

(19)日本国特許庁(JP)

**(12)特許公報(B2)**

(11)特許番号  
**特許第7673005号**  
**(P7673005)**

(45)発行日 令和7年5月8日(2025.5.8)

(24)登録日 令和7年4月25日(2025.4.25)

(51)国際特許分類

C 2 5 D	1/02 (2006.01)	F I	C 2 5 D	1/02
C 2 5 D	1/00 (2006.01)		C 2 5 D	1/00
F 2 8 F	9/02 (2006.01)		F 2 8 F	9/02 3 0 1 Z

請求項の数 17 外国語出願 (全18頁)

(21)出願番号	特願2022-32627(P2022-32627)	(73)特許権者	309012096 ユニゾン・インダストリーズ, エルエル シー
(22)出願日	令和4年3月3日(2022.3.3)		アメリカ合衆国、フロリダ州、ジャクソンビル、ベイメドウ・ウェイ、7575番
(65)公開番号	特開2022-136029(P2022-136029A)	(74)代理人	100188558 弁理士 飯田 雅人
(43)公開日	令和4年9月15日(2022.9.15)	(74)代理人	100154922 弁理士 崔 允辰
審査請求日	令和4年4月13日(2022.4.13)	(74)代理人	100207158 弁理士 田中 研二
審判番号	不服2023-18771(P2023-18771/J1)	(72)発明者	ゴードン・タジリ アメリカ合衆国・フロリダ・32256 ・ジャクソンビル・ベイメドウズ・ウ 最終頁に続く
(31)優先権主張番号	17/192,027		
(32)優先日	令和3年3月4日(2021.3.4)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 積層型熱交換器および形成方法

**(57)【特許請求の範囲】****【請求項1】**

熱交換器を電鋳する方法であって、

前記熱交換器の少なくとも一部分に倣って成形されたマンドレルの導電性表面を研磨するステップと、

前記マンドレルの前記導電性表面上に前記熱交換器を電鋳するステップと、

前記電鋳された熱交換器から前記マンドレルを除去するステップと、

を含み、

前記導電性表面を研磨するステップは、前記導電性表面を0.81マイクロメートル未満の表面粗度(rms)まで平滑化する、方法。

**【請求項2】**

前記熱交換器を電鋳するステップは、4ミル(0.01センチメートル)未満である壁部厚さを有するように前記熱交換器を電鋳するステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

**【請求項3】**

電鋳のために前記導電性表面を活性化するステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

**【請求項4】**

活性化するステップは、汚染物質を除去するために前記導電性表面を処理するステップを含む、請求項3に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記電鋳された熱交換器は、前記マンドレルが除去された場合に露出される内面に沿つて処理される、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記熱交換器を処理する前記ステップは、エッティング液で前記内面を処理するステップを含む、請求項 5 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記マンドレルに対してマニホールド構成要素を装着するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 8】**

前記導電性表面を研磨するステップの前に、前記導電性表面を形成するために前記マンドレルを金属被覆するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

10

**【請求項 9】**

前記マンドレルを金属被覆するステップの前に、前記熱交換器の少なくとも前記一部分を成形するための前記マンドレルを形成するステップをさらに含む、請求項 8 に記載の方法。

**【請求項 10】**

熱交換器の構成要素を電鋳する方法であって、

前記構成要素に倣って成形されたマンドレルの導電性表面を研磨するステップと、

前記マンドレルの前記導電性表面上に前記構成要素を電鋳するステップと、

前もって前記マンドレルにより境界画定された前記構成要素の新たな表面を露出させるために前記構成要素から前記マンドレルを除去するステップと、

を含み、

前記新たな表面は、前記構成要素を電鋳するステップの前に、前記導電性表面を研磨する結果として得られる 32 マイクロインチ未満である表面粗度 (rms) を有し、

前記導電性表面の研磨は、前記導電性表面を 32 マイクロインチ (0.81 マイクロメートル) 未満の表面粗度 (rms) まで平滑化する、方法。

20

**【請求項 11】**

前記構成要素は、3 ~ 4 ミルの間である壁部厚さをさらに有する、請求項 10 に記載の方法。

30

**【請求項 12】**

エッティング液で前記新たな表面を処理するステップをさらに含む、請求項 10 に記載の方法。

**【請求項 13】**

汚染物質を除去するために前記導電性表面を処理することにより、前記電鋳するステップの前に、前記導電性表面を活性化するステップをさらに含む、請求項 10 に記載の方法。

**【請求項 14】**

前記構成要素は、50 マイクロインチ未満である有孔度を有する材料から作製される、請求項 10 に記載の方法。

**【請求項 15】**

熱交換器を形成する方法であって、

前記熱交換器の形状を画定する除去可能なマンドレルを用意するステップと、

カソードを画定するために導電性コーティングで前記マンドレルの表面を被覆するステップと、

3 ~ 4 ミルである壁部厚さを備えるように前記カソード上に前記熱交換器を電鋳するステップと、

前記電鋳された熱交換器から前記マンドレルを除去するステップと、

前記電鋳された熱交換器から残留する導電性コーティングを除去するために、前記電鋳された熱交換器を処理するステップと、

を含み、

40

50

電鋳するステップの前に、前記導電性コーティングを研磨するステップをさらに含み、前記研磨するステップは、32マイクロインチ未満である前記熱交換器の表面粗度( $\text{rms}$ )の生成を可能にする、方法。

【請求項16】

電鋳するステップは、第1のマニホールド、第2のマニホールド、および前記第2のマニホールドに対して前記第1のマニホールドを結合するチューブセットを備えるモノリシックな単体熱交換器を形成するステップをさらに含む、請求項15に記載の方法。

【請求項17】

前記残留する導電性コーティングを処理するステップは、エッティング液を使用するステップを含む、請求項15に記載の方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2021年3月3日に出願された米国特許出願第17/192,027号の優先権および利益を主張するものであり、この米国特許出願の全体が、参照により本明細書に組み込まれている。

【0002】

本開示は、一般に、熱交換器に関し、より詳細には、電着の最中に表面仕上げおよび壁部厚さ制御を改善する方法を利用する、タービンエンジン用の2つ以上の冷却通路を有する熱交換器に関する。

20

【背景技術】

【0003】

航空機で使用されるエンジンなどの現代のエンジンは、多量の熱を発生させ、この熱は、何らかの方法によりエンジンから除去されなければならない。熱交換器は、このようなエンジンから熱を除去するための1つの方法を提供する。例えば、熱交換器は、タービンエンジンの一部分を中心にリング状に配置され得る。

【0004】

エンジン軸受および発電機等のエンジン構成要素から熱を放散するために、オイルを使用することが可能である。典型的には、熱は、約 $100^{\circ}\text{F} \sim 300^{\circ}\text{F}$ の所望の範囲にオイル温度を維持するために、空冷式オイルクーラにより、より具体的には、表面空冷式オイルクーラシステムにより、オイルから空気へと伝達される。多くの例において、環境は $-65^{\circ}\text{F}$ まで低くなり得る。

30

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の態様および利点は、以下の説明において部分的に示されることとなり、または、説明から明らかになり得、または本発明の実施を介して認知され得る。

【0006】

一態様では、本開示は、熱交換器を電鋳する方法に関する。この方法は、熱交換器の少なくとも一部分として成形されたマンドレルの導電性表面を研磨するステップと、マンドレルの導電性表面上に熱交換器を電鋳するステップと、電鋳された熱交換器からマンドレルを除去するステップとを含む。

40

【0007】

さらに他の態様では、本開示は、構成要素を電鋳する方法に関する。この方法は、構成要素として成形されたマンドレルの導電性表面を研磨するステップと、マンドレルの導電性表面上に構成要素を電鋳するステップと、前もってマンドレルにより境界画定された構成要素の新たな表面を露出させるために構成要素からマンドレルを除去するステップとを含む。この新たな表面は、構成要素を電鋳するステップの前に導電性表面を研磨する結果

50

として得られる32マイクロインチ未満である表面粗度(rms)を有する。

#### 【0008】

さらに他の態様では、本開示は、熱交換器を形成する方法に関する。この方法は、熱交換器の形状を画定する除去可能なマンドレルを用意するステップと、カソードを画定するために導電性コーティングでマンドレルの表面を被覆するステップと、3~4ミルである壁部厚さを備えるようにカソード上に熱交換器を電鋳するステップと、電鋳された熱交換器からマンドレルを除去するステップと、電鋳された熱交換器から残留する導電性コーティングを除去するために電鋳された熱交換器を処理するステップとを含む。

#### 【0009】

以下の説明および添付の特許請求の範囲を参照することにより、本発明のこれらのおよび他の特徴、態様、および利点がよりよく理解されよう。本明細書に組み込まれ、その一部を構成する添付の図面は、本発明の実施形態を示すものであり、以下の説明と共に、本発明の原理を説明する役割を果たす。

10

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0010】

【図1】一部分が破断された構成要素の形態のマンドレルを伴った電着浴槽の概略図である。

【図2】熱交換器などの構成要素を電鋳する方法を示すプロセス流れ図である。

【図3】本明細書において説明される様々な態様による、図2に示すプロセスで形成された、複数のチューブにより連結されたマニホールドを有する熱交換器の斜視図である。

20

【図4】本明細書において説明される様々な態様による、図3の線IV-IVに沿った図3のチューブの概略断面図である。

【図5】図3の熱交換器の上面図である。

【図6】本明細書において説明される様々な態様による、図3の線VI-VIに沿った、マニホールドおよび連結チューブの一部分を含む、図3の熱交換器の一部分の概略断面図である。

【図7】本明細書において説明される様々な態様による、相互に交絡した分岐チューブを有するモノリシック熱交換器の部分破断斜視図である。

【図8】本明細書において説明される様々な態様による、入れ子状に配置されたセンセットの形態のモノリシック熱交換器の斜視図である。

#### 【発明を実施するための形態】

30

#### 【0011】

本開示は、冷却流体用のメッシュ状通路を有する熱交換器に関する。より具体的には、本開示は、熱交換器に沿って通過する流体の熱伝導を改善し乱流を低下させ得る、表面仕上げが改善され壁部厚さ制御が改善された構成要素を電鋳する方法に関する。説明のために、本明細書において論じる本開示の態様は、電鋳プロセスの最中に使用されるマンドレルを用いて説明される。しかし、本明細書において論じるような本開示は、これに限定されず、電鋳プロセスのために利用される形態の範囲内において汎用性を有し得ると理解されよう。

#### 【0012】

方向を示唆する語(例えば径方向、上方、下方、上方向、下方向、左方、右方、前方、後方、頂部、底部、~の上方に、~の下方に、鉛直方向、水平方向、時計回り方向、反時計回り方向)はいずれも、読者による本開示の理解を補助するために識別を目的として使用されるにすぎず、とりわけ位置、向き、またはそれらの使用に関する限定をもたらすものではない。連結を示唆する語(例えば装着された、結合された、連結された、および接合された)は、広く解釈されるべきであり、別様のことが示されない限りは要素集合間の中間部材および要素間の相対移動を含み得る。そのため、連結を示唆する語は、2つの要素が直接的に連結され相互に対して固定関係にあることを必ずしも意味しない。例示の図は、説明を目的とするにすぎず、本明細書に添付の図面内に反映された寸法、位置、順序、および相対サイズは、変更可能である。本明細書において、「セット」は、1つのみを含む任意個数の要素を含み得る。本明細書において、「一体モノリシック本体」または「モノリシ

40

50

「ク本体」は、製造の最中に別個の要素同士を1つに組み合わせることにより形成されるのではなく、単一の分離不可能なピースであるかまたは製造時に単体ピースとして形成された、単一の本体を意味する。

#### 【0013】

図1では、金属構成要素38(破線で図示)を形成するために電鋳プロセスを実施するためのシステムが、電着浴槽40として示される。例示の浴槽タンク50は、導電性流体電解液52を有する。非限定的な一例では、この流体電解液52は、合金金属イオンを担持したアルミニウム合金を含み得る。代替の非限定的な一例では、流体電解液52は、合金金属イオンを担持したニッケル合金を含み得る。

#### 【0014】

カソード56から離間されたアノード54が、浴槽タンク50内に設けられる。アノード54は、犠牲アノードまたは不溶性アノードであることが可能である。1つのアノード54が図示されるが、浴槽タンク50は所望に応じて任意の個数のアノード54を備え得る点を理解されたい。カソード56は、導電性材料62で被覆されたマンドレル58であることが可能であり、この導電性材料62は、非限定的な例としては銅、銀、またはニッケルが挙げられる。さらに、導電性材料62の噴霧、塗布、被覆、または同様の処理が、カソード56形成を容易化するためにマンドレル58に対して施され得ることが予期される。さらに、図では1つのカソード56として示されるが、1つまたは複数のカソードが浴槽タンク50内の使用において予期される点を理解されたい。

#### 【0015】

マンドレル58は、非限定的な例としては回収可能材料から形成された本体60を画定する。この本体60は、回収可能材料から作製されることが可能であり、この回収可能材料は、電鋳プロセス後に収集され、別の電鋳プロセスにおいて別の本体として再利用され得る。適切な回収可能材料としては、例えば非限定的な例においては溶融または溶出により収集可能な材料などの、ワックス、プラスチック、ポリマー発泡体、金属、または変形可能材料が含まれ得る。電鋳プロセスの完了後に、本体60は、構造材料の回収のために、さらなる高温での本体60の加熱および溶融を介することなどによって、電鋳された構成要素から回収されることが可能である。このようにすることで、材料の無駄が削減される。

#### 【0016】

電源を備え得るコントローラ64が、電気導管66によりアノード54およびカソード56に対して電気的に結合されて、流体電解液52を介した回路67を形成し得る。任意には、スイッチ68またはサブコントローラが、電気導管66に沿って備えられることが可能であり、コントローラ64とアノード54およびカソード56との間に位置決めされ得る。動作中に、電流は、アノード54からカソード56へと流体電解液52を経由して供給されて、マンドレル58にてモノリシック金属構成要素38を電鋳することができる。この電流の供給の最中に、流体電解液52からの例えば非限定的な例ではアルミニウム、鉄、コバルト、またはニッケルなどの金属が、マンドレル58を覆う金属層70を形成する。非限定的な一例では、モノリシック金属構成要素38は、熱交換器100であることが可能である。

#### 【0017】

ポンプ(P)およびフィルタ(F)は、流体電解液52を濾過しある特定のイオン濃度に化学的に維持するために、または異物を除去するために使用され得る。フィルタ(F)は、非限定的な例としては化学的濾過材を備え得る。ヒータ(H)は、電着浴槽40の温度を調整するために設けられる。非限定的な例では、ヒータ(H)は、浴槽タンク50内に、または浴槽タンク50外部の浴槽タンク50の近傍に配設され得る。代替的には、ヒータ(H)は、流体電解液52がポンプ(P)によりポンプ送給されたときにこの流体電解液52を加熱するために、ポンプ(P)と流体連通状態にあることが可能である。

#### 【0018】

図2は、金属構成要素38を形成するためのプロセス400を示す。このプロセス400は、説明を目的して提示されるものであり、別様のことが述べられない限り異なる論理順序で進められてもよい、または追加ステップもしくは中間ステップが含まれてもよい。プロセ

10

20

30

40

50

ス400は、マンドレル上への電着により熱交換器を形成する文脈で説明されるが、他の適切な形状物を使用して他のタイプの本体を形成するために同様の様式で利用されてもよい。

#### 【0019】

402で、プロセス400は、マンドレル58を生成することから開始される。マンドレル58は、例えばワックスもしくはプラスチックなどから形成することが可能であり、または他の消耗材料から形成することが可能である。マンドレルは、熱交換器100の形状を画定する。マンドレル58は、非限定的な一例では積層造形法により、または他の非限定的な一例では射出成形により形成され得る。マンドレル58は、仕上がった電鋳された構成要素から除去可能であることが可能であり、導電性材料または非導電性材料から作製され得る。404で、マンドレル58は、導電性材料62で金属被覆されて、マンドレル58上に導電性表面が形成される。金属被覆後には、金属被覆されたマンドレル58は電着浴槽内においてカソードとして機能する。マンドレル58が導電性材料から形成される場合には、金属被覆ステップは不要となり得る一方で、金属マンドレルが、追加の導電性表面を有して処理されることによりカソードを形成することも可能である。

10

#### 【0020】

さらに404で、マンドレル58の導電性表面は、その表面粗度(rms)が32マイクロインチ(0.81マイクロメートル、Ra=29マイクロインチ)未満になるように研磨される。ここで、rmsは、ASME B46.1に規定されるような公式1にしたがって、マンドレル58の表面の二乗平均平方根として算出される。Rms(Eq1におけるR<sub>q</sub>)は、評価長さ(L)の範囲内で記録された中心線からのプロファイル高さ偏差の二乗平均平方根平均であり、ここでZ(X)は、プロファイル高さ関数である。他の例では、表面粗度は、30マイクロインチ未満であることが可能である。

20

#### 【0021】

#### 【数1】

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

30

#### 【0022】

代替的には、表面粗度は、評価長さの範囲内で記録された中心線からのプロファイル高さ偏差の算術平均であるRa(Eq2)として算出することが可能である。

#### 【0023】

#### 【数2】

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

40

#### 【0024】

さらに、表面粗度rmsは、100マイクロインチ(2.5マイクロメートル、Ra=91マイクロインチ)未満であることが可能であることが予期される。任意には、さらなる非限定的な例では、表面粗度rmsは、10~50マイクロインチ(0.25~1.3マイクロメートル、Ra=9~45マイクロインチ)の間、または20~30マイクロインチ(0.51~0.76マイクロメートル、Ra=18~27マイクロインチ)の間であることが可能である。マンドレル58の表面上の導電性材料62を平滑化し研磨またはバフ仕上げすることにより、熱交換器100の表面粗度rmsは

50

、約30マイクロインチ(0.51マイクロメートル、Ra=27マイクロインチ)未満になり得る。マンドレル58を研磨した結果として得られるものなどのより平滑な表面は、結果としてマンドレル58の除去後における完成した電鋳された構成要素の表面のさらなる平滑化をもたらし得る点を理解されたい。電着パラメータは、表面粗度が平滑化の前に30マイクロインチ未満になるようなマンドレル58の表面粗度の均しを実現するために変更されることが可能である。金属被覆されたマンドレル58の例示の平滑化手段としては、電解研磨(electropolishing、electrochemical polishing)、アセトン蒸気研磨などの化学研磨、手作業による研磨もしくは研磨/グリットブラストの使用、または当技術で知られている他の表面研磨方法が含まれるが、これらに限定されない。

#### 【0025】

10

406で、熱交換器の形成に必要となる追加の構成要素が、マンドレル58に対して追加され得る。一例では、マニホールド構成要素が、例えばマンドレルに対してマニホールド構成要素を装着することなどによりマンドレルの一部として形成され得る。一方で、マニホールドが、金属であり、機械加工され、次いで後に電着の最中にマンドレル58に対して接合されることが予期される。さらに、マニホールド構成要素または他の追加される構成要素は、上記のステップ402のマンドレル58の一部として形成され得ることも予期される。また、同様に、マニホールド用のマンドレルが電着への準備のために金属被覆され得ることも予期される。

#### 【0026】

20

408で、金属被覆されたマンドレル58の表面が、電着のために活性化される。このステップで、この表面は、電着プロセスに干渉し得る酸化物または他の汚染物質を除去するために処理される。マンドレル58の研磨に加えたこのステップにより、未処理のマンドレルとは対照的に、電着にとってより好適またはより理想的な表面が生成される。

#### 【0027】

410で、任意には、金属被覆されたマンドレル58が、電着浴槽内にマンドレル58を懸下するために支持フレームに対して構造的に連結され得る。同様に金属被覆されることとなるカソードマンドレルが、電鋳プロセスに必要とされる浴槽内において電気回路を完成するためにこのシステムの他の部分に対して電気接続され得る。一例では、マンドレル58は、電着浴槽内で使用するためのケーブルに対して電気接続される。

#### 【0028】

30

412で、金属被覆されたマンドレル58上への構成要素の電着が開始される。金属層70が、カソードの金属被覆されたマンドレル58上に析出されることにより、熱交換器100が生成される。以降において論ずる図3の複数のチューブ110などの熱交換器の少なくとも一部分を画定するチューブセットが、単体のモノリシック熱交換器構成要素を形成するために、析出中においてマニホールドと共に一体的におよび単体として形成される。析出された金属層は、金属合金であることが可能であり、例えば約3~4ミル(0.007~0.01センチメートル)の壁部厚さを備えることが可能である。ここで、1ミルは、1インチの1/1000に等しい。さらに、例えば浴槽温度など浴槽パラメータが、所望の表面形態構造をもたらすために、または電解槽流体中における金属のタイプもしくは濃度に基づき制御されることが予期される。この方法により実現される約3~4ミル(0.007~0.01センチメートル)の壁部厚さは、レーザベース積層法により一般的に実現される壁部厚さ(比較までに挙げれば典型的には12ミル(0.03センチメートル))未満となる。壁部厚さの低下により、熱伝導性が局所的に改善され、また同時に構成要素の重量が削減される。さらに、電着により形成された金属層70の有孔度(または孔サイズ)は、約50マイクロインチ(1.3マイクロメートル)である。比較までに挙げれば、レーザベース積層法により形成された表面の有孔度は、典型的には20~40E-03インチ(5.1E-02~10E-02センチメートル)であり、これは、本明細書において説明される方法により形成された金属層の有孔度よりも数桁高い。

#### 【0029】

414で、マンドレル58を構成する消耗材料は、電鋳された熱交換器100から除去され、それにより新たな内面すなわち露出表面150が露出する。非限定的な一例では、オーブン

50

焼成プロセスが利用され得る一方で、特定のマンドレル材料に基づき変更され得る任意の適切な除去プロセスが予期される。さらに、電鋳された熱交換器構成要素の処理は、電鋳された熱交換器100の露出表面150から任意の残留した導電性材料62を除去するための、エッティング液または他の溶剤を用いたフラッシングを含む。さらに、露出表面150の処理は、研磨/グリットブラストなどの、導電性材料62を除去する代替的な手段を含み得る。マンドレルの除去およびエッティング液でのフラッシングの後において、熱交換器100の最終表面粗度rmsは、20~30マイクロインチ(0.51~0.76マイクロメートル、Ra=18~27マイクロインチ)となり得る。比較までに挙げれば、レーザベース積層法により形成された製品の表面粗度rmsは、典型的には60~100マイクロインチ(1.5~2.5マイクロメートル、Ra=54~91マイクロインチ)の間の範囲内である。

10

#### 【0030】

任意の最終ステップ416~420は、熱交換器表面の視覚検査または他のタイプの検査を含む。検査の例としては、非限定的な例においては、割れまたは傷に関する蛍光浸透探傷検査、析出時効熱処理、ならびに流れおよび圧力試験が含まれ得る。

#### 【0031】

予期される追加のステップとしては、第1の研磨に加えて後研磨作業を含むことが可能である。より具体的には、マンドレル58の初期研磨により、約30マイクロインチ以下までマンドレル58の粗度を低下させることができる。さらに、最終熱交換器の追加研磨により、例えば約50%だけ粗度を低下させるなど表面を平滑化することが可能となり、後研磨後の最終表面粗度は、10~15マイクロインチの間となり得る。かような低い粗度により、流れ効率が改善され、圧力損失が低下し得る。さらに、平滑な表面は、他の場合において可能であるものよりさらに薄い壁部の使用を可能にするため、構成要素全体の重量を低減させることができとなり、これによりシステム全体の効率が改善され得る。

20

#### 【0032】

マニホールドハウジングと一体化された流体導管を有するモノリシックで一体型の高温コンパクト熱交換器を生成するための、電着を利用した積層造形プロセスが開示される。消耗マンドレルが、導電性析出表面を生成するために、および流体連結ポートを構成するために使用される。これらの流体導管は、電着プロセスの最中に流体連結ポートにおいてマニホールドと直接的に一体化され、それによりマニホールドに対してこれらの導管を連結するろう着または機械的加締めの必要性を解消する。その後、マンドレルは、金属析出後に除去され、エッティング液でのフラッシングを利用して熱交換器の内部表面から導電性析出物表面の除去を行うことができる。

30

#### 【0033】

有利には、本明細書において説明されるプロセスにより、電鋳された構成要素は、電着プロセスの最中にマニホールドに対して構造的に直接連結され一体化され得ることが可能となり、それにより機械的加締め、ろう着、または他の金属接合プロセスの必要性が解消される。さらに、この方法により、従来のレーザベース積層法または電鋳積層法により形成された壁部に比べて約1/3~1/4の薄さを持つ壁部が形成される。本方法により提供される構成要素のこのより薄い壁部により、熱伝導が促進されることによって、熱交換器の効率性および有効性が上昇し、さらに構成要素の全体重量が軽減される。本方法はより少量の材料を必要とし、製造コストが削減される。電着に備えてマンドレルを平滑化処理することにより、結果として構成要素は、未処理の荒いマンドレル58が使用された場合に比べて、大幅に平滑な(例えば約1/3も低い表面粗度)表面を有することになる。構成要素表面の平滑性が改善されることにより、最終製品を使用する際の水力損失が低下し、さらに乱流、空力抵抗、または非平滑表面の結果による他の非効率作用が軽減される。さらに、この方法により、低い有孔度を有する構成要素の生成が可能となる。本方法により可能となる有孔度の低下により、有効熱伝導率が向上し、ノックダウン強度が上昇し、これによって高サイクル疲労が抑制される。総じて述べれば、この製造プロセスの単純性により、他の方法により形成された同様の構成要素のものと比較して、時間が短縮され、コストが削減され、欠陥が減り、例えば熱交換器の効率性など最終製品の全般的な改善が可能となり得

40

50

る。

#### 【 0 0 3 4 】

図3に詳細に示すように、上述したようなおよびプロセス400で使用されるマンドレル58は、熱交換器100の形態をとることが可能であり、この熱交換器100は、第1のマニホールド102、第2のマニホールド104、および長手方向すなわち第1の方向112へと第1のマニホールド102と第2のマニホールド104との間に延在するチューブセット110を備える。第1のマニホールド102および第2のマニホールド104は、流体連結取付け部113にて第1のマニホールド102および第2のマニホールド104に対して接合されるチューブセット110によって流体結合され、それにより第1のマニホールド102と第2のマニホールド104との間における内部冷媒流のための導管すなわち流体通路F1が形成される。一態様では、第1のマニホールド102、第2のマニホールド104、およびチューブセット110は、モノリシック単体として形成される。流体連結取付け部113が別個のまたは追加の要素である必要はなく、特定のマニホールド102、104に対応するチューブセット110の一部分として単に形成されることが可能である点を理解されたい。さらに、取付け部113は、熱交換器100に備えられる必要はないことも予期される。10

#### 【 0 0 3 5 】

チューブセット110は、チューブ111が軸方向すなわち第2の方向122へと複数の列をなして配列され、第3の方向132へと積み重ねられるように構成される。この第3の方向へは、列スタックが、熱交換器100の前部から後部にかけて整列されるかまたはスタッガ状に配置されるかのいずれとなる。チューブセット110の各チューブ111間の空間は、熱交換器100の前部から後部に向かう流路F2を画成する。流体通路F1および流路F2が協働することにより、チューブセット110の内部を通過する第1の流体114と、チューブセット110の外部表面上の流路F2に沿って通過する第2の流体116との間における熱交換が可能となる。20

#### 【 0 0 3 6 】

次に図3の断面ラインIVに沿った断面図である図4を参照すると、各チューブ111が、エーロフォイル形状または涙滴形状を有する。本開示は、例えば層流翼型、円弧翼型、クラーク「Y」翼型、ダブルウェッジ翼型、アーリー翼型、レイター翼型、フラットボトム翼型、アンダーキャンバー翼型、涙滴翼型、キャンバード翼型、およびスーパークリティカル翼型などの、非対称、半対称、および対称の涙滴形状ならびにエーロフォイル形状を含むがそれらに限定されず、図3に示す形状に限定されない点が理解されよう。さらに、各チューブ111は、前縁120および後縁121を有し、これらの前縁120および後縁121の間に軸方向すなわち第2の方向122が規定される。頂部表面124および底面126が、さらに各チューブ111中に備えられて、第1の方向112および第2の方向122の両方に対して垂直な第3の方向132が規定される。したがって、チューブ111の軸方向断面積134が、前縁120、後縁121、頂部表面124、および底面126により画定される。30

#### 【 0 0 3 7 】

チューブセット110は、非限定的な一例では3~4ミル(0.003~0.004インチ; 0.007~0.01センチメートル)である壁部厚さ136を有する金属層70を備える。壁部厚さ136は、動作の最中に熱交換器100が自立するのに十分な厚さであり、製造の最中に必要とされる材料の量を抑える。さらに、壁部厚さ136により、熱交換器全体の重量が、従来の壁部厚さを持つ従来の熱交換器に比べて低下し得る。40

#### 【 0 0 3 8 】

各チューブセット110の前縁120は、第2の流体116に衝突し、この第2の流体116は、熱交換器100に進入するとともに軸方向122へと流路F2をたどる。この流路F2は、熱伝導を改善するために拡張された表面積を有する細長涙滴形状のチューブセット110の外面を越えていく。さらに、チューブセット110間における圧力降下は、前方プロファイルを小さくしチューブセット110の頂部表面124および底面126の間にわたる抗力を最小限に抑えるとともに、これらの表面に対する流れアタッチメントの改善による利益を享受するエーロフォイル形状によって、最小限に抑えられ、これにより全体的な熱伝導が改善される50

。このエーロフォイルプロファイルは、エーロフォイルプロファイルに沿ってアタッチメントが改善された流れを後縁121に向かって移動させることによって早期渦放出の開始を軽減する。

#### 【 0 0 3 9 】

次に図5を参照すると、後縁121は、第1の方向112に画定された波形状部128を有する。この波形状部128は、正弦波形状などの任意の反復湾曲形状であることが可能である。チューブセット110の各チューブ111が、軸方向の第2の方向に軸方向幅130を有する。この軸方向幅130は、波形状部128の最大部および最小部に対応する最大値130aと最小値130bとの間で反復的に変動する。チューブ111の軸方向幅130が変動することにより、チューブ111ごとの軸方向断面積134もまた、長手方向の第1の方向112に沿って規定される場合に変動する。他の態様では、軸方向幅130の最大値130aおよび最小値130bは、ほぼ同一であることが可能であり、その場合には、チューブセット110のチューブ111ごとの軸方向断面積134は、ほぼ均一となるか、または $\pm 10\%$ の範囲内となる。この断面積は、準楕円形断面の最大寸法および最小寸法を変更しつつも、ほぼ同一に維持され得る。この一定の断面積は、均一またはほぼ均一に維持された場合には、チャネル中における圧力損失を低下させ、乱流の軽減を結果としてもたらす。しかし、可変的な断面積もまた予期される点を理解されたい。可変断面積は、脈動的に変化する高低の流速をもたらし、乱流を発生させ、結果として熱伝導係数 $h$ をより高め、熱伝導を改善する。したがって、一定の断面積と可変的な断面積との間ににおいて両立を図ることが可能であり、一定の断面積は、その一定度合いがより高いことにより圧力損失はより有利なものになり、可変的な断面積は、その可変度合いがより高いことにより局所的熱伝導はより有利なものとなる点を理解されたい。このようにして、熱交換器の各部分が、変動的および一定の両方のしかしそれぞれ別個に位置するそれぞれ異なる断面積を有することがさらに予期される。

10

#### 【 0 0 4 0 】

さらに図5を参照すると、第1の流体114が、第1のマニホールド102を通り流れて、チューブセット110に進入し流体通路F1をたどり、チューブセット110から退出し第2のマニホールド104に進入する。流路F2が、熱交換器100の前部から後部にかけてチューブセット110の外面を越える。第2の流体116が、熱交換器100にその前部から進入し、第1の流体114との間で熱交換を行うためにチューブセット110を越えておよびチューブセット110間を通過することによって流路F2をたどり、熱交換器100の後部にて退出する。図5に示すように、チューブセット110は、スタッガ状に整列され得る。

20

#### 【 0 0 4 1 】

次に図6を参照すると、頂部表面124は、頂部プロファイル140を有することが可能であり、底面126は、底部プロファイル142を有することが可能であり、これらの頂部プロファイル140および底部プロファイル142は、例えば正弦波形状などの規則的に反復する湾曲形状として示される。頂部プロファイル140および底部プロファイル142のこの整列により、チューブ111の厚部分144および薄部分146が画定される。頂部プロファイル140は、例えば正弦波周期の $1/2$ などだけ底部プロファイル142からオフセットされることが可能であることが予期される。さらに、厚部分144は、軸方向幅130が波形状部128にしたがって最大値130aとなる後縁121の部分と整列され、薄部分146は、軸方向幅130が波形状部128にしたがって最小値130bとなる後縁121の部分と整列される。

30

#### 【 0 0 4 2 】

チューブ111の頂部プロファイル140および底部プロファイル142は、内部流体混合を改善し水力損失を最小限に抑えるために多様にすることが可能である。チューブセット110の形状は、熱伝導を上昇させるために流体流に対して周期的な横方向速度成分を含むよう設計される。各チューブセット110全体の断面積134は、速度変化および関連する水圧損失を最小限に抑えるようにほぼ均一となるように設計される。かかる均一性は、厚さの大きな部分が幅130の小さな部分と整列されるまたはその逆となることにより実質的に均一な断面積が達成されるように、変動する幅130と厚部分144および薄部分146の変動する厚さとによって、断面積の変化を均衡させることを介して達成することが可能である

40

50

。実質的に均一な断面積により、速度変化または圧力損失を軽減することが可能となり、これにより効率性が維持されるとともに、全体的な熱伝導性が改善される。

#### 【0043】

他の態様では、流体通路は、図7に示すように相互に交絡した三分岐チューブセット210として形成され得る。この三分岐チューブ210の場合において、それらの接合部は、各流路が多数の屈曲部を有するように、四面体構成を有する。さらに他の態様では、流体通路は、図8に示すように入れ子状に配置されたらせんセット310として形成され得る。プロセス400により、これらの幾何学的に複雑な構造体は、有利な壁部厚さ、表面平滑度、低有孔度、および少ない欠陥を有して、ならびに溶接またはろう着によるパーティクルの個々の封止連結または組立てを行う必要性を伴わずに、形成することが可能となる。マニホールド102、104は、電鋳の最中に流体導管チューブ110、210、310に対してin-situ接合され、それにより封止欠陥または失敗の可能性が低下する。

10

#### 【0044】

本明細書の開示に関する利点としては、チューブの複雑な幾何学的形状および相互交絡構成が含まれるが、これらに限定されない。これにより、熱伝導が上昇し、流体抗力または空気力学的抗力が低下し、高サイクル疲労に耐える構造剛性またはノックダウン強度が改善される。チューブセット110がマニホールドと一体的に形成されることにより、構造体中に脆弱箇所が得られる可能性がより低下する。本明細書において説明される方法により形成される構成要素の電鋳された壁部は、他の方法により形成された構成要素の壁部よりも大幅に薄い。構成要素の壁部がこのようにより薄いことにより、熱伝導が向上し、効力または水力損失が低下し、構成要素の構造的完全性が改善される。さらに、構成要素表面の平滑性が改善されることにより、摩擦力が低下し、空気力学的抗力、流れアタッチメント、または水力損失が低下することによって最終製品を通過する流体流が改善される。電鋳された構成要素の表面欠陥が減少し有孔度が低下することにより、この構成要素の強度および熱伝導特性が改善される。

20

#### 【0045】

本開示のさらなる態様が、以下の項の主題により示される。

#### 【0046】

熱交換器を電鋳する方法であって、熱交換器の少なくとも一部分として成形されたマンドレルの導電性表面を研磨することと、このマンドレルの導電性表面上に熱交換器を電鋳することと、電鋳された熱交換器からマンドレルを除去することとを含む、方法。

30

#### 【0047】

導電性表面を研磨することは、導電性表面粗度(rms)を32マイクロインチ(0.81マイクロメートル、Ra=29マイクロインチ)未満まで平滑化する、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

#### 【0048】

熱交換器を電鋳することが、4ミル(0.01センチメートル)未満である壁部厚さを有するように熱交換器を電鋳することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

40

#### 【0049】

電鋳のために導電性表面を活性化することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

#### 【0050】

活性化することが、汚染物質を除去するために導電性表面を処理することを含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

#### 【0051】

電鋳された熱交換器が、マンドレルが除去された場合に露出される内面に沿って処理される、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

#### 【0052】

熱交換器を処理することが、エッティング液で内面を処理することを含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

50

**【 0 0 5 3 】**

マンドレルに対してマニホールド構成要素を装着することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

**【 0 0 5 4 】**

導電性表面を研磨することの前に、導電性表面を形成するためにマンドレルを金属被覆することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

**【 0 0 5 5 】**

マンドレルを金属被覆することの前に、熱交換器の少なくとも一部分を成形するためのマンドレルを形成することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

**【 0 0 5 6 】**

構成要素を電鋳する方法であって、構成要素として成形されたマンドレルの導電性表面を研磨することと、このマンドレルの導電性表面上にこの構成要素を電鋳することと、前もってマンドレルにより境界画定された構成要素の新たな表面を露出させるために構成要素からマンドレルを除去することとを含み、新たな表面は、構成要素を電鋳する前に導電性表面を研磨する結果として得られる32マイクロインチ( $R_a=29$ マイクロインチ)未満である表面粗度(rms)を有する、方法。

10

**【 0 0 5 7 】**

構成要素が、3~4ミルの間である壁部厚さをさらに有する、前出の項のいずれか一つに記載の方法で。

**【 0 0 5 8 】**

エッティング液で新たな表面を処理することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

20

**【 0 0 5 9 】**

汚染物質を除去するために導電性表面を処理することにより、電鋳することの前に、導電性表面を活性化することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

**【 0 0 6 0 】**

請求項11に記載の方法であって、この構成要素が、50マイクロインチ未満である有孔度を有する材料から作製される、方法。

**【 0 0 6 1 】**

熱交換器を形成する方法であって、熱交換器の形状を画定する除去可能なマンドレルを用意することと、カソードを画定するために導電性コーティングでマンドレルの表面を被覆することと、3~4ミルである壁部厚さを備えるようにカソード上に熱交換器を電鋳することと、電鋳された熱交換器からマンドレルを除去することと、

30

**【 0 0 6 2 】**

電鋳された熱交換器から残留する導電性コーティングを除去するために電鋳された熱交換器を処理することとを含む、方法。

**【 0 0 6 3 】**

電鋳することの前に、導電性コーティングを研磨することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

**【 0 0 6 4 】**

研磨することが、32マイクロインチ未満である熱交換器の表面粗度(rms)の生成を可能にする、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

40

**【 0 0 6 5 】**

電鋳することが、第1のマニホールド、第2のマニホールド、および第2のマニホールドに対して第1のマニホールドを結合するチューブセットを備える、モノリシックな単体熱交換器を形成することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

**【 0 0 6 6 】**

残留する導電性コーティングを処理することが、エッティング液を使用することを含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

**【 0 0 6 7 】**

50

予め説明されていない場合であっても、様々な態様の種々の特徴および構造は、所望に応じて相互に組み合わせて使用することが可能である。ある特徴がこれらの態様のすべてにおいては示すことができない場合に、このことは、それが不可能であると解釈されるよう意図されたものではなく、説明の簡略化を目的としてなされる。したがって、種々の態様の様々な特徴は、所望に応じて新規の例を形成するために混合および組み合わされることが可能であり、その新規の例が明示的に説明されているかどうかにかかわらない。本明細書において説明される特徴の組合せまたは置換は、本開示の範囲に含まれる。多数の他の可能な実施形態および構成が、上記の図面に示される実施形態および図面に加えて本開示により予期される。

## 【0068】

10

この本発明の詳細な説明は、ベストモードを含む本明細書において説明される本開示の態様を説明するために、およびさらには任意のデバイスまたはシステムを作製および使用することならびに任意の組み込まれた方法を実施することを含む、当業者による本開示の態様の実施を可能にするために、例として使用される。本開示の態様の特許請求可能な範囲は、特許請求の範囲により定義され、当業者が想起する他の例を含み得る。かような他の例は、特許請求の範囲の文言から相違しない構造要素を有する場合には、または特許請求の範囲の文言とは実質的に相違のない均等な構造要素を備える場合には、特許請求の範囲内に含まれるように意図される。

## 【0069】

20

本発明のさらなる態様が、以下の項の主題により示される。

## 1. 熱交換器を電鋳する方法であって、

熱交換器の少なくとも一部分として成形されたマンドレルの導電性表面を研磨することと、

このマンドレルの導電性表面上に熱交換器を電鋳することと、  
電鋳された熱交換器からマンドレルを除去することと  
を含む、方法。

2. 導電性表面を研磨することにより、導電性表面粗度(rms)が32マイクロインチ(0.81マイクロメートル)未満まで平滑化される、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

3. 熱交換器を電鋳することが、4ミル(0.01センチメートル)未満である壁部厚さを有するように熱交換器を電鋳することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

4. 電鋳のために導電性表面を活性化することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

5. 活性化することが、汚染物質を除去するために導電性表面を処理することを含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

6. 電鋳された熱交換器が、マンドレルが除去された場合に露出される内面に沿って処理される、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

7. 熱交換器を処理することが、エッティング液で内面を処理することを含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

8. マンドレルに対してマニホールド構成要素を装着することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

9. 導電性表面を研磨することの前に、導電性表面を形成するためにマンドレルを金属被覆することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

10. マンドレルを金属被覆することの前に、熱交換器の少なくとも前出の部分を成形するためのマンドレルを形成することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

## 11. 構成要素を電鋳する方法であって、

構成要素として成形されたマンドレルの導電性表面を研磨することと、

このマンドレルの導電性表面上にこの構成要素を電鋳することと、

前もってマンドレルにより境界画定された構成要素の新たな表面を露出させるために熱交換器からマンドレルを除去することと

を含み、

40

50

この新たな表面は、構成要素を電鋳する前に導電性表面を研磨する結果として得られる32マイクロインチ未満である表面粗度(rms)を有する、方法。

12.構成要素が、3~4ミルの間である壁部厚さをさらに有する、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

13.エッティング液で新たな表面を処理することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

14.汚染物質を除去するために導電性表面を処理することにより、電鋳することの前に、導電性表面を活性化することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

15.構成要素が、50マイクロインチ未満である有孔度を有する材料から作製される、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

16.熱交換器を形成する方法であって、

熱交換器の形状を画定する除去可能なマンドレルを用意することと、

カソードを画定するために導電性コーティングでマンドレルの表面を被覆することと、

3~4ミルである壁部厚さを備えるようにカソード上に熱交換器を電鋳することと、電鋳された熱交換器からマンドレルを除去することと、

電鋳された熱交換器から残留する導電性コーティングを除去するために電鋳された熱交換器を処理することと

を含む、方法。

17.電鋳することの前に、導電性コーティングを研磨することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

18.研磨することが、32マイクロインチ未満である熱交換器の表面粗度(rms)の生成を可能にする、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

19.電鋳することが、第1のマニホールド、第2のマニホールド、および第2のマニホールドに対して第1のマニホールドを結合するチューブセットを備える、モノリシックな単体熱交換器を形成することをさらに含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

20.残留する導電性コーティングを処理することが、エッティング液を使用することを含む、前出の項のいずれか一つに記載の方法。

#### 【符号の説明】

##### 【0070】

38 金属構成要素、モノリシック金属構成要素

40 電着浴槽

50 浴槽タンク

52 導電性流体電解液

54 アノード

56 カソード

58 マンドレル

60 本体

62 導電性材料

64 コントローラ

66 電気導管

67 電気回路

68 スイッチ

70 金属層

100 热交換器

102 第1のマニホールド

104 第2のマニホールド

110 チューブセット、流体導管チューブ

111 チューブ

112 第1の方向

10

20

30

40

50

113	流体連結取付け部	
114	第1の流体	
116	第2の流体	
120	前縁	
121	後縁	
122	第2の方向、軸方向	
124	頂部表面	
126	底面	
128	波形状部	
130	最大値	10
130	最小値	
130	軸方向幅	
130a	最大値	
130b	最小値	
132	第3の方向	
134	軸方向断面積	
136	壁部厚さ	
140	頂部プロファイル	
142	底部プロファイル	
144	厚部分	20
146	薄部分	
150	露出表面	
210	三分岐チューブセット、三分岐チューブ、流体導管チューブ	
310	入れ子状に配置されたらせんセット	
F1	流体通路	
F2	流路	

30

40

50

【図面】

【図 1】

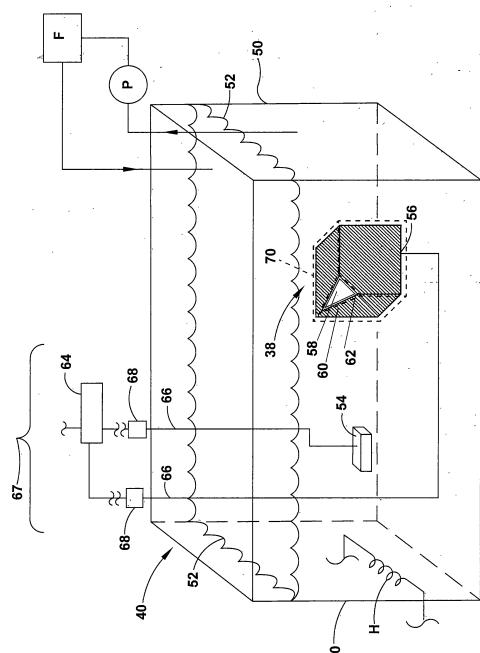


FIG. 1

【図 2】

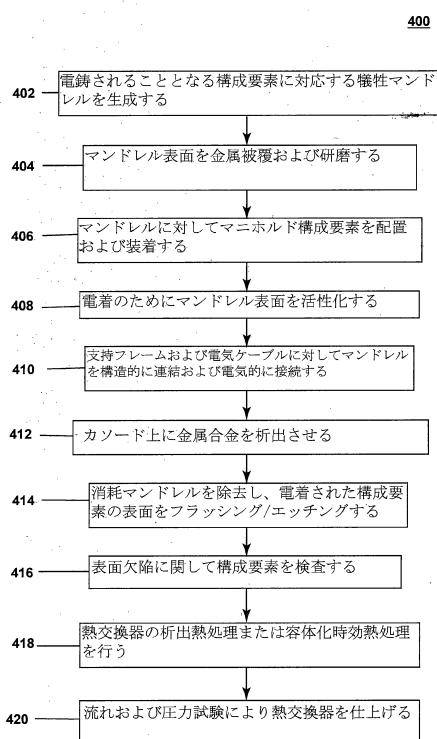


FIG. 2

【図 3】

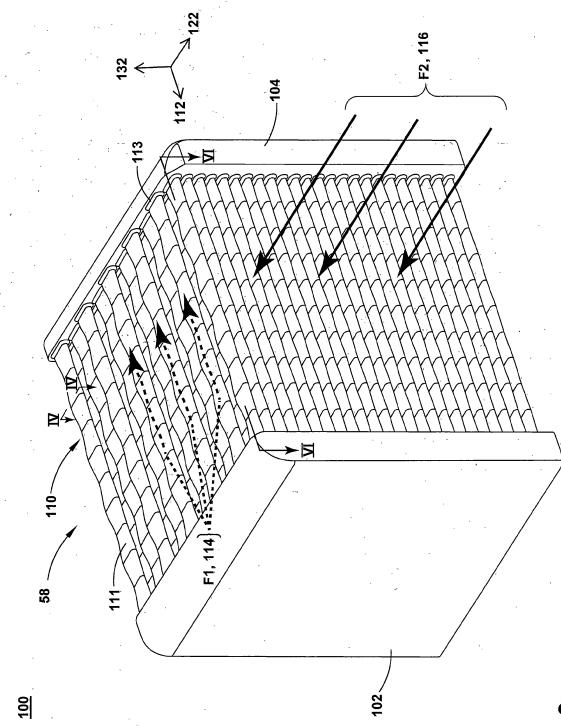


FIG. 3

【図 4】

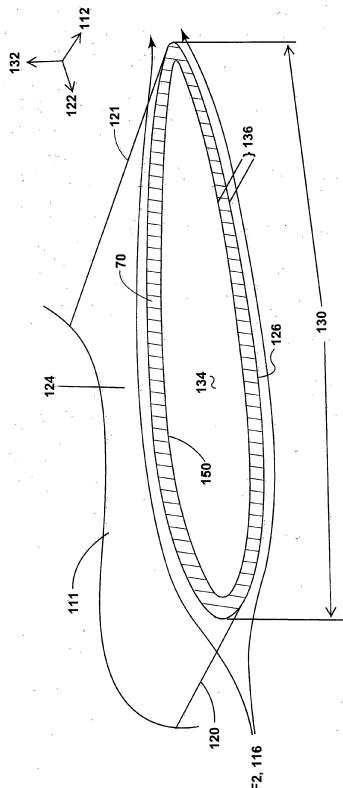


FIG. 4

【図 5】

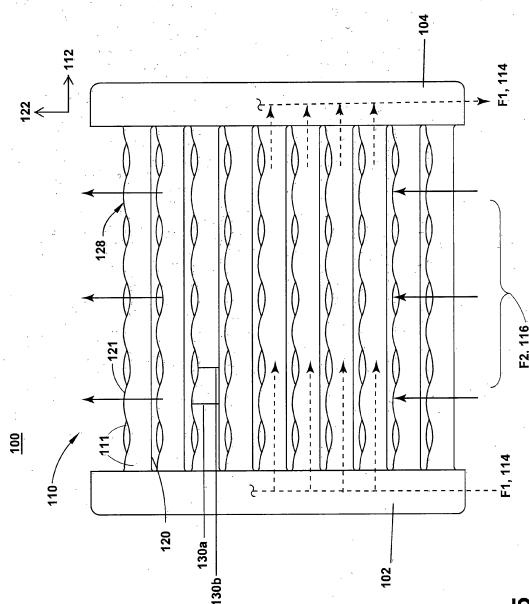


FIG. 5

【図 6】

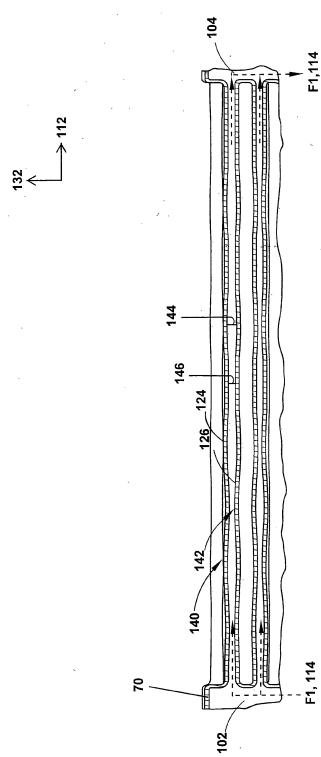


FIG. 6

10

20

【図 7】

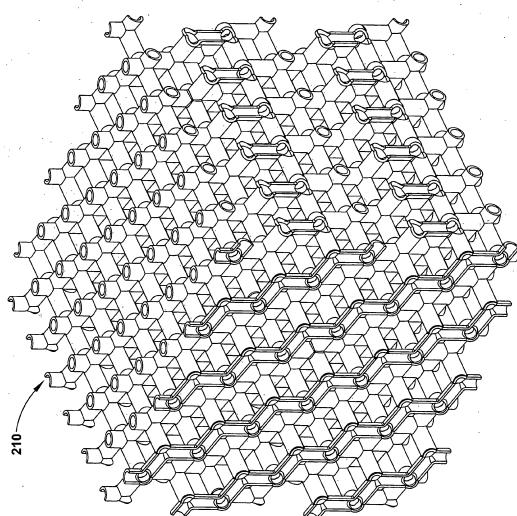


FIG. 7

【図 8】

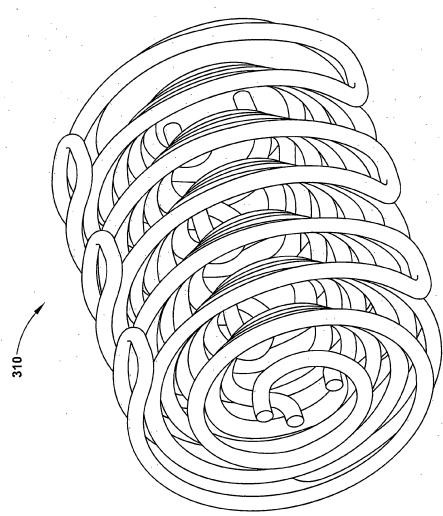


FIG. 8

30

40

50

---

フロントページの続き

エイ・7575

(72)発明者 ダットウ・ジーヴィ・ジョンナラガッダ

アメリカ合衆国・フロリダ・32256・ジャクソンビル・ベイメドウズ・ウェイ・7575

(72)発明者 マイケル・ラルフ・ストレージ

アメリカ合衆国・フロリダ・32256・ジャクソンビル・ベイメドウズ・ウェイ・7575

(72)発明者 エミリー・マリー・フェルプス

アメリカ合衆国・フロリダ・32256・ジャクソンビル・ベイメドウズ・ウェイ・7575

(72)発明者 ジェイソン・リーヴァイ・バーデット

アメリカ合衆国・フロリダ・32256・ジャクソンビル・ベイメドウズ・ウェイ・7575

合議体

審判長 井上 猛

審判官 池渕 立

審判官 佐藤 陽一

(56)参考文献 特表2007-512434号公報(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

C25D1/00