

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4509664号
(P4509664)

(45) 発行日 平成22年7月21日 (2010. 7. 21)

(24) 登録日 平成22年5月14日 (2010. 5. 14)

(51) Int. Cl.

F 1

C 2 2 C 38/00 (2006. 01)

C 2 1 D 9/00 (2006. 01)

C 2 2 C 19/05 (2006. 01)

C 2 2 C 19/07 (2006. 01)

C 2 2 C 38/58 (2006. 01)

C 2 2 C 38/00 3 0 1 Z

C 2 2 C 38/00 3 0 2 Z

C 2 1 D 9/00 N

C 2 2 C 19/05 F

C 2 2 C 19/07 K

請求項の数 8 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-181536 (P2004-181536)
 (22) 出願日 平成16年6月18日 (2004. 6. 18)
 (65) 公開番号 特開2005-60826 (P2005-60826A)
 (43) 公開日 平成17年3月10日 (2005. 3. 10)
 審査請求日 平成19年3月7日 (2007. 3. 7)
 (31) 優先権主張番号 特願2003-283030 (P2003-283030)
 (32) 優先日 平成15年7月30日 (2003. 7. 30)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

前置審査

(73) 特許権者 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
 (72) 発明者 高橋 誠子
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝 本社事務所内
 (72) 発明者 石井 龍一
 神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地
 株式会社東芝 京浜事業所内
 (72) 発明者 津田 陽一
 神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地
 株式会社東芝 京浜事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 蒸気タービン発電設備

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高压タービンと、中圧タービンと、低压タービンとを備え、前記中圧タービンが、高压タービンの排出蒸気を650℃以上に再加熱した高温蒸気が導入される高温中圧タービンと、この高温中圧タービンの排出蒸気が導入される低温中圧タービンとに分離されて構成される蒸気タービン発電設備であって、

前記高温中圧タービンのロータを、前記高压タービンから排気される蒸気または前記高压タービンから抽気された蒸気からなる冷却蒸気によって冷却する蒸気冷却手段を備え、

前記高压タービン、前記低温中圧タービンおよび前記低压タービンの少なくとも1つの構成要素がフェライト系の合金鋼によって構成され、

前記高温中圧タービンのケーシングが外部ケーシングと内部ケーシングとの二重構造で構成され、前記蒸気冷却手段は前記外部ケーシングと前記内部ケーシングとの間に前記冷却蒸気を導入して該外部ケーシングを冷却するよう構成され、かつ

前記高温中圧タービンのロータが、重量%で、

(M7) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.2~0.35、Ti: 0.01以下(0を含む)、Mo: 0.7~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避免的な不純物で構成される合金鋼、および

(M8) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.

10

20

2～0.35、Ti：0.01以下（0を含む）、Mo：0.7～1.4、W：0.8～1.4を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金鋼

である（M7）あるいは（M8）のから選択されるいずれかの合金鋼で形成され、かつ前記外部ケーシングが、重量%で、

（M13）C：0.12～0.18、Si：0.3以下（0を含まず）、Mn：0.5～0.9、Ni：0.5以下（0を含まず）、Cr：1.0～1.5、V：0.2～0.35、Mo：0.9～1.2、Ti：0.01～0.04を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金鋼で形成されていることを特徴とする蒸気タービン発電設備。

【請求項2】

前記高温中圧タービンの複数の段落からなるタービン翼の少なくとも初段のタービン翼が、重量%で、

（M1）Ni：50.0～55.0、Cr：17.0～21.0、NbまたはNbとTaの合計：4.75～5.5、Mo：2.8～3.3、Ti：0.65～1.15、Al：0.2～0.8、Co：1.0以下（0を含む）、C：0.08以下（0を含まず）、Mn：0.35以下（0を含まず）、Si：0.35以下（0を含まず）、B：0.006以下（0を含まず）を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物で構成される合金、

（M2）C：0.02～0.25、Si：1.0以下（0を含まず）、Mn：1.0以下（0を含まず）、Cr：19.0～24.0、Co：15.0以下（0を含む）、Mo：8.0～10.0、NbとTaの合計：4.15以下（0を含む）、Al：1.5以下（0を含む）、Ti：0.6以下（0を含む）、Fe：20.0以下（0を含まず）、W：1.0以下（0を含む）、B：0.01以下（0を含む）を含有し、残部がNiおよび不可避免的不純物で構成される合金、

（M3）C：0.02～0.2以下、Si：1.0以下（0を含まず）、Mn：1.0以下（0を含まず）、Cr：12.0～21.0、Co：22.0以下（0を含む）、Mo：10.5以下（0を含む）、NbとTaの合計：2.8以下（0を含む）、Al：0.4～6.5、Ti：0.5～3.25、Fe：9.0以下（0を含む）、B：0.02以下（0を含む）、Zr：4.0以下（0を含む）を含有し、残部はNiおよび不可避免的不純物で構成される合金、

（M14）C：0.01～0.45、Si：1.0以下（0を含まず）、Mn：2.0以下（0を含まず）、Cr：19～25、Ni：18.0～45.0、Mo：2.0以下（0を含む）、Nb：0.1～0.4、W：8.0以下（0を含む）、Ti：0.6以下（0を含む）、Al：0.6以下（0を含む）、B：0.01以下（0を含む）、N：0.25以下（0を含む）を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金、および

（M9）C：0.1以下（0を含まず）、Si：1.5以下（0を含まず）、Mn：1.0以下（0を含まず）、Cr：11.0～20.0、NiとCoの合計：40.0～60.0、Mo：2.5～7.0、Al：0.35以下（0を含まず）、Ti：2.3～3.1、Zr：0.1以下（0を含まず）、B：0.001～0.02を含有し、残部はFeおよび可避的不純物で構成される合金

である（M1）、（M2）、（M3）、（M9）および（M14）の群の中から選択された1つの合金で形成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発電設備。

【請求項3】

前記高温中圧タービン内に設置され、前記高温中圧タービンに導入される高温蒸気を初段のタービン翼に導くノズルボックスが、重量%で、

（M14）C：0.01～0.45、Si：1.0以下（0を含まず）、Mn：2.0以下（0を含まず）、Cr：19～25、Ni：18.0～45.0、Mo：2.0以下（0を含む）、Nb：0.1～0.4、W：8.0以下（0を含む）、Ti：0.6以下（0を含む）、Al：0.6以下（0を含む）、B：0.01以下（0を含む）、N：0

10

20

30

40

50

． 2 5 以下（0 を含む）を含有し、残部は F e および不可避的不純物で構成される合金、
 （M 2）C：0． 0 2～0． 2 5、S i：1． 0 以下（0 を含まず）、M n：1． 0 以下（0 を含まず）、C r：1 9． 0～2 4． 0、C o：1 5． 0 以下（0 を含む）、M o：8． 0～1 0． 0、N b と T a の合計：4． 1 5 以下（0 を含む）、A l：1． 5 以下（0 を含む）、T i：0． 6 以下（0 を含む）、F e：2 0． 0 以下（0 を含まず）、W：1． 0 以下（0 を含む）、B：0． 0 1 以下（0 を含む）を含有し、残部が N i および不可避的不純物で構成される合金、または

（M 1 0）C：0． 0 5～0． 4 5、S i：2． 0 以下（0 を含まず）、M n：2． 0 以下（0 を含まず）、C r：2 3． 0～2 7． 0、N i：1 8． 0～2 2． 0、M o：0． 5 以下（0 を含む）を含有し、残部は F e および不可避的不純物で構成される合金
 である（M 2）、（M 1 0）および（M 1 4）の群の中から選択された 1 つの合金で形成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の蒸気タービン発電設備。

10

【請求項 4】

前記高温中圧タービン内に設置された前記高温中圧タービンに導入される高温蒸気を初段のタービン翼に導くノズルボックスと接続し、該ノズルボックスに高温蒸気を導入するリード管が、重量％で、

（M 1 4）C：0． 0 1～0． 4 5、S i：1． 0 以下（0 を含まず）、M n：2． 0 以下（0 を含まず）、C r：1 9～2 5、N i：1 8． 0～4 5． 0、M o：2． 0 以下（0 を含む）、N b：0． 1～0． 4、W：8． 0 以下（0 を含む）、T i：0． 6 以下（0 を含む）、A l：0． 6 以下（0 を含む）、B：0． 0 1 以下（0 を含む）、N：0． 2 5 以下（0 を含む）を含有し、残部は F e および不可避的不純物で構成される合金、

20

（M 1 0）C：0． 0 5～0． 4 5、S i：2． 0 以下（0 を含まず）、M n：2． 0 以下（0 を含まず）、C r：2 3． 0～2 7． 0、N i：1 8． 0～2 2． 0、M o：0． 5 以下（0 を含む）を含有し、残部は F e および不可避的不純物で構成される合金、および

（M 2）C：0． 0 2～0． 2 5、S i：1． 0 以下（0 を含まず）、M n：1． 0 以下（0 を含まず）、C r：1 9． 0～2 4． 0、C o：1 5． 0 以下（0 を含む）、M o：8． 0～1 0． 0、N b と T a の合計：4． 1 5 以下（0 を含む）、A l：1． 5 以下（0 を含む）、T i：0． 6 以下（0 を含む）、F e：2 0． 0 以下（0 を含まず）、W：1． 0 以下（0 を含む）、B：0． 0 1 以下（0 を含む）を含有し、残部が N i および不可避的不純物で構成される合金

30

である（M 2）、（M 1 0）および（M 1 4）の群の中から選択された 1 つの合金で形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項記載の蒸気タービン発電設備。

【請求項 5】

高圧タービンと、この高圧タービンの排出蒸気を 6 5 0℃以上に再加熱した高温蒸気が導入される中圧タービンと、この中圧タービンの排出蒸気が導入される低圧タービンとを備える蒸気タービン発電設備であって、

前記中圧タービンのロータを、前記高圧タービンから排気される蒸気または前記高圧タービンから抽気された蒸気からなる冷却蒸気によって冷却する蒸気冷却手段を備え、

40

前記高圧タービンおよび前記低圧タービンの少なくとも 1 つの構成要素がフェライト系の合金鋼によって構成され、

前記中圧タービンのケーシングが外部ケーシングと内部ケーシングとの二重構造で構成され、前記蒸気冷却手段は前記外部ケーシングと前記内部ケーシングとの間に前記冷却蒸気を導入して該外部ケーシングを冷却するよう構成され、かつ

前記中圧タービンのロータが、重量％で、

（M 7）C：0． 1 3～0． 3 5、S i：0． 2 以下（0 を含まず）、M n：0． 8 以下（0 を含まず）、N i：0． 8 以下（0 を含まず）、C r：0． 8～1． 9、V：0． 2～0． 3 5、T i：0． 0 1 以下（0 を含む）、M o：0． 7～1． 4 を含有し、残部は F e および不可避的不純物で構成される合金鋼、および

50

(M8) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.2~0.35、Ti: 0.01以下(0を含む)、Mo: 0.7~1.4、W: 0.8~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避免の不純物で構成される合金鋼

である(M7)あるいは(M8)の中から選択されたいずれかの合金鋼で形成され、かつ

前記外部ケーシングが、重量%で、

(M13) C: 0.12~0.18、Si: 0.3以下(0を含まず)、Mn: 0.5~0.9、Ni: 0.5以下(0を含まず)、Cr: 1.0~1.5、V: 0.2~0.35、Mo: 0.9~1.2、Ti: 0.01~0.04を含有し、残部はFeおよび不可避免の不純物で構成される合金鋼で形成されていることを特徴とする蒸気タービン発電設備。

10

【請求項6】

前記中圧タービンの複数の段落からなるタービン翼の少なくとも初段のタービン翼が、重量%で、

(M1) Ni: 50.0~55.0、Cr: 17.0~21.0、NbまたはNbとTaの合計: 4.75~5.5、Mo: 2.8~3.3、Ti: 0.65~1.15、Al: 0.2~0.8、Co: 1.0以下(0を含む)、C: 0.08以下(0を含まず)、Mn: 0.35以下(0を含まず)、Si: 0.35以下(0を含まず)、B: 0.006以下(0を含まず)を含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物で構成される合金、

20

(M2) C: 0.02~0.25、Si: 1.0以下(0を含まず)、Mn: 1.0以下(0を含まず)、Cr: 19.0~24.0、Co: 15.0以下(0を含む)、Mo: 8.0~10.0、NbとTaの合計: 4.15以下(0を含む)、Al: 1.5以下(0を含む)、Ti: 0.6以下(0を含む)、Fe: 20.0以下(0を含まず)、W: 1.0以下(0を含む)、B: 0.01以下(0を含む)を含有し、残部がNiおよび不可避免の不純物で構成される合金、

(M3) C: 0.02~0.2、Si: 1.0以下(0を含まず)、Mn: 1.0以下(0を含まず)、Cr: 12.0~21.0、Co: 22.0以下(0を含む)、Mo: 10.5以下(0を含む)、NbとTaの合計: 2.8以下(0を含む)、Al: 0.4~6.5、Ti: 0.5~3.25、Fe: 9.0以下(0を含む)、B: 0.02以下(0を含む)、Zr: 4.0以下(0を含む)を含有し、残部はNiおよび不可避免の不純物で構成される合金、

30

(M14) C: 0.01~0.45、Si: 1.0以下(0を含まず)、Mn: 2.0以下(0を含まず)、Cr: 19~25、Ni: 18.0~45.0、Mo: 2.0以下(0を含む)、Nb: 0.1~0.4、W: 8.0以下(0を含む)、Ti: 0.6以下(0を含む)、Al: 0.6以下(0を含む)、B: 0.01以下(0を含む)、N: 0.25以下(0を含む)を含有し、残部はFeおよび不可避免の不純物で構成される合金、および

(M9) C: 0.1以下(0を含まず)、Si: 1.5以下(0を含まず)、Mn: 1.0以下(0を含まず)、Cr: 11.0~20.0、NiとCoの合計: 40.0~60.0、Mo: 2.5~7.0、Al: 0.35以下(0を含まず)、Ti: 2.3~3.1、Zr: 0.1以下(0を含まず)、B: 0.001~0.02を含有し、残部はFeおよび可避的不純物で構成される合金

40

である(M1)、(M2)、(M3)、(M9)および(M14)の群の中から選択された1つの合金で形成されていることを特徴とする請求項5記載の蒸気タービン発電設備。

【請求項7】

前記中圧タービン内に設置され、前記中圧タービンに導入される高温蒸気を初段のタービン翼に導くノズルボックスが、重量%で、

(M14) C: 0.01~0.45、Si: 1.0以下(0を含まず)、Mn: 2.0

50

以下（０を含まず）、Cr：１９～２５、Ni：１８．０～４５．０、Mo：２．０以下（０を含む）、Nb：０．１～０．４、W：８．０以下（０を含む）、Ti：０．６以下（０を含む）、Al：０．６以下（０を含む）、B：０．０１以下（０を含む）、N：０．２５以下（０を含む）を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金、
 （M２）C：０．０２～０．２５、Si：１．０以下（０を含まず）、Mn：１．０以下（０を含まず）、Cr：１９．０～２４．０、Co：１５．０以下（０を含む）、Mo：８．０～１０．０、NbとTaの合計：４．１５以下（０を含む）、Al：１．５以下（０を含む）、Ti：０．６以下（０を含む）、Fe：２０．０以下（０を含まず）、W：１．０以下（０を含む）、B：０．０１以下（０を含む）を含有し、残部がNiおよび不可避免的不純物で構成される合金、または

10

（M１０）C：０．０５～０．４５、Si：２．０以下（０を含まず）、Mn：２．０以下（０を含まず）、Cr：２３．０～２７．０、Ni：１８．０～２２．０、Mo：０．５以下（０を含む）を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金である（M２）、（M１０）および（M１４）の群の中から選択された１つの合金で形成されていることを特徴とする請求項５または６記載の蒸気タービン発電設備。

【請求項８】

前記中圧タービン内に設置された前記中圧タービンに導入される高温蒸気を初段のタービン翼に導くノズルボックスと接続し、該ノズルボックスに高温蒸気を導入するリード管が、重量％で、

20

（M１４）C：０．０１～０．４５、Si：１．０以下（０を含まず）、Mn：２．０以下（０を含まず）、Cr：１９～２５、Ni：１８．０～４５．０、Mo：２．０以下（０を含む）、Nb：０．１～０．４、W：８．０以下（０を含む）、Ti：０．６以下（０を含む）、Al：０．６以下（０を含む）、B：０．０１以下（０を含む）、N：０．２５以下（０を含む）を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金、

（M１０）C：０．０５～０．４５、Si：２．０以下（０を含まず）、Mn：２．０以下（０を含まず）、Cr：２３．０～２７．０、Ni：１８．０～２２．０、Mo：０．５以下（０を含む）を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金、および

（M２）C：０．０２～０．２５、Si：１．０以下（０を含まず）、Mn：１．０以下（０を含まず）、Cr：１９．０～２４．０、Co：１５．０以下（０を含む）、Mo：８．０～１０．０、NbとTaの合計：４．１５以下（０を含む）、Al：１．５以下（０を含む）、Ti：０．６以下（０を含む）、Fe：２０．０以下（０を含まず）、W：１．０以下（０を含む）、B：０．０１以下（０を含む）を含有し、残部がNiおよび不可避免的不純物で構成される合金

30

である（M２）、（M１０）および（M１４）の群の中から選択された１つの合金で形成されていることを特徴とする請求項５乃至７のいずれか１項記載の蒸気タービン発電設備。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

40

本発明は、高温蒸気タービンを備える蒸気タービン発電設備に係り、特に各構成部分が好適な耐熱鋼で構成された蒸気タービンを備える蒸気タービン発電設備に関する。

【背景技術】

【０００２】

従来、火力発電設備を構成する各構成部分において、蒸気条件が一般に６００℃級以下の蒸気温度であることから、高温に晒される、例えば、タービンのロータ、タービン翼等の主要部材には製造性や経済性に優れたフェライト系耐熱鋼が使用されてきた（例えば、特許文献１～４参照。）。

【０００３】

また、近年において、環境保全を背景とした火力発電設備の高効率化が積極的に進めら

50

れ、600℃程度の温度の高温蒸気を利用した蒸気タービンが運転されており、このようなタービンにおいてはフェライト系耐熱鋼の諸特性では要求特性を満たすことのできない部品が少なからず存在する。そのため、より高温特性に優れたオーステナイト系耐熱鋼等が使用されている。

【0004】

しかし、オーステナイト系耐熱鋼の使用は設備コストの上昇を招くとともに、オーステナイト系耐熱鋼はフェライト系耐熱鋼に比較して熱伝導率が低く、さらに線膨張係数が大きいため、プラント起動時やプラント停止時などの負荷変化時に熱応力が発生しやすいという問題があった。

【0005】

そこで、600℃程度の温度の蒸気を利用した蒸気タービンよりもさらに高温の650℃以上の温度の蒸気を利用した蒸気タービンにおいて、オーステナイト系耐熱鋼を限定的に利用して、蒸気タービン発電システムを構成する提案がされている（例えば、特許文献5～7参照。）。これらの蒸気タービン発電システムでは、高圧タービンに高温特性に優れたオーステナイト系耐熱鋼が主に利用されている。

【特許文献1】特公昭60-54385号公報

【特許文献2】特開平2-149649号公報

【特許文献3】特開平6-149649号公報

【特許文献4】特開平8-3697号公報

【特許文献5】特開平7-247806号公報

【特許文献6】特開2000-282808号公報

【特許文献7】特許第3095745号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記した蒸気タービン発電システムにおいて、高圧タービンは、中圧タービンに比べ、圧力が4～6倍程度高く設定されることが多いため、高圧タービンを構成するケーシング、高圧タービンに蒸気を導く主蒸気管、ボイラの構成部材等は高圧に耐え得るように厚肉に構成される。

【0007】

しかしながら、厚肉のオーステナイト系耐熱鋼を使用することは、設備コスト上昇を招く。さらに、オーステナイト系耐熱鋼は、熱伝導率が低く、線膨張係数が大きいため、プラント起動時やプラント停止時などの負荷変化時に過大な熱応力を発生することがある。そのため、プラント起動時やプラント停止時などに、負荷変化率を低く抑える等の必要があり、通常の蒸気発電プラントに比べて運転特性が著しく悪化する等の問題があった。

【0008】

そこで、本発明は、上記問題を解決するためになされたものであり、中圧タービンの所定の構成部材に限定的にオーステナイト系耐熱鋼やNi基合金を用いることで、設備コストの上昇を抑制し、さらにプラント起動時やプラント停止時などの負荷変化時に発生する過大な熱応力を抑制でき、高い熱効率で良好な運転特性を得ることができる蒸気タービン発電設備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】

上記目的を達成するために、本発明の蒸気タービン発電設備は、高圧タービンと、中圧タービンと、低圧タービンとを備え、前記中圧タービンが、高圧タービンの排出蒸気を650℃以上に再加熱した高温蒸気が導入される高温中圧タービンと、この高温中圧タービンの排出蒸気が導入される低温中圧タービンとに分離されて構成される蒸気タービン発電設備であって、前記高温中圧タービンのロータを、前記高圧タービンから排気される蒸気または前記高圧タービンから抽気された蒸気からなる冷却蒸気によって冷却する蒸気冷却手段を備え、前記高圧タービン、前記低温中圧タービンおよび前記低圧タービンの少なく

10

20

30

40

50

とも1つの構成要素がフェライト系の合金鋼によって構成され、前記高温中圧タービンのケーシングが外部ケーシングと内部ケーシングとの二重構造で構成され、前記蒸気冷却手段は前記外部ケーシングと前記内部ケーシングとの間に前記冷却蒸気を導入して該外部ケーシングを冷却するよう構成され、かつ前記高温中圧タービンのロータが、重量%で、
(M7) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.2~0.35、Ti: 0.01以下(0を含む)、Mo: 0.7~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金鋼、および(M8) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.2~0.35、Ti: 0.01以下(0を含む)、Mo: 0.7~1.4、W: 0.8~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金鋼である(M7)あるいは(M8)の中から選択されるいずれかの合金鋼で形成され、かつ前記外部ケーシングが、重量%で、(M13) C: 0.12~0.18、Si: 0.3以下(0を含まず)、Mn: 0.5~0.9、Ni: 0.5以下(0を含まず)、Cr: 1.0~1.5、V: 0.2~0.35、Mo: 0.9~1.2、Ti: 0.01~0.04を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金鋼で形成されていることを特徴とする。

10

【0013】

この蒸気タービン発電設備によれば、高温中圧タービンに、高圧タービンから排気される蒸気または高圧タービンから抽気された蒸気からなる冷却蒸気を供給する蒸気冷却手段を備えることで、650℃以上の高温蒸気を高温中圧タービンに導入することができ、熱効率の向上が図れる。

20

【0016】

また、本発明の蒸気タービン発電設備は、高圧タービンと、この高圧タービンの排出蒸気を650℃以上に再加熱した高温蒸気が導入される中圧タービンと、この中圧タービンの排出蒸気が導入される低圧タービンとを備える蒸気タービン発電設備であって、前記中圧タービンのロータを、前記高圧タービンから排気される蒸気または前記高圧タービンから抽気された蒸気からなる冷却蒸気によって冷却する蒸気冷却手段を備え、前記高圧タービンおよび前記低圧タービンの少なくとも1つの構成要素がフェライト系の合金鋼によって構成され、前記中圧タービンのケーシングが外部ケーシングと内部ケーシングとの二重構造で構成され、前記蒸気冷却手段は前記外部ケーシングと前記内部ケーシングとの間に前記冷却蒸気を導入して該外部ケーシングを冷却するよう構成され、かつ前記中圧タービンのロータが、重量%で、(M7) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.2~0.35、Ti: 0.01以下(0を含む)、Mo: 0.7~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金鋼、および(M8) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.2~0.35、Ti: 0.01以下(0を含む)、Mo: 0.7~1.4、W: 0.8~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金鋼である(M7)あるいは(M8)の中から選択されたいずれかの合金鋼で形成され、かつ前記外部ケーシングが、重量%で、(M13) C: 0.12~0.18、Si: 0.3以下(0を含まず)、Mn: 0.5~0.9、Ni: 0.5以下(0を含まず)、Cr: 1.0~1.5、V: 0.2~0.35、Mo: 0.9~1.2、Ti: 0.01~0.04を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物で構成される合金鋼で形成されていることを特徴とする。

30

40

【0018】

この蒸気タービン発電設備によれば、中圧タービンに、高圧タービンから排気される蒸気または高圧タービンから抽気された蒸気からなる冷却蒸気を供給する蒸気冷却手段を備えることで、650℃以上の高温蒸気を中圧タービンに導入することができ、熱効率の向上が図れる。

50

【0019】

次に、本発明の蒸気タービンの構成部材を形成する耐熱合金あるいは耐熱合金鋼について説明する。本発明の蒸気タービンの構成部材を形成する耐熱合金あるいは耐熱合金鋼は、次に示す(M1)～(M14)の化学組成範囲の耐熱合金あるいは耐熱合金鋼から条件に応じて適宜に選択される。なお、以下に示す化学組成の割合は、重量%である。

【0020】

(M1) Ni: 50.0～55.0、Cr: 17.0～21.0、NbまたはNbとTaの合計: 4.75～5.5、Mo: 2.8～3.3、Ti: 0.65～1.15、Al: 0.2～0.8、Co: 1.0以下(0を含む)、C: 0.08以下(0を含まず)、Mn: 0.35以下(0を含まず)、Si: 0.35以下(0を含まず)、B: 0.006以下(0を含まず)を含有し、残部がFeおよび不可避的不純物で構成される合金。

10

【0021】

なお、Coの含有率が「0」の場合は、Coの含有率の範囲で、FeまたはNiで代替してもよい。

【0022】

(M2) C: 0.02～0.25、Si: 1.0以下(0を含まず)、Mn: 1.0以下(0を含まず)、Cr: 19.0～24.0、Co: 15.0以下(0を含む)、Mo: 8.0～10.0、NbとTaの合計: 4.15以下(0を含む)、Al: 1.5以下(0を含む)、Ti: 0.6以下(0を含む)、Fe: 20.0以下(0を含まず)、W: 1.0以下(0を含む)、B: 0.01以下(0を含む)を含有し、残部がNiおよび不可避的不純物で構成される合金。

20

【0023】

なお、Coの含有率が「0」の場合は、NbとTaの合計量を上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、NbとTaの含有率が「0」の場合(NbとTaの合計が「0」の場合)は、Co、B、Ti、Al、Feのうちの1種以上を、それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、Alおよび/またはTiの含有率が「0」の場合は、W、Co、Feのうちの1種以上を、それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。さらに、Wの含有率が「0」の場合は、Nb、Ta、Bのうちの1種以上を、それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、Bの含有率が「0」の場合は、W、Nb、Ta、Feのうちの1種以上を、それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。

30

【0024】

(M3) C: 0.02～0.2、Si: 1.0以下(0を含まず)、Mn: 1.0以下(0を含まず)、Cr: 12.0～21.0、Co: 22.0以下(0を含む)、Mo: 10.5以下(0を含む)、NbとTaの合計: 2.8以下(0を含む)、Al: 0.4～6.5、Ti: 0.5～3.25、Fe: 9.0以下(0を含む)、B: 0.02以下(0を含む)、Zr: 4.0以下(0を含む)を含有し、残部はNiおよび不可避的不純物で構成される合金。

40

【0025】

なお、Coの含有率が「0」の場合は、Ti、Al、Nb、Ta、Feのうちの1種以上を、それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、Moの含有率が「0」の場合は、Co、Nb、Taのうちの1種以上を、それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、NbとTaの含有率が「0」の場合(NbとTaの合計が「0」の場合)は、Co、B、Zrの1種以上を、それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。さらに、Feの含有率が「0」の場合は、Coを上記したCoの含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、Bの含有率が「0」の場合は、Nb、Ta、Co、Feの1種以上を、そ

50

それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、Zrの含有率が「0」の場合は、Co、Mo、Nb、Taの1種以上を、それぞれの成分の上記した含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。

【0026】

(M4) C: 0.08~0.15、Si: 0.1以下(0を含まず)、Mn: 0.1~0.3、Ni: 0.1~0.3、Cr: 9.0以上10.0未満、V: 0.15~0.3、Mo: 0.6~1.0、W: 1.5~2.0、Co: 1.0~4.0、Nb: 0.02~0.08、B: 0.001~0.015、N: 0.01~0.06を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物で構成され、焼戻し熱処理によって、 $M_{23}C_6$ 型炭化物を主として結晶粒界およびマルテンサイトラス境界に析出させ、該マルテンサイトラス内部には M_2X 型炭窒化物およびMX型炭窒化物を析出させ、 M_2X 型炭窒化物の構成元素中のVとMoに間に $V > Mo$ の関係を有し、該 $M_{23}C_6$ 型炭化物、 M_2X 型炭窒化物およびMX型炭窒化物の析出物合計が2.0~4.0重量%である合金鋼。

10

【0027】

(M5) C: 0.08~0.15、Si: 0.1以下(0を含まず)、Mn: 0.1~0.8、Ni: 0.1~0.8、Cr: 9.0以上11.0未満、V: 0.15~0.3、Mo: 0.8~1.4、Nb: 0.02~0.3、N: 0.01~0.06を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物で構成される合金鋼。

20

【0028】

(M6) C: 0.08~0.15、Si: 0.1以下(0を含まず)、Mn: 0.1~0.8、Ni: 0.1~0.8、Cr: 9.0以上11.0未満、V: 0.15~0.3、Mo: 0.8~1.4、Nb: 0.02~0.3、N: 0.01~0.06、W: 0.5~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物で構成される合金鋼。

【0029】

(M7) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.2~0.35、Ti: 0.01以下(0を含む)、Mo: 0.7~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物で構成される合金鋼。

【0030】

なお、Tiの含有率が「0」の場合は、Vを上記したVの含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。

30

【0031】

(M8) C: 0.13~0.35、Si: 0.2以下(0を含まず)、Mn: 0.8以下(0を含まず)、Ni: 0.8以下(0を含まず)、Cr: 0.8~1.9、V: 0.2~0.35、Ti: 0.01以下(0を含む)、Mo: 0.7~1.4、W: 0.8~1.4を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物で構成される合金鋼。

【0032】

なお、Tiの含有率が「0」の場合は、Vを上記したVの含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。

40

【0033】

(M9) C: 0.1以下(0を含まず)、Si: 1.5以下(0を含まず)、Mn: 1.0以下(0を含まず)、Cr: 11.0~20.0、NiとCoの合計: 40.0~60.0、Mo: 2.5~7.0、Al: 0.35以下(0を含まず)、Ti: 2.3~3.1、Zr: 0.1以下(0を含まず)、B: 0.001~0.02を含有し、残部はFeおよび可避的不純物で構成される合金。

【0034】

(M10) C: 0.05~0.45、Si: 2.0以下(0を含まず)、Mn: 2.0以下(0を含まず)、Cr: 23.0~27.0、Ni: 18.0~22.0、Mo: 0.5以下(0を含む)を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物で構成される合金。

50

【0035】

なお、Moの含有率が「0」の場合は、Cを上記したCの含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。

【0036】

(M11) C: 0.05~0.15、Si: 0.3以下(0を含まず)、Mn: 0.1~1.5、Ni: 1.0以下(0を含まず)、Cr: 9.0以上10未満、V: 0.1~0.3、Mo: 0.6~1.0、W: 1.5~2.0、Co: 1.0~4.0、Nb: 0.02~0.08、B: 0.001~0.008、N: 0.005~0.1、Ti: 0.001~0.03を含有し、残部はFeおよび不可避免の不純物で構成され、焼戻し熱処理によって、 $M_{23}C_6$ 型炭化物を主として結晶粒界およびマルテンサイトラス境界に析出させ、該マルテンサイトラス内部には M_2X 型炭窒化物およびMX型炭窒化物を析出させ、 M_2X 型炭窒化物の構成元素中のVとMoに間に $V > Mo$ の関係を有し、該 $M_{23}C_6$ 型炭化物、 M_2X 型炭窒化物およびMX型炭窒化物の析出物合計が2.0~4.0重量%である合金鋼。

10

【0037】

(M12) C: 0.05~0.16、Si: 0.3以下(0を含まず)、Mn: 0.5~0.7、Ni: 0.3~0.6、Cr: 9.0~10.5、V: 0.1~0.3、Mo: 0.6~1.0、Nb: 0.02~0.08、N: 0.005~0.1を含有し、残部はFeおよび不可避免の不純物で構成される合金鋼。

【0038】

20

(M13) C: 0.12~0.18、Si: 0.3以下(0を含まず)、Mn: 0.5~0.9、Ni: 0.5以下(0を含まず)、Cr: 1.0~1.5、V: 0.2~0.35、Mo: 0.9~1.2、Ti: 0.01~0.04を含有し、残部はFeおよび不可避免の不純物で構成される合金鋼。

【0039】

(M14) C: 0.01~0.45、Si: 1.0以下(0を含まず)、Mn: 2.0以下(0を含まず)、Cr: 19~25、Ni: 18.0~45.0、Mo: 2.0以下(0を含む)、Nb: 0.1~0.4、W: 8.0以下(0を含む)、Ti: 0.6以下(0を含む)、Al: 0.6以下(0を含む)、B: 0.01以下(0を含む)、N: 0.25以下(0を含む)を含有し、残部はFeおよび不可避免の不純物で構成される合金。

30

【0040】

なお、Moの含有率が「0」の場合は、Wを上記したWの含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、Wの含有率が「0」の場合は、Moを上記したMoの含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、Tiの含有率が「0」の場合は、Nbを0.1~0.4重量%の範囲で含有することで、十分な機械的性質が確保される。さらに、Alの含有率が「0」の場合は、Siを上記したSiの含有率の範囲内で増加させることで、十分な耐環境特性が確保される。また、Bの含有率が「0」の場合は、Wを上記したWの含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。また、Nの含有率が「0」の場合は、Wを上記したWの含有率の範囲内で増加させることで、十分な機械的性質が確保される。

40

【0041】

上記した(M1)~(M14)の耐熱合金あるいは耐熱合金鋼のうち、(M4)および(M11)の材料で規定された析出物の種類、金属組織上の析出位置およびそれらの析出量と構成元素比を満たして材料が構成される場合には、所望の機械的特性を得ることができる。

【0042】

円盤を軸芯と組合せるなど比較的小型の部材で構成されるロータの材料として、例えば、高温強度に優れた(M1)の耐熱合金や高温での熱安定性に優れた(M2)の耐熱合金が好適である。また、ロータの材料として、高温強度に優れた(M3)、(M4)の耐熱合金を用いることもできる。また、冷却蒸気を用いてロータを冷却する蒸気冷却手段を備

50

えた場合におけるロータの材料として、例えば、フェライト系耐熱鋼であり製造性に優れた(M4)～(M8)の耐熱合金鋼が好適である。

【0043】

比較的小型の部材で構成され高温の蒸気に晒される動翼、ノズル、静翼などの材料として、例えば、TiやAlを多く含有し、 γ' 相の析出強化を多量に働かせ、高温強度に優れた(M3)、(M9)の耐熱合金が好適である。また、動翼、ノズル、静翼などの材料として、高温での熱安定性に優れた(M1)、(M2)、(M14)の耐熱合金を用いることもできる。

【0044】

冷却蒸気を用いてケーシングを冷却する蒸気冷却手段を備えた場合における蒸気タービンのケーシングの材料として、例えば、フェライト系耐熱鋼であり、鋳造等の製造性に優れた(M11)～(M13)の耐熱合金鋼が好適である。また、ケーシングを冷却しない場合においては、例えば、高温での熱安定性に優れた(M1)、(M2)、(M3)、(M14)の耐熱合金が好適である。

10

【0045】

ケーシングに内部に設置され、高温蒸気を初段の動翼に導くノズルボックスは、構造溶接が不可欠であり、さらに高温の蒸気に晒されるため、このノズルボックスの材料として、例えば、高温での熱安定性に優れた(M2)、(M14)の耐熱合金が好適である。

【0046】

高温蒸気を蒸気タービンに導くリード管は、高温の蒸気に晒されるため、このリード管の材料として、例えば、高温での熱安定性に優れた(M2)、(M10)、(M14)の耐熱合金が好適である。

20

【発明の効果】

【0047】

本発明の蒸気タービン発電設備によれば、蒸気タービン発電設備の所定の部分に限定的にオーステナイト系耐熱鋼やNi基合金を用いることで、設備コストの上昇を抑制し、さらにプラント起動時やプラント停止時などの負荷変化時に過大な熱応力の発生を抑制でき、高い熱効率で良好な運転特性を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

以下、本発明の一実施の形態を、図面に基づいて説明する。

30

【0049】

(第1の実施の形態)

本発明の第1の実施の形態の蒸気タービン発電設備10について、図1を参照して説明する。図1には、蒸気タービン発電設備10の構成の概要を示している。

【0050】

蒸気タービン発電設備10では、中圧タービンが高温高圧側の高温中圧タービン部11aと低温低圧側の低温中圧タービン部11bとに分離されており、この蒸気タービン発電設備10は、同一のケーシング内に設置された高圧タービン12および低温中圧タービン部11bと、高温中圧タービン部11aと、高圧タービン12と、低温タービン13と、発電機14と、復水器15と、ボイラ16とで主に構成されている。なお、650℃以上の温度の高温蒸気が導入される高温中圧タービン部11aは、オーステナイト系耐熱鋼やNi基合金で構成されている。

40

【0051】

続いて、蒸気タービン発電設備10における蒸気の動作について説明する。

ボイラ16で650℃より低い例えば630℃の温度まで加熱されて流出する蒸気は、主蒸気管17を通り圧力250atmで高圧タービン12に流入する。高圧タービン12の動翼を例えば9段落で構成するとすれば、この蒸気は、高圧タービン12で膨張仕事を行ったのち第9段落出口から例えば蒸気温度420℃、圧力70atmで排気され、低温再熱管18を通り再熱器19に流入する。この再熱器19は、流入した蒸気を650℃以

50

上の例えば700℃の温度に再熱し、再熱された蒸気は、リード管として機能する高温再熱管20を経て圧力55atmで高温中圧タービン部11aに流入する。

【0052】

高温中圧タービン部11aの動翼を例えば4段落で構成するとすれば、この高温中圧タービン部11aに流入し、膨張仕事をした蒸気は、第4段落出口から排気され、中圧部連絡管21を経て例えば蒸気温度550℃、圧力24atmで低温中圧タービン部11bに供給される。

【0053】

低温中圧タービン部11bは、例えば4段で構成され、この低温中圧タービン部11bに流入し、膨張仕事をした蒸気は、クロスオーバ管22を通り、例えば蒸気温度360℃、圧力7atmで低圧タービン13に供給される。

10

【0054】

低圧タービン13では、同じ構造を有する2基の低圧タービン部13a、13bがタンデム結合されている。それぞれの低圧タービン部13a、13bの動翼は4段であり、低圧タービン部13aと低圧タービン部13bとがほぼ左右対称に構成されている。この低圧タービン13に供給された蒸気は、膨張仕事をしたのち復水器15で復水され、ボイラ給水ポンプ23で昇圧されてボイラ16に還流される。ボイラ16に還流された復水は、蒸気となり再び主蒸気管17を経て高圧タービン12に供給される。なお、発電機14は各蒸気タービンの膨張仕事によって回転駆動され発電する。

【0055】

20

次に、図2を参照して、高温中圧タービン部11aについて説明する。

図2には、高温中圧タービン部11aの上半ケーシング部における断面図が示されている。

【0056】

高温中圧タービン部11aにおいて、外側の外部ケーシング30内には内部ケーシング31が設けられており、その内部ケーシング31内にロータ32が貫設されている。また、内部ケーシング31の内側面には、例えば4段落のノズル33が配設され、ロータ32には、動翼34が植設されている。さらに、高温中圧タービン部11aには、高温再熱管20が、外部ケーシング30および内部ケーシング31を貫通して設けられ、さらに高温再熱管20の端部が、動翼34側に向けて蒸気を導出するノズルボックス35に接続されている。

30

【0057】

続いて、高温中圧タービン部11aにおける蒸気の動作について説明する。

再熱器19で650℃以上の例えば700℃の温度に加熱された蒸気が、高温再熱管20を経て圧力55atmで高温中圧タービン部11a内のノズルボックス35に流入する。ノズルボックス35に流入した蒸気は、ノズル33、動翼34へ導かれ膨張仕事をしたのち中圧部連絡管21を経て低温中圧タービン部11bに供給される。

【0058】

次に、高温中圧タービン部11aを構成するロータ32、動翼34、内部ケーシング31、外部ケーシング30、ノズルボックス35および高温再熱管20の構成材料について、表1および2を参照して説明する。表1には、構成材料の化学組成が示され、表2には、表1に示された構成材料の10万時間クリープ破断強度が示されている。ここで、表2中に示された#1は、温度が600℃の条件下における10万時間クリープ破断強度を示し、#2は、温度が550℃の条件下における10万時間クリープ破断強度を示す。また、無印は、温度が700℃の条件下における10万時間クリープ破断強度を示す。ここで、表1に示された高温中圧タービン部11aを構成する構成材料の化学組成は一例を示したものであり、この化学組成は、上述した本発明の蒸気タービンの構成部材を形成する耐熱合金あるいは耐熱合金鋼(M1)～(M14)の化学組成の範囲で適宜に選択できる。

40

【0059】

なお、蒸気タービン発電設備10において、高温中圧タービン部11a以外の高圧ター

50

ビン 1 2、低温中圧タービン部 1 1 b、低圧タービン 1 3、主蒸気管 1 7、低温再熱管 1 8、中圧部連絡管 2 1 およびクロスオーバ管 2 2 には、6 5 0 ℃より低い温度の蒸気が流れるため、それらの構成部材は主にフェライト系耐熱鋼が用いられる。

【 0 0 6 0 】

【表 1】

材料	化学組成 (重量%)																
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	N	Nb(+Ta)	Co	B	Ti	Al	Fe	他
P1	0.06	0.35	1.62	0.029	0.003	20.2	24.5	-	-	-	-	-	-	-	-	残	-
P2	0.10	0.35	1.05	0.012	0.006	42.5	23.3	-	6.38	-	0.16	-	-	0.07	0.51	残	-
P3	0.09	0.47	0.48	0.009	0.004	残	21.8	8.78	-	-	-	12.7	0.002	0.01	1.27	1.73	-
P4	0.05	0.21	0.18	0.010	0.009	残	21.2	8.94	-	-	3.51	-	-	0.14	0.14	1.73	-
P5	0.07	0.52	0.32	0.012	0.011	残	21.7	8.97	0.55	-	-	1.5	-	-	-	18.4	-
P6	0.07	0.14	0.96	0.009	0.009	31.4	20.5	-	-	-	-	-	-	0.59	0.51	残	-
P7	0.04	0.04	0.03	0.009	0.009	53.3	18.2	3.10	-	-	5.04	0.01	0.004	1.03	0.51	残	-
P8	0.10	0.18	0.08	0.013	0.007	残	12.8	4.16	-	-	2.37	-	0.007	0.74	6.12	1.76	Zr:0.09
P9	0.03	0.16	0.56	0.019	0.011	36.2	17.3	2.58	-	-	-	18.6	0.004	2.69	0.23	21.8	Zr:0.03
P10	0.05	0.09	0.05	0.012	0.006	43.0	11.9	6.05	-	-	-	-	0.012	2.51	0.28	残	-
P11	0.09	0.07	0.07	0.011	0.008	0.19	9.8	0.57	1.82	0.014	0.05	2.82	0.008	-	-	残	V:0.19
P12	0.14	0.03	0.64	0.009	0.005	0.69	10.0	0.99	1.01	0.04	0.05	-	-	-	-	残	V:0.19
P13	0.29	0.05	0.68	0.008	0.005	0.45	1.14	1.34	-	-	-	-	-	-	-	残	V:0.29
P14	0.29	0.05	0.58	0.009	0.002	0.31	1.75	0.78	1.14	-	-	-	-	0.005	-	残	V:0.29
P15	0.14	0.48	0.51	0.010	0.005	残	19.1	9.95	-	-	-	9.98	-	2.48	0.99	-	-
P16	0.12	0.15	0.51	0.008	0.003	0.19	9.8	0.65	1.79	0.02	0.05	2.91	0.006	0.02	-	残	V:0.19
P17	0.04	0.48	0.82	0.010	0.004	残	15.7	-	-	-	0.98	-	-	2.45	0.58	6.58	-
P18	0.07	0.01	0.01	0.008	0.003	残	19.7	-	-	-	-	-	-	2.41	1.46	0.2	-
P19	0.08	0.55	0.80	0.015	0.006	残	20.1	-	-	-	-	17.9	-	1.44	0.77	-	-
P20	0.13	0.58	0.70	0.010	0.005	残	14.8	4.92	-	-	-	20.3	-	1.21	4.33	-	-
P21	0.06	0.53	0.64	0.010	0.003	残	19.4	4.31	-	-	-	13.6	0.006	2.97	1.25	-	Zr:0.05
P22	0.08	0.45	0.56	0.008	0.004	残	18.1	4.01	-	-	-	18.5	0.005	2.98	2.91	-	Zr:0.05
P23	0.08	0.76	0.99	0.014	0.002	24.8	20.2	1.45	-	0.17	0.23	-	0.005	0.04	-	残	-
P24	0.14	0.25	0.51	0.010	0.006	0.79	10.1	0.90	-	0.041	0.09	-	-	-	-	残	V:0.22
P25	0.14	0.22	0.80	0.009	0.005	0.25	1.15	0.95	-	-	-	-	-	0.012	-	残	V:0.21

【 0 0 6 1 】

【表 2】

材料	10万時間クリープ破断強度(MPa)
P1	30~50
P2	90~120
P3	100~150
P4	100~150
P5	70~100
P6	45~75
P7	100~130
P8	250~400
P9	130~150
P10	100~160
P11	160~190 (#1)
P12	100~130 (#1)
P13	120~160 (#2)
P14	160~200 (#2)
P15	80~200
P16	120~150 (#1)
P17	90~200
P18	90~150
P19	200~250
P20	250~300
P21	200~230
P22	250~350
P23	80~100
P24	80~110 (#1)
P25	90~140 (#2)

無印:700℃

#1:600℃

#2:550℃

【0062】

(ロータ32)

高温中圧タービン部11aのロータ32は、表1中の材料P4、材料P7、材料P21の中から選択された材料によって形成され、複数の円盤および軸芯または単一部材で構成される。

【0063】

材料P4、材料P7、材料P21の700℃の温度における10万時間クリープ破断強度は、フェライト系耐熱鋼である材料P13、材料P14の550℃の温度における10万時間クリープ破断強度やフェライト系耐熱鋼であるP11、P12の600℃の温度における10万時間クリープ破断強度と比べて、同等またはそれ以上である。このことから、ロータ32を材料P4、材料P7または材料P21で構成することにより、フェライト系耐熱鋼が主として用いられていた従来の中圧タービンよりも大幅な高温環境下でも十分な強度特性が得られることがわかる。

【0064】

一方、材料P11~材料P14のようなフェライト系耐熱鋼では、温度が700℃における10万時間クリープ破断強度を測定することは不可能であった。また、材料P11~材料P14をロータ32に用いた場合、ロータ32表面に流入する蒸気の温度が、例えば700℃程度の高温蒸気環境下では変形が著しく、長期間の運用に耐えられず、かつ酸化による減肉も著しくなる等の問題がある。

【0065】

(動翼 3 4)

動翼 3 4 は、高温蒸気に直接晒されるため、高温クリープ破断強度が高い材料で構成することが不可欠であり、少なくとも初段の動翼 3 4 は、表 1 中の材料 P 8、材料 P 1 5、材料 P 1 9、材料 P 2 0、材料 P 2 2 の中から選択された材料によって形成され、ロータ 3 2 に植設される。また、すべての動翼 3 4 をこれらの材料で構成することもできる。動翼 3 4 を形成する材料には、精密鋳造法によって成形されるものと、鍛造・圧延後に切削によって成形されるものがあるが、これらはタービンの出力に起因した羽根寸法や運転時の負荷応力との兼ね合いで選択される。

【0066】

材料 P 8、材料 P 1 5、材料 P 1 9、材料 P 2 0、材料 P 2 2 の 1 0 万時間クリープ破断強度は、前述したロータ 3 2 を形成する材料の 1 0 万時間クリープ破断強度と比べて、同等またはそれ以上であり、高温環境下で必要な強度特性が得られることがわかる。

【0067】

一方、材料 P 1 1～材料 P 1 4 のようなフェライト系耐熱鋼、材料 P 1、材料 P 6、材料 P 2 3 のようなオーステナイト系耐熱鋼、または材料 P 5 のような A l や T i 無添加の N i 基合金では、動翼として必要なクリープ破断強度が得られず、例えば 7 0 0 ℃ 程度的高温蒸気環境下では変形が著しく、長期間の運用に耐えられない。

【0068】

なお、ノズル 6 3 または静翼等も高温の蒸気に直接晒されるため、動翼 3 4 と同一の材料で形成されてもよい。

【0069】

(内部ケーシング 3 1 および外部ケーシング 3 0)

内部ケーシング 3 1 および外部ケーシング 3 0 は、表 1 中の材料 P 1、材料 P 2、材料 P 4、材料 P 5、材料 P 2 3 の中から選択された材料によって形成される。ロータ 3 2 や動翼 3 4 を形成する材料に比べ 1 0 万時間クリープ破断強度は低い、内部ケーシング 3 1 および外部ケーシング 3 0 のような静止部品は、形状や肉厚を変えることによって比較的低強度の材料を採用することができる。

【0070】

一方、内部ケーシング 3 1 および外部ケーシング 3 0 は、所望の形状に成形するために鋳造で製作する必要がある、鋳造性に優れ、かつ、補修および構造溶接が不可避となるため、溶接性が優れた材料を用いる必要がある。例えば、動翼 3 4 に好適な材料 P 8、材料 P 1 5、材料 P 1 9、材料 P 2 0、材料 P 2 2 は、表 2 に示すように高温クリープ破断強度は優れているが、大型品として鋳造することや溶接は極めて困難である。また、鋳造性や溶接性に優れた材料 P 1 6 や材料 P 2 4 のようなフェライト系耐熱鋳鋼は、例えば 7 0 0 ℃ 程度的高温蒸気環境下では変形が著しく、酸化による減肉も著しくなる等の問題があり、長期間の運用に耐えられない。

【0071】

(ノズルボックス 3 5)

ノズルボックス 3 5 は、表 1 中の材料 P 1～材料 P 6、材料 P 2 3 の中から選択された材料によって、単一部材または溶接された複数の部材から構成される。

【0072】

材料 P 1～材料 P 6、材料 P 2 3 の 7 0 0 ℃ の温度における 1 0 万時間クリープ破断強度は、材料によって差があるが、ノズルボックス 3 5 のような静止部品の場合は、ノズルボックス 3 5 の外表面温度と表 2 に示すクリープ破断強度に対応してノズルボックス 3 5 の肉厚の増減することで、構成材料を選択することができる。

【0073】

一方、材料 P 1 1～材料 P 1 4、材料 P 1 6、材料 P 2 4 および材料 P 2 5 のようなフェライト系耐熱鋼は、ノズルボックス 3 5 内面に流入する例えば 7 0 0 ℃ 程度的高温蒸気環境下では長期間の運用に耐えられない。また、ノズルボックス 3 5 では、構造溶接をすることが不可避であるが、材料 P 7～材料 P 1 0、材料 P 1 5、材料 P 1 7～材料 P 2 2

10

20

30

40

50

は、溶接が不可能または溶接作業性が低い等の問題がある。

【0074】

(高温再熱管20)

高温再熱管20は、表1中の材料P1～材料P4および材料P23の中から選択された材料によって構成される。高温再熱管20は、継目なし管または継目管で構成される。高温再熱管20の内面は高温蒸気に直接晒されるため、高温に耐え得る材料で構成することが望ましい。

【0075】

材料P1～材料P4および材料P23の700℃の温度における10万時間クリープ破断強度は、材料によって差があるが、高温再熱管20のような静止部品の場合は、高温再熱管20の外表面温度と表2に示すクリープ破断強度に対応して高温再熱管20の肉厚の増減することで、構成材料を選択することができる。

10

【0076】

一方、材料P11～材料P14および材料P16のようなフェライト系耐熱鋼は、高温再熱管20の内面に流入する例えば700℃程度の高温蒸気環境下では長期間の運用に耐えられない。また、高温再熱管20では、構造溶接をすることが不可避であるが、材料P7～材料P10、材料P15、材料P17～材料P22は、溶接が不可能または溶接作業性が低い等の問題がある。

【0077】

上記したように第1の実施の形態の蒸気タービン発電設備10では、中圧タービンを高温高压側の高温中圧タービン部11aと低温低压側の低温中圧タービン部11bとに分離し、650℃以上の温度の蒸気に晒される高温中圧タービン部11aを構成するロータ32、動翼34、内部ケーシング31、外部ケーシング30、ノズルボックス35および高温再熱管20を高温特性に優れたオーステナイト系耐熱鋼やNi基合金で形成することで、従来の蒸気タービン発電設備に比べ大幅な高温環境下における運転が可能となる。

20

【0078】

また、高温中圧タービン部11aでは、高温中圧タービン部11aを構成するロータ32、動翼34、内部ケーシング31、外部ケーシング30、ノズルボックス35および高温再熱管20を、冷却蒸気によって冷却することなく、650℃以上の温度の蒸気中で使用することができるため、熱効率を向上させることができる。

30

【0079】

さらに、高温中圧タービン部11a以外の蒸気タービン等は、主要部品に対してオーステナイト系耐熱鋼やNi基合金を用いる必要はなく、従来の使用材料のフェライト系耐熱鋼から好適な材料を選択して形成することができるので、設備コストの上昇を抑制することができる。

【0080】

また、蒸気タービン発電設備10では、高温中圧タービン部11aにオーステナイト系耐熱鋼やNi基合金を用いているため、それらの材料を高压タービンに用いた場合に比べて、耐圧に関する設計上の規制が緩和され、高温中圧タービン部11aの肉厚を薄くすることができる。そのため、高温中圧タービン部11aにおいて、特にプラント起動時やプラント停止時などの負荷変化時に発生するオーステナイト系耐熱鋼やNi基合金の過大な熱応力を抑制することができ、信頼性の高い蒸気タービン発電設備を提供することができる。

40

【0081】

(第2の実施の形態)

本発明の第2の実施の形態の蒸気タービン発電設備40について、図3を参照して説明する。図3には、蒸気タービン発電設備40の構成の概要を示している。

【0082】

蒸気タービン発電設備40では、中圧タービンを分離せずに構成し、蒸気タービン発電設備40は、高压タービン41と、中圧タービン42と、低压タービン43と、発電機4

50

4と、復水器45と、ボイラ46とで主に構成されている。なお、650℃以上の温度の高温蒸気が導入される中圧タービン42は、オーステナイト系耐熱鋼やNi基合金で構成されている。

【0083】

続いて、蒸気タービン発電設備40における蒸気の動作について説明する。

ボイラ46で650℃より低い例えば630℃の温度まで加熱されて流出する蒸気は、主蒸気管47を通り圧力250at aで高圧タービン41に流入する。高圧タービン41の動翼を例えば9段落で構成するとすれば、この蒸気は、高圧タービン41で膨張仕事を行ったのち第9段落出口から例えば蒸気温度420℃、圧力70at aで排気され、低温再熱管48を通り再熱器49に流入する。この再熱器49は、流入した蒸気を650℃以上の例えば700℃の温度に再熱し、再熱された蒸気は、リード管として機能する高温再熱管50を経て圧力55at aで中圧タービン42に流入する。

10

【0084】

中圧タービン42の動翼を例えば8段落で構成するとすれば、この中圧タービン42に流入し、膨張仕事をした蒸気は、第8段落出口から排気され、クロスオーバ管51を経て例えば蒸気温度360℃、圧力7at aで低圧タービン43に供給される。

【0085】

低圧タービン43では、同じ構造を有する2基の低圧タービン部43a、43bがタンデム結合されている。それぞれの低圧タービン部43a、43bの動翼は4段であり、低圧タービン部43aと低圧タービン部43bとがほぼ左右対称に構成されている。この低圧タービン43に供給された蒸気は、膨張仕事をしたのち復水器45で復水され、ボイラ給水ポンプ52で昇圧されてボイラ46に還流される。ボイラ46に還流された復水は、蒸気となり再び主蒸気管47を経て高圧タービン41に供給される。なお、発電機44は各蒸気タービンの膨張仕事によって回転駆動され発電する。

20

【0086】

次に、図4を参照して、中圧タービン42について説明する。

図4には、中圧タービン42の上半ケーシング部における断面図が示されている。

【0087】

中圧タービン42において、外側の外部ケーシング60内には内部ケーシング61が設けられており、その内部ケーシング61内にロータ62が貫設されている。また、内部ケーシング61の内側面には、例えば8段落のノズル63が配設され、ロータ62には、動翼64が植設されている。さらに、中圧タービン42には、高温再熱管50が外部ケーシング60および内部ケーシング61を貫通して設けられ、さらに高温再熱管50の端部が、動翼64側に向けて蒸気を導出するノズルボックス65に接続されている。

30

【0088】

続いて、中圧タービン42における蒸気の動作について説明する。

再熱器49で650℃以上の例えば700℃の温度に加熱された蒸気が、高温再熱管50を経て圧力55at aで中圧タービン42内のノズルボックス65に流入する。ノズルボックス65に流入した蒸気は、ノズル63、動翼64へ導かれ膨張仕事をしたのちクロスオーバ管51を経て低圧タービン43に供給される。

40

【0089】

ここで、中圧タービン42を構成するロータ62、動翼64、内部ケーシング61、外部ケーシング60、ノズルボックス65および高温再熱管50の各部分の構成材料は、各部分に対応する第1の実施の形態の蒸気タービン発電設備10の高温中圧タービン部11aを構成するロータ32、動翼34、内部ケーシング31、外部ケーシング30、ノズルボックス35および高温再熱管20の構成材料と同一である。

【0090】

なお、蒸気タービン発電設備40において、中圧タービン42以外の高圧タービン41、低圧タービン43、主蒸気管47、低温再熱管48およびクロスオーバ管51には、650℃より低い温度の蒸気が流れるため、それらの構成部材は主にフェライト系耐熱鋼が

50

用いられる。また、ノズル 63 または静翼等も高温の蒸気に直接晒されるため、動翼 34 と同一の材料で形成されてもよい。

【0091】

上記したように第 2 の実施の形態の蒸気タービン発電設備 40 では、650℃以上の温度の蒸気に晒される中圧タービン 42 を構成するロータ 62、動翼 64、内部ケーシング 61、外部ケーシング 60、ノズルボックス 65 および高温再熱管 50 を高温特性に優れたオーステナイト系耐熱鋼や Ni 基合金で形成することで、従来の蒸気タービン発電設備に比べ大幅な高温環境下における運転が可能となる。

【0092】

また、中圧タービン 42 では、中圧タービン 42 を構成するロータ 62、動翼 64、内部ケーシング 61、外部ケーシング 60、ノズルボックス 65 および高温再熱管 50 を、冷却蒸気によって冷却することなく、650℃以上の温度の蒸気中で使用することができるため、熱効率を向上させることができる。

【0093】

さらに、蒸気タービン発電設備 40 では、中圧タービン 42 にオーステナイト系耐熱鋼や Ni 基合金を用いているため、それらの材料を高圧タービンに用いた場合に比べて、耐圧に関する設計上の規制が緩和され、中圧タービン 42 の肉厚を薄くすることができる。そのため、中圧タービン 42 において、特にプラント起動時やプラント停止時などの負荷変化時に発生するオーステナイト系耐熱鋼や Ni 基合金の過大な熱応力を抑制することができる。

【0094】

(第 3 の実施の形態)

本発明の第 3 の実施の形態の蒸気タービン発電設備について、図 5 を参照して説明する。本発明の第 3 の実施の形態の蒸気タービン発電設備では、第 1 の実施の形態の高温中圧タービン部 11a に各構成部分を冷却する構成を加えたもので、他の構成は第 1 の実施の形態の蒸気タービン発電設備 10 と同じである。

【0095】

図 5 には、ロータ 32 および外部ケーシング 30 を主に冷却する構成を有する高温中圧タービン部 70 の上半ケーシング部における断面図が示されている。なお、第 1 の実施の形態の高温中圧タービン部 11a の構成と同一部分には同一符号を付して重複する説明を省略する。

【0096】

高温中圧タービン部 70 には、冷却蒸気分岐管 71a および冷却蒸気分岐管 71b からなる冷却蒸気管 71 が備えられている。

【0097】

冷却蒸気分岐管 71a は、高温中圧タービン部 70 の外部ケーシング 30 を貫通し、その端面が、ノズルボックス 35 が設置された内部ケーシング 31 内に突出または内部ケーシング 31 内面に面して設置されている。冷却蒸気分岐管 71b は、その端面が、高温中圧タービン部 70 の外部ケーシング 30 内に突出または外部ケーシング 30 内面に面して設置されている。また、冷却蒸気分岐管 71a および冷却蒸気分岐管 71b には、それぞれ圧力調整弁 72a、72b が設けられ、それぞれの圧力調整弁 72a、72b によって、内部ケーシング 31 の内部のみ、外部ケーシング 30 と内部ケーシング 31 との間のみ、またはそれらの双方に冷却蒸気を供給することができ、さらに、供給される冷却蒸気の流量を調整することができる。

【0098】

ここで、冷却蒸気として、例えば、高圧タービン 12 で膨張仕事を行った後に高圧タービン 12 から排出される蒸気の一部や高圧タービン 12 から抽気された蒸気の一部を用いることができる。なお、冷却蒸気は、高温中圧タービン部 70 内を流れる蒸気の温度よりも低い温度の蒸気であればよく、高圧タービン 12 以外の蒸気を使用することもできる。

【0099】

(ロータ 3 2 の冷却)

まず、冷却蒸気分岐管 7 1 a を用いて冷却蒸気が供給される場合について説明する。この場合には、圧力調整弁 7 2 a は開かれ、圧力調整弁 7 2 b は閉じられている。

【0100】

冷却蒸気分岐管 7 1 a から内部ケーシング 3 1 内のノズルボックス 3 5 の周囲に導かれた冷却蒸気は、ロータ 3 2 を冷却しながら、ロータ 3 2 と内部ケーシング 3 1 との間の例えばグラウンドパッキンなどのシール部 7 3 に流入する。シール部に流入した冷却蒸気は、内部ケーシング 3 1 に設けられたシール部 7 3 と外部ケーシング 3 0 に設けられたシール部 7 4 との間から外部ケーシング 3 0 と内部ケーシング 3 1 との間に導かれる。

【0101】

そして、外部ケーシング 3 0 と内部ケーシング 3 1 との間に導かれた冷却蒸気は、外部ケーシング 3 0 と内部ケーシング 3 1 との間を中圧部連絡管 2 1 に向かって流れ、高温中圧タービン部 7 0 で膨張仕事を行った蒸気とともに中圧部連絡管 2 1 に導かれる。この冷却過程において、外部ケーシング 3 0 や内部ケーシング 3 1 も冷却される。また、冷却蒸気は、まず冷却蒸気分岐管 7 1 a からノズルボックス 3 5 の周囲に導かれるため、ノズルボックス 3 5 も冷却される。なお、ノズルボックス 3 5 の内面は高温蒸気に直接晒されるため、その外周面が冷却蒸気で冷却される場合であっても、高温に耐え得る材料で構成することが好ましく、ここでは、第 1 の実施の形態に示したノズルボックス 3 5 の材料と同一の材料が用いられている。

【0102】

また、冷却蒸気分岐管 7 1 a から内部ケーシング 3 1 内のノズルボックス 3 5 の周囲に導かれた冷却蒸気は、例えば、ロータ 3 2 の動翼が植設されている部分に沿って、ロータ 3 2 の凸部に設けられた冷却蒸気通過孔をロータ 3 2 を冷却しながら流れる。そして、冷却蒸気流路を流れた冷却蒸気は、最終段の動翼 3 4 よりも下流側に流出し、高温中圧タービン部 7 0 で膨張仕事を行った蒸気とともに中圧部連絡管 2 1 に導かれる。なお、ロータ 3 2 の動翼が植設されている部分の冷却は、この方法に限られるものではなく、ロータ 3 2 の動翼が植設されている部分を、冷却蒸気によって冷却する方法であれば他の方法も採用することができる。

【0103】

このようにロータ 3 2 を冷却することによって、例えば、冷却蒸気の温度が 5 0 0 °C 以下の場合、冷却蒸気は、高温再熱管 2 0 から導入される 6 5 0 °C 以上の例えば 7 0 0 °C の温度の蒸気に比べて低温なので、ロータ 3 2 の温度を 6 0 0 °C 以下に維持することができる。

【0104】

次に、ロータ 3 2 の構成材料について、表 1 および 2 を参照して説明する。

ロータ 3 2 は、表 1 中の材料 P 1 1 ~ 材料 P 1 4 の中から選択された材料によって、単一部材または溶接された複数の部材から構成される。これらは、冷却蒸気により冷却されたロータ 3 2 の表層温度と表 2 に示す 1 0 万時間クリープ破断強度の相関から選択されるものである。

【0105】

材料 P 1 1 ~ 材料 P 1 4 によって構成される高温中圧タービン部 7 0 のロータ 3 2 は、冷却蒸気によってロータ 3 2 の表層およびロータ 3 2 の動翼との植設部が冷却されるので、高温再熱管 2 0 から導入される蒸気の温度が 6 5 0 °C 以上の例えば 7 0 0 °C でも、従来の蒸気タービン発電設備において多用されているフェライト系耐熱鋼でロータ 3 2 を形成することができる。これによって、従来の蒸気タービン発電設備に比べ大幅な高温環境下で運転が可能となり、熱効率を向上させることができる。

【0106】

また、冷却蒸気によって、ロータ 3 2 を冷却することによる高温中圧タービン部 7 0 における熱効率の低下を最小限に抑制した状態で、フェライト系耐熱鋼の使用限界温度より低い温度での運転を可能にすることができる。

10

20

30

40

50

【0107】

さらに、ロータ32をフェライト系耐熱鋼で構成することができるため、従来の設計思想を踏襲した信頼性の高い高温中圧タービン部70を安価で構成することができる。

【0108】

一方、高温中圧タービン部70に冷却蒸気を効果的に利用する構造を採用しているにもかかわらず、表2に示す材料P11～材料P14よりもクリープ破断強度に優れた材料でロータ32を形成した場合には、冷却蒸気を採用しない構造の場合に比べて、熱効率が若干低下することに加え、部材や製造コスト等の経済性が悪化する。

【0109】

(外部ケーシング30の冷却)

次に、冷却蒸気分岐管71bを用いて冷却蒸気が供給される場合について説明する。この場合には、圧力調整弁72aは閉じられ、圧力調整弁72bは開かれている。

【0110】

冷却蒸気分岐管71bから外部ケーシング30と内部ケーシング31との間に導かれた冷却蒸気は、外部ケーシング30と内部ケーシング31との間を双方のケーシングを冷却しながら、中圧部連絡管21に向かって流れ、高温中圧タービン部70で膨張仕事を行った蒸気とともに中圧部連絡管21に導かれる。なお、冷却蒸気分岐管71bの設置位置は、冷却蒸気が外部ケーシング30と内部ケーシング31との間を高温中圧タービン部70の長手方向に沿って一端部から他端部に渡って冷却できるような位置が好ましい。そこで、冷却蒸気分岐管71bを、例えば、図5に示すように、中圧部連絡管21が設置された高温中圧タービン部70の一端部とは逆の他端部に設置することが好ましい。この冷却蒸気で冷却することによって、高温再熱管20から導入される蒸気の温度が650℃以上の例えば700℃でも、外部ケーシング30が全体に渡って、例えば、温度を600℃以下に維持することができる。

【0111】

次に、外部ケーシング30の構成材料について、表1および2を参照して説明する。

外部ケーシング30は、表1中の材料P16、材料P24および材料P25の中から選択された材料によって構成される。フェライト系耐熱鋼である材料P16、材料P24および材料P25は、複雑形状の大型部材としての製造が容易であるため、形状が複雑な外部ケーシング30は、例えばこれらの材料を用いて鋳造により作製される。また、温度が600℃以下に制限されることによって、高温での機械的特性の不足も解消されるため、信頼性の高い安価な高温中圧タービン部70を構成することができる。

【0112】

さらに、外部ケーシング30をフェライト系耐熱鋼で構成することができるため、従来の設計思想を踏襲した信頼性の高い高温中圧タービン部70を安価で構成することができる。

【0113】

一方、高温中圧タービン部70に冷却蒸気を効果的に利用する構造を採用しているにもかかわらず、表2に示す材料P16、材料P24および材料P25よりもクリープ破断強度に優れた材料で外部ケーシング30を形成した場合には、冷却蒸気を採用しない構造の場合に比べて、熱効率が若干低下することに加え、部材や製造コスト等の経済性が悪化する。

【0114】

ここで、圧力調整弁72aおよび圧力調整弁72bの双方を開き、高温中圧タービン部70に冷却蒸気分岐管71aおよび冷却蒸気分岐管71bの双方から冷却蒸気を供給してもよく、この場合には、上述したロータ32の冷却効果および外部ケーシング30の冷却効果の双方の効果を得ることができる。これによって、ロータ32および外部ケーシング30をフェライト系耐熱鋼で構成することができるため、従来の設計思想を踏襲した信頼性の高い高温中圧タービン部70を安価で構成することができる。

【0115】

(内部ケーシング 31 の冷却)

図 6 には、図 5 に示した高温中圧タービン部 70 の構成に加え、さらに、内部ケーシング 31 を主に冷却する構成を有する高温中圧タービン部 80 の上半ケーシング部における断面図が示されている。なお、図 5 に示した高温中圧タービン部 70 の構成と同一部分には同一符号を付して重複する説明を省略する。

【0116】

この高温中圧タービン部 80 では、ノズルボックス 35 が設置された内部ケーシング 31 の内部と、外部ケーシング 30 と内部ケーシング 31 とから形成される空隙部とを連通する冷却蒸気流路 81 が、内部ケーシング 31 に形成されている。

【0117】

冷却蒸気分岐管 71 a から内部ケーシング 31 内のノズルボックス 35 の周囲に導かれた冷却蒸気は、内部ケーシング 31 の内壁とノズルボックス 35 との間を内部ケーシング 31 を冷却しながら冷却蒸気流路 81 に向けて流れる。冷却蒸気流路 81 を通過し、外部ケーシング 30 と内部ケーシング 31 との間に導かれた冷却蒸気は、外部ケーシング 30 と内部ケーシング 31 との間を中圧部連絡管 21 に向かって流れ、高温中圧タービン部 80 で膨張仕事を行った蒸気とともに中圧部連絡管 21 に導かれる。この冷却過程においてノズルボックス 35 も冷却される。なお、ノズルボックス 35 の内面は高温蒸気に直接晒されるため、その外周面が冷却蒸気で冷却される場合であっても、高温に耐え得る材料で構成することが好ましく、ここでは、第 1 の実施の形態に示したノズルボックス 35 の材料と同一の材料が用いられている。

【0118】

この冷却蒸気で冷却されることによって、高温再熱管 20 から導入される蒸気の温度が 650℃以上の例えば 700℃でも、内部ケーシング 31 が全体に渡って、例えば、温度を 600℃以下に維持することができる。

【0119】

次に、内部ケーシング 31 の構成材料について、表 1 および 2 を参照して説明する。

内部ケーシング 31 は、表 1 中の材料 P16、材料 P24 および材料 P25 の中から選択された材料によって構成される。フェライト系耐熱鋼である材料 P16、材料 P24 および材料 P25 は、複雑形状の大型部材としての製造が容易であるため、形状が複雑な内部ケーシング 31 は、例えばこれらの材料を用いて鋳造により作製される。また、温度が 600℃以下に制限されることによって、高温での機械的特性の不足も解消されるため、信頼性が高い安価な高温中圧タービン部 80 を構成することができる。

【0120】

さらに、内部ケーシング 31 をフェライト系耐熱鋼で構成することができるため、従来の設計思想を踏襲した信頼性の高い内部ケーシング 31 を安価で構成することができる。

【0121】

一方、高温中圧タービン部 80 に冷却蒸気を効果的に利用する構造を採用しているにもかかわらず、表 2 に示す材料 P16、材料 P24 および材料 P25 よりもクリープ破断強度に優れた材料で内部ケーシング 31 を形成した場合には、冷却蒸気を採用しない構造の場合に比べて、熱効率が若干低下することに加え、部材や製造コスト等の経済性が悪化する。さらに、材料 P16、材料 P24 および材料 P25 以外の材料は、大型部材としての成形性や溶接性が劣る等の問題がある。

【0122】

ここで、圧力調整弁 72 a および圧力調整弁 72 b の双方を開き、高温中圧タービン部 80 に冷却蒸気分岐管 71 a および冷却蒸気分岐管 71 b の双方から冷却蒸気を供給してもよく、この場合には、上述したロータ 32 の冷却効果、外部ケーシング 30 の冷却効果および内部ケーシング 31 の冷却効果のすべての効果を得ることができる。これによって、ロータ 32、外部ケーシング 30 および内部ケーシング 31 をフェライト系耐熱鋼で構成することができるため、従来の設計思想を踏襲した信頼性の高い高温中圧タービン部 80 を安価で構成することができる。

【0123】

上記したように第3の実施の形態の蒸気タービン発電設備では、冷却蒸気によって、高温中圧タービン部80の例えば、ロータ32、外部ケーシング30、内部ケーシング31を主に冷却する構成を備えることによって、高温再熱管20から導入される蒸気の温度が650℃以上の例えば700℃でも、ロータ32、外部ケーシング30、内部ケーシング31の温度を600℃以下にすることができるので、これらの構成部分を従来の蒸気タービン発電設備において多用されているフェライト系耐熱鋼で形成することができる。これによって、従来の設計思想を踏襲した信頼性の高い高温中圧タービン部を安価で構成することができる。

【0124】

また、高温中圧タービン部80には、650℃以上の蒸気が導入されるため、従来の600℃以下の蒸気によって作動される蒸気タービンよりも高い熱効率を得ることができる。

【0125】

なお、上記した第3の実施の形態の蒸気タービン発電設備では、中圧タービンを分割した高温中圧タービン部に蒸気冷却手段を設けた構成を示したが、この高温中圧タービン部に備えられた冷却蒸気によって、高温中圧タービン部のロータ32、外部ケーシング30、内部ケーシング31を主に冷却する蒸気冷却手段の構成は、第2の実施の形態の中圧タービンを分割しない中圧タービンにも適用することができる。

【0126】

(第4の実施の形態)

本発明の第4の実施の形態の蒸気タービン発電設備について、図7および8を参照して説明する。本発明の第4の実施の形態の蒸気タービン発電設備では、第3の実施の形態の外部ケーシング30および内部ケーシング31を備えた高温中圧タービン部70に代えて、一重のケーシング91を備える高温中圧タービン部90を有し、他の構成は第3の実施の形態の蒸気タービン発電設備と同じである。

【0127】

図7には、ケーシング91を主に冷却する構成を有する高温中圧タービン部90の上半ケーシング部における断面図が示されている。また、図8には、図7のA-A断面におけるケーシング91の断面図が示されている。なお、第3の実施の形態の蒸気タービン発電設備における高温中圧タービン部70の構成と同一部分には同一符号を付して重複する説明を省略する。

【0128】

高温中圧タービン部90には、端面が、ノズルボックス35が設置されたケーシング91内に突出またはケーシング91内面に面して設置された冷却蒸気管92が備えられている。また、冷却蒸気管92には、圧力調整弁93が設けられ、この圧力調整弁93によって、ケーシング91内に供給される冷却蒸気の流量を調整することができる。

【0129】

ここで、冷却蒸気として、例えば、高圧タービン12で膨張仕事を行った後に高圧タービン12から排出される蒸気の一部や高圧タービン12から抽気された蒸気の一部を用いることができる。なお、冷却蒸気は、高温中圧タービン部90内を流れる蒸気の温度よりも低い温度の蒸気であればよく、高圧タービン12以外の蒸気を使用することもできる。

【0130】

また、ノズル33が設置されたケーシング91の長手方向に沿って、ケーシング91に冷却蒸気流路94が設けられている。この冷却蒸気流路94は、最終段の動翼34の下流側まで形成されているのが好ましい。また、図8に示されているように、冷却蒸気流路94は、例えば、ケーシング91の外周面にケーシング91の長手方向に沿って形成された複数の突条部95の内部に形成される。この複数の突条部95は、ケーシング91の外周面に均等に設けられることが好ましい。なお、冷却蒸気流路94を形成するための構成は、これに限られるものではなく、冷却蒸気を用いてケーシング91を冷却することができ

10

20

30

40

50

る構成ならばよい。

【0131】

次に、冷却蒸気管92からケーシング91内に供給された冷却蒸気の流れについて説明する。

冷却蒸気管92からケーシング91内のノズルボックス35の周囲に導かれた冷却蒸気は、ケーシング91の内壁とノズルボックス35の外壁との間をケーシング91を冷却しながら冷却蒸気流路94に向けて流れる。さらに、冷却蒸気流路94に導かれた冷却蒸気は、ケーシング91を冷却しながら冷却蒸気流路94を流れる。そして、冷却蒸気流路94を通過した冷却蒸気は、高温中圧タービン部90で膨張仕事を行った蒸気とともに中圧部連絡管21に導かれる。この冷却過程においてノズルボックス35も冷却される。なお、ノズルボックス35の内面は高温蒸気に直接晒されるため、その外周面が冷却蒸気で冷却される場合であっても、高温に耐え得る材料で構成することが好ましく、ここでは、第1の実施の形態に示したノズルボックス35の材料と同一の材料が用いられている。

10

【0132】

この冷却蒸気で冷却されることによって、高温再熱管20から導入される蒸気の温度が650℃以上の例えば700℃でも、ケーシング91が全体に渡って、例えば、温度を600℃以下に維持することができる。

【0133】

なお、第3の実施の形態のロータ32の冷却についての説明で述べたように、冷却蒸気管92によってケーシング91内に導かれた冷却蒸気の一部は、例えば、ロータ32の動翼が植設されている部分に沿って、ロータ32の凸部に設けられた冷却蒸気通過孔をロータ32を冷却しながら流れる。このため、ケーシング91の冷却工程において、ロータ32も冷却される。

20

【0134】

次に、ケーシング91の構成材料について、表1および2を参照して説明する。

ケーシング91は、表1中の材料P16、材料P24および材料P25の中から選択された材料によって構成される。フェライト系耐熱鋼である材料P16、材料P24および材料P25は、複雑形状の大型部材としての製造が容易であるため、形状が複雑なケーシング91は、例えばこれらの材料を用いて鋳造により作製される。また、温度が600℃以下に制限されることによって、高温での機械的特性の不足も解消されるため、信頼性が高い安価な高温中圧タービン部90を構成することができる。

30

【0135】

さらに、ケーシング91をフェライト系耐熱鋼で構成することができるため、従来の設計思想を踏襲した信頼性の高いケーシング91を安価で構成することができる。

【0136】

一方、高温中圧タービン部90に冷却蒸気を効果的に利用する構造を採用しているにもかかわらず、表2に示す材料P16、材料P24および材料P25よりもクリープ破断強度に優れた材料でケーシング91を形成した場合には、冷却蒸気を採用しない構造の場合に比べて、熱効率が若干低下することに加え、部材や製造コスト等の経済性が悪化する。さらに、材料P16、材料P24および材料P25以外の材料は、大型部材としての成形性や溶接性が劣る等の問題がある。

40

【0137】

上記したように第4の実施の形態の蒸気タービン発電設備では、ケーシング91が一重で構成されるので、内部ケーシングと外部ケーシングの二重ケーシングを備える高温中圧タービン部比べて設備コストを抑制することができる。

【0138】

また、冷却蒸気によって、高温中圧タービン部の例えば、ケーシング91を主に冷却する構成を備えることによって、高温再熱管20から導入される蒸気の温度が650℃以上の例えば700℃でも、ケーシング91の温度を600℃以下にすることができるので、これらの構成部分を従来の蒸気タービン発電設備において多用されているフェライト系耐

50

熱鋼で形成することができる。これによって、従来の設計思想を踏襲した信頼性の高い高温中圧タービン部を安価で構成することができる。

【0139】

さらに、高温中圧タービン部80には、650℃以上の蒸気が導入されるため、従来の600℃以下の蒸気によって作動される蒸気タービンよりも高い熱効率を得ることができる。

【0140】

なお、上記した第4の実施の形態の蒸気タービン発電設備では、中圧タービンを分割した高温中圧タービン部を一重のケーシングで構成し、さらに、ケーシングを冷却蒸気によって冷却する蒸気冷却手段を設けた構成を示したが、この構成は、第2の実施の形態の中圧タービンを分割しない中圧タービンにも適用することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0141】

【図1】本発明の第1の実施形態の蒸気タービン発電設備の構成の概要を示す図。

【図2】高温中圧タービン部の上半ケーシング部における断面図。

【図3】本発明の第2の実施形態の蒸気タービン発電設備の構成の概要を示す図。

【図4】中圧タービンの上半ケーシング部における断面図。

【図5】蒸気冷却手段を備えた高温中圧タービン部の上半ケーシング部における断面図。

【図6】蒸気冷却手段を備えた高温中圧タービン部の上半ケーシング部における断面図。

【図7】蒸気冷却手段を備えた高温中圧タービン部の上半ケーシング部における断面図。

20

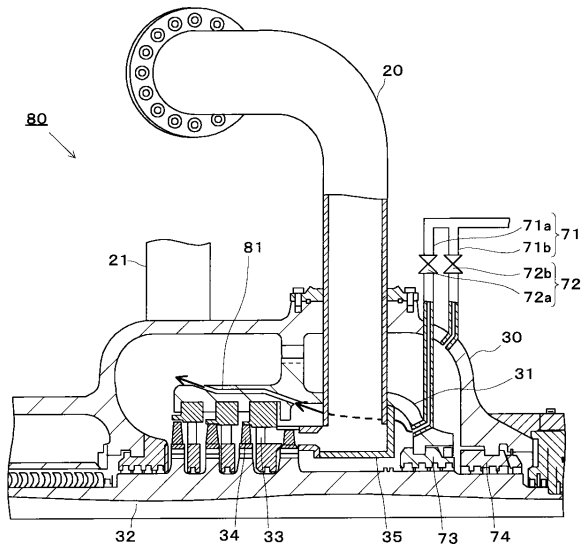
【図8】図7のA-A断面図。

【符号の説明】

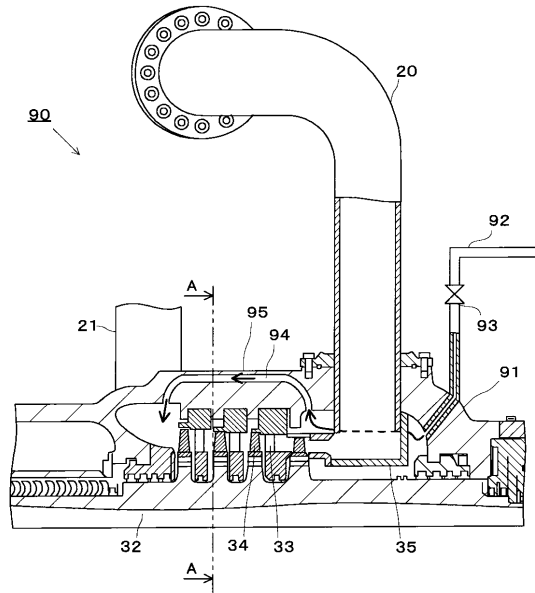
【0142】

10…蒸気タービン発電設備、11a…高温中圧タービン部、11b…低温中圧タービン部、12…高圧タービン、13…低圧タービン、13a、13b…低圧タービン部、14…発電機、15…復水器、16…ボイラ、17…主蒸気管、18…低温再熱管、19…再熱器、20…高温再熱管、21…中圧部連絡管、22…クロスオーバ管、23…ボイラ給水ポンプ。

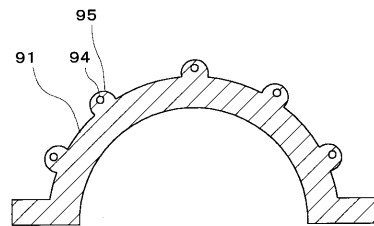
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F O 1 D 5/28 (2006.01) C 2 2 C 38/58
F O 1 D 25/00 (2006.01) F O 1 D 5/28
 F O 1 D 25/00 L

(72)発明者 沖田 信雄
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 本社事務所内
 (72)発明者 山下 勝也
 神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内
 (72)発明者 篠崎 幸雄
 神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内
 (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 本社事務所内
 (72)発明者 高橋 武雄
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 本社事務所内

審査官 近野 光知

(56)参考文献 特開平07-247806 (JP, A)
 特開2000-282808 (JP, A)
 特開平08-277703 (JP, A)
 特開平10-298682 (JP, A)
 特開平10-317079 (JP, A)
 特開昭60-138054 (JP, A)
 特開昭62-060845 (JP, A)
 特開昭60-070125 (JP, A)
 特開昭61-163238 (JP, A)
 特公昭46-032329 (JP, B1)
 特開昭54-107416 (JP, A)