

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-242902

(P2009-242902A)

(43) 公開日 平成21年10月22日(2009. 10. 22)

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード (参考)
C 2 2 C 19/05 (2006.01)		C 2 2 C	19/05	C	3 G 0 0 2
C 2 2 F 1/10 (2006.01)		C 2 2 F	1/10	H	
F 0 1 D 5/02 (2006.01)		F 0 1 D	5/02		
F 0 1 D 5/28 (2006.01)		F 0 1 D	5/28		
F 0 1 D 25/00 (2006.01)		F 0 1 D	25/00	L	
審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号 特願2008-92782 (P2008-92782)
 (22) 出願日 平成20年3月31日 (2008. 3. 31)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成19年度 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「エネルギー使用合理化技術戦略的開発／エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発／700℃超級超々臨界圧発電用蒸気タービン新材料の研究開発」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100077849
 弁理士 須山 佐一
 (74) 代理人 100113871
 弁理士 川原 行雄
 (74) 代理人 100124073
 弁理士 山下 聡
 (74) 代理人 100134223
 弁理士 須山 英明
 (72) 発明者 久保 貴博
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金および蒸気タービンのタービンロータ

(57) 【要約】

【課題】鍛造性等の加工性に優れ、大型鍛造品であるタービンロータを製造可能な蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金および蒸気タービンのタービンロータを提供することを目的とする。

【解決手段】蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金は、重量%で、C：0.05～0.15、Cr：22～28、Co：10～22、Mo：8～12、Al：0.8～1.5未満、Ti：0.1～0.6、B：0.001～0.006、Re：0.1～2.5を含有し、残部がNiおよび不可避免的不純物からなる。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

重量％で、C：0.05～0.15、Cr：22～28、Co：10～22、Mo：8～12、Al：0.8～1.5未満、Ti：0.1～0.6、B：0.001～0.006、Re：0.1～2.5を含有し、残部がNiおよび不可避免的不純物からなることを特徴とする蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金。

【請求項 2】

前記不可避免的不純物のうち、重量％で、Si：1以下、Mn：1以下に抑制されていることを特徴とする請求項1記載の蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金。

【請求項 3】

高温蒸気が導入される蒸気タービンに貫設されるタービンロータであって、少なくとも所定部位が、請求項1または2記載の蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金からなることを特徴する蒸気タービンのタービンロータ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、高温の蒸気が作動流体として流入する蒸気タービンのタービンロータを構成する材料に係わり、特に高温強度等に優れた蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金、およびこのNi基合金からなる蒸気タービンのタービンロータに関する。

【背景技術】**【0002】**

蒸気タービンを含む火力プラントにおいて、地球環境保護の観点から二酸化炭素の排出量抑制技術が注目されており、また発電の高効率化のニーズが高まっている。

【0003】

蒸気タービンの発電効率を上げるためには、タービン蒸気温度を高温化することが有効であり、近年の蒸気タービンを備える火力発電プラントにおいて、その蒸気温度は600以上まで上昇している。将来的には650、さらに700へと上昇する傾向がみられる。

【0004】

高温の蒸気により回転する動翼が植設されたタービンロータでは、周囲に高温の蒸気が回流し高温になるとともに、回転により高い応力が発生する。そのためタービンロータは、高温、高応力に耐える必要があり、タービンロータを構成する材料として、室温から高温領域において優れた強度、延性、靱性を有するものが求められている。

【0005】

特に、蒸気温度が700を超える場合には、従来の鉄系材料では高温強度が不足するため、Ni基合金の適用が検討されている（例えば、特許文献1参照。）。

【0006】

Ni基合金は、高温強度、耐食性に優れていることから主にジェットエンジンやガスタービン材料として広く適用されてきた。その代表例としてインコネル617合金（スペシャルメタル社製）やインコネル706合金（スペシャルメタル社製）が用いられてきた。

【0007】

Ni基合金の高温強度を強化するメカニズムとして、AlやTiを添加することによりNi基合金の母相材内にガンマプライム相（Ni₃（Al，Ti））、あるいはガンマダブルプライム相と呼ばれる析出相、それらの両相を析出させて高温強度を確保するものがある。このガンマプライム相あるいはガンマダブルプライム相の両相を析出させて高温強度を確保するものとして、例えばインコネル706合金が挙げられる。

【0008】

一方、インコネル617合金のように、Co、Moを添加することにより、Ni基の母相を強化（固溶強化）して高温強度を確保するものがある。また、このインコネル合金の成分を基本として、添加元素成分を調整することにより、高温強度特性の向上を図った二

10

20

30

40

50

ッケル基合金が開示されている（例えば、特許文献２－３参照。）。特許文献２におけるニッケル基合金は、高温での硫化腐食性を改善したものである。特許文献３では、長時間使用することで形成される脆弱な金属間化合物を抑制したニッケル基合金を用いたロータシャフトが記載されている。

【特許文献１】特開平７－１５０２７７号公報

【特許文献２】特開２００２－８８４５５号公報

【特許文献３】特開２００１－２４７９４２号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

10

上記した従来のニッケル基合金は、製造性が悪いことから、比較的小型の高温部品等にも使用されていた。そのため、従来のニッケル基合金を、例えば、ジェットエンジンまたはガスタービン部材へ適用する場合、このニッケル基合金が使用される部位として、長さが１ｍ未満の小型翼や、総重量が１トン未満のディスク材等に限られていた。

【００１０】

そこで、本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、鍛造性等の加工性に優れ、大型鍛造品であるタービンロータを製造可能な蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金および蒸気タービンのタービンロータ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】

【００１１】

20

上記目的を達成するために、本発明の蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金は、重量％で、C：０．０５～０．１５、Cr：２２～２８、Co：１０～２２、Mo：８～１２、Al：０．８～１．５未満、Ti：０．１～０．６、B：０．００１～０．００６、Re：０．１～２．５を含有し、残部がNiおよび不可避免的不純物からなることを特徴とする。

【００１２】

この蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金によれば、上記した組成成分範囲で構成されることで、鍛造性等の加工性が向上する。

【００１３】

また、高温蒸気が導入される蒸気タービンに貫設されるタービンロータの少なくとも所定部位を上記したいずれか１つのNi基合金で構成してもよい。この鍛造性等の加工性に優れたNi基合金を用いることで、製造時における割れ等を発生することなく、高い信頼性を有するタービンロータが提供される。

30

【発明の効果】

【００１４】

本発明では、鍛造性等の加工性に優れ、大型鍛造品であるタービンロータを製造可能な蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金および蒸気タービンのタービンロータを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１５】

40

以下、本発明の一実施の形態を説明する。

【００１６】

本発明に係る一実施の形態における蒸気タービンのタービンロータ用のNi基合金は、以下に示す組成成分範囲で構成される。なお、以下の説明において組成成分を表す％は、特に明記しない限り重量％とする。

【００１７】

(M1) C：０．０５～０．１５、Cr：２２～２８、Co：１０～２２、Mo：８～１２、Al：０．８～１．５未満、Ti：０．１～０．６、B：０．００１～０．００６、Re：０．１～２．５を含有し、残部がNiおよび不可避免的不純物からなるNi基合金。

50

【0018】

ここで、上記(M1)のNi基合金における不可避的不純物において、その不可避的不純物のうち、少なくとも、Siが1以下、Mnが1以下に抑制されていることが好ましい。

【0019】

上記した組成成分範囲のNi基合金は、運転時の温度が680～750 となる蒸気タービンのタービンロータを構成する材料として好適である。ここで、蒸気タービンのタービンロータのすべての部位をこのNi基合金で構成しても、また、特に高温となる蒸気タービンのタービンロータの一部の部位をこのNi基合金で構成してもよい。ここで、高温となる蒸気タービンのタービンロータの一部としては、具体的には、高圧蒸気タービン部の全領域、または高圧蒸気タービン部から中圧蒸気タービン部の一部分までの領域などが挙げられる。

10

【0020】

また、上記した組成成分範囲のNi基合金は、鍛造性等の加工性を向上させることができる。すなわち、このNi基合金を用いて蒸気タービンのタービンロータを構成することで、タービンロータの鍛造性等の加工性を向上させることができ、製造時における割れ等を発生することなく、高い信頼性を有するタービンロータを作製することができる。

【0021】

次に、上記した本発明に係るNi基合金における各組成成分範囲の限定理由を説明する。

20

【0022】

(1) C (炭素)

Cは、強化相である $M_{23}C_6$ 型炭化物の構成元素として有用であり、特に650 以上の高温環境下では、蒸気タービンの運転中に $M_{23}C_6$ 型炭化物を析出させることが合金のクリープ強度を維持させる要因の一つである。また、鑄造時の溶湯の流動性を確保する効果も併せ持つ。Cの含有率が0.05%未満の場合には、炭化物の十分な析出量を確保することができないため、機械的強度が低下するとともに、鑄造時の溶湯の流動性が著しく低下する。一方、Cの含有率が0.15%を超えると、大型鑄塊作製時の成分偏析傾向が増加するとともに脆化相である M_6C 型炭化物の生成を促進し、機械的強度は向上するが、鍛造性が低下する。そのため、Cの含有率を0.05～0.15%とした。

30

【0023】

(2) Cr (クロム)

Crは、Ni基合金の耐酸化性、耐食性および機械的強度を高めるのに不可欠な元素である。さらに $M_{23}C_6$ 型炭化物の構成元素として不可欠であり、特に650 以上の高温環境下では、蒸気タービンの運転中に $M_{23}C_6$ 型炭化物を析出させることで、合金のクリープ強度が維持される。また、Crは、高温蒸気環境下における耐酸化性を高める。Crの含有率が22%未満の場合には、耐酸化性が低下する。一方、Crの含有率が28%を超えると、 $M_{23}C_6$ 型炭化物の析出を著しく促進することによって粗大化傾向を高める。そのため、Crの含有率を22～28%とした。

【0024】

40

(3) Co (コバルト)

Coは、Ni基合金において、母相内に固溶して母相の機械的強度を向上させる。しかしながら、Coの含有率が22%を超えると、機械的強度を低下させる金属間化合物相を生成し、鍛造性が低下する、一方、Coの含有率が10%未満では、加工性が低下し、さらに機械的強度が低下する。そのため、Coの含有率を10～22%とした。

【0025】

(4) Mo (モリブデン)

Moは、Ni母相中に固溶して母相の機械的強度を向上させる効果を有し、また、 $M_{23}C_6$ 型炭化物中に一部が置換することによって炭化物の安定性を高める。Moの含有率が8%未満の場合には、上記した効果が発揮されず、Moの含有率が12%を超えると、

50

大型鋳塊作製時の成分偏析傾向が増加するとともに、脆化相である M_6C 型炭化物の生成を促進する。そのため、 Mo の含有率を 8 ~ 12 % とした。

【0026】

ここで、 Mo は、上記した Co と母相の機械的強度を向上させる効果を有する点で共通している。そして、この共通の特徴およびそれぞれの他の特徴を有効に発揮するため、例えば、 Mo の含有率が 8 ~ 10 未満 % の場合には、 Co の含有率を 15 % より大きく 22 % 以下とすることが好ましい。また、例えば、 Mo の含有率が 10 ~ 12 % の場合には、 Co の含有率を 10 ~ 15 % とすることが好ましい。

【0027】

(5) Al (アルミニウム)

Al は、 Ni とともに γ' (ガンマプライム: Ni_3Al) 相を生成し、析出による Ni 基合金の機械的強度を向上させる。 Al の含有率が 0.8 % 未満の場合には、機械的強度が従来鋼と比べて向上されず、 Al の含有率が 1.5 % 以上では、機械的強度は向上するが、鍛造性が低下する。そのため、 Al の含有率を 0.8 ~ 1.5 未満 % とした。

【0028】

(6) Ti (チタン)

Ti は、 Al と同様、 Ni とともに γ' (ガンマプライム: Ni_3Al) 相を生成し、 Ni 基合金の機械的強度を向上させる。 Ti の含有率が 0.1 % 未満の場合には、上記した効果が発揮されず、 Ti の含有率が 0.6 % を超えると、熱間加工性および鍛造性が低下し、さらに、切欠き感受性が高くなる。そのため、 Ti の含有率を 0.1 ~ 0.6 % とした。

【0029】

(7) B (ホウ素)

B は、粒界に偏析して高温特性に影響を及ぼす。また、 B は、 Ni 母相中に析出して母相の機械的強度を向上させる効果を有する。 B の含有率が 0.001 % 未満の場合には、母相の機械的強度を向上させる効果が発揮されず、 B の含有率が 0.006 % を超えると、粒界脆化を招く恐れがある。そのため、 B の含有率を 0.001 ~ 0.006 % とした。

【0030】

(8) Re (レニウム)

Re は、 Ni 母相中に固溶して母相の機械的強度を向上させる効果を有する。 Re の含有率が 0.1 % 未満の場合には、母相の機械的強度を向上させる効果が発揮されず、 Re の含有率が 2.5 % を超えると、脆弱な相を形成する。そのため、 Re の含有率を 0.1 ~ 2.5 % とした。

【0031】

ここで、 Co 、 Mo も Re と同様に Ni 母相中に固溶して母相の機械的強度を向上させる効果を有するが、同量の含有率で Re が最も機械的強度の向上に優れ、ベース金属の化学成分組成を大きく変化させることなく機械的強度を向上させることができる。

【0032】

(9) Si (ケイ素) および Mn (マンガン)

Si および Mn は、本発明に係る Ni 基合金においては、不可避的不純物に分類されるものである。ここでは、不可避的不純物のうち、特に、 Si および Mn の残存含有率を制限している。このような、不可避的不純物は、可能な限りその残存含有率を 0 % に近づけることが望ましい。

【0033】

Si は、普通鋼の場合、耐食性を補うため添加される。しかしながら、 Ni 基合金は Cr 含有量が多く、十分に耐食性を確保できることから、本発明に係る Ni 基合金では、 Si の残存含有率を 1 % 以下とし、可能な限りその残存含有率を 0 % に近づけることが望ましい。

【0034】

10

20

30

40

50

Mnは、普通鋼の場合、脆性に起因するS（硫黄）をMnSとして脆性を防止する。しかしながら、Ni基合金におけるSの含有量は極めて少なく、Mnを添加する必要はない。そのため、本発明に係るNi基合金では、Mnの残存含有率を1%以下とし、可能な限りその残存含有率を0%に近づけることが望ましい。

【0035】

上記した本発明に係るNi基合金は、Ni基合金を構成する組成成分を真空誘導溶解炉にて溶解して得られた鑄塊をソーキング処理し、鍛造し、溶体化処理を施すことで作製される。

【0036】

ソーキング処理では、1050～1075の温度範囲で5～6時間維持し、溶体化処理では、1100～1180の温度範囲で4～5時間維持することが好ましい。ここで、溶体化処理温度は、 γ' 相析出物を均質に固溶化するために行われ、温度が1100を下回る温度では十分に固溶されず、1180を上回る温度では結晶粒の粗大化により強度が低下する。また、鍛造は、950～1100（再加熱温度1100）の温度範囲で行われる。

【0037】

また、上記した本発明に係るNi基合金において蒸気タービンのタービンロータを構成する場合には、例えば、1つの方法（ダブルメルト）として、原料を真空誘導溶解（VIM）し、エレクトロスラグ再溶解（ESR）し、所定の型に流し込む。続いて、鍛造処理、熱処理を施しタービンロータを作製する。他の方法（ダブルメルト）として、原料を真空誘導溶解（VIM）し、真空アーク再溶解（VAR）し、所定の型に流し込む。続いて、鍛造処理、熱処理を施しタービンロータを作製する。さらに、他の方法（トリプルメルト）として、原料を真空誘導溶解（VIM）し、エレクトロスラグ再溶解（ESR）し、真空アーク再溶解（VAR）し、所定の型に流し込む。続いて、鍛造処理、熱処理を施しタービンロータを作製する。なお、上記方法によって作製されたタービンロータは、超音波検査等が行われる。

【0038】

以下に、本発明に係るNi基合金が、機械的強度および鍛造性に優れていることを説明する。

【0039】

（鍛造性の評価）

ここでは、本発明の化学組成範囲にあるNi基合金が、優れた鍛造性を有することを説明する。表1は、鍛造性の評価に用いられた試料1～試料5の化学組成を示す。なお、試料1～試料4は、本発明の化学組成範囲にあるNi基合金であり、試料5は、その組成が本発明の化学組成範囲にないNi基合金であり、比較例である。また、試料5は、従来鋼であるインコネル617相当の化学組成を有する。なお、ここで使用した本発明の化学組成範囲にあるNi基合金には、不可避免の不純物として、Si、Mn以外に、Fe（鉄）、Cu（銅）S（硫黄）が含まれている。

【0040】

10

20

30

【表 1】

(重量%)		Ni	C	Si	Mn	Cr	Fe	Al	Mo	Co	Cu	Ti	B	S	Re
実施例	試料1	残	0.099	0.55	0.57	23	1.56	1.21	8.9	19.6	0.24	0.36	0.0039	0.001	0.12
	試料2	残	0.099	0.55	0.57	27.4	1.56	1.21	8.9	14.5	0.24	0.36	0.0039	0.001	2.48
	試料3	残	0.096	0.53	0.57	25.7	1.55	1.2	10.3	12.2	0.24	0.35	0.0041	0.0009	0.13
	試料4	残	0.096	0.53	0.57	23.2	1.55	1.2	11.9	12.2	0.24	0.35	0.004	0.0009	2.47
比較例		残	0.076	0.51	0.55	22.9	1.57	1.21	8.9	12.2	0.25	0.36	0.0038	0.0009	0

10

20

30

40

【0041】

鍛造性の評価では、表1に示す化学組成を有する試料1～試料5のNi基合金10kg

50

をそれぞれ真空誘導溶解炉にて溶解し、直径が 8 7 m m で長さが 1 4 0 m m の円柱状の鋳塊からなる試験片を作製した。続いて、この鋳塊に対して、1 0 5 0 で 5 時間ソーキング処理を行った。その後、9 5 0 ~ 1 1 0 0 (再加熱が 1 1 0 0) の温度範囲で 5 0 0 k g f ハンマー鍛造機にて鍛造処理を施した。ここで、鍛造性は、試験片の直径が 3 0 m m となるまで上記した鍛造処理を行い、そのときの鍛錬成形比および鍛造割れの有無によって評価した。

【 0 0 4 2 】

ここで、鍛錬成形比とは、鍛造処理後における、伸長された鍛造被対象物である試験片の長さを、鍛造処理を施す前における、鍛造被対象物である試験片の長さで除したものである。また、鍛造処理では、試験片の温度が低下したとき、すなわち試験片が硬化してきたときには、上記した再加熱温度 1 1 0 0 まで再度加熱して鍛造処理を繰り返す。また、鍛造割れの有無は、鍛造処理後の試験片を目視観察し、割れない場合には「無」と示し、さらに、鍛造性が優れていることを示すため、鍛造性の評価を「○」で示す。一方、割れがある場合には「有」と示し、さらに、鍛造性が劣ることを示すため、鍛造性の評価を「×」で示す。

10

【 0 0 4 3 】

表 2 は、各試料における鍛造性の評価の結果を示す。

【 0 0 4 4 】

【表 2】

		鍛錬成形比	割れの有無	鍛造性
実施例	試料1	6.6	無	○
	試料2	6.3	無	○
	試料3	6.7	無	○
	試料4	6.4	無	○
比較例	試料5	5.4	有	×

20

【 0 0 4 5 】

表 2 に示すように、試料 1 ~ 試料 4 は、試料 5 に比べて、鍛造性に優れていることが明らかとなった。

30

フロントページの続き

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
C 2 2 F	1/00	(2006.01)	C 2 2 F	1/00	6 0 2			
			C 2 2 F	1/00	6 3 0 A			
			C 2 2 F	1/00	6 3 0 B			
			C 2 2 F	1/00	6 3 0 K			
			C 2 2 F	1/00	6 4 0 A			
			C 2 2 F	1/00	6 4 0 B			
			C 2 2 F	1/00	6 5 0 A			
			C 2 2 F	1/00	6 5 1 B			
			C 2 2 F	1/00	6 8 1			
			C 2 2 F	1/00	6 9 1 B			
			C 2 2 F	1/00	6 9 1 C			

(72)発明者 今井 潔
東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内

(72)発明者 山田 政之
東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内

(72)発明者 福田 雅文
東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内

F ターム(参考) 3G002 AA07 AA11 AB00