



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115012004 A

(43) 申请公布日 2022.09.06

(21) 申请号 202210202105.X

(22) 申请日 2022.03.03

(30) 优先权数据

17/192027 2021.03.04 US

(71) 申请人 和谐工业有限责任公司

地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 G·塔吉里 D·G·琼纳拉加达

M·R·斯托雷奇 E·M·菲尔普斯

J·L·伯德特

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

专利代理人 万宇 杨忠

(51) Int.Cl.

C25D 1/00 (2006.01)

F02C 7/12 (2006.01)

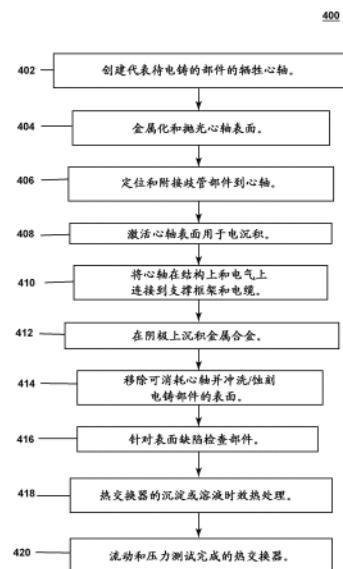
权利要求书1页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

增材热交换器及形成方法

(57) 摘要

一种电铸方法可用于通过在具有光滑且导电表面的心轴上电铸热交换器来制备热交换器。心轴呈热交换器的至少一部分的形状，并且从电铸热交换器移除。



1. 一种电铸热交换器的方法,该方法包括:  
抛光成形为所述热交换器的至少一部分的心轴的导电表面;  
将所述热交换器电铸到所述心轴的导电表面上;和  
从所述电铸热交换器中移除所述心轴。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,抛光所述导电表面使所述导电表面粗糙度(rms)光滑到小于32微英寸(0.81微米)。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中,电铸所述热交换器还包括电铸所述热交换器以具有小于4密耳(0.01厘米)的壁厚。
4. 根据权利要求1所述的方法,还包括激活所述导电表面用于电铸。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中,激活包括处理所述导电表面以移除污染物。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述电铸热交换器沿在移除所述心轴时暴露的内表面进行处理。
7. 根据权利要求6所述的方法,其中,处理所述热交换器包括以蚀刻剂处理所述内表面。
8. 根据权利要求1所述的方法,还包括将歧管部件附接到所述心轴。
9. 根据权利要求1所述的方法,还包括在抛光所述导电表面之前金属化所述心轴以形成所述导电表面。
10. 根据权利要求9所述的方法,还包括在金属化所述心轴之前形成所述心轴以成形为所述热交换器的至少一部分。

## 增材热交换器及形成方法

### [0001] 相关申请的交叉引用

本申请要求享有2021年3月4日提交的美国专利申请第17/192,027号的优先权和利益,其全部内容通过引用并入本文。

### 技术领域

[0002] 本公开内容总体上涉及一种热交换器,更具体地,涉及一种用于涡轮发动机的具有多个冷却通路的热交换器,其利用一种方法来改进电沉积期间的表面光洁度和壁厚控制。

### 背景技术

[0003] 现代发动机,例如飞机中使用的发动机,会产生大量热量,这些热量必须以一种或另一种方式从发动机中传递出去。热交换器提供了一种将热量从此类发动机中传递出去的方法。例如,热交换器可以围绕涡轮发动机的一部分布置成环。

[0004] 油可用于从发动机部件(例如发动机轴承、发电机等)散发热量。热量通常通过风冷式油冷却器、且更具体地表面风冷式油冷却器系统将热量从油传递到空气,以将油温保持在大约100°F到300°F的所需范围内。在许多情况下,环境可低至-65°F。

### 发明内容

[0005] 本发明的方面和优点将部分地在以下描述中阐述,或者可以从描述中显而易见,或者可以通过本发明的实践来学习。

[0006] 在一个方面,本公开内容涉及一种电铸热交换器的方法,该方法包括:抛光成形为热交换器的至少一部分的心轴的导电表面;将热交换器电铸到心轴的导电表面上;并且从电铸热交换器中移除心轴。

[0007] 在又另一方面,本公开内容涉及一种对部件进行电铸的方法,该方法包括:对成形为部件的心轴的导电表面进行抛光;将部件电铸到心轴的导电表面上;以及从部件中移除心轴,以暴露先前由心轴接界的部件的新表面;其中新表面具有小于32微英寸的表面粗糙度(rms),这是在电铸部件之前抛光导电表面的结果。

[0008] 在又另一方面,本公开内容涉及一种形成热交换器的方法,该方法包括:提供限定热交换器的形状的可移除心轴;在导电涂层中涂覆心轴的表面以限定阴极;将热交换器电铸到阴极上,以包括3-4密耳的壁厚;从电铸热交换器中移除心轴;以及处理电铸热交换器以从电铸热交换器移除任何剩余的导电涂层。

[0009] 参考以下描述和所附权利要求书,本发明的这些和其他特征、方面和优点将变得更好理解。并入并构成本说明书一部分的附图说明了本发明的实施例,并且与描述一起用于解释本发明的原理。

[0010] 技术方案1. 一种电铸热交换器的方法,该方法包括:

抛光成形为所述热交换器的至少一部分的心轴的导电表面;

将所述热交换器电铸到所述心轴的导电表面上；和  
从所述电铸热交换器中移除所述心轴。

[0011] 技术方案2. 根据技术方案1所述的方法，其中，抛光所述导电表面使所述导电表面粗糙度 (rms) 光滑到小于32微英寸 (0.81微米)。

[0012] 技术方案3. 根据技术方案2所述的方法，其中，电铸所述热交换器还包括电铸所述热交换器以具有小于4密耳 (0.01厘米) 的壁厚。

[0013] 技术方案4. 根据技术方案1所述的方法，还包括激活所述导电表面用于电铸。

[0014] 技术方案5. 根据技术方案4所述的方法，其中，激活包括处理所述导电表面以移除污染物。

[0015] 技术方案6. 根据技术方案1所述的方法，其中，所述电铸热交换器沿在移除所述心轴时暴露的内表面进行处理。

[0016] 技术方案7. 根据技术方案6所述的方法，其中，处理所述热交换器包括以蚀刻剂处理所述内表面。

[0017] 技术方案8. 根据技术方案1所述的方法，还包括将歧管部件附接到所述心轴。

[0018] 技术方案9. 根据技术方案1所述的方法，还包括在抛光所述导电表面之前金属化所述心轴以形成所述导电表面。

[0019] 技术方案10. 根据技术方案9所述的方法，还包括在金属化所述心轴之前形成所述心轴以成形为所述热交换器的至少一部分。

[0020] 技术方案11. 一种电铸部件的方法，该方法包括：

抛光成形为所述部件的心轴的导电表面；

将所述部件电铸到所述心轴的导电表面上；和

从所述部件移除所述心轴，以暴露先前由所述心轴接界的所述部件的新表面；

其中所述新表面具有小于32微英寸的表面粗糙度 (rms)，这是在电铸所述部件之前抛光所述导电表面的结果。

[0021] 技术方案12. 根据技术方案11所述的方法，其中，所述部件还具有在3和4密耳之间的壁厚。

[0022] 技术方案13. 根据技术方案11所述的方法，还包括以蚀刻剂处理所述新表面。

[0023] 技术方案14. 根据技术方案11所述的方法，还包括在电铸之前通过处理所述导电表面以移除污染物来激活所述导电表面。

[0024] 技术方案15. 根据技术方案11所述的方法，其中，所述部件由孔隙率小于50微英寸的材料制成。

[0025] 技术方案16. 一种形成热交换器的方法，该方法包括：

提供限定所述热交换器的形状的可移除心轴；

在导电涂层中涂覆所述心轴的表面以限定阴极；

将所述热交换器电铸到所述阴极上，以包括3-4密耳的壁厚；

从所述电铸热交换器中移除所述心轴；和

处理所述电铸热交换器以从所述电铸热交换器移除任何剩余的导电涂层。

[0026] 技术方案17. 根据技术方案16所述的方法，还包括在电铸之前抛光所述导电涂层。

[0027] 技术方案18. 根据技术方案17所述的方法,其中,抛光提供用于为所述热交换器创建小于32微英寸的表面粗糙度(rms)。

[0028] 技术方案19. 根据技术方案16所述的方法,其中,电铸还包括形成单块的、一体的换热器,其包括第一歧管、第二歧管和将所述第一歧管联接到所述第二歧管的管组。

[0029] 技术方案20. 根据技术方案16所述的方法,其中,处理所述剩余的导电涂层包括使用蚀刻剂。

## 附图说明

[0030] 在附图中:

图1是具有以部件的形式的心轴的电沉积浴的示意图,其中部件的一部分被切除。

[0031] 图2是说明电铸部件、例如热交换器的方法的工艺流程图。

[0032] 图3是根据本文所述的各个方面具有通过多个管连接的歧管的通过图2中所示的工艺形成的热交换器的透视图。

[0033] 图4是根据本文所述的各个方面沿图3的线IV-IV截取的来自图3的管的示意性横截面图。

[0034] 图5是图3的热交换器的俯视图。

[0035] 图6是根据本文所述的各个方面沿图3中的线VI-VI截取的包括歧管和连接管的部分的来自图3的热交换器的一部分的示意性横截面图。

[0036] 图7是根据本文所述的各个方面具有交织的分叉管的单块热交换器的透视局部剖视图。

[0037] 图8是根据本文所述的各个方面以嵌套螺旋组的形式的单块热交换器的透视图。

## 具体实施方式

[0038] 本公开内容涉及一种具有用于冷却流体的网状通路的热交换器。更具体地,本公开内容涉及一种电铸部件的方法,该部件具有改进的表面光洁度和改进的壁厚控制,其可以提供改进的热传递和对于沿着热交换器通过的流体的更少的湍流。为了说明的目的,本文讨论的本公开内容的方面将在电铸工艺期间使用的心轴来描述。然而,应当理解,本文所讨论的公开内容不受此限制,并且可以在用于电铸工艺的形式中具有普遍适用性。

[0039] 所有方向参考(例如,径向、上、下、向上、向下、左、右、横向、前、后、顶部、底部、在上、在下、垂直、水平、顺时针、逆时针)仅用于识别目的,以帮助读者对本公开内容的理解,并且不构成限制,尤其是对其位置、定向或使用的限制。连接参考(例如,附接、联接、连接和接合)将被广义地解释并且可以包括元件集合之间的中间构件以及元件之间的相对运动,除非另有说明。因此,连接参考不一定推断两个元素直接连接并且彼此具有固定关系。示例性附图仅用于说明的目的,并且所附附图中反映的尺寸、位置、顺序和相对尺寸可以变化。如本文所用,“组”可以包括任意数量的元素,包括仅一个。如本文所用,“整体单块体”或“单块体”是指作为单个不可分离件或在制造时形成为单个一体件的单个体,与在制造期间通过将单独元件组合成一个而形成相反。

[0040] 用于执行用于形成金属部件38(以虚线示出)的电铸工艺的系统通过图1中的电沉积浴40示出。示例性浴槽50承载导电电解液溶液52。在一个非限制性示例中,电解液溶液52

可以包括携带合金属离子的铝合金。在一个替代的非限制性示例中,电解液溶液52可以包括携带合金属离子的镍合金。

[0041] 与阴极56隔开的阳极54设置在浴槽50中。阳极54可以是牺牲阳极或惰性阳极。虽然示出了一个阳极54,但应当理解,浴槽50可以根据需要包括任意数量的阳极54。阴极56可以是涂有导电材料62的心轴58,以非限制的方式包括铜、银或镍。进一步设想,可以向心轴58提供以导电材料62进行的喷涂、涂漆、涂覆或类似处理,以促进阴极56的形成。此外,虽然图示为一个阴极56,但应当理解,一个或多个阴极被设想用于浴槽50中。

[0042] 作为非限制性示例,心轴58限定了由可回收材料形成的主体60。主体60可以由可回收材料制成,该可回收材料可以在电铸工艺之后被收集并在另一个电铸工艺中作为另一个主体重新使用。合适的可回收材料可包括蜡、塑料、聚合物泡沫、金属或可变形材料,例如在非限制性示例中可通过熔化或浸出收集的那些材料。在完成电铸工艺之后,可以从电铸部件回收主体60,例如通过在升高的温度下加热和熔化主体60,以回收结构材料。这样,减少了材料浪费。

[0043] 可以包括电源的控制器64可以通过电导管66电气联接到阳极54和阴极56以通过电解液溶液52形成电路67。可选地,开关68或子控制器可以沿着电导管66被包括,并且可以定位在控制器64与阳极54和阴极56之间。在操作期间,电流可以从阳极54经由电解液溶液52供应到阴极56,以在心轴58处电铸单块金属部件38。在电流供应期间,在非限制性示例中,来自电解液溶液52的金属,例如铝、铁、钴或镍,在心轴58上方形成金属层70。在非限制性示例中,单块金属部件38可以是热交换器100。

[0044] 可以使用泵(P)和过滤器(F)来过滤电解液溶液52并将电解液溶液52化学地保持在特定的离子浓度,或者移除任何外来物质。作为非限制性示例,过滤器(F)可以包括化学过滤介质。提供加热器(H)以调节电沉积浴40的温度。在非限制性示例中,加热器(H)可以设置在浴槽50内或在浴槽50外部靠近浴槽50。或者,加热器(H)可以与泵(P)流体连通以在电解液溶液52被泵(P)泵送时加热电解液溶液52。

[0045] 图2图示了用于形成金属部件38的过程400。过程400是出于说明性目的而提供的,并且可以以不同的逻辑顺序进行,或者可以包括附加的或介入的步骤,除非另有说明。虽然在通过电沉积在心轴上形成热交换器的上下文中描述了过程400,但是可以以类似的方式使用过程400以使用其他合适的形式形成其他类型的主体。

[0046] 过程400开始于402,其中生成心轴58。心轴58可以由例如蜡或塑料或其他可消耗材料形成。心轴限定热交换器100的形状。在一个非限制性示例中,心轴58可以通过增材制造或在另一非限制性示例中通过注塑成型来形成。心轴58可以从完成的电铸部件上移除,并且可以由导电或非导电材料制成。在404,心轴58以导电材料62金属化以在心轴58上提供导电表面。在金属化时,金属化心轴58充当电沉积浴中的阴极。如果心轴58由导电材料形成,则可能不需要金属化步骤,同时设想金属心轴也可以以额外的导电表面处理以形成阴极。

[0047] 进一步在404,心轴58的导电表面被抛光,使得表面粗糙度(rms)小于32微英寸(0.81微米,Ra=29微英寸),其中根据ASME B46.1中限定的公式1,rms被计算为心轴58的表面的均方根。Rms(公式1中的Rq)是轮廓高度偏离平均线的均方根平均值,记录在评估长度(L)内,其中Z(X)是轮廓高度函数。在另一个示例中,表面粗糙度可以小于30微英寸。

$$Rq = \left[ \left( \frac{1}{L} \int_0^L Z(x)^2 dx \right)^{1/2} \right] \quad (1)$$

[0048] 或者,表面粗糙度可以计算为Ra (公式2),即轮廓高度偏离平均线的绝对值的算术平均值,记录在评估长度内。

$$Ra = \left[ \frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx \right] \quad (2)$$

[0049] 另外,设想表面粗糙度rms可以小于100微英寸(2.5微米,Ra=91微英寸)。可选地,表面粗糙度rms可以在10-50微英寸(0.25-1.3微米,Ra=9到45微英寸)之间或20-30微英寸(0.51-0.76微米,Ra=18到27微英寸)之间,在另外非限制性示例中。心轴58的表面上的导电材料62的光滑和抛光或磨光允许热交换器100的表面粗糙度rms小于约30微英寸(0.51微米,Ra=27微英寸)。应当理解,更光滑的表面,例如由抛光心轴58产生的表面,可以在移除心轴58之后为完成的电铸部件产生更光滑的表面。可以改变电沉积参数以实现心轴58的表面粗糙度平整,使得表面粗糙度在光滑之前小于30微英寸。使金属化心轴58光滑的示例性方法包括但不限于电抛光、电化学抛光、化学抛光如丙酮蒸汽抛光、手动抛光或使用抛光/喷砂、或本领域中已知的其他表面抛光方法。

[0050] 在406,可以将形成热交换器所需的附加部件添加到心轴58。在一个示例中,歧管部件可以形成为心轴的一部分,例如通过将歧管部件附接到心轴,同时设想歧管是金属的并且被机加工,然后随后在电沉积期间接合到心轴58。进一步设想,歧管部件或其他附加部件可以形成为上述步骤402的心轴58的一部分。类似地,也可以设想用于歧管的心轴也可以金属化以准备电沉积。

[0051] 在408,金属化心轴58的表面被激活用于电沉积。在该步骤中,对表面进行处理以移除可能干扰电沉积过程的氧化物或其他污染物。与未处理的心轴相比,除了心轴58的抛光之外,该步骤为电沉积创建了更有利或更理想的表面。

[0052] 在410,可选地,金属化心轴58可以在结构上连接到支撑框架以将心轴58悬挂在电沉积浴中。类似地,被金属化的阴极心轴可以电气连接到系统的其余部分,以完成电铸工艺所需的浴中的电路。在一个示例中,心轴58电气连接到用于电沉积浴中的电缆。

[0053] 部件在金属化心轴58上的电沉积在412开始。金属层70沉积在阴极金属化心轴58上以创建热交换器100。限定热交换器的至少一部分的一组管、例如图3的管110,如在下面讨论的,在沉积期间与歧管整体地和一体地形成以形成一体的单块热交换器部件。沉积的金属层可以是金属合金并且可以包括约3至4密耳(0.007至0.01厘米)的壁厚,例如,其中一密耳等于千分之一英寸。还设想控制浴参数以产生所需的表面形态,例如浴温度或基于金属类型或电解浴流体中的浓度。通过这种方法获得的约3至4密耳(0.007至0.01厘米)的壁厚小于通常通过基于激光的增材方法获得的壁厚,相比之下,其通常为12密耳(0.03厘米)。壁厚的减小改善了局部热传递,同时也减轻了部件重量。此外,通过电沉积形成的金属层70的孔隙率(或孔径)约为50微英寸(1.3微米)。相比之下,通过基于激光的增材方法形成的表面孔隙率通常为20-40E-03英寸(5.1E-02-10E-02厘米),其相比由本文描述的方法形成的金属层的孔隙率大几个数量级。

[0054] 在414,组成心轴58的可消耗材料从电铸热交换器100中移除,从而暴露出新的内

表面或暴露表面150。在一个非限制性示例中,可以使用烘箱烘烤工艺,同时设想任何合适的移除工艺,其可以基于特定的心轴材料而变化。此外,电铸热交换器部件的处理包括以蚀刻剂或其他溶剂冲洗以从电铸热交换器100的暴露表面150移除任何剩余的导电材料62。暴露表面150的处理可以还包括移除导电材料62的替代方法,例如抛光/喷砂。在移除心轴并以蚀刻剂冲洗之后,热交换器100的最终表面粗糙度 $r_{ms}$ 可以是20-30微英寸(0.51-0.76微米,Ra=18至27微英寸)。为了比较,通过基于激光的增材方法形成的制品的表面粗糙度 $r_{ms}$ 通常在60到100微英寸(1.5到2.5微米,Ra=54到91微英寸)之间。

[0055] 可选的最终步骤416-420包括对热交换器表面的视觉或其他类型的检查。在非限制性示例中,检查的示例可以包括针对裂纹或缺陷的荧光穿透检查、沉淀时效热处理以及流动和压力测试。

[0056] 除了第一次抛光之外,额外的设想的步骤可以包括后抛光动作。更具体地,心轴58的初始抛光可以提供将心轴58的粗糙度降低到大约30微英寸或更小。最终热交换器的额外抛光可以进一步使表面光滑,例如将粗糙度降低约50%,使得后抛光后的最终表面粗糙度可以在10-15微英寸之间。这种小的粗糙度可以提供改进的流动效率和减少的压力损失。此外,光滑的表面可以提供使用比其他可能的更薄的壁,从而可以减少整体部件重量,这可以提高整体系统效率。

[0057] 公开了一种使用电沉积的增材制造工艺,以创建具有与歧管外壳集成的流体导管的单块的、一体的、高温紧凑型热交换器。可消耗心轴用于创建导电沉积表面并配置流体连接端口。在电沉积过程中,流体导管在流体连接端口处直接与歧管集成65,从而消除了将导管连接到歧管的钎焊或机械压接的需要。随后在金属沉积之后移除心轴,并且可以使用以蚀刻剂的冲洗来从热交换器的内表面移除导电沉积表面。

[0058] 有利地,本文所述的工艺允许电铸部件在电沉积工艺期间在结构上直接连接到歧管并与歧管集成,从而消除了对机械压接、铜焊或其他金属接合工艺的需要。此外,这种方法提供的壁比通过传统的基于激光或电铸增材方法制备的壁薄约3到4倍。由这种方法提供的部件的较薄壁促进了热传递,提高了热交换器的效率和有效性,并降低了部件的总重量。由于这种方法需要较少的材料,因此降低了生产成本。与使用未处理的、粗糙的心轴58相比,为电沉积做准备的心轴的光滑处理导致部件具有明显更光滑的表面(例如,表面粗糙度低约3倍)。部件表面的改进的光滑度减少了最终制品使用期间的水力损失,以及不光滑表面导致的湍流、气动阻力或其他低效率。此外,该方法提供了生成具有降低的孔隙率的部件。由该方法提供的降低孔隙率提高了有效热导率并增加了击倒强度,这对抗高循环疲劳。总体而言,与通过不同方法形成的类似部件相比,这种制造工艺简化减少了时间、成本和缺陷,并且可以提供最终产品的整体改进,例如热交换器的效率。

[0059] 如图3中详细所示,如上所述并在过程400中使用的心轴58可以是热交换器100的形式,其包括第一歧管102、第二歧管104和在纵向或第一方向112上在第一歧管102和第一歧管102之间延伸的管组110。第一歧管102和第二歧管104通过在流体连接配件113处连接到第一和第二歧管102,104的管组110流体地连接,从而为第一歧管102和第二歧管104之间的内部冷却剂流动提供导管或流体通道F1。在一个方面,第一歧管102、第二歧管104和管组110形成为单块的、一体的主体。应当理解,流体连接配件113不需要是单独的或附加的元件,而可以仅形成为与特定歧管102,104适合的管组110的一部分。进一步设想,配件113不

需要与热交换器100一起包括。

[0060] 管组110布置成使得管111在轴向或第二方向122上排列成行并在第三方向132上堆叠,其中行的堆叠从热交换器100的前部到后部对齐或交错。管组110中的每个管111之间的空间限定了从热交换器100的前部朝向后部的流动路径F2。流体通道F1和流动路径F2一起允许在通过管组110内部的第一流体114和在管组110的外表面上沿流动路径F2通过的第二流体116之间进行热交换。

现在转到图4,沿图3中的剖面线IV的横截面图,每个管111具有翼型或泪珠形状。应当理解,本公开内容包括但不限于不对称、半对称和对称泪珠形状和翼型形状,例如层流、圆弧、克拉克“y”、双楔形、早期、晚期、平底、下弧度、泪滴形、弧形和超临界翼型形状,并且不限于图3中所示的形状。此外,每个管111具有前缘120和后缘121,在它们之间限定轴向或第二方向122。顶面124和底面126还包括在每个管111中,限定了垂直于第一方向112和第二方向122的第三方向132。管111的轴向横截面区域134因此由前缘120、后缘121、顶面124和底面126界定。

[0061] 管组110包括具有壁厚136的金属层70,在一个非限制性示例中,该壁厚136为3至4密耳(0.003至0.004英寸;0.007至0.01厘米)。壁厚136足以使热交换器100在操作期间自支撑,并限制制造期间所需的材料量。此外,与具有传统壁厚的传统热交换器相比,壁厚136允许热交换器的总重量减小。

[0062] 管组110中的每个的前缘120在沿轴向方向122跟随流动路径F2时遇到进入热交换器100的第二流体116。流动路径F2穿过细长的泪珠状管组110的外表面,其具有增加的表面积以改善热传递。此外,通过翼型形状使越过管组110的压降最小化,这减小了正面轮廓并且使越过管组110的顶面124和底面126的阻力最小化,并且受益于改进的到表面的流动附接,这改善了整体热传递。翼型轮廓通过将流动朝向后缘121移动而减少了早期涡流脱落的发生,沿翼型轮廓具有改进的附接。

[0063] 现在转到图5,后缘121具有沿第一方向112限定的起伏形状128。起伏形状128可以是任何重复的弯曲形状,例如正弦几何形状。管组110中的每个管111在轴向第二方向上具有轴向宽度130。轴向宽度130在最大值130a和最小值130b之间重复变化,其对应于起伏形状128的最大值和最小值。因为管111的轴向宽度130变化,所以当沿纵向第一方向112限定时,每个管111的轴向横截面积134也变化。在另一方面,轴向宽度130的最大值130a和最小值130b可以大致相同,在这种情况下,管组110中的每个管111的轴向横截面积134大致均匀,或在±10%内。在改变准椭圆形横截面的主要和次要尺寸的同时,可以保持横截面积大致相同。当保持均匀或大致均匀时,恒定的横截面积减少了通过通道的压力损失并导致更少的湍流。然而,还应该理解,可变的横截面积也被设想。可变的横截面积产生脉动的低速和高速流体速度,产生湍流,导致更高的热传递系数h和改进的热传递。因此,应该理解的是,可以在恒定横截面或可变横截面之间取得平衡,其中在压力损失更有利的情况下具有更恒定的横截面,或者在局部热传递更有利时具有更可变的横截面。以此方式,进一步设想热交换器的部分具有不同的横截面,既有变化的也有恒定的,但是分开定位。

[0064] 仍然参考图5,第一流体114流过第一歧管102以进入管组110并沿着流体通道F1离开管组110并进入第二歧管104。流动路径F2从热交换器100的前部到后部越过管组110的外表面。第二流体116通过在前部进入热交换器100、在管组110上方和之间通过以与第一流体

114热交换而遵循流动路径F2，并且在热交换器100的后部离开。如图5中所示，管组110可以具有交错对齐。

[0065] 现在参考图6，顶面124可以具有顶部轮廓140并且底面126可以具有底部轮廓142，其中顶部轮廓140和底部轮廓142通过规则重复的弯曲几何形状(例如正弦形状)来描述。顶部轮廓140和底部轮廓142的对齐限定了管111的厚部分144和薄部分146。设想顶部轮廓140可以从底部轮廓142偏移，例如偏移正弦周期的二分之一。此外，根据起伏形状128，厚部分144与后缘121的在其处轴向宽度130具有最大值130a的部分对齐，并且，根据起伏形状128，薄部分146与后缘121的在其处轴向宽度130具有最小值130b的部分对齐。

[0066] 可以改变管111的顶部轮廓140和底部轮廓142以改善内部流体混合并使水力损失最小化。管组110的形状被设计成包括流体流动的周期性横向速度分量以增加热传递。贯穿管组110中的每个的横截面积134被设计为可大致均匀以最小化速度变化和相关的液压损失。这种均匀性可以通过通过改变宽度130以及厚和薄部分144,146的不同厚度来平衡横截面积的变化来实现，使得厚度的增加与宽度130的减少一致，或反之亦然，从而实现基本均匀的横截面积。基本均匀的横截面提供用于减少速度变化或压力损失，这在提高整体热传递的同时保持效率。

[0067] 在另一个方面，流体通道可以形成为如图7中所示的一组交织的三叉管210。在三叉管210的情况下，接头具有四面体布置，使得每条流动路径具有许多转折。在又另一方面，流体通道可以形成为一组嵌套螺旋310，如图8中所示。过程400允许形成这些几何复杂的结构，具有有利的壁厚、表面光滑度、低孔隙率和低缺陷，并且不需要单独的密封连接或通过焊接或铜焊来组装零件。歧管102,104在电沉积期间原位连接到流体导管110,210,310，降低了密封缺陷或失效机会的可能性。

[0068] 与本文中的公开内容相关的益处包括但不限于管的复杂几何形状和交织构造，其增加热传递、减少流体或空气动力阻力并提高抵抗高循环疲劳的结构刚度或击倒强度。由于管组110与歧管整体形成，因此结构中薄弱点的机会较少。通过本文所述的方法形成的部件的电铸壁基本上比通过其他方法形成的部件的壁更薄。部件的较薄壁增强了热传递，减少了阻力或水力损失，并提高了组件的结构完整性。此外，部件表面的改进的光滑度降低了摩擦并改进了通过最终制品的流体流动，因为降低了空气动力阻力、流动分离或水力损失。电铸部件减少的表面缺陷和减少的孔隙率提高了部件的强度和热传递性能。

[0069] 本公开内容的其他方面由以下条款的主题提供：

一种电铸热交换器的方法，该方法包括：抛光成形为热交换器的至少一部分的心轴的导电表面，将热交换器电铸到心轴的导电表面上，以及从电铸的热交换器中移除心轴。

[0070] 根据任一前述条款的方法，其中，抛光导电表面使导电表面粗糙度(rms)光滑至小于32微英寸(0.81微米,Ra=29微英寸)。

[0071] 根据任一前述条款的方法，其中，电铸热交换器还包括电铸热交换器以具有小于4密耳(0.01厘米)的壁厚。

[0072] 根据任一前述条款的方法，还包括激活导电表面以进行电铸。

[0073] 根据任一前述条款的方法，其中，激活包括处理导电表面以移除污染物。

[0074] 根据任一前述条款的方法，其中，电铸热交换器沿当移除心轴时暴露的内表面进行处理。

- [0075] 根据任一前述条款的方法,其中,处理热交换器包括以蚀刻剂处理内表面。
- [0076] 根据任一前述条款的方法,还包括将歧管部件附接到心轴。
- [0077] 根据任一前述条款的方法,还包括在抛光导电表面之前金属化心轴以形成导电表面。
- [0078] 根据任一前述条款的方法,还包括在金属化所述心轴之前形成所述心轴以成形为所述热交换器的至少一部分。
- [0079] 一种电铸热交换器的方法,该方法包括:抛光成形为热交换器的心轴的导电表面,将部件电铸到心轴的导电表面,并且从热交换器中移除心轴以暴露先前由心轴接界的部件的新表面,其中新表面具有小于32微英寸( $Ra=29$ 微英寸)的表面粗糙度(rms),这是在电铸部件之前抛光导电表面的结果。
- [0080] 根据任一前述条款的方法,其中,部件还具有在3和4密耳之间的壁厚。
- [0081] 根据任一前述条款的方法,还包括以蚀刻剂处理新表面。
- [0082] 根据任一前述条款的方法,还包括在电铸之前通过处理导电表面以移除污染物来激活导电表面。
- [0083] 根据权利要求11所述的方法,其中,部件由孔隙率小于50微英寸的材料制成。
- [0084] 一种形成热交换器的方法,该方法包括:提供限定热交换器的形状的可移除心轴,在导电涂层中涂覆心轴的表面以限定阴极,将热交换器电铸到阴极上以包括3-4密耳的壁厚,将心轴从电铸热交换器中移除,以及  
处理电铸热交换器以从电铸热交换器移除任何剩余的导电涂层。
- [0085] 根据任一前述条款的方法,还包括在电铸之前抛光导电涂层。
- [0086] 根据任一前述条款的方法,其中,抛光提供用于为热交换器创建小于32微英寸的表面粗糙度(rms)。
- [0087] 根据任一前述条款的方法,其中,电铸还包括形成单块的、一体的热交换器,该热交换器包括第一歧管、第二歧管和将第一歧管连接到第二歧管的管组。
- [0088] 根据任一前述条款的方法,其中,处理剩余的导电涂层包括使用蚀刻剂。
- [0089] 到尚未描述的程度,各个方面的不同特征和结构可以根据需要彼此组合使用。一个特征不能在所有方面都被说明并不意味着它不能被解释,而是为了描述的简洁。因此,可以根据需要混合和匹配不同方面的各种特征以形成新示例,无论新示例是否被明确描述。本文描述的特征的组合或排列被本公开内容覆盖。除了上述附图中所示的实施例和配置之外,本公开内容还设想了许多其他可能的实施例和配置。
- [0090] 本书面描述使用示例来描述本文描述的公开内容的方面,包括最佳模式,并且还使本领域的任何技术人员能够实践本公开内容的方面,包括制造和使用任何设备或系统以及执行任何并入的方法。本公开内容的各方面的可取得专利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示例。如果此类其他示例具有与权利要求书的字面语言没有区别的结构元素,或者如果它们包括与权利要求书的字面语言没有实质差异的等效结构元素,则它们旨在处于权利要求书的范围内。

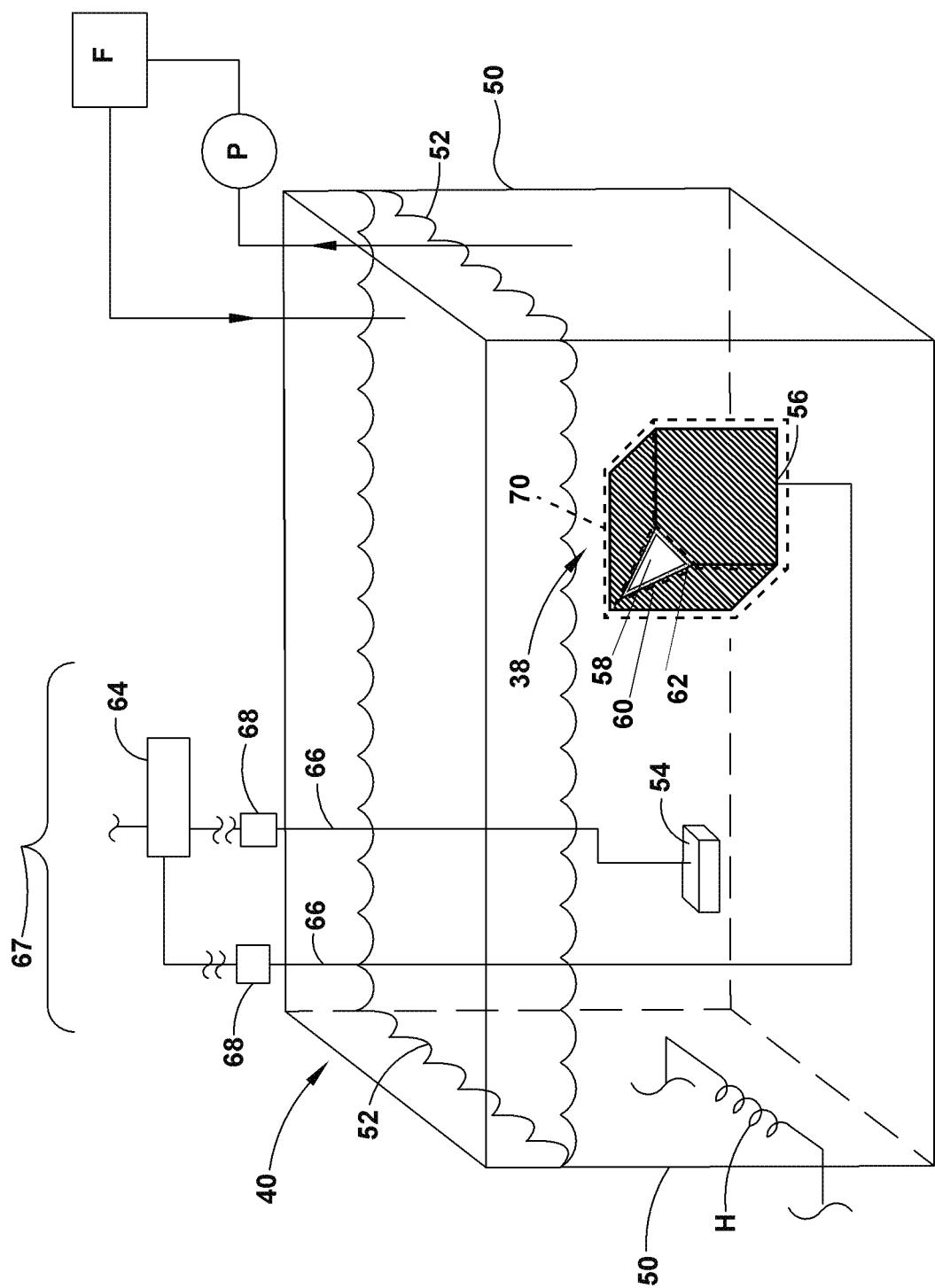


图 1

400

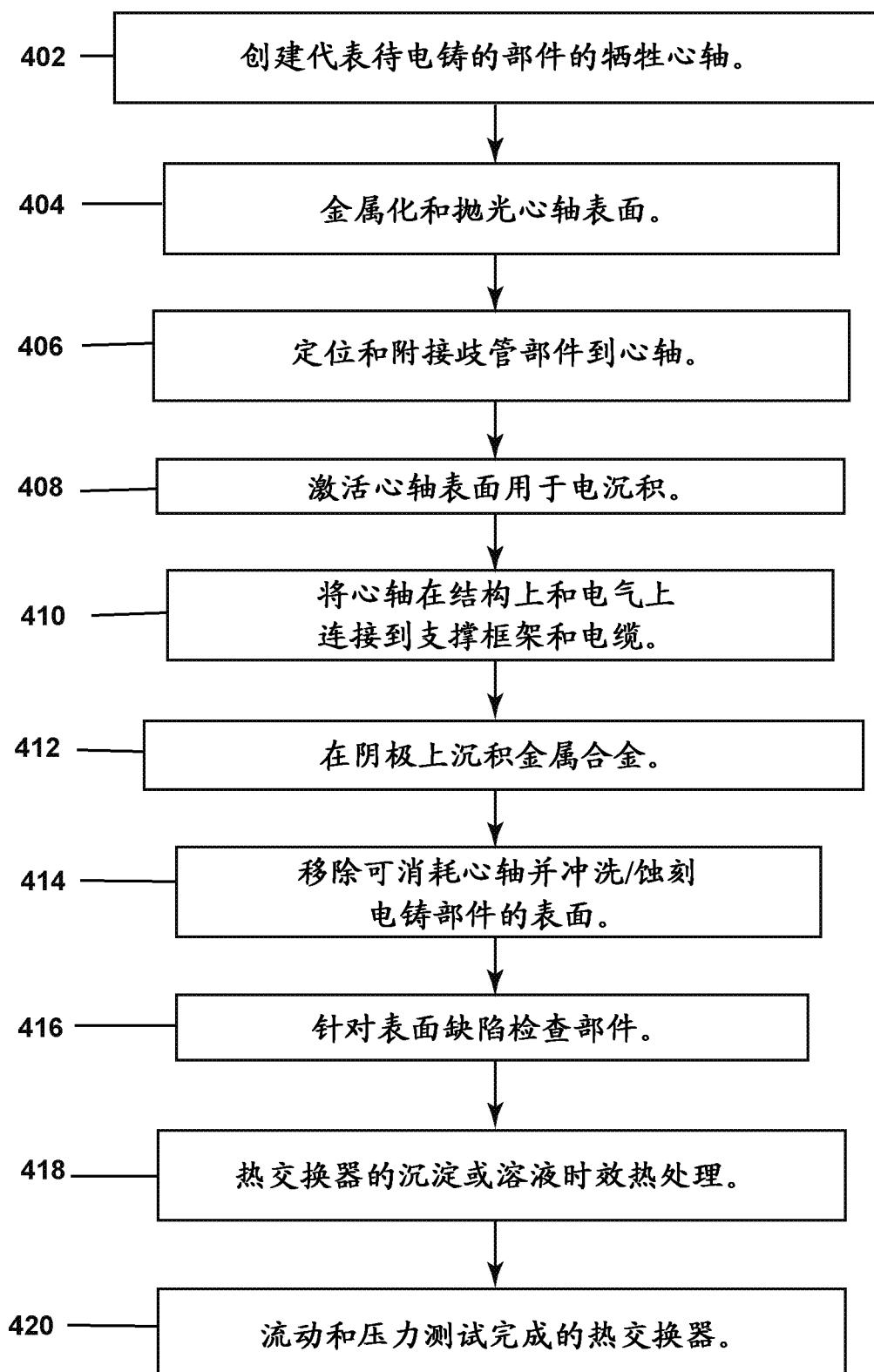


图 2

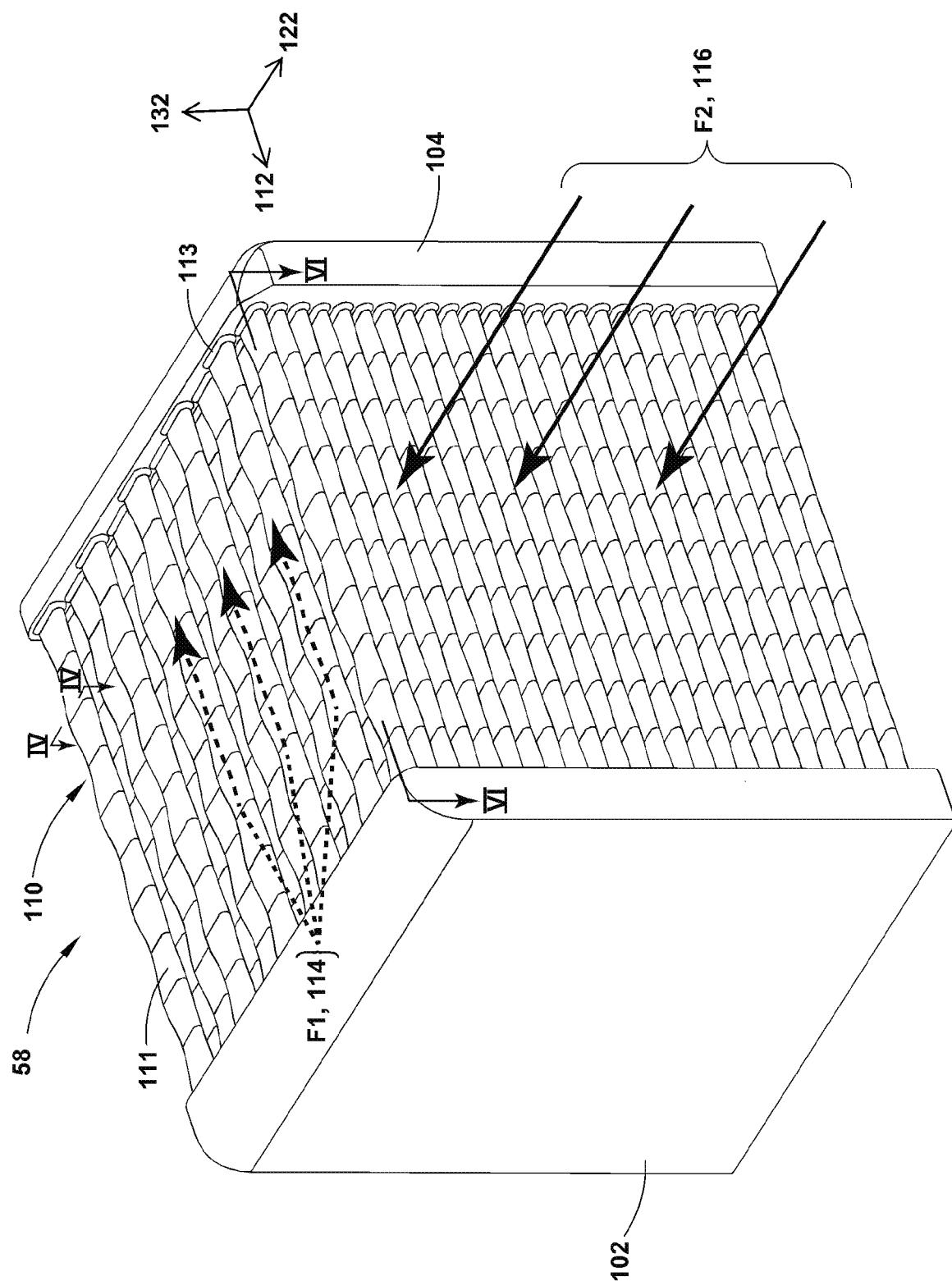


图 3

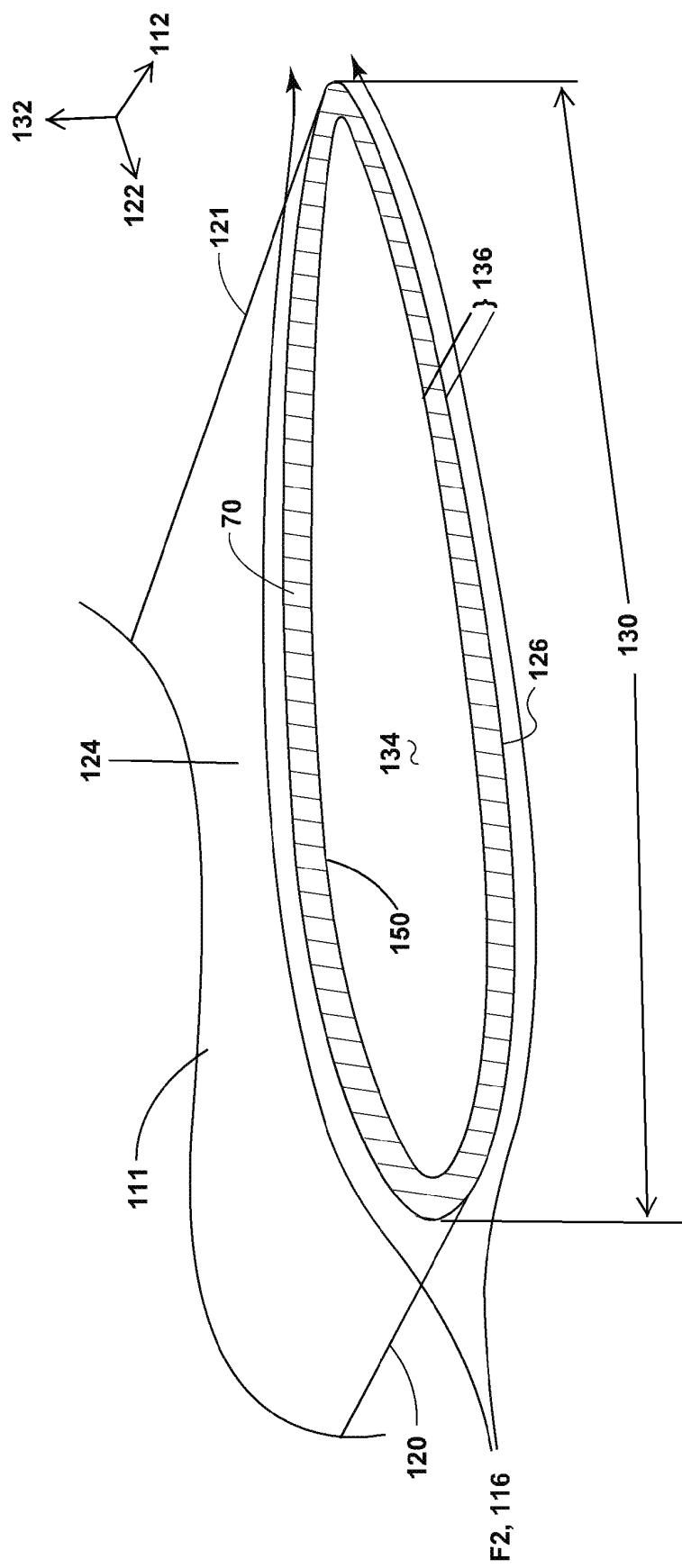


图 4

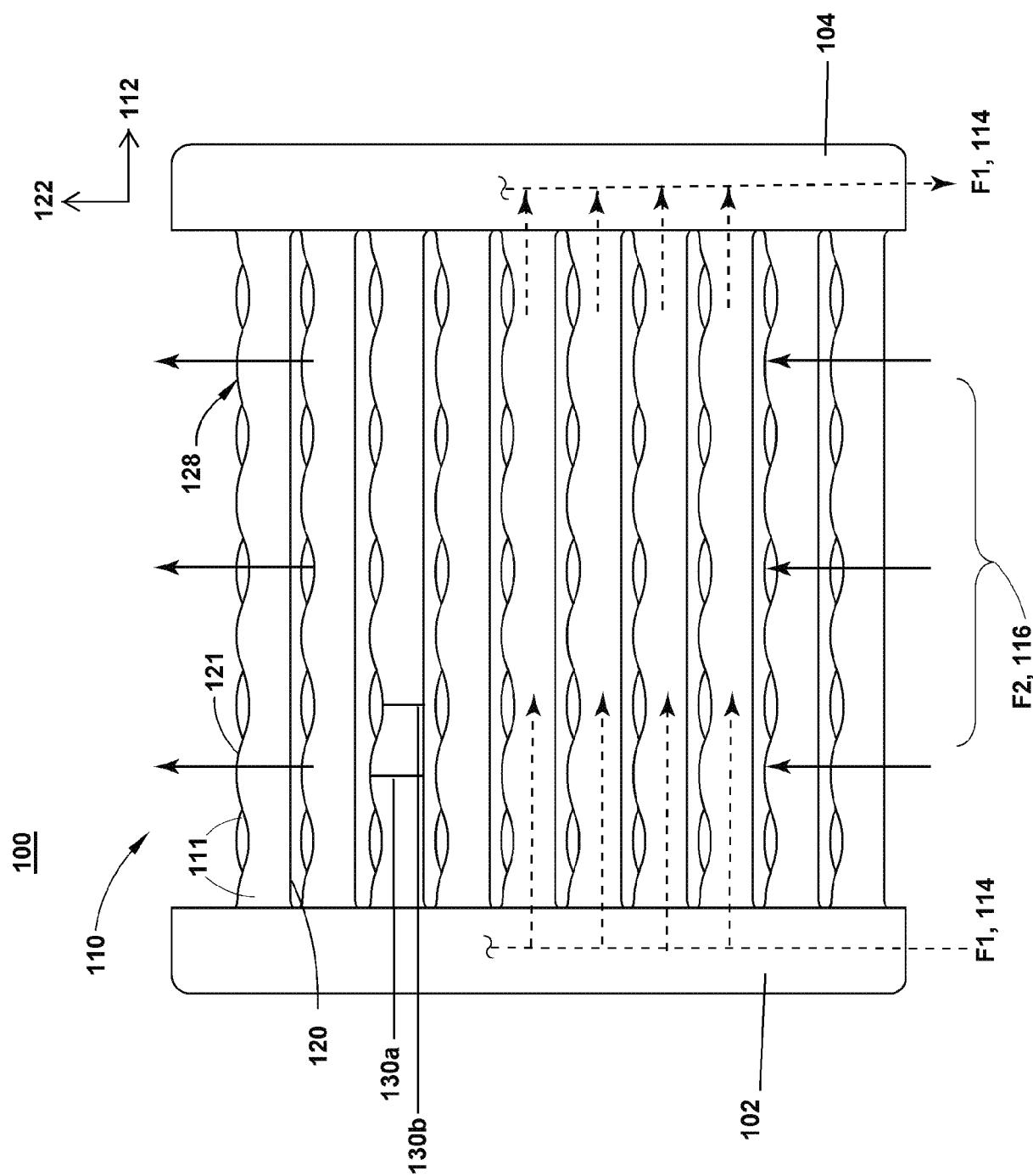


图 5

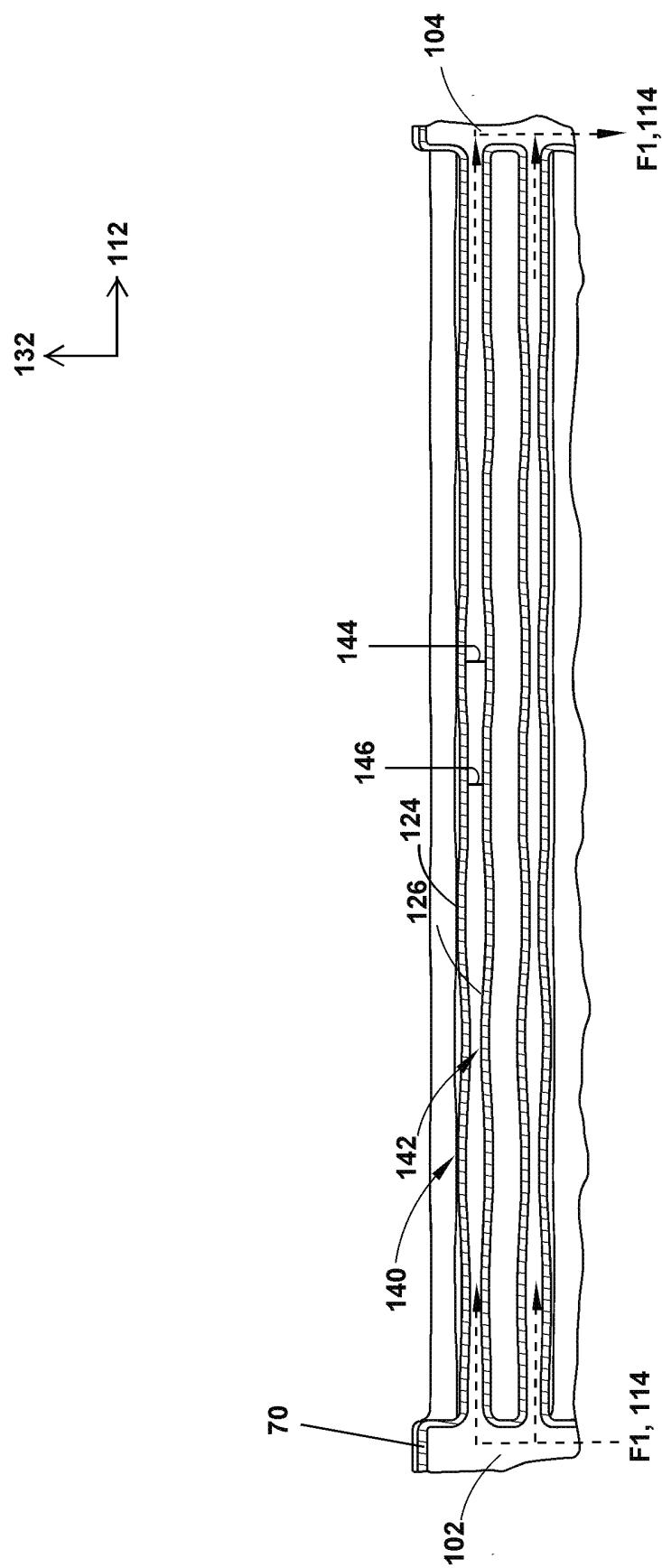


图 6

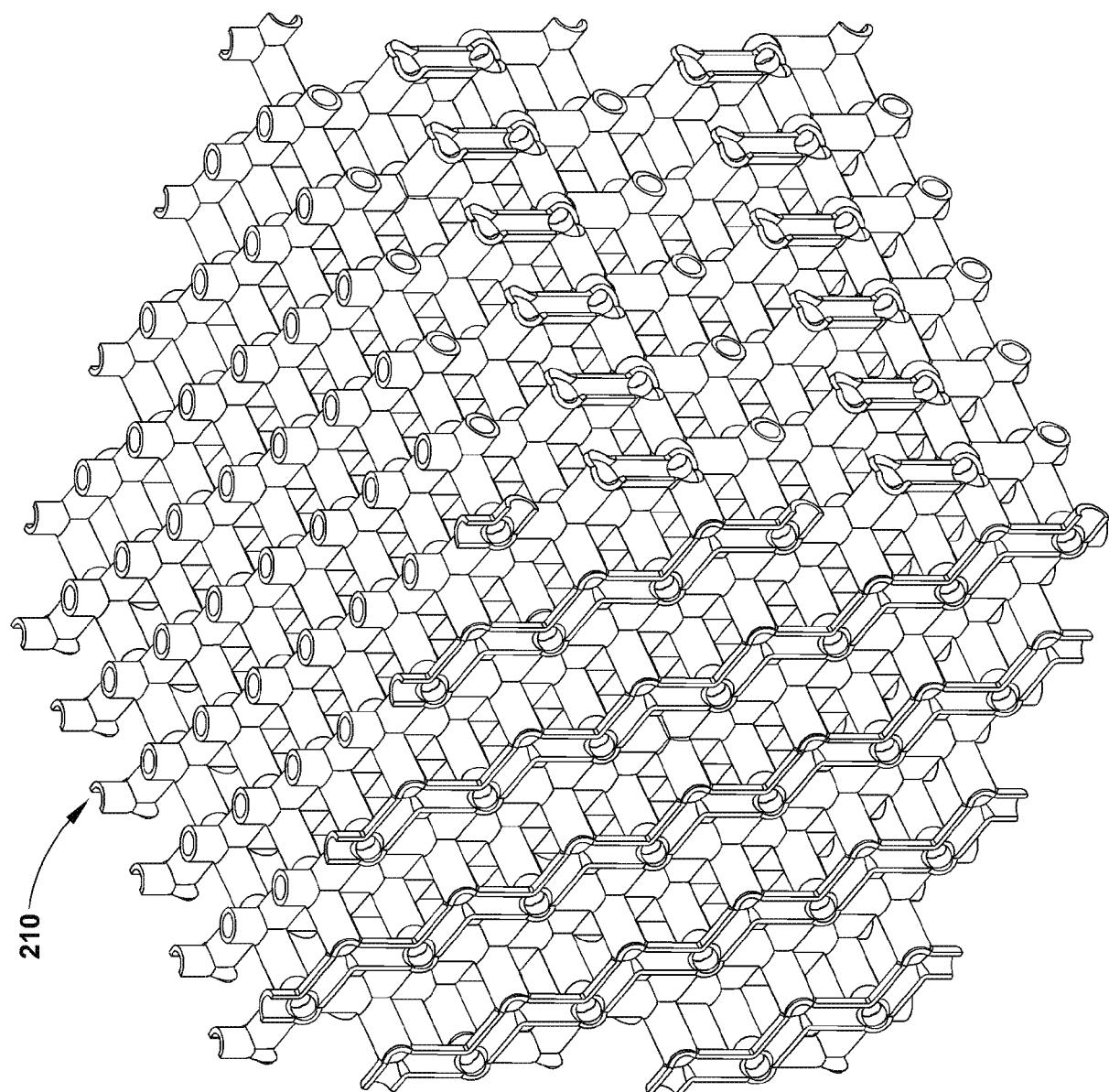


图 7

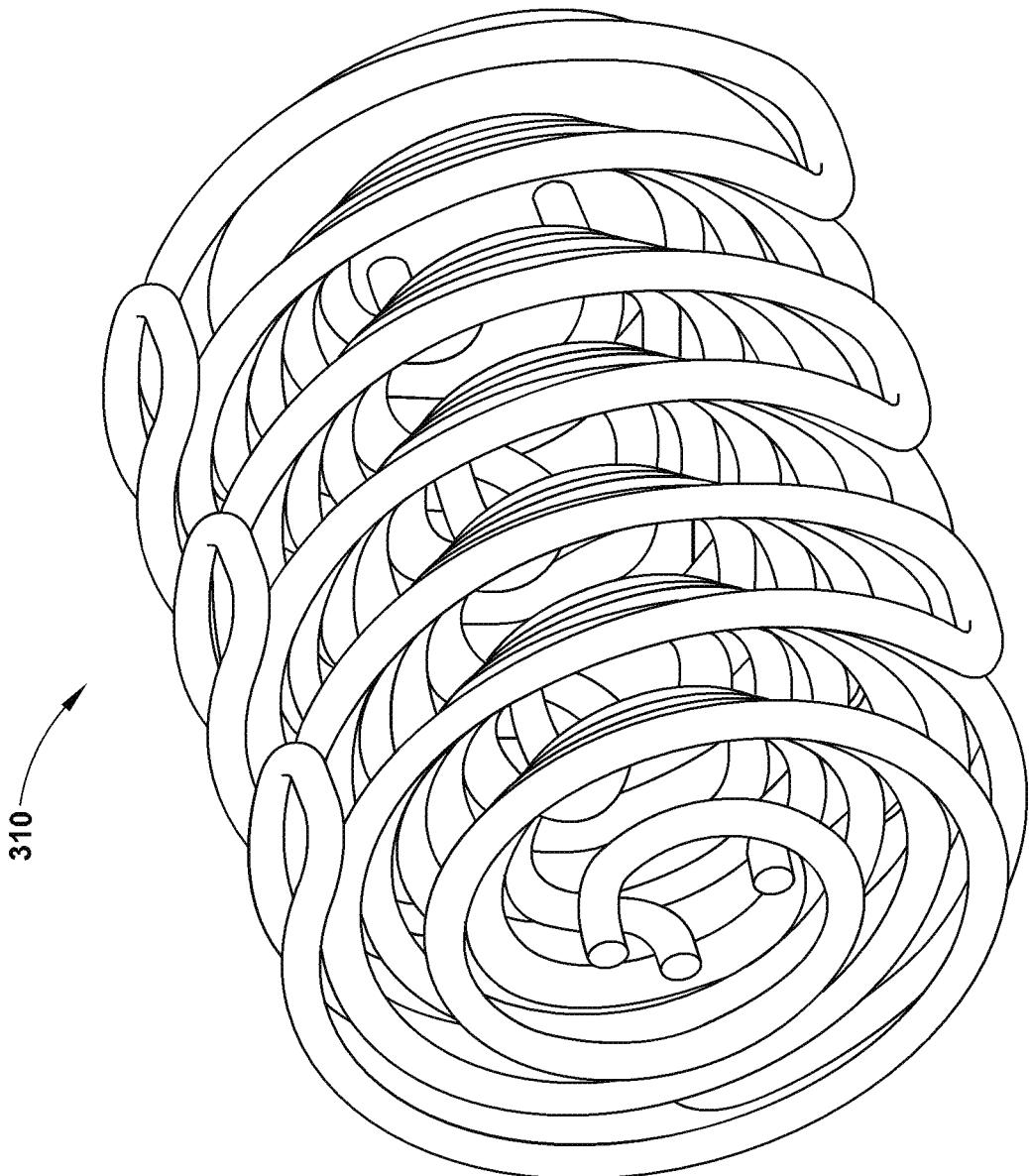


图 8