

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6983232号
(P6983232)

(45) 発行日 令和3年12月17日 (2021. 12. 17)

(24) 登録日 令和3年11月25日 (2021. 11. 25)

(51) Int. Cl.	F I
C O 3 B 37/09 (2006. 01)	C O 3 B 37/09
C O 3 B 3/02 (2006. 01)	C O 3 B 3/02
C O 3 B 5/24 (2006. 01)	C O 3 B 5/24

請求項の数 41 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2019-518168 (P2019-518168)	(73) 特許権者	518445344
(86) (22) 出願日	平成29年6月15日 (2017. 6. 15)		ビランド, オレクサンダー
(65) 公表番号	特表2019-517988 (P2019-517988A)		アメリカ合衆国 テキサス 77407,
(43) 公表日	令和1年6月27日 (2019. 6. 27)		リッチモンド, エフエム 1093
(86) 国際出願番号	PCT/US2017/037718		ロード 21711
(87) 国際公開番号	W02017/218800	(73) 特許権者	518445355
(87) 国際公開日	平成29年12月21日 (2017. 12. 21)		ファーガソン, ロバート ブルース
審査請求日	令和2年6月12日 (2020. 6. 12)		アメリカ合衆国 テキサス 77407,
(31) 優先権主張番号	15/424, 538		リッチモンド, エフエム 1093
(32) 優先日	平成29年2月3日 (2017. 2. 3)		ロード 21711
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100078282
(31) 優先権主張番号	62/350, 832		弁理士 山本 秀策
(32) 優先日	平成28年6月16日 (2016. 6. 16)	(74) 代理人	100113413
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 森下 夏樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 火成岩から繊維を作製するための装置およびプロセス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

火成岩から繊維を生産する方法であって、前記方法は、

大量の破砕された火成岩を火炉チャンバに追加することであって、前記火炉チャンバは、第1の電気誘導コイルにおいて少なくとも部分的に囲繞される、ことと、

前記火炉チャンバに追加された前記大量の破砕された火成岩を加熱し、前記大量の火成岩の少なくとも一部において均質な岩石融解物を生産するために効果的のように、交流電流を前記第1の誘導コイルに印加することと、

前記均質な岩石融解物部分の少なくとも一部を繊維形成チャンバを通して通過させ、続けて、前記繊維形成チャンバからの前記大量の火成岩の少なくとも一部を、繊維を生産するために効果的な制御された温度下で繊維形成オリフィスを通して通過させることであって、前記繊維形成チャンバは、第2の電気誘導コイルによって少なくとも部分的に囲繞され、前記繊維形成チャンバ内の前記均質な岩石融解物部分の温度は、少なくとも部分的に、前記第2の誘導コイルにおける電流の電力および周波数によって制御される、こととを含む、方法。

【請求項 2】

前記繊維形成オリフィスにおける前記制御された温度は、標的温度の20 ~ 70 以内に制御される、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記繊維形成オリフィスにおける前記制御された温度は、標的温度の30 ~ 60 以

内に制御される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記繊維形成チャンバの中に前記均質な岩石融解物部分を通過させることに先立って、前記均質な岩石融解物部分の少なくとも一部を、第 3 の電気誘導コイルによって少なくとも部分的に囲繞される調整チャンバを通して通過させ、前記調整チャンバの少なくとも一部において層流を生産するために効果的なように、前記均質な岩石融解物部分を冷却することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記大量の破碎された火成岩は、前記火炉チャンバに追加されることに先立って予熱される、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 6】

前記大量の破碎された火成岩は、前記火炉チャンバに追加されることに先立って、前記火炉チャンバからの排気ガスによって加熱される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記大量の破碎された火成岩は、前記火炉チャンバに追加されることに先立ってバッチ投入機内に保持され、前記火炉チャンバからの前記排気ガスは、前記バッチ投入機の中に圧送される、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記大量の破碎された火成岩は、前記火炉チャンバ内で 1 , 3 0 0 ~ 3 , 0 0 0 の温度まで加熱される、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 9】

前記火炉チャンバは、第 1 の区域および第 2 の区域に分割され、前記第 2 の区域は、前記火炉チャンバの壁における開口部を通して前記調整チャンバと流体連通する、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 10】

前記第 1 の区域および前記第 2 の区域は、アンダーフローバッフルによって分離される、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記破碎された火成岩は、玄武岩を備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記破碎された火成岩は、長石、石英、準長石、橄欖石、輝石、角閃石、および雲母のうちの少なくとも 1 つを備える、請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 13】

前記破碎された火成岩は、流紋岩、石英安山岩、安山岩、玄武岩、輝緑岩、花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、または斑禰岩を備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 14】

少なくとも前記調整チャンバおよび前記繊維形成チャンバ内に温度センサを配置することと、前記温度センサからコンピュータによって受信されるフィードバックに基づいて、前記第 2 の誘導コイルおよび前記第 3 の誘導コイル内の電流のコンピュータ化制御を通して、前記調整チャンバおよび繊維形成チャンバ内の温度を制御することとをさらに含む、請求項 4 に記載の方法。

40

【請求項 15】

繊維を生産する方法であって、

繊維に変換されるべき大量の破碎された火成岩を取得するステップと、

バッチを融解火炉に輸送するステップであって、前記融解火炉は、第 1 の電気誘導コイルによって少なくとも部分的に囲繞される、ステップと、

前記バッチにおける全ての鉋物の融点を上回る温度まで前記バッチを加熱し、前記バッチの少なくとも一部において均質な岩石融解物を生産するために効果的なように、交流電流を前記第 1 の誘導コイルに印加するステップと、

前記均質な岩石融解物を、前記融解火炉の壁の上側部分における開口部を通して調整

50

チャンバの中に流動させるステップであって、前記調整チャンバは、第 2 の誘導コイルによって少なくとも部分的に囲繞される、ステップと、

岩石融解物の伝導性攪拌を抑制し、温度が減少して調整された岩石融解物を生産することを可能にするために効果的なように、電流を前記第 2 の誘導コイルに印加するステップと、

前記調整された岩石融解物を複数の繊維形成チャンバの中に流動させるステップであって、各繊維形成チャンバは、繊維形成チャンバ誘導コイルによって少なくとも部分的に囲繞される、ステップと、

調整された融解物を繊維形成温度に到達させ、前記繊維形成温度において維持するために効果的なように、電流を前記繊維形成チャンバ誘導コイルに印加するステップと、

繊維形成チャンバからの調整された融解物を、繊維形成チャンバの底面における複数のオリフィスを通して流動させ、前記オリフィスの少なくとも一部から押出された繊維を生産し、それによって、繊維を形成するステップと

を含む、方法。

【請求項 16】

前記破碎された火成岩は、前記融解火炉に輸送されることに先立って、バッチ投入機内で予熱される、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記融解火炉は、第 1 の区域および第 2 の区域に分割され、前記均質な岩石融解物は、前記融解火炉の前記第 2 の区域の前記壁における開口部を通して前記調整チャンバに進入する、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 18】

前記第 1 の区域は、アンダーパスバッフルによって前記第 2 の区域から分離される、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

前記繊維が前記オリフィスから出現する際に、前記繊維に対して水ミストを噴霧することによって、前記繊維を衝撃冷却することをさらに含む、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 20】

ギャザリングシュエを用いて個々の繊維を複数のストランドに寄せ集めることをさらに含む、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 21】

ワインダ上で前記ストランドのうちの 1 つ以上のものを巻回することをさらに含む、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

繊維に変換されるべき第 2 および後続の量の破碎された火成岩を取得し、前記破碎された火成岩を前記融解火炉に輸送し、前記融解火炉から前記繊維形成チャンバへの均質な岩石融解物の流量を維持することによって、連続のプロセスにおいて繊維を生産することをさらに含む、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 23】

加熱されたガスが、前記バッチ投入機内の前記破碎された火成岩を予熱するために効果的なように、前記融解火炉から除去され、前記バッチ投入機の中に流動される、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 24】

コンピュータを用いて前記融解火炉、調整チャンバ、および繊維形成チャンバ内の温度を制御することをさらに含み、前記コンピュータは、融解火炉、前記調整チャンバ、および前記繊維形成チャンバのうちの 1 つ以上のもののの中に配置された温度センサから温度データを受信し、前記温度センサから受信されたデータに基づいて、電力レベルおよび AC 周波数を制御する、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 25】

繊維を生産するための装置であって、

10

20

30

40

50

未加工玄武岩または火成岩のバッチを受容するための開口部とともに構成される融解火炉であって、前記融解火炉は、投入されたバッチを受容するための第1の区域および調製された融解物のための第2の区域に分割される融解チャンバを備え、前記第1の区域および前記第2の区域は、アンダーフローバッフルによって分割され、前記第2の区域の壁は、退出開口部を形成し、前記退出開口部は、前記アンダーフローバッフルの下の通路よりも、前記融解チャンバの上部に近接して位置する、融解火炉と、

前記融解火炉の周囲に少なくとも部分的に位置する第1の電気誘導コイルと、

前記第1の電気誘導コイルに電氣的に接続される第1の発電機および第1の高周波数コンバータと、

前記融解火炉の少なくとも1つの壁において位置する第1の冷却ジャケットであって、前記第1の冷却ジャケットは、第1の水供給および熱交換器ユニットと流体連通する、第1の冷却ジャケットと、

10

第1の端部および第2の端部を伴う水平チャネルを備える調整チャンバであって、前記調整チャンバは、前記退出開口部を通して前記第2の区域と流体連通し、前記調整チャンバの底面壁は、前記水平チャネルの前記第2の端部に向かって前記調整チャンバの長さに沿って離間関係における複数の開口部を形成する、調整チャンバと、

前記調整チャンバの周囲に少なくとも部分的に位置する第2の電気誘導コイルと、

前記第2の電気誘導コイルに電氣的に接続される第2の発電機および第2の高周波数コンバータと、

前記調整チャンバの少なくとも1つの壁において位置する第2の冷却ジャケットであって、前記第2の冷却ジャケットは、第2の水供給および熱交換器ユニットと流体連通する、第2の冷却ジャケットと、

20

前記調整チャンバの下方に位置する複数の繊維形成チャンバであって、前記複数の繊維形成チャンバは、それぞれ、前記調整チャンバの底面壁におけるそれぞれの複数の開口部を通して前記調整チャンバと流体連通し、前記複数の繊維形成チャンバにおける繊維形成チャンバは、前記繊維形成チャンバにおいて位置する繊維形成面を備え、前記繊維形成面は、少なくとも1つのオリフィスを備え、前記少なくとも1つのオリフィスは、岩石融解物がそれぞれのオリフィスを通して各それぞれが前記岩石融解物から繊維を形成するように定寸および構成される、複数の繊維形成チャンバと、

前記複数の繊維形成チャンバの周囲に少なくとも部分的に位置する第3の電気誘導コイルと、

30

前記第3の電気誘導コイルに電氣的に接続される第3の発電機および第3の高周波数コンバータと、

前記複数の繊維形成チャンバの少なくとも1つの壁において位置する第3の冷却ジャケットであって、前記第3の冷却ジャケットは、第3の水供給および熱交換器ユニットと流体連通する、第3の冷却ジャケットと

を備える、装置。

【請求項26】

破碎された玄武岩または火成岩を受容し、前記破碎された玄武岩または火成岩を前記融解チャンバの前記第1の区域の中に供給するためのホッパを備えるバッチ投入機をさらに備える、請求項25に記載の装置。

40

【請求項27】

前記第2の区域を前記バッチ投入機に接続する空気チャネルをさらに備え、前記空気チャネルは、ポンプを備え、前記ポンプは、前記融解チャンバからガスを引き込み、前記ガスを前記バッチ投入機に送達するように構成される、請求項26に記載の装置。

【請求項28】

前記融解火炉内に位置する少なくとも1つの第1の温度センサと、

前記調整チャンバ内に位置する少なくとも1つの第2の温度センサと、

前記繊維形成チャンバのうちの少なくとも1つ内に位置する少なくとも1つの第3の温度センサと

50

をさらに備える、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 2 9】

繊維が前記少なくとも 1 つのオリフィスから出現する際に、前記繊維に対して水ミストを噴霧するように構成される少なくとも 1 つの水噴霧器をさらに備える、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 3 0】

複数の前記オリフィスは、前記繊維形成表面内に含まれるとき、複数の前記繊維を同時に生成するように構成され、少なくとも 1 つのギャザリングシュースをさらに備え、前記少なくとも 1 つのギャザリングシュースは、それぞれの繊維形成チャンバからの前記複数の繊維を統合するように構成される、請求項 2 5 に記載の装置。

10

【請求項 3 1】

それぞれの繊維形成チャンバから少なくとも 1 つの繊維を受容するように構成される少なくとも 1 つのワインダをさらに備える、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 3 2】

前記装置と関連付けられる温度および水流量データを受信するように構成されるコンピュータをさらに備え、前記コンピュータは、

前記第 1 の発電機と、前記第 2 の発電機と、前記第 3 の発電機と、

前記第 1 の高周波数コンバータと、前記第 2 の高周波数コンバータと、前記第 3 の高周波数コンバータと、

前記第 1 の水供給および熱交換器ユニットと、前記第 2 の水供給および熱交換器ユニットと、前記第 3 の水供給および熱交換器ユニットと

20

を制御するように構成される、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 3 3】

前記パッチ投入機は、前記ホッパへの振動を提供するように構成されるモータを備える、請求項 2 6 に記載の装置。

【請求項 3 4】

前記第 1 の冷却ジャケット、前記第 2 の冷却ジャケット、および前記第 3 の冷却ジャケットのうちの少なくとも 1 つは、銅またはステンレス鋼管を備える、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 3 5】

30

前記第 1 の発電機、前記第 2 の発電機、および前記第 3 の発電機のうちの少なくとも 1 つは、500 kW ~ 10 MW の電力を提供し、前記第 1 の高周波数コンバータ、前記第 2 の高周波数コンバータ、および前記第 3 の高周波数コンバータのうちの少なくとも 1 つは、100 kHz ~ 30 MHz の周波数において前記電力が提供されることを可能にする、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 3 6】

前記第 1 の発電機、前記第 2 の発電機、および前記第 3 の発電機のうちの少なくとも 1 つは、50 kW ~ 500 kW の電力を提供し、前記第 1 の高周波数コンバータ、前記第 2 の高周波数コンバータ、および前記第 3 の高周波数コンバータのうちの少なくとも 1 つは、60 Hz ~ 100 kHz の周波数において前記電力が提供されることを可能にする、請求項 2 5 に記載の装置。

40

【請求項 3 7】

前記第 1 の水供給および熱交換器ユニット、前記第 2 の水供給および熱交換器ユニット、および前記第 3 の水供給および熱交換器ユニットのうちの少なくとも 1 つは、空気冷却器または冷却塔を備える、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 3 8】

前記繊維形成面は、金属板を備える、請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 3 9】

前記金属板は、白金または白金合金を備える、請求項 3 8 に記載の装置。

【請求項 4 0】

50

前記繊維形成面は、100～4,000個のオリフィスを備える、請求項25に記載の装置。

【請求項41】

前記繊維形成チャンバは、形状が円筒形であり、前記繊維形成面は、丸形であり、前記繊維形成チャンバの底面を形成する、請求項25に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

火成岩から繊維を作製することの主要な課題のうちの1つは、火成岩の複雑な鉱物構造である。繊維形成のために好適である典型的な火成岩は、長石、石英、準長石、橄欖石、輝石、角閃石、および雲母の複合体である。米国、サウジアラビア、日本、ロシア、ウクライナ、およびキルギスタンにおける火成岩の鉱物組成のいくつかの地質学的研究はさらに、既存の火成岩堆積物の大部分が、岩石堆積物全体を通してランダムに分散される、石英、フォーステライト、コランダム、ジルコニウム、および同等物等のある程度の量の不融性鉱物を含有することを示した。未加工材料中のそのような鉱物の存在は、減衰プロセスを中断し、繊維破損を増加させ、ブッシングを閉塞することによって、連続的岩石繊維製造プロセスにおいて非効率性を引き起こす。また、繊維中の結晶性粒子は、連続的繊維の引張強度および弾性率を有意に低減させ得る張力の集中物である。これらの問題は、繊維の品質が、未加工材料の化学的組成および非溶解粒子がない岩石の均質な融解物を達成することに依存するため、有意に減少した品質の繊維をもたらす。

【0002】

均質な融解物を生産することに関するいくつかのこれらの問題は、未加工火成堆積物に見出される鉱物の種々の融解温度に基づく。例えば、種々の鉱物の融解温度は、1,890におけるフォーステライト、1,728における石英、2,050におけるコランダム、および2,125におけるジルコニウムを含む。これらの鉱物の存在は、融解火炉に関してそのような温度に耐え、妥当な寿命対策を達成し得るいかなる耐熱物質も市場に存在しないため、従来の産業規模の技術に対して許容することができない。従来の製造は、したがって、供給原料として使用されるために好適な岩石堆積物を発見するためだけに、時間および資源の多大な消費を要求する。

【0003】

火成岩の均質な融解物を達成することはまた、材料の天然の暗さのために困難である。従来の（人工的な）ガラスとは異なり、繊維形成のために適切である火成岩は、典型的には、複雑な鉱物構造を有する。例えば、長石、石英または準長石、橄欖石、輝石、角閃石、および雲母は、そのような火成岩の累層における基本的鉱物である。加えて、FeOおよびFe₂O₃等の岩石累層酸化物の高含有量は、融解された形態の火成岩を暗くする（透明ではない）。本暗さは、融解物レベルの上方に通常位置するガス/燃料バーナによって生成された放射熱が、融解物に実質的に貫通することを妨げる。その結果、従来のプロセスでは、温度および粘度の有意な勾配が、岩石融解物の上部から底部まで行き渡る。第3章および第3章またはDzhigiris, et al.の「Basics of basalt fibers production」(Teplotenergetic, 2002年)に説明されるように、これらの温度の勾配は、例えば、150の温度の減少が、融解物の粘度の5～8倍の増加を生産し得るため、均質化を妨げ得る。説明されるような放射熱源を使用することは、したがって、融解物全体を通して物質移動および熱伝達を改良するために、溶解岩石の活発な攪拌および/または融解物の内部の熱源の実装を要求する。熱伝達を改良する本必要性は、火成岩を融解するための基本的に全ての従来の産業規模の火炉の設計を推進する。

【0004】

繊維を製造するための供給原料として火成岩を融解させる殆どの火炉は、3～80平方メートルの融解面積を伴ういわゆるタンクタイプ大型火炉である。これらの火炉は、多くの場合、融解物を加熱するために、化石燃料バーナおよび/またはスズ、モリブデン、ま

10

20

30

40

50

たは黒鉛等の材料から作製される電極を採用する。そのような火炉の実施例が、Trierの「Glass Furnaces, Design Construction and Operation」(Society of Glass Technology, 2000年, (第2章、第6章、および第8章))、Lowenstein,の「Manufacturing Technology of Continuous Glass Fibres」(Elsevier Science Publishers B.V 1983年 (第4章)、および以下の特許文書の第US07530240号、第US08037719号、第US08042362号、第US08414807号、第US20050103058号、第US20050223752号、第US200520060218972号、第US200520080179779号、第US20120104306号、第CN103043897号、第CN104211296号、第CN104291551号、第CN202808558号、第CN202849233号、第CN203033871号、第CN203256109号、第CN203397236号、第CN203429057号、第CN203960029号、第CN202543025号、第CN204079775号、第CN204097308号、第CN204097326号、第CN204097327号、および第UA88150号(そのそれぞれが、参照することによって本明細書に組み込まれる)に説明されている。

【0005】

火成岩を融解させるための産業規模の火炉に関する従来の技術の基本的要素が、図1に図示される。典型的な火炉システム10では、未加工材料の予熱または事前融解のために使用され得る前チャンバ(11)、1つ以上の接続される部分を含み得、均質化のために通常使用される融解チャンバ(12)、前炉(13)および繊維形成デバイス/ブッシングが配置される押出チャンバ(14)、および繊維形成デバイスの下の巻回装置(15)が存在する。

【0006】

上記に記載されるように、均質な融解物を達成することは、繊維を生産する際の主要な課題であり、加熱のためにガスバーナまたは内部電極に依拠する従来の火炉に関する特定の問題である。熔融岩石塊を攪拌するためのいくつかの方法が、より均質な温度分布を達成する試みにおいて使用されている。例えば、バブリングが、殆どの従来の火炉において使用される(上記に引用されるDzhigiris、Loewenstein、Trier参照)。本方法は、典型的には、火炉の底部における幅を横断する1つまたはいくつかの列のバブラ(管)の設置を要求する。バブラを通して供給される高温空気の流動は、熔融岩石を通して上昇気流を提供することに役立つ。本方法は、効果的な攪拌効果を提供し得るが、方法は、火炉の融解区域内の高価な耐熱金属の摩耗を有意に増加させる等の不利点を有する。本摩耗は、そのような高温における集中的な融解物の流れに起因し、これは、岩石融解物/耐熱物質相互作用を大幅に増加させ、火炉寿命を低減させる。バブラの設置はまた、バブラが閉塞(遮断)され、使用不可能な状態になる傾向にあるため、付加的安全対策の確立を要求する。信頼性のあるバブラはまた、それらが、典型的には、白金ロジウム(Pt-Rh)合金から作製されるため、高価であり、火炉を製造するために要求される資本を有意に増加させる。

【0007】

融解物体積全体を通した物質移動および熱伝達を改良する第2の方法は、融解区域の内側への加熱要素の設置である。種々のタイプの電極加熱要素が、ガラス産業において広く使用され(上記に引用されるTrierおよびLoewenstein参照)、それらは、火成岩を融解させる際に使用される、または少なくとも使用が提案されている(米国特許第6,647,747号)。数十年の研究が、火成岩融解物において使用するための電極を設計するために実行されているが、多くの有意な困難は、バブラの使用によって引き起こされる同一または類似する問題の多くを含め、解決されないままである。例えば、円筒形電極間の熱の不均一な分布は、特殊な電気および機械的配列を要求する。しかしながら、平板電極は、使用不可能であり、通常、交換のために完全な火炉の運転停止の費用を

要求する。加えて、岩石融解物の積極性は、電極をガラス火炉内の電極の2倍速く摩耗させ得、電極加熱要素は、本アプローチが高度な電気システムおよび電極システムの日常整備のための適格な人員の特別チームを要求するため、資本および動作費用の両方を有意に増加させ得る。

【0008】

火成岩を融解させる際に熱伝達および物質移動を改良するための当分野で公知のまた別の方法は、機械的攪拌器、堰、および種々の幾何学的配列を適用することである。機械的攪拌器は、多くの場合、従来のガラス火炉において使用され（例えば、Trier参照）、そのような使用のために商業的に利用可能である。しかしながら、そのような攪拌器の寿命は、融解物の腐食性に起因して短くあり得、火成岩のために要求される動作温度の増加によってさらに短縮され得る。融合鑄造耐熱材料の開発は、動作寿命におけるわずかな改良のみをもたらした。ガラス本体均質化を助長する際に使用される、堰（Trier）または特殊な階層式孔（米国特許第6,647,747号）の設置は、いずれの有意な改良も提供していない。

10

【0009】

前述の議論は、少なくとも、出発材料の不均質な性質およびその可変融点、ガラスに対する岩石融解物の暗さに起因する均質な融解物を達成および維持する際の困難、および火成岩のために要求されるより高い融解温度のため、ガラス繊維生産において使用される技術が、火成岩からの繊維の生産に容易または単純に移行しないことを明白にしている。したがって、効果的かつコスト効率的の両方である、火成岩の均質な融解物を達成することを通して良質な繊維を生産するシステムおよび方法の必要性が依然としてある。

20

【0010】

従来のシステムおよび方法に関する別の問題は、繊維形成デバイスの費用である。従来の繊維形成技術は、Pt-Rh等の材料から作製される高価なブッシングを要求する。岩石繊維形成のために利用可能な先端ブッシングの最大数は、繊維ガラス生産において使用するための6,000個の先端ブッシングと比較して、1,200個であると考えられている。先端の数は、上記に説明されるように、均質性の維持を困難にする岩石融解物の暗さのため、従来の技術では限定される。加えて、繊維形成の温度間隔は、例えば、許容される分散の間隔が、ガラスに関して180 ~ 200 であるのに対し、岩石に関して20 ~ 70 、またはいくつかの実施例では、30 ~ 60 であるため、従来のガラスと比較して狭い。本狭い公差は、岩石からの繊維形成を温度勾配に対して非常に敏感にする。さらに、火成岩中の酸化鉄の存在は、岩石融解物によってPt-Rh板の湿潤性を増加させ、従来のガラスブッシングの先端間の距離のほぼ2倍にまでなるような岩石繊維ブッシングの先端間の距離を要求する。ブッシング幾何学形状限定およびPt-Rhのコストに基づいて、岩石繊維のための典型的なブッシングは、従来のガラス繊維のための同一のサイズのブッシングと比較して4分の1の数のみのブッシングを有し、ガラスと比較して4分の1の生産能力の低減をもたらす。

30

【0011】

ブッシングとして広く公知である連続的鉱物繊維のための繊維形成デバイスは、基本的に、上記に言及される同一の理由、すなわち、未加工材料（岩石）の複雑な鉱物構造および高レベルの酸化鉄含有量に起因して、岩石繊維製造技術における有意な課題である。

40

【0012】

連続的鉱物繊維を生産するためのブッシングを設計する最初の試みは、1960年代にソビエト連邦において成された。基本的にガラス繊維ブッシングの設計を模倣する岩石融解物ブッシングは、大きな成功を収めなかった。均一な組成および温度の融解物を取得し、ブッシング板にもたらず際の困難は、プロセス不安定性、高レベルのフィラメント破損、および全体的プロセス非効率性につながっている。

【0013】

産業規模での連続的鉱物繊維の製造のために適切な最初のブッシングは、1980年代の始めに産業に導入された（例えば、第SU1211230号、第SU461908号参

50

照)。そのブッシング設計の基本的特徴は、管（下流パイプ）の形態における付加的電気ヒータの存在であり、これは、前炉の底部における玄武岩融解物の中に配置され、前炉の真下の通常の繊維形成ブッシングまで延在された。パイプは、したがって、前炉内の単一の小さいスポットから玄武岩融解物を取得し、その単一の場所からの材料が均一な組成および温度を有するものとして見なされ得るという前提に基づいて、前炉内のその場所からブッシングに材料を送達した。

【 0 0 1 4 】

本従来の設計は、多くの限定を有する。第 1 に、下流パイプの直径は、従来の繊維ガラス技術と比較して競合する生産能力を有するために十分な量の融解物をブッシング板に供給するために十分に大きくすることができない。岩石融解物（および特に、玄武岩）は、ガラス融解物のように透明ではない暗い融解物をもたらす、最大 15 % の酸化鉄を有する。パイプ内の熱は、したがって、暗い融解物中に本質的にいかなる放射熱または対流熱伝達も存在し得ないため、伝導熱に限定される。パイプの壁が電氣的に加熱され、熱伝達は全て伝導によるため、融解物は、典型的には、「壁融解」接点において過熱され、融解物の温度は、パイプの中心軸に向かって指数関数的に減少する。パイプの直径は、したがって、融解物をブッシング（オリフィス）板に均一な温度（および、したがって、粘度）まで可能な限り近接して送達する必要性によって限定される。本設計の明白な限定を克服することに向けられた多くの研究および開発にもかかわらず、下流パイプ設計は、歴史的に、世界中の殆ど全ての玄武岩製造施設において広く使用されている。

【 0 0 1 5 】

下流パイプ直径における本限定はまた、ブッシング板において使用され得るオリフィスの数を限定する。下流パイプ断面積は、事実上、全てのオリフィスの合計断面積の 40 % を超えることはできない。したがって、下流パイプを使用する商業的製造プロセスは、従来の繊維ガラス産業において通常使用される 4,800 個のオリフィスのブッシング板と比較して、本質的に、836 個のオリフィスのブッシング板に限定される。本システムは、ブッシングコストの少なくとも 30 % の増加をもたらす、Pt - Rh 合金から成る下流パイプを要求することによってなおもさらに限定される。

【 0 0 1 6 】

動作中、従来の繊維形成デバイス（ブッシング）は、ブッシング容器の上側縁からオリフィス（ノズル）板への急激な温度および粘度降下を補償するために、電氣的に加熱される。ブッシングを加熱する標準的方法は、ブッシングのサイズに応じて、典型的には、3 ~ 6 ボルトおよび数千アンペアにおいて動作する降圧変圧器の低電圧巻線を横断してオリフィス板を接続することによる。本アプローチは、ブッシング板における熱分布を、単に、電流パターンの関数にする。これは、電流がブッシングアセンブリ全体に関して一定である一方、熱は一定ではないため、問題を引き起こす。本効果は、抵抗の変動に起因する。熱生産は、公式電力 $P = I^2 R$ に従い、より薄い区分における電気抵抗（ R ）は、より厚い区分においてよりも高く、より薄い区分においてより高い温度をもたらす。

【 0 0 1 7 】

繊維形成デバイスは、多くの場合、1つの端子から別のものに延設される、縁に沿ってともに溶接される、異なる厚さの金属シートの組み合わせとして構築される。したがって、電流のある程度の側方流動は、不可避であり、予測することが容易ではない方法で温度分布に影響を及ぼす。均一な熱分布を最大限にする試みにおいて、従来の繊維形成デバイスは、多くの場合、オリフィス板の短い側に沿って咬持される電気端子を伴う長い長方形形状を有する。

【 0 0 1 8 】

これらのクランプは、時として、オリフィス板全体にわたる温度のさらに均一な分布を達成するために、内向きまたは外向きの調節を要求する。本調節は、電力を切断すること、クランプボルトを弛緩させること、ブッシング端子に対して異なる位置に接点を摺動させること、およびクランプボルトを再引締することを伴う。調節の効果は、ブッシングが動作温度に戻るまで決定されることができない。したがって、調節が所望の効果を達成し

ない場合、プロセスは、繰り返されなければならない。さらなる非効率性が、調節プロセス中の端子の不可避の破損によって引き起こされ得る。

【0019】

付加的試みが、これがブッシングに、そして、それを通して移送される際に融解物の均質性を維持する問題を克服するために成されている。1つの方法は、パイプの内部に加熱要素を追加することを含む。しかしながら、その解決策は、融解物における局所化された伝導加熱および融解火炉内に加熱要素を配置することと関連付けられるさらに増加される保守および動作コストに依然として依存する。

【0020】

繊維を生産する際の他の困難は、フィラメントがオリフィスから引き出される際のフィラメント減衰プロセスにおいて起こるものを含む。ブッシング設計において使用される従来の材料は、岩石融解物によってある程度湿潤される。オリフィス板の湿潤性は、融解物の温度に厳密に依存する。温度が高くなるにつれて、接触角は、より低くなる。岩石融解物によるオリフィス板の湿潤性は、岩石融解物中に典型的に存在する高い酸化鉄含有量のため、従来のガラスによるものよりもはるかに高い。これは、溶融岩石（特に、玄武岩）をノズルの外側に上昇させ、拡散させ、最終的に、オリフィス板の下側全体を被覆させる。融解物は、繊維引出を継続し得る前に、面倒な洗浄動作によって除去される必要がある。本問題は、カウンタポアを伴うノズルを提供することによって、またはノズル壁を可能な限り薄くすることによって事実上排除され得ることが見出された。繊維がノズルから引き出される前に、融解物は、これを通して流動し、ノズルの退出口を構成する環状リングから懸下される液滴を形成し、次いで、溶解物の粘度が繊維引出のために好適な範囲内であるという条件で、メニスカスを介してノズルに付着した繊維を残して離れるように落下する。本方式で融解物の液滴が形成され、離れるように落下するためにかかる時間は、液滴のサイズの関数であり、これは、ひいては、環状リングの面積の関数である。したがって、退出口におけるノズルの壁が薄いほど、液滴は、より速く形成され、ノズルの外側垂直面を湿潤させる傾向は、より低くなる。米国特許出願公開第2006/0218972号（参照することによって本明細書に組み込まれる）は、孔のみを伴い、いかなるノズルも設置されない平坦なオリフィス板を提供することによって本問題に対処している。しかしながら、そのような配列は、経時的に湿潤する傾向を増加させる。

【0021】

ノズルに関するこれらの問題は、再び、岩石融解物の性質によって悪化し、ガラス繊維形成技術を火成岩から生産される繊維の生産に単に移行させることによって解決されることができない。したがって、岩石繊維を製造するためのシステムおよび方法の融解技術における改良だけではなく、また、繊維形成側面における改良の必要性がある。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0022】

【非特許文献1】Dzhigiris, et al.の「Basics of basalt fibers production」(Teploenergetic, 2002年)

【非特許文献2】Trierの「Glass Furnaces, Design Construction and Operation」(Society of Glass Technology, 2000年, (第2章、第6章、および第8章))

【非特許文献3】Lowenstein,の「Manufacturing Technology of Continuous Glass Fibres」(Elsevier Science Publishers B.V. 1983年 (第4章))

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0023】

本開示は、限定ではないが、流紋岩、石英安山岩、安山岩、玄武岩、輝緑岩、花崗岩、

10

20

30

40

50

花崗閃緑岩、閃緑岩、斑禰岩、および同等物、およびそれらの混合物を含む、火成岩からの連続的繊維の製造のための完全に電氣的な装置を提供することによって、従来技術の欠陥の少なくともいくつかに対処する。ある実施形態では、開示される装置および方法は、少なくとも40%~70%のシリカ含有量を伴う火山岩および深成岩から、直径が少なくとも5ミクロンの高品質、完全に均質、延性、かつ連続的な繊維を製造する。そのような繊維は、高い機械的強度および非常に優れた化学および温度抵抗を有する。開示される方法および装置によって生産される繊維は、限定ではないが、建設産業、化学、極低温、および石油産業、自動車および海洋産業、および宇宙、防衛、および弾道用途、耐火および耐熱、防音、土木工学およびパイプ、および高压タンクおよびシリンダを含む、種々の産業における多数のハイテク用途において使用されることができる。

10

【0024】

火成岩から連続的繊維を製造するための開示される装置および方法は、誘導電力および周波数の適切な組み合わせを通して優れた攪拌効果を生産することによって、全ての好適な火成岩を融解させることが可能であり、均質化が融解段階中に起こるため、特殊な均質化チャンバ/区域の必要性を排除する。本装置は、均質化のためにいかなる機械的手段も要求せず、冷点および極端な温度勾配が欠如する均質な融解物を達成する。

【0025】

本開示は、ある実施形態において、したがって、火成岩から繊維を生産する方法として説明され、本方法は、大量の破碎された火成岩を火炉チャンバに追加するステップであって、火炉チャンバは、電気誘導コイルによって包まれる、ステップと、火炉チャンバに追加された大量の破碎された火成岩を加熱し、大量の火成岩の少なくとも一部において実質的に均質な岩石融解物を生産するために効果的のように、交流電流を誘導コイルに印加するステップと、均質な岩石融解物部分の少なくとも一部を繊維形成チャンバを通して通過させ、続けて、繊維形成チャンバからの大量の火成岩の少なくとも一部を、繊維を生産するために効果的な制御された温度下で繊維形成オリフィスを通して通過させるステップであって、繊維形成チャンバは、電気誘導コイルで包まれ、繊維形成チャンバ内の均質な岩石融解物部分の温度は、繊維形成チャンバを囲繞する誘導コイルにおける電流の電力および周波数によって制御される、ステップとを含むことができる。本方法はまた、繊維形成オリフィスにおける温度を、特定のバッチ材料から繊維を形成するための最適な温度である、標的温度の20°~70°、またはいくつかの実施例では、30~60以内、または5~10またはそれを下回るもの以内に制御するステップを含み得る。適切な温度は、例えば、岩石融解物を均質な状態に維持するために十分に高く、材料が繊維形成オリフィスを通して外に引き出され、オリフィス板の過剰な湿潤を伴わずに繊維を形成することを可能にするために十分に低温であるべきである。

20

30

【0026】

開示される方法はさらに、繊維形成チャンバの中に均質な岩石融解物部分を通過させるステップに先立って、該均質な岩石融解物部分の少なくとも一部を、電気誘導コイルによって囲繞される調整チャンバを通して通過させ、調整チャンバの少なくとも一部において層流を生産するために効果的のように、均質な岩石融解物部分を冷却するステップを含むことができる。調整チャンバおよび繊維形成チャンバを囲繞する電気誘導コイルは、同一または異なる発電機または回路に接続され得る、または回路の電力および周波数は、個別に制御され得ることを理解されたい。

40

【0027】

ある実施形態では、大量の破碎された火成岩は、火炉チャンバに追加されるステップに先立って予熱されることができ、予熱ステップは、少なくとも部分的に、火炉チャンバからの高温排気ガスを破碎された火成岩のバッチを含有するバッチ投入機に移送することによって遂行されることができる。動作中、大量の破碎された火成岩が、予熱され、次いで、シュートまたはランプを辿って火炉チャンバの中に放出され、バッチは、次いで、約1,200~約3,000の温度まで加熱される。ある実施形態では、温度は、各特定の出発材料の組成に応じて変動するであろう最適な融解温度を決定するために、火成岩の

50

事前試験によって決定される。

【0028】

火炉チャンバは、第1の区域と、アンダーフローバッフルによって第1の区域から分離される第2の区域とに分割されることができ、該第2の区域は、該火炉チャンバの壁における開口部を通して調整チャンバと流体連通する。調整チャンバは、調整チャンバと1つ以上の繊維形成チャンバとの間に流体連通を提供する、その底面における1つ以上の開口部を含むことができる。繊維形成チャンバは、繊維形成チャンバの内面上にスカル層を形成するために効果的なように、繊維形成チャンバの壁を冷却するために効果的な温度水ジャケットで包まれることができる。ある実施形態では、破碎された火成岩は、玄武岩を含むことができ、また、長石、石英、準長石、橄欖石、輝石、角閃石、および雲母のうち10の少なくとも1つを含むことができる。火成岩はまた、流紋岩、石英安山岩、安山岩、玄武岩、輝緑岩、花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、または斑糲岩のいずれかを含むことができる。ある実施形態では、火成岩は、主として、機械的または化学的性質の改良、例えば、または改良された遮蔽または放射線耐性等の生産される繊維の選択される性質に影響を及ぼすために、ある他の鉱物の混合物を伴う玄武岩である。ある実施形態では、破碎された岩石サンプルは、限定ではないが、ジルコニウム、ホウ素、カドミウム、ハフニウム、ガドリニウム、またはユーロピウムを含む化学元素を含有し得る鉱物を含むことができる。

【0029】

またさらなる好ましい実施形態では、本方法は、少なくとも調整チャンバおよび繊維形成チャンバ内に温度センサを配置し、温度センサからコンピュータによって受信されるフィードバックに基づいて、誘導コイル内の電流のコンピュータ化制御を通して、調整チャンバおよび繊維形成チャンバ内の温度を制御するステップを含むことができる。

【0030】

本開示は、したがって、ある実施形態では、

繊維に変換されるべき大量の破碎された火成岩を取得するステップと、

該大量の破碎された火成岩のバッチおよび任意の要求されるまたは随意的の添加物をバッチ投入機内に配置し、該バッチを予熱するステップと、

該バッチを融解火炉の第1のチャンバに輸送するステップであって、融解火炉は、第1の電気誘導コイルによって包まれる、ステップと、

バッチにおける全ての鉱物の融点を上回る温度までバッチを加熱し、均質な岩石融解物を生産するために効果的なように、交流電流を第1の誘導コイルに印加するステップと、

アンダーパスバッフルの下均質な岩石融解物を融解火炉の第2のチャンバの中に流動させるステップと、

第2のチャンバからの均質な岩石を、該融解火炉の該第2のチャンバの壁の上側部分における開口部を通して調整チャンバの中に流動させるステップであって、該調整火炉は、第2の誘導コイルによって包まれる、ステップと、

岩石融解物の伝導性攪拌を抑制し、温度が減少し、調整された岩石融解物を生産することを可能にするために効果的なように、電流を第2の誘導コイルに印加するステップと、

該調整された岩石融解物を複数の繊維形成チャンバの中に流動させるステップであって、各繊維形成チャンバは、繊維形成チャンバ誘導コイルで包まれる、ステップと、

調整された融解物を繊維形成温度に到達させ、それにおいて維持するために効果的なように、電流を繊維形成チャンバ誘導コイルに印加するステップと、

繊維形成チャンバからの調整された融解物を、各繊維形成チャンバの底面における複数のオリフィスを通して流動させ、該オリフィスの少なくとも一部から押出された繊維を生産するステップと、

それらがオリフィスから出現する際に、該繊維に対して水ミストを噴霧することによって、繊維を衝撃冷却するステップと、

ギャザリングシューを用いて個々の繊維を複数のストランドに寄せ集めるステップと、

ワインダ上で該ストランドのそれぞれを巻回するステップとを含む、繊維を生産する方法として説明されることができる。

【 0 0 3 1 】

本方法はさらに、

繊維に変換されるべき大量の破碎された火成岩を取得するステップと、

該大量の破碎された火成岩のバッチをバッチ投入機内に配置するステップと、

該バッチを予熱するステップと、

該バッチを融解火炉の第 1 のチャンバに輸送するステップであって、融解火炉は、電気誘導コイルによって包まれる、ステップとを繰り返すステップを含む、連続的処理を含むことができる。付加的繰り返し可能ステップはさらに、該融解火炉の該第 2 の区域から加熱されたガスを除去し、該ガスを該バッチ投入機の中に流動させるステップと、コンピュータを用いて該火炉およびチャンバ内の温度を制御するステップであって、コンピュータは、該調整チャンバ内および該繊維形成チャンバのそれぞれの中に配置される温度センサから温度データを受信し、該温度センサから受信されたデータに基づいて、電力レベルおよび AC 周波数を制御する、ステップとを含み得る。

10

【 0 0 3 2 】

繊維の生産において使用するための火成岩を調製する開示される方法はまた、未加工の破碎された火成岩を融解火炉内に配置するステップであって、融解火炉は、発電機に電氣的に接続される電気誘導コイルによって包まれる、ステップと、十分な電力を用いて該発電機から該誘導コイルに高周波数 AC 電流を印加し、該火成岩の全ての鉱物構成物のガラス融点を上回って温度を上昇させるステップとを含むことができる。

20

【 0 0 3 3 】

ある実施形態では、本開示はまた、

破碎された玄武岩または未加工火成岩を受容するためのホッパを備える、バッチ投入機と、

未加工玄武岩または火成岩のバッチを受容するための開口部とともに構成される、融解火炉であって、投入されたバッチを受容するための第 1 の区域および調製された融解物のための第 2 の区域に分割されるチャンバを備え、第 1 および第 2 の区域は、アンダーフローパッフルによって分割され、第 2 の区域の壁は、アンダーパスパッフルの下の通路よりも、融解火炉チャンバの上部に近接して位置付けられる退出開口部を形成する、融解火炉と、

30

該融解火炉の周囲に包まれる、融解火炉電気誘導コイルと、

該融解火炉電気誘導コイルに電氣的に接続される、第 1 の発電機および高周波数コンバータと、

該第 2 の区域を該バッチ投入機に接続する空気チャネルであって、該空気チャネルは、ポンプを備え、該ポンプは、融解チャンバからガスを引き込み、該ガスをバッチ投入機に送達するように構成される、空気チャネルと、

該融解火炉の壁において配置され、1 つ以上の第 1 の水供給および熱交換器ユニットに接続される、冷却ジャケットと、

第 1 の端部および第 2 の端部を伴う水平チャネルを備える、調整チャンバであって、該退出開口部を通して該第 2 の区域と流体連通し、調整チャンバの底面壁は、該第 2 の端部に向かって調整チャンバの長さに沿って離間関係における複数の開口部を形成する、調整チャンバと、

40

調整チャンバの周囲に包まれる、調整チャンバ電気誘導コイルと、

該調整チャンバ電気誘導コイルに電氣的に接続される、第 2 の発電機および高周波数コンバータと、

該調整チャンバの壁において配置され、1 つ以上の第 2 の水供給および熱交換器ユニットに接続される、冷却ジャケットと、

複数の繊維形成チャンバであって、それぞれ、調整チャンバの下方に配置され、調整チャンバの底面壁における該開口部のうちの 1 つを通して調整チャンバと流体連通し、各繊維形成チャンバは、該繊維形成チャンバのそれぞれの底部において配置される繊維形成面を備え、さらに、各繊維形成面は、これがオリフィスを通過する際に岩石融解物からフィ

50

ラメントを形成するように定寸および構成される複数のオリフィスを備える、複数の繊維形成チャンバと、

各繊維形成チャンバの周囲に包まれる、繊維形成チャンバ電気誘導コイルと、

各繊維形成チャンバ電気誘導コイルに電氣的に接続される、第3の発電機および高周波数コンバータと、

各繊維形成チャンバの壁において配置され、第3の水供給および熱交換器ユニットに接続される、冷却ジャケットとを備える、繊維を生産するための装置として説明されることができる。水ジャケットまたは冷却ジャケットは、チャンバ毎に別個に制御され得る、またはチャンバのうちの1つ以上のものは、共通の冷却水供給源を共有し得ることを理解されたい。

10

【0034】

開示される装置はさらに、融解火炉、調整チャンバ、および各繊維形成チャンバ内に配置される複数の温度センサ、それらが該オリフィスから出現する際にフィラメントに対してミストを噴霧するように構成される、複数の水噴霧器、それぞれ、該繊維形成チャンバのうちの1つからの繊維を統合するように構成される、1つ以上のギャザリングシュー、該シューのうちの1つ以上のものからフィラメントを受容するように構成される、1つ以上のワインダ、および該装置から温度および水流量データを受信し、該発電機、周波数コンバータ、および水供給源を制御し、必要に応じて、加熱火炉の中に付加的バッチを導入するステップを制御するように構成される、1つ以上のコンピュータのうちの1つ以上のものを含むことができる。バッチ投入機は、したがって、ホッパの排出を促進するように構成される、該ホッパへの振動を提供するように構成されるモータを含むことができる。

20

【0035】

ある実施形態では、本装置はさらに、それぞれ、水供給および熱交換ユニットと流体連通する、銅またはステンレス鋼管を備える、冷却ジャケット、限定ではないが、500 kW発電機であり得る、第1の発電機、1つ以上の第2の発電機であって、限定ではないが、250 kW発電機であり得る、第2の発電機、および空気冷却器または冷却塔を備える、熱交換ユニットのうちの1つ以上のものを含むことができる。各繊維形成面は、金属板、セラミック板、または金属およびセラミック板の組み合わせを備えることができ、金属板は、白金または白金合金を備えることができ、該繊維形成面はそれぞれ、約200~2,000個のオリフィスを備える。ある実施形態では、繊維形成チャンバは、形状が円筒形であり得、繊維形成面は、丸形であり、実質的に繊維形成チャンバの底面全体を形成する。

30

【0036】

本明細書に説明される発電機は、代表的にすぎず、材料の任意の特定のバッチのために使用される電力および周波数は、本装置の容量、処理されている材料、および要求される温度に依存するであろうことを理解されたい。例えば、1時間あたり150 kgの融解物の容量を伴う装置は、例えば、3 MHzの周波数において500 kWの電力を提供する第1の(主要)発電機を利用し、2,600 の融解温度を達成し、10 kHzの周波数において200 kWの電力を提供する二次発電機を利用し、1,500 の温度を達成し、1つの繊維形成面は、最大2,400個のオリフィスを含むことができる。産業規模に関して、1時間あたり1,200 kgの融解物の容量を伴う装置は、例えば、最大30 MHzの周波数において4 MWの電力を提供する主要発電機を利用し、3,000 の融解温度を達成し、それぞれ、最大100 kHzの周波数において300 kWの電力を提供する1つ以上の二次発電機を利用し、1,500 の融解温度を達成し、合計で約1,000~約6,000個のオリフィスになる複数の繊維形成デバイスを利用し得ることをさらに理解されたい。より小さい、またははるかに大きい火炉が、採用され得、コイルに提供される電力および周波数は、特定の未加工供給原料および連続的出力容量に調整されることを理解されたい。本開示される装置および方法において使用するための発電機は、したがって、例えば、必要に応じて、そして約60 Hz~100 kHzまたは約1 kHz~100 MHzの適合する周波数において約1 kW~10 MW以上の電力出力が可能なものを含

40

50

むことができる。

【0037】

本開示はまた、ある実施形態では、開示されるプロセスによって作製される繊維として説明されることができる。そのような繊維は、未加工材料、意図される使用、および繊維形成面の構造に応じて、1ミクロン(μm)~100 μm 以上の直径を伴う繊維を含むことができる。繊維は、例えば、1 μm 、2 μm 、3 μm 、4 μm 、5 μm 、6 μm 、7 μm 、8 μm 、9 μm 、10 μm 、12 μm 、15 μm 、17 μm 、20 μm 、25 μm 、30 μm 、35 μm 、40 μm 、45 μm 、50 μm 、55 μm 、60 μm 、65 μm 、70 μm 、75 μm 、80 μm 、85 μm 、90 μm 、95 μm 、または100 μm 、またはその範囲内の任意の他の具体的サイズの直径を含むことができる。開示される繊維は、顕微鏡的に視認されると、融合されていない結晶性粒子がない、または実質的になくてもよい。実質的にないとは、繊維の体積または断面積の少なくとも80%、または少なくとも90%、または99%を上回るものが、いかなる可視の結晶性粒子も含有しないことを意味する。結晶性粒子のない繊維のビューが、図5Cおよび5Dに顕微鏡的に示される。図に見られ得るように、開示されるプロセスによって作製された繊維(5Cおよび5D)は、可視の結晶性粒子がない一方、従来の繊維形成プロセスによって作製された図5Aおよび5Bの繊維は、矢印によって示されるように、容易に可視の高レベルの結晶性粒子を含有する。

本発明は、例えば、以下を提供する。

(項目1)

火成岩から繊維を生産する方法であって、前記方法は、

大量の破砕された火成岩を火炉チャンバに追加するステップであって、前記火炉チャンバは、少なくとも部分的に、第1の電気誘導コイルにおいて囲繞される、ステップと、

前記火炉チャンバに追加された前記大量の破砕された火成岩を加熱し、前記大量の火成岩の少なくとも一部において均質な岩石融解物を生産するために効果的なように、交流電流を前記第1の誘導コイルに印加するステップと、

前記均質な岩石融解物部分の少なくとも一部を繊維形成チャンバを通して通過させ、続けて、前記繊維形成チャンバからの前記大量の火成岩の少なくとも一部を、繊維を生産するために効果的な制御された温度下で繊維形成オリフィスを通して通過させるステップであって、前記繊維形成チャンバは、少なくとも部分的に、第2の電気誘導コイルによって囲繞され、前記繊維形成チャンバ内の前記均質な岩石融解物部分の温度は、少なくとも部分的に、前記第2の誘導コイルにおける電流の電力および周波数によって制御される、ステップと

を含む、方法。

(項目2)

前記繊維形成オリフィスにおける前記制御された温度は、標的温度の20 ~ 70 以内に制御される、項目1に記載の方法。

(項目3)

前記繊維形成オリフィスにおける前記制御された温度は、標的温度の30 ~ 60 以内に制御される、項目1に記載の方法。

(項目4)

前記繊維形成チャンバの中に前記均質な岩石融解物部分を通過させるステップに先立って、前記均質な岩石融解物部分の少なくとも一部を、第3の電気誘導コイルによって少なくとも部分的に囲繞される調整チャンバを通して通過させ、前記調整チャンバの少なくとも一部において層流を生産するために効果的なように、前記均質な岩石融解物部分を冷却するステップをさらに含む、項目1に記載の方法。

(項目5)

前記大量の破砕された火成岩は、前記火炉チャンバに追加されるステップに先立って予熱される、項目1に記載の方法。

(項目6)

前記大量の破碎された火成岩は、前記火炉チャンバに追加されるステップに先立って、前記火炉チャンバからの排気ガスによって加熱される、項目 1 に記載の方法。

(項目 7)

前記大量の破碎された火成岩は、前記火炉チャンバに追加されるステップに先立ってバッチ投入機内に保持され、前記火炉チャンバからの排気ガスは、前記バッチ投入機の中に圧送される、項目 6 に記載の方法。

(項目 8)

前記大量の破碎された火成岩は、前記火炉チャンバ内で約 1,300 ~ 約 3,000 の温度まで加熱される、項目 1 に記載の方法。

(項目 9)

前記火炉チャンバは、第 1 の区域および第 2 の区域に分割され、前記第 2 の区域は、前記火炉チャンバの壁における開口部を通して前記調整チャンバと流体連通する、項目 4 に記載の方法。

(項目 10)

前記第 1 の区域および前記第 2 の区域は、アンダーフローバッフルによって分離される、項目 9 に記載の方法。

(項目 11)

前記破碎された火成岩は、玄武岩を備える、項目 1 に記載の方法。

(項目 12)

前記破碎された火成岩は、長石、石英、準長石、橄欖石、輝石、角閃石、および雲母のうちの少なくとも 1 つを備える、項目 1 に記載の方法。

(項目 13)

前記破碎された火成岩は、流紋岩、石英安山岩、安山岩、玄武岩、輝緑岩、花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、または斑糲岩を備える、項目 1 に記載の方法。

(項目 14)

少なくとも前記調整チャンバおよび前記繊維形成チャンバ内に温度センサを配置し、前記温度センサからコンピュータによって受信されるフィードバックに基づいて、前記第 2 および第 3 の誘導コイル内の電流のコンピュータ化制御を通して、前記調整チャンバおよび繊維形成チャンバ内の温度を制御するステップをさらに含む、項目 4 に記載の方法。

(項目 15)

繊維を生産する方法であって、

繊維に変換されるべき大量の破碎された火成岩を取得するステップと、

バッチを融解火炉に輸送するステップであって、前記融解火炉は、少なくとも部分的に、第 1 の電気誘導コイルによって囲繞される、ステップと、

前記バッチにおける全ての鉱物の融点を上回る温度まで前記バッチを加熱し、前記バッチの少なくとも一部において均質な岩石融解物を生産するために効果的なように、交流電流を前記第 1 の誘導コイルに印加するステップと、

前記均質な岩石融解物を、前記融解火炉の壁の上側部分における開口部を通して調整チャンバの中に流動させるステップであって、前記調整火炉は、少なくとも部分的に、第 2 の誘導コイルによって囲繞される、ステップと、

岩石融解物の伝導性攪拌を抑制し、温度が減少し、調整された岩石融解物を生産することを可能にするために効果的なように、電流を前記第 2 の誘導コイルに印加するステップと、

前記調整された岩石融解物を複数の繊維形成チャンバの中に流動させるステップであって、各繊維形成チャンバは、少なくとも部分的に、繊維形成チャンバ誘導コイルによって囲繞される、ステップと、

調整された融解物を繊維形成温度に到達させ、それにおいて維持するために効果的なように、電流を前記繊維形成チャンバ誘導コイルに印加するステップと、

繊維形成チャンバからの調整された融解物を、繊維形成チャンバの底面における複数のオリフィスを通して流動させ、前記オリフィスの少なくとも一部から押出された繊維を生

10

20

30

40

50

産し、それによって、繊維を形成するステップと
を含む、方法。

(項目 1 6)

前記破碎された火成岩は、前記融解火炉に輸送されるステップに先立って、バッチ投入機内で予熱される、項目 1 5 に記載の方法。

(項目 1 7)

前記融解火炉は、第 1 の区域および第 2 の区域に分割され、前記均質な岩石融解物は、前記融解火炉の第 2 の区域の壁における開口部を通して前記調整チャンバに進入する、項目 1 5 に記載の方法。

(項目 1 8)

前記第 1 の区域は、アンダーパスバッフルによって前記第 2 の区域から分離される、項目 1 7 に記載の方法。

(項目 1 9)

前記繊維が前記オリフィスから出現する際に、前記繊維に対して水ミストを噴霧することによって、前記繊維を衝撃冷却するステップをさらに含む、項目 1 5 に記載の方法。

(項目 2 0)

ギャザリングシュューを用いて個々の繊維を複数のストランドに寄せ集めるステップをさらに含む、項目 1 5 に記載の方法。

(項目 2 1)

ワインダ上で前記ストランドのうちの 1 つ以上のものを巻回するステップをさらに含む、項目 2 0 に記載の方法。

(項目 2 2)

繊維に変換されるべき第 2 および後続の量の破碎された火成岩を取得し、前記破碎された火成岩を前記融解火炉に輸送し、前記融解火炉から前記繊維形成チャンバへの均質な岩石融解物の流量を維持することによって、連続的プロセスにおいて繊維を生産するステップをさらに含む、項目 1 5 に記載の方法。

(項目 2 3)

加熱されたガスが、前記バッチ投入機内の前記破碎された火成岩を予熱するために効果的なように、前記融解火炉から除去され、前記バッチ投入機の中に流動される、項目 1 6 に記載の方法。

(項目 2 4)

コンピュータを用いて前記融解火炉、調整チャンバ、および繊維形成チャンバ内の温度を制御するステップをさらに含み、前記コンピュータは、融解火炉、前記調整チャンバ、および前記繊維形成チャンバのうちの 1 つ以上のものの中に配置された温度センサから温度データを受信し、前記温度センサから受信されたデータに基づいて、電力レベルおよび A C 周波数を制御する、項目 1 5 に記載の方法。

(項目 2 5)

繊維の生産において使用するための火成岩を調製する方法であって、

融解火炉内に破碎された火成岩を配置するステップであって、前記融解火炉は、少なくとも部分的に、発電機に電氣的に接続される電気誘導コイルによって囲繞される、ステップと、

十分な電力を用いて前記発電機から前記誘導コイルに高周波数 A C 電流を印加し、前記火成岩の全ての鉱物構成物のガラス融点を上回って前記破碎された火成岩の温度を上昇させるステップと

を含む、方法。

(項目 2 6)

繊維を生産するための装置であって、

未加工玄武岩または火成岩のバッチを受容するための開口部とともに構成される、融解火炉であって、前記融解火炉は、投入されたバッチを受容するための第 1 の区域および調製された融解物のための第 2 の区域に分割されるチャンバを備え、前記第 1 および第 2 の

10

20

30

40

50

区域は、アンダーフローパッフルによって分割され、前記第 2 の区域の壁は、前記アンダーパスパッフルの下通路よりも、前記融解火炉チャンバの上部に近接して位置付けられる退出開口部を形成する、融解火炉と、

少なくとも部分的に、前記融解火炉の周囲に配置される、融解火炉電気誘導コイルと、前記融解火炉電気誘導コイルに電氣的に接続される、発電機および高周波数コンバータと、

前記融解火炉の壁において配置され、1 つ以上の水供給および熱交換器ユニットに接続される、冷却ジャケットと、

第 1 の端部および第 2 の端部を伴う水平チャンネルを備える、調整チャンバであって、前記調整チャンバは、前記退出開口部を通して前記第 2 の区域と流体連通し、前記調整チャンバの底面壁は、前記第 2 の端部に向かって前記調整チャンバの長さに沿って離間関係における複数の開口部を形成する、調整チャンバと、

少なくとも部分的に、前記調整チャンバの周囲に配置される、調整チャンバ電気誘導コイルと、

前記調整チャンバ電気誘導コイルに電氣的に接続される、発電機および高周波数コンバータと、

前記調整チャンバの壁において配置され、1 つ以上の水供給および熱交換器ユニットに接続される、冷却ジャケットと、

複数の繊維形成チャンバであって、それぞれ、前記調整チャンバの下方に配置され、前記調整チャンバの底面壁における前記開口部のうちの 1 つを通して前記調整チャンバと流体連通し、各繊維形成チャンバは、前記繊維形成チャンバのそれぞれの底部において配置される繊維形成面を備え、さらに、各繊維形成面は、フィラメントがオリフィスを通過する際に岩石融解物から該フィラメントを形成するように定寸および構成される複数のオリフィスを備える、複数の繊維形成チャンバと、

少なくとも部分的に、各繊維形成チャンバの周囲に配置される、繊維形成チャンバ電気誘導コイルと、

各繊維形成チャンバ電気誘導コイルに電氣的に接続される、発電機および高周波数コンバータと、

各繊維形成チャンバの壁において配置され、水供給および熱交換器ユニットに接続される、冷却ジャケットと

を備える、装置。

(項目 2 7)

破碎された玄武岩または火成岩を受容し、前記破碎された玄武岩または火成岩を前記融解火炉の前記第 1 の区域の中に流動させるためのホッパを備える、バッチ投入機をさらに備える、項目 2 6 に記載の装置。

(項目 2 8)

前記第 2 の区域を前記バッチ投入機に接続する空気チャンネルをさらに備え、前記空気チャンネルは、ポンプを備え、前記ポンプは、前記融解チャンバからガスを引き込み、前記ガスをバッチ投入機に送達するように構成される、項目 2 7 に記載の装置。

(項目 2 9)

前記融解火炉、前記調整チャンバ、および 1 つ以上の繊維形成チャンバ内に配置される複数の温度センサをさらに備える、項目 2 6 に記載の装置。

(項目 3 0)

フィラメントが前記オリフィスから出現する際に該フィラメントに対してミストを噴霧するように構成される、複数の水噴霧器をさらに備える、項目 2 6 に記載の装置。

(項目 3 1)

1 つ以上のギャザリングシューをさらに備え、前記 1 つ以上のギャザリングシューのそれぞれは、前記繊維形成チャンバのうちの 1 つからの繊維を統合するように構成される、項目 2 6 に記載の装置。

(項目 3 2)

10

20

30

40

50

前記シューのうちの1つ以上のものからフィラメントを受容するように構成される、1つ以上のワインダをさらに備える、項目26に記載の装置。

(項目33)

前記装置から温度および水流量データを受信し、前記発電機、周波数コンバータ、および水供給源を制御するように構成される、コンピュータをさらに備える、項目26に記載の装置。

(項目34)

前記パッチ投入機は、前記ホッパの排出を促進するように構成される、前記ホッパへの振動を提供するように構成されるモータを備える、項目27に記載の装置。

(項目35)

前記冷却ジャケットのうちの1つ以上のものは、1つ以上の水供給および熱交換ユニットと流体連通する銅またはステンレス鋼管を備える、項目26に記載の装置。

(項目36)

少なくとも1つの発電機は、100kHz～30MHzの周波数において500kW～10MWの電力を提供する、項目26に記載の装置。

(項目37)

少なくとも1つの発電機は、60Hz～100kHzの周波数において50kW～500kWの電力を提供する、項目26に記載の装置。

(項目38)

前記熱交換ユニットはそれぞれ、空気冷却器または冷却塔を備える、項目26に記載の装置。

(項目39)

各繊維形成面は、金属板を備える、項目26に記載の装置。

(項目40)

前記金属板は、白金または白金合金を備える、項目39に記載の装置。

(項目41)

前記繊維形成面はそれぞれ、100～4,000個のオリフィスを備える、項目26に記載の装置。

(項目42)

前記繊維形成チャンバは、形状が円筒形であり、前記繊維形成面は、丸形であり、実質的に前記繊維形成チャンバの底面全体を形成する、項目26に記載の装置。

(項目43)

項目1に記載のプロセスによって作製される、繊維。

(項目44)

前記繊維は、1μm～100μmの直径を有する、項目43に記載の繊維。

(項目45)

前記繊維は、5μm～75μmの直径を有する、項目43に記載の繊維。

(項目46)

前記繊維は、8μm～15μmの直径を有する、項目43に記載の繊維。

(項目47)

前記繊維は、顕微鏡的に視認されると、融合されていない鉱物が実質的にない、項目33に記載の繊維。

【図面の簡単な説明】

【0038】

以下の図面は、本明細書の一部を形成し、本発明のある側面をさらに実証するために含まれる。本開示は、本明細書に提示される具体的実施形態の詳細な説明との組み合わせにおいてこれらの図面のうちの1つ以上のものを参照することによって、より深く理解されることができる。

【0039】

10

20

30

40

50

【図 1】図 1 は、火成岩から繊維を生産するための当分野で公知であるような典型的な火炉システムの概略図面である。

【 0 0 4 0 】

【図 2】図 2 は、繊維生産装置の好ましい実施形態の概略図面である。

【 0 0 4 1 】

【図 3】図 3 は、好ましいプロセスのフロー図である。

【 0 0 4 2 】

【図 4 A】図 4 A は、繊維形成デバイスの実施形態の側面断面図である。

【 0 0 4 3 】

【図 4 B】図 4 B は、図 4 A の繊維形成デバイスの底部からの等角図である。

10

【 0 0 4 4 】

【図 5 - 1】図 5 A - 5 D は、従来の融解方法によって作製された繊維（5 A および 5 B）および開示される方法および装置によって作製された繊維（5 C および 5 D）の顕微鏡図である。

【図 5 - 2】図 5 A - 5 D は、従来の融解方法によって作製された繊維（5 A および 5 B）および開示される方法および装置によって作製された繊維（5 C および 5 D）の顕微鏡図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 5 】

開示される装置および方法は、少なくとも、それらが炉断熱のための耐熱物質を利用せず、それらが攪拌のための機械的装置を伴わずに最大 3,000 まで岩石融解物を均質に加熱する能力を有するため、従来の火炉技術を用いて繊維を生産することの問題の少なくともいくつかに対処する。これは、石英 / 珪岩、フォルスセライト、コランダム、ジルコニウム等の不融性鉱物の存在下でも岩石融解物の 100% 均質な状態を達成することができる。さらに、火炉壁上のスカル層の形成は、高温および積極的な融解物の影響から火炉を保護し、壁の摩耗を低減させ、火炉寿命を大幅に延ばす。本開示の火炉は、従来の岩石融解技術において使用される火炉に関する 2 ~ 5 年の寿命と比較して、例えば、20 ~ 30 年の有用な寿命を有する可能性が高いと考えられる。

20

【 0 0 4 6 】

火炉内で火成岩を融解させる 3 つの基本的段階、すなわち、始動（初期照明および / または標的溫度までの加熱を含む）、ルーチン動作、および、典型的には、修復または保守のための運転停止が存在する。従来のタンク火炉設計および耐熱材料の技術的限定に起因して、照明および加熱の始動プロセスは、通常、溫度が増加するにつれて構造への調節を伴う溫度の漸進的増進を要求し、プロセスは、平均して最大 20 日かかる。従来の火炉に関する運転停止のための時間は、冷却中に耐熱物質の亀裂および破壊を回避するために、始動にほぼ等しい。従来の火炉タンクに関する通常の動作モード中、融解物、特に、火成岩のような暗い融解物の慣性に起因して、多くの場合、非効率性を被る。ガスまたは加熱電極等の従来の加熱デバイスは、局所的に作用し、体積全体を通して溫度不連続を存在させる。ある場合では、均質な溫度を達成するために、数時間かかり得る。

30

【 0 0 4 7 】

対照的に、開示される装置および方法は、変化する磁場によって融解物内に誘発される、渦電流として公知の円形電流を通して、融解物の体積全体に対して均一な熱効果を達成することができる。フォーコ電流とも呼ばれる渦電流は、ファラデーの誘導法則に起因して、導体内に変化する磁場によって導体内に誘発される電流のループである。渦電流は、磁場に垂直な平面内で、導体内で閉ループにおいて流動する。本プロセスは、本場合では導体としての役割を果たす、融解物の全体的な体積全体を通して熱を均一に分配する。本開示の装置に関する始動および運転停止のための手順は、たった 1 時間で行うことができ、融解物の本体全体の融解溫度の調節は、数分で行うことができる。本プロセスは、したがって、非常に柔軟性があり、長い遅延を伴わずに必要な応じて任意の時点で停止および開始されることができる。

40

50

【 0 0 4 8 】

連続的繊維を製造するための装置の好ましい実施形態の実施例が、図 2 に示される。装置 1 0 0 は、破碎された玄武岩または未加工火成岩を受容するためのホッパを含む、パッチ投入機 1 0 1 を含む。ホッパは、いくつかの実施形態では、約 2 5 立方フィート、および産業状況では、最大 1 , 2 0 0 立方フィート以上のものを保持するように設計されることができ、例えば、2 ~ 5 馬力またはさらには 2 . 5 馬力の 1 つ以上の小型モータ 1 2 8 を含み、未加工岩石 1 3 0 を融解チャンバ 1 0 2 の中に放出するために投入物をホッパからトレイに振動させることができる。融解チャンバ 1 0 2 は、2 つの区域、すなわち、投入区域 1 3 2 および調製された融解物区域 1 3 4 に分割される。2 つの区域は、完全な均質化が達成されるまで、融解鉱石を投入区域内に維持するために、アンダーフローバッフル 1 0 3 によって分離される。火炉チャンバ内の単一の融解物および投入区域として本明細書に説明されるが、複数のチャンバ付き火炉が、本明細書に説明されるプロセスにおいて採用され得、1 つ以上の融解物区域が、1 つ以上のバッフルによって 1 つ以上の投入区域から分離される、またはアンダーフローバッフル以外のバッフルの変形例が、採用され得ることを理解されたい。

10

【 0 0 4 9 】

発電機および電力供給源 1 0 4 が、融解チャンバ 1 0 2 を包む誘導コイル 1 0 5 に電流を提供する。ある実施形態では、高周波数 (H F) コンバータを伴う 5 0 0 k W 電力供給源が、使用されることができ、当然ながら、電力供給およびコンバータ周波数の選定は、特定の用途および火炉設計に依存し、説明される電力は、好ましい実施形態の実施例であることを理解されたい。加えて、電力供給源およびコンバータは、示されるように単一のデバイス内に含有されることができ、または個々の火炉設計によって要求されるような別個の場所にあり得る。例えば、単一の電気コイルが、複数の火炉に役立つことができる、または単一の火炉またはチャンバが、複数の誘導コイルを採用することができる。

20

【 0 0 5 0 】

ポンプ 1 0 6 が、配管 1 2 6 を通して融解チャンバからガスを引き込み、予熱のために加熱されたガスをパッチ投入機 1 0 1 に供給する。水供給および熱交換器ユニット 1 0 7 もまた、冷却のために融解チャンバ 1 0 2 に接続される。熱交換器は、当分野で公知の任意のタイプであり得、火炉が動作される環境に応じて、例えば、乾燥空気冷却器および冷却塔または他のタイプから選択されることができ。

30

【 0 0 5 1 】

融解された岩石は、融解物が投入区域 1 3 2 からアンダーフローバッフル 1 0 3 の下に流動し、調整チャンバの中への開口部まで上昇するように、調製された融解物区域 1 3 4 から、融解チャンバ 1 0 2 に接続される調整チャンバ 1 0 8 の中に引き込まれる。調整チャンバは、好ましくは、火炉温度から繊維形成温度まで融解物を冷却し、融解物を繊維形成チャンバに指向させる水平チャネルとして構成される。融解物は、例えば、3 , 0 0 0 または 2 , 0 0 0 または 1 , 8 0 0 または 1 , 4 0 0 の範囲内の温度から、調整チャンバ 1 0 8 内で乱流を低減させ、層流を生成する温度まで冷却されることができ。流量は、示されるような調整チャンバ 1 0 8 の中への開口部を含む、流路の種々の点において配置される温度センサデバイス 1 2 0 によって提供される温度読取値に応答して制御されることができ。センサは、必要に応じて本システム全体を通して配置され得、図 2 に示される実施形態におけるセンサの配置は、実施例にすぎず、限定ではないことを理解されたい。

40

【 0 0 5 2 】

調整チャンバ 1 0 8 内の温度は、好ましい実施形態では、別個の発電機および電力供給源 1 2 7 によって給電され、別個の水供給および熱交換器ユニット 1 1 1 によって冷却される、別個の誘導コイル 1 0 9 によって制御される。調整チャンバ 1 0 8 に関する電力供給源 1 2 7 は、例えば、特定の実施形態において使用するための 2 5 0 k W 等、より小さくあり得、水供給および熱交換器は、別個であるが、融解チャンバのための熱交換器と同

50

一のタイプであり得る。しかしながら、調整チャンバは、より低い冷却能力要件を有し得ることを理解されたい。

【 0 0 5 3 】

複数の繊維形成チャンバ 1 2 5 が、調整チャンバ 1 0 8 のチャンネルに沿って底部から延在し、各繊維形成チャンバ 1 2 5 の中への融解物の流動のための上側開口部 1 3 6 を含む。繊維形成チャンバの数は、融解チャンバの容量によって決定され、2 個、3 個、4 個、5 個、1 0 個、2 0 個、またはそれを上回り得る。繊維形成チャンバは、厳密に制御された温度を伴う小さい火炉として見なされることができる。本特定の実施形態における各繊維形成チャンバ 1 2 5 は、誘導コイル 1 1 3 を含み、ある実施形態では、個別に制御される電力供給および発電機 1 4 0 および水供給および熱交換器システム 1 1 0 を含む。各チャンバ 1 2 5 の底部は、少なくとも部分的に、各繊維形成チャンバ 1 2 5 の底部に取り付けられる白金または白金合金板等の金属板であり、随意に、ノズルの先端が付く、あるパターンの開口部またはオリフィスを含み得る、繊維形成デバイス 1 1 5 によって形成される。冷却融解物がオリフィスを通して引き込まれ、繊維 1 4 2 を形成する際、冷却水噴霧器 1 4 6 は、再結晶化を防止するために、ミストを用いて繊維を衝撃冷却する。繊維は、次いで、シューデバイス 1 4 5 上でフィラメントに寄せ集められ、ワインダ 1 2 3 上で減衰される。本プロセスは、コンピュータ化プロセス管理システム 1 2 2 を用いて制御および管理されることができる。

10

【 0 0 5 4 】

繊維形成デバイス 2 0 0 の実施形態が、図 4 A および 4 B に示される。図 4 B に最良に見られるように、繊維形成デバイス 2 0 0 は、丸形であり、溶融岩石を受容する繊維形成チャンバ 1 2 5 は、誘導コイル 1 1 3 によって包まれた水ジャケット 2 0 6 で包まれる。チャンバの底部全体は、ノズル 2 1 0 が形成されるオリフィス（ノズル）板 2 0 8 を形成する。本構成は、動作温度下およびオリフィス（ノズル）板の上方の溶融岩石の頂部下の歪みを最小限にし、非常に大きいオリフィス（ノズル）板を均一な温度に維持するように動作する。

20

【 0 0 5 5 】

繊維形成デバイスの水冷却壁とのホットメルト接触は、固化され、スカル 2 1 2 の薄層を形成し、これは、腐食から壁を保護するだけでなく、壁からデバイスの中心軸への指数関数的熱分布を相殺する。スカルは、火炉裏打ちの内面上に固化した鉄またはスラグの層であると当分野では理解される。本開示の実施形態では、丸形状容器本体、誘導コイル、およびデバイスの壁内の水温および水流量の調整は、全ての融解物本体にわたって均一な熱分布を達成することを可能にする。水冷却肋材の設置等のいくつかの付加的配列を用いて、開示されるデバイスは、繊維減衰プロセスに悪影響を及ぼすことなく非常に大きいサイズ（6, 0 0 0 個以上の先端）のオリフィス（ノズル）板を可能にする。本プロセスは、したがって、容量および生産コストの観点から、既存の従来の繊維ガラス生産プロセスと大いに適合する。これはまた、従来のオリフィス（ノズル）板加熱方法よりも最大 5 0 % エネルギー効率的である。

30

【 0 0 5 6 】

本開示の方法の実践では、補助材料の有無を問わず、破碎された火成岩等の未加工材料は、バッチ投入機 1 0 1 内で予熱され、一次融解物融解チャンバ 1 0 2 に移送されることができる。融解チャンバ 1 0 2 内で、未加工材料は、チャンバ内のホットメルトに接触し、コイル 1 0 5 によって誘発される円形電流の結果としてホットメルトと組み合わせられる。未加工材料に対する伝導率および熱効果は、固体から液体への状態の完全な変化が完了するまで増加する。融解プロセスが、初期バッチへの黒鉛リングまたは粉末のいずれかの黒鉛の追加によって強化され得ることは、本開示の側面である。初期融解後、いかなるさらなる強化も、必要ではない。強化剤を含み得る、または含んでいない場合がある最初の融解生産物は、典型的には、廃棄される。

40

【 0 0 5 7 】

動作中、発電機 1 0 4 の周波数 F 1 および電力 P 1 が、融解物体積全体を通して安定し

50

た集中的な攪拌効果を提供し、初期未加工材料中の全ての鉱物を溶解させ、100%均質な材料を達成するように設定される。F1およびP1を調整することによって、融解温度は、例えば、約1300～約3,000の範囲内に調節されることができる。

【0058】

融解チャンバ102およびアンダーフローバッフル103は、冷却水を連続的に供給されることができる、銅またはステンレス鋼管から成ることができる。融解チャンバ102およびアンダーフローバッフル103の壁は、壁と融解物との間に形成されるスカルによって保護されることができ、水流は、熱交換器ユニット107において融解物を冷却することができる。

【0059】

融解プロセス中に放出されるガスは、ポンプ106によって融解チャンバ102から融解チャンバ102の上部における特殊な開口部を通して圧送され、未加工材料を予熱するためにバッチ投入機101に経路指定されることができる。

【0060】

均質な融解物は、次いで、融解チャンバ102の底部レベルの上方に位置する調整チャンバ108に進入することができる。調整チャンバ108は、未加工材料投入機から対向する側上で融解チャンバ102に接続されることができ、融解チャンバ102は、アンダーフローバッフル103によって分離される2つの区域を含むことができる。本バッフルは、融解チャンバの投入区域側からの非溶融材料が完全に融解されることに先立って調整チャンバに進入することを防止することができる。

【0061】

調整チャンバ108は、コイル108によって誘発される電流によって加熱されることができる。発電機109によって生成される周波数F2および電力P2は、調整チャンバ108の内側の攪拌効果を抑制し、融解物の温度を低下させ、調整チャンバ内で乱流を低減させ、層流を生産するレベルに設定されることができる。

【0062】

調整および安定化された融解物は、次いで、繊維形成チャンバ125に流動することができる。各繊維形成チャンバ125は、銅またはステンレス鋼管または当分野で公知の任意の適切な材料から作製されることができ、これは、別個の水供給および熱交換器ユニット110によって提供される冷却水を連続的に供給されることができる。水による繊維形成チャンバ125の壁の冷却は、融解物による劣化から耐熱物質を保護する、壁と融解物との間のスカルの層を生成する。各繊維形成チャンバ125の内側の融解物の温度および粘度は、発電機140および誘導コイル113によって制御されることができる。周波数F3および電力P3は、フィラメント形成のために要求されるような狭い範囲内に温度および粘度を維持するレベルに設定されることができる。

【0063】

繊維形成デバイス115は、各繊維形成チャンバ125の底部に取り付けられることができる。各繊維形成デバイスは、岩石繊維フィラメントがオリフィスを通ってそれから出る際に該岩石繊維フィラメントを形成させる多数のオリフィスを伴う耐熱材料から作製される特別に成形された板であり得る。繊維形成デバイスから出るフィラメントは、繊維フィラメント冷却デバイス146を用いて衝撃冷却に暴露されることができる。繊維フィラメント冷却デバイス146は、繊維形成デバイスの真下に位置する加圧冷水ミストを生成するノズルのセットとして設計されることができ、本配列は、繊維形成プロセス中に再結晶化を回避するために必要であり得る。本プロセスは、いずれの結晶化度または表面欠陥も伴わない100%均質なフィラメントを生産する。結晶および表面欠陥は、繊維の機械的強度を有意に低減させるであろう。従来の技術および開示されるシステムおよび方法によって形成された繊維の顕微鏡写真が、図5に示される。図5A-5Dに見られ得るように、開示される方法によって形成された繊維は、不完全な融解によって引き起こされる結晶性粒子が実質的にない。

【0064】

形成されたフィラメントは、次いで、サイジング剤アプリケータ（図示せず）を通過し、ギャザリングシュー１４５によってストランドに組み立てられ、ワインダ１２３によって固形物に巻回されることができる。形成された繊維は、好ましくは、直径が約８～約１５μmであり得る。プロセス全体は、温度センサ１２０およびワインダ１２３から受信された入力データに従って、周波数、電力、水流量、および投入機を管理する、コンピュータプロセス管理システム１２２によって制御および管理されることができる。

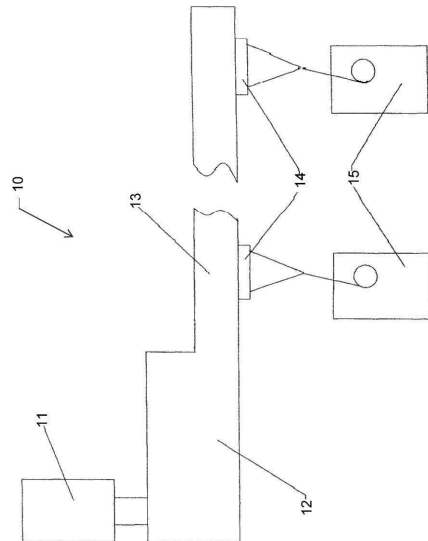
【００６５】

本明細書に開示される装置および方法によって生産される岩石繊維が、より高品質である、例えば、不完全な融解によって引き起こされる弱点がない、または実質的になく、従来生産される繊維よりも低いコストで生産されると想定されることが、本開示のさらなる側面である。開示される繊維は、したがって、限定ではないが、コンピュータおよび電子機器産業、建設産業、化学、極低温、および石油産業、自動車および海洋産業、および宇宙、防衛、および弾道用途、耐火および耐熱、防音、土木工学およびパイプ、および高圧タンクおよびシリンダを含む、種々の産業における多数の用途において有用である。本開示の側面として想定されるものは、限定ではないが、建築用梁、コンクリート、断熱材、パイプ、およびツール、アンテナを含むコンピュータおよび電子デバイス、スポーツ用品、警察、防衛、および娯楽のための保護具、および自動車、ボート、航空機、および他のタイプの車両の構造的構成要素を含む、そのような繊維を含有する可能性が高い多くの製品である。上記に言及される開示される繊維および当業者に明白な全てのその他の使用は、本開示の範囲内であることが想定される。

【００６６】

本明細書に開示および請求される装置、組成物、および方法は全て、本開示に照らして過度の実験を伴わずに作製および／または実行されることができる。本開示の装置、組成物、および方法は、好ましい実施形態の観点から説明されたが、変形例が、本発明の概念、精神、および範囲から逸脱することなく、本明細書に説明される、装置および／または組成物に、および方法のステップまたはステップのシーケンスにおいて適用され得ることが、当業者に明白となるであろう。より具体的には、化学的、機能的、または構造的に関連する、ある材料または構造は、本明細書に説明されるもので代用され得る一方、同一または類似する結果が、達成されるであろうことが明白となるであろう。当業者に明白な全てのそのような類似する代用物および修正は、添付される請求項によって定義されるような本発明の精神、範囲、および概念内であると見なされる。

【図 1】

従来技術
Fig. 1

【図 2】

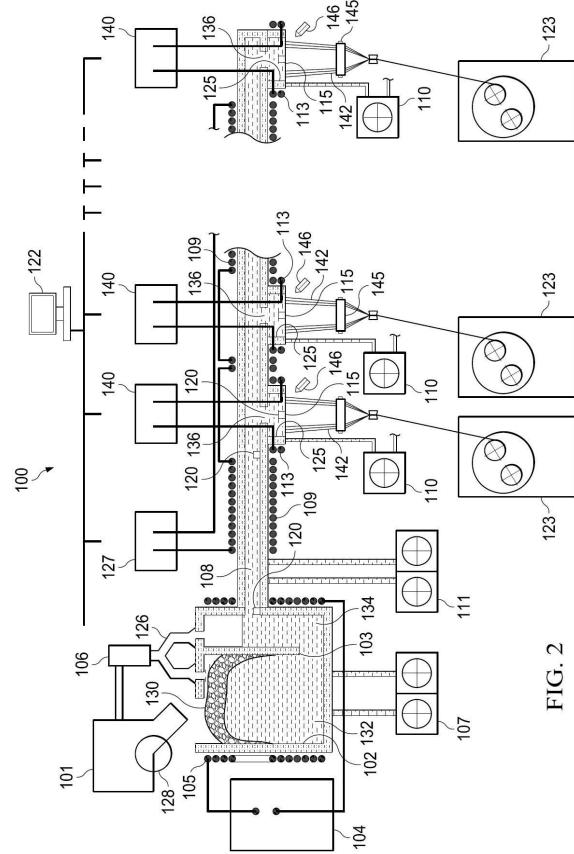


FIG. 2

【図 3】

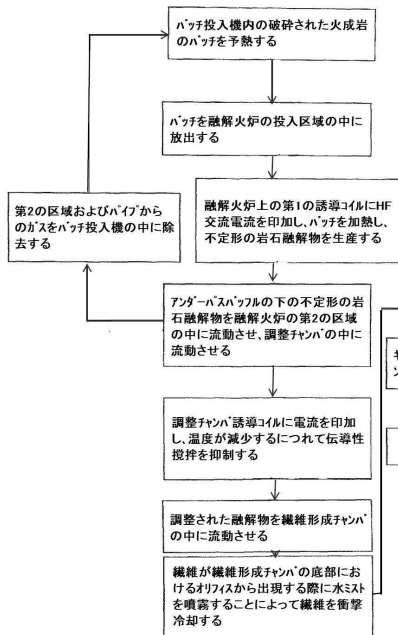


Fig. 3

【図 4 A】

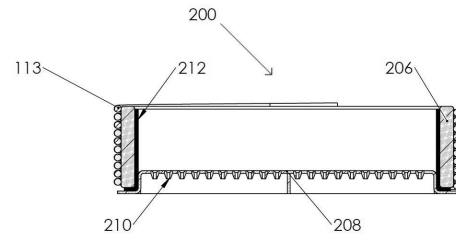


Fig. 4A

【図 4 B】

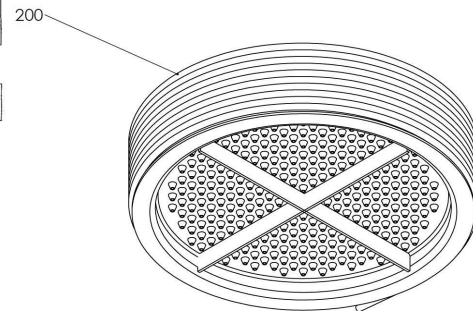


Fig. 4B

【図 5 - 1】

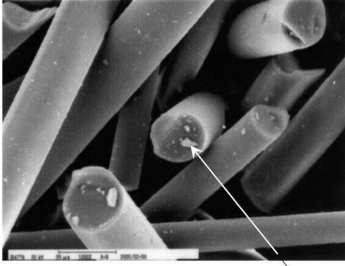


Fig. 5A

【図 5 - 2】

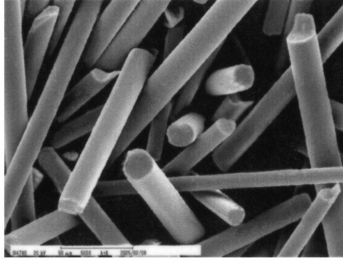


Fig. 5C

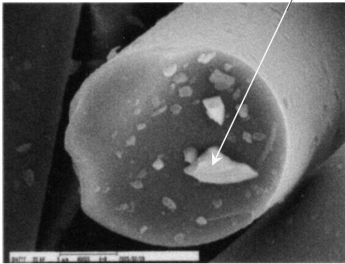


Fig. 5B

融合されていない粒子

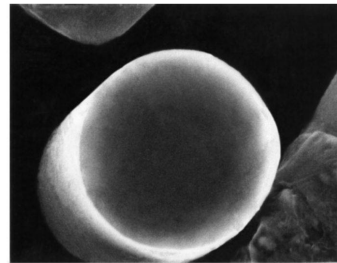


Fig. 5D

フロントページの続き

(74)代理人 100181674

弁理士 飯田 貴敏

(74)代理人 100181641

弁理士 石川 大輔

(74)代理人 230113332

弁護士 山本 健策

(72)発明者 ピランド, オレクサンダー

アメリカ合衆国 テキサス 77407, リッチモンド, エフエム 1093 ロード 21
711

(72)発明者 ファーガソン, ロバート ブルース

アメリカ合衆国 テキサス 77407, リッチモンド, エフエム 1093 ロード 21
711

審査官 若土 雅之

(56)参考文献 中国特許出願公開第1513782(CN, A)

米国特許第08806900(US, B2)

米国特許第06647747(US, B1)

国際公開第2013/011835(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C03B 37/00

C03B 5/00