

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102066072 A

(43) 申请公布日 2011. 05. 18

(21) 申请号 200980123984. X

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

(22) 申请日 2009. 06. 18

代理人 孙纪泉

(30) 优先权数据

12/145, 131 2008. 06. 24 US

(51) Int. Cl.

B29C 41/02(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 12. 23

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/047736 2009. 06. 18

(87) PCT申请的公布数据

W02009/158260 EN 2009. 12. 30

(71) 申请人 斯特拉塔西斯公司

地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 斯科特·S·克伦普

J·塞缪尔·巴彻尔德

蒂莫西·桑普森

罗伯特·L·津内尔 约翰·巴尼特

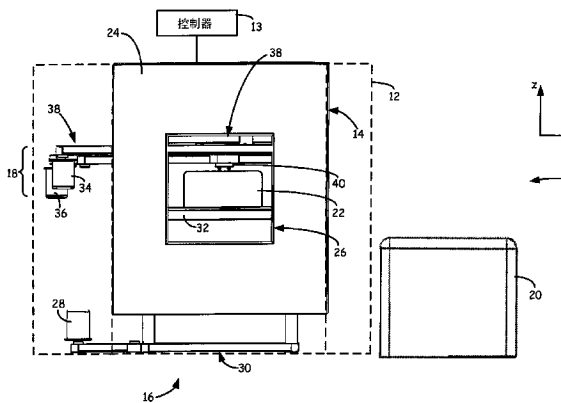
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 11 页

(54) 发明名称

用金属基合金构建三维物体的系统和方法

(57) 摘要

一种数字化制造系统 (10) 包括构建腔 (14)、设置在构建腔 (14) 内的构建平台 (32)、被构造成将金属基合金加热至金属基合金的固相线温度和液相线温度之间的温度的至少一个挤出管线、设置在构建腔 (14) 中且被构造成以预定的图案将被加热的金属基合金沉积到构建平台 (32) 上的沉积头 (40)、具有位于构建腔 (14) 外面的第一端和连接至沉积头 (40) 的第二端的脐部 (56)、和被构造成导致在构建腔 (14) 内的构建平台 (32) 和沉积头 (40) 之间的相对运动的至少一个构台组件 (16、38), 其中所述至少一个构台组件 (16、38) 包括设置在构建腔 (14) 外面的电机 (28、34、36)。



1. 一种用金属基合金构建三维物体的数字化制造系统,所述系统包括:
构建腔,被构造成保持在至少约 200°C 的一个或更多温度;
构建平台,设置在所述构建腔中;
至少一个挤出管线,被构造成加热所述金属基合金到所述金属基合金的固相线温度和所述金属基合金的液相线温度之间的温度;
沉积头,设置在所述构建腔内,且被构造成将所述加热的金属基合金以预定的图案沉积到所述构建平台上;
脐部,具有位于所述构建腔的外面的第一端和连接至所述沉积头的第二端;和
至少一个构台组件,被构造成导致在所述构建腔内在所述沉积头和构建平台之间的相对运动,其中所述至少一个构台组件包括设置在所述构建腔外面的电机。
2. 根据权利要求 1 所述的数字化制造系统,其中所述构建腔被构造成保持在一个或更多的所述温度是在从约 400°C 至约 700°C 的范围中。
3. 根据权利要求 1 所述的数字化制造系统,其中所述挤出管线包括:
驱动机构,被构造成接收和驱动所述金属基合金的给料;
液化器组件,被构造成接收来自所述驱动机构的被驱动的给料,且还被构造成加热所述给料的金属基合金至所述金属基合金的固相线温度和所述金属基合金的液相线温度之间的温度;和
挤出尖端,被构造成接收加热的金属基合金。
4. 根据权利要求 1 所述的数字化制造系统,其中所述金属基合金包括铝和硅,所述铝构成金属基合金的重量约 90% 至重量约 95%,所述硅构成所述金属基合金的重量约 5% 至重量约 10%。
5. 根据权利要求 1 所述的数字化制造系统,其中所述至少一个挤出管线设置在所述构建腔的外面,且被构造成驱动加热的金属基合金通过所述脐部至所述沉积头。
6. 根据权利要求 1 所述的数字化制造系统,其中所述沉积头包括:
冷冻阀组件,设置在所述构建腔中;和
至少一个冷却剂螺线管,设置在所述构建腔的外面,且被构造成将冷却剂气体传送到所述冷冻阀组件。
7. 根据权利要求 1 所述的数字化制造系统,其中所述至少一个构台组件包括:
至少一个螺纹螺杆,其与所述构建平台螺纹接合,用于将所述螺纹螺杆的旋转运动转换成所述构建平台沿至少一个轴线的线性运动;和
带机构,可操作地与所述电机和所述至少一个螺纹螺杆接合,用于将所述电机的旋转动力转换成所述螺纹螺杆的旋转运动。
8. 根据权利要求 1 所述的数字化制造系统,其中所述至少一个构台组件包括:
至少一个第一轴线导轨,沿着第一轴线延伸;
至少一个轴承套,可滑动地保持在所述至少一个第一轴线导轨上;
至少一个第二轴线导轨,沿着垂直于所述第一轴线的第二轴线延伸,其中所述至少一个第二轴线导轨被所述至少一个轴承套保持,其中所述沉积头可滑动地保持在所述至少一个第二轴线导轨上;
第一带机构,可操作地与所述电机和所述至少一个轴承套接合,所述第一带机构被构

造成将所述电机的旋转动力转换成所述轴承套沿所述第一轴线的线性运动；和

第二带机构，可操作地与所述沉积头以及设置在所述构建腔外面的第二电机接合，所述第二带机构被构造成将所述第二电机的旋转动力转换成所述沉积头沿所述第二轴线的线性运动。

9. 根据权利要求 1 所述的数字化制造系统，其中所述脐部包括被构造成沿着第一轴线卷曲的第一折流板和被构造成沿着大致垂直于所述第一轴线的第二轴线卷曲的第二折流板。

10. 一种用于用数字化制造系统以逐层的方式构建三维物体的方法，所述方法包括：

加热所述数字化制造系统的构建腔到至少约 200°C 的一个或更多温度；

在所述数字化制造系统的挤出管线中加热金属基合金，其中所述金属基合金被加热到所述金属基合金的固相线温度和所述金属基合金的液相线温度之间的温度；

将来自所述数字化制造系统的沉积头的被加热的金属基合金以预定的图案沉积到所述数字化制造系统的构建平台上；和

固化所述被加热的金属基合金以提供基本上没有枝晶的再次固化的合金。

11. 根据权利要求 10 所述的方法，还包括基本上从所述构建腔去除包含氧气的气体。

12. 根据权利要求 10 所述的方法，其中所述构建腔被加热至的一个或更多温度是在约 400°C 至约 700°C 的范围中。

13. 根据权利要求 10 所述的方法，其中所述沉积头包括冷冻阀组件，其中所述方法还包括将冷却剂气体从所述构建腔的外面设置的冷却剂螺线管传送至所述冷冻阀组件。

14. 根据权利要求 10 所述的方法，其中所述挤出管线设置在所述构建腔的外面，所述沉积头设置在所述构建腔内，其中所述方法还包括从所述挤出管线驱动被加热的金属基合金通过热隔离的脐部至所述沉积头。

15. 一种用数字化制造系统以逐层的方式构建三维物体的方法，所述方法包括：

基本上从所述数字化制造系统的构建腔去除包含氧气的气体；

加热所述构建腔到至少约 200°C 的一个或更多的温度；

提供包括铝和硅的合金，所述铝构成所述合金的重量约 90% 至重量约 95%，所述硅构成所述合金的重量约 5% 至重量约 10%；

加热所述合金到高于所述合金的固相线温度且低于所述合金的液相线温度的温度；

将被加热的合金以预定的图案沉积到所述数字化制造系统的构建平台上；和

固化沉积的合金。

16. 根据权利要求 15 所述的方法，其中所述构建腔被加热到的一个或更多温度是在从约 400°C 至约 700°C 的范围中。

17. 根据权利要求 15 所述的方法，其中所述构建腔被加热至的一个或更多温度是在从约 500°C 至约 650°C 的范围中。

18. 根据权利要求 15 所述的方法，其中所述被加热的合金被从设置在所述构建腔内的沉积头沉积，其中所述方法还包括利用设置在所述构建腔外面的电机，在所述构建腔内沿着至少一个轴线移动所述沉积头。

19. 根据权利要求 15 所述的方法，还包括将被加热的合金从所述构建腔外面的位置传送到设置在所述构建腔内的沉积头。

20. 根据权利要求 15 所述的方法,还包括淬火所述固化的合金。

用金属基合金构建三维物体的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及在数字化制造系统中构建三维 (3D) 物体的系统和方法。具体地, 本发明涉及用金属基合金构建 3D 物体的高温的基于挤出的数字化制造系统。

背景技术

[0002] 基于挤出的数字化制造系统 (例如由明尼苏达州 (MN) Eden Prairie 的 Stratasys, Inc. 开发的熔融沉积建模系统) 被用来通过挤出可流动的建模材料以逐层的方式根据计算机辅助设计 (CAD) 模型构建 3D 物体。通过由挤出头承载的挤出尖端挤出建模材料, 并按照一定顺序路线沉积在 x-y 平面内的基底上。被挤出的建模材料与先前沉积的建模材料熔合, 并在温度下降时凝固。随后, 挤出头相对于基底的位置沿着 z 轴线 (垂直于 x-y 平面) 逐渐增量, 且随后重复该过程, 以形成像所述 CAD 模型一样的 3D 物体。

[0003] 根据表示 3D 物体的构建数据, 挤出头相对于基底的运动在计算机的控制下进行。构建数据通过首先将 3D 物体的 CAD 模型划分成多个水平切片层而被获得。随后, 对于每个切片层, 主机产生用于沉积形成 3D 物体的建模材料的路线的构建路径。

[0004] 在通过沉积建模材料层而制造 3D 物体时, 支撑层或结构通常构建在悬空部分的下面或在建中物体的腔中, 其没有被构建材料自身支撑。支撑结构可以采用与沉积建模材料相同的沉积技术构建。主机产生额外的几何构型作为被形成的 3D 物体的悬空或自由空间段的支撑结构。随后, 根据在构建过程中所产生的几何构型, 由第二喷嘴沉积支撑材料。在制造过程中, 支撑材料粘结到建模材料上, 并且当构建过程完成时可以从完成的 3D 物体上去除支撑材料。

[0005] 在数字化制造工业中消费者普遍关注的是增强 3D 物体的物理特性, 诸如部件的强度和耐用性。能够提供这样的增强的物理特性的一类材料包括金属基合金。例如, 由高强度金属构建的 3D 物体可以展现出明显大于工业热塑性材料的抗张强度。然而, 对金属基合金的挤出给数字化制造提出了几个问题。例如, 对金属基合金的挤出需要高的操作温度, 其可能不被期望地影响现有的数字化制造系统的性能。另外, 将金属基合金加热至高于其液相线温度的温度可能阻止合金具有用于挤出的足够的粘性, 并且可能不被期望地在再次固化 (例如枝晶形成) 时影响其晶粒结构。因此, 对使用数字化制造技术由金属基合金构建 3D 物体的系统和方法有不断进步的需求。

发明内容

[0006] 本发明涉及用于用金属基合金构建三维物体的数字化制造系统。所述系统包括被保持在一个或更多升高的温度下的构建腔、设置在构建腔内的构建平台、被构造成将金属基合金加热至金属基合金的固相线温度和液相线温度之间的温度的至少一个挤出管线、设置在构建腔中且被构造成以预定的图案将被加热的金属基合金沉积到构建平台上的沉积头、具有位于构建腔外面的第一端和连接至沉积头的第二端的脐部、和被构造成导致在构建腔内的构建平台和沉积头之间的相对运动的至少一个构台组件, 其中所述至少一个构台

组件包括设置在构建腔外面的电机。本发明还涉及用于用数字化制造系统由金属基合金构建三维物体的方法。

附图说明

[0007] 图 1 是用金属基合金构建 3D 物体的数字化制造系统的正视图。

[0008] 图 2 是数字化制造系统的平台组件和头组件的正透视图。

[0009] 图 3 是数字化制造系统的头组件的顶部透视图。

[0010] 图 4 是数字化制造系统的 x-y 轴线台架和挤出头的底部正透视图。

[0011] 图 5 是用于挤出金属基合金的挤出头的挤出线路的放大的部分剖视图。

[0012] 图 6 是与数字化制造系统的脐部一起使用的数字化制造系统的第一可替代的挤出头的正透视图,其中第一可替代的挤出头具有混合型的液化器 / 冷冻阀设计。

[0013] 图 7 是与数字化制造系统的脐部一起使用的数字化制造系统的第二可替代的挤出头的正透视图,其中第二可替代的挤出头具有带多个沉积管线的混合型的液化器 / 冷冻阀设计。

[0014] 图 8 是与数字化制造系统的脐部一起使用的数字化制造系统的第三可替代的挤出头的正透视图,其中第三可替代的挤出头具有混合型的螺杆泵 / 冷冻阀设计。

[0015] 图 9 是金属基合金的温度对组分的示例性的二元相图,其适合于与数字化制造系统一起使用。

[0016] 图 10 是铝和硅的温度对组分的部分二元相图,示出了与数字化制造系统一起使用的示例性的金属基合金的温度相特性。

[0017] 图 11 是在经受挤出温度之前铝硅合金线的显微图。

[0018] 图 12 是经受在合金的固相线温度和液相线温度之间的挤出温度之后的铝硅合金线的显微图。

[0019] 图 13 是经受高于合金的液相线温度的挤出温度之后的铝硅合金线的显微图。

具体实施方式

[0020] 图 1 是系统 10 的正透视图,其是用金属基合金构建 3D 物体的高温数字化制造系统。如图所示,系统 10 包括壳体 12(用虚线表示)、控制器 13、构建腔 14、平台组件 16、头组件 18 和淬火槽 20。壳体 12 是系统 10 的外壳,其保护系统 10 的内部部件免受外部情况的影响。系统 10 还包括支撑框架(未示出),支撑框架用于将构建腔 14、平台组件 16 和头组件 18 保持在壳体 12 内在图 1 显示的各位置处。控制器 13 是计算机操作的控制器,其接收 3D 物体的源几何构型(例如 STL 格式的 CAD 模型),且将接收到的源几何构型转换成系统 10 执行以构建 3D 物体的处理步骤的次序。因此,控制器 13 给系统 10 提供控制信号,且可以是系统 10 的一体部件或在系统 10 的外部。

[0021] 构建腔 14 是封闭的高温环境,其中 3D 物体(在图 1 中被表示成 3D 物体 22)是用一种或更多种金属基合金构建。期望构建腔 14 用作高温釜,且期望能其保持在一个或更多的升高的温度,以减小机械扭曲(例如卷曲)3D 物体 22 的风险,以及减小由于金属基合金的热膨胀率而造成的收缩。构建腔 14 的温度通过使用利用定时的热学上升循环的基于电学和 / 或火焰机构,而被升高。

[0022] 构建腔 14 的升高温度期望地从金属基合金的凝固温度到金属基合金的蠕变松弛温度的范围变化。如此处使用的,术语金属基合金的“蠕变松弛温度”是指合金的应力松弛模量是相对于合金的凝固温度时的合金的应力松弛模量的 10% 的温度,其中依据 ASTM E328-02 测量应力松弛模量。构建腔 14 的合适的温度升高的例子是从约 200°C 至约 800°C 的范围变化,且尤其合适的温度是从约 400°C 至约 700°C 的范围变化,甚至更尤其合适的温度是从约 500°C 至约 650°C 的范围变化。

[0023] 温度升高的构建腔 14 还可以展现出多个温度区。例如,在沉积位置的温度可能是高于金属基合金的凝固温度(例如低于或大致等于金属基合金的蠕变松弛温度),而构建腔 14 的剩余部分可以是低于金属基合金的凝固温度(例如在低于金属基合金的凝固温度 20°C 的范围内)。这防止构建腔 14 内的温度梯度在冷却时在 3D 物体 22 上产生显著的应力。

[0024] 另外,期望用一个或更多的过程控制回路监控构建腔 14 内的升高温度,以在构建操作期间保持期望的温度。期望部分地监控温度,这是因为金属基合金典型地具有高热导性,因此在从挤出温度冷却至构建腔 14 的温度时会放出大量的热。

[0025] 还期望构建腔 14 在构建操作之前被清除氧气(例如空气),且可以包括非氧化气体和/或真空条件。例如,构建腔 14 可以被通风至气体气氛,且用惰性气体(例如氮气、氦气、氩气和氙气)清洗。另外地,构建腔 14 可以连接至真空管线(未显示)以将压力降低至真空条件。用于执行构建操作的合适的真空压力的例子包括约或小于 13 毫帕斯卡(约 10^{-4} Torr),更尤其合适的压力包括约或小于 1.3 毫帕斯卡(约 10^{-5} Torr)。也可以与惰性气体结合使用降低的压力。在使用惰性气体的实施例中,构建腔 14 中的气体气氛期望被再次循环以保持温度的均匀性,且可以在构建操作完成之后从外部进行通风。

[0026] 构建腔 14 包括腔壁 24,其是构建腔 14 的侧壁、顶壁和底壁,期望由能够承受构建腔 14 的温度升高的一种或更多的绝热材料制造。腔壁 24 的合适材料包括耐热和低热膨胀材料,诸如难熔陶瓷耐火砖、硅石耐火砖、高温合金和超耐热合金,以及它们的组合。腔壁 24 包括进入开口 26,其允许在构建操作之前和之后进入构建腔 14 内。期望进入开口 26 在构建操作期间用门(未显示)固定,以保持构建腔 14 内的温度均匀性。

[0027] 平台组件 16 包括驱动电机 28、z 轴线构台 30 和构建平台 32。驱动电机 28 是设置在构建腔 14 的腔壁 24 的外面的电机(即直流电机),且与控制器 13 进行信号通信。驱动电机 28 还与 z 轴线构台 30 接合,其允许驱动电机 28 基于从控制器 13 接收的信号操作 z 轴线构台 30。Z 轴线构台 30 与构建腔 14 的外面的驱动电机 28 进行接合,且延伸通过用于保持构建平台 32 的腔壁 24。如下文讨论的,z 轴线构台 30 构造成沿着构建腔 14 内的垂直的 z 轴线基于驱动电机 28 供给的旋转动力而移动构建平台 32。构建平台 32 是其上构建 3D 物体 22(和任何对应的支撑结构,未显示)的基底,且被 z 轴线构台 30 可移动地保持在构建腔 14 内。用于构建平台 32 的合适的材料包括在温度升高的构建腔 14 中使用的材料,且所述材料与 3D 物体 22 的金属基合金是可相容的。构建平台 32 的合适的材料的例子包括镍基合金和超耐热合金、石墨、陶瓷、碳化物(例如碳化硅)以及它们的组合。

[0028] 头组件 18 包括驱动电机 34 和 36、x-y 轴线构台 38 和挤出头 40。驱动电机 34 和 36 是设置在构建腔 14 的腔壁 24 的外部的电机(例如直流电机),且还与控制器 13 进行信号通信。驱动电机 34 和 36 还与 x-y 轴线构台 38 接合,其允许驱动电机 34 和 36 基于从控

制器 13 接收的信号操作 x-y 构台 38。X-y 轴线构台 38 与构建腔 14 外面的驱动电机 34 和 36 接合,且延伸通过用于保持挤出头 40 的腔壁 24。挤出头 40 被保持在构建腔 14 中,且是系统 10 的一部分,其以预定图案将金属基合金(和对应的支撑材料)沉积到构建平台 32,用于以逐层的方式构建 3D 物体 22(和对应的支撑结构)。

[0029] 如下文讨论的,x-y 轴线构台 38 构造成在构建腔 14 内沿水平 x-y 平面基于由驱动电机 34 和 36 供给的旋转动力移动挤出头 40,其中 x 轴线、y 轴线(未在图 1 中显示)以及 z 轴线彼此正交。在可替代的实施例中,平台组件 16 可以被构造成在构建腔 14 内沿水平 x-y 平面移动,头组件 18 可以被构造成沿着垂直的 z 轴线移动。其它类似布置也可以被使用,使得构建平台 32 和挤出头 40 中的一个或两个相对于彼此可移动,和使得驱动电机(例如驱动电机 28、34 和 36)设置在构建腔 14 的腔壁 24 的外面。将驱动电机 28、34 和 36 设置在腔壁 24 的外面,热隔离驱动电机 28、34 和 36 与温度升高的构建腔 14。这降低了损害驱动电机 28、34 和 36 的风险,从而保持它们的操作寿命。在一个实施例中,冷却剂气体(例如惰性气体)被传递至(在腔壁 24 外面的)壳体 12 内的一个或更多的位置,以进一步热隔离驱动电机 28、34 和 36 与温度升高的构建腔 14。

[0030] 在构建操作期间,构建腔 14 基本被清除氧化气体(例如,用氩气和/或真空进行清除),且之后被加热至一个或更多的升高温度。控制器 13 之后引导驱动电机 34 和 36,以经由 y 轴线构台 38 沿着水平的 X-Y 平面在构建腔 14 内四处移动挤出头 40。控制器 13 还引导挤出头 40 以基于挤出头 40 的移动将金属基合金挤出到构建平台 32 上且成一图案,从而形成 3D 物体 22 的层。如下文讨论的,金属基合金期望被加热至合金的半固相(即在固相线温度和液相线温度之间)。这产生了软泥状的一致性的金属基合金,其提供了合适用于挤出的粘稠性。如在下文进一步讨论的,金属基合金还期望保持低于合金的液相线温度,以在沉积和再次固化期间基本上保持原料合金线的晶粒结构。这有利于保持金属基合金的原始晶粒结构的物理特性,且尤其适合于与金属基合金一起使用,其在和系统 10 一起使用之前被热处理。

[0031] 当完成层时,计算机操作的控制器于是经由 z 轴线构台 30 引导驱动电机 28 沿着 z 轴线单层地增量而到达较低的构建平台 32。这允许 3D 物体 22 的随后的层被构建。这些步骤之后可以被重复,直到完成 3D 物体 22 和任何对应的支撑结构为止。在完成构建操作之后,3D 物体 22 可以在从构建腔 14 移除之前被稳定至均匀的温度,且被浸没到淬火介质中。淬火槽 20 是设置在壳体 12 的外面的槽,且提供流体(例如温水)用于在构建操作之后淬火 3D 物体 22。在 3D 物体 22 被热稳定以防止较低温度的固体溶解度发生变化之后,淬火过程期望在短时间段内执行。这保持 3D 物体 22 有期望的固体溶液品质。因此,淬火槽 20 期望靠近壳体 12 设置,以允许 3D 物体 22 易于在完成构建操作之后被淬火。在一个实施例中,淬火槽 20 也被设置在惰性气体气氛中,以进一步降低在淬火过程期间氧化 3D 物体 22 的风险。在完成淬火过程之后,3D 物体 22 然后可经历一个或更多的后构建操作(例如回火和淀积硬化过程)。

[0032] 图 2 是平台组件 16 和头组件 18 的正透视图,其中为了便于讨论,壳体 12、控制器 13、淬火槽 20、3D 物体 22 和腔壁 24 被省略。平台组件 16 和头组件 18 的布置减小了温度敏感部件(例如驱动电机 28、34 和 36)对(在图 1 中显示的)构建腔 14 的温度升高的暴露。如图 2 所示,平台组件 16 的 z 轴线构台 30 包括驱动皮带轮 43、驱动带 44、张紧轮皮带

轮 46、惰轮皮带轮 48 和导螺杆 50。驱动皮带轮 42 是轴向连接至驱动电机 28 的可旋转的皮带轮,且将驱动电机 28 的旋转动力传送至驱动带 44。驱动带 44 是与驱动皮带轮 42、张紧轮皮带轮 46 和惰轮皮带轮 48 接合的带,其将驱动皮带轮 42 的旋转动力传送至惰轮皮带轮 48。

[0033] 张紧轮皮带轮 46 是可调整的皮带轮,用于在 z 轴线构台 30 的装配期间上紧驱动带 44 与驱动皮带轮 42 和惰轮皮带轮 48 的接合。惰轮皮带轮 48 是与导螺杆 50 轴向接合的皮带轮,从而允许旋转惰轮皮带轮 48 以相应地旋转导螺杆 50。在图 1 和 2 显示的实施例中,驱动皮带轮 42、驱动带 44、张紧轮皮带轮 46 和惰轮皮带轮 48 位于腔壁 24 的外面。这样,驱动皮带轮 42、驱动带 44、张紧轮皮带轮 46 和惰轮皮带轮 48 也与构建腔 14 热隔离,且可以由各种材料(例如金属、塑料和陶瓷)制造。在可替代的实施例中,驱动带 44、张紧轮皮带轮 46 和惰轮皮带轮 48 中的一个或多个位于腔壁 24 中,从而将所述部件暴露至构建腔 14 的升高的温度。在这一实施例中,驱动皮带轮 42、驱动带 44、张紧轮皮带轮 46 和惰轮皮带轮 48 期望由能够在温度升高的构建腔 14 中使用的材料制造。例如,驱动带 44 可以由一种或多种镍基合金和超耐热合金制造,诸如商业上销售的 Special Metals Corporation, New Hartford, NY 的商标为“INCONEL”的 γ' (伽马一撇) 和 γ'' (伽马两撇) 增强的超耐热合金(例如“INCONEL 718”合金和“INCONEL 939”合金)。

[0034] 导螺杆 50 是与构建平台 32 螺纹接合的螺杆,用于将导螺杆 50 的旋转运动转换成构建平台 32 沿垂直 z 轴线的线性运动。在构建操作期间,控制器 13 发送信号给驱动电机 28 用于在第一旋转方向上旋转驱动皮带轮 42(由箭头 52 表示)。这在与驱动皮带轮 42 的相同的旋转方向(由箭头 53 表示)绕驱动皮带轮 42、张紧轮皮带轮 46 和惰轮皮带轮 48 拉动驱动带 44,从而在相同的旋转方向上旋转惰轮皮带轮 48 和导螺杆 50。由于螺纹接合,导螺杆 50 的旋转使得构建平台 32 沿着垂直 z 轴线(由箭头 54 表示)降低,直到控制器 13 发送信号给驱动电机 28 以停止旋转。这一布置允许构建平台 32 被升高和降低,同时还热隔离驱动电机 28 与构建腔 14。

[0035] 如在图 2 中进一步显示的,头组件 18 还包括脐部 56,其是延伸通过腔壁 24 并与挤出头 40 连接的双板折流板。脐部 56 是隔热通路,其提供金属基合金、支撑材料、冷却剂空气以及电连接至挤出头 40,其中脐部 56 的进口(表示为进口 57)位于腔壁 24 的外面。加压的冷却剂空气还被传送通过脐部 56,以进一步降低脐部 56 的内部区域中的温度,脐部 56 的内部区域期望保持在低于约 200°C 的温度,以保护设置在脐部 56 内的上述的部件。

[0036] 脐部 56 包括 x 轴线波纹管 56a 和 y 轴线波纹管 56b,其是金属衬里的波纹管,该波纹管将脐部 56 的内部区域与温度升高的构建腔 14 热隔离。如图所示,x 轴线波纹管 56a 被构造成沿着 x 轴线响应于挤出头 40 沿 x 轴线的移动而卷曲。类似地,y 轴线波纹管 56b 是脐部 56 的一部分,其连接至挤出头 40 且被构造成沿着 y 轴线响应于挤出头 40 沿着 y 轴线的移动而卷曲。对于脐部 56,这一双板布置允许挤出头 40 在水平的 x-y 平面内围绕其移动,且没有实质的阻力,同时还允许脐部 56 保持足以热隔离脐部 56 的内部区域的壁厚。

[0037] 图 3 是头组件 18 的顶部透视图,还显示在驱动电机 34 和 36、x-y 轴线构台 38、挤出头 40 和脐部 56 之间的接合。如图所示,x-y 轴线构台 38 包括 x 轴线导轨 58、轨道偏置装置 60、y 轴线桥 62、x 轴线带机构 64 以及 y 轴线带机构 66。X 轴线导轨 58 是一对第一轨道,其在构建腔 14 内沿着 x 轴线延伸且具有被固定至轨道偏置装置 60 的相对端,其中轨道

偏置装置 60 确保 x 轴线导轨 58 保持平行布置。在一个实施例中,轨道偏置装置 60 被固定至腔壁 24(图 1 显示的)。可替代地, x 轴线导轨 58 可以延伸通过腔壁 24,使得轨道偏置装置 60 被固定至壳体 12 内的系统 10 的支撑框架(图 1 显示的)。用于 x 轴线导轨 58 合适的材料包括合适用在温度升高的构建腔 14(图 1 显示的)中的材料,诸如商业上销售的 Graphite Metallizing Corporation, Yonkers, NY 的商标为“GRAPHALLOY”的石墨金属混合物。

[0038] Y 轴线桥 62 包括轴承套 68a 和 68b 以及 y 轴线导轨 70。轴承套 68a 和 68b 是支撑轴承,其被 x 轴线导轨 58 可滑动地保持。这允许 y 轴线桥 62 沿着 x 轴线滑动。用于轴承套 68a 和 68b 的合适材料包括具有与 x 轴线导轨 58 较小的摩擦且合适用在温度升高的构建腔 14 中的材料。用于轴承套 68a 和 68b 的合适材料的例子包括石墨金属混合物,诸如上文讨论的用于 x 轴线导轨 58 的那些材料。Y 轴线导轨 70 是第二对轨道,其沿着 y 轴线在构建腔 14 内延伸且具有固定至轴承套 68a 和 68b 的相对端。用于 y 导轨 70 合适的材料还包括石墨金属混合物,诸如上文讨论的用于 x 轴线导轨 58 的那些材料。

[0039] 挤出头 40 包括轴承套 72,其是被 y 轴线导轨 70 可滑动地保持的支撑轴承。这允许挤出头 40 沿着 y 轴线滑动。用于轴承套 72 的合适材料还包括石墨金属混合物,诸如上文讨论的用于 x 轴线导轨 58 的那些材料。

[0040] X 轴线带机构 64 是 x-y 轴线构台 38 的一部分,其与驱动电机 34 接合,以沿着 x 轴线移动 y 轴线桥 62。如图所示, x 轴线带机构 64 包括驱动皮带轮 74、驱动带 76 和张紧轮皮带轮 78。驱动皮带轮 74 是可旋转的皮带轮,其轴向连接至驱动电机 34,且传送驱动电机 34 的旋转动力至驱动带 76。驱动皮带轮 74 也设置在腔壁 24 的外面。同样,驱动皮带轮 74 也与构建腔 14 热隔离,且可由各种材料(例如金属、塑料和陶瓷)制造。

[0041] 驱动带 76 是与驱动皮带轮 74 和张紧轮皮带轮 78 接合的金属带,其允许驱动皮带轮 74 旋转以用于旋转驱动带 76。用于驱动带 76 的合适材料包括上文讨论的用于驱动带 44(图 2 显示的)的材料,诸如商业上销售的 Special Metals Corporation, New Hartford, NY 的商标为“INCONEL”的 γ' (伽马撇)和 γ'' (伽马两撇)增强的超耐热合金(例如“INCONEL 718”合金和“INCONEL 939”合金)。

[0042] 张紧轮皮带轮 78 是可调整的皮带轮,用于在装配 x 轴线带机构 64 的期间上紧驱动带 76 与驱动皮带轮 74 的接合。在图 1-3 显示的实施例中,张紧轮皮带轮 78 设置在腔壁 24 中,且被暴露至温度升高的构建腔 14。在这一实施例中,张紧轮皮带轮 78 期望由能够在所述升高温度中的材料制造(例如高温金属和陶瓷)。在可替代的实施例中,驱动带 76 可以延伸通过腔壁 24,使得张紧轮皮带轮 78 被固定至壳体 12 内的系统 10 的支撑框架。

[0043] 如图 3 中进一步显示的,驱动带 76 被用紧固件 80 固定至轴承套 68b。使用这一布置,基于驱动电机 34 的旋转,驱动带 76 的旋转沿着 x 轴线拉动 y 轴线桥 62,从而沿着 x 轴线移动挤出头 40。例如在驱动电机 34 沿着第一旋转方向(由箭头 82 表示的)旋转驱动皮带轮 74 时,驱动带 76 沿着相同的旋转方向(由箭头 84 表示的)绕驱动皮带轮 74 和张紧轮皮带轮 78 旋转。这相应地在远离驱动电机 34 和 36 的方向(由箭头 86 表示的)上沿着 x 轴线拉动 y 轴线桥 62。可替代地,在驱动电机 34 在与箭头 82 相反的旋转方向上旋转驱动皮带轮 74 时,驱动带 76 在与箭头 86 相反的方向上沿着 x 轴线拉动 y 轴线桥 62。

[0044] Y 轴线带机构 66 是 x-y 轴线构台 38 的一部分,其与驱动电机 36 接合,以沿着 y 轴

线移动挤出头 40。如图所示, Y 轴线带机构 66 包括驱动皮带轮 88、驱动带 90、张紧轮皮带轮 92 和惰轮皮带轮 94(在图 3 中显示出单个惰轮皮带轮 94)。驱动皮带轮 88 是可旋转的皮带轮,其轴线连接至驱动电机 36 且将驱动电机 36 的旋转动力传送至驱动带 90。如图所示,驱动皮带轮 78 设置在腔壁 24 的外面,且与构建腔 14 热隔离。驱动带 90 是与驱动皮带轮 88、张紧轮皮带轮 92 和惰轮皮带轮 94 接合的金属带,其允许驱动皮带轮 88 旋转以在驱动皮带轮 88 的旋转方向上拉动驱动带 90。用于驱动带 90 的合适的材料包括上文讨论的用于驱动带 76 的那些材料。

[0045] 张紧轮皮带轮 92 是可调整的皮带轮,用于在 x 轴线带机构 64 装配期间用于上紧驱动带 76 和驱动皮带轮 74 的接合。如图所示,张紧轮皮带轮 92 也被设置在腔壁 24 的外面,且期望由能够承受与驱动带 90 导热接触的材料制造。惰轮皮带轮 94 是轴向固定至轴承套 68a 和 68b 的可旋转皮带轮,且与驱动带 90 接合。如图所示,惰轮皮带轮 94 设置在腔壁 24 内。结果,期望惰轮皮带轮 94 由能够在温度升高的构建腔 14 中使用的材料(例如高温金属和陶瓷)制造。

[0046] 驱动带 90 的末端(表示成带末端 96)被固定至固定的表面(未显示),从而防止驱动带 90 是完全可旋转的,如对于驱动带 44(图 2 中显示的)和驱动带 76 在上文所讨论的那样。在一个实施例中,腔壁 24(图 1 中显示的)用作保持带末端 96 的固定表面。可替代地,驱动带 90 可能延伸通过腔壁 24,使得带末端 96 被固定至壳体 12 内的系统 10 的支撑框架。在构建操作期间,驱动电机 36 在第一旋转方向(由箭头 98 表示的)上旋转驱动皮带轮 88,其在相同的旋转方向(由箭头 100 表示的)上绕驱动皮带轮 88 和张紧轮皮带轮 92 拉动驱动带 90。如下文所讨论的那样,这使得朝向轴承套 68a(由箭头 102 表示)沿着 y 轴线拉动挤出头 40。可替代地,当驱动电机 36 在与箭头 98 相对的旋转方向上旋转驱动皮带轮 88 时,驱动带 90 在与箭头 102 相对的方向上沿着 y 轴线拉动挤出头 40。

[0047] 图 4 是 x-y 轴线构台 38 和挤出头 40 的底部正透视图,还显示出挤出头 40 和 Y 轴线带机构 66 之间的接合。如图所示,惰轮皮带轮 94 轴向地固定至 y 轴线桥 62 的轴承套 68a 和 68b, Y 轴线带机构 66 还包括轴向地固定至挤出头 40 并与驱动带 90 接合的惰轮皮带轮 104 和 106。如上文所讨论的,驱动带 90 的带末端 96(图 3 显示的)被固定至固定的位置。这样,驱动皮带轮 88(图 3 显示的)在箭头 98 的旋转方向(图 3 显示的)上的旋转在箭头 100 的旋转方向上拉动驱动带 90。这相应地降低了惰轮皮带轮 104 上的张力,且在箭头 102 的方向上拉动惰轮皮带轮 106(和相应的挤出头 40)。可替代地,如果驱动皮带轮 88 在与箭头 98 相反的旋转方向上旋转,驱动带 90 被在与箭头 100 相反的旋转方向上拉动,其降低了惰轮皮带轮 106 上的张力,且在箭头 108 的方向(即与箭头 102 相反的方向)上拉动惰轮皮带轮 104(和相应的挤出头 40)。相应地, x-y 构台 28 的使用允许挤出头 40 基于由控制器 13(图 1 显示的)提供的控制信号在构建腔 14 内沿水平的 x-y 平面四处移动。

[0048] 如图 4 进一步显示的,挤出头 40 还包括液化器部分 110,其包括一对液化器和用于沉积金属基合金和对应的支撑材料的挤出尖端。用于挤出头 40 和液化器部分 110 的合适设计的例子包括在 LaBossiere 等的美国专利申请公开 No. 2007/0003656, 题目为“Rapid Prototyping System With Controlled Material Feedstock”;LaBossiere 等的美国专利申请 No. 11/396,845, 题目为“Single-Motor Extrusion Head Having Multiple Extrusion Lines”;以及 Leavitt, 美国专利申请 No. 11/888,076, 题目为“Extrusion Head For Use In

Extrusion-Based Layered Deposition System”中所公开的设计,其中所述部件由合适用在温度升高的构建腔 14 中的材料制造(例如在上文所讨论的用于轴承套 68a 和 68b 以及驱动带 76 的材料)。虽然液化器部分 110 显示有两个液化器和挤出尖端,但是挤出头 40 可以可替代地被构造成挤出单一材料(即一个液化器和挤出尖端),或用于挤出多于两种材料(例如,三至十个液化器和挤出尖端)。

[0049] 图 5 是用于挤出金属基合金以构建 3D 物体 22(图 1 中显示的)的挤出头 40(图 1-4 中显示的)的挤出管线 112 的放大的部分剖视图。挤出管线 112 包括供给管 114、冷却剂组件 116、驱动机构 118、液化器组件 120 以及挤出尖端 122。供给管 114 接收来自设置在构建腔 14(图 1 显示的)外部的线 124 的供给源的线(表示成线 124)形态的金属基合金,其中,线 124 通过脐部 56(图 2-4 中显示的)供给至挤出头 40。线 124 的尺寸可以依赖于所使用的金属基合金以及供给管 114、驱动机构 118 和液化器组件 120 的尺寸和能力而改变。线 124 的合适的平均直径的例子从约 0.508 微米(约 0.020 英寸)至约 2.54 微米(约 0.100 英寸)范围变化。在线 124 由于该径的原因而大致刚性的实施例中,供给管 114 的曲率半径(表示成半径 126)期望至少是线 124 的直径的 50 倍,以减小在供给管 114 内的摩擦。

[0050] 冷却剂组件 116 包括管道部分 128 和多孔套 130,其中管道部分 128 是被构造成将加压的冷却剂气体从设置在构建腔 14 的外面的供给源(未显示)传送至多孔套 130 的管。合适的冷却剂气体包括上文讨论的用于构建腔 14(例如氩)的惰性气体。多孔套 130 是多个紧密配合的多孔热交换器,其延伸通过供给管 114 的壁。这允许从管道部分 128 供给的冷却剂气体形成对线 124 的高切变(shear)的气体薄膜,从而在与驱动机构 118 接合之前降低线 124 的温度。

[0051] 除了流过脐部 56 的冷却剂气体之外,期望使用通过冷却剂组件 116 供给的冷却剂气体,其帮助热隔离脐部 56 的内部区域与温度升高的构建腔 14。相比,通过冷却剂组件 116 传送的冷却剂气体期望在与驱动机构 118 接合之前直接冷却线 124。线 124 的金属基合金具有高的热导率。这样,在线 124 留驻在液化器组件 120 中且当前没有被挤出时,可以加热靠近驱动机构 118 的线 124 的上游部分。这可以软化靠近驱动机构 118 的线 124 的部分,从而潜在地降低了驱动机构 118 和线 124 之间的接合。然而,冷却剂组件 116 降低了靠近驱动机构 118 的线 124 的温度,其保持驱动机构 118 和线 124 之间的接合。

[0052] 驱动机构 118 包括驱动辊 132 和惰辊 134,其被构造成接合和握紧线 124。期望驱动辊 132 被连接至驱动电机(未显示),其允许驱动辊 132 和惰辊 134 将线 124 供给到液化器组件 120。在一个实施例中,用于驱动机构 118 的驱动电机设置在挤出头 40 中,且通过脐部 56 的冷却剂气体而与构建腔 14 热隔离。可替代地,驱动机构 118 的驱动电机可以设置在构建腔 14 的外部,且经由延伸通过脐部 56 的齿轮和/或带机构而与驱动辊 132 相互连接。

[0053] 液化器组件 120 是挤出头 40 的一部分,其设置在液化器部分 110 中且包括液化器管 136 和液化器块 138。液化器管 136 是延伸通过液化器块 138 的薄壁导热管,其具有靠近驱动机构 118 的进口和在挤出尖端 122 处的出口。在一个实施例中,冷却剂气体还被供给到液化器管 136 的进口附近,以防止线 124 的上游部分被加热。液化器管 136 为线 124 提供了行进通过液化器块 138 的路径,且可以包括一种或更多的内表面涂层,以帮助金属基

合金的流动且降低在金属基合金和液化器组件 120 之间的化学攻击的风险。液化器管 136 的合适的内表面涂层的例子包括碳化物涂层, 诸如碳化硅。可替代地, 液化器管 136 可以由稳定的材料制造, 诸如石墨和陶瓷。

[0054] 液化器块 138 是加热块, 用于沿着液化器块 138 基于热轮廓将线 124 熔化成期望的流动图案。由于金属基合金的高热导率 (相对于热塑性材料), 沿着液化器块 138 的热轮廓的长度可以被减少, 其相应地降低了在构建操作过程中的流动响应时间。挤出尖端 122 是固定至液化器组件 120 的挤出尖端, 且具有用于沉积金属基合金的路线的尖端直径, 其中路线的宽度和高度部分地基于尖端的直径。挤出尖端 122 的合适的尖端直径的例子是从约 250 微米 (约 10mils) 至约 510 微米 (20mils) 的范围变化。在一个实施例中, 挤出尖端 122 包括非润湿环, 以降低金属基合金在挤出尖端 122 的外部积累的风险。

[0055] 通过 (从驱动电机) 施加旋转动力至驱动辊 132, 金属基合金被挤出而通过挤出头 40 的挤出管线 112。驱动辊 132 和惰辊 134 的摩擦抓握力将旋转动力转换成施加至线 124 的驱动压力。驱动压力迫使线 124 的连续的部分进入到液化器管 136 中, 其中通过液化器块 138 将金属基合金加热至可挤出的状态。如下文所讨论的, 通过加热金属基合金至金属基合金的半固体状态来达到可挤出的状态。对于金属基合金, 这产生了适合于挤出的软泥状一致性。如下文进一步讨论的, 在一个实施例中, 金属基合金被加热至金属基合金的半固体状态时的温度, 在所述半固态其基本上在冷却时保持线 124 的原始晶粒结构 (例如基本上没有枝晶), 其保持原始晶粒结构的物理特性。

[0056] 线 124 的未熔化的部分作为具有粘性泵作用的活塞起作用, 以通过液化器管 136 和挤出尖端 122 挤出加热的金属基合金, 从而挤出加热的金属基合金。迫使线 124 进入液化器管 136 和挤出金属基合金所需要的驱动压力基于几个因素, 诸如对金属基合金流动的阻力, 驱动辊 132 的轴承摩擦、在驱动辊 132 和惰辊 134 之间的握紧摩擦和其它因素, 所有的这些因素抵抗由驱动辊 132 和惰辊 134 施加至线 124 的驱动压力。

[0057] 金属基合金沉积成预定的图案, 以一层又一层的方式构建 3D 物体 22。就象被挤出的热塑性材料那样, 金属基合金的挤出过程典型地显示出一种自平坦化的作用。这是由于压力反馈, 其中之前沉积的合金使得指向上游的压力抵着被从挤出尖端 122 挤出的合金。压力反馈基于几个因素, 诸如通过与之前挤出的且冷却的合金接触而导致合金冷却, 来自在挤出尖端 122 处聚积的合金的回压力, 以及由于挤出尖端 122 上的限制而造成的液化器组件 120 的有效时间常数的变化。这一压力反馈改变了线 124 和驱动辊 132/ 惰辊 134 之间的接合, 其改变金属基合金的挤出速度而诱发了自平坦化作用。在可替代的实施例中, 单独的平坦器组件 (未显示) 可以被并入系统 10, 用于为层或 3D 物体 22 和 / 或对应的支撑结构提供额外的平坦化过程。

[0058] 如上文所讨论的, 期望构建腔 14 的温度允许沉积的金属基合金冷却到合金的玻璃化转化温度以下, 从而允许沉积的合金保持其形状和支撑随后沉积的层。而且, 不管合金的高热导率, 由于它在构建腔 14 中冷却, 所以温度升高的构建腔 14 降低了机械扭曲沉积的金属基合金的风险。这样, 可以用线 124 的金属基合金构建 3D 物体 22, 其显示出良好的物理特性, 同时还基本上保持了 (用沉积的热塑性材料能够获得的) 同一期望的沉积图案。

[0059] 虽然在上文讨论了将挤出头 40 和液化器组件用于沉积过程, 但是挤出管线 112 可以被各种不同的给料驱动机构和液化器布置替代。例如, 系统 10 可以包括一个或更多的

两级泵组件,诸如在 Batchelder 等美国专利 No. 5,764,521 和 Skubic 等的美国专利申请 No. 12/069,536 中所公开的那些。这一实施例有利于将挤出金属基合金所使用的驱动电机放置在腔壁 24 的外面,从而热隔离驱动电机与温度升高的构建腔 14。可替代地,系统 10 可以包括一个或更多的冷冻阀组件,诸如在 Batchelder 等美国专利 No. 6,578,596 中所公开的那些。

[0060] 图 6 是与脐部 56 一起使用的挤出头 140 的正透视图,其中挤出头 140 对于用于系统 10 中的挤出头 40(在图 1-5 中所显示的)是另一备选。与包括挤出管线 112(图 5 中显示的)的挤出头 40 相比,挤出头 140 包括挤出管线 142、供给管 144、冷却剂螺旋管 146、冷却剂管线 148 以及冷冻阀组件 150。因此,挤出头 140 用作混合型的液化器/冷冻阀设计,其中金属基合金在挤出管线 142 被加热成可挤出的状态,且从冷冻阀组件 150 进行沉积。

[0061] 挤出管线 142 包括供给管 154、冷却剂组件 156、驱动机构 158、液化器组件 160 以及过滤器 162,其中供给管 154、冷却剂组件 156、驱动机构 158 以及液化器组件 160 可以与挤出管线 112(图 5 中显示的)供给管 114、冷却剂组件 116、驱动机构 118 以及液化器组件 120 相同的方式起作用。然而,期望挤出管线 142 位于腔壁 24 的外面(如图 1 所显示的),从而热隔离挤出管线 142 与温度升高的构建腔 14。这有利于保护挤出管线 142 的温度敏感部件(例如用于驱动机构 158 的驱动电机)免于暴露至升高的温度。过滤器 162 设置在液化器组件 160 的下游,且被构造成过滤掉由加热的金属基合金携带的残余杂质(例如氧化物)。供给管 144 延伸通过脐部 56 且互连挤出管线 142 和冷冻阀组件 150。因此,供给管 144 将来自挤出管线 142 的加热的金属基合金传送到冷冻阀组件 150。

[0062] 还期望冷却剂螺旋管 146 位于构建腔 14 的外面,且作为流控制设备被构造成调节经由冷却剂管线 148 至冷冻阀组件 150 的冷却剂气体的流。冷却剂螺旋管 146 包括气体进口 164,其是用于接收加压的冷却剂气体的端口。合适与冷却剂螺旋管 146 一起使用的冷却剂气体的例子包括上文讨论的用于构建腔 14(例如氩气)的惰性气体。这允许惰性气体的单个源被用于供给惰性气体而用于构建腔 14、供给冷却剂气体而用于脐部 56,以及供给冷却剂气体而用于操作冷冻阀组件 150。冷却剂螺旋管 146 基于由控制器 13(图 1 显示的)所提供的信号(经由冷却剂管线 148)调整到冷冻阀组件 150 的冷却剂气体的流。冷却剂管线 148 延伸通过脐部 56 且互连冷却剂螺旋管 146 和冷冻阀组件 150,用于将来自冷却剂螺旋管 146 的冷却剂空气的流传送到冷冻阀组件 150。

[0063] 冷冻阀组件 150 是沉积组件,诸如在 Batchelder 等的美国专利 No. 6,578,596 中所公开的那种,其被 x-y 轴线构台(例如,x-y 轴线构台 38,图 1-4 中显示)保持,用于在水平的 x-y 平面内围绕构建腔移动。冷冻阀组件 150 期望包括具有高热阻的流路径管(未显示),用于接收和沉积来自供给管线 144 的加热的金属基合金。在来自冷却剂管线 148 的冷却剂气体被迫绕流路径管的外部流动时,冷却剂气体以大于管被加热的速度的热传递速度从管和金属基合金吸取热量。这使得管关闭,从而有效地阻挡金属基合金的流。在冷却剂气体的流(经由冷却剂螺旋管 146)被停止时,管热起来而打开用于金属基合金的流路径。这允许金属基合金被沉积(由箭头 166 表示),用于以逐层的方式形成 3D 物体 22(图 1 显示的)。

[0064] 由于快速的可实现的响应时间,冷冻阀组件 150 尤其适合于与金属基合金一起使用。例如,用于操作冷冻阀组件 150 的响应时间可以低于一毫秒,其基本上小于用热塑性材

料可实现的响应时间（例如约 10 毫秒）。另外，挤出头 140 的混合型液化器 / 冷冻阀设计允许可移动的部件（例如冷却剂螺线管 146 和驱动机构 158）设置在构建腔 14 的外面，而减小了构建腔 14 内的温度敏感部件的数量。这相应地增加了系统 10 中的部件的操作寿命。

[0065] 图 7 是挤出头 168 和脐部 56 的正透视图，其示出了对用于系统 10 中的挤出头 140（图 6 中显示的）的一种替代。挤出头 168 以类似于挤出头 140 的方式起作用，且包括挤出管线 170、供给管 172、螺线管组件 174、冷却剂管线 176a-176c 以及冷冻阀组件 178。挤出管线 170 和供给管线 176 以与挤出管线 142 和供给管线 144（图 6 显示的）相同的方式起作用，用于通过脐部 56 传送加热的金属基合金至冷冻阀组件 178。

[0066] 螺线管组件 174 包括冷却剂螺线管 174a-174c 和气体入口 184，其中每一冷却剂螺线管 174a-174c 以与冷却剂螺线管 146（图 6 显示的）相同的方式起作用，气体入口 180 以与气体入口 164（图 6 显示的）相同的方式起作用。相应地，冷却剂螺线管 174a-174c 基于由控制器 13（图 1 中显示的）提供的信号调整分别通过冷却剂管线 176a 和 176c 至冷冻阀组件 178 的冷却剂气体的流。

[0067] 冷冻阀组件 178 是以与冷冻阀组件 150（图 6 显示的）相同的方式起作用的沉积组件。然而，与包括单个沉积管线的冷冻阀组件 150 相比，冷冻阀组件 178 包括三个单独的沉积管线，用于沉积由挤出管线 170 供给的金属基合金。分别由来自冷却剂螺线管 174a-174c 的被调整的冷却剂气体流分别控制三个单独的沉积管线。这允许金属基合金被沉积在多个独立的沉积管线（由箭头 182a-182c 表示的）中，用于以逐层的方式形成 3D 物体 22（图 1 中显示的）。

[0068] 虽然在上文讨论的挤出头 168 包括单个挤出管线（即，挤出管线 170），但是挤出头 168 可以可替代地包括用于供给多种材料至冷冻阀组件 178 的多个挤出管线。例如，挤出头 168 可以包括用于螺线管组件 174 中的每个冷却剂螺线管的挤出管线，诸如用于金属基合金的一个或更多的挤出管线和用于支撑材料的一个或更多的挤出管线。另外，虽然公开的是螺线管组件 174 具有三个冷却剂螺线管（即冷却剂螺线管 174a-174c），但是螺线管组件 174 可以可替代地包括能沉积来自冷冻阀组件 178 的材料的不同数量的冷却剂螺线管。用于螺线管组件 174 的合适数量的冷却剂螺线管的例子可以是从一个到十个，尤其合适的数量从约两个至六个的范围内，甚至更加尤其合适的数量是从两个至四个的范围内。

[0069] 图 8 是挤出头 184 和脐部 56 的正透视图，其示出了对用在系统 10 中的挤出头 140（图 6 中显示的）的另一备选。挤出头 184 以类似于挤出头 140 的方式起作用，且包括挤出管线 186、供给管 188、冷却剂螺线管 190、冷却剂管线 192 以及冷冻阀组件 194。在这一实施例中，冷却剂螺线管 190、冷却剂管线 192 以及冷冻阀组件 194 以与上文讨论的对于挤出头 140（图 6 中显示的）冷却剂螺线管 146、冷却剂管线 148 以及冷冻阀组件 150 相同的方式起作用。然而，挤出管线 186 被用于代替挤出管线 142（图 6 中显示的），其中挤出管线 186 是泵基的挤出管线，其包括驱动电机 196、冷却剂组件 198 和液化器组件 200。

[0070] 驱动电机 196 是连接至液化器组件 200 的电机，且经由冷却剂组件 198 与液化器组件 200 热隔离。液化器组件 200 是螺杆泵液化器，其包括贮液器 202、挤出通道 204、螺杆 206 和通风孔 208。贮液器 202 是腔，在所述腔中，供给的金属基合金（被称作合金 210）期望被加热至可挤出的状态并被供给至挤出通道 204。还期望贮液器 202 包括层 212（例如石墨层），其浮在被加热的被供给的合金 210 上。层 212 可有利地降低在合金 210 上的氧化攻

击的风险,且还可以作为热隔离层起作用以保持贮液器 202 内的热量。因为金属基合金在贮液器 202 中被加热至可挤出的状态,所以合金 210 可以被以各种介质的形式(例如粉末、小球和线)供给至挤出管线 186。

[0071] 挤出通道 204 是用于保持螺杆 206 的通道,其连接至供给管线 188。螺杆 206 是轴向连接至驱动电机 196 的挤出螺杆,并驱动合金 210 通过挤出通道 204 至供给管线 188。通风孔 208 是气体和液体溢流通风孔,其降低了在操作期间过压所述挤出通道 204 的风险。在操作期间,合金 210 被螺杆 206 的旋转驱动通过挤出通道 204 和供给管线 188 至冷冻阀组件 194。之后,冷冻阀组件 194 响应于来自冷却剂螺线管 190 的冷却剂空气的调整流,挤出加热的金属基合金。这允许金属基合金被沉积(由箭头 214 表示),从而以逐层的方式形成 3D 物体 22(图 1 中显示的)。

[0072] 虽然在上文讨论挤出头 184 包括单个挤出管线(即,挤出管线 186)和单个冷却剂螺线管(即冷却剂螺线管 190),但是挤出头 184 可以可替代地包括多个挤出管线和/或多个冷却剂螺线管,用于供给多种材料至冷冻阀组件 194,如在上文对挤出头 168(图 7 中显示的)所讨论的那样。

[0073] 图 9 是示例性的金属 A 和金属 B 的温度对组分的二元相图,其显示出用于与系统 10(图 1 中显示的)一起使用的合适的金属基合金。此处所指的所有温度是基于在构建操作期间的构建腔 14 的压力(被称作“操作压力”)。如上文所讨论的,操作压力可以在真空或部分压力条件下,被用惰性气体加压而高于气氛压力或用惰性气体达到气氛压力。

[0074] 如图 9 所示,纯金属 A(即由金属 B 的重量计为 0%) 在 T_{MA} 具有熔化温度,纯金属 B(即由金属 B 的重量计为 100%) 在 T_{MB} 具有熔化温度,其中 T_{MA} 高于 T_{MB} 。因此,纯金属 A 和 B 分别在 T_{MA} 和 T_{MB} 在固相和液相之间切换。然而,在纯金属 A 和 B 之间的组分,金属基合金形成固相线 216 和液相线 218 之间的半固相。在固相线 216 以下,金属基合金仅以固相存在,在液相线以上,金属基合金仅以液相存在。然而,在半固相中,金属基合金由固相晶体和液体构成,从而显示出软泥状的一致性。

[0075] 例如,重量为约 75% 的金属 A 和约 25% 的金属 B 构成的金属基合金具有固相线温度 T_s 和液相线温度 T_l 。在固相线温度 T_s 以下的温度,金属基合金以固相存在,且不能从系统 10 挤出。可替代地,在高于液相线温度 T_l 的温度,金属基合金以液相存在。液相也不适合于用于挤出金属基合金而构建 3D 物体。在液相下的金属基合金的粘性在被沉积到构建平台 32(图 1 和 2 中显示的)时不足以保持其形状,也不足以支撑随后沉积的层。

[0076] 然而,在固相线温度 T_s 和液相线温度 T_l 之间,金属基合金以半固相存在,其中金属基合金的粘性随着温度从固相线温度 T_s 增加至液相线温度 T_l 而降低。因此,金属基合金可以在系统 10 中被加热至具有适于从挤出头 40(图 1-4 中显示的)、挤出头 140(图 6 中显示的)、挤出头 168(图 7 中显示的)和/或挤出头 184(图 8 中显示的)挤出的粘性。对挤出金属基合金来说,合适粘性的例子从约 1 泊至约 1000 泊的范围变化,尤其合适的粘性从约 5 泊至约 500 泊的范围变化,甚至更加尤其合适的粘性从约 10 泊至约 100 泊的范围变化。

[0077] 相应地,用于与系统 10 一起使用的合适金属基合金包括包含两种或更多的金属元素的任何合金,且显示至少一种半固体状态(例如非纯的元素和非共晶的合金)。合适的金属基合金的例子包括 (AlSi) 铝硅合金,诸如包括重量为约 90% 至重量为约 95% 的铝以及重量为约 5% 至重量为约 10% 的硅的 AlSi 合金。合适的合金显示出相对低的液相线温

度,且具有用于粘性控制的在它们的固相线温度和液相线温度之间的合适的范围。商业上销售的合适的 AlSi 合金的例子包括 A356 和 A357 浇铸合金。

[0078] 期望每一种合适的金属基合金在系统 10 中加热至合适的温度,从而提供半固相内的合适的粘性以用于挤出。期望金属基合金在系统 10 内处理期间不被加热到高于它们的液相线温度。加热金属基合金高于其液相线温度然后冷却合金返回到其半固相,基本消除合金的原始晶粒结构,在冷却时会形成枝晶。另外在通过传统的浇铸技术制造的模型中普遍发现枝晶的形成,这降低了金属基合金的物理特性。

[0079] 相反,在系统 10 中使用的金属基合金期望被加热至用于挤出的合适粘性的范围内的温度,这还在半固相中提供了高浓度的固体晶体。在沉积和再次固化期间,这大致上保持了原材料合金线的原始晶粒结构,且降低了枝晶的形成。另外,在一个实施例中,在与系统 10 一起使用之前,金属基合金被热处理。在这一实施例中,被热处理的金属基合金也被加热至在半固相中合适的温度以用于挤出。在以逐层的方式沉积和再次固化之后,合金基本上保持了其原始的热处理特性。

[0080] 例子

[0081] 在下述的例子中更加具体地描述了本发明,其的目的是仅是用作说明,这是因为在本发明的范围内的诸多修改和变化对本领域技术人员来说是明显的。除非另外指出,在下述的例子中所记录的所有份数、百分比以及比例是基于重量,在例子中所使用的所有试剂可以从下文描述的化学供应商处获得或购买得到,或可以通过传统的技术合成。

[0082] 用来自挤出头的铝硅 (AlSi) 合金来执行基于挤出的构建操作,以确定达到具有适于挤出的粘性的半固相合金的可行性。图 10 是铝和硅的温度对组分的部分二元相图,其显示出 AlSi 合金的温度相位轮廓。AlSi 合金包括重量为约 93% 的铝和重量为约 7% 的硅 (即 AlSi 合金 A357),且具有约 575°C 的固相线温度和约 620°C 的液相线温度。

[0083] AlSi 合金的金相结构基本上没有枝晶,且显示出具有为 14 微米的平均直径的硅颗粒岛。合金被加热至约 610°C 的温度,且被成功地以逐层的方式挤出以形成 3D 物体。对所获得的 3D 物体中的 AlSi 合金的分析显示 AlSi 合金保持基本上没有枝晶。这样,加热 AlSi 合金至合金的半固相内的温度基本上保持了合金的原始晶粒结构。此外,AlSi 合金的使用也有利于防止氢吸收,氢吸收典型地在等于或高于约 650°C 的温度下发生。

[0084] 由 AlSi 合金构成的样本金属也被加热至低于和高于 AlSi 合金的液相线温度的挤出温度,以确定温度在合金的晶粒结构上的作用。图 11 是经受挤出温度之前的 AlSi 合金线的显微图。图 11-13 中显示的线的每一个都嵌入到环氧树脂中,重叠返回至大致杆的轴线、被抛光且被蚀刻以帮助观察合金的晶粒结构。如图 11 所示,AlSi 合金显示出小的平均晶粒尺寸,具有均匀分布的硅颗粒。

[0085] 第一组的 AlSi 合金线被加热至约 610°C 的挤出温度,其将 AlSi 合金线设置到半固相中,持续时间 30 分钟。图 12 是在被加热至半固相和再次固化之后 AlSi 合金线的显微图。如图所示,所获得的 AlSi 合金没有枝晶,硅颗粒熔化以形成小的聚结 (约 5 个硅颗粒聚结成单个聚结颗粒)。因此,合金的原始晶粒结构基本上被保持。

[0086] 第二组 AlSi 合金线被加热至高于合金的液相线温度的温度 (即高于约 620°C),其完全熔合金。图 13 是在被加热高于液相线温度和再次固化之后比较例 A 的 AlSi 合金线的显微图。如图所示,所获得的 AlSi 合金显示出大的枝晶结构,其通常在铸件中。这样

的枝晶结构可能不利地影响所获得的合金的物理特性。相反,然而如图 12 所示,加热 AlSi 合金至提供适于挤出的粘性的且在半固相内的温度,允许合金被以逐层的方式挤出以形成 3D 物体,其中所获得的 AlSi 合金的 3D 物体基本上保持其原始的晶粒结构。

[0087] 虽然参考优选的实施例描述了本发明,但是本领域技术人员将认识到可以在不背离本发明的精神和范围的情况下在形式和细节上进行改变。

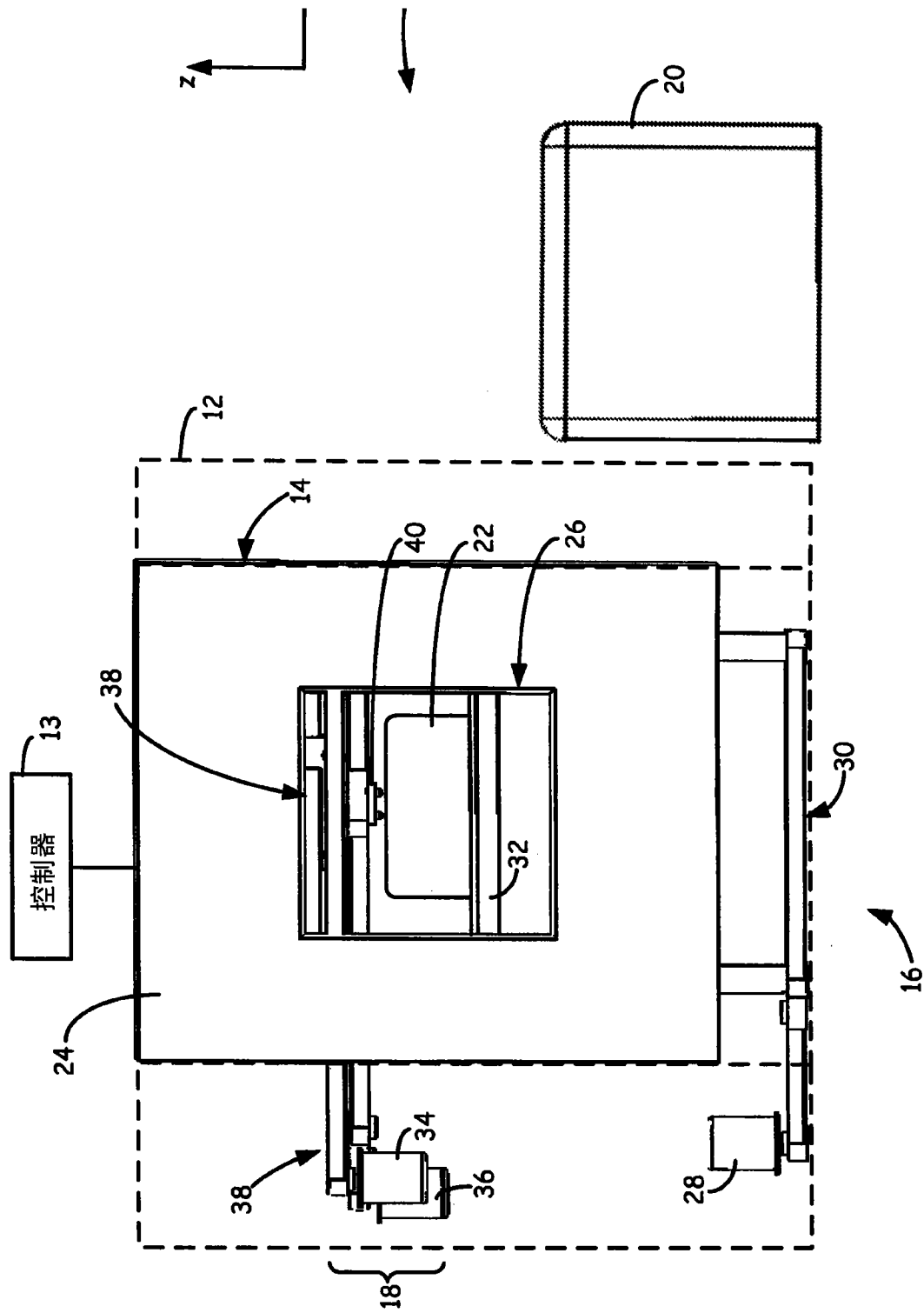


图 1

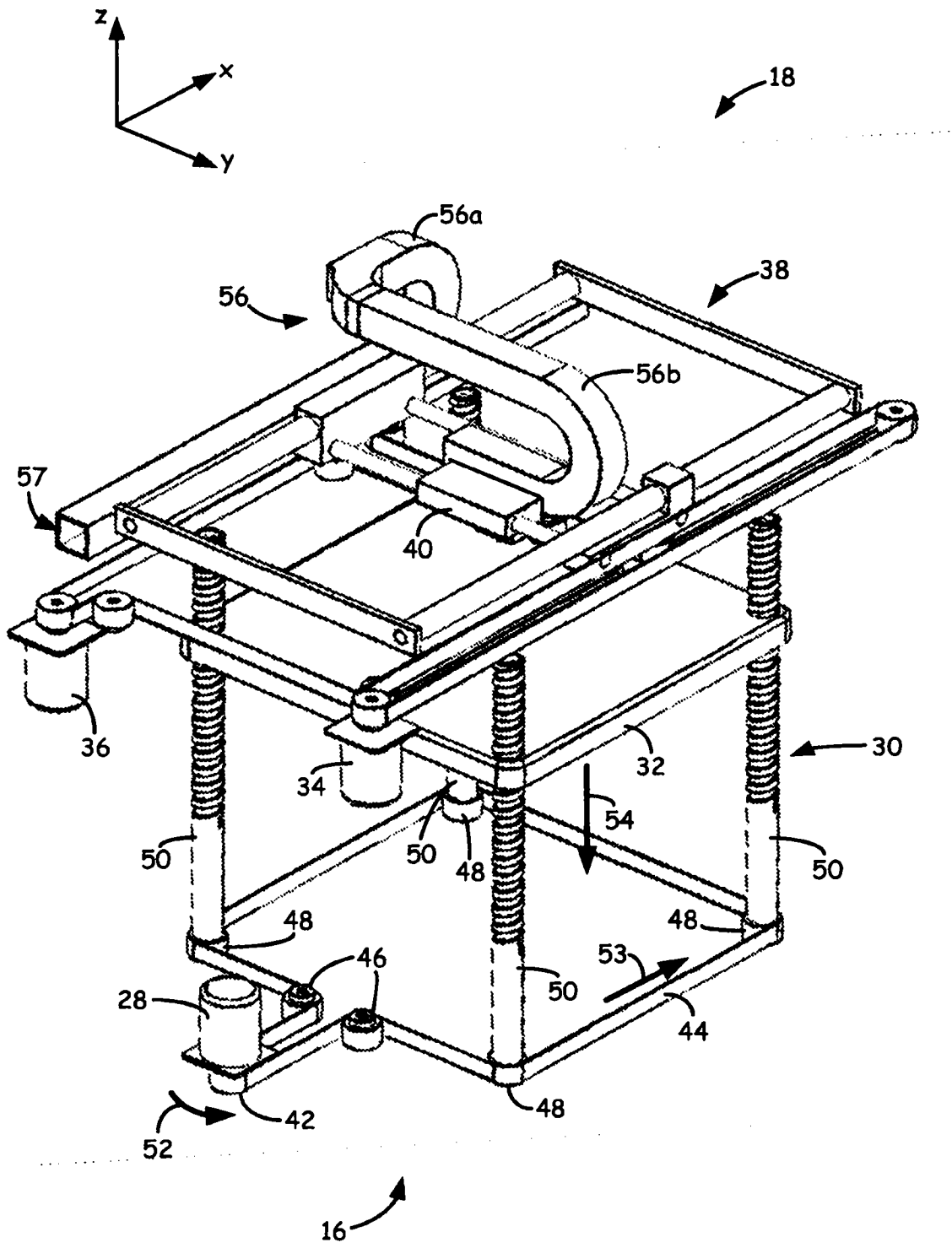


图 2

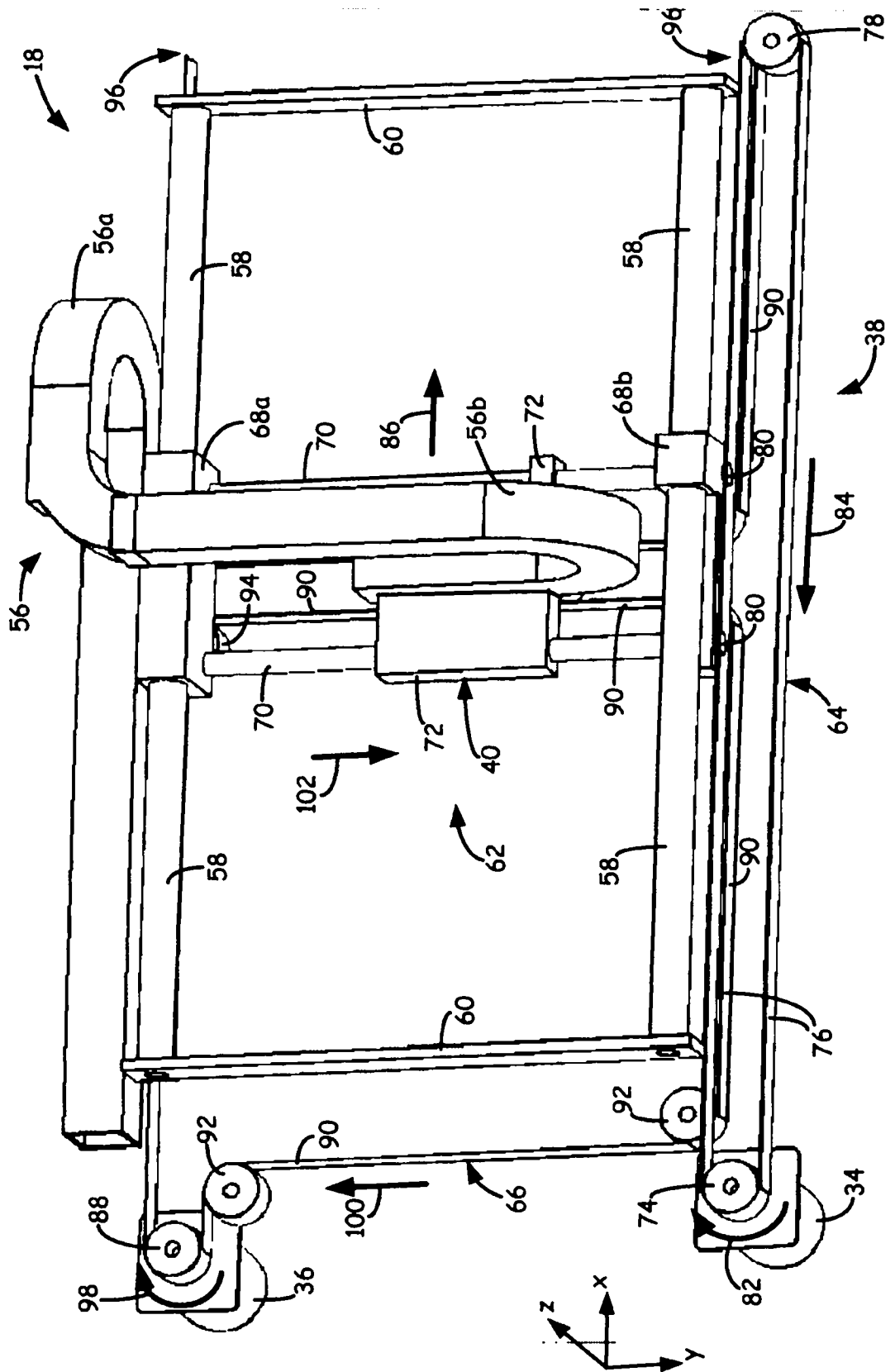


图 3

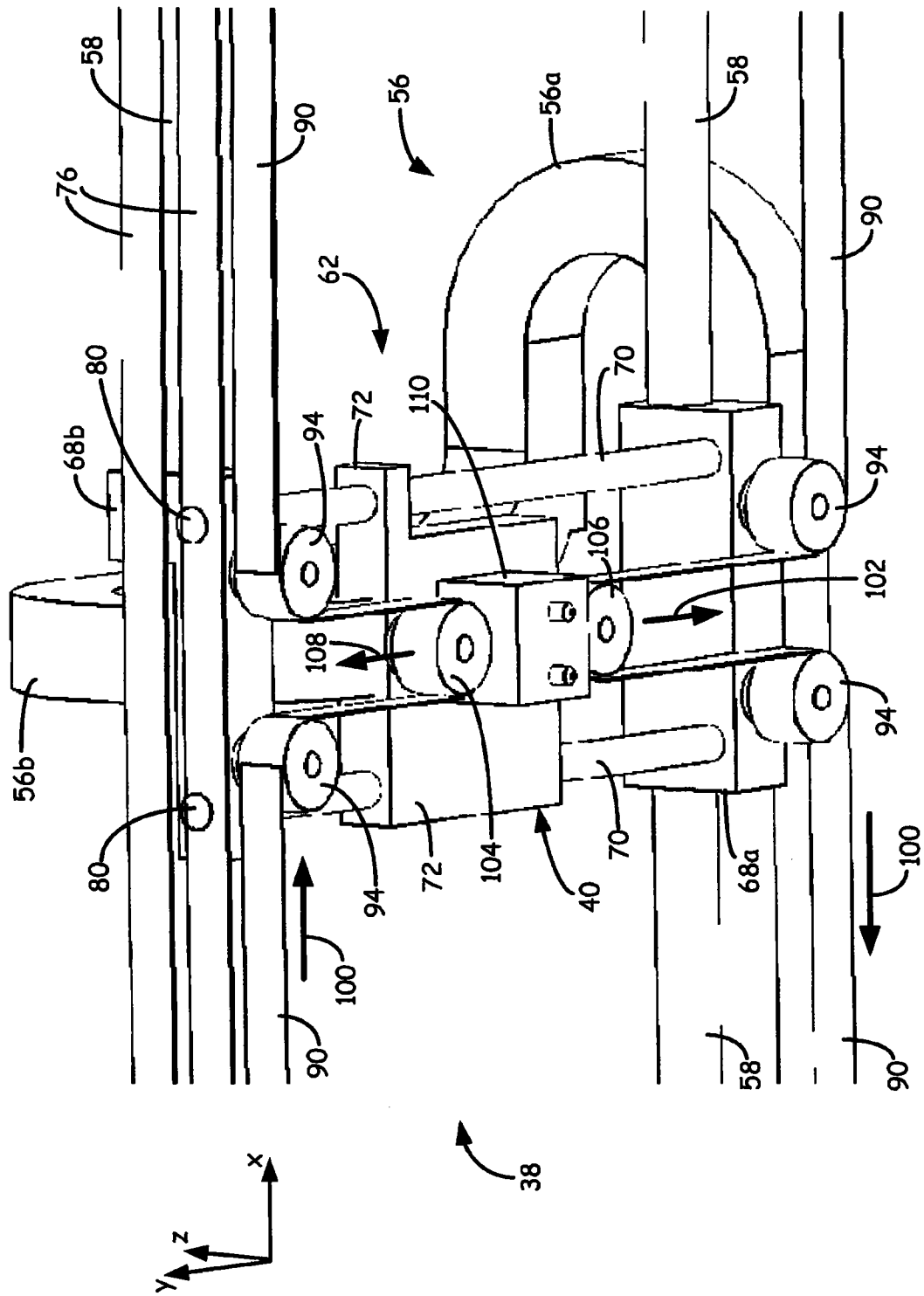


图 4

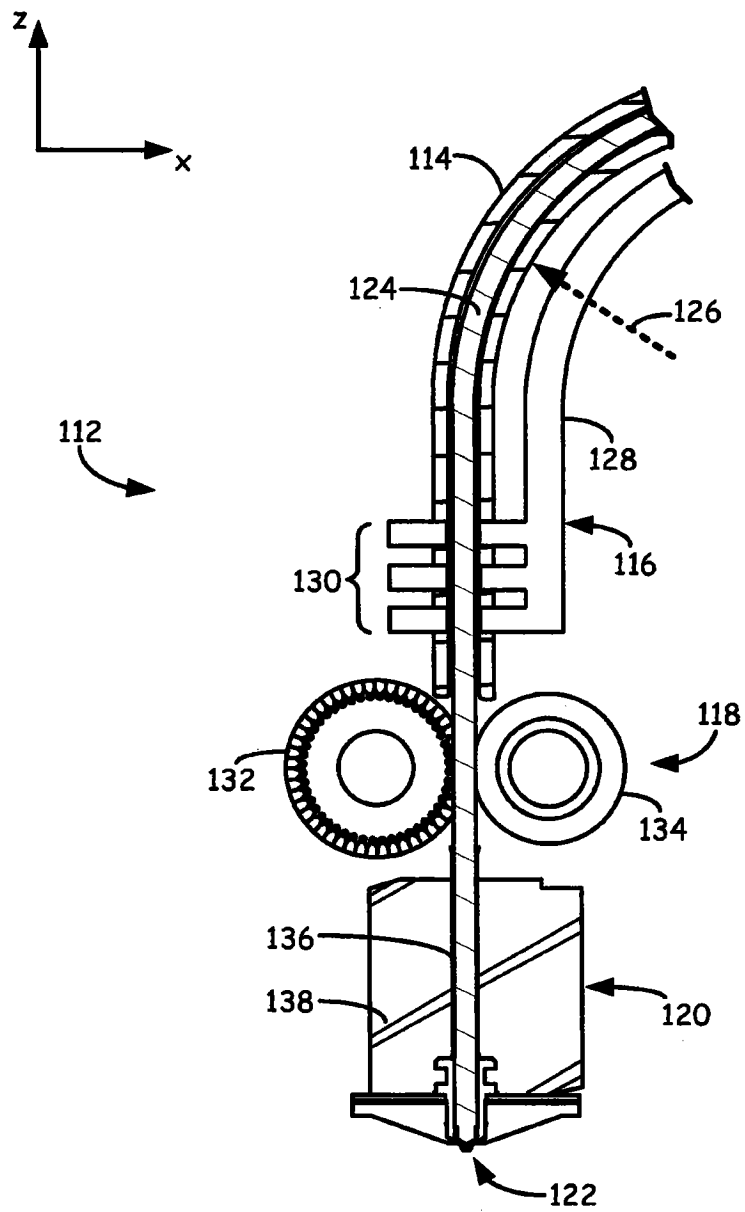


图 5

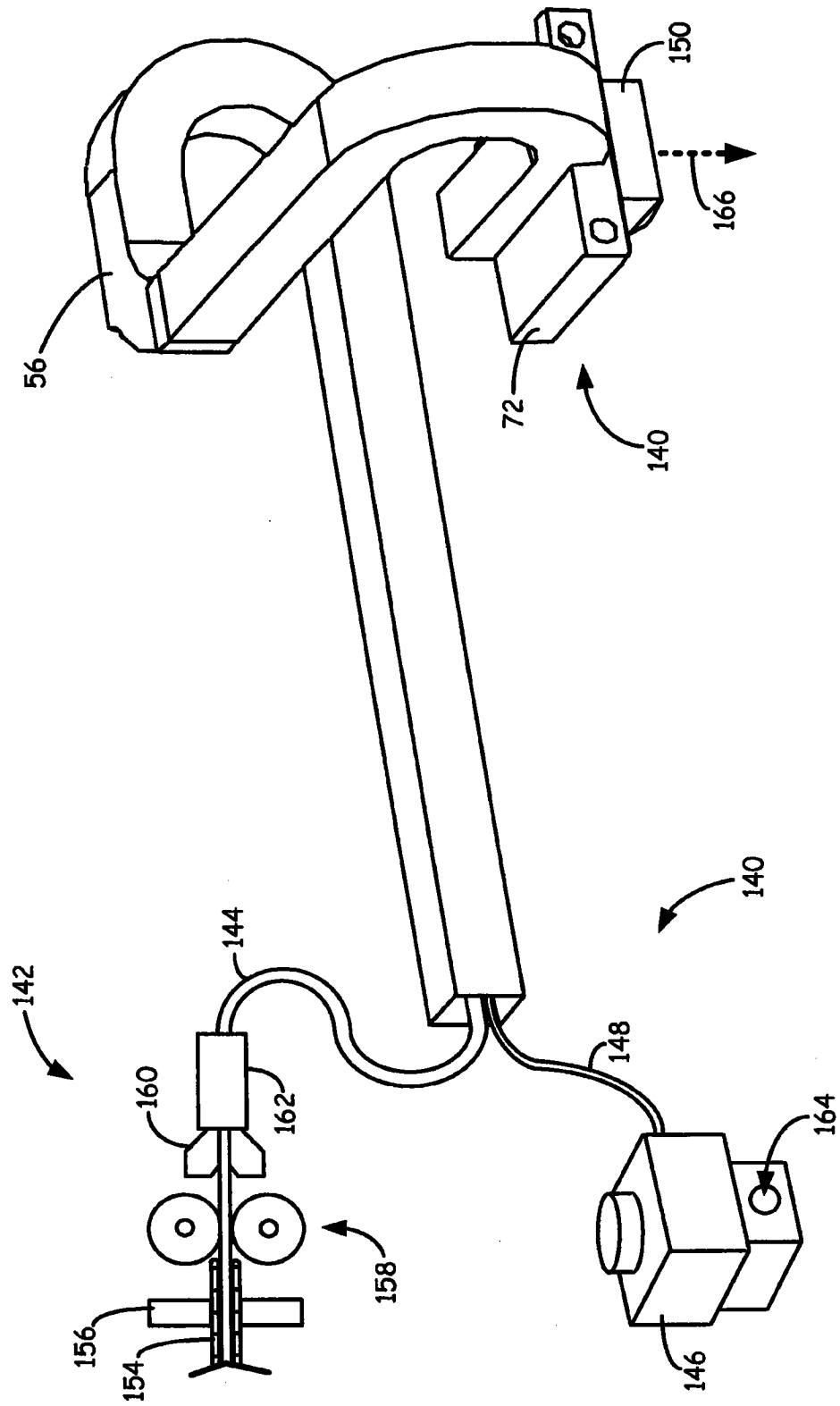


图 6

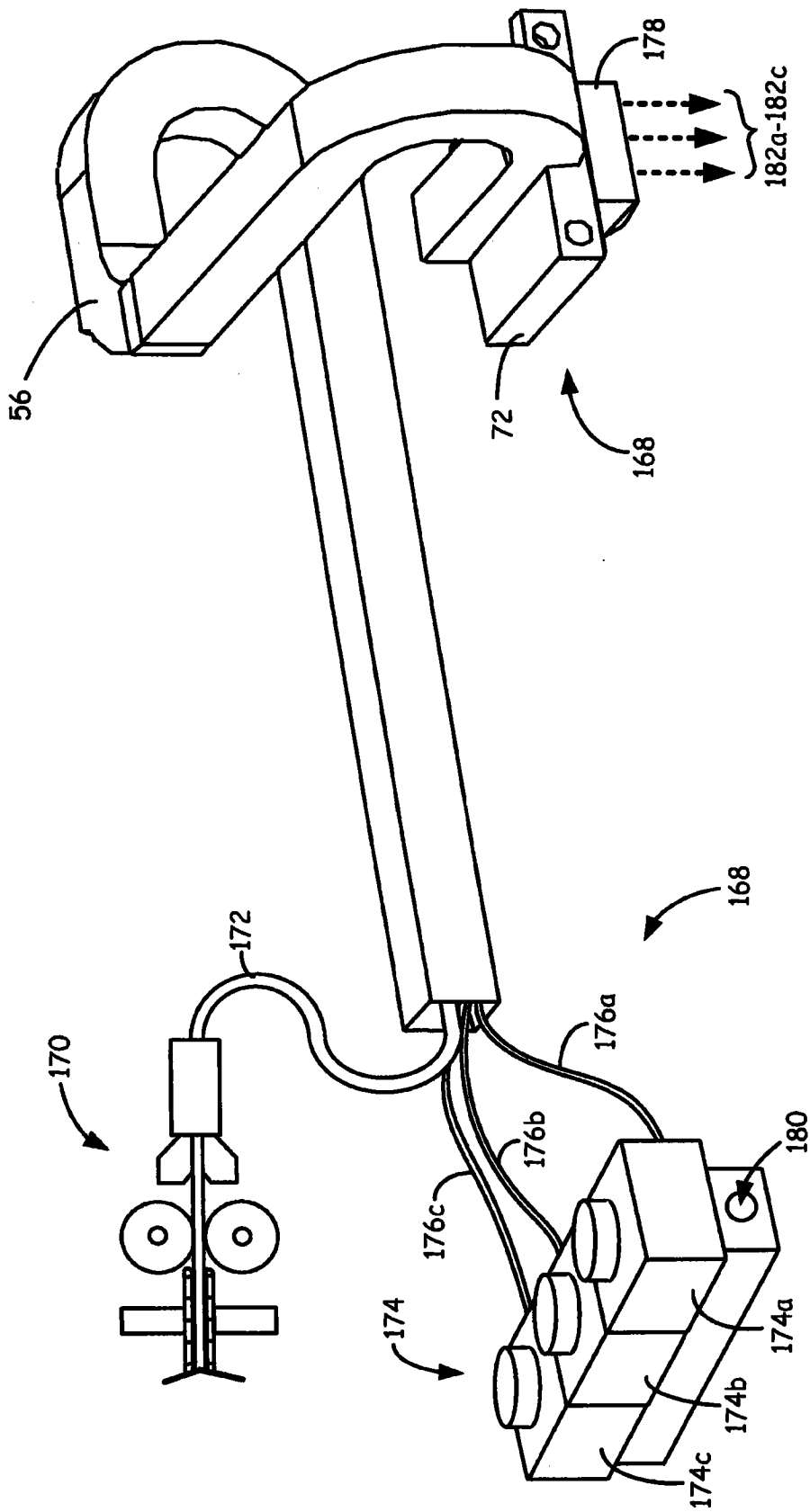


图 7

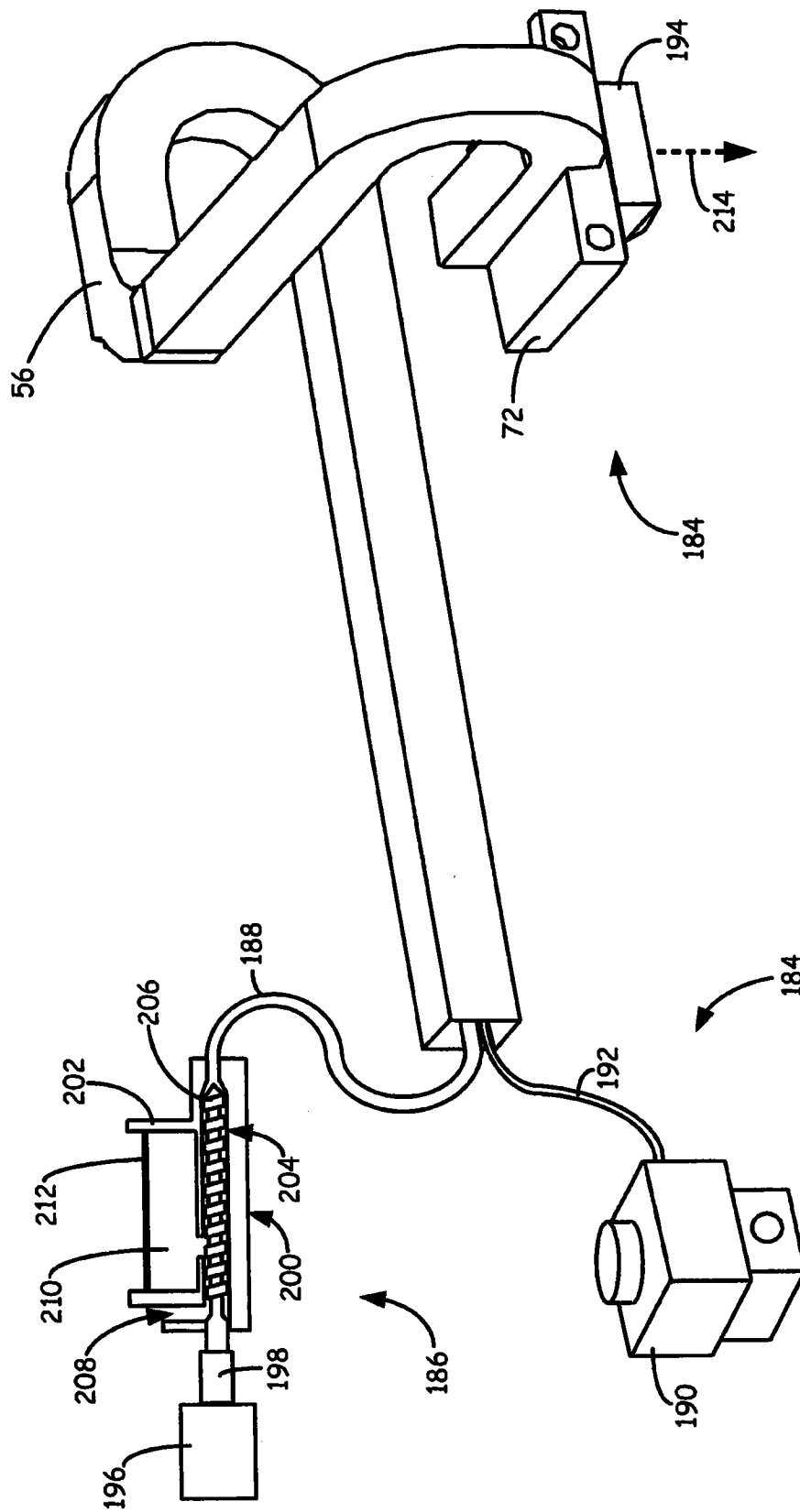


图 8

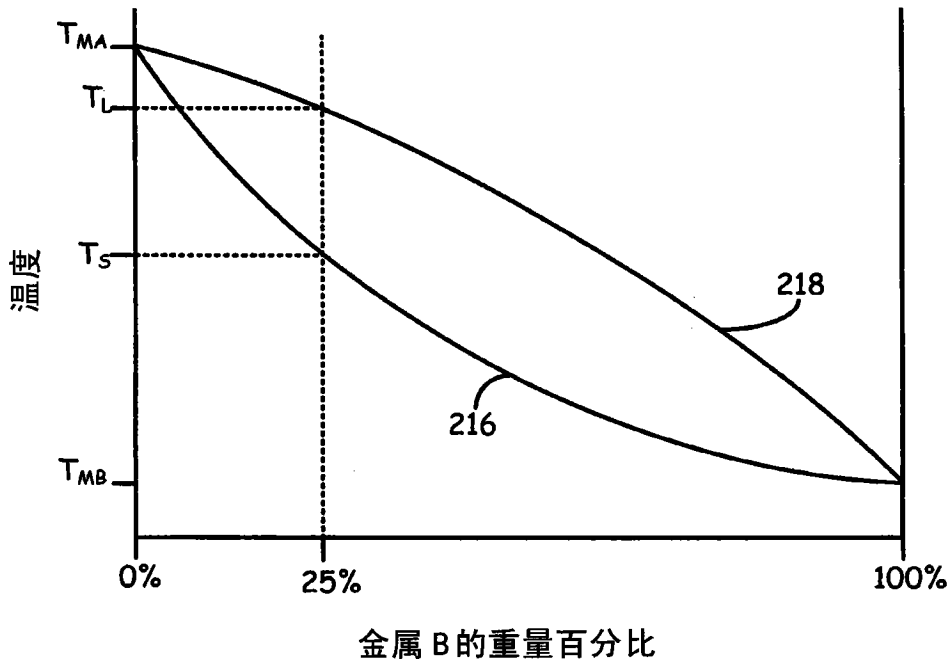


图 9

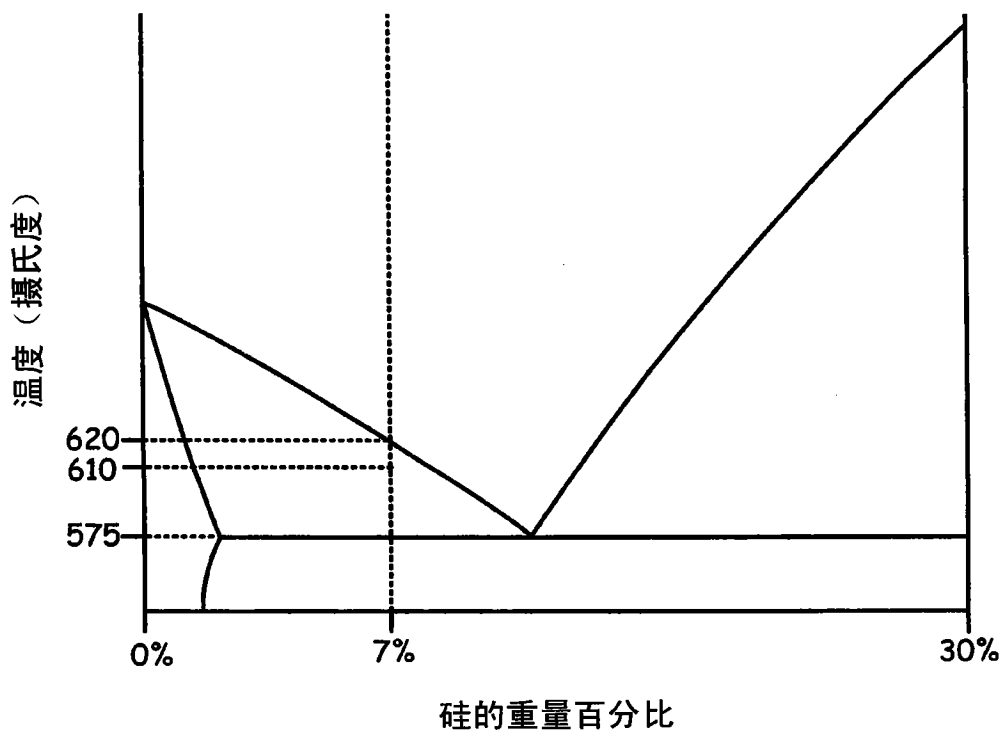


图 10

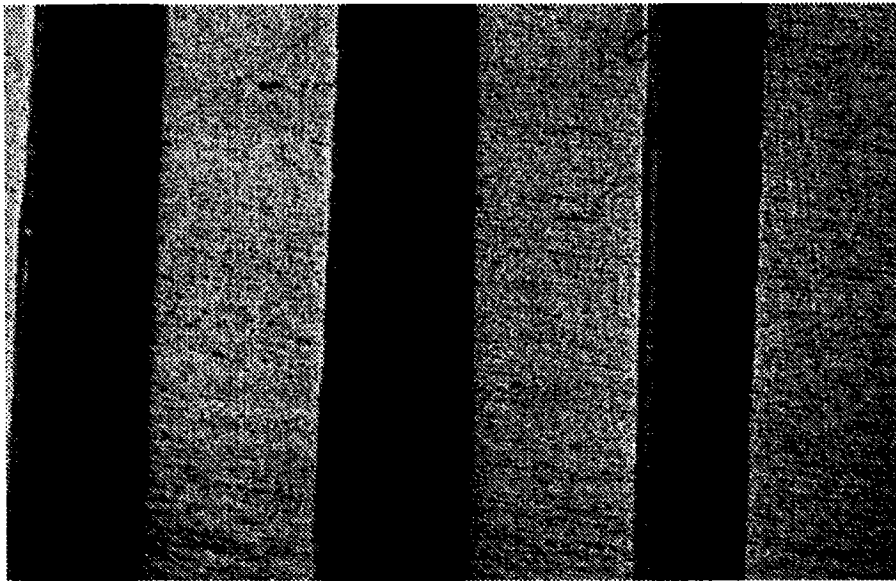


图 11

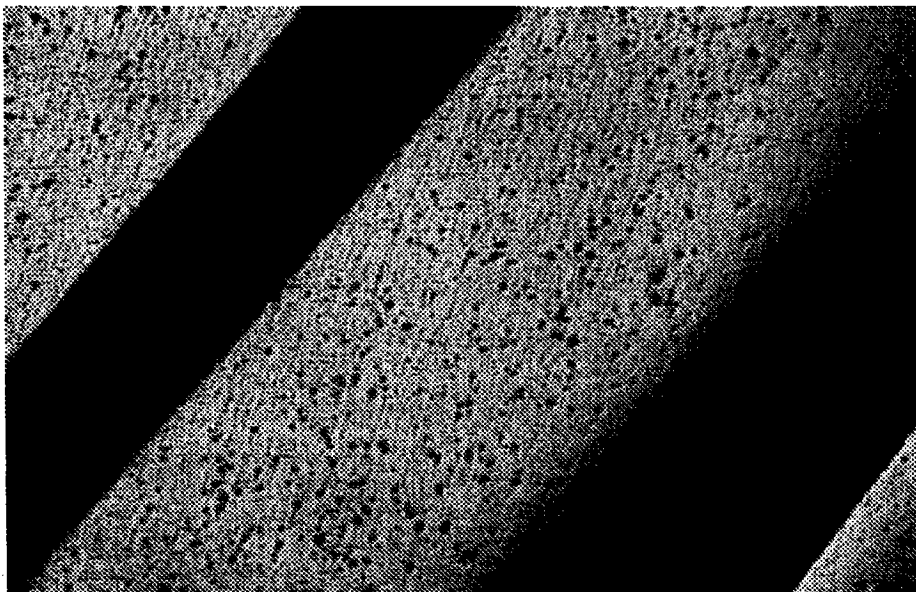


图 12



图 13