

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5653653号
(P5653653)

(45) 発行日 平成27年1月14日 (2015. 1. 14)

(24) 登録日 平成26年11月28日 (2014. 11. 28)

(51) Int. Cl.

F I

C 2 1 D 9/00 (2006. 01)
 C 2 2 C 38/00 (2006. 01)
 C 2 1 D 6/00 (2006. 01)
 F 0 4 D 29/28 (2006. 01)

C 2 1 D 9/00 P
 C 2 2 C 38/00 3 O 2 H
 C 2 1 D 6/00 1 O 2 U
 F 0 4 D 29/28 R

請求項の数 13 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2010-111204 (P2010-111204)
 (22) 出願日 平成22年5月13日 (2010. 5. 13)
 (65) 公開番号 特開2011-236491 (P2011-236491A)
 (43) 公開日 平成23年11月24日 (2011. 11. 24)
 審査請求日 平成24年11月26日 (2012. 11. 26)

(73) 特許権者 000006208
 三菱重工業株式会社
 東京都港区港南二丁目16番5号
 (73) 特許権者 000003713
 大同特殊鋼株式会社
 愛知県名古屋市中区東桜一丁目1番10号
 (74) 代理人 100134544
 弁理士 森 隆一郎
 (74) 代理人 100064908
 弁理士 志賀 正武
 (74) 代理人 100108578
 弁理士 高橋 詔男
 (74) 代理人 100126893
 弁理士 山崎 哲男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

二相ステンレス鋼からなる素材に、少なくとも溶体化処理を施して回転機械部品用素材を製造する方法であって、

前記素材は、最大肉厚が300mm以下の円板状素材であり、

前記円板状の素材に厚さ方向で貫通孔を形成した後、前記溶体化処理として、前記素材を950～1100の範囲の温度に加熱した後、この温度から700迄の平均冷却速度を20/min以上として冷却することを特徴とする回転機械部品用素材の製造方法。

【請求項 2】

前記溶体化処理における平均冷却速度が30/min以上であることを特徴とする請求項1に記載の回転機械部品用素材の製造方法。

【請求項 3】

前記素材に対して前記溶体化処理、機械加工を施した後、さらに、530～570の範囲の温度で焼鈍処理を施すことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の回転機械部品用素材の製造方法。

【請求項 4】

前記焼鈍処理の時間を1～12hの範囲とすることを特徴とする請求項3に記載の回転機械部品用素材の製造方法。

【請求項 5】

10

20

請求項 1 ~ 請求項 4 の何れか 1 項に記載の製造方法によって製造されることを特徴とする回転機械部品用素材。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の回転機械部品用素材に、所定の加工処理を施すことによって得られることを特徴とする回転機械部品。

【請求項 7】

二相ステンレス鋼からなる素材に、少なくとも溶体化処理を施した後、所定の加工処理を施して回転機械部品を製造する方法であって、

前記素材は、最大肉厚が 300 mm 以下の円板状素材であり、

前記円板状の素材に厚さ方向で貫通孔を形成した後、前記溶体化処理として、前記素材を 950 ~ 1100 の範囲の温度に加熱した後、この温度から 700 迄の平均冷却速度を 20 / min 以上として冷却することを特徴とする回転機械部品の製造方法。

【請求項 8】

前記溶体化処理における平均冷却速度が 30 / min 以上であることを特徴とする請求項 7 に記載の回転機械部品の製造方法。

【請求項 9】

前記素材に対して所定の加工処理を施した後、さらに、530 ~ 570 の範囲の温度で焼鈍処理を施すことを特徴とする請求項 7 又は請求項 8 に記載の回転機械部品の製造方法。

【請求項 10】

前記焼鈍処理の時間を 1 ~ 12 h の範囲とすることを特徴とする請求項 9 に記載の回転機械部品の製造方法。

【請求項 11】

請求項 7 ~ 請求項 10 の何れか 1 項に記載の製造方法によって製造されることを特徴とする回転機械部品。

【請求項 12】

請求項 6 又は請求項 11 に記載の回転機械部品が備えられてなることを特徴とする回転機械。

【請求項 13】

請求項 6 又は請求項 11 に記載の回転機械部品がインペラであり、該インペラが備えられてなることを特徴とする遠心圧縮機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、例えば、遠心圧縮機等の回転機械は、ガスタービンにおけるタービンへのガスの供給や、油田からの原油採掘の際に地中にガスを注入する処理等に使用される。このような回転機械に用いられる部品には大きな負荷が作用するため、例えば、インペラ等の回転機械部品の材質には高強度の金属材料が用いられる。

【0003】

一方、油井環境など使用される遠心圧縮機においては、供給流体であるプロセスガス中に、金属材料の腐食を促進させる成分、例えば、硫化水素 (H_2S)、二酸化炭素 (CO_2) あるいは塩素 (Cl) 等が多く含まれており、これらのガスが溶解した腐食水溶液にインペラが接触する。このため、遠心圧縮機の駆動時に大きな負荷が掛かるインペラでは、上述のような腐食成分によって腐食が生じ、ひいては応力腐食割れが発生して破断に至る虞がある。

【0004】

10

20

30

40

50

上述のような油性環境に耐え得る材料としては、例えば、オーステナイト系ステンレス鋼やNi基合金等が挙げられ、これらの金属材料が油性管等に用いられている。しかしながら、これらの材料は強度が低いため、遠心圧縮機のインペラ等、回転機械に用いられる部品には適用できないという問題がある。

このため、従来、遠心圧縮機のインペラ用の材料としては、例えば、17-4PH等の析出硬化マルテンサイト系ステンレス鋼や、SUSF6NM等のマルテンサイト系ステンレス鋼等が適用されている。しかしながら、これらの材料も、耐食性は決して高くなく、上記同様、腐食成分によって腐食や応力腐食割れが発生する虞がある。

【0005】

また、インペラに用いる金属材料として、耐食性を有するSUS329J4Lに類似する材料等を採用することが提案されている（例えば、非特許文献1を参照）。しかしながら、非特許文献1に記載されたような材料を用いたとしても、流体中に含まれる腐食成分の割合が高くなった場合には、上記同様、腐食や応力腐食割れが発生する虞がある。

また、インペラの材料として、耐食性と強度を兼備するInconel718等の析出硬化Ni基合金を採用することも考えられる。しかしながら、上述のような析出硬化Ni基合金は高価であり、製造コストが上昇するという問題がある。

【0006】

ここで、二相ステンレス鋼は、実用上、十分な耐食性及び強度を有し、比較的安価な金属材料として知られている（例えば、特許文献1～3を参照）。このため、近年、遠心圧縮機のインペラ等の回転機械部品用の材料として、二相ステンレス鋼が好適に用いられるようになっている。

しかしながら、上述のような二相ステンレス鋼をインペラ等の回転機械部品に用いた場合、以下に説明するような問題がある。

【0007】

まず、二相ステンレス鋼では、部品製造時の溶接処理や各種熱処理工程等において、450～1000程度の温度で等温保持あるいは徐冷した場合に、475ぜい性やぜい性が生じる。このため、素材の靱性が低下し、当該部品の製造工程や、遠心圧縮機等の回転機械の運転時、割れが発生し易くなるという問題がある。

【0008】

また、二相ステンレス鋼からなる素材に溶体化処理を施し、次いで、部品製造時の溶接処理や機械加工処理を行った後に行なう焼鈍処理においては、残留応力を効果的に除去するため、一般に、可能な限り高温で加熱することが好適であることが知られている。

しかしながら、二相ステンレス鋼素材を高温で保持した場合、475ぜい性やぜい性が生じるため、上記同様、当該部品の製造工程や回転機械の運転時に割れが発生し易くなるという問題がある（図9のグラフも参照）。このため、従来、溶接処理や機械加工処理後に行なう焼鈍処理においては、通常の熱処理時間では残留応力の除去に不十分な300～400の温度で熱処理が行なわれている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特公昭58-053062号公報

【特許文献2】特公昭59-014099号公報

【特許文献3】特許第3227734号公報

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】Francois Milet 他、SUPERDUPLEX STAINLESS STEEL USE IN MANUFACTURING HIGHLY SOUR GAS CENTRIFUGAL COMPRESSORS、「THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS」、アメリカ合衆国、1996年、96-GT-272

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

ここで、本発明者等が鋭意研究したところ、図9のグラフに示すように、300～400の温度で二相ステンレス鋼の焼鈍処理を行なった場合には、高い靱性（グラフ中の実線を参照）が得られる一方で、残留応力（グラフ中の破線を参照）の破線が除去され難くなることが明らかとなった。このため、上記条件で焼鈍処理が施されたインペラ等の回転機械部品は、内部に高い残留応力が保持された状態となり、回転機械の運転時に亀裂や疲労破壊等が生じる虞があった。

これに対し、400以上の温度で二相ステンレス鋼の焼鈍処理を行なった場合には、残留応力が十分に低減される一方で靱性が低下する。このため、上記条件で焼鈍処理が施されたインペラ等の回転機械部品は、上記同様、当該部品の製造工程や回転機械の運転時に割れが発生し易くなるという問題があった。

【0012】

また、従来、回転機械部品を製造する際は、素材供給元において金属材料素材を鋳造及び鍛造処理することで、一旦、丸棒状のブルームを製造する。その後、部品加工元において、ブルームに対して自由鍛造及び型鍛造等を施すことにより、インペラ形状等の回転機械部品に形成している。ここで、ブルームの径が大き過ぎる場合、溶体化処理において厚肉素材の中心付近における冷却速度が遅くなるため、二相ステンレス鋼ではぜい化相が析出する虞がある。このため、一般に、ブルームの最大径は300mm程度とし、素材表面から中心部までの寸法を一定以下とすることで冷却速度を確保し、溶体化処理におけるぜい化相の析出を防止していた。しかしながら、上述のように、ブルームの径を300mm以下とした場合には、部品加工元において、鍛造処理によって形成されるインペラの形状が制約を受けるという問題があった。

【0013】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、低い残留応力と高い靱性とが両立でき、腐食成分が含まれた流体が供給された場合であっても、腐食や応力腐食割れが生じるのが抑制された回転機械部品を製造することが可能な回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機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】

【0014】

上記課題を解決するため、本発明では以下の構成を採用した。

即ち、本発明に係る回転機械部品用素材の製造方法は、二相ステンレス鋼からなる素材に、少なくとも溶体化処理を施して回転機械部品用素材を製造する方法であって、前記素材は、最大肉厚が300mm以下の円板状素材であり、前記円板状の素材に厚さ方向で貫通孔を形成した後、前記溶体化処理として、前記素材を950～1100の範囲の温度に加熱した後、この温度から700迄の平均冷却速度を20/min以上として冷却することを特徴とする。

また、本発明に係る回転機械部品用素材の製造方法においては、前記平均冷却速度を30/min以上とすることがより好ましい。

【0015】

係る構成の回転機械部品用素材の製造方法によれば、溶体化処理を上記条件として行うことにより、ぜい化相の析出を抑制し、高い靱性を備える回転機械部品用素材を製造することができる。

また、二相ステンレス鋼材料である鋳塊から、回転機械部品に近似した寸法形状まで直接鍛造して素材形成することで、ぜい化相の析出が抑制されて靱性に優れ、厚肉且つ大径の回転機械部品を構成することが可能な回転機械部品用素材を製造することができる。

【0016】

また、本発明に係る回転機械部品用素材の製造方法は、前記素材に対して前記溶体化処

10

20

30

40

50

理、機械加工を施した後、さらに、530～570 の範囲の温度で焼鈍処理を施すことを特徴とする。

また、本発明に係る回転機械部品用素材の製造方法は、前記焼鈍処理の時間を1～12 h、より好ましくは4～8 hの範囲とすることを特徴とする。

係る構成の回転機械部品用素材の製造方法によれば、上記条件の焼鈍処理を行なうことにより、素材の残留応力が低減され、且つ、高い靱性を有する回転機械部品用素材を製造することができる。

【0018】

また、本発明に係る回転機械部品用素材は、上記製造方法によって製造されることを特徴とする

10

また、本発明に係る回転機械部品は、上記回転機械部品素材に所定の加工処理を施すことによって得られることを特徴とする。

係る構成の回転機械部品用素材並びに回転機械部品によれば、上記製造方法によって得られる回転機械部品用素材であり、また、この回転機械部品用素材を使用して得られる回転機械部品なので、低い残留応力と高い靱性との両立が可能となる。

【0019】

また、本発明に係る回転機械部品の製造方法は、二相ステンレス鋼からなる素材に、少なくとも所定の温度で溶体化処理を施した後、所定の加工処理を施して回転機械部品を製造する方法であって、前記素材は、最大肉厚が300 mm以下の円板状素材であり、前記円板状の素材に厚さ方向で貫通孔を形成した後、前記溶体化処理として、前記素材を950～1100 の範囲の温度に加熱した後、この温度から700 迄の平均冷却速度を20 /min以上として冷却することを特徴とする。

20

また、本発明に係る回転機械部品の製造方法においては、前記平均冷却速度を30 /min以上とすることがより好ましい。

【0020】

係る構成の回転機械部品の製造方法によれば、上記同様、溶体化処理を上記条件として行なうことにより、ぜい化相の析出を抑制し、高い靱性を備える回転機械部品を製造することができる。

また、上記同様、二相ステンレス鋼材料である鋳塊から、回転機械部品に近似した寸法形状まで直接鍛造して素材を形成した後、各種加工処理を施すことで、ぜい化相の析出が抑制されて靱性に優れ、厚肉且つ大径の回転機械部品を構成することが可能となる。

30

【0021】

また、本発明に係る回転機械部品の製造方法は、前記素材に対して所定の加工処理を施した後、さらに、530～570 の範囲の温度で焼鈍処理を施すことを特徴とする。

また、本発明に係る回転機械部品の製造方法は、前記焼鈍処理の時間を1～12 hの範囲とすることを特徴とする。

係る構成の回転機械部品の製造方法によれば、上記条件の焼鈍処理を行なうことにより、上記同様に、素材の残留応力が低減され、且つ、高い靱性を有する回転機械部品を製造することができる。

【0023】

40

また、本発明に係る回転機械部品は、上記製造方法によって製造されることを特徴とする。

係る構成の回転機械部品によれば、上記製造方法によって得られるものなので、低い残留応力と高い靱性との両立が可能となる。

【0024】

また、本発明に係る回転機械は、上記回転機械部品が備えられてなることを特徴とする。

また、本発明に係る遠心圧縮機は、上記回転機械部品がインペラであり、該インペラが備えられてなることを特徴とする。

係る構成の回転機械並びに遠心圧縮機によれば、上記製造方法によって得られる回転機

50

械部品（インペラ）が備えられたものなので、腐食成分によって生じる腐食や応力腐食割れが抑制され、運転時における割れ等の発生を防止することが可能となる。

【発明の効果】

【0025】

本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法によれば、上記構成により、ぜい化相の析出を抑制し、高い靱性を備える回転機械部品用素材及びそれを用いてなる回転機械部品の製造することが可能となる。またさらに、上記構成の製造方法によって焼鈍処理を施した場合には、素材の残留応力が低減され、且つ、高い靱性を有する回転機械部品用素材及びそれを用いてなる回転機械部品の製造することが可能となる。

また、本発明の回転機械並びに遠心圧縮機によれば、上記製造方法によって得られる回転機械部品、インペラが用いられたものなので、腐食成分によって生じる腐食や応力腐食割れが抑制され、機械運転時における割れ等の発生を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機の一例を模式的に説明する図であり、回転機械部品の一例であるインペラが用いられてなる遠心圧縮機を示す概略断面図である。

【図2】本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機の一例を模式的に説明する図であり、図1に示す遠心圧縮機に備えられ、回転機械部品の一例であるインペラの間一品状態を示す概略斜視図である。

【図3】本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機の一例を模式的に説明する図であり、焼鈍温度に対する素材の靱性及び残留応力の関係を表すグラフである。

【図4】本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機の一例を模式的に説明する図であり、鋼材鋳塊から回転機械部品に近似した寸法形状まで直接鍛造して形成した場合の回転機械部品用素材を示す概略断面図である。

【図5】本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機の一例を模式的に説明する図であり、回転機械部品用素材を水冷した際の処理時間と温度との関係を示す冷却曲線（冷却速度）グラフである。

【図6】本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機の一例を模式的に説明する図であり、溶体化処理における平均冷却速度と素材の相（ぜい化相）面積比率との関係を示すグラフである。

【図7】本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機の一例を模式的に説明する図であり、1050 から700 の間の必要冷却速度及び熱処理最大厚みと、耐孔食性指数（P・I値）との関係を示すグラフである。

【図8】本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機の一例を模式的に説明する図であり、焼鈍温度と素材のシャルピー衝撃値との関係を表すグラフである。

【図9】従来の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法を説明する図であり、焼鈍温度に対する素材の靱性及び残留応力の関係を表すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明に係る回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品並びに遠心圧縮機を実施するための形態について、遠心圧縮機に用いられるインペラの製造方法を例にして、図1～図8を適宜参照しながら説明す

10

20

30

40

50

る。

なお、以下の説明において参照する各図面は、主として、遠心圧縮機に用いられるインペラ（回転機械部品）を説明するための図面であり、図示される各部の大きさや厚さや寸法等は、実際の寸法関係とは異なっていることがある。

【0028】

〔遠心圧縮機（回転機械）〕

図1は、本実施形態の製造方法によって得られるインペラ（回転機械部品）1が用いられてなる遠心圧縮機の一例を示す断面図である。この遠心圧縮機10は、流体であるプロセスガスGを圧縮するものであり、外郭をなすケーシング11と、該ケーシング11に回転可能に支持されて図示略の駆動部によって回転するロータ12と、ケーシング11内部でロータ12に同軸に取り付けられた複数のインペラ1とを備える。ここで、ロータ12を回転させる駆動部としては、電動モータや、タービンなど、用途により様々なものが選択可能である。

10

【0029】

図1に示す例の遠心圧縮機10は、ケーシング11の両側に、それぞれジャーナル軸受11a及びスラスト軸受11bが設けられており、ロータ12の回転軸12aは、これらジャーナル軸受11a及びスラスト軸受11bに回転可能に支持されている。また、ケーシング11は、ロータ12及びインペラ1の周囲に各インペラ1との間に連続した複数の作動室11cを形成するとともに、その両側には、作動室11cと連通するようにして、プロセスガスGが流入する吸込口11dと、流出する吐出口11eとが設けられている。

20

上記構成とされた遠心圧縮機10においては、回転運動によってプロセスガスGを圧縮するインペラ1が、吸込口11dから流入したプロセスガスG並びに該プロセスガスGが溶解した水溶液等に接触する構成とされている。

【0030】

『インペラ（回転機械部品）』

インペラ1は、図1に示す例においては、略円盤状の本体部1aに複数の羽根1bが放射状に立設され、該羽根1bの先端にシュラウド1cが取り付けられて構成されている。そして、本体部1aと、シュラウド1cと、隣り合う羽根1b同士とにより形成される流路1dによって、圧縮対象の流体であるプロセスガスGを、径方向内側で軸方向に流入させ、径方向外側に向かって排出することが可能となっている。

30

【0031】

インペラ1を形成するインペラ材料としては、プロセスガスGを圧縮する際に大きな負荷が作用するため、一般に、ステンレス鋼等の高強度の金属材料が選択される。また、後述するように、プロセスガスGに腐食成分が含まれているような油井環境下において使用する場合には、二相ステンレス鋼等の強度及び耐食性の両方を有する金属材料を採用することが好ましい。なお、本発明において用いられる二相ステンレス鋼としては、例えば、SUS329J1、SUS329J3L、並びに、SUS329J4L相当材等が挙げられる。

本実施形態のインペラ1は、後述の製造方法によって得られる回転機械部品用素材に対し、少なくとも機械加工並びに必要に応じて溶接処理を施すか、あるいは、後述の回転機械部品の製造方法によって得られるものである。

40

【0032】

〔回転機械部品用素材の製造方法〕

以下に、本実施形態の回転機械部品用素材の製造方法について、上述のインペラ1を形成するための素材を例に説明する。

本実施形態の回転機械部品用素材（図4の符号Aを参照）の製造方法は、二相ステンレス鋼からなる素材に、少なくとも溶体化処理を施す方法であり、該溶体化処理は、前記素材を950～1100の範囲の温度に加熱した後、この温度から700迄の平均冷却速度を20/min以上として冷却する方法である。

【0033】

50

本実施形態の製造方法で用いる二相ステンレス鋼からなる素材としては、特に限定されないが、上述したような、SUS329J1、SUS329J3L並びにSUS329J4L相当材等からなる素材を用いることが、強度及び耐食性の点から好ましい。

【0034】

本実施形態の製造方法は、まず、上記金属材料からなる鋳塊から、例えば、ブルームと呼ばれる棒状の素材、あるいは、後述するような、厚さが規定範囲とされた円筒状の素材を形成する。そして、この素材に対し、以下に説明するような各種熱処理を施すことにより、その機械的特性を改善するものである。

【0035】

ここで、本発明において説明する溶体化処理とは、合金固有の温度に高温加熱した後、急冷する処理を行なうことにより、低温において通常は析出する合金元素を基本金属元素に固溶させたままの状態とすることで、合金の機械的特性を高める処理であり、固溶化処理あるいは焼入れ処理とも呼ばれる。このような溶体化処理を行なうことにより、金属材料の靱性を向上させることが可能となる。

なお、ステンレス鋼の場合、溶体化処理における高温加熱温度は、一般に950～1100の範囲とされ、概ね1050の温度がより好適とされる。本実施形態の製造方法においては、素材を上記温度で加熱して溶体化処理を行なうことにより、素材に475ぜい性やぜい性等のぜい化相が析出するのが抑制され、高い靱性を備える回転機械部品用素材を製造することができる。溶体化処理における加熱温度が上記温度範囲を外れると、上述したような焼入れ効果が得られ難くなる虞がある。

【0036】

また、本実施形態の溶体化処理においては、上記温度に高温加熱した素材を、この温度から700まで冷却する際、平均冷却速度を20/min以上とすることが好ましく、30/min以上とすることがより好ましい。溶体化処理における平均冷却速度を上記速度とすることにより、平均冷却速度が遅い場合に比べてぜい化相の析出を効果的に抑制することができ、素材の靱性を向上させることが可能となる（図6及び図7に示すグラフも参照）。この際の冷却方法としては、水冷による方法を何ら制限無く採用することができる。

溶体化処理における平均冷却速度が20/min未満だと、素材中に析出するぜい化相が増加し、素材の靱性が低下してしまう。

【0037】

また、本実施形態の回転機械部品用素材の製造方法においては、素材に対して上記条件の溶体化処理を施した後、さらに、530～570の範囲の温度で焼鈍処理を施すことがより好ましい。素材に対し、上記温度条件による焼鈍処理を施すことにより、素材の残留応力が低減され、且つ、高い靱性を有する回転機械部品用素材を製造することが可能となる。

【0038】

本発明者等は、回転機械部品用素材の製造工程における焼鈍処理について、鋭意検討を行なった。この結果、図3のグラフに示すように、焼鈍処理における温度を530～570の範囲とすることにより、高い素材靱性が確保できるとともに、残留応力が十分に低減されることを見出した。

焼鈍処理の温度が530未満だと、図3に示すように、素材の靱性は高くなるものの、残留応力が低減されず、強度特性の低い素材となる虞がある。また、焼鈍処理の温度が570を超えると、素材中の残留応力は低減されるものの、靱性も低下するため、製造工程や運転時において割れ等が生じ易くなる虞がある。

また、焼鈍処理における温度は、概ね550程度とすることが、上記効果がより安定的に得られる点から好適である。

【0039】

また、上記温度条件で焼鈍処理を行なう時間としては、1～12hの範囲とすることが好ましく、4～8hの範囲とすることがより好ましい。温度を上記範囲とし、さらに、処

10

20

30

40

50

理時間を上記範囲として焼鈍処理を行なうことにより、上述のような、素材中における残留応力の低減と、靱性向上の両方の効果が安定的に得られる。また、上記温度条件で焼鈍処理を行なう時間としては、概ね4 h程度とすることがより好ましい。

【0040】

また、本実施形態では、上記金属材料からなる素材が円板状素材であり、厚さ寸法が300 mm以下であることがより好ましい(図4中の回転機械部品用素材Aを参照)。

本実施形態で説明する遠心圧縮機用のインペラ等のような、回転機械に用いられる回転機械部品は、通常、回転軸方向における厚さが概ね300 mm以下とされている。本実施形態では、まず、二相ステンレス鋼材料である鋳塊から、インペラ(回転機械部品)1に近似した寸法形状まで直接鍛造して素材形成した後、上記条件の溶体化処理を施すことにより、上述した溶体化(焼入れ)効果がより得られやすくなる。これにより、ぜい化相の析出が抑制されて靱性に優れ、厚肉且つ大径のインペラ(回転機械部品)を構成することが可能な回転機械部品用素材Aを製造することができる。

10

【0041】

従来、回転機械部品を製造する際は、鍛造や機械加工等で成形した薄肉の部材を、各々溶接で接合することで製造していた。このような場合には、薄板や小径棒状のブルームを素材として用いるため、素材の鍛造や熱処理段階において、ぜい化相が析出する可能性は低かった。一方、大径のインペラや、流路穴が加工される一体型のインペラにおいては厚肉の素材が必要となるが、このような場合、溶体化処理において厚肉素材の中心付近における冷却速度が遅くなるため、ぜい化相が析出してしまう。このため、回転機械部品の靱性が低下し、製造時や完成後の運転時に割れ等が発生する可能性があった。

20

本実施形態の製造方法では、まず、溶体化処理における平均冷却速度を、ぜい化相の析出を効果的に防止できる速度に規定している。そして、本実施形態では、上記平均冷却速度を規定したうえで、水冷等による焼入れ(溶体化処理における冷却)において上記平均冷却速度を満たすことが可能な肉厚として、素材の最大肉厚を300 mmに制限することがより好ましい。このような素材を用いることにより、ぜい化相が析出せず、且つ、高い靱性を有するインペラ(回転機械部品)を製造することが可能となる。

【0042】

またさらに、本実施形態では、図4に示す例のように、上記寸法並びに形状とされた円板状の素材Aに対し、厚さ方向で貫通孔(ボス孔)Bを形成した後、上記条件の溶体化処理を施すことがさらに好ましい。このように、予め、円板状の素材Aに貫通孔Bを形成することにより、図5のグラフに示すように、溶体化処理における冷却速度が向上するので、上述のような、ぜい化相析出の抑制効果がより安定的に得られる。なお、図5のグラフにおいては、貫通孔B有りの場合と貫通孔無しの場合の各々において2つの曲線を示しているが、これは、回転機械部品用素材の厚さ方向で測定位置を変えた場合について示すものである。

30

【0043】

[インペラ(回転機械部品)の製造方法]

以下に、本実施形態のインペラ(回転機械部品)の製造方法について、上記同様に、遠心圧縮機10に用いられるインペラ1を形成する場合を例に説明する。なお、以下の説明において、例えば各種熱処理条件等、上述した本実施形態の回転機械部品用素材の製造方法と共通する構成については、その詳しい説明を省略する。

40

【0044】

本実施形態のインペラ(図1中のインペラ1及び図2のインペラ中間品1Aを参照)の製造方法は、二相ステンレス鋼からなる素材に、少なくとも溶体化処理を施した後、機械加工並びに必要な応じて溶接処理を施す方法であり、前記溶体化処理は、素材を950~1100の範囲の温度に加熱した後、この温度から700迄の平均冷却速度を20/min以上として冷却する方法である。

【0045】

本実施形態のインペラの製造方法における溶体化処理は、上述した回転機械部品用素材

50

の製造方法と同様の条件としている。本実施形態では、上記同様の条件で素材に溶体化処理を施した後、所定の加工処理、例えば、機械加工、塑性加工又は溶接処理等を適宜施してインペラ 1 を形成する方法とすることで、素材に 475 ぜい性や ぜい性等のぜい化相が析出するのが抑制され、高い靱性を備えるインペラ 1 を製造することができる。また、本実施形態においては、溶体化処理における平均冷却速度を 30 /min 以上とすることがより好ましい。

【0046】

また、本実施形態では、溶体化処理後の素材に対して上述のような所定の加工処理を施した後、さらに、上述した回転機械部品用素材の製造方法と同様の条件である、530～570 の範囲の温度で焼鈍処理を施すことがより好ましい。また、上記温度による焼鈍処理の時間を 1～12 h の範囲とすることがさらに好ましい。

このような方法とすることにより、インペラ 1 をなす素材内部の残留応力が低減され、且つ、高い靱性を有するインペラ 1 を製造することが可能となる。

【0047】

またさらに、本実施形態では、上述した回転機械部品用素材の製造方法と同様、素材を円板状素材とし、その厚さ寸法を 300 mm 以下とすることがより好ましい。本実施形態では、金属材料の鋳塊から、途中冷却を行わずに、直接、インペラ 1 の形状に近い円板状まで鍛造処理して厚さ方向の寸法が最大 300 mm の素材とした後、溶体化処理や各種加工処理を施して回転機械部品を製造する方法なので、径方向の形状が制約されることなくインペラ形状を形成することが可能となる。また、本実施形態によれば、上記同様、溶体化処理における冷却速度や温度分布にばらつきが無く、ぜい化相の析出が抑制されて優れた靱性を備えたインペラ（回転機械部品）1 を製造することが可能となる。

【0048】

またさらに、本実施形態では、上記同様、図 4 に示す例のように、円板状の素材 A に厚さ方向で貫通孔 B を形成した後、上記条件の溶体化処理を施すことがより好ましい。このような方法とすることにより、上記同様、溶体化処理における冷却速度が向上するので、上述のような、ぜい化相析出の抑制効果がより安定的に得られる。

【0049】

本実施形態のインペラ 1 の製造方法においては、上述のような工程により、二相ステンレス鋼からなる素材に対し、各種熱処理の他、機械加工、塑性加工又は溶接処理等の加工処理を施すことで粗加工し、図 2 に示すようなインペラ中間品 1A を製造することができる。

そして、本発明に係る製造方法においては、上記方法で得られるインペラ中間品 1A の超音波探傷試験（UT：ultrasonic test）、並びに、磁気探傷試験（MT：magnetic test）を行なう。そして、インペラ中間品 1A に対し、さらに、ガス流路放電加工及び仕上げ研磨を行った後に外周加工を施すことで、図 1 中に示すようなインペラ 1 を形成する。そして、このインペラ 1 に対して、再度、上述のような磁気探傷試験（MT）を行なった後、最終試験としてバランススピントストを行なう。本発明に係る製造方法においては、インペラ中間品 1A に対して行なう上記各工程及び試験については、従来公知の方法を採用することが可能である。

【0050】

以上、本発明に係る回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品、回転機械並びに遠心圧縮機の実施形態について、図面を参照して詳述したが、本発明における具体的な構成はこの実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

【0051】

また、本実施形態では、回転機械部品用素材及び回転機械部品として、上述のような遠心圧縮機用のインペラを例に説明するとともに、回転機械として遠心圧縮機を説明しているが、本発明はこれらには限定されない。例えば、各種コンプレッサポンプに備えられるインペラやロータ等においても、本発明を適用することが可能である。

【 0 0 5 2 】

以上説明したように、本発明に係る回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法によれば、ぜい化相の析出を抑制し、高い靱性を備える回転機械部品用素材及びそれを用いてなる回転機械部品を製造することが可能となる。またさらに、上記製造方法によって焼鈍処理を施した場合には、素材の残留応力が低減され、且つ、高い靱性を有する回転機械部品用素材及びそれを用いてなる回転機械部品を製造することが可能となる。

また、本発明の回転機械並びに遠心圧縮機によれば、上記製造方法によって得られる回転機械部品、インペラが用いられたものなので、腐食成分によって生じる腐食や応力腐食割れが抑制され、機械運転時における割れ等の発生を防止することができる。

【 実施例 】

10

【 0 0 5 3 】

以下、実施例を示して、本発明の回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法、回転機械部品用素材、回転機械部品を更に詳しく説明するが、本発明はこの実施例に限定されるものではない。

【 0 0 5 4 】

[回転機械部品用素材 (回転機械部品) のサンプル製造]

(実施例 1)

実施例 1 では、まず、二相ステンレス鋼として S U S 3 2 9 J 1、S U S 3 2 9 J 3 L、S U S 3 2 9 J 4 L 相当材 (何れも大同特殊鋼株式会社製) を準備し、この鋳塊に対して各々鍛造処理を施し、直径が 3 0 0 m m の丸棒状のブルームを製造した。そして、このブルームに対し、溶体化処理として、まず、1 0 5 0 の温度に加熱した後、1 0 5 0 から 7 0 0 迄の平均冷却速度を、3 0 / m i n 以上となる 3 1 / m i n で水冷することにより、回転機械部品用素材のサンプルを製造した。

20

【 0 0 5 5 】

(実施例 2)

実施例 2 では、まず、上記実施例 1 と同様に、二相ステンレス鋼として S U S 3 2 9 J 1、S U S 3 2 9 J 3 L、S U S 3 2 9 J 4 L 相当材 (何れも大同特殊鋼株式会社製) を準備し、この鋳塊に対して各々鍛造処理を施して、厚さ寸法が 3 0 0 m m の円板状素材からなる回転機械部品用素材のサンプルを製造した。

【 0 0 5 6 】

30

(実施例 3)

実施例 3 では、まず、二相ステンレス鋼として S U S 3 2 9 J 4 L 相当材 (大同特殊鋼株式会社製) を準備し、この鋳塊に対して鍛造処理を施して、直径が 3 0 0 m m の丸棒状のブルームを製造した。そして、上記実施例 1 と同様に、このブルームに対し、溶体化処理として、まず、1 0 5 0 の温度に加熱した後、1 0 5 0 から 7 0 0 迄の平均冷却速度を 3 0 / m i n 以上となる 3 1 / m i n で水冷した。次いで、このブルームを 5 5 0 の温度で 4 時間保持することにより、応力除去のための焼鈍処理を行なうことにより、回転機械部品用素材のサンプルを製造した。

【 0 0 5 7 】

(実施例 4)

40

実施例 4 では、まず、二相ステンレス鋼として S U S 3 2 9 J 4 L 相当材 (大同特殊鋼株式会社製) を準備し、この鋳塊に対して鍛造処理を施して、厚さ寸法が 3 0 0 m m の円板状素材を製造した。そして、上記実施例 1 と同様に、このブルームに対し、溶体化処理として、まず、1 0 5 0 の温度に加熱した後、1 0 5 0 から 7 0 0 の迄の平均冷却速度を 3 0 / m i n 以上となる 3 1 / m i n で水冷した。次いで、各種機械加工並びに溶接による粗加工を施すことにより、図 2 に示すようなインペラ中間品を形成した。そして、このインペラ中間品を、5 5 0 の温度で 4 時間保持することにより、応力除去のための焼鈍処理を行なうことにより、インペラ (回転機械部品) を製造した。

【 0 0 5 8 】

(実験例 1 ~ 4)

50

実験例 1 ~ 4 では、まず、上記各実施例と同様に、二相ステンレス鋼として S U S 3 2 9 J 4 L 相当材を準備し、この鋳塊に対して鍛造処理を施して、直径が 3 0 0 m m の丸棒状のブルームを製造した。そして、このブルームに対し、溶体化処理として、まず、1 0 5 0 の温度に加熱した後、1 0 5 0 から 7 0 0 の迄の平均冷却速度を、各々、2 0 / m i n、2 5 / m i n、及び、1 0 / m i n、1 5 / m i n、として水冷することにより、各実験例の回転機械部品用素材のサンプルを製造した。

【 0 0 5 9 】

[評価試験項目]

上記手順によって作製した実施例 1 ~ 4 及び実験例 1 ~ 4 のサンプルについて、適宜、以下に説明するような残留応力、相面積率、靱性の評価試験を行った。

10

【 0 0 6 0 】

(残留応力の評価)

残留応力は、X 線装置を用いた X 線回折により、各実施例及び実験例のサンプルに残留した応力を解析することによって評価した。

【 0 0 6 1 】

(金属組織の評価：相面積率)

相面積率は、光学顕微鏡によるミクロ組織観察及び画像解析によって調査した。

【 0 0 6 2 】

(靱性の評価：シャルピー衝撃値)

靱性を表す指標として、以下に説明するようなシャルピー衝撃試験を行った。まず、2 m m V ノッチのシャルピー試験片をサンプルから採取した。そして、J I S Z 2 2 4 2 の方法に準じ、試験温度を室温 (2 3) として吸収エネルギーを測定し、吸収エネルギーをノッチ底の断面積で除して衝撃値 [J / c m ²] を求めた。

20

【 0 0 6 3 】

[評価結果]

上記評価試験の結果、各実施例の回転機械部品用素材並びにインペラ (回転機械部品) のサンプルは、以下に説明するように、それぞれ、残留応力が低減され、また、靱性に優れていることが確認された。

実施例 1 においては、ぜい化相析出を確実に抑制できる本発明の溶体化処理の規定を適用し、また、素材径を、上記規定を満たす最大の素材肉厚である 3 0 0 m m とした。これにより、図 6 及び図 7 のグラフに示すように、ぜい化相が低減され、靱性の高い回転機械部品用素材が得られた。このような回転機械部品用素材を用いることにより、靱性に優れたインペラ等の回転機械部品を製造できることが明らかである。

30

【 0 0 6 4 】

また、実施例 2 においては、鋳塊から途中冷却せずに、直接、インペラ等の回転機械部品形状に近い円板まで鍛造する方法であるため、靱性に優れるとともに、部品外径を制約することのない素材が得られることが明らかである。

【 0 0 6 5 】

実施例 3 においては、上記溶体化処理に加え、さらに、適性温度による焼鈍処理を施していることから、焼鈍前後の素材の残留応力および組織形態を調査したところ、溶体化処理の時点で存在した外面圧縮や内面引張による残留応力がほぼ 0 (ゼロ) まで低減した。また、焼鈍処理後のぜい化相の析出も、4 7 5 ぜい化相及びぜい化相の何れも無いことが確認でき、図 8 のグラフに示すように、焼鈍後のシャルピー衝撃値が約 2 5 0 (J / c m ²) と優れた靱性を示した。

40

【 0 0 6 6 】

実施例 4 においては、実施例 3 と同様、上記溶体化処理に加え、さらに、適性温度による焼鈍処理を施していることから、焼鈍前後の素材の残留応力および組織形態を調査し、溶接時に存在した外面圧縮や内面引張による残留応力がほぼ 0 (ゼロ) まで低減した。また、焼鈍処理後のぜい化相の析出も、4 7 5 ぜい化相及びぜい化相の何れも無いことが確認できた。

50

【 0 0 6 7 】

また、実験例 1 ～ 4 のサンプルは、溶体化処理における平均冷却速度を変化させた例であり、これらの内、実験例 1、2 は、平均冷却速度がそれぞれ $20 \text{ } / \text{min}$ 、 $25 \text{ } / \text{min}$ とされた本発明の規定を満たす本発明例データであり、実験例 3、4 は、平均冷却速度がそれぞれ $10 \text{ } / \text{min}$ 、 $15 \text{ } / \text{min}$ とされた従来例データである。ここで、図 6 のグラフに示すように、溶体化処理における平均冷却速度が本発明の規定を満たす実験例 1、2 のサンプルは、何れも ぜい化相の面積率が 0.10% 以下と低く抑えられた組織となり、靱性に優れたものであることが確認できた。これに対し、溶体化処理における平均冷却速度が本発明の規定範囲外である実験例 3、4 のサンプルは、実験例 1、2 に比べて 相面積率が大きい結果となり、靱性に劣るものであることが確認された。

10

【 0 0 6 8 】

ここで、図 7 のグラフは、同じ SUS 329J4L であっても成分の異なる SUS 329J1、J3L 及び J4L の $P.I$ 値（耐孔食性指数、 $P.I = Cr + 3.3Mo + 16N\%$ ）と、ぜい化防止のため必要な冷却速度の最小値並びに最大肉厚との関係を示すグラフである。図 7 に示すように、SUS 329J1 はぜい化が生じにくく、冷却速度が $10 \text{ } / \text{分}$ 以上ならぜい化しないが、SUS 329J3L 及び J4L は $20 \text{ } / \text{分}$ 以上、より好ましくは $30 \text{ } / \text{分}$ 以上で冷却する必要があることがわかる。

【 0 0 6 9 】

以上説明した各評価試験の結果により、本発明に係る回転機械部品用素材の製造方法及び回転機械部品の製造方法によって得られる回転機械部品用素材及び回転機械部品が、低い残留応力と高い靱性とが両立できることが明らかである。また、この回転機械部品が用いられる回転機械並びに遠心圧縮機が、腐食成分が含まれた流体が供給された場合であっても、腐食や応力腐食割れが生じるのが抑制できることが明らかである。

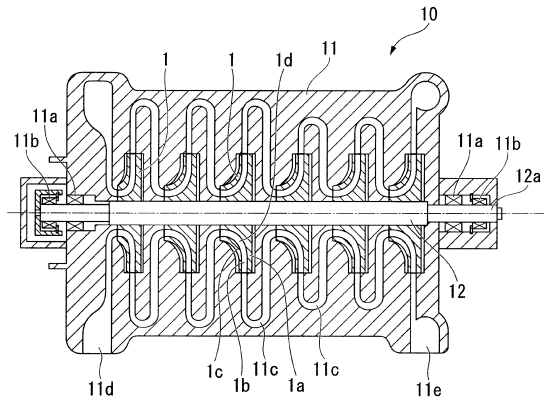
20

【 符号の説明 】

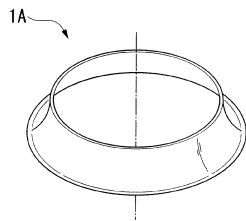
【 0 0 7 0 】

1 ... インペラ（回転機械部品）、10 ... 遠心圧縮機、A ... 回転機械部品用素材、B ... 貫通孔

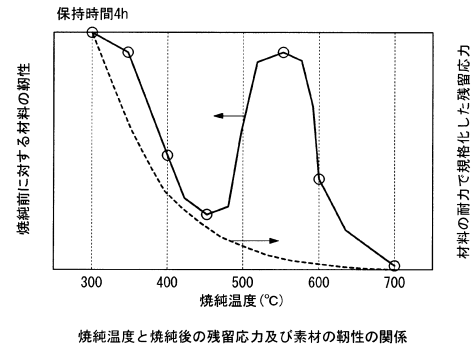
【図 1】



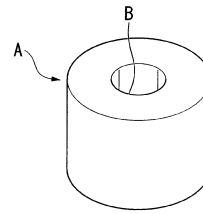
【図 2】



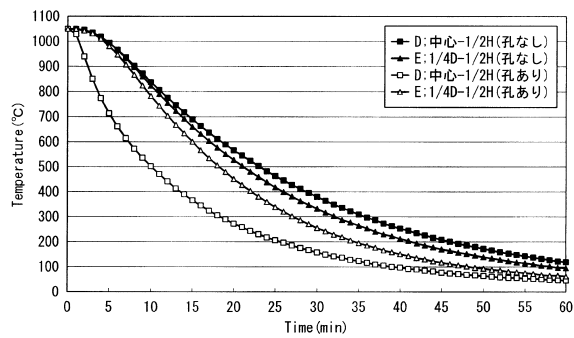
【図 3】



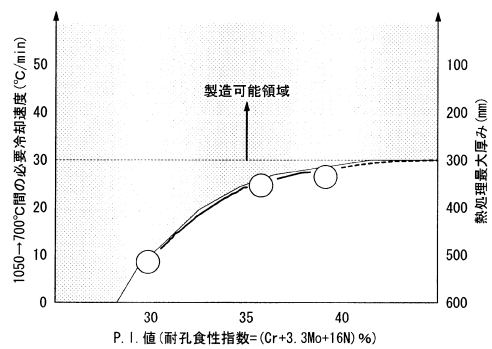
【図 4】



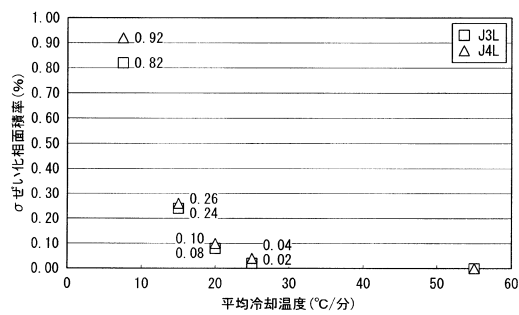
【図 5】



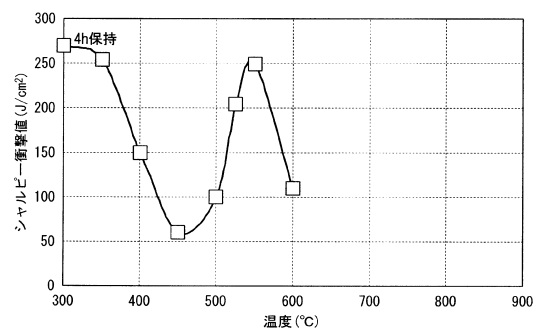
【図 7】



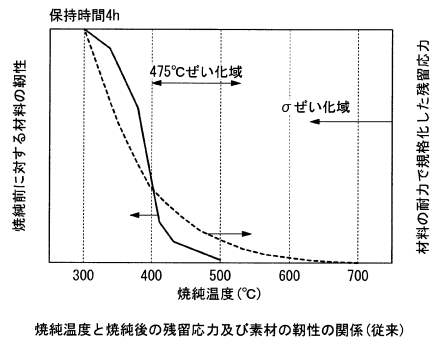
【図 6】



【図 8】



【図 9】



 フロントページの続き

- (72)発明者 岩 崎 修吾
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 山田 義和
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 得山 伸一郎
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 大沢 立弥
群馬県渋川市石原５００ 大同特殊鋼株式会社 渋川工場内
- (72)発明者 鍵水 誠一
大阪府中央区高麗橋４丁目１番１号 大同特殊鋼株式会社 素形材事業部内

審査官 佐藤 陽一

- (56)参考文献 特開２００４－１６７５９５（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－１４２０１９（ＪＰ，Ａ）
特表２００４－５２０４９１（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３０２１１８（ＪＰ，Ａ）
特開昭５６－１０８８５９（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２４７５９２（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－１２２２５６（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－１７１７４３（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－１６５７５０（ＪＰ，Ａ）
Francois Millet, Patrick Friez, Angelo Franzi, Bernard Bonnefois, Jean-Marc Lardon, Superduplex stainless steel use in manufacturing highly sour gas centrifugal compressors, Papers. American Society of Mechanical Engineers, 米国, American Society of Mechanical Engineers, １９９６年 ６月１０日, 1-12
深浦健三, ２相ステンレス鋼の組織と強度特性に関する研究, 大阪大学博士論文, 日本, 大阪大学, １９８６年 ２月 ６日, 5-33

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 1 D 9 / 0 0
C 2 1 D 6 / 0 0
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0
F 0 4 D 2 9 / 2 8
F 0 4 D 2 9 / 6 6