者界面功能1213通过ODD 150允许使用者使用物理使用者界面130的操纵杆132设置焊接情景。根据本发明的实施方案,焊接情景的设置包括选择语言,输入使用者姓名,选择实习板(即焊接试样),选择焊接工艺(例如FCAW、GMAW、SMAW)和相关联的轴向喷射、脉冲或短弧方法,选择气体类型和流率,选择手工焊条的类型(例如6010或7018),以及选择焊剂芯焊丝的类型(例如自保护的、气体保护的)。焊接情景的设置还包括选择支架170的桌台高度、臂高度、臂位置以及臂转动。焊接情景的设置进一步包括选择环境(例如虚拟现实空间中的背景环境),设置焊丝送进速度,设置电压电平,设置安培数,选择极性以及启用或关闭特定视觉提示。

[0075] 在仿真的焊接情景期间,绘图功能1214收集使用者表现参数并将所述使用者表现参数提供至图形使用者界面功能1213,来以图形格式进行显示(例如在ODD 150上)。来自ST 120的追踪信息馈入绘图功能1214。绘图功能1214包括简单分析模块(SAM)和抖动(whip)/摆动(weave)分析模块(WWAM)。SAM通过比较焊接参数和储存在焊道表格中的数据分析使用者焊接参数,所述使用者焊接参数包括焊接行进角度、行进速度、焊接角度、位置以及末端到工件间隙距离。WWAM分析使用者抖动参数,包括币状体间隔、抖动时间以及熔池时间。WWAM还分析使用者摆动参数,包括摆动宽度、摆动间隔以及摆动定时。SAM和WWAM将原输入数据(例如位置和定向数据)解释为在功能上可使用的数据,用于进行绘图。针对由SAM和WWAM分析的每个参数,公差窗口由参数限制(parameter limits)围绕使用公差编辑器1221输入焊道表格的最佳或理想设定值来限定,并且评分和公差功能1220被执行。

[0076] 公差编辑器1221包括估计材料使用、电气使用和焊接时间的焊接度量计(weldometer)。此外,当特定参数超出公差时,可能发生焊接不连贯(即焊接缺陷)。任何焊接不连贯的状态由绘图功能1214处理并经由图形使用者界面功能1213以图形格式呈现。这样的焊接不连贯包括不适当的焊缝大小、不佳的焊道布置、凹入的焊道、过于外凸、咬边、多孔、未焊透、夹渣(slag entrapment)、过度填充、烧穿以及过度飞溅。根据本发明的实施方案,不连贯的等级或量取决于特定使用者参数偏离最佳或理想的设定点的程度。

[0077] 不同的参数限制可以针对不同类别的使用者(例如焊接初学者、焊接专家以及在交易展览会中的人)被预先限定。评分和公差功能1220根据使用者接近针对特定参数的最

佳(理想)值的程度并且根据出现在焊接中的不连贯或缺陷的等级提供数字评分。所述最佳值是从真实世界数据获得的。来自评分和公差功能1220和来自绘图功能1214的信息可以被学员报告功能1215使用,来为指导人员和/或学员创建表现报告。

[0078] 虚拟焊接系统100能够分析和显示虚拟焊接活动的结果。通过分析所述结果,意味着虚拟焊接系统100能够确定在该焊接行程期间是何时以及沿焊接接缝是何处,使用者偏离焊接工艺可接受的限定范围。评分可以归因于使用者的表现。在一个实施方案中,评分可以是在多个公差范围上模拟焊接工具160在位置、定向和速度上的偏离的函数,这可以从理想的焊接行程延伸到临界的或不可接受的焊接活动。根据用于对使用者的表现进行评分的选择,多个范围的任何梯度均可以被包括在虚拟焊接系统100中。评分可以以数字的方式或字母数字的方式来显示。此外,使用者的表现可以以图形的方式来显示,在时间上和/或沿焊接接缝的位置上示出所述模拟焊接工具如何接近地横过焊接接缝。诸如行进角度、加工角度、速度以及离焊接接缝的距离的参数是可以被测量的内容的例子,然而出于评分的目的任何参数均可以被分析。所述参数的公差范围取自真实世界的焊接数据,从而提供关于使用者在真实世界中将会如何表现的准确反馈。在另一实施方案中,与使用者的表现对应的缺陷的分析也可以被包括并显示在ODD 150上。在这个实施方案中,可以描绘示出由测量在虚拟焊接活动期间所监控的各种参数而造成的不连贯是何种类型的图形。尽管“吸留(occlusions)”在ODD 150上可能不是可视的,但由于使用者的表现,缺陷仍可能已经发生,使用者的表现结果仍可能会相应地被显示(即图形化)。

[0079] 视觉提示功能1219通过在FMDD 140和/或ODD 150上显示覆盖的颜色和指示标记,向使用者提供立即的反馈。针对焊接参数151中的每个提供视觉提示,焊接参数151包括位置、末端到工件间隙距离、焊接角度、行进角度、行进速度以及电弧长度(例如针对手工焊接),并且如果基于预先限定的限制或公差使用者的焊接技法的某些方面应当被调节,则在视觉上指示所述使用者。例如,还可以针对抖动/摆动技法以及焊道“币状体”间隔提供视觉提示。视觉提示可以独立地或以任何期望的组合被设置。

[0080] 校准功能1208提供使真实空间(3D参考框架)中的实物部件与虚拟现实空间中的可视部件匹配的能力。通过将WC安装到支架170的臂173上,并且利用可操作地连接到ST 120的校准笔(stylus)接触WC预先限定的点(例如由WC上的三处浅凹指示的),每种不同类型的焊接试样(WC)在工厂中被校准。ST 120读取所述预先限定的点处的磁场强度,提供位置信息至PPS 110,并且PPS 110使用所述位置信息来进行所述校准(即从真实世界空间到虚拟现实空间的转换)。

[0081] 任一特定类型的WC在非常严格的公差之内以相同的可重复方式装入支架170的臂714。在一个实施例中,在臂714上试样758和磁体710之间的距离如上面在图2中所阐述的是已知的距离178。因而,一旦特定WC类型被校准,该WC类型无需被重复校准(即特定类型的WC的校准是一次性事件)。相同类型的WC是可互换的。校准确保使用者在焊接工艺期间所感知的物理反馈匹配在虚拟现实空间中向所述使用者显示的内容,使得仿真看上去更加真实。例如,如果使用者围绕实际WC 180的拐角滑动MWT 160的末端,所述使用者将会在FMDD 140上看到所述末端围绕虚拟WC的拐角滑动,就像所述使用者感觉到的所述末端围绕所述实际的拐角滑动那样。根据本发明的实施方案,MWT 160被放置在预先定位的架子(jig)上并且也基于已知的架子位置被校准。

[0082] 根据本发明可替换的实施方案,提供例如在试样的拐角上具有传感器的“智能”试样。ST 120能够追踪“智能”焊接试样的拐角,从而虚拟焊接系统100连续地知晓“智能”焊接试样在真实世界3D空间中的位置。根据本发明的又一可替换实施方案,提供许可密钥来“解锁”焊接试样。当特定WC被购买时,提供许可密钥,允许使用者将所述许可密钥输入虚拟焊接系统100,解锁与该WC相关联的软件。根据本发明的另一实施方案,基于部件的真实世界CAD制图,可以提供特殊的非标准焊接试样。使用者甚至可以在部件于真实世界中实际上被生成之前,能够训练焊接CAD部件。

[0083] 声音内容功能1204和焊接声音1205提供具体类型的焊接声音,所述焊接声音根据特定焊接参数是否在公差内或超出公差而改变。声音根据各种焊接工艺和参数来调整。例如,在MIG喷弧焊工艺中,当使用者未使MWT 160正确定位时提供噼啪的声音,而当MWT 160被正确定位时提供嘶嘶的声音。在短弧焊接工艺中,针对适当的焊接技法提供稳定的噼啪声或“油煎”声(frying sound),而当发生咬边时可以提供嘶嘶的声音。这些声音模仿(mimic)对应于正确和错误焊接技法的真实世界的声音。

[0084] 根据本发明的各种实施方案,高保真声音内容可以使用各种电子和机械装置取自实际焊接的真实世界录音。根据本发明的实施方案,所感知的声音的音量和方向性根据使用者的头部(假设使用者正佩戴由ST 120追踪的FMDD 140)相对于MWT 160和WC 180之间的仿真的电弧的位置、定向和距离而改变。例如,声音可以经由头盔900中的耳塞扬声器或经由配置在控制台135或支架170中的扬声器被提供给使用者。

[0085] 提供环境模型1203来提供虚拟现实空间中的各种背景场景(静止的和运动的)。这样的背景环境可以包括,例如室内焊接车间、室外跑道、车库等,并且可以包括移动的车辆、人、鸟、云以及各种环境声音。根据本发明的实施方案,背景环境可以为交互的。例如,使用者可以在开始焊接之前,需要审视(survey)背景区域以确保环境适于(例如安全)进行焊接。焊炬和夹具模型1202被提供来在虚拟现实空间中建模各种MWT 160(包括例如枪、具有手工焊条的托架等)。

[0086] 试样模型1210被提供来在虚拟现实空间中建模各种WC 180,WC 180包括例如平板试样、T-接头试样、对接-接头试样、坡口焊道试样以及管状试样(例如2英寸直径的管和6英寸直径的管)。可替换地或附加地,焊接试样模型可以包括多种版本,其中试样包括在单个形状因素内的一种或更多种焊接试样类型。例如,示例性多种焊接试样可以在单个部件中包括T-接头、对接-接头以及坡口焊道。支架/桌台模型1206被提供来在虚拟现实空间中建模支架170的各种部件,T/S 170的各种部件包括如在虚拟现实空间所使用的可调节的臂714、底座724以及被用来将可调节的臂耦合到底座的立柱174。物理界面模型1201被提供来在虚拟现实空间中建模焊接使用者界面130、控制台135以及ODD 150的各种部件。

[0087] 根据本发明的实施方案,实现了虚拟现实空间中的熔池或焊池的仿真,其中所述仿真的熔池具有实时熔融金属流动性和散热特征。根据本发明的实施方案,位于熔池仿真的中心的是运行在GPU 115上的焊接物理功能1211(又叫物理模型)。焊接物理功能采用双移置层技术来准确地建模动态流动性/粘滞性(viscosity)、凝固性、热梯度(吸热与散热)、熔池痕迹(wake)以及焊道形状,并且本文结合图14A-14C对此进行更详细的描述。

[0088] 焊接物理功能1211与焊道呈现功能1217连通,来表现焊道从熔融金属状态到冷却固化状态之间的全部状态。焊道呈现功能1217使用来自焊接物理功能1211的信息(例如热、

流动性、移置、币状体间隔),来准确地且逼真地以实时的方式在虚拟现实空间中呈现焊道。3D纹理功能1218将纹理图(texture maps)提供至焊道呈现功能1217,来使附加的纹理(例如焦痕(scorching)、熔渣、颗粒(grain))覆盖到仿真的焊道上。例如,在焊接过程中或焊接过程刚刚结束,熔渣可以被示出出现于焊道上并且然后被移动以露出下面的焊道。呈现装置功能1216用于使用来自特殊效果模块1222的信息表现各种非熔池的具体特征,包括火星(sparks)、飞溅(spatter)、烟尘、电弧光、烟和气体以及特定不连贯性(例如咬边和多孔)。

[0089] 内部物理调节工具1212是允许各种焊接物理参数针对各种焊接工艺被限定、更新和修改的调整装置。根据本发明的实施方案,内部物理调节工具1212运行在CPU 111上并且调节的或更新的参数被下载到GPU 115中。可以经由内部物理调节工具1212被调节的参数类型包括与焊接试样相关联的参数、允许工艺被改变而无需重置焊接试样(允许形成第二焊道(pass))的工艺参数、可以被改变而不会重置整个仿真的各种全局参数以及各种其他参数。

[0090] 图19为使用图1的虚拟焊接系统100的训练方法1300的实施方案的流程图。在步骤1310中,按照焊接技法相对于焊接试样移动模拟焊接工具。在步骤1320中,使用虚拟现实系统在三维空间内追踪模拟焊接工具的位置和定向。在步骤1330中,观看所述虚拟现实焊接系统的显示画面,在仿真的模拟焊接工具通过在从所述仿真的模拟焊接工具射出的仿真的电弧附近形成仿真的熔池,来将仿真的焊道材料堆积到所述仿真的焊接试样的至少一个仿真的表面上时,所述显示画面示出所述模拟焊接工具和所述焊接试样在虚拟现实空间中的实时虚拟现实仿真。在步骤1340中,在所述显示画面上观看所述仿真的熔池的实时熔融金属流动性和散热特征。在步骤1350中,响应于观看所述仿真的熔池的所述实时熔融金属流动性和散热特征而实时地改变所述焊接技法的至少一个方面。

[0091] 方法1300图示说明使用者如何能够观看虚拟现实空间中的熔池并响应于观看仿真的熔池的各种特征(包括实时熔融金属流动性(例如粘滞性)和散热)而改变其焊接技法。使用者还可以观看并响应于其他特征,包括实时熔池痕迹和币状体间隔。观看并响应于熔池的特征是大多数的焊接操作是如何在真实世界中实际上被执行的。焊接物理功能1211的双移置层模型运行在GPU 115上,允许这样的实时熔融金属流动性和散热特征被准确地建模并向使用者展示。例如,散热确定固化时间(即焊元需要多少时间彻底地固化)。

[0092] 另外,使用者可以使用相同或不同的(例如第二)模拟焊接工具和/或焊接工艺,在焊道材料上完成第二焊道。在这样的第二焊道情景中,在仿真的模拟焊接工具通过在从仿真的模拟焊接工具射出的仿真的电弧附近形成第二仿真的熔池,堆积与第一仿真的焊道材料结合的第二仿真的焊道材料时,所述仿真示出虚拟现实空间中的所述仿真的模拟焊接工具、焊接试样以及原始的仿真焊道材料。可以以类似的方式形成使用相同或不同的焊接工具或工艺的附加的后续焊道。根据本发明的特定实施方案,当由先前的焊道材料、新焊道材料以及有可能在下面的试样材料中的任何组合在虚拟现实世界中形成新熔池时,在任一第二或后续焊道中,先前的焊道材料与被堆积的新焊道材料结合。可能需要这样的后续焊道来形成大的填角焊缝或坡口焊缝,例如可以被执行来修复由先前的焊道形成的焊道,或者可以包括高温焊道(hot pass)和在管焊接中完成焊根焊道后的一个或更多个填充和盖面(cap)焊道。根据本发明的各种实施方案,焊道和基底材料可以包括软钢、不锈钢、铝、基于镍的合金或者其他材料。

[0093] 图20A-20B根据本发明的实施方案图示说明焊接元(焊元)移置图1420的概念。图20A示出具有平坦顶部表面1410的平坦焊接试样(WC)1400的侧视图。焊接试样1400以例如塑料部件的形式存在于真实世界中,并且还可以以仿真的焊接试样的形式存在于虚拟现实空间中。图20B示出仿真的WC 1400的顶部表面1410的表征,所述顶部表面1410被分解为形成焊元图1420的焊接元(即焊元)的网格或阵列。每个焊元(例如,焊元1421)限定焊接试样的表面1410的一小部分。焊元图限定了表面分辨率。可改变的通道(channel)参数值被分配给每个焊元,允许每个焊元的值于仿真的焊接工艺期间,在虚拟现实焊缝空间中以实时的方式动态地改变。所述可改变的通道参数值对应于通道熔池(熔融金属流动性/粘滞性移置)、热(吸热/散热)、移置(固体移置)、以及额外内容(各种额外状态,例如熔渣、颗粒、焦痕、原始金属(virgin metal))。本文中将这些可改变的通道称为PHED,PHED分别对应熔池、热、额外内容以及移置。

[0094] 图20图示说明仿真于图1的虚拟焊接系统100中的图14的平坦焊接试样(WC)1400的焊接试样空间和焊缝空间的示例性实施方案。点O、X、Y和Z限定局部3D焊接试样空间。总的来说,每种试样类型限定从3D试样空间到2D虚拟现实焊缝空间的映射。图20的焊元图1420为映射到虚拟现实焊缝空间的值的二维矩阵。如在图20中所示的,使用者将从点B到点E进行焊接。在图20中,在3D焊接试样空间和2D焊缝空间二者中示出从点B到点E的轨迹线。

[0095] 每种类型的焊接试样针对焊元图中的每个位置限定移置的方向。对于图21的平坦焊接试样,焊元图(即,在Z方向上)中的全部位置的移置方向是相同的。为阐明所述映射,在3D焊接试样空间和2D焊缝空间二者中将焊元图的纹理坐标示为S、T(有时称为U、V)。焊元图被映射到并且表征焊接试样1400的矩形表面1410。

[0096] 图22图示说明仿真于图1的虚拟焊接系统100的拐角(T型接头)焊接试样(WC)1600的焊接试样空间和焊缝空间的示例性实施方案。拐角WC 1600具有在3D焊接试样空间中的两个表面1610和1620,所述两个表面1610和1620如在图22所示的被映射到2D焊缝空间。同样,点O、X、Y和Z限定局部3D焊接试样空间。为阐明所述映射,在3D焊接试样空间和2D焊缝空间二者中将焊元图的纹理坐标示为S、T。如在图22中所示的,使用者将从点B到点E进行焊接。在图22中,在3D焊接试样空间和2D焊缝空间二者中示出从点B到点E的轨迹线。然而,移置的方向是朝向如在3D焊接试样空间中示出的线条X'-O',如图22所示地朝向相对的拐角。

[0097] 图23图示说明仿真于图1的虚拟焊接系统100中的管状焊接试样(WC)1700的焊接试样空间和焊缝空间的示例性实施方案。管状WC 1700在3D焊接试样空间中具有弯曲的表面1710,所述表面1710如图23所示地被映射到2D焊缝空间。同样,点O、X、Y和Z限定局部3D焊接试样空间。为阐明所述映射,在3D焊接试样空间和2D焊缝空间二者中将焊元图的纹理坐标示为S、T。如在图23中所示的,使用者将从点B到点E沿弯曲的轨迹进行焊接。在图23中,分别在3D焊接试样空间和2D焊缝空间示出从点B到点E的轨迹曲线和线。移置的方向远离线条Y-O(即远离管的中心)。

[0098] 以与纹理图可以被映射到几何结构的矩形表面区域的类似方式,可焊接焊元图可以被映射到焊接试样的矩形表面。在与图像的每个元被称作像元(图像元的缩写)相同的意义上,可焊接图的每个元被称作焊元。像元包含限定颜色(例如红色、绿色、蓝色等)的信息通道。焊元包含限定在虚拟现实空间中可焊接表面的信息通道(例如P、H、E、D)。

[0099] 根据本发明的实施方案,焊元的格式被归结为包含四个浮点数的通道PHED(熔池、

热、额外内容、移置)。额外的通道被用作储存关于焊元的逻辑信息(例如,在所述焊元位置是否存在任何熔渣)的一组二进制数。熔池通道储存针对所述焊元位置的任何液化的金属的移置值。移置通道储存针对所述焊元位置的固化的金属的移置值。热通道储存给出在所述焊元位置的热量级的值。以这种方式,焊接试样的可焊接部分可以示出因被焊接的焊道而产生的移置、因液态金属而产生的闪烁的表面“熔池”、因热而产生的颜色等。所有这些效果均通过被施加到可焊接的表面的顶点着色器和像元着色器来实现。

[0100] 根据本发明的实施方案,使用移置图和粒子系统,其中粒子可以彼此相互作用并碰撞移置图。所述粒子是虚拟的动态流体粒子并且提供熔池的液体行为,但不是直接地呈现(即不是直接可见的)。相反,只有在所述移置图上的粒子作用是在视觉上可见的。输入到焊元的热影响邻近粒子的运动。涉及仿真熔池的有两种类型的移置,这两种类型的移置包括熔池和移置。熔池是“临时的”并且仅持续于存在粒子并出现热的时候。移置是“永久的”。熔池移置是快速变化(例如闪烁)的焊缝液态金属并且可以被看作是在移置的“顶部”。粒子覆盖虚拟表面移置图(即焊元图)的一部分。移置表征永久的固体金属,所述永久的固体金属包括最初的基底金属和已固化的焊道二者。

[0101] 根据本发明的实施方案,在虚拟现实空间中仿真的焊接工艺以以下方式工作:粒子从薄型锥状部件中的发射器(仿真的MWT 160的发射器)流出。所述粒子第一次接触仿真的焊接试样的表面,其中所述表面由焊元图限定。所述粒子彼此相互作用且与焊元图相互作用,并且以实时的方式累积起来。焊元越靠近发射器,则加的热越多。热根据与电弧点的距离和热从电弧输入的时间量被建模。特定图形部分(例如颜色等)是由热驱动的。针对足够高温的焊元,在虚拟现实空间中绘制或呈现熔池。无论何处只要足够热,焊元图液化,导致针对这些焊元位置熔池移置“升起”。通过在每个焊元位置采样“最高的”粒子来确定熔池移置。当发射器沿焊缝轨迹前进时,留下的焊元位置冷却。热以特定速率从焊元位置被移除。当达到冷却阈值时,焊元图固化。这样,熔池移置逐渐被转化为移置(即固化的焊道)。增加的移置等于去除的熔池,从而整体高度并未改变。调整或调节粒子的寿命以在固化完成之前得以存留。被建模于虚拟焊接系统100中的特定粒子特性包括吸引/排斥、速度(相对于热)、润湿(相对于散热)、方向(相对于重力)。

[0102] 图24A-24C图示说明图1的虚拟焊接系统100的双移置(移置和粒子)熔池模型的概念的示例性实施方案。在虚拟现实空间内仿真具有至少一个表面的焊接试样。在虚拟现实空间内仿真焊接试样的表面,形成包括固体移置层和熔池移置层的双移置层。熔池移置层能够改变固体移置层。

[0103] 如本文所描述的,“熔池”由焊元图的一区域限定,其中熔池值已经由于粒子的存在而提高。采样过程被表征于图24A-24C。示出焊元图的一具有七个邻近焊元的区段。当前的移置值由具有给定高度的无阴影的矩形条1910表征。在图24A中,粒子1920被示为与当前移置水平面碰撞的圆形无阴影的点并且被堆集。在图24B中,“最高的”粒子高度1930在每个焊元位置被采样。在图24C中,带阴影的矩形1940示出由于粒子的缘故,移置的顶部上已增加多少熔池。由于熔池以基于热的特定液化率被增加,焊缝熔池高度不会立即被置为采样的值。尽管未在图24A-24C中示出,使所述固化过程可视化是可能的,如熔池(带阴影的矩形)逐渐缩小而移置(无阴影的矩形)从下面逐渐增大以正好替换所述熔池。以这种方式,实时熔融金属流动性特征被准确地仿真。当使用者练习特定焊接工艺时,使用者能够在实时

虚拟现实空间中观察熔池的熔融金属流动性特征和散热特征,并且使用该信息来调节或保持其焊接技法。

[0104] 表征焊接试样的表面的焊元的数目是固定的。另外,如本文所描述的,由仿真生成来建模流动性的熔池粒子是临时的。因而,一旦使用虚拟焊接系统100在仿真的焊接工艺期间于虚拟现实空间内生成原始熔池,焊元加上熔池粒子的数目往往是保持相对恒定的。这是因为在焊接工艺期间,正在被处理的焊元的数目是固定的,并且由于熔池粒子以相似的速率(即熔池粒子是临时的)正被创建和“销毁”,存在的且正在被处理的熔池粒子的数目趋于保持相对恒定。因此,在仿真的焊接阶段期间,PPS 110的处理负载保持相对恒定。

[0105] 根据本发明可替换的实施方案,熔池粒子可以被生成在焊接试样的表面中或在焊接试样的表面下方。在这样的实施方案中,移置可以以相对于初始(即未被焊接的)焊接试样的原始表面移置为正向或负向的方式被建模。以这种方式,熔池粒子可以不仅在焊接试样的表面上建立,还可以熔透焊接试样。然而,焊元的数目仍是固定的,并且被创建和销毁的熔池粒子仍是相对恒定的。

[0106] 根据本发明可替换的实施方案,可以提供具有更多通道的焊元移置图来建模熔池的流动性而不是建模粒子。或者,可以建模稠密的体元图(voxel map)而不是建模粒子。如本文所使用的,体元(例如体积像元)是体积元,表征三维空间中规则网格上的值。或者,可以只建模被采样并且永远不会消失的粒子,而不是建模焊元图。然而,这样的可替换实施方案可能不为系统提供相对恒定的处理负载。

[0107] 此外,根据本发明的实施方案,通过将材料移走来仿真穿透(blowthrough)或透孔(keyhole)。例如,如果使用者在真实世界中将电弧保持在同一位置过长时间,材料将会燃掉造成孔洞。这样的真实世界穿透通过焊元抽选技术(decimation techniques)被仿真于虚拟焊接系统100。如果由一焊元吸收的热量被虚拟焊接系统100确定为太高,该焊元可以被标记或被指定为是被烧掉的并且以此进行呈现(例如被呈现为孔洞)。然而,接下来,针对特定焊接工艺(例如管焊接)可以发生焊元重建,其中在最初被烧掉后,材料被添加回去。总之,虚拟焊接系统100仿真焊元抽选(将材料移走)和焊元重建(即将材料添加回去)。另外,在焊根焊道焊接中移除材料的操作被适当地仿真于虚拟焊接系统100。

[0108] 另外,在焊根焊道焊接中移除材料的操作被适当地仿真于虚拟焊接系统100。例如,在真实世界中,在进行后续焊接行程之前,可以执行焊根焊道的打磨。类似地,虚拟焊接系统100可以仿真将材料从虚拟焊接接缝移除的打磨行程操作。要理解的是,被移除的材料可以被建模为焊元图上的负向移置。也就是说,移除材料的打磨焊道操作由虚拟焊接系统100建模,导致改变的焊道轮廓。打磨行程操作的仿真可以是自动的,这也就是说,虚拟焊接系统100移除一预先确定厚度的材料,所述预先确定厚度的材料可以是对应焊根焊道的焊道表面。

[0109] 在可替换的实施方案中,实际打磨工具或磨机(grinder)可以被仿真为通过模拟焊接工具160或另一输入装置的激活而启用或关闭。注意的是,打磨工具可以被仿真来效仿(resemble)真实世界的磨机。在该实施方案中,使用者沿焊根焊道操纵(manuever)打磨工具以响应所述打磨工具的运动而移除材料。要理解的是,使用者可以被允许移除过多的材料。以与上述类似的方式,如果使用者打磨掉过多的材料则可能导致孔洞或其他(上述的)缺陷。再有,可以实现(即被编程)强制限位或停止,来防止使用者移除过多的材料或在过多

的材料正被移除时进行提示。

[0110] 根据本发明的实施方案,除本文所描述的不可视的“熔池”粒子外,虚拟焊接系统100还使用其他三种类型的可视粒子来表征电弧效果、火焰效果以及火星效果。这些类型的粒子不会与任何其他类型的其他粒子相互作用,而仅会与移置图相互作用。尽管这些粒子确实与仿真的焊接表面碰撞,但它们彼此不会相互作用。根据本发明的实施方案,仅有熔池粒子会彼此相互作用。火星粒子的物理特征被这样设置,从而在虚拟现实空间中火星粒子四处跳窜并且被呈现为发光的点(glowing dots)。

[0111] 电弧粒子的物理特征被这样设置,从而电弧粒子撞击(hit)仿真的试样表面或焊道并且停留一段时间。电弧粒子在虚拟现实空间中被呈现为较大的暗青白色点。采用许多叠加的这样的点来形成任一种可视图像。最终结果是具有蓝色边缘的白色发光光环(nimbus)。

[0112] 火焰粒子的物理特征被建模来缓慢地向上升起。火焰粒子被呈现为中等大小的暗红黄色点。采用许多叠加的这样的点来形成任一种可视图像。最终结果是向上升起并淡出的(fading out)具有红色边缘的橙红色火焰团。根据本发明的其他实施方案,其他类型的非熔池粒子可以被实现在虚拟焊接系统100中。例如,可以以与火焰粒子类似的方式建模并仿真烟尘粒子。

[0113] 仿真的可视化过程中最后的步骤由GPU 115的着色器117所提供的顶点着色器和像元着色器来处理。顶点着色器和像元着色器提供熔池和移置以及由于热而改变的表面颜色和发射率等。如本文前面所述的PHED焊元格式中的额外(E)通道包含每个焊元处所使用的所有额外信息。根据本发明的实施方案,额外信息包括非初始位(真=焊道,假=初始钢铁)、熔渣位、咬边值(在该焊元处咬边的量,其中零等于无咬边)、多孔值(在该焊元处多孔的量,其中零等于无多孔),以及编码焊道固化时间的所述焊道痕迹(wake)值。存在一组与不同焊接试样画面相关联的图像映射,包括初始钢铁、熔渣、焊道和多孔。这些图像映射被用于凹凸映射和纹理映射二者中。这些图像映射融合(blending)的量由本文所描述的各种标记和值来控制。

[0114] 使用1D图像映射以及每个焊元焊道痕迹值实现焊道痕迹效果,所述每个焊元焊道痕迹值编码焊道的给定部分(a given bit)被固化的时间。一旦高温熔池焊元位置不再被称为“熔池”的足够高温,时间被保存在该位置并且被称为“焊道痕迹”。最终结果是着色器代码能够使用1D纹理映射来绘制“波痕(ripples)”,所述“波痕”给出刻画(portray)所述焊道被铺设的方向的独特的外观。根据本发明可替换的实施方案,虚拟焊接系统100能够在虚拟现实空间内仿真并显示焊道,所述焊道具有当所述仿真的熔池沿着焊缝轨迹移动时由所述仿真的熔池的实时流动性到固化过渡造成的实时焊道痕迹特征。

[0115] 根据本发明可替换的实施方案,虚拟焊接系统100能够教导使用者如何对焊接机器进行故障排解(troubleshoot)。例如,系统的故障排解模式可以训练使用者确保其正确地(例如正确的气体流率、连接正确的电源线等)设置所述系统。根据本发明另一可替换的实施方案,虚拟焊接系统100能够记录并重放焊接过程(或者至少焊接过程的一部分,例如N帧)。可以提供轨迹球(track ball)来滚动视频的帧,允许使用者或者指导人员评论焊接过程。还可以以可选择的速度(例如全速、半速、四分之一速度)提供重放。根据本发明的实施方案,可以提供分屏(split-screen)重放,例如允许在ODD 150上并排地(side-by-side)观

看两个焊接过程。例如出于对比的目的，“好的”焊接过程可以靠近“差的”焊接过程被观看。

[0116] 总而言之，公开了一种实时虚拟现实焊接系统，所述系统包括基于可编程控制器的子系统、空间追踪器、至少一个模拟焊接工具以及至少一个显示装置，所述空间追踪器可操作地连接到所述基于可编程控制器的子系统，所述至少一个模拟焊接工具能够被所述空间追踪器在空间上追踪，所述至少一个显示装置可操作地连接到所述基于可编程控制器的子系统。虚拟现实焊接系统被设计来提供便携使用，其中紧凑的支架被用来将焊接试样保持在空间中，以与模拟焊接工具一起使用。模拟焊接工具包括可以耦合到多个适配器的共同基座，其中每个适配器仿真一特定的焊接类型。以这种方式，所述系统能够在虚拟现实空间中仿真具有实时熔融金属流动性和散热特征的熔池。所述系统还能够在所述显示装置上实时地显示所述仿真的熔池。

[0117] 上面实施例只是图示说明本发明各种方面的几种可能的实施方案，其中本领域技术人员根据阅读和理解本说明书和附图会想到等同的变更和/或修饰。特别地，相对于被上面描述的部件（组件、设备/装置、系统和电路等等）执行的各种功能，用来描述这样的部件的术语（包括涉及“装置（means）”）意图与执行被描述部件（例如功能上是等同的部件）的具体功能的任何部件（例如硬件、软件或其中的组合）相对应，除非以其他方式被指出，即使结构上不等同于执行本发明图示说明的实现方式中的功能的公开结构。此外，尽管本发明的特定特征相对于只是几种实现方式中的一个可能已被公开，当针对任何给出的或特定的应用是期望的且有利时，这样的特征可以与其他实现方式的一个或更多个其他特征结合。还有，在某种程度，术语“包含（including）”、“包含（includes）”、“具有（having）”、“具有（has）”、“带有（with）”或其中的变形在详细的说明书和/或权利要求中被使用，这样的术语以类似于术语“包括（comprising）”的方式意图是包括性的。如本文所采用的，术语“基准”和“基准点”指的是自其进行测量的参照。

[0118] 本书面说明书使用实施例来公开本发明，包括最佳实施模式，并且也使本领域普通技术人员能够实行本发明，包括制作和使用任何装置或系统以及执行任何并入的方法。本发明可取得专利权的范围由权利要求书限定，并且可以包括本领域技术人员想到的其他实施例。这样的其他实施例意图在权利要求书的范围内，如果它们具有不是不同于权利要求的书面语言的结构要素，或者如果它们包括和权利要求书的书面语言无实质不同的等同结构要素。

[0119] 参考标号：

[0120]	100	虚拟焊接系统	318	接口
[0121]	110	基于可编程处理器的子系统	400	手工焊接工具
[0122]	111	中央处理单元	410	仿真的手工焊条
[0123]	112	存储器	422	夹持器
[0124]	114	处理器	500	可燃气焊炬
[0125]	115	图形处理单元	510	嘴
[0126]	116	统一计算设备架构	518	接口
[0127]	117	着色器	520	按钮
[0128]	118	视频输出	522	颈圈
[0129]	119	视频输出	600	基座

[0130]	120	空间追踪器	610	接口
[0131]	130	焊接使用者界面	614	靠接部
[0132]	132	操纵杆	616	凹处
[0133]	140	架置于面部的显示装置	618	按钮
[0134]	142	传感器	620	本体
[0135]	146	头盔	630	硬线线缆
[0136]	150	显示装置	640	紧固件
[0137]	160	模拟焊接工具	652	传感器
[0138]	162	适配器	654	线缆
[0139]	166	基座	658	紧固件
[0140]	168	传感器	672	叶板
[0141]	170	支架	700	支架
[0142]	172	磁体	710	磁体
[0143]	178	预定距离	714	臂
[0144]	180	焊接试样	722	立柱
[0145]	200	系统	724	底座
[0146]	300	焊枪	732	柱塞
[0147]	310	嘴	738	靠接部
[0148]	312	管	758	焊接试样
[0149]	762	销	1217	焊道呈现
[0150]	764	销	1218	3D纹理
[0151]	766	孔	1219	视觉提示功能
[0152]	768	孔	1220	评分/公差功能
[0153]	800	模拟焊接工具	1221	公差编辑器
[0154]	810	容器	1222	特殊效果
[0155]	830	使用者界面	1300	方法
[0156]	832	选择器	1310	步骤
[0157]	836	温度测量装置	1320	步骤
[0158]	838	电流测量装置	1330	步骤
[0159]	842	电压测量装置	1340	步骤
[0160]	854	步骤	1350	步骤
[0161]	856	步骤	1400	平坦焊接试样
[0162]	860	可替换的使用者界面	1410	平坦顶部表面
[0163]	900	头盔	1420	移置图
[0164]	1201	物理界面	1421	焊元
[0165]	1202	焊炬/夹具模型	1600	焊接试样
[0166]	1203	环境模型	1610	表面
[0167]	1204	声音内容功能	1620	表面
[0168]	1205	焊接声音	1700	管焊接试样

[0169]	1206	支架/桌台模型	1710	弯曲的表面
[0170]	1207	内部架构功能	1910	矩形条
[0171]	1208	校准功能	1920	粒子
[0172]	1210	焊接试样模型	1930	粒子高度
[0173]	1211	焊接物理	1940	带阴影的矩形
[0174]	1212	内部物理调节工具	6010	手工焊条
[0175]	1213	使用者界面功能	7018	手工焊条
[0176]	1214	绘图功能		
[0177]	1215	学员报告功能	B	点
[0178]	1216	呈现装置	D	信息通道
[0179]	E	点/信息通道		
[0180]	H	信息通道		
[0181]	O	点		
[0182]	O'	线		
[0183]	P	信息通道		
[0184]	S	纹理坐标		
[0185]	T	纹理坐标		
[0186]	U	纹理坐标		
[0187]	V	纹理坐标		
[0188]	X	点		
[0189]	X'	线		
[0190]	Y	点		
[0191]	Z	点		

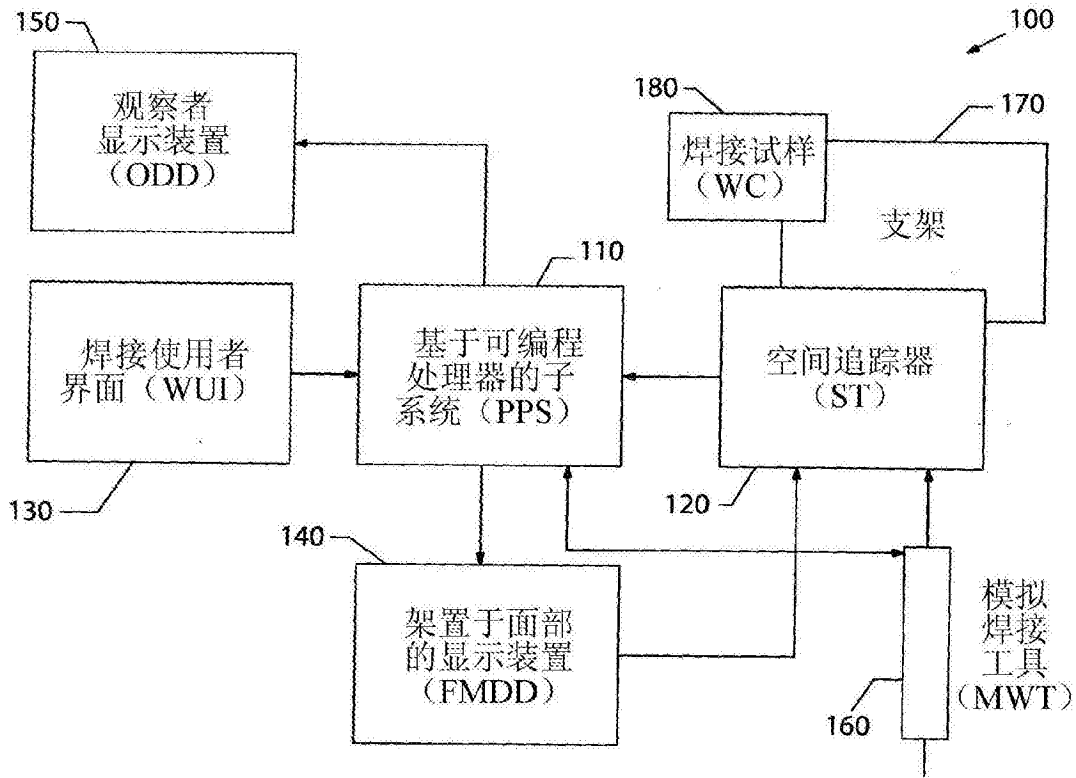


图1

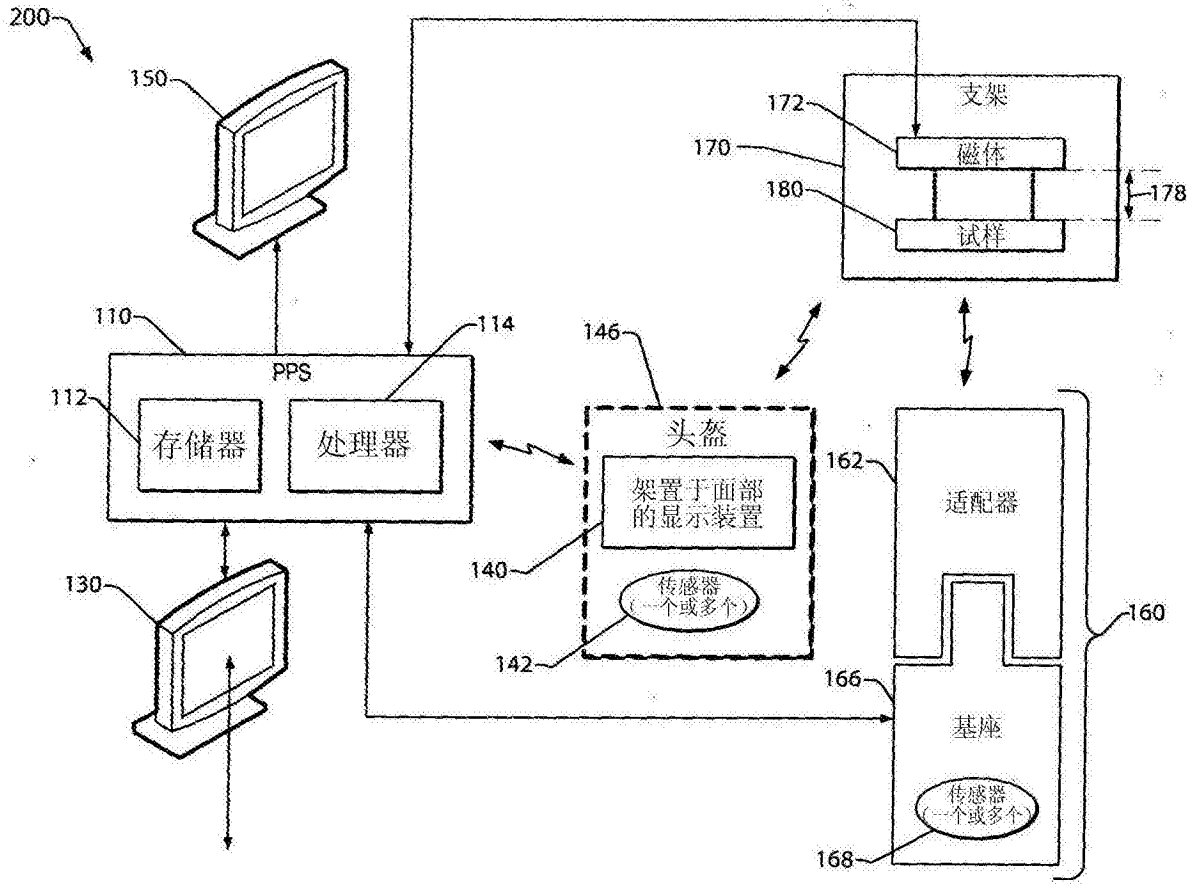


图2

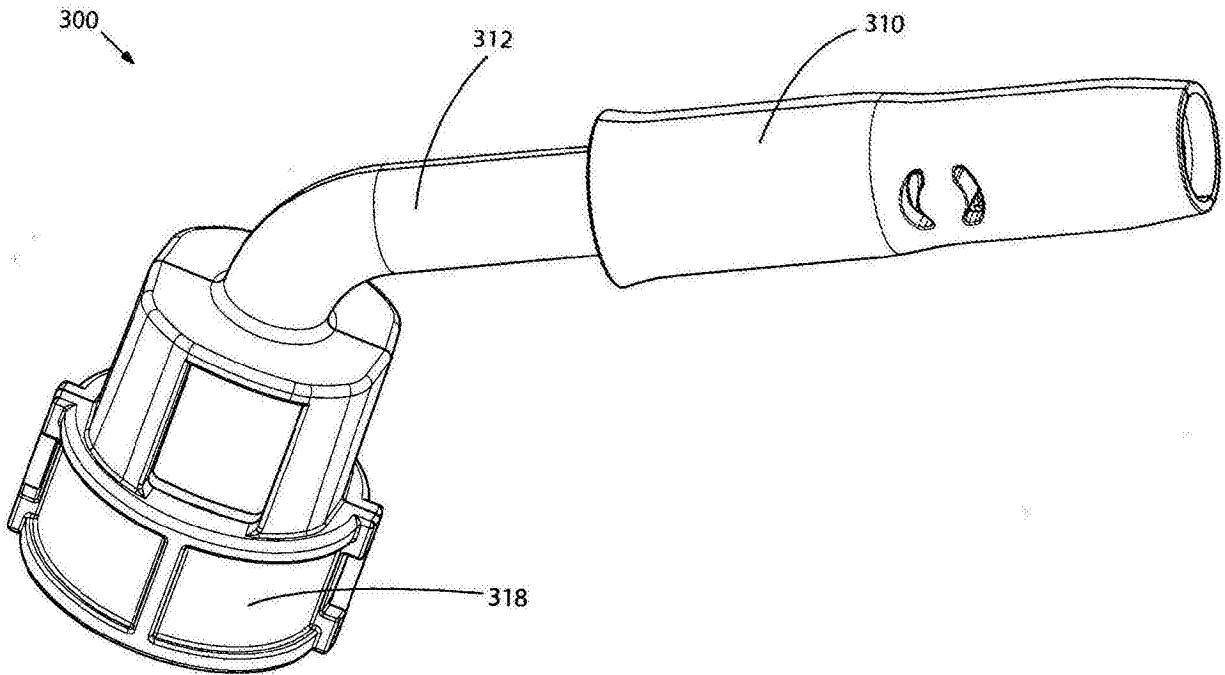


图3

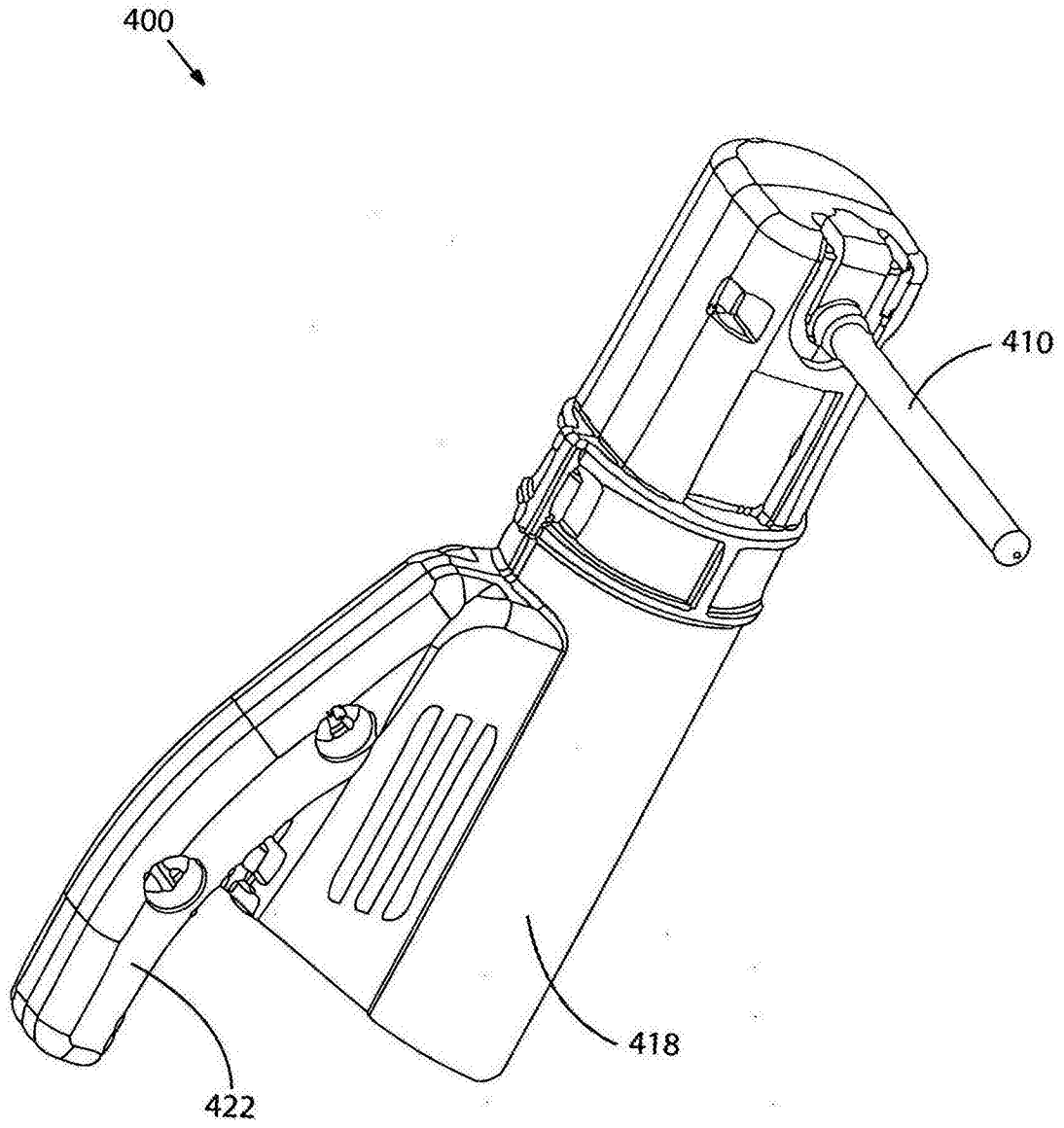


图4

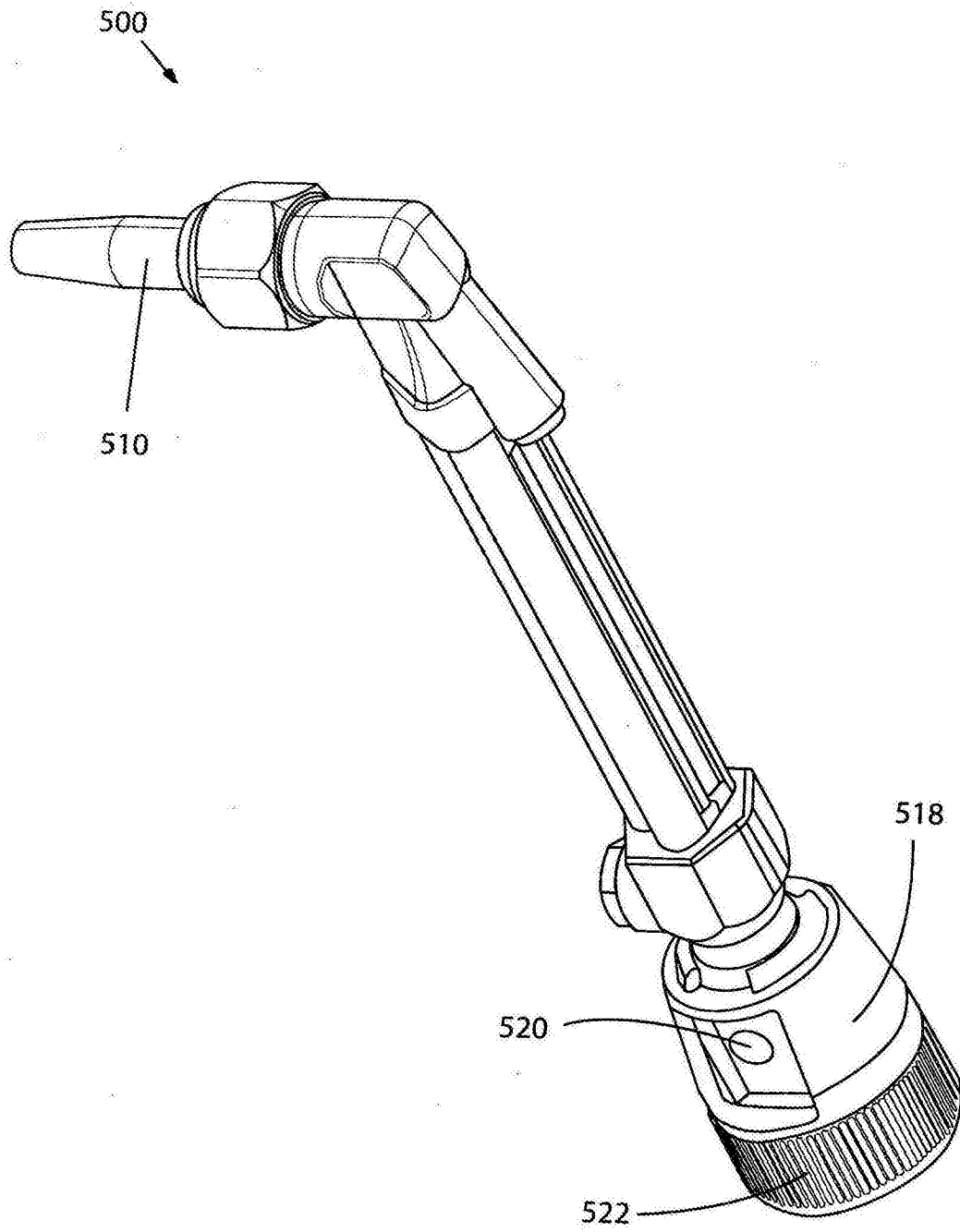


图5

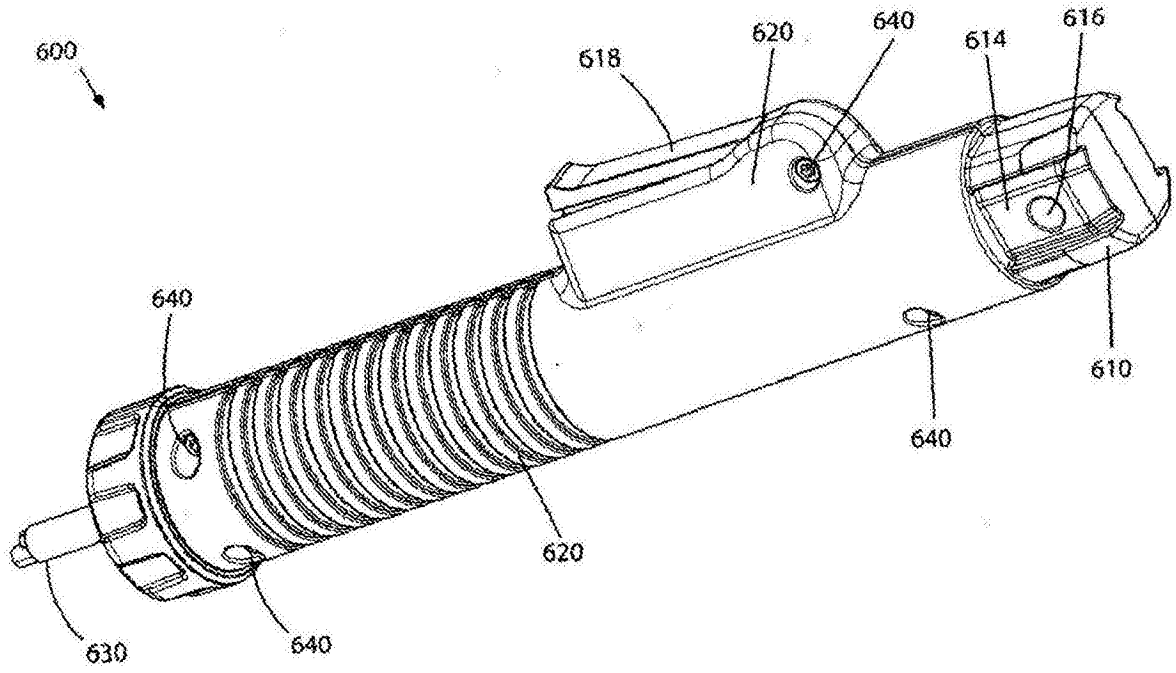


图6

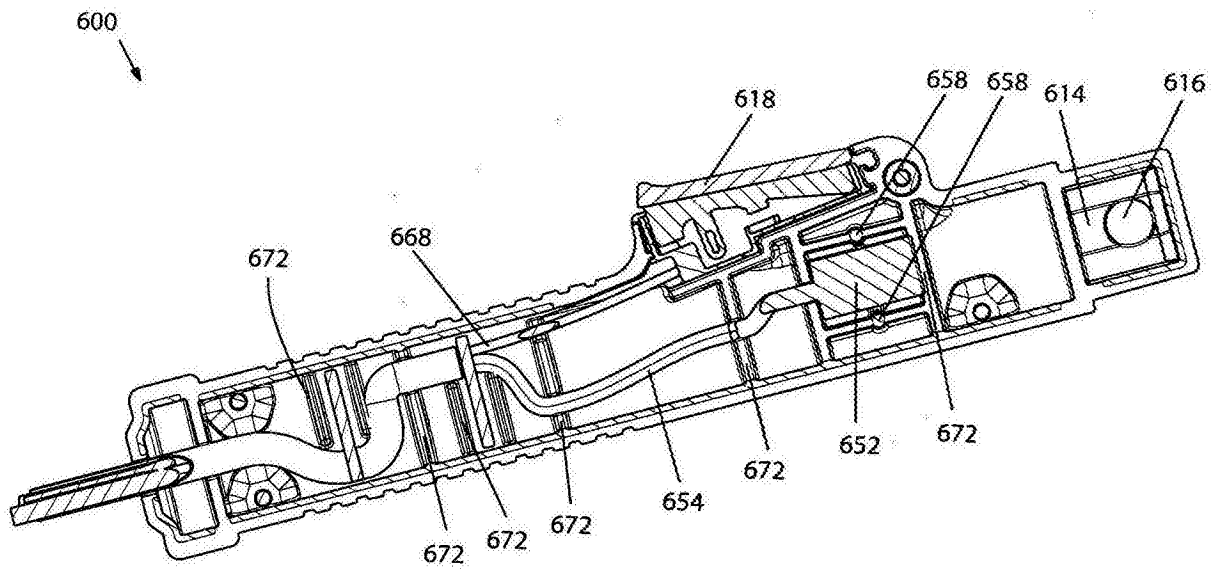


图7

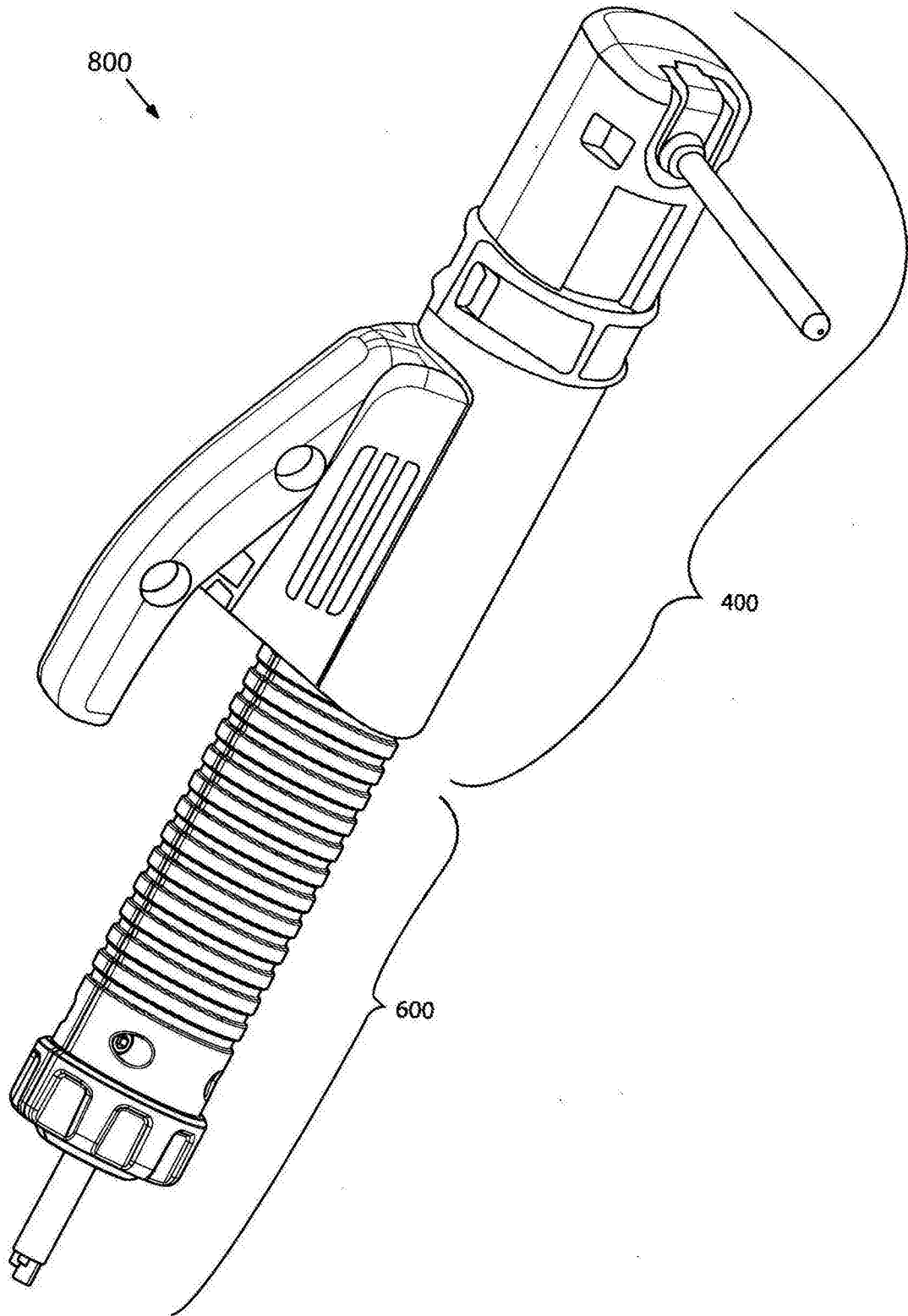


图8A

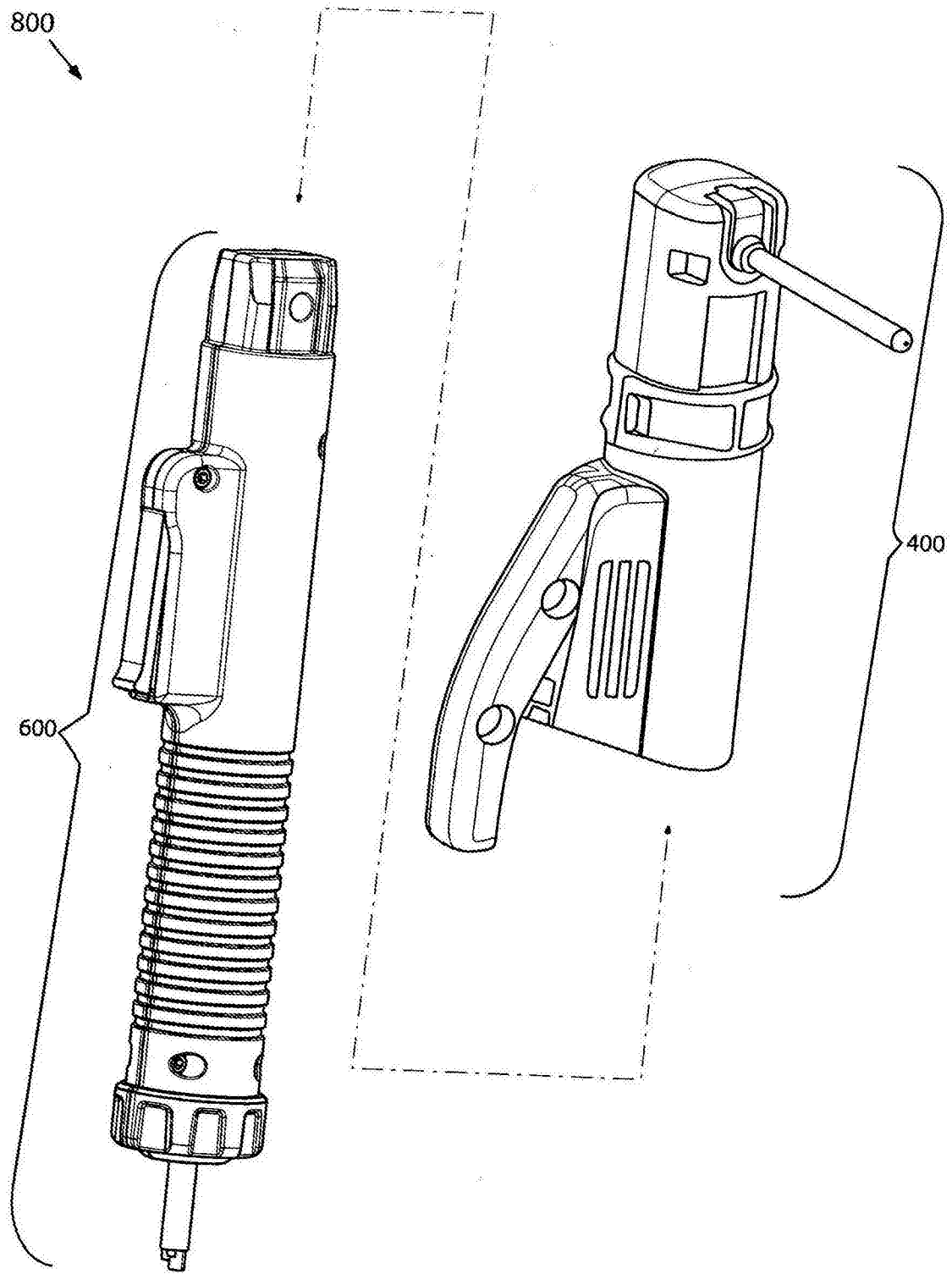


图8B

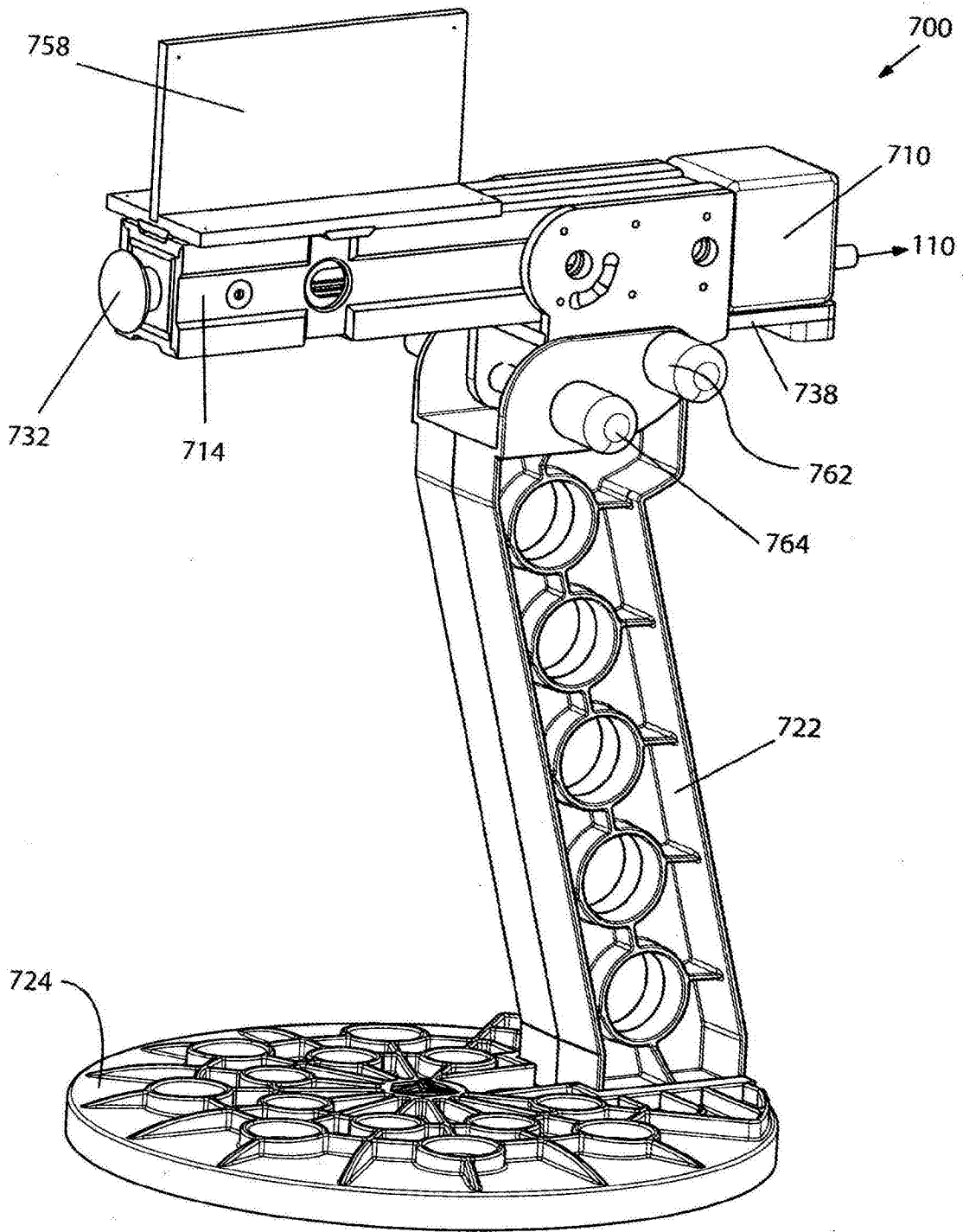


图9

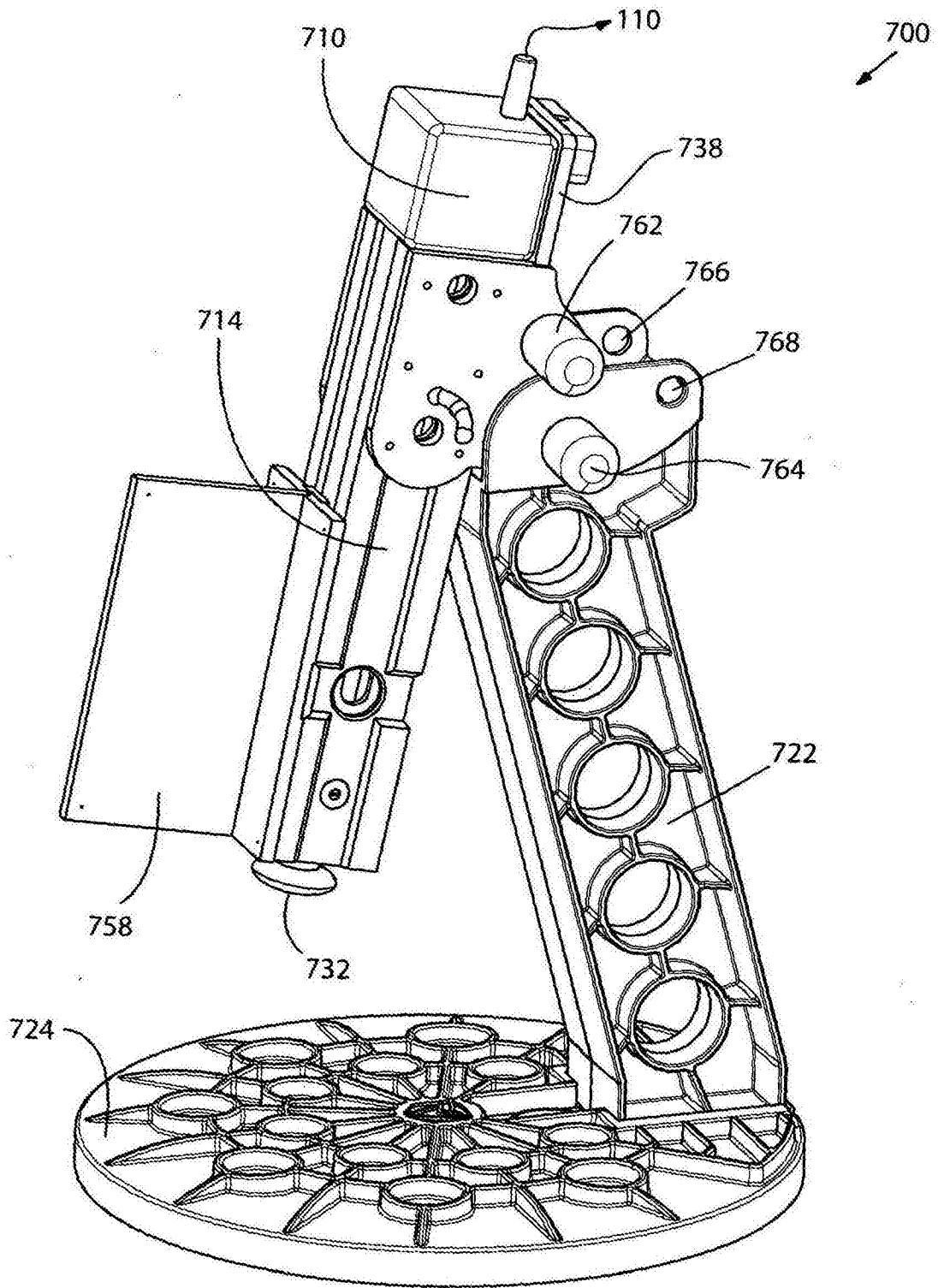


图10

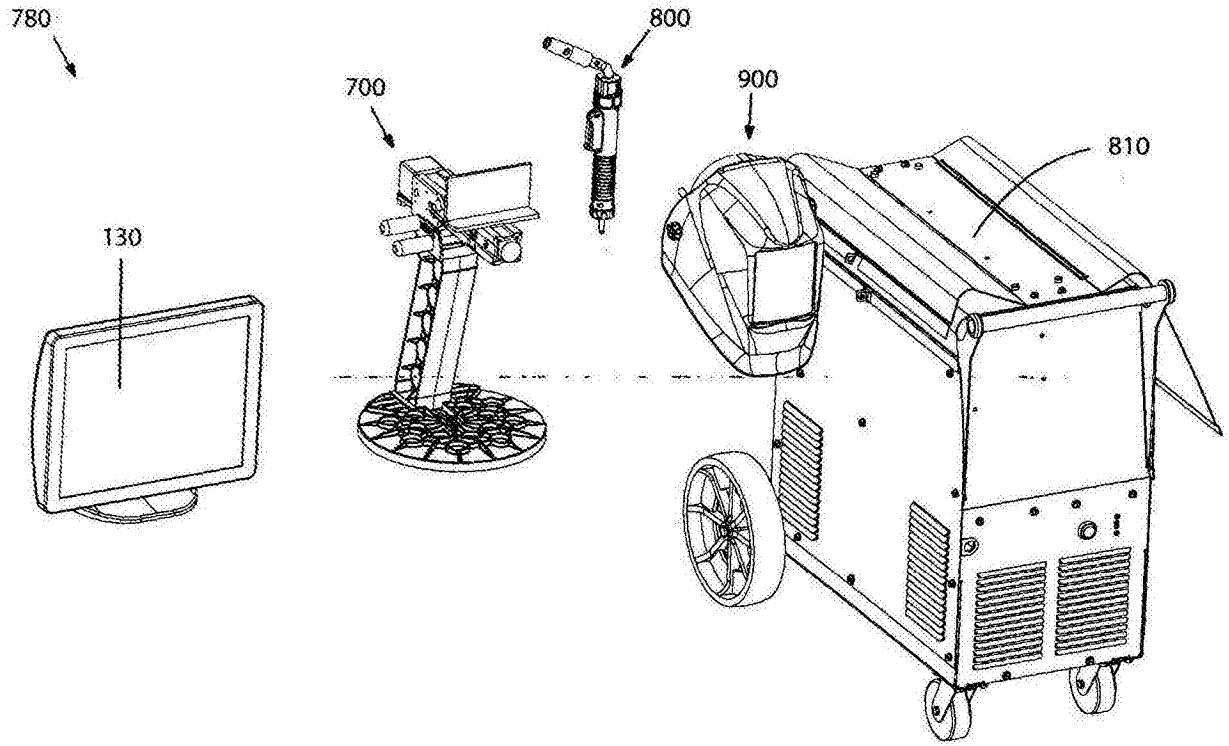


图11

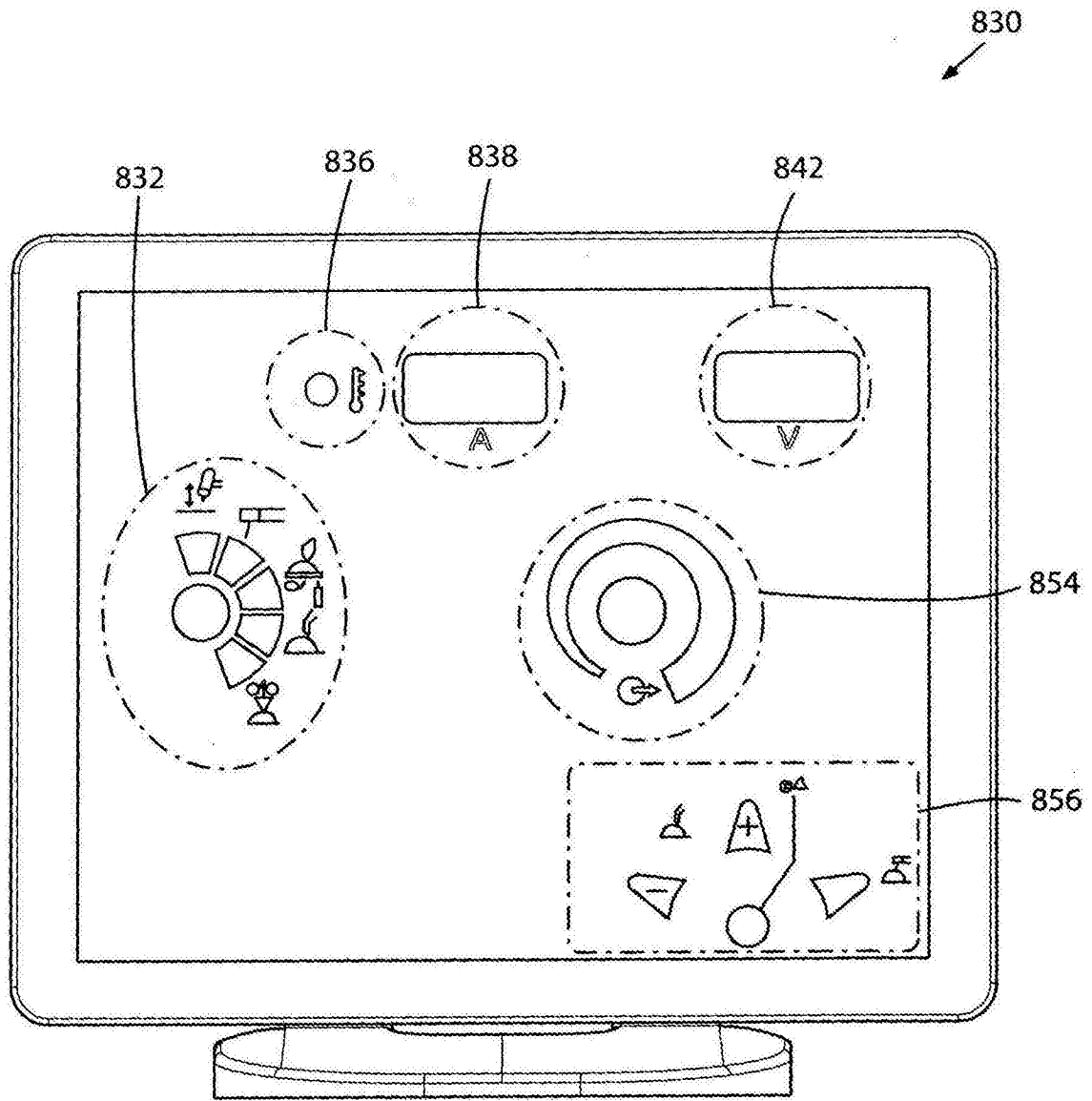


图12

860

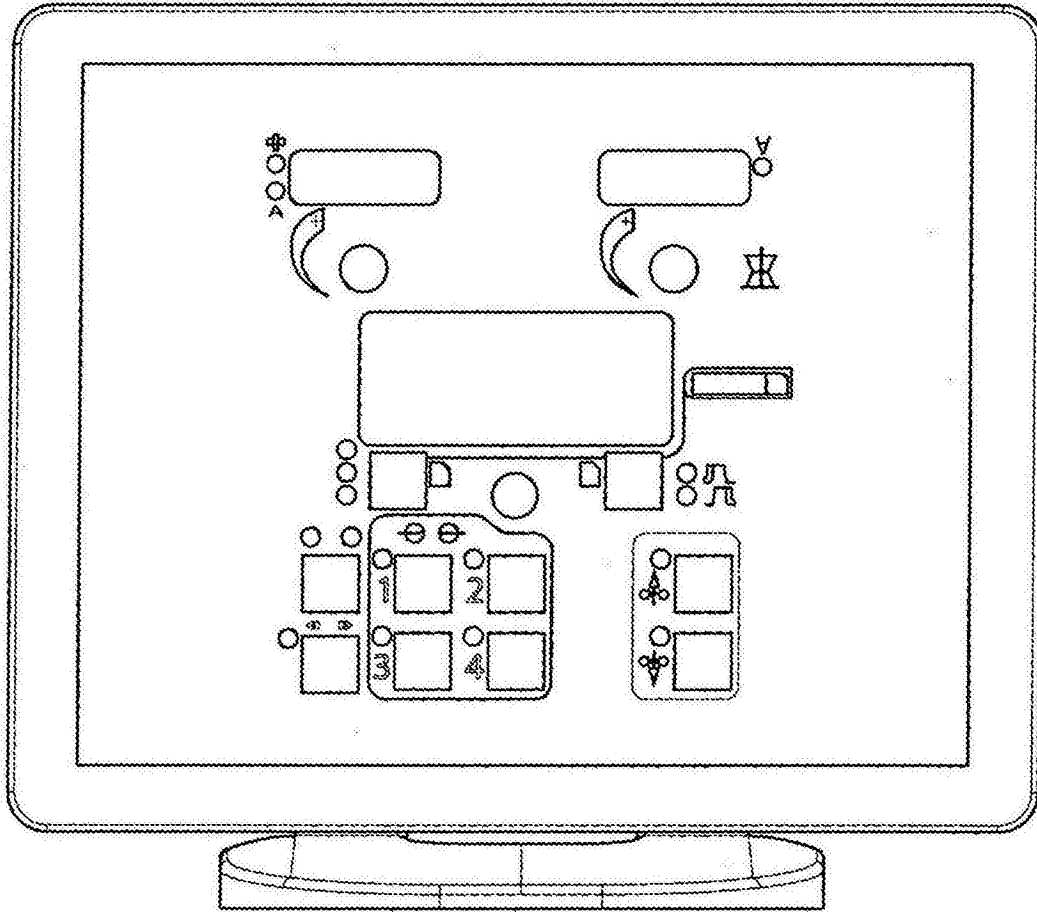


图13

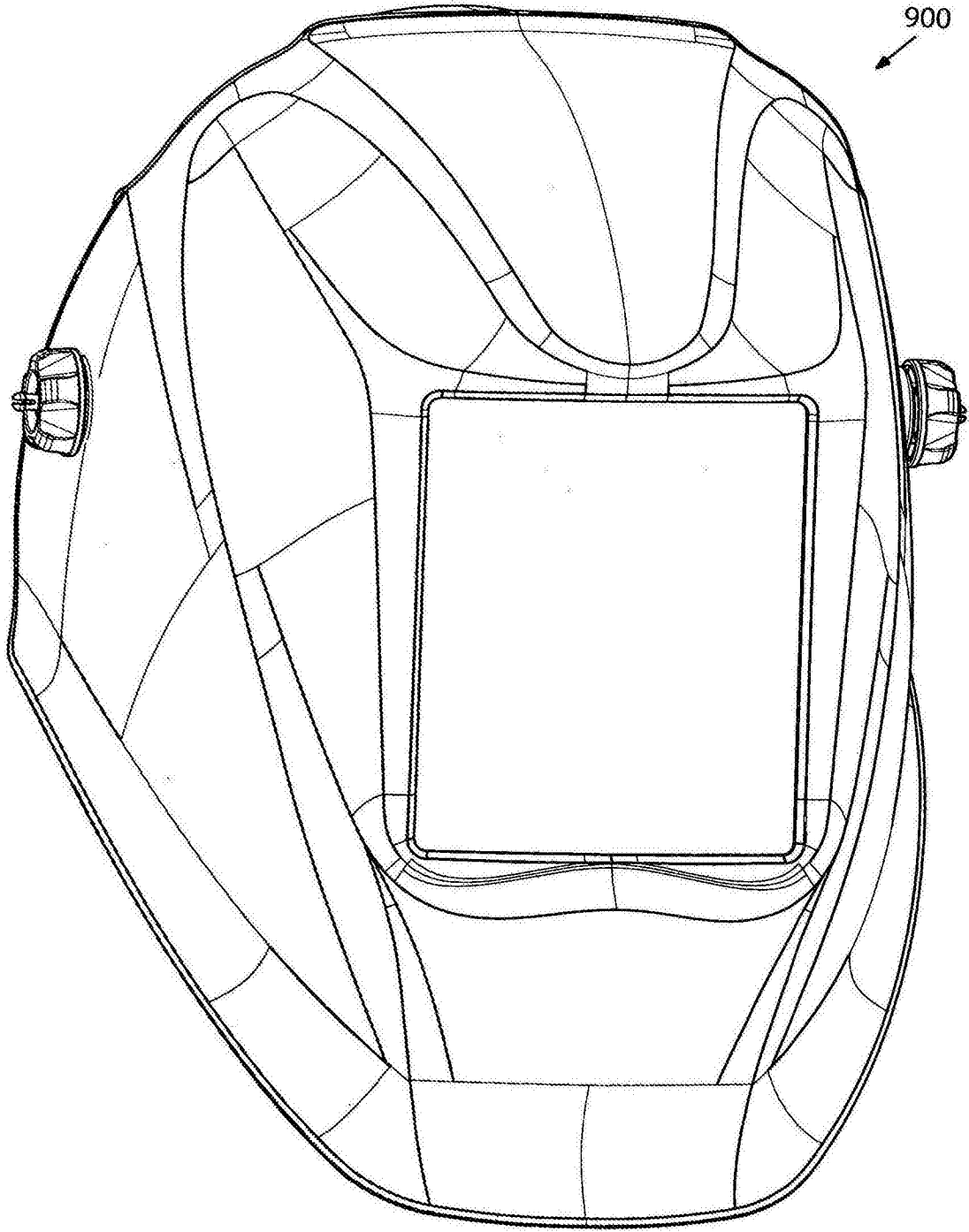


图14

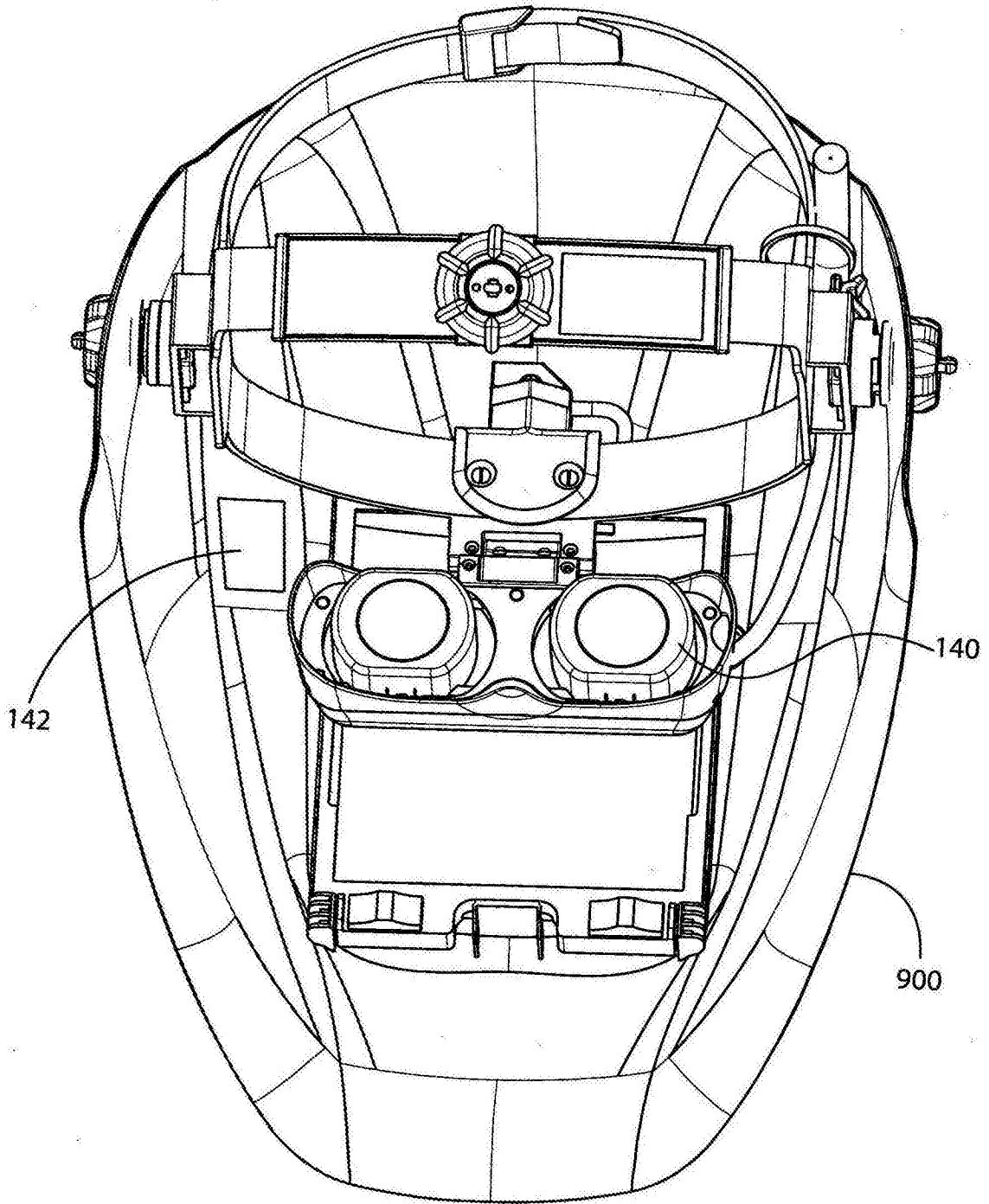


图15

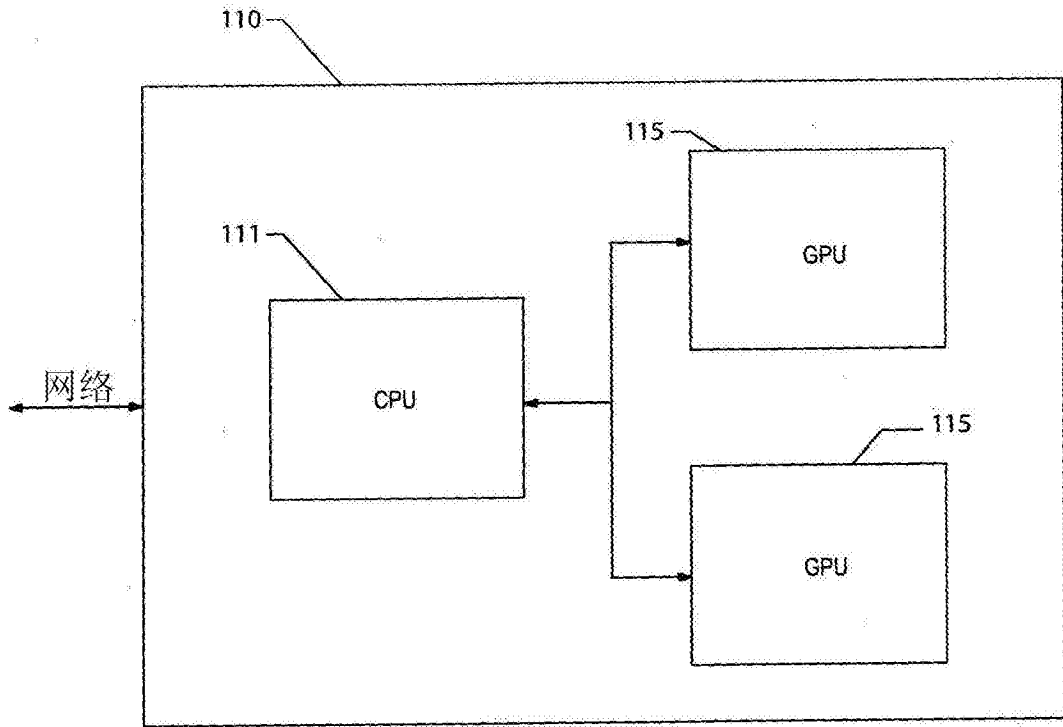


图16

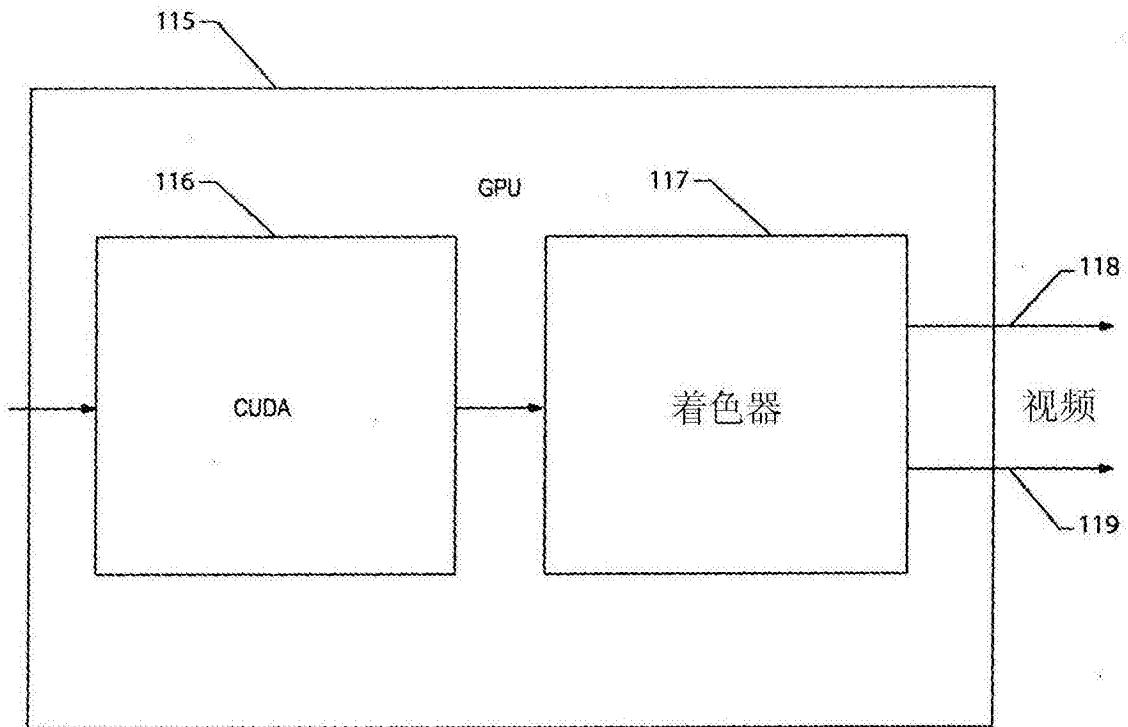


图17

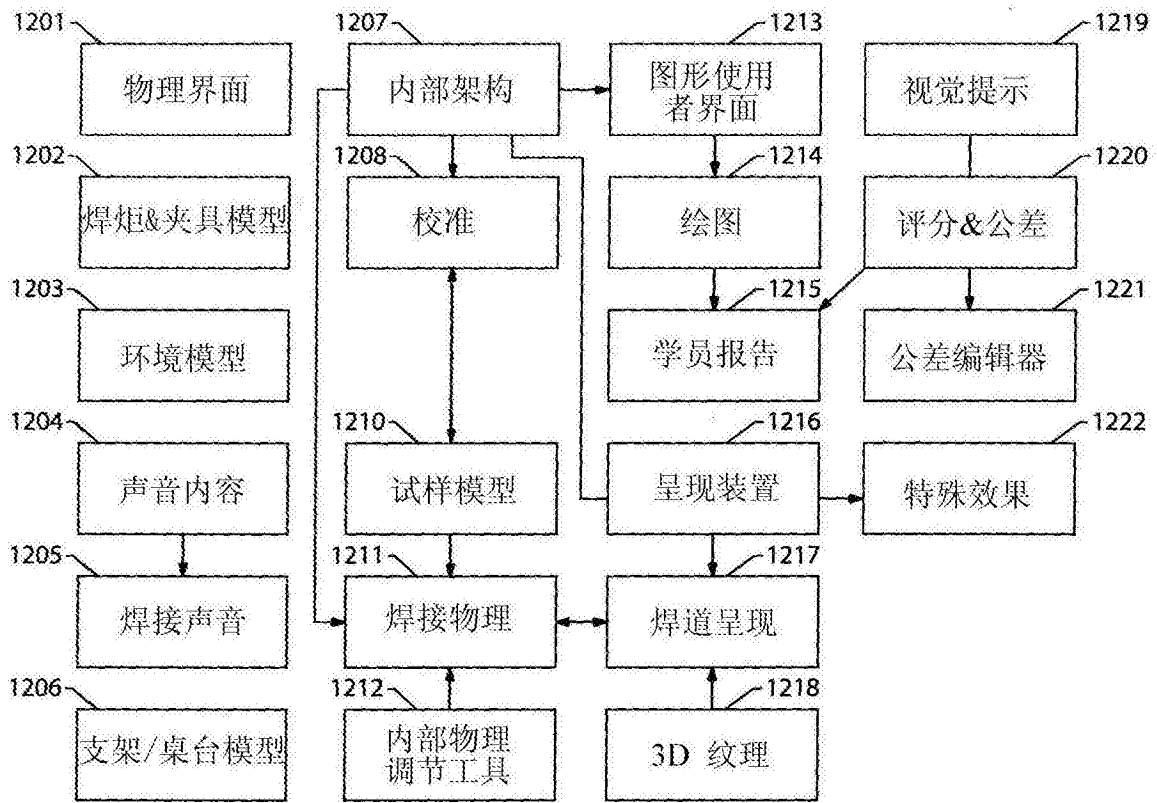


图18

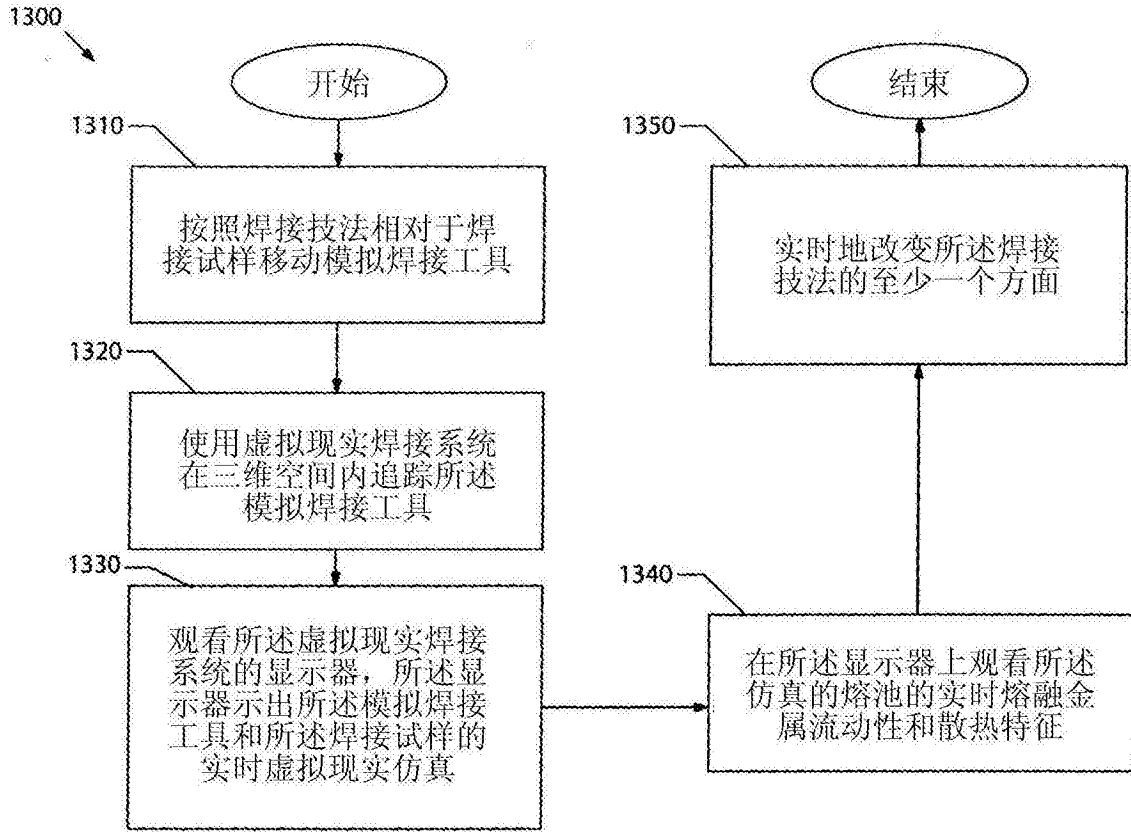


图19

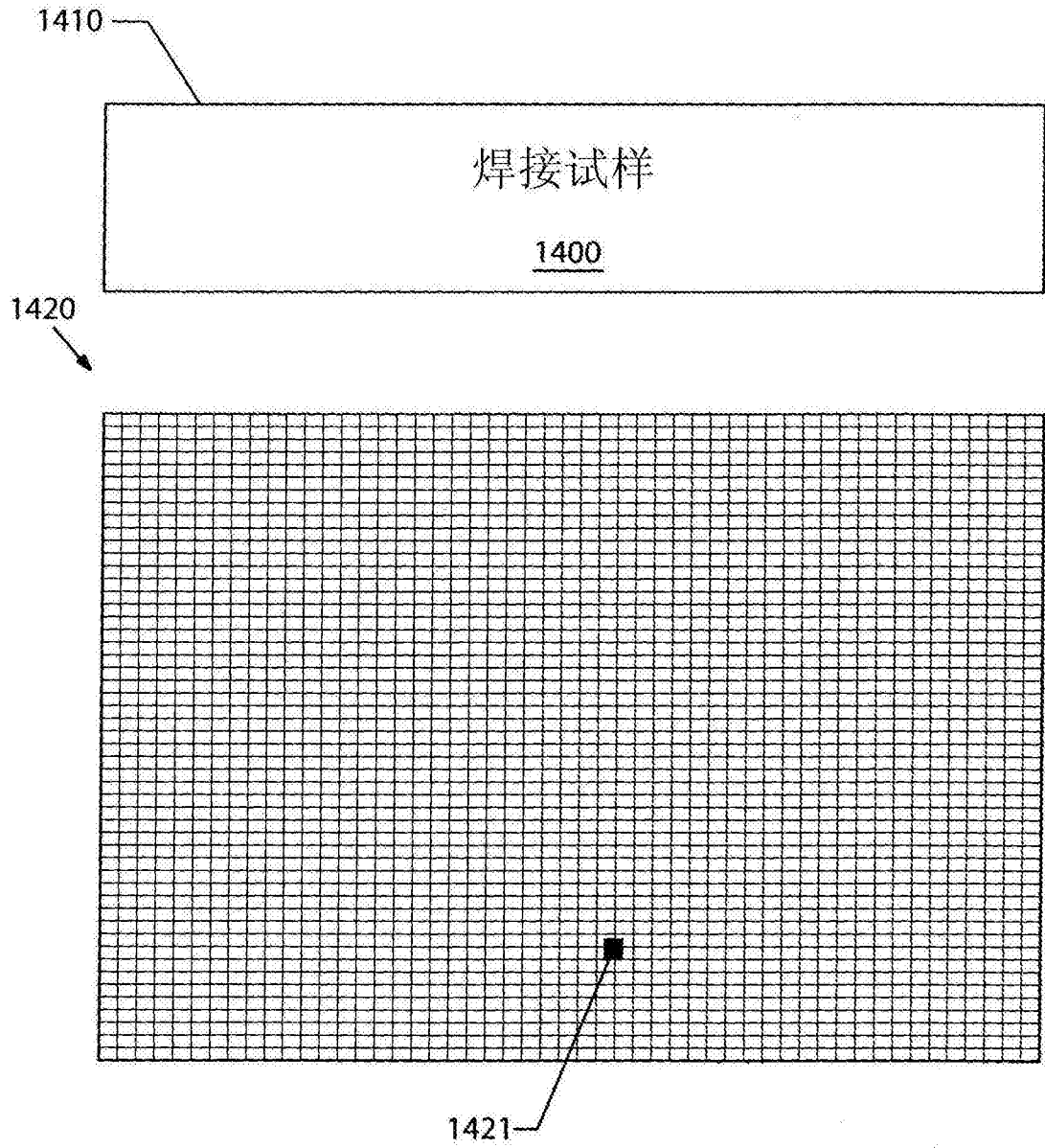
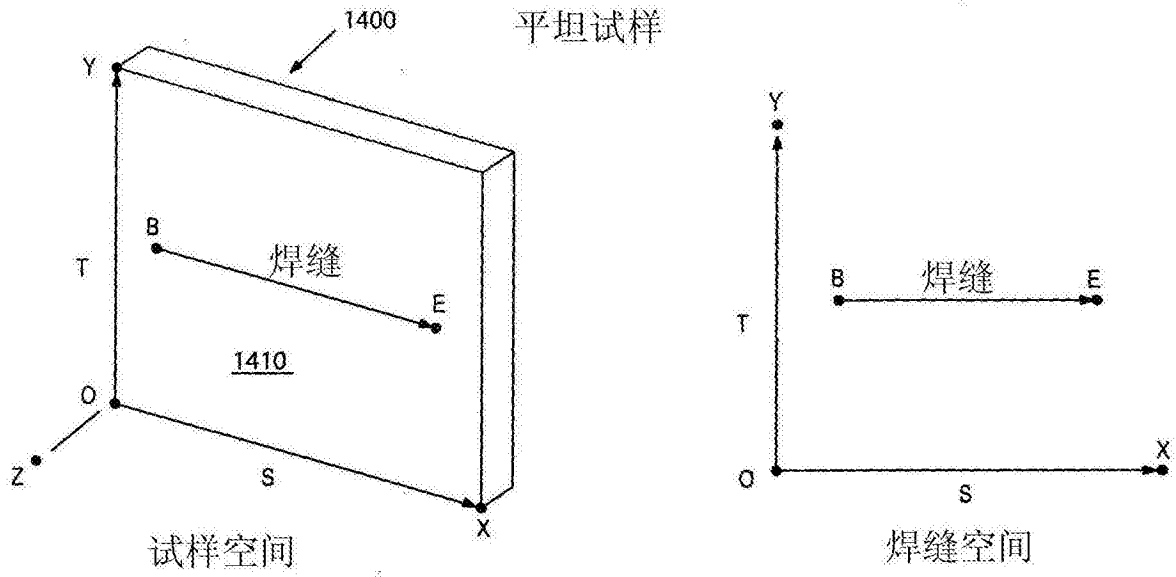
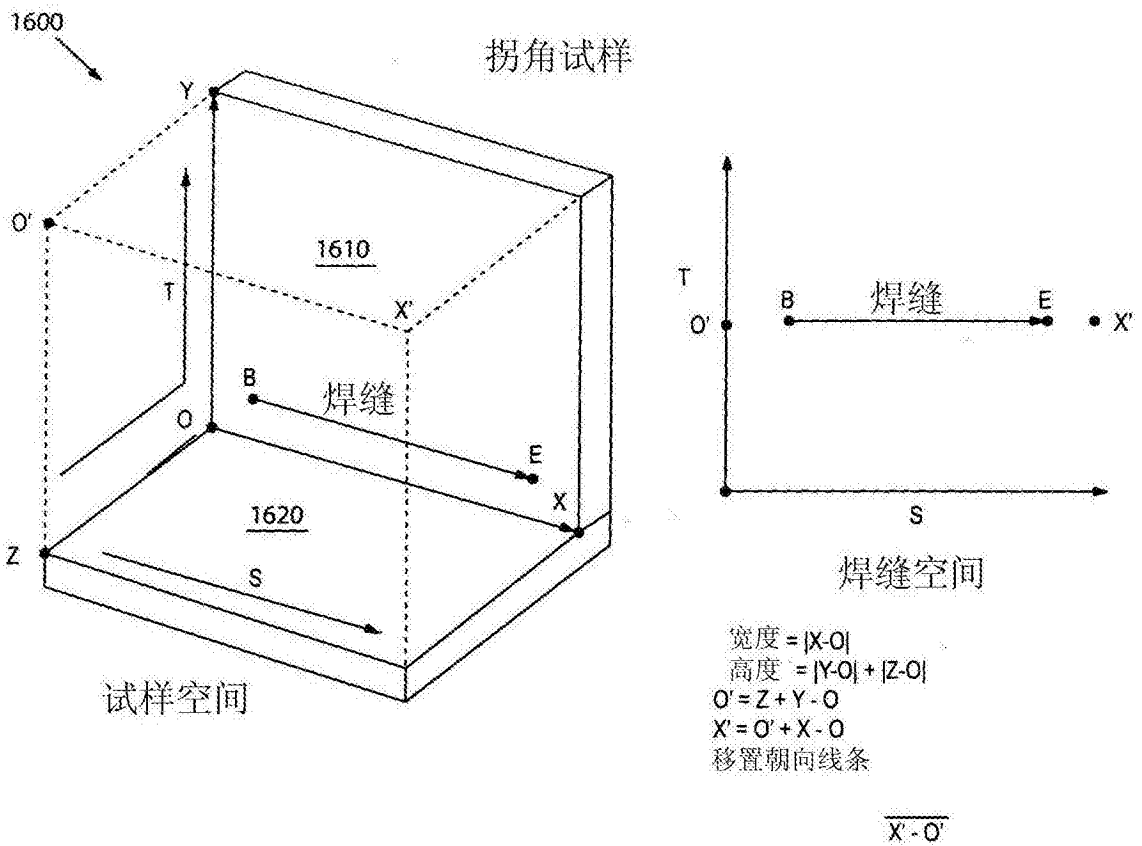


图20



宽度 = $|X-O|$
 高度 = $|Y-O|$
 移置 = $|Z-O|$

图21



宽度 = $|X-O|$
 高度 = $|Y-O| + |Z-O|$
 $O' = Z + Y - O$
 $X' = O' + X - O$
 移置朝向线条

$\overline{X'-O'}$

图22

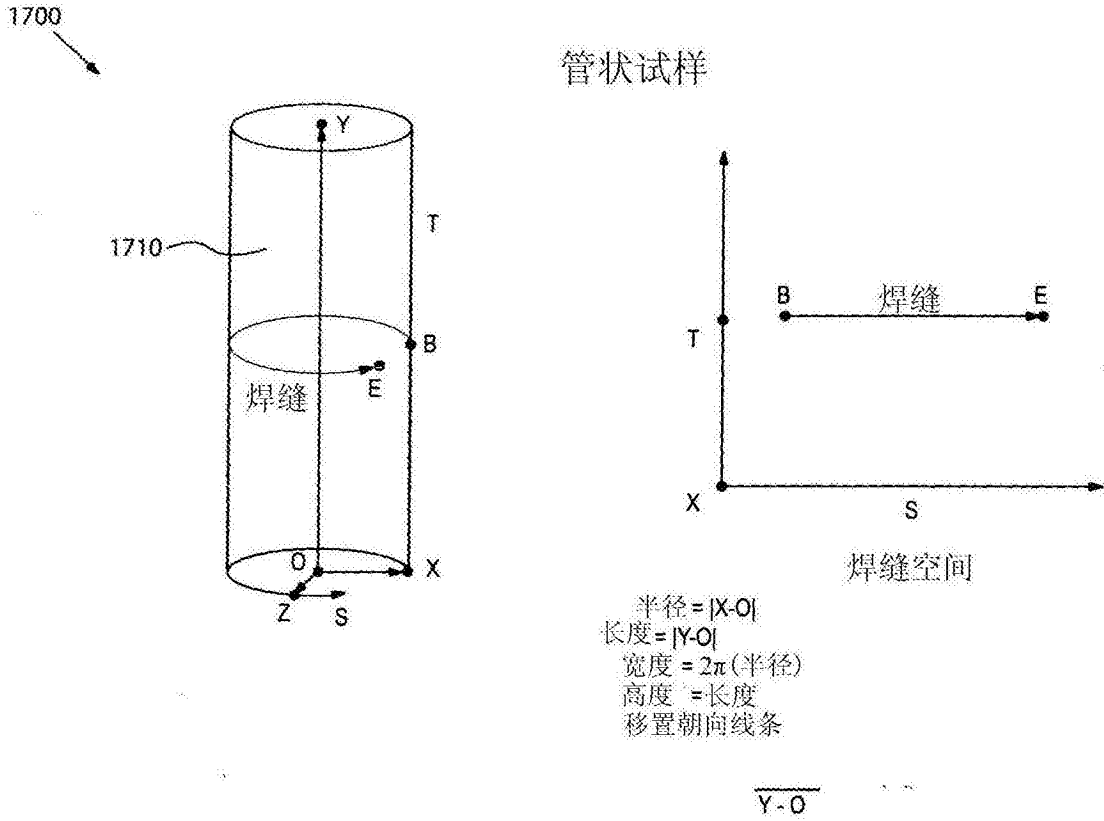


图23

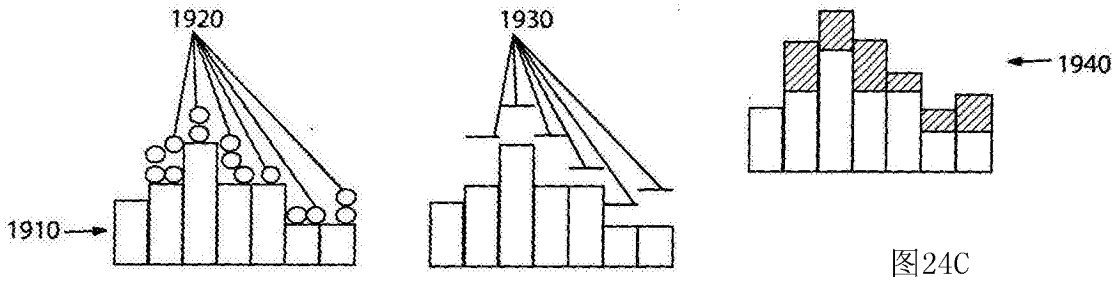


图24A

图24B

图24C