

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6746458号
(P6746458)

(45) 発行日 令和2年8月26日 (2020.8.26)

(24) 登録日 令和2年8月7日 (2020.8.7)

(51) Int.Cl.

F 0 2 C 7/00 (2006.01)

F 1

F 0 2 C 7/00

D

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2016-198776 (P2016-198776)
 (22) 出願日 平成28年10月7日 (2016.10.7)
 (65) 公開番号 特開2018-59471 (P2018-59471A)
 (43) 公開日 平成30年4月12日 (2018.4.12)
 審査請求日 令和1年9月9日 (2019.9.9)

(73) 特許権者 514030104
 三菱日立パワーシステムズ株式会社
 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3
 番1号
 (73) 特許権者 591163960
 大阪冶金興業株式会社
 大阪府大阪市東淀川区瑞光4丁目4番28
 号
 (74) 代理人 110002147
 特許業務法人酒井国際特許事務所
 (72) 発明者 吉田 大助
 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3
 番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会
 社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービン翼の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ヒータを有する所定の加熱炉内にろう材が配置されたタービン翼の母材を配置した状態で前記ヒータを作動させて第1温度で加熱し、前記ろう材を溶融させて前記母材に接合するろう付け処理を行うことと、

前記ろう付け処理の後、前記ヒータを停止させることで炉内温度を低下させて前記母材を冷却する徐冷を行うことと、

前記徐冷の後、前記母材を前記第1温度よりも低い第2温度で加熱して前記母材の溶体化処理を行うことと

を含み、

前記母材のうち前記タービン翼のコンタクト面に相当する部分に前記母材よりも耐摩耗性の高い金属材料を用いて第1コートを形成することと、

前記母材よりも耐酸化性の高い金属材料を用いて前記母材の表面に第2コートを形成することと、をさらに含み、

前記ろう付け処理は、前記第1コート又は前記第2コートを形成した後に行うタービン翼の製造方法。

【請求項 2】

前記徐冷によって前記炉内温度が所定温度に到達した後、前記加熱炉内に冷却用の気体を供給することで前記母材を冷却する急冷を行うことをさらに含み、

前記溶体化処理は、前記急冷の後に行う請求項1に記載のタービン翼の製造方法。

10

20

【請求項 3】

ヒータを有する所定の加熱炉内にろう材が配置されたタービン翼の母材を配置した状態で前記ヒータを作動させて第 1 温度で加熱し、前記ろう材を溶融させて前記母材に接合するろう付け処理を行うことと、

前記ろう付け処理の後、前記ヒータを停止させることで炉内温度を低下させて前記母材を冷却する徐冷を行うことと、

前記徐冷の後、前記母材を前記第 1 温度よりも低い第 2 温度で加熱して前記母材の溶体化処理を行うことと

を含み、

前記母材のうち前記タービン翼のコンタクト面に相当する部分に前記母材よりも耐摩耗性の高い金属材料を用いて第 1 コートを形成することと、

前記母材よりも耐酸化性の高い金属材料を用いて前記母材の表面に第 2 コートを形成することと、

前記徐冷によって前記炉内温度が所定温度に到達した後、前記加熱炉内に冷却用の気体を供給することで前記母材を冷却する急冷を行うことと、をさらに含み、

前記第 1 コート及び前記第 2 コートの形成は、前記ろう付け処理と、前記徐冷と、前記急冷とを行った後に行い、

前記溶体化処理は、前記第 1 コート及び前記第 2 コートを形成した後に行う

タービン翼の製造方法。

【請求項 4】

前記母材の表面に、前記第 2 コートとしてアンダーコートを形成することと、

前記アンダーコートを形成した後、前記アンダーコートの表面にトップコートを形成することと、をさらに含み、

前記トップコートの形成は、前記ろう付け処理及び前記溶体化処理を行った後に行う請求項 1 又は請求項 3 に記載のタービン翼の製造方法。

【請求項 5】

前記アンダーコートの形成は、前記ろう付け処理及び前記溶体化処理を行った後に行う請求項 4 に記載のタービン翼の製造方法。

【請求項 6】

前記溶体化処理の後、前記母材を加熱して時効処理を行うことをさらに含み、

前記トップコートの形成は、前記時効処理の後に行う請求項 5 に記載のタービン翼の製造方法。

【請求項 7】

前記徐冷によって前記炉内温度が前記第 2 温度よりも低い第 3 温度に到達した後、前記ヒータを作動させて前記炉内温度を前記第 2 温度まで上昇させる調整処理を行うことをさらに含む請求項 1 に記載のタービン翼の製造方法。

【請求項 8】

前記徐冷は、 $3 \text{ } ^\circ\text{C/min}$ 以上、 $20 \text{ } ^\circ\text{C/min}$ 以下の温度低下速度で前記母材の温度を低下させることを含む請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載のタービン翼の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、タービン翼の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービンは、圧縮機と燃焼器とタービンとを有している。圧縮機は、空気を取り込んで圧縮し、高温高圧の圧縮空気とする。燃焼器は、この圧縮空気に対して燃料を供給して燃焼させる。タービンは、車室内に複数の静翼及び動翼が交互に配置されている。ター

10

20

30

40

50

ピンは、圧縮空気の燃焼により発生した高温高圧の燃焼ガスによって動翼が回転する。この回転により、熱エネルギーが回転エネルギーに変換される。

【0003】

静翼や動翼といったタービン翼は、高温下に曝されるため、耐熱性の高い金属材料を用いて形成される。タービン翼を製造する場合、例えば特許文献1に記載のように、鑄造や鍛造等によって母材を形成した後、母材に対して所定の加熱処理を行う（例えば、特許文献1参照）。また、母材にろう付け処理を行う場合、つまり、母材にろう材を配置して加熱することによってろう材を溶融させて接合する処理を行う場合には、ろう付け処理の後、母材を冷却し、その後母材に対して所定の加熱処理を行う（例えば、特許文献2参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2003-34853号公報

【特許文献2】特開2002-103031号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献2に記載の製造方法では、ろう付け処理の後、母材に対して冷却用の気体を供給することにより、所定の冷却温度まで急激に低下させている（急冷）。しかしながら、この急冷によるろう材の急激な凝固収縮によってろう付け部にボイド等が生じる場合がある。

【0006】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、ろう付け部分の品質向上を図ることが可能なタービン翼の製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明に係るタービン翼の製造方法は、ヒータを有する所定の加熱炉内にろう材が配置されたタービン翼の母材を配置した状態で前記ヒータを作動させて第1温度で加熱し、前記ろう材を溶融させて前記母材に接合するろう付け処理を行うことと、前記ろう付け処理の後、前記ヒータを停止させることで炉内温度を低下させて前記母材を冷却する徐冷を行うことと、前記徐冷の後、前記母材を前記第1温度よりも低い第2温度で加熱して前記母材の溶体化処理を行うこととを含む。

【0008】

本発明によれば、ろう付け処理を行った後、徐冷によって母材を冷却するため、ろう付け部分にボイド等が生じることを抑制できる。これにより、ろう付け部分の品質向上を図ることができる。また、徐冷によって母材を冷却することにより、析出する相を十分に成長させることができ、かつ相が成長し過ぎることを抑制できる。これにより、母材の強度及び延性の低下を抑制できる。

【0009】

また、前記母材のうち前記タービン翼のコンタクト面に相当する部分に前記母材よりも耐摩耗性の高い金属材料を用いて第1コート进行形成することと、前記母材よりも耐酸化性の高い金属材料を用いて前記母材の表面に第2コート进行形成することと、をさらに含み、前記ろう付け処理は、前記第1コート又は前記第2コートを形成した後に行ってもよい。

【0010】

本発明によれば、ろう付け処理及び溶体化処理が、第1コート及び第2コートを構成する原子を拡散させることで密着性を向上させる拡散処理を兼ねた処理として行うことができる。これにより、加熱処理の効率化を図ることができる。

【0011】

また、前記徐冷によって前記炉内温度が所定温度に到達した後、前記加熱炉内に冷却用の気体を供給することで前記母材を冷却する急冷を行うことをさらに含み、前記溶体化処

10

20

30

40

50

理は、前記急冷の後に行ってもよい。

【0012】

本発明によれば、徐冷によってボイド等の発生が抑制された状態で急冷を行うため、ろう付け部分の品質を維持しつつ、冷却時間の短縮化を図ることができる。

【0013】

また、前記母材のうち前記タービン翼のコンタクト面に相当する部分に前記母材よりも耐摩耗性の高い金属材料を用いて第1コート进行形成することと、前記母材よりも耐酸化性の高い金属材料を用いて前記母材の表面に第2コート进行形成することと、前記徐冷によって前記炉内温度が所定温度に到達した後、前記加熱炉内に冷却用の気体进行供給することと、前記母材を冷却する急冷を行うことと、をさらに含み、前記第1コート及び前記第2コートの形成は、前記ろう付け処理と、前記徐冷と、前記急冷とを行なった後に行い、前記溶体化処理は、前記第1コート及び前記第2コートを形成した後に行ってもよい。

10

【0014】

本発明によれば、ろう付け処理を行なった後、徐冷によって母材を冷却してから溶体化処理を行うため、ろう付け部分にボイド等が生じることを抑制できる。これにより、ろう付け部分の品質向上を図ることができる。また、徐冷の後、所定温度に到達した後、急冷で冷却することにより、冷却処理が短時間で行われることになる。

【0015】

また、前記母材の表面に、前記第2コートとしてアンダーコートを形成することと、前記アンダーコートを形成した後、前記アンダーコートの表面にトップコートを形成することと、をさらに含み、前記トップコートの形成は、前記ろう付け処理及び前記溶体化処理を行なった後に行ってもよい。

20

【0016】

本発明によれば、アンダーコートを形成した後、ろう付け処理及び溶体化処理がトップコートの形成前に行うため、加熱処理を短時間で効率的に行うことができると共に、トップコートの割れを抑制できる。

【0017】

また、前記アンダーコートの形成は、前記ろう付け処理及び前記溶体化処理を行なった後に行ってもよい。

【0018】

本発明によれば、ろう付け処理及び溶体化処理を行なった後にアンダーコートを形成し、その後、トップコートを形成することになる。このように、アンダーコートを形成してからトップコートを形成するまでに、熱処理等の他のプロセスを行わないため、アンダーコートの表面に異物等が付着することを抑制できる。異物等が表面に付着するとアンダーコートのアンカー効果が低下する。これに対して、本変形例では、異物等の付着を抑制することでアンカー効果の低下を抑制できる。これにより、アンダーコートとトップコートの密着性が低下するのを防止できる。

30

【0019】

また、前記溶体化処理の後、前記母材を加熱して時効処理を行うことをさらに含み、前記トップコートの形成は、前記時効処理の後に行ってもよい。

40

【0020】

本発明によれば、トップコートを形成する場合において、トップコートに斑点やクラック等が形成されることを抑制しつつ、ろう付け部分の品質向上を図ることが可能となる。

【0021】

また、前記徐冷によって前記炉内温度が前記第2温度よりも低い第3温度に到達した後、前記ヒータを作動させて前記炉内温度を前記第2温度まで上昇させる調整処理を行うことをさらに含んでもよい。

【0022】

本発明によれば、第1温度から第2温度を経て第3温度に変化する連続した加熱処理を効率的に行うことができる。

50

【0023】

また、前記溶体化処理の後、前記母材を加熱して時効処理を行うことと、前記時効処理の後、前記第2コートの表面にトップコートを形成することと、をさらに含んでもよい。

【0024】

本発明によれば、トップコートを形成する場合において、トップコートに斑点やクラック等が形成されることを抑制しつつ、ろう付け部分の品質向上を図ることが可能となる。

【0025】

また、前記徐冷は、3 /min以上、20 /min以下の温度低下速度で前記母材の温度を低下させることを含んでもよい。

【0026】

本発明によれば、徐冷において、3 /min以上の温度低下速度で母材の温度を低下させるため、母材の強度の低下を抑制しつつ、処理時間の長時間化を抑制することができる。また、20 /min以下の温度低下速度で母材の温度を低下させるため、ろう付け部分の品質低下を抑制しつつ、母材の延性の低下を抑制することができる。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、ろう付け部分の品質向上を図ることが可能なタービン翼の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】図1は、第1実施形態に係るタービン翼の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図2】図2は、ろう付け処理及び溶体化処理を連続して行う場合の加熱温度の時間変化の一例を示すグラフである。

【図3】図3は、第2実施形態に係るタービン翼の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図4】図4は、ろう付け処理における加熱温度の時間変化の一例を示すグラフである。

【図5】図5は、変形例に係るタービン翼の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図6】図6は、変形例に係るタービン翼の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図7】図7は、比較例1に係るタービン翼の母材について、 γ' 相の析出状態を示す顕微鏡写真である。

【図8】図8は、比較例2に係るタービン翼の母材について、 γ' 相の析出状態を示す顕微鏡写真である。

【図9】図9は、実施例に係るタービン翼の母材について、 γ' 相の析出状態を示す顕微鏡写真である。

【図10】図10は、比較例2に係るタービン翼の母材のろう付け部分及びその近傍を示す顕微鏡写真である。

【図11】図11は、比較例2に係るタービン翼の母材のろう付け部分を拡大して示す顕微鏡写真である。

【図12】図12は、実施例に係るタービン翼の母材のろう付け部分及びその近傍を示す顕微鏡写真である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明に係るタービン翼の製造方法の実施形態を図面に基いて説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。また、下記実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。

【0030】

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、第 1 実施形態に係るタービン翼の製造方法の一例を示すフローチャートである。図 1 に示すように、第 1 実施形態に係るタービン翼の製造方法は、例えばガスタービンの静翼や動翼といったタービン翼の母材を形成する工程（ステップ S 1 0）と、母材に対して熱間静水圧処理を行う工程（ステップ S 2 0）と、母材の表面に耐摩耗コート（第 1 コート）を形成する工程（ステップ S 3 0）と、母材及び耐摩耗コートの表面に耐酸化コート（第 2 コート）を形成する工程（ステップ S 4 0）と、母材にろう付け処理及び溶体化処理を行う工程（ステップ S 5 0）と、母材に時効処理を行う工程（ステップ S 6 0）とを含む。

【 0 0 3 1 】

ステップ S 1 0 では、静翼や動翼等のタービン翼を構成する母材が形成される。このようなタービン翼の一例として、例えばシュラウド付き動翼等が挙げられる。シュラウド付き動翼は、所定方向、例えばタービンのロータの回転方向に複数並んで配置されており、コンタクト面を有している。

【 0 0 3 2 】

タービン翼は、ガスタービンにおいて高温下に曝される。このため、タービン翼を構成する母材は、耐熱性に優れた合金、例えば Ni 基合金等の材料を用いて形成される。Ni 基合金としては、例えば Cr : 1 2 . 0 % 以上 1 4 . 3 % 以下、Co : 8 . 5 % 以上 1 1 . 0 % 以下、Mo : 1 . 0 % 以上 3 . 5 % 以下、W : 3 . 5 % 以上 6 . 2 % 以下、Ta : 3 . 0 % 以上 5 . 5 % 以下、Al : 3 . 5 % 以上 4 . 5 % 以下、Ti : 2 . 0 % 以上 3 . 2 % 以下、C : 0 . 0 4 % 以上 0 . 1 2 % 以下、B : 0 . 0 0 5 % 以上 0 . 0 5 % 以下、を含有し、残部が Ni および不可避不純物からなる組成の Ni 基合金等が挙げられる。また、上記組成の Ni 基合金に、Zr : 0 . 0 0 1 p p m 以上 5 p p m 以下を含有してもよい。また、上記組成の Ni 基合金に、Mg および / または Ca : 1 p p m 以上 1 0 0 p p m 以下を含有してもよく、さらに Pt : 0 . 0 2 % 以上 0 . 5 % 以下、Rh : 0 . 0 2 % 以上 0 . 5 % 以下、Re : 0 . 0 2 % 以上 0 . 5 % 以下のうちの 1 種または 2 種以上を含有してもよく、これら双方を含有してもよい。

【 0 0 3 3 】

母材は、上記材料を用いて鋳造や鍛造などによって形成される。鋳造によって母材を形成する場合、例えば普通鋳造材 (Conventional Casting : C C)、一方向凝固材 (Direct ional Solidification : D S)、単結晶材 (Single Crystal : S C) 等の母材を形成することができる。以下、母材として普通鋳造材が用いられる場合を例に挙げて説明するが、これに限定するものではなく、母材が一方向凝固材又は単結晶材であってもよい。

【 0 0 3 4 】

ステップ S 2 0 における熱間静水圧処理 (Hot Isostatic Pressing : H I P) は、母材をアルゴンガスの雰囲気中に配置した状態で、例えば 1 1 8 0 以上 1 2 2 0 以下の温度で加熱する。これにより、母材の全表面に対して等しく圧力が加えられた状態で加熱される。熱間静水圧処理が完了した後、加熱を停止する (徐冷) ことにより母材の温度を低下させる。なお、ステップ S 2 0 の後に、後述する溶体化処理と同様の処理を行ってもよい。

【 0 0 3 5 】

ステップ S 3 0 では、母材のうち、動翼のコンタクト面に相当する部分に耐摩耗コート (第 1 コート) を形成する。耐摩耗コートとしては、例えばトリパロイ (登録商標) 8 0 0 等のコバルト基耐摩耗材を用いることができる。ステップ S 3 0 では、例えば大気圧プラズマ溶射、高速フレイム溶射、減圧プラズマ溶射、雰囲気プラズマ溶射等の手法により、母材のうちコンタクト面に相当する部分に上記材料の層を形成することができる。

【 0 0 3 6 】

ステップ S 4 0 では、母材の表面に耐酸化コート (第 2 コート) を形成する。耐酸化コートの材料としては、例えば母材よりも耐酸化性の高い M C r A l Y 等の合金材料を用いることができる。ステップ S 4 0 では、例えば母材の表面を加熱した後、上記合金材料等

10

20

30

40

50

を母材の表面に溶射することで耐酸化コートを形成する。

【0037】

ステップS50では、母材にろう付け処理を行い、徐冷した後に溶体化処理を行う。ろう付け処理は、母材にろう材を配置した状態で加熱することにより、ろう材を母材に溶融させて接合する処理である。ろう材としては、例えばアムドライ（登録商標）DF-6A等の材料が用いられる。この場合、ろう材の液相線温度は、例えば1155 程度である。ろう付け処理に用いられるろう材の量については、実験等を行うことで予め調整しておく。ろう付け処理では、ろう材を溶融させることが可能な第1温度（ T_1 ）、例えば1175 以上、1215 以下の温度で加熱処理を行うことができる。

【0038】

溶体化処理は、母材を加熱することにより、母材において金属間化合物である γ' 相を固溶及び成長させる処理である。溶体化処理では、例えばろう付け処理における加熱温度よりも低い第2温度（ T_2 ）、例えば1100 以上、1140 以下の温度で加熱処理を行うことができる。

【0039】

図2は、ステップS50の加熱処理における加熱温度の時間変化の一例を示すグラフである。図2の横軸は時間を示し、縦軸は温度を示している。ステップS50では、まず、ろう付け処理を行う。ろう付け処理は、母材にろう材を配置した状態で所定の加熱炉に投入し、加熱炉のヒータを作動させて加熱を開始する（時刻 t_1 ）。加熱炉の炉内温度（加熱温度）が上記の第1温度 T_1 に到達した場合（時刻 t_2 ）、炉内温度の上昇を停止し、当該第1温度 T_1 で所定時間、加熱処理を行う。これにより、ろう材が溶融して母材に接合される。

【0040】

なお、母材を加熱炉に投入した後、炉内温度を所定の予熱温度にまで上昇させて、所定時間、当該予熱温度での加熱処理（予熱処理）を行ってもよい。この場合の予熱温度は、ろう材の液相線温度よりも低い温度に設定され、例えば1100 とすることができる。予熱処理を行うことにより、母材及びろう材の温度が全体的に均一に上昇し、各部位における温度差が低減する。予熱処理を所定時間行った場合、予熱処理後に炉内温度を第1温度 T_1 まで上昇させてろう付け処理を行う。

【0041】

ろう付け処理が所定時間行われた後（時刻 t_3 ）、例えばヒータを停止させることにより母材の温度を3 /min以上、20 /min以下程度の温度低下速度で、溶体化処理における第2温度 T_2 よりも低い第3温度 T_3 まで低下させる（徐冷）。なお、徐冷において、例えば加熱炉内に冷却用の気体を供給することで温度低下速度を調整してもよい。第3温度 T_3 としては、例えば980 以上、1020 以下の温度とすることができる。徐冷で冷却することにより、ろう付け部分にボイド等が生じることが抑制される。

【0042】

徐冷により炉内温度が第3温度 T_3 に到達した後、炉内温度を上昇させる調整処理を行う（時刻 t_4 ）。調整処理は、ヒータを作動させることにより、炉内温度を第2温度 T_2 まで上昇させる。炉内温度が第2温度 T_2 まで上昇した場合（時刻 t_5 ）、炉内温度の上昇を停止させ、加熱炉内を第2温度 T_2 とした状態で溶体化処理を行う。溶体化処理が所定時間行われた後、例えばヒータを停止させ、加熱炉内に冷却用の気体を供給する（時刻 t_6 ）。冷却用の気体を供給することにより、母材の温度を例えば30 /min程度の温度低下速度で所定の冷却温度まで急激に低下させる（急冷）。この急冷処理により、 γ' 相の状態（粒径等）が保持される。炉内温度が所定の温度になった後（時刻 t_7 ）、加熱炉内から母材を取り出すことで、ステップS50が終了する。

【0043】

なお、ステップS50の加熱処理により、耐摩耗コート及び耐酸化コート母材の表面に拡散され、母材の表面と各コートとの間の密着性が向上する。

【0044】

ステップS 6 0における時効処理は、溶体化処理を行った母材を加熱することにより、母材において、溶体化処理で成長した γ' 相をさらに成長させると共に、当該溶体化処理で生じた γ' 相よりも小径の γ' 相を析出させる。この小径の γ' 相は、母材の強度を増加させる。したがって、時効処理は、小径の γ' 相を析出させ、母材の強度を高めることにより、最終的に母材の強度及び延性を調整する。時効処理では、例えば830℃以上、870℃以下の温度とすることができる。時効処理を所定時間行った後、加熱炉のヒータを停止させ、加熱炉内に冷却用の気体を供給することにより母材の温度を例えば30℃/min程度の温度低下速度で急激に低下させる（急冷）。

【0045】

以上のように、本実施形態に係るタービン翼の製造方法は、ろう付け処理を行った後、徐冷によって母材を冷却してから溶体化処理を行うため、ろう付け部分にボイド等が生じることを抑制できる。これにより、ろう付け部分の品質向上を図ることができる。また、本実施形態に係るタービン翼の製造方法は、ろう付け処理及び溶体化処理を連続して行うため、加熱処理の時間短縮及び工程の簡素化を図ることができる。

【0046】

<第2実施形態>

図3は、第2実施形態に係るタービン翼の製造方法における拡散処理の一例を示すフローチャートである。第2実施形態に係るタービン翼の製造方法は、ろう付け処理の順序が第1実施形態とは異なっている。

【0047】

図3に示すように、本実施形態に係るタービン翼の製造方法は、タービン翼の母材を形成する工程（ステップS 110）と、母材に対して熱間静水圧処理を行う工程（ステップS 120）と、母材にろう付け処理を行う工程（ステップS 130）と、母材の表面に耐摩耗コート（第1コート）を形成する工程（ステップS 140）と、母材及び耐摩耗コートの表面に耐酸化コート（第2コート）を形成する工程（ステップS 150）と、母材に溶体化処理を行う工程（ステップS 160）と、母材に時効処理を行う工程（ステップS 170）とを含む。ステップS 110及びステップS 120は、第1実施形態におけるステップS 10及びステップS 20と同様であるため、説明を省略する。

【0048】

図4は、ステップS 130の加熱処理における加熱温度の時間変化の一例を示すグラフである。図4の横軸は時間を示し、縦軸は温度を示している。ステップS 130では、第1実施形態におけるろう付け処理及び徐冷と同様の処理を行う（時刻t1からt3）。徐冷で冷却することにより、ろう付け部分にボイド等が生じることが抑制される。その後、母材温度が例えば第3温度T3（例えば980℃以上、1020℃以下の温度）に到達した場合に、加熱炉内に冷却用の気体を供給することにより母材の温度を例えば30℃/min程度の温度低下速度で急激に低下させる（急冷）。急冷で冷却することにより、冷却処理が短時間で行われることになる。炉内温度が所定の温度になった後（時刻t8）、加熱炉内から母材を取り出すことで、ステップS 130が終了する。

【0049】

その後、ステップS 140及びステップS 150は、第1実施形態におけるステップS 30及びS 40と同様の処理を行う。

【0050】

ステップS 160では、耐酸化コートを形成した後の母材を所定の加熱炉に投入し、第1実施形態と同様に第2温度T2（例えば1100℃以上、1140℃以下の温度）で溶体化処理を行う。溶体化処理において母材が加熱されることにより、 γ' 相が固溶及び成長する。また、耐摩耗コート及び耐酸化コートが母材の表面に拡散され、母材の表面と各コートとの間の密着性が向上する。溶体化処理の後、加熱炉のヒータを停止させ、加熱炉内に冷却用の気体を供給することにより母材の温度を例えば30℃/min程度の温度低下速度で急激に低下させる（急冷）。

【0051】

ステップS 1 7 0 は、第 1 実施形態におけるステップS 6 0 と同様の処理を行う。

【 0 0 5 2 】

以上のように、本実施形態に係るタービン翼の製造方法は、ろう付け処理を行った後、徐冷によって母材を冷却してから溶体化処理を行うため、ろう付け部分にボイド等が生じることを抑制できる。これにより、ろう付け部分の品質向上を図ることができる。また、徐冷の後、所定温度（例えば、第 3 温度 T 3 ）に到達した後、急冷で冷却することにより、冷却処理が短時間で終わることになる。

【 0 0 5 3 】

本発明の技術範囲は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更を加えることができる。例えば、上記実施形態では、トップコートが形成されない場合を例に挙げて説明したが、これに限定するものではなく、トップコートを形成する場合についても本発明の適用が可能である。

【 0 0 5 4 】

図 5 は、変形例に係るタービン翼の製造方法の一例を示すフローチャートである。図 5 に示すように、変形例に係るタービン翼の製造方法は、普通鋳造材を用いて母材を形成する工程（ステップS 2 1 0 ）と、母材に対して熱間静水圧処理を行う工程（ステップS 2 2 0 ）と、母材の表面に耐摩耗コートを形成する工程（ステップS 2 3 0 ）と、母材及び耐摩耗コートの表面にアンダーコートを形成する工程（ステップS 2 4 0 ）と、母材にろう付け処理及び溶体化処理を行う工程（ステップS 2 5 0 ）と、母材に時効処理を行う工程（ステップS 2 6 0 ）と、母材にトップコートを形成する工程（ステップS 2 7 0 ）とを含んでいる。ステップS 2 1 0 からステップS 2 3 0 は、第 1 実施形態におけるステップS 1 0 及びステップS 2 0 と同様であるため、説明を省略する。

【 0 0 5 5 】

ステップS 2 4 0 では、母材の表面にアンダーコートを形成する。アンダーコートは、タービン翼を高温から保護するための遮熱コーティング（Thermal Barrier Coating : T B C ）の一部である。アンダーコートは、母材の酸化を防止すると共にトップコートの密着性を向上させる。アンダーコートの材料としては、例えば母材よりも耐酸化性の高い M C r A l Y 等の合金材料を用いることができる。ステップS 2 4 0 では、例えば母材の表面を加熱した後、上記合金材料等を母材の表面に溶射することでアンダーコートを形成する。なお、母材の表面にアンダーコートを形成する前に、例えば母材の表面にアルミナ（ $A l _ 2 O _ 3$ ）を吹き付けることにより、母材表面を粗面化させてもよい。これにより、アンカー効果によって、母材とアンダーコートの密着性が向上する。なお、ブラスト処理の後、母材の表面を洗浄するクリーニング処理を行ってもよい。

【 0 0 5 6 】

その後、ステップS 2 5 0 及びステップS 2 6 0 は、第 1 実施形態におけるステップS 5 0 及びS 6 0 と同様の処理を行う。ステップS 2 5 0 及びステップS 2 6 0 の加熱処理を行うことにより、アンダーコートが粗面化された母材の表面に拡散され、母材の表面とアンダーコートとの間の密着性が向上する。

【 0 0 5 7 】

ステップS 2 7 0 では、アンダーコートの表面にトップコートを形成する。トップコートは、上記遮熱コーティングの一部であり、母材の表面を高温から保護する。トップコートの材料としては、セラミック等の熱伝導率の小さい材料が用いられる。セラミックとしては、例えばジルコニアを主成分とする材料等が用いられる。ステップS 2 7 0 では、例えば上記材料をアンダーコートの表面に大気プラズマ溶射することにより形成される。

【 0 0 5 8 】

上記タービン翼の製造方法は、母材にトップコートを形成する前にろう付け処理、溶体化処理及び時効処理を行うため、トップコートに斑点やクラック等が生じることを抑制できる。これにより、遮熱コーティングに斑点やクラック等が生じることを抑制しつつ、ろう付け部分の品質向上を図ることが可能となる。

【 0 0 5 9 】

また、図5の例では、アンダーコートを形成した後にろう付け処理及び溶体化処理を行う場合を例に挙げて説明したが、これに限定するものではない。図6は、変形例に係るタービン翼の製造方法を示すフローチャートである。図6に示すように、変形例に係るタービン翼の製造方法は、ステップS210からステップS230については図5に示す例と同様であるが、ステップS230の後にろう付け処理及び溶体化処理を行い（ステップS250A）、ろう付け処理及び溶体化処理の後にアンダーコートを形成する（ステップS240A）という点で、図5に示す例とは異なっている。アンダーコートを形成した後は、熱処理を行うことなく、トップコートを形成する（ステップS270A）。また、トップコートを形成した後は、図5に示す例と同様、時効処理を行う（ステップS260A）。

10

【0060】

図6に示す例のように、アンダーコートを形成した後、トップコートを形成する前に、熱処理等の他のプロセスを行わないようにすることで、アンダーコートの表面に異物等が付着することを抑制できる。異物等が表面に付着するとアンダーコートのアンカー効果が低下する。これに対して、本変形例では、異物等の付着を抑制することでアンカー効果の低下を抑制できる。これにより、アンダーコートとトップコートの密着性が低下するのを防止できる。

【実施例】

【0061】

次に、本発明の実施例を説明する。本実施例では、上記実施形態で説明した組成のNi基合金を用いてタービン翼の母材を複数鋳造した。複数の母材は、普通鋳造材（CC材）として形成した。この複数の母材のうち、第1実施形態において図2に示す温度変化でろう付け処理及び溶体化処理を連続して行ったものを実施例とした。実施例は、第1温度T1を1195とし、第2温度T2を1120とし、第3温度T3を1000とした。また、時効処理を850で行った。

20

【0062】

また、複数の母材のうち、熱間静水圧処理を行った後、ろう付け処理を行わずに溶体化処理を行い、各コートを形成した後に、時効処理を行ったものを比較例1とした。比較例では、溶体化処理をそれぞれ1120で行った。また、時効処理を850で行った。溶体化処理、時効処理の後、それぞれ急冷にて冷却を行った。

30

【0063】

また、複数の母材のうち、熱間静水圧処理（及び溶体化処理）を行い、ろう付け処理を行った後、溶体化処理及び時効処理を行ったものを比較例2とした。比較例2は、ろう付け処理を1195で行い、溶体化処理を1120で行い、時効処理を850で行った。また、ろう付け処理、溶体化処理及び時効処理の後、それぞれ急冷にて冷却を行った。

【0064】

図7は、比較例1に係るタービン翼の母材について、 γ' 相の析出状態を示す顕微鏡写真である。図8は、比較例2に係るタービン翼の母材について、 γ' 相の析出状態を示す顕微鏡写真である。図9は、実施例に係るタービン翼の母材について、 γ' 相の析出状態を示す顕微鏡写真である。

40

【0065】

図7に示すように、比較例1に係る母材においては、溶体化処理によって成長した γ' 相と、時効処理において析出した小径の γ' 相とがバランスよく存在している。これに対して、図8に示すように、比較例2に係る母材においては、比較例1に係る母材に比べて、溶体化処理において成長した γ' 相の径が小さく、母材の延性を十分に確保できない状態となっている。なお、 γ' 相は、ろう付け処理の冷却時に析出及び成長する。しかしながら、比較例2ではろう付け処理の冷却が急冷であるため、 γ' 相が十分に成長せず、径が小さくなっている。

【0066】

50

一方、図 9 に示すように、実施例に係る母材においては、比較例 1 と同様に、溶体化処理によって析出して成長した γ' 相と、時効処理において析出した小径の γ' 相とがバランスよく存在している。実施例 1 では、ろう付け処理の冷却が徐冷であり、比較例 1 における熱間静水圧処理後の冷却と同様である。したがって、 γ' 相は、比較例 1 と同様にバランスよく存在することになる。

【0067】

したがって、本実施例によれば、ろう付け処理の後、徐冷によって母材を冷却することにより、ろう付け部分の品質向上を図ることができることに加えて、ろう付け処理後の徐冷によって析出し溶体化処理で成長した γ' 相と、時効処理で析出した小径の γ' 相とがバランスよく含まれることになる。

10

【0068】

図 10 は、比較例 2 に係るタービン翼の母材のろう付け部分及びその近傍を示す顕微鏡写真である。図 11 は、比較例 2 に係るタービン翼の母材のろう付け部分を拡大して示す顕微鏡写真である。図 12 は、実施例に係るタービン翼の母材のろう付け部分及びその近傍を示す顕微鏡写真である。

【0069】

図 10 及び図 11 に示すように、比較例 2 に係るタービン翼の母材のろう付け部分は、ボイドが多く形成されている。これに対して、図 12 に示すように、実施例に係るタービン翼の母材のろう付け部分にはボイドがほとんど見られない。このように、本実施例によれば、ろう付け部分の品質向上を図ることができる。

20

【符号の説明】

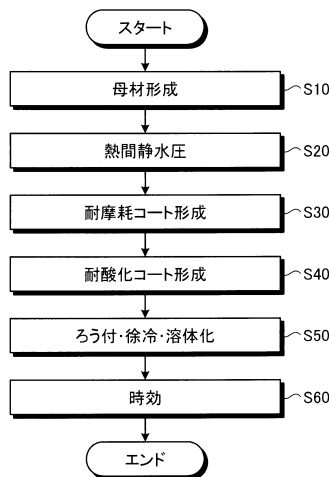
【0070】

T 1 第 1 温度

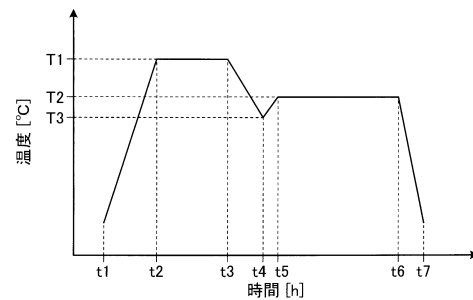
T 2 第 2 温度

T 3 第 3 温度

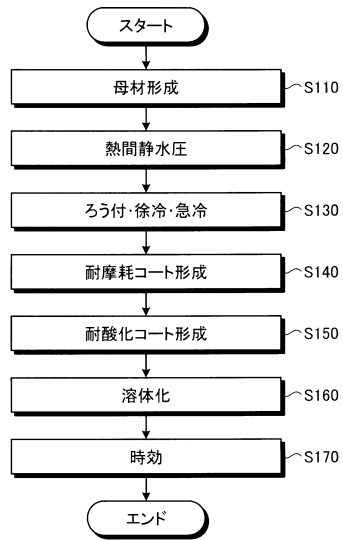
【図 1】



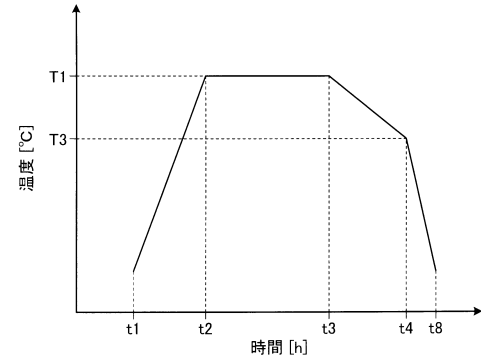
【図 2】



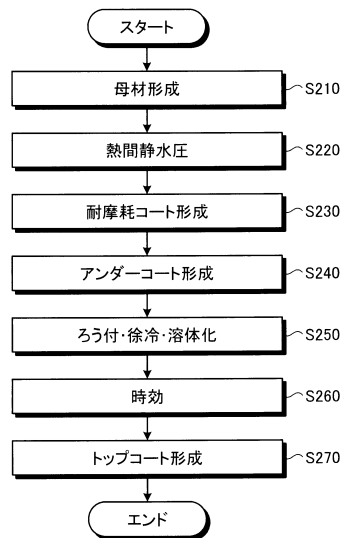
【図 3】



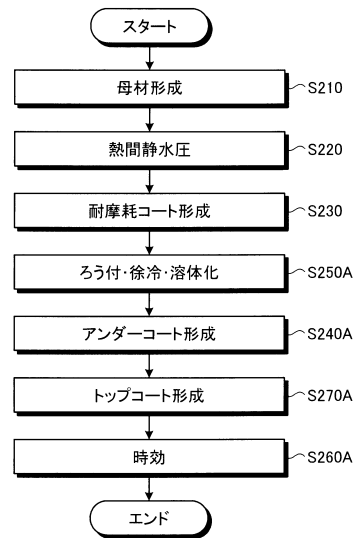
【図 4】



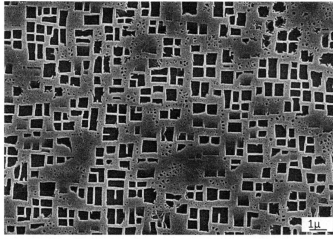
【図 5】



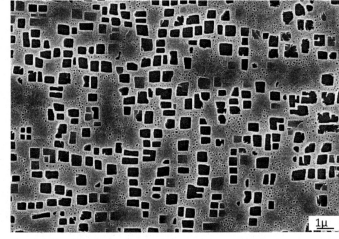
【図 6】



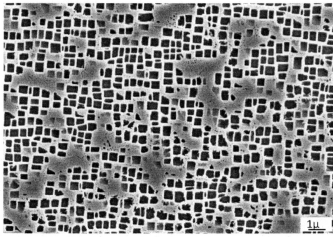
【図 7】



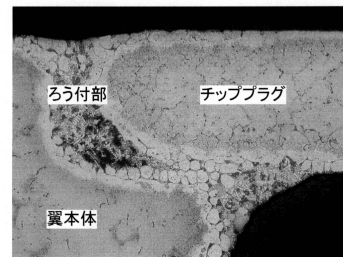
【図 9】



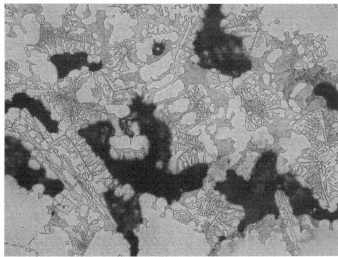
【図 8】



【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

- (72)発明者 西澤 和人
神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内
- (72)発明者 種池 正樹
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 永野 一郎
神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内
- (72)発明者 岡矢 尚俊
神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内
- (72)発明者 井上 義之
神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内
- (72)発明者 河合 久孝
大阪府大阪市東淀川区瑞光四丁目4番28号 大阪冶金興業株式会社内
- (72)発明者 北垣 壽
大阪府大阪市東淀川区瑞光四丁目4番28号 大阪冶金興業株式会社内

審査官 谿花 正由輝

- (56)参考文献 特開平07-083001(JP,A)
特開平04-220167(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F02C 7/00