

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 2 部門第 2 区分

【発行日】平成 17 年 12 月 22 日 (2005.12.22)

【公表番号】特表 2004-523359 (P2004-523359A)

【公表日】平成 16 年 8 月 5 日 (2004.8.5)

【年通号数】公開・登録公報 2004-030

【出願番号】特願 2002-542554 (P2002-542554)

【国際特許分類第 7 版】

B 2 2 D 7/00

B 2 2 D 21/00

B 2 2 D 21/06

B 2 2 D 23/00

B 2 2 D 23/10

B 2 2 D 27/02

B 2 2 D 27/20

C 2 2 B 9/18

C 2 2 B 9/22

C 2 2 C 19/05

【F I】

B 2 2 D 7/00 F

B 2 2 D 21/00 C

B 2 2 D 21/06

B 2 2 D 23/00 D

B 2 2 D 23/00 E

B 2 2 D 23/10

B 2 2 D 27/02 B

B 2 2 D 27/20 Z

C 2 2 B 9/22

C 2 2 C 19/05 C

C 2 2 B 9/18 Z

【手続補正書】

【提出日】平成 16 年 10 月 18 日 (2004.10.18)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プレフォームを製造する方法であって、

金属物質の消耗電極を用意し、

前記消耗電極を溶融及び精製して、溶融精製された物質を用意し、

前記溶融精製された物質の少なくとも一部を、前記溶融精製された物質が周囲空気中の酸素による汚染から保護される通路に通し、

前記通路からの前記溶融精製物質の流れにガスを衝突させて前記溶融精製物質の液滴スプレーを形成し、ここで、前記ガスは、溶融精製された物質を基準とする単位質量当たりのガスの単位質量が 1 未満の比率で、前記溶融精製された物質の流れに供給され、そして前記溶融精製物質の液滴スプレーを鋳型内で堆積及び凝固させてプレフォームを形成す

る、
以上の工程を含む方法。

【請求項 2】

前記消耗電極を溶融及び精製する工程は、
前記消耗電極をエレクトロスラグ再溶解して、前記溶融精製された物質を用意する工程、及び
前記消耗電極を真空アーク再溶解して、前記溶融精製物質を用意する工程、
のいずれか一つを含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記消耗電極をエレクトロスラグ再溶解する工程は、
スラグを収容する開放有底容器を用意し、
前記開放有底容器内で前記消耗電極を前記スラグと接触させ、
前記消耗電極、前記スラグ、及び前記容器を含む回路に電流を流して、前記スラグを抵抗加熱し、これにより前記スラグと電極の接点において前記消耗電極からの物質を溶解させ、その結果、溶融物質の液滴が形成され、そして
前記溶融物質の液滴が前記加熱されたスラグを通過するようにする、
以上の工程を含む、請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記消耗電極をエレクトロスラグ再溶解する工程は、
前記容器中への前記消耗電極の送出を制御して、前記電極と前記加熱されたスラグとの間の接触を維持する工程を更に含む、請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】

前記消耗電極を真空アーク再溶解する工程は、
前記消耗電極を部分真空の下で DC アークと接触させて前記電極を加熱し、これによって溶融物質の液滴を形成する工程を含む、請求項 2 記載の方法。

【請求項 6】

前記溶融精製された物質の少なくとも一部を通路に通す工程は、
冷却誘導ガイドを用意し、
前記冷却誘導ガイド内に前記溶融精製された物質を集め、そして
前記溶融精製物質の少なくとも一部を前記冷却誘導ガイド内の通路に通し、それと同時に
前記溶融精製物質を前記通路内で誘導加熱する、
以上の工程を含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

前記冷却誘導ガイドは、
溶融物質捕集領域、
オリフィスで終結する通路を含む移送領域、
前記移送領域と結合している少なくとも 1 つの導電性コイル、および
前記移送領域と結合している少なくとも 1 つの冷却液循環通路を含む、請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】

前記溶融精製された物質の少なくとも一部を通路に通す工程は、
前記溶融精製物質を前記溶融物質収集領域内に受け入れ、そして
前記溶融精製物質の少なくとも一部を前記移送領域の通路に通し、それと同時に前記導電性コイルを通る電流を維持し、そして前記冷却液循環通路に冷却液を通す工程を含む、
請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】

前記溶融精製された物質の少なくとも一部を通路に通す工程は、
前記溶融精製された物質の少なくとも一部を、耐熱材料で内張りされた側壁を有していてそして誘導加熱源を有していない通路に通す工程を含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 10】

前記液滴スプレーを堆積及び凝固させる工程は、

前記溶融精製物質の液滴と前記衝突ガスとの衝突によって、前記プレフォームの表面に乱流領域を発生させる工程を含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 1 1】

前記液滴スプレーを堆積及び凝固させる工程は、

部分真空及び / 又は保護ガス雰囲気の下で前記溶融精製物質の前記液滴スプレーを鋳型内で堆積及び凝固させる工程を含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 1 2】

前記金属に対するガスの質量比は 0.3 未満である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 1 3】

液滴スプレーを形成するとき、溶融精製された物質の液滴は、平均で各液滴の 5 ~ 40 容量パーセントが固体であるような部分的固体である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 1 4】

前記金属物質はニッケル基超合金、チタン合金、鋼、及びコバルト基合金のうちの 1 種である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 1 5】

前記金属物質は合金 706、合金 718、合金 720、及び Rene 88 から成る群から選ばれるニッケル基超合金である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 1 6】

前記金属物質は Ti (6 - 4) 及び Ti (17) から成る群から選ばれるチタン合金である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 1 7】

前記プレフォームは直径が少なくとも 12 インチである、請求項 1 記載の方法。

【請求項 1 8】

プレフォームを製造する方法であって、

エレクトロスラグ再溶解装置及び真空アーク再溶解装置から選択される溶融精製装置、オリフィスで終結する通路を含む移送装置であって前記溶融精製装置と流体で連絡する移送装置、および鋳型を含む核化鋳造装置であって前記移送装置と流体で連絡する核化鋳造装置を含む装置を用意し、

金属物質の消耗電極を用意し、

前記消耗電極を前記溶融精製装置内で溶融及び精製して、溶融精製された物質を用意し、

前記溶融精製物質を前記移送装置に通し、

前記溶融精製物質を前記核化鋳造装置に供給し、そして

前記通路からの前記溶融精製物質の流れにガスを衝突させて前記溶融精製物質の液滴スプレーを形成し、ここで、前記ガスは、溶融精製された物質を基準とする単位質量当たりのガスの単位質量が 1 未満の比率で、前記溶融精製物質の流れに供給され、そして、

前記溶融精製物質の液滴スプレーを鋳型内で堆積及び凝固させてプレフォームを形成する、以上の工程を含む方法。

【請求項 1 9】

金属物質のプレフォームを用意する装置であって、

エレクトロスラグ再溶解装置及び真空アーク再溶解装置から選択される溶融精製装置、オリフィスで終結する通路を含む移送装置であって前記溶融精製装置と流体で連絡する移送装置、および

前記移送装置と流体で連絡する核化鋳造装置、を含む装置。

【請求項 2 0】

前記エレクトロスラグ再溶解装置は、その中に開口を有する開放有底容器、前記容器に接触する電源、前記容器内の導電性スラグ、および前記容器内に消耗電極を供給するのに適合する供給手段を含む、請求項 1 9 記載の装置。

【請求項 2 1】

前記真空アーク再溶解装置は、真空室、前記真空室内の開放有底容器であってその中に開口を有する開放有底容器、および前記真空室に結合する電源を含む、請求項 1 9 記載の装置。

【請求項 2 2】

前記移送装置は冷却誘導ガイドを含む、請求項 1 9 記載の装置。

【請求項 2 3】

前記移送装置は、
前記開放有底容器の前記開口と流体で連絡する溶融物収集領域、
オリフィスで終結する通路を含む移送領域、
前記移送領域に結合する少なくとも 1 つの導電性コイル、および
前記移送領域に結合する少なくとも 1 つの冷却液循環通路、
を含む冷却誘導ガイドを有する、請求項 2 0 または 2 1 記載の装置。

【請求項 2 4】

前記移送装置は、耐熱材料で内張りされた側壁を有してそして誘導加熱源を有していない通路を含み、この通路はオリフィスで終結している、請求項 1 9 記載の装置。

【請求項 2 5】

前記核化鑄造装置は、
前記オリフィスと流体で連絡する噴霧ノズル、
前記ノズルと流体で連絡する噴霧ガス供給体、および
側壁及び前記噴霧ノズルの下に設けられた基部を含む鑄型であって、前記噴霧ノズルに対する前記基部の一部が調節可能である鑄型、
を含む、請求項 1 9 記載の装置。

【請求項 2 6】

金属物質の消耗電極を用意し、
前記消耗電極を溶融及び精製して、溶融精製された物質を用意し、
前記溶融精製された物質の少なくとも一部を、大気との接触から保護される通路に通し、
前記通路からの前記溶融精製物質の流れにガスを衝突させて前記溶融精製物質の液滴スプレーを形成し、ここで、前記ガスは、溶融精製された物質を基準とする単位質量当たりのガスの単位質量が 1 未満の比率で、前記溶融精製された物質の流れに供給され、そして
前記溶融精製物質の液滴スプレーを鑄型内で堆積及び凝固させる、
以上の工程を含む方法によって製造された製品。

【請求項 2 7】

前記消耗電極を溶融及び精製する工程は、
前記消耗電極をエレクトロスラグ再溶解して、前記溶融精製された物質を用意する工程、
および
前記消耗電極を真空アーク再溶解して、前記溶融精製物質を用意する工程、のいずれか一つを含む、請求項 2 6 記載の製品。

【請求項 2 8】

前記消耗電極をエレクトロスラグ再溶解する工程は、
スラグを収容する開放有底容器を用意し、
前記開放有底容器内で前記消耗電極を前記スラグと接触させ、
前記消耗電極、前記スラグ、及び前記容器を含む回路に電流を流して、前記スラグを抵抗加熱し、これにより前記スラグと電極との接点において前記消耗電極からの物質を溶解させ、その結果、溶融物質の液滴が形成され、そして
前記溶融物質の液滴を前記加熱されたスラグに通す、
以上の工程を含む、請求項 2 7 記載の製品。

【請求項 2 9】

前記消耗電極をエレクトロスラグ再溶解する工程は、
前記容器中への前記消耗電極の送出を制御して、前記電極と前記加熱スラグとの間の接触を維持する工程をさらに含む、請求項 28 記載の製品。

【請求項 30】

前記消耗電極を真空アーク再溶解する工程は、
前記消耗電極を真空下で DC アークと接触させて前記電極を加熱し、これによって溶融物質の液滴を形成する工程を含む、請求項 27 記載の製品。

【請求項 31】

前記溶融精製された物質の少なくとも一部を通路に通す工程は、
冷却誘導ガイドを用意し、
前記冷却誘導ガイド内に前記溶融精製された物質を集め、そして、
前記溶融精製物質の少なくとも一部を前記冷却誘導ガイド内の通路に通し、それと同時に前記溶融精製物質を前記通路内で誘導加熱する、
以上の工程を含む、請求項 26 記載の製品。

【請求項 32】

前記冷却誘導ガイドは、
溶融物質捕集領域、
オリフィスで終結する通路を含む移送領域、
前記移送領域に結合する少なくとも 1 つの導電性コイル、および
前記移送領域に結合する少なくとも 1 つの冷却液循環通路を含む、請求項 31 記載の製品。

【請求項 33】

前記溶融精製された物質の少なくとも一部を通路に通す工程は、
前記溶融精製物質を前記溶融物質収集領域内に受け入れ、そして
前記溶融精製物質の少なくとも一部を前記移送領域の通路に通し、それと同時に前記導電性コイルを通る電流を維持し、そして前記冷却液循環通路に冷却液を通す、
以上の工程を含む、請求項 32 記載の製品。

【請求項 34】

前記溶融精製された物質の少なくとも一部を通路に通す工程は、
前記溶融精製された物質の少なくとも一部を、耐熱材料で内張りされた側壁を有していてそして誘導加熱源を有していない通路に通す工程を含む、請求項 26 記載の製品。

【請求項 35】

前記液滴スプレーを堆積及び凝固させる工程は、
前記溶融精製物質の液滴と前記衝突ガスとの衝突によって、前記プレフォームの表面に乱流領域を発生させる工程を含む、請求項 26 記載の製品。

【請求項 36】

前記液滴スプレーを堆積及び凝固させる工程は、
部分真空および保護ガス雰囲気の中のいずれかの下で前記溶融精製物質の前記液滴スプレーを鋳型内で堆積及び凝固させる工程を含む、請求項 26 記載の製品。

【請求項 37】

前記金属に対するガスの質量比は 0.3 未満である、請求項 26 記載の製品。

【請求項 38】

液滴スプレーを形成するとき、溶融精製された物質の液滴は、平均で各液滴の 5 ~ 40 容量パーセントが固体であるような部分的固体である、請求項 26 記載の製品。

【請求項 39】

前記金属物質はニッケル基超合金、チタン合金、コバルト基合金、および鋼のうちの 1 種である、請求項 26 記載の製品。

【請求項 40】

前記金属物質は合金 706、合金 718、合金 720、及び Rene 88 から成る群から選ばれるニッケル基超合金である、請求項 26 記載の製品。

【請求項 4 1】

前記金属物質は Ti (6 - 4) 及び Ti (1 7) から成る群から選ばれるチタン合金である、請求項 2 6 記載の製品。

【請求項 4 2】

前記製品は直径が少なくとも 1 2 インチのプレフォームである、請求項 2 6 記載の製品。

【請求項 4 3】

前記溶融精製物質の液滴スプレーを鋳型内で堆積および凝固させてプレフォームを形成し、さらにこのプレフォームを加工して航空タービン及び地上タービンのうちの一種に使用するのに適する回転部材を形成する工程を含む方法によって製造された、請求項 2 6 記載の製品。

【請求項 4 4】

エレクトロスラグ再溶解装置及び真空アーク再溶解装置から選択される溶融精製装置、オリフィスで終結する通路を含む移送装置であって前記溶融精製装置と流体で連絡する移送装置、および鋳型を含む核化鋳造装置であって前記移送装置と流体で連絡する核化鋳造装置を含む装置を用意し、

金属物質の消耗電極を用意し、

前記消耗電極を前記溶融精製装置内で溶融及び精製して、溶融精製された物質を用意し、

前記溶融精製物質を前記移送装置に通し、

前記溶融精製物質を前記核化鋳造装置に供給し、そして

前記通路からの前記溶融精製物質の流れにガスを衝突させて前記溶融精製物質の液滴スプレーを形成し、ここで、前記ガスは、溶融精製された物質を基準とする単位質量当たりのガスの単位質量が 1 未満の比率で、前記溶融精製物質の流れに供給され、そして、

前記溶融精製物質の液滴スプレーを鋳型内で堆積及び凝固させる、

以上の工程を含む方法によって用意された製品。

【請求項 4 5】

前記製品は、直径が少なくとも 1 2 インチのプレフォームと、航空タービン及び地上タービンのうちの 1 つに使用するのに適する回転部材とのうちの 1 種である、請求項 4 4 記載の製品。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】精製と鋳造を行う装置およびその方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、金属及び金属合金のインゴット及び他のプレフォーム (preform) を精製 (refine) し鋳造するための装置及びその方法に関する。本発明は特に、鋳造を行う間に偏析しやすい金属及び金属合金からなる大きな直径のインゴットやその他のプレフォームを精製し鋳造するのに有用な装置及び方法に関し、その装置及び方法により形成されたプレフォームは最少の偏析を示し、そして溶融に関連する著しい欠陥がない。本発明の装置及び方法は、例えば、合金 706 及び合金 718 のような複合ニッケル基超合金、並びに在来の最新技術の方法により鋳造された場合に偏析しやすい特定のチタン合金、鋼、及びコバルト基合金の精製及び鋳造に特定の用途を有する。また、本発明は、本発明の方法及び/又は装置によって製造されたプレフォーム及び他の製品に関する。

【背景技術】

【0002】

特定の重要な用途に関して、部材は、最少の偏析を示す大きな直径の金属又は金属合金のプレフォームであって、白点（white spots）及びフレックル（freckles）のような溶融物に関連する欠陥が実質的にないプレフォームから製造される必要がある（理解を容易にするために、本明細書においては、合金でない金属及び金属合金を総称的に意味するものとして“金属物質”あるいは“金属材料”という用語が使用される）。これらの重要な用途としては、航空又は地上のタービンにおける回転部材及び金属欠陥が部材の重大な損傷を生じさせる他の部材がある。従って、これらの部材が製造されるプレフォームは有害な非金属の介在物がないものであり、この溶融金属物質はプレフォームに鑄造される前に適切に清浄化又は精製される必要がある。これらの用途に使用される金属物質が鑄造により偏析する傾向がある場合、これらは順次に真空誘導溶解（VIM）、エレクトロスラグ再溶解（ESR）、及び真空アーク再溶解（VAR）を組み合わせる“三重の溶融技術”によって一般的に精製される。しかしながら、偏析しやすい金属物質は、偏析を最少限に抑えるのに十分な冷却速度を得ることが困難であるため、前記三重の溶融の最後の工程であるVAR溶解によって大直径に製造することが困難である。凝固のミクロ偏析は鑄造したインゴットに長時間の均質化処理を実施することによって最少にできるが、このような処理は全体として有効でなく、コスト高になる。更に、VARはしばしば白点、フレックル、中心偏析のような大きな欠陥をインゴット中に導入する。場合によっては、大直径のインゴットは単一の部材に加工されるので、VARにより導入された欠陥は、部材の形成の前に選択的に除去できない。従って、インゴット全体またはインゴットの一部を廃棄しなければならない。従って、三重の溶融技術の欠点は、収量損失が大きく、サイクル時間が長く、材料の加工費が高く、そして許容できる金属性能を有する偏析しやすい金属材料の大きな寸法のインゴットを製造できないことである。

【0003】

偏析しやすい金属物質の溶融物から高品質のプレフォームを製造する一つの公知の方法は溶射成形（spray forming）であって、これは例えば、米国特許 5,325,906 号及び5,348,566 号に一般的に記述される。溶射成形は“鑄型のない”方法であって、ガス噴霧を用いて、溶融金属流から液体金属の液滴スプレーを形成する。このスプレー形成技術の方法のパラメータは、噴霧された液滴内の固体の平均比率が、コレクター表面に衝突する時点において所望の形状寸法を形成しそして維持できる高粘度の堆積物を生成できるほど十分に高くなるように、調節される。プレフォームを適切に凝固するのに重要な熱収支を維持するために、金属に対するガスの高い質量比率（1又はそれ以上）が求められる。

【0004】

溶射成形は、大直径のプレフォームを形成する場合に問題を生じる数多くの欠点がある。溶射成形に避けられない副作用は、過剰のスプレーであって、この場合、スプレーされた金属物質は成形中のプレフォームを全く外れるか、又はプレフォームに付着しないで飛行中に凝固する。溶射成形の過剰スプレーに基づく平均的収量損失は、20～30%であろう。また、コレクター又は成形中のプレフォームとの衝突に基づいて液滴内に適切な固体比率を生じるのに必要な重要な熱収支を維持するために比較的高いガス対金属の比率が求められるため、衝突後に物質は急速に凝固して、噴霧ガスを取り込みやすくなり、その結果、プレフォーム内にガスの気孔が生成する。

【0005】

偏析しやすい金属物質からプレフォームを溶射成形する場合の重要な制限は、限られた最大直径のプレフォームのみが、ミクロ構造及びマクロ構造に悪影響を与えることなく成形できることである。許容できる品質の大きなプレフォームを溶射成形で製造するためには、スプレーの局部温度を十分に制御して、半液体スプレー表面層が常に維持されることが求められる。例えば、比較的に冷たいスプレーがプレフォームの中心部近傍では望ましく、これに対し、スプレーが外側の速く冷却されるプレフォームの領域に接近する場合に、漸進的に温められたスプレーが望ましい。また、プレフォームの有効な最大直径は溶射成形プロセスの物理的過程によっても制限される。単一ノズルを使用するときにも可能な最大

限のプレフォームは約 12 ~ 14 インチの最大直径を有する。この寸法の制限は、プレフォームの直径が増大するにつれて、プレフォーム表面の回転速度が増大し、これにより前記半液体層に生じた遠心力が増大するという事実に基づいて経験的に確立した。プレフォームの直径が 12 インチの範囲に接近するにつれて、前記半液体層に加えられた遠心力が増大し、その結果、この半液体層はプレフォーム表面から振り落とされる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従って、偏析しやすい金属物質からプレフォーム、特に大直径のプレフォームを精製及び鑄造するのに適用される特定の公知の技術には、重大な欠点がある。従って、偏析しやすい金属及び金属合金を精製及び鑄造する改良された装置と方法に対する必要性が存在する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述の課題を解決するために、本発明は、金属物質の消耗電極を用意し、前記消耗電極を溶融及び精製して、溶融精製された物質を用意する工程を含む、プレフォームを精製及び鑄造する方法を提供する。前記溶融精製された物質の少なくとも一部は、周囲空気中の酸素との接触による汚染から保護される通路を通過する。この通路は、好ましくは前記溶融精製物質と反応しない材料から構成される。前記溶融精製物質の液滴スプレーは、前記通路から出てくる前記溶融精製物質の流れにガスを衝突させることによって形成される。この液滴スプレーは鑄型内に堆積し、凝固して、プレフォームになる。このプレフォームは、加工されて、例えば、航空又は地上のタービンの回転に適用される部材のような、所望の製品を提供する。

【0008】

前記消耗電極を溶融及び精製する工程は、前記溶融精製物質を用意するために、前記消耗電極をエレクトロスラグ再溶解する工程及び前記消耗電極を真空アーク再溶解する工程の少なくとも 1 つから構成されてもよい。前記溶融精製物質が次に通過する通路は冷却誘導ガイド (cold induction guide) を通って形成された通路であってもよい。前記溶融精製合金の少なくとも一部が前記冷却誘導ガイドを通過し、そしてこの通路内で誘導加熱される。厳しくない用途の場合、例えば、合金中に少ないレベルの酸化物汚染物が許容されるような用途の場合、冷却誘導ガイドを使用する必要はない。このような厳しくない用途に使用される部材としては、例えば、航空機タービンエンジンの静止部材がある。冷却誘導ガイドが使用されない場合、通路は大気から保護されて、耐火材料から構成された壁を含む加熱されない通路であってもよい。通路は望ましくない不純物から溶融精製物質を保護するように構成できる。次いで、前記通路から出た溶融精製物質は凝固して、上述のようにプレフォームを形成する。

【0009】

本発明は合金を精製し鑄造する装置を用意することによって、上述の課題に対応する。この装置は、エレクトロスラグ再溶解装置及び真空アーク再溶解装置の少なくとも 1 つを含む溶融精製装置；移送装置（例えば、冷却誘導ガイドのような）であって、前記溶融精製装置と流体で連絡する移送装置；そして、前記移送装置と流体で連絡する核化 (nucleated) 鑄造装置を含む。前記溶融精製装置内に導入された金属物質の消耗電極は、溶融及び精製され、そして、この溶融精製された物質は、前記移送装置によって形成された通路を経由して前記核化鑄造装置に通される。前記移送装置が冷却誘導ガイドである場合、前記精製された物質の少なくとも一部は、前記冷却誘導ガイドを通過中に誘導加熱によって溶融状態に維持される。

【0010】

本発明の方法の特定の態様によって金属物質を鑄造する場合、金属物質は、溶融るつばに使用される酸化物の耐火物及び従来の鑄造法に使用される注入ノズルに接触する必要はない。従って、スポーリング、エロージョン、及びこのような耐火物材料の反応に基づい

て生じる酸化物の汚染は回避できる。

【0011】

本発明の精製及び鑄造装置の一部である前記エレクトロスラグ再溶解装置は、その中に開口を有する容器、前記容器に接触する電源、そして金属物質がエレクトロスラグ再溶解過程を通じて消耗電極から溶融するにつれて消耗電極を前記容器中に進めるように構成された電極供給装置を含む。真空アーク再溶解装置は、消耗電極が部分真空下でDCアークの手段によって容器内で溶融し、そして溶融した合金の液滴がスラグと最初に接触することなく本発明の装置の移送装置に移動するという点において、エレクトロスラグ再溶解装置と相違する。真空アーク再溶解はエレクトロスラグ再溶解の程度まで微小規模の介在物を除去しないが、これは溶解ガスを除去し、そして電極物質中の高い蒸気圧の微量元素を最少限に抑える利点を有する。

【0012】

本発明の鑄造及び精製装置の一部である前記冷却誘導ガイドは、前記溶融精製装置の容器の前記開口と直接又は間接的に流体で連絡する溶融物収集領域を含む。また、この冷却誘導ガイドはオリフィスを終端としている通路を画定している移送領域を含む。少なくとも1つの導電性コイルが前記移送領域に結合して、前記通路を通過する物質を誘電加熱するために使用できる。また、1又はそれ以上の冷却液循環通路が前記移送領域に結合して、前記誘導コイルと前記通路に隣接する壁を冷却できる。

【0013】

本発明の鑄造及び精製装置の前記核化鑄造装置は、前記移送装置の通路と直接又は間接的に流体で連絡する噴霧ノズルを含む。噴霧ガス供給物が前記ノズルと連絡し、そして前記移送装置から受けた溶融物流から液滴スプレーを形成する。前記プレフォームが適合する基部と側壁を含む鑄型は、前記噴霧ノズルに隣接して配置され、そして前記噴霧ノズルに対する鑄型の基部の位置は調節可能である。

【0014】

本発明の方法及び装置は、金属物質の精製された溶融物を溶融又は半溶融の形態で核化鑄造装置に移送させ、そして酸化物又は固体不純物による溶融物の再汚染の可能性を実質的に減少させる。この核化鑄造技術により、実質的に偏析のない、そして他の鑄造方法で生じる溶融物に関係する欠陥のない細粒プレフォームを形成できる。本発明の精製と鑄造の特徴を前記移送装置によって結合することにより、大きな又は複数の消耗電極をエレクトロスラグ再溶解又は真空アーク再溶解して、精製された溶融物質の連続流を形成し、これを核発生鑄造(nucleation cast)して、結晶粒が微細なプレフォームを形成できる。このようにして、大きな直径のプレフォームを、他の方法では鑄造が困難である偏析しやすい金属物質から容易に鑄造することができる。また、大きな電極及び/又は消耗電極を用いて本発明の方法を実施することにより、大きなプレフォームを連続的に鑄造できる。

【0015】

従って、本発明は、本発明の方法及び/又は装置によって製造されたプレフォームに関し、また、例えば、本発明の前記プレフォームを加工することにより製造された航空又は地上のタービンの部材のような製品に関する。また、本発明は、直径が12インチ以上の偏析しやすい合金のプレフォーム及びインゴットに関し、これらは溶融物に関連する著しい欠陥がない。このような本発明のプレフォーム及びインゴットは、本発明の方法及び装置で製造することができ、同じ材料から成る小さな直径のVAR又はESRインゴットの偏析特性のレベルを有する。このような偏析しやすい合金としては、例えば、合金706、合金718、合金720、及びRené88、及び他のニッケル基超合金がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

本発明の上述の詳細及び利点は、以下の本発明の詳細な態様を検討することにより、また本発明を実施又は使用することにより、理解できるであろう。

一つの態様において、本発明は金属物質を精製し、そしてこの金属物質をプレフォームに鑄造する新規な方法を提供する。このプレフォームは加工処理されて最終製品になる。

本発明の方法は、金属物質を溶融及び精製し、次いで核化（nucleated）鑄造技術によって前記物質をプレフォームに鑄造する。金属物質の溶融及び精製は、例えば、エレクトロスラグ再溶解（ESR）又は真空アーク再溶解（VAR）によって達成できる。また、本発明の方法は、溶融精製された物質を、これを汚染から保護する通路を通して核化鑄造装置に移送する工程を含む。この通路は、冷却誘導ガイド（cold induction guide）（CIG）又はその他の移送装置によって形成された通路でもよい。

【0017】

また、本発明は、金属物質を溶融及び精製する装置、溶融精製された物質から核化鑄造によってプレフォームを製造する装置、そして前記溶融精製装置から前記溶融精製物質を前記核化鑄造装置に移送する移送装置を組合わせた装置を提供する。以下に説明するように、本発明の装置及び方法は、鑄造を通じて偏析しやすい金属物質から大直径で高純度のプレフォームの製造に使用されると、特に有利である。例えば、実質的に溶融物に関係する欠陥がなく、そして最少の偏析を示す本発明の装置と方法によって、大きな直径（12～14インチ以上）のプレフォームを、偏析しやすく、鑄造が困難である金属物質から製造できる。

【0018】

本発明の装置と方法の一つの実施態様を図1に示す。初めの工程において、金属物質の消耗電極はESRに供されて、このとき、電極及び精製容器内に配置されて前記電極に接触する導電性スラグに電流が通じることによって金属物質の精製熱が生じる。前記消耗電極から溶融した液滴は、移送され、導電性スラグで精製され、精製容器で収集され、そして次に下流の装置に移送されてもよい。ESR装置の主な構成要素は、典型的に電源装置、電極供給装置、水冷された銅製の精製容器、及びスラグを含む。使用される特定のスラグの種類は精製される特定の物質に依存する。

【0019】

ESR法はよく知られ、そして広く使用されており、また特定の電極の種類と寸法に必要な操作パラメーターは当業者によって容易に確認できる。従って、ESR装置の組立て方法又は操作方法又は、特定の材料及び／又は電極の種類及び寸法のために使用される特定の操作パラメーターに関する更に詳細な説明は不必要である。

【0020】

更に、図1に示すように、この実施態様は、ESRと直接又は間接的に流体で連絡するCIGを含む。このCIGはESRで生成した精製溶融物を核化鑄造装置に移送するために使用される。CIGはESRで生成した溶融精製物質を核化鑄造装置への移送を通じて溶融状態に維持する。またCIGは、溶融物を大気から保護し、そして溶融物を通常のノズルの使用に基づいて生じる再汚染から保護することによって、ESRによって達成された溶融物の純度を維持する。また、精製された溶融物を大気から良好に保護し、これによって酸化物が生成して溶融物を汚染することを防止するために、CIGはESR装置と核化鑄造装置の両方に直接に結合しているのが好ましい。また、適切に組み立てられることによって、CIGは、ESR装置から核化鑄造装置への溶融精製物質の流れを計量するために使用できる。また、CIGの組立て及び使用方法は、コールドフィンガー（cold finger）又は冷却壁誘導ガイド（cold wall induction guide）と種々に呼ばれているように、この技術分野で公知であり、例えば、ここに挙げられる米国特許5,272,718号、5,310,165号、5,348,566号及び5,769,151号の全内容が参照される。CIGは一般に、溶融物を収容する溶融物容器を含む。この溶融物容器は孔が形成されている底壁を含む。CIGの移送領域は、一般的にじょうご形状の通路を含むように構成されて、溶融物容器の孔からの溶融物質を収納する。従来のCIGの一つの構造では、じょうご形状の通路の壁は多数の流体冷却金属部分から形成され、そしてこの流体冷却部分は、移送領域の入口端部から出口端部の方向に断面積が概ね減少する通路の内側の輪郭を形成する。1又はそれ以上の導電性コイルがじょうご形状の通路の壁に結合され、そして電源が導電性コイルと選択的に電気接続する。

【0021】

溶融精製された物質がC I Gの溶融物容器からC I Gの通路を通して流れている期間を通じて、電流が溶融物質を誘導加熱してこれを溶融状態に維持するのに十分な強度で誘導コイルに流される。溶融物質の一部がC I Gのじょうご形状の通路の冷却された壁に接触し、その結果、凝固してスカル (skull: 凝固殻) を生成し、このスカルは、C I Gを通して流れる溶融物の残部が壁に接触することを防止する。壁を冷却してスカルを生成させると、溶融物は、C I Gの内壁を形成する金属又は他の構成成分で汚染されなくなる。この技術分野で公知のように、C I Gのじょうご形状の部分の領域におけるスカルの厚さは、冷却液の温度、冷却液の流量、及びノ又は誘導コイル中の電流強度を適切に調節して、C I Gを通る溶融物の流れを制御するか、又は完全に遮断することにより、制御できる。スカルの厚さが増大するにつれて、移送領域を通る溶融物の流れは相応して減少する。この特徴に関しては、例えば、ここに引用される米国特許 5,649,992 号の全内容が参照される。

【0022】

C I G 装置は種々の形態で提供できるが、これは典型的に下記の事項を含む。即ち (1) 通路は溶融物を導くために重力を利用して与えられる。(2) 通路の壁の少なくとも一つの領域がこの壁上に溶融物のスカルを形成できるように冷却される。そして (3) 導電性コイルが通路の少なくとも一部と結合されて、通路を通過する溶融物質を誘導加熱する。当業者は、更なる検討を要することなく、本発明に従って構成された装置で使用するために、上記 3 種類の特徴の一つ又は全てを有する適切に設計された C I G を容易に提供できる。

【0023】

この C I G は、核化鑄造装置と直接又は間接的に流体で連絡し、そして精製溶融物質を E S R 装置から鑄造装置に移送する。核化鑄造はこの技術分野において公知であり、例えば、参照用に引用される、米国特許 5,381,847 号及び D. E. Tyler と W. G. Watson の “第 2 国際溶射成形会議の議事録” (Olin 金属研究所、1996 年 9 月) に記述される。核化鑄造において、金属物質の液体流は、ガス流の衝突によって、円錐状の噴霧された液滴に分裂又は破壊される。生じた円錐状の液滴は底部及び側壁を有する鑄造型内に案内され、ここで液滴は堆積して、鑄型に従う形状を有するプレフォームを形成する。核化鑄造法で液滴を発生させるために使用されるガスの流速は、個々の液滴内に (溶射成形に比べて) 比較的低い固体の割合を与えるために調節される。これにより、鑄型内に堆積する低粘度の物質が得られる。この低粘度の半固体物質は充満して、鑄型の輪郭に適合する。前記衝突ガス及び衝撃液滴は、鑄物が堆積するにつれて、鑄物の半固体表面に乱流を発生させ、これにより鑄型内の鑄物の均一な堆積が促進される。半固体物質が堆積する場合、この物質の表面上にガスを流しながら、この物質を鑄型内に堆積させることによって、この物質の凝固速度が増大して、微細な結晶粒を有する構造体が生じる。

【0024】

溶融 / 精製装置及び移送装置と共に本発明で 사용되는場合、核化鑄造装置は比較的大きな鑄造プレフォーム、即ち、直径が 16 インチ以上のプレフォームを形成するために使用できる。本発明の装置によって鑄造される消耗性の供給電極は、大容量の溶融物質を核化鑄造装置に長時間にわたって供給するために、移送装置の出口から出た溶融物質の連続流を提供するのに適する寸法を有する。核化鑄造法により良好に鑄造できるプレフォームは偏析しやすい合金を含み、例えば、合金 706、合金 718、合金 720、及び Rene 88 のような複合ニッケル基超合金、チタン合金 (例えば、Ti (6-4) 及び Ti (17))、特定の鋼、および特定のコバルト基合金である。鑄造により偏析しやすいその他の金属物質は当業者に容易に理解されるであろう。このような金属物質のプレフォームは、白点、フレックル、ベータ斑点 (beta flecks) および中心偏析のような鑄造に関係する欠陥を生じることなく核化鑄造によって大直径に形成できる。もちろん、本発明の装置は偏析する傾向がない金属物質のプレフォームを鑄造するのにも使用できる。

【0025】

E S R 及び C I G と同様に、核化鑄造はこの技術分野で公知であり、そして当業者は、

過度の実験をすることなく、本発明の説明を検討した後に、核化鑄造装置を作製できるか、又は既存の装置を本発明のように移送装置からの熔融物を収納できるように適応させることができる。核化鑄造及び溶射成形は共に、熔融流を噴霧化して多数の溶融合金の液滴を形成するために、ガスを使用するが、この２つの方法は基本的な点が相違する。例えば、それぞれの方法に使用される、金属に対するガスの質量比率（これは、ガスのキログラム／金属のキログラム、として測定できる）が相違する。本発明で使用される核化鑄造方法においては、衝撃の前に、鑄型の捕集表面又は各液滴の約３０容量パーセントまで形成されている鑄物の表面が凝固できるように、金属対ガスの質量比率及びフライト距離（flight distance）が選択される。これに対して、典型的な溶射成形法において捕集表面を衝撃する液滴は、例えば、米国特許 5,310,165 号およびヨーロッパ出願 0225732 号に記述されるように、約４０～７０容量パーセントの固体を含有する。約４０～７０容量パーセントのスプレー液滴が固体であることを確保するために、スプレー形成において液滴スプレーの生成に使用される金属対ガスの質量比率は典型的に１以上である。堆積した液滴が鑄型に適合して、空隙が鑄物内に保持されないようにするために、核化鑄造において、固体の比率を低くすることが選択される。溶射成形法に使用される４０～７０容量パーセントの固体比率は、自立性のプレフォームを成形するために選択され、そして核化鑄造法には適合しないであろう。

【００２６】

溶射成形の別の特徴は、溶射成形及び核化鑄造の両方とも噴霧液滴が集まって固体プレフォームになるが、溶射成形において、プレフォームは堆積物質が適合する側壁を欠く回転コレクター上に堆積する。このような捕集方法に基づく重大な欠点は、ガスの捕捉によってプレフォーム内に気孔が生じ、また過剰な溶射によって大きな収量損失が生じることである。溶射成形されたインゴットの気孔は熱温加工を通じて減少するが、この気孔は後の高温熱処理を通じて再び現われる。この現象の一例は超合金中のアルゴンの閉じ込めから生じる気孔であって、これは熱誘導された多孔性試験（ＴＩＰ）を通じて発生し、そして低サイクル疲労破壊の核形成部位として作用する。

【００２７】

また、溶射成形は、大直径のプレフォームを成形する場合、有用性が制限される。このような場合、常に満足な鑄物を得るためには、溶射表面上に半液体層を維持する必要がある。このためには、溶射成形される表面のいかなる部分も、溶射コーンを出て、コレクターの回転軸の周りをコレクターと共に回転し、そして溶射コーンに再度入る過程を通じて、凝固してはならない。（遠心力により与えられる回転速度の制限と組合される）この制限によって、溶射成形可能なプレフォームの直径が限定されていた。例えば、単一のスプレーノズルを備える溶射成形装置のみが約１２インチ未満の直径を有するプレフォームを成形できる。本発明において、発明者は、核化鑄造を使用すると、熔融精製装置及び移送装置を組合わせて調製した熔融金属物質から形成される鑄物の寸法が大幅に増大することを発見した。溶射成形に比べて、核化鑄造法は鑄型に供給した液滴を均一に分布させることができ、それに続いて凝固が急速に起こるため、残留の酸化物及び炭室化物は少なくなつて、プレフォームの微細組織中に細かく分散する。核化鑄造法において、液滴の均一な分布は、例えば、一又はそれ以上の液滴スプレーノズルを走査する（rastering）ことによって、及び／又は鑄型を液滴スプレーに対して適当なパターンで平行移動及び／又は回転させることによって、達成できる。

【００２８】

本発明に従って作製された精製鑄造装置の概略を図２に示す。装置１０は、ＥＳＲ装置２０の形式の熔融し精製する装置、ＣＩＧ４０の形式の移送装置、そして核化鑄造装置６０を包含する。ＥＳＲ装置２０は鑄造される金属物質からなる消耗電極２４と電気接触する電源装置２２を備える。消耗電極２４は、例えば、銅又は他の適当な材料で構成されて底部が開放した水冷容器２６内に配置されたスラグ２８と接触する。電源装置２２は高アンペア数の低電圧電流を、消耗電極２４、スラグ２８及び容器２６を含む回路に供給する。電源装置２２は交流又は直流電流の電源装置であってもよい。電流が回路に流れると、

スラグ 28 の電気抵抗加熱によって、スラグ 28 と接触する消耗電極 24 の端部を溶融するのに十分な高さまで温度が増大する。消耗電極 24 の溶融が始まると、溶融物質の液滴が形成され、そして電極供給装置（図示しない）が、電極の溶融に応じて電極 24 をスラグ 28 中に進めるために使用される。溶融物質の液滴が加熱されたスラグ 28 を通過し、そしてこのスラグ 28 は酸化物の介在物及び他の不純物を溶融物質から除去する。スラグ 28 を通過した後、精製された溶融物質 30 が前記容器 26 の底に溜まる。次いで、精製された溶融物質 30 の貯留物は重力により C I G 40 内の通路 41 に入る。

【0029】

C I G 40 は E S R 装置 20 と密接に結合し、例えば、C I G 40 の上端部は E S R 装置 20 の下端部と直接に連結できる。装置 10 において、容器 26 は E S R 装置 20 の下端部と C I G 装置 40 の上端部との両方を形成する。従って、本発明の精製鑄造装置において、溶融精製装置、移送装置、及び核化鑄造装置は、一又はそれ以上の構成要素を共用できることが、理解される。C I G 装置は電流搬送コイル 42 で囲まれたじょうご形状の移送部分 44 を含む。電流が交流電源（図示しない）からコイル 42 に供給される。コイル 42 は誘導加熱コイルとして作用し、そして移送部分 44 を通過する精製溶融物質 30 を選択的に加熱するために使用される。コイル 42 は、移送部分 44 に結合した導管を通して、水のような適当な冷却液を循環させることにより冷却される。冷却液の冷却効果によって、凝固物質のスカル（図示しない）が移送部分 44 の内壁に形成される。移送部分 44 の加熱及び / 又は冷却は、C I G 40 を通る溶融物質 30 の流れの速度を制御するか、又は溶融物質の流れを完全に中断するために、使用されてもよい。好ましくは、C I G 40 は、E S R 装置 20 を出る溶融精製物質が大気から保護され、そして例えば酸化されないように、E S R 装置 20 と密接に結合される。

【0030】

溶融物質は C I G 40 の底部オリフィス 46 を出て、核化鑄造装置 60 に入る。核化鑄造装置 60 において、適度に不活性な噴霧ガス 61 が噴霧ノズル 62 に供給される。噴霧ノズル 62 を出るガス 61 の流れは溶融物質 30 の流れに衝突し、この流れを破壊して、液滴 64 を形成する。生じた円錐状の液滴 64 は側壁 66 及び基部 67 を含む鑄型 65 に導入される。溶融物質が鑄型 65 内に堆積するときに、基部 67 が回転して、液滴を均一に堆積できる。装置 10 で製造される液滴 64 は従来の溶射鑄造で製造されるものよりも大きい。大きな液滴 64 は、これらが低い酸素含量を示し、そして噴霧用のガス消費量が少ないことにおいて、従来の溶射鑄造よりも優れている。また、核化鑄造装置 60 によって製造される液滴のガス対金属の比率は、溶射成形で従来使用された比率の 2 分の 1 より小さくてもよい。鑄型 66 内に所望の固体対液体の比率を有する半固体物質を提供するために、ガス 61 の流量及び液滴 64 の飛距離が調節される。液体に対する固体の所望の比率は、容量対容量で、5 % ~ 40 % の範囲である。比較的低い固体分比率の液滴を鑄型 66 に導入すると、それが満たされたときに、鑄型 66 の形状に適合する低粘度の半固体物質 68 の堆積が形成される。

【0031】

液滴 64 のスプレーの衝突によって、プレフォーム 72 の上面 70 に乱流帯域が形成される。この乱流帯域の深さは噴霧ガス 61 の速度及び液滴 64 の寸法と速度に依存する。液滴 64 が凝固するとき、所定の物質の格子構造の特徴を有する固体の細粒が液体中に形成される。次いで、各液滴中に形成し始める固体の細粒は、近傍の他の原子がこれらに付着する傾向を示す核として作用する。液滴 64 の凝固を通じて、多くの核が種々の位置で独立して生成し、そしてランダムな結晶方位を示す。原子が次々と繰り返し付着することにより、結晶が互いに交わり始めるまで、それぞれの核から外側に伸びる同じ基本的なパターンの結晶が成長する。本発明では、それぞれの液滴 64 中に十分な核が微細な樹枝状構造物として存在するため、生じるプレフォーム 72 は均一な等軸晶粒から構成される。

【0032】

鑄型 65 内に堆積した物質中に所望の固体比率を維持するために、噴霧点とプレフォーム 72 の上面 70 との間の距離が制御される。従って、本発明の装置 10 は、鑄型 65 の

基部 6 7 に取付けられた伸縮自在の支軸 (stalk) 7 5 を含む距離調節装置を具備できる。物質が堆積して、側壁 6 6 に適合するにつれて、基部 6 7 が連続的に下方に引き込まれ、これによって、噴霧ノズル 6 2 とプレフォーム 7 2 の表面 7 0 との間の距離が維持される。基部 6 7 を下方に引き込むと、凝固したプレフォームの壁の一部が鋳型 6 5 の壁 6 6 の下方に露出する。

【0033】

C I G と核化鋳造装置との単一の組み合わせだけが装置 1 0 に含まれるように示されているが、多重の噴霧スプレー装置が含まれるか又は溶融精製装置 (E S R 装置のような) と一つの鋳型に供給する噴霧スプレー装置との多重の組み合わせが含まれてもよい。例えば、単一の E S R 装置の下流に多重移送装置 / 噴霧ノズルの組み合わせを使用する装置は、多重の噴霧スプレーが鋳型の広い領域を被覆できるため、大きな直径のインゴットを製造できる。また、処理速度が増大し、そしてコストが低下する。あるいは、単一又は多重の E S R 又は他の溶融精製装置は、この溶融精製装置に設けられた単一の供給電極から複数のプレフォームを形成するために、いくつかの鋳型に向けられた複数の噴霧ノズルを有していても良い。

【0034】

本発明の上述の装置 1 0 に対する他の可能な変更は下記を含む。即ち、核化鋳造されるプレフォーム 7 2 を処理を通じて回転させるために、広い表面に液滴スプレーがより均一に分散できるように核化鋳造装置 6 0 を配置する。また、多重噴霧ノズルを単一の鋳型に適用する。また、1 又はそれ以上の噴霧ノズルが往復できるように装置 1 0 を配置する。上述のように、V A R 装置は、消耗電極 2 4 を溶融する E S R 装置 2 0 の代わりに使用できる一つの溶融精製装置である。V A R において、消耗電極は D C 電流の印加により溶融し、そして導電性スラグを通過しない。

【0035】

本発明の装置 1 0 に対するその他の可能な変更は、セラミック又は他の適当な耐火材料の壁で構成された通路を有する部材を、C I G 4 0 の代わりに移送装置として採用して、E S R 装置 2 0 (又は他の溶融精製装置) で溶融した物質を核化鋳造装置 6 0 に移送することである。このような場合には、移送装置内の通路は、通過する物質を加熱する手段を必要としないため、核化鋳造装置 6 0 への溶融物質の流れを調節する上での柔軟性は少ないであろう。

【0036】

また、装置 1 0 は、プレフォーム 7 2 の回収方法を変更して、プレフォーム 7 2 の許容できる表面仕上げを維持できるようにしてもよい。例えば、装置 1 0 は、鋳型 6 5 が往復運動し (即ち、鋳型が上下動し)、鋳型 6 5 が振動し、及び / 又はプレフォーム 7 2 が従来の連続鋳造技術で使用されているような方法で往復運動するように、構成されてもよい。装置 1 0 のその他の可能な変更は、1 又はそれ以上の噴霧ノズルがスプレーを走査させる (raster) ように運動して、プレフォームの表面上の被覆範囲が増大するように、装置を変更することである。装置は 1 又はそれ以上の噴霧ノズルが適当なパターンで動くようにプログラムされてもよい。

【0037】

また、プレフォームの気孔度を最小に維持するために、核化鋳造が行われるチャンバーを、例えば、1 / 3 ~ 2 / 3 気圧のような部分真空に維持してもよい。このチャンバーを部分真空に維持すると、鋳造される物質の純度を良好に維持できる利点もある。また、この物質の純度は、鋳造を保護ガス雰囲気中で実施することにより維持されてもよい。適当な保護ガスとしては、例えば、アルゴン、ヘリウム、水素、及び窒素がある。

【0038】

上述の鋳造装置 1 0 においては、E S R 装置 2 0、移送装置 (C I G 4 0)、及び核化鋳造装置 6 0 は、連続して組合わされた相対的に分離した装置として説明されているが、装置 1 0 は必ずしもこのように構成される必要はないことが理解されるであろう。個々の分離可能な溶融 / 精製装置、移送装置、及び鋳造装置から構成される以外にも、装置 1 0

は、これらの分離し、そしてそれぞれ独立して動作できる装置に分解されることなく、これらの装置のそれぞれの特徴を組み込むことができる。従って、熔融精製装置、移送装置、及び核化鑄造装置に対する添付の特許請求の範囲の記述は、実施可能性を失うことなく、これらの個々の装置群が本発明の装置において分離できることを意味すると解釈されるべきではない。

【 0 0 3 9 】

下記のコンピュータシミュレーション及び実施例によって、本発明の装置及び方法によって与えられる利点を確認される。

実施例 1 - コンピュータシミュレーション

コンピュータシミュレーションは、本発明の装置によって製造されたプレフォームは従来の方法で製造されたインゴットよりも著しく速く冷却することを示す。図 3（鑄造機に対する質量流量が 0.065 kg/s 、又は約 8.5 ポンド/分 ）及び図 4（鑄造機に対する質量流量が 0.195 kg/s ）は、下記の表 1 に示されたパラメーターを使用して、本発明の装置 10 により鑄造されたプレフォームの温度及び液体体積分率に基づく計算された効果を示す。

【 0 0 4 0 】

【表 1】

表1 シミュレートされた鑄造のパラメーター

プレフォームの形状寸法

- ・円筒 20 インチ (508 mm) プレフォームの直径。
- ・流入領域はプレフォームの上面全体を構成する。

核化鑄造装置の動作条件

- ・ 0.065 kg/秒 (類似のVAR法に関して下の脚注1の参考文献に報告されているように) (図3) 及び 0.195 kg/秒 (図4) の質量流量。鑄型内の冷却水の平均温度は 324° K (51°C)
- ・ インゴット上面からの放射熱損失に対する 324° K (51°C) の有効シンク温度。
- ・ 合金は合金の液相線温度で鑄型内に流入する。
- ・ プレフォーム上面からの対流に基づく熱損失係数は、E. J. Lavernia 及び Y. Wu. の “スプレーアトマイゼーション及び堆積” (John Wiley & Sons., 1996) の 311 ~ 314 頁に従って、0.2 の金属対ガス比及び 0 W/m² K の側面を使用する。上記 Lavernia 及び Wu の開示は参考文献として、ここに示される。

プレフォーム物質及び熱物理的性質

- ・ 合金 718。
- ・ それぞれ 1623° K 及び 1473° K の液相線温度及び固相線温度 (下記の脚注1の参考文献で報告されているような)。
- ・ 0.05 (上面) 及び 0.2 (側面) の輻射率。

鑄型への熱伝達に適したモデル

- ・ 鑄型への熱伝達に適したモデルは前記脚注1で述べたようなものであつて、ここで、熱伝達の境界状態は、液相線温度より高い表面プレフォーム温度のための完全接触状態から、固相線温度より低い表面温度のためのギャップ熱伝達状態まで直線的に変化する。
- ・ 20 インチ (508 mm) 直径の鑄型。

(脚注1) L. A. Bertram 等の “超合金VARインゴットの大規模な定量的シミュレーション”、液体金属の加工処理及び鑄造に関する1997年の国際シンポジウムの議事録、A. Mitchell 及び P. Auburtin, eds. (Am. Vac. Soc. 1997)。この文献は参照用に使用する。

【0041】

図3及び図4のグラフで与えられた等温データは、シミュレーションにより得られたプレフォームの表面温度が合金の液相線温度以下であることを示す。図3及び図4に対して計算された最高のプレフォーム温度は、それぞれ 1552° K 及び 1600° K である。従って、スプレーの下プールは半固体であり、そしてこのプールの半固体の性質は図3及び図4のグラフで示される液体比率のデータにより示される。

【0042】

下記の表2はコンピュータシミュレーションの特定の結果を前記脚注1で報告された類

似の寸法のプレフォームのVAR castingの典型的な結果と比較する。表2は、本発明の装置10により作製されたプレフォームの表面上の物質のプールは半固体であるが、これに対し、従来のVAR処理により製造されたものは表面下6インチまで完全に液体であることを示す。従って、特定のプレフォームの寸法に関して、本発明に従って作製された装置により鑄造されたプレフォームの凝固領域から除去される潜熱は実質的に少ない。これは、プールの半固体の性質と相まって、ミクロ偏析、及びフレックル生成の可能性、中心偏析、及び有害なマクロ偏析の生成を最少に抑えるであろう。また、本発明は、白点欠陥の生成、VAR法に固有の欠陥の可能性を完全に除去する。

【0043】

【表2】

表2 本発明とVAR castingインゴットとの比較

加工処理	最高表面温度 °K(°F)	プールの深さ (軸における 液相線の深さ)	表面上の最高 液体体積分率
シミュレーション@ 8.5ポンド/分 質量流量 (核化鑄造によって形成された20インチ直径のプレフォーム)	1552°K (2334°F)	0インチ	0.52
シミュレーション@ 22.5ポンド/分 質量流量 (核化鑄造によって形成された20インチ直径のプレフォーム)	1600°K (2421°F)	0インチ	0.85
標準のVAR@ 8.5ポンド/分 質量流量 (形成された20インチ直径のインゴット)	1640°K (2493°F)	6インチ	1

【0044】

実施例2 - 試験的鑄造

本発明に従って作製された装置を使用して試験的鑄造を実施した。装置100が図5に示され、そしてその大きさを理解するために、全体の高さは約30フィートであった。装置は、一般にESRヘッド110、ESR炉112、CIG114、核化鑄造装置116、そして、鑄造を実施する鑄型120をつかんで動かす材料運搬装置118を備える。また、装置100は124として示される電極を溶融する電力を供給するESR電源122、及びCIG114の誘導加熱コイルに電力を供給するCIG電源126を備える。

【0045】

ESRヘッド110はESR炉112内の電極124の動きを制御する。ESR炉112は典型的な構造であって、長さが約4フィートで直径が14インチの電極を保持できるように構成した。試験的鑄造に使用される合金の場合、このような電極の重量は約2500ポンドであった。ESR炉112はのぞき窓128及び130を有する中空の円筒形銅製容器126を含む。のぞき窓128及び130はスラグ(132で示す)を添加し、そしてESR炉112内の温度を評価するために使用した。CIG114は約10インチの縦の長さを有し、そして冷却液循環通路を含む銅壁によって囲まれて、溶融物質を通す中心孔を含む標準的な構造からなる。この銅壁は、CIG114を通過する物質の温度を制御するための誘導加熱コイルによって囲まれる。

【 0 0 4 6 】

核化鑄造装置 1 1 6 は鑄型 1 2 0 を囲む チャンバー 1 3 6 を備える。チャンバー 1 3 6 は鑄造が実施される保護室素雰囲気中で鑄型 1 2 0 を囲む。チャンバー 1 3 6 の壁は、図 5 において、鑄型 1 2 0 及びチャンバー 1 3 6 内に組み込まれた器具が見えるように、透明で示される。鑄型 1 2 0 は 材料運搬装置 1 1 8 のロボットアーム 1 3 8 の端部に保持される。ロボットアーム 1 3 8 は、核化鑄造装置 1 1 6 のノズルから放射される 1 4 0 で示される溶融物質のスプレーに対して、鑄型 1 2 0 を支持して平行移動させるように、設計される。しかしながら、この試験的鑄造においては、ロボットアーム 1 3 8 は鑄造を通じて鑄型 1 2 0 を平行移動しない。チャンバー 1 3 6 の他の利点は鑄造を通じて生じた過剰のスプレーを集めることである。

【 0 0 4 7 】

供給された溶融物用の加工素材は鑄造物であって、表面が研削された 1 4 インチ直径の V I M 電極であり、表 3 に示した 取鍋の 化学的組成を有する。この電極を図 5 の装置 1 0 0 を用いて 3 3 ポンド / 分の供給速度でエレクトロスラグ再溶解した。E S R 炉 1 1 2 で使用したスラグは、次の組成、即ち、重量パーセントで 5 0 % C a F₂、2 4 % C a O、2 4 % A l₂O₃、2 % M g O を有する。E S R 処理で精製した溶融物を C I G 1 1 4 を通じて核化鑄造装置 1 1 6 に移送した。C I G 1 1 4 は、ガスと水を再循環させて作動させ、C I G 1 1 4 内の溶融物質の温度を制御した。アルゴンガスの噴霧を実施して、核化鑄造装置 1 1 6 内に液滴スプレーを生成させた。核化鑄造装置 1 1 6 内に 組み込まれた噴霧ノズルを用いて達成される最低の 0 . 3 のガス対金属比率を採用した。噴霧された液滴を鑄型 1 2 0 の中央に堆積させた。この鑄型は 1 6 インチ直径、8 インチの深さ (内部の寸法で) を有する冷却されない 1 インチ厚さの鋼鑄型であって、この鑄型の基部の板は K a w o o l 絶縁物で被覆されている。上述のように、鑄型 1 2 0 は、プレフォームが鑄造されるとき、走査されず、また円錐形のスプレーも走査されなかった。

【 0 0 4 8 】

鑄造されたプレフォームから中心線での 板材 を切り出して、分析した。また、中央半径 (mid-radius) 位置の部分から切り出された 2 . 5 × 2 . 5 × 5 インチの 切断片 を 5 インチから 1 . 7 インチの高さまで 1 9 5 0 ° F で アプセット鍛造 して、マクロ偏析に対する エッチング 検査性を向上させた。二つの位置における鑄造プレフォームの化学組成を表 3 に示す。

【 0 0 4 9 】

【表 3】

表 3 取鍋及び鑄造プレフォームの化学組成

	取鍋の 化学組成	プレフォームの 化学組成 (中心)	プレフォームの 化学組成 (表面近傍)
Ni	53.66	53.85	53.65
Fe	17.95	18.44	18.41
Cr	17.95	18.15	18.17
Nb	5.44	5.10	5.16
Mo	2.86	2.78	2.79
Ti	0.98	0.86	0.87
Al	0.55	0.59	0.61
V	0.02	0.02	0.02
Co	0.02	0.05	0.05
Cu	0.01	0.05	0.05
Mn	<0.01	0.03	0.03
Si	<0.01	0.01	0.02
W	<0.01	<0.01	<0.01
Ta	<0.01	<0.01	<0.01
Zr	<0.01	<0.01	<0.01
P	<0.003	0.004	0.003
S	0.0008	<0.0003	<0.0003
O	0.0006	0.0008	0.0008
N	0.0018	0.0038	0.0042
C	0.024	0.023	0.022

【0050】

液相線のプールの深さの指標を付けるために、15分のスプレー運転の14分の時点において溶融したESRプールにスズの添加が行われた。堆積した後の0.25インチ毎にスズの含有量が測定された。液相線と固相線の各々の境界の間の測定された距離は4～5インチと見積もられた。これは、実施例1に記載されたモデルによって予測される浅い溶融したプールを確認するものである。プレフォームの目視検査によって、鑄型の全体を満たすためには堆積される材料は更なる流動性を必要とすることを示す特定の欠陥が明らかになった。ガス対金属の比率を低下させることによって、すなわち噴霧化を行うことなく金属材料の流れを注ぐことによってプレフォームを“ホットトップ”するための試みは行われなかった。プレフォームの内部に欠陥が形成されるのを防ぐために堆積の工程に対して適当な調整を行うことができるだろう。

【0051】

上記の核化鑄造プロセスによって製造されたプレフォームのスプレーされた後の組織お

よび同じ材料からなる直径20インチのVARインゴットからの鑄造後のものの顕微鏡写真をそれぞれ図6と図7に示す。核化鑄造(NC)されたプレフォーム(図6)は、結晶粒界に存在するラーベス相を伴う均一な等軸晶のASTM4.5結晶粒組織を有する。幾つかの結晶粒界に相も現れているが、しかしこれはおそらく、鑄造されたプレフォーム材料に対して行われた機械焼鈍(machining anneal)の間に析出したものである。VARインゴットは大きな結晶粒サイズと大きなラーベス相の容積を有していて、スプレー鑄造された材料よりも大きなラーベス粒子を有する(VARについて40 μ m超、スプレー鑄造について20 μ m未満)。

【0052】

白点やフレックルのような巨視的な偏析に係る欠陥はプレフォームには観察されなかった。結晶粒組織を改良し、また欠陥の発見を容易にするためにマルチ(mult)がアブセット鍛造された。鍛造によって得られた大型プレートは、いかなる巨視的な偏析の欠陥も示さなかった。プレフォーム材料の酸化物と炭化物の分散はVARインゴット材料よりも改質され、それは溶射成形された材料において見いだされるものに類似していた。プレフォームにおいて、炭化物のサイズは2 μ m未満であり、酸化物のサイズは10 μ m未満であった。典型的に、従来のVARによって鑄造された718合金の直径20インチのプレフォームは、顕微鏡組織において6~30 μ mの炭化物と1~3 μ mから300 μ mまでの酸化物を有する。本発明によって鑄造された材料において見いだされる炭化物と酸化物は溶射成形において見いだされるものに典型的なものであるが、しかしそれらは、VARのような他の溶融プロセスにおいて見いだされるものよりも微細である(小さい)。これらの観察によって、本発明の方法は典型的にVARよりもずっと大きい鑄造速度を用いるとしても、本発明の方法においては同等の大きさのインゴットを得る従来のVARインゴット溶融物におけるよりも速い凝固が起こることが確認される。

【0053】

表3に示される化学分析は、いかなる元素成分も示さない。特に、プレフォームにおいてニオブ成分は検出されない。ニオブは特に重要である。というのは、溶射成形されたインゴットにおいてはプレフォームの表面から中心へのこの成分の移動が検出されたからである。表3は、取鍋の化学組成とプレフォームについてのインゴットの化学組成の間の差異を論証する。これらの差異の原因は、化学組成の実際の差異というよりもむしろ、XRF操作において用いられるプレフォーム試料の内部の気孔の存在にある。

【0054】

試験的鑄造の結果に基づけば、鑄型の充填性を向上させて気孔の問題を防止するためには、より低いガス対金属の比率が望ましい。より流動性の高いスプレーの使用はミクロ偏析をある程度増大させるかもしれないが、しかしVARに関する試行において示される広い有益な範囲はそうないかなる増大も許容するはずである。流動性が増大するのに伴って結晶粒のサイズも増大するかもしれないが、しかし新しい液滴の定常的な衝突は高密度の結晶粒核の部位を提供し、それによってプレフォームの内部での大きな結晶粒や柱状晶の形成が防がれる。より大きなスプレー流動性は液滴が鑄型を充填する能力を著しく向上させ、また流動性の高い衝突領域は側壁に再結合する堆積を低減させるだろう。より流動性の高い衝突領域のさらなる利点は、噴霧化ガスが材料から容易に逃散して、その結果気孔が低減することであろう。プレフォームの表面からの噴霧化ガスの脱ガスを促進するために、鑄造を部分真空(例えば1/2大気)下で行ってもよい。ガス対金属の比率を低下させることから生じる炭化物と酸化物のサイズの増大はわずかであろう。従って、液滴のスプレーの流動性の効果的な増大は、結晶粒の組織と第二相の分散にはほとんど影響を及ぼさないだろう。

【0055】

従って、本発明の装置と方法は、偏析を生じさせやすい合金から直径の大きいプレフォームを鑄造する現行の方法の顕著な欠陥を解消する。この溶融精製装置は、有害な酸化物が実質的に存在しない精製された溶融合金の供給源を与える。移動装置は、精製された溶融合金を、酸化物の再汚染の可能性を低下させながら核化鑄造装置へ移動させる方法を提

供する。この核化鑄造装置は、VAR及び/またはスプレー鑄造に伴う鑄造欠陥を生じさせることなく、偏析を生じさせやすい合金から結晶粒が小さくて大直径のインゴットを有利に製造するのに用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】本発明に従う精製及び鑄造方法の一つの態様のブロック図である。

【図2】本発明に従って作製された精製及び鑄造装置の一つの態様の概略図である。

【図3】合金718の溶融物から成るシミュレートされた鑄物に対して計算されたパラメータを示すグラフであって、この場合、図2で概略的に示されたように構成された精製鑄造装置が使用され、そして8.5ポンド/分の質量流量で作動させた。

【図4】合金718の溶融物から成るシミュレートされた鑄物に対して計算されたパラメータを示すグラフであって、この場合、図2で概略的に示されたように構成された精製鑄造装置が使用され、そして25.5ポンド/分の質量流量で作動させた。

【図5】実施例2の試験的鑄造で使用された本発明の装置の態様を示す。

【図6】本発明に従って作製された装置を用いて鑄造されたインゴットのスプレーされたままの中央部縦方向の顕微鏡写真（約50倍の倍率）であって、ASTM4.5の等軸結晶粒組織を示す。

【図7】20インチ直径のVARインゴットから得た鑄造したままの顕微鏡写真（約50倍の倍率）である。