[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl[7]
C22C 38/54

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95102056.0

[45]授权公告日 2000 年 5 月 10 日

[11]授权公告号 CN 1052266C

[22]申请日 1995.2.21 [24]颁证日 2000.2.5
[21]申请号 95102056.0
[30]优先权
[32]1994.2.22 [33]JP [31]23962/1994
[73]专利权人 株式会社日立制作所
地址 日本东京
[72]发明人 志贺正男 平贺良 小野田武志
清水畅夫 山田范雄 粟山光男
日高贵志夫 中村重义 福井宽
藤田利夫
[56]参考文献
EP0384433A1 1990. 8.29
审查员 王怀东

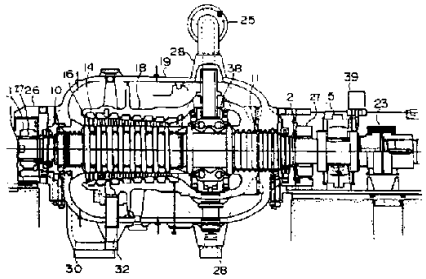
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 冯庚宣

权利要求书 7 页 说明书 51 页 附图页数 11 页

[54]发明名称 汽轮机发电设备及汽轮机

[57]摘要

处在高温部分的转子轴等主要部件全部用铁素体锻钢和铸钢制造的、主蒸汽温 度和再热蒸汽温度为 610—660℃的汽轮机及采用这种汽轮机的汽轮机发 电设备。该汽轮机转子是用在各使用温度下 10^5小时抗蠕裂强度在 15kg /mm^2以上的铁素体锻钢制造的，缸体是用同样温度条件下 10^5小时抗 蠕裂强度在 10kg/mm^2以上的铁素体铸钢制造的。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1. 汽轮机发电设备，其中设有高压汽轮机、中压汽轮机及低压汽轮机，其特征为：上述高压汽轮机和中压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度为 610 - 660 ℃；上述低压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度为 380 - 475 ℃；处在上述高压汽轮机和中压汽轮机的上述蒸汽入口温度下的转子轴、动叶、静叶及汽缸是由含 Cr8-13 重量％的高强度马氏体钢制成的.

2.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：所述高压汽轮机或中压汽轮机装有转子轴，嵌装在该转子轴上的动叶，以及把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，流入上述动叶初级的上述蒸汽温度为约 610 - 660 ℃，上述高压汽轮机的压力为 250kg/cm^2 以上，上述中压汽轮机的压力为 150 - 200kg/cm^2，上述转子轴及动叶和静叶的至少其初级是用在与上述动叶初级流入蒸汽温度相对应的温度条件下的 10^5 小时抗蠕裂强度在 15kg/mm^2 以上的，含 Cr9-13 重量％的全回火马氏体组织高强度马氏体钢制成的，上述内缸是用在与上述蒸汽温度对应的温度条件下的 10^5 小时抗蠕裂强度在 10kg/mm^2 以上的、含 Cr8-12 重量％的马氏体铸钢制成的.

3.权利要求 1 或 2 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：所述高压汽轮机或中压汽轮机装有转子轴，嵌装在该转子轴上的动叶，把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述转子轴及动叶和静叶的至少其初级是由按重量含量的 C 为 0.05-0.20

%， Si 在 0.15 % 以下， Mn 为 0.03-1.5 %； Cr 为 9.5-13 %、 Ni 为 0.05-1.0 %， V 为 0.05-0.35 %， Nb 为 0.01 - 0.20 %， N 为 0.01-0.06 %， Mo 为 0.05-0.5 %， W 为 1.0-3.5 %， Co 为 2-10 %、 B 为 0.0005-0.3 %，含 Fe 量有 78 % 以上的高强度马氏体钢制成的，上述内缸是由按重量含量的 C 为 0.06-0.16 %， Si 在 0.5 % 以下， Mn 在 1 % 以下， Ni 为 0.2-1.0 %， Cr 为 8-12 %， V 为 0.05-0.35， Nb 为 0.01-0.15 %， N 为 0.01-0.1 %， Mo 在 1.5 % 以下， W 为 1-4 %， B 为 0.0005-0.003 %，含 Fe 是在 85 % 以上的高强度马氏体钢制成的。

4.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述高压汽轮机的上述动叶除初级外每侧在 7 级以上，其初级为双流式，上述转子轴轴承中心距（ L ）在 5000 毫米以上，而设置上述静叶部分的最小直径（ D ）在 600 毫米以上，上述（ L/D ）为 8.0-8.9，是由含 Cr 为 9 - 13 重量 % 的高强度马氏体钢制成的。

5.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述中压汽轮机的上述动叶左右对称各在 6 级以上，初级嵌装在上述转子轴的中心部位，为双流结构，上述转子轴轴承中心距（ L ）在 5000 毫米以上，而设置上述静叶部分的最小直径（ D ）在 600 毫米以上，上述（ L/D ）为 8.2-9.2，其由含 Cr9-13 重量 % 的高强度马氏体钢制成的。

6.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述低压汽轮机的上述动叶左右对称，各在 8 级以上，其初级嵌装在上述转子轴中心部位，为双流结构，上述转子轴的轴承中心距（ L ）在 7000 毫米以上，而设置上述静叶部分的最小直径（ D ）在 1150

毫米以上，上述（ L/D ）为 5.4-6.3，是由含 Cr 为 1 - 2.5 重量%，Ni 为 3.0-4.5 重量% 的 Ni-Cr-Mo-V 低合金钢制成的.

7.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：高压汽轮机与上述中压汽轮机相连接，并备有 2 台串列连接的上述低压汽轮机.

8.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述汽轮机包括高压汽轮机和与该高压汽轮机相连接的中压汽轮机，以及 2 台低压汽轮机，上述各汽轮机利用燃煤锅炉的蒸汽驱动，并备有由上述各汽轮机驱动的单机或 2 台输出功率为 1000 兆瓦以上的发电机.

9.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述低压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述转子轴是由按重量含 C 为 0.2-0.3 %； Si 在 0.05 % 以下， Mn 为 0.1 % 以下， Ni 为 3.0-4.5 %， Cr 为 1.25 - 2.25 %， Mo 为 0.07-0.20 %， V 为 0.07-0.2 % 及 Fe 在 92.5 % 以上的低合金钢制成的.

10.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述高压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶在 7 级以上，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为 35 - 210 毫米，上述转子轴上嵌装上述动叶部分的直径大于对应于上述静叶部分的直径，上述嵌装部分的轴向宽度，上述下游侧比上游侧逐级段增大，上述叶片长度的比值为 0.6-1.0，从上游侧到下游侧越来越小.

11.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述高

压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶在 7 级以上，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为 35 - 210 毫米，相邻各级的上述叶片长度之比在 1.2 以下，该比值到下游侧逐渐增大，上述叶片长度在下游侧比上游侧大。

12.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述高压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶在 7 级以上，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为 35 - 210 毫米，上述转子轴上相对于静叶部分的轴向宽度在上述下游侧比上游侧逐级段减小，上述动叶的下游侧叶片长度的比值范围为 0.65-1.8，上述比值到下游侧逐级减小。

13.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述中压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶左右对称各 6 级以上为双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为 100 - 300 毫米，上述转子轴上嵌装动叶部分的直径大于相对于静叶部分的直径，上述嵌装部分的轴向宽度，上述下游侧大于上游侧，上述叶片长度的比值为 0.45-0.75，从上述上游侧到下游侧越来越小。

14.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述中压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶为左右对称的 6 级以上双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为 100

- 300 毫米，相邻的上述叶片长度在下游侧大于上游侧，其比值为 1.3 以下，在上述下游侧逐渐增大。

15.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述中压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶为左右对称的 6 级以上双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为 100 - 300 毫米，上述转子轴对应于静叶部分的轴向宽度从上述上游侧到下游侧逐级减小，上述动叶的下游侧叶片长度的比值范围为 0.45-1.60，上述比值到上述下游侧逐级减小。

16.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述低压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶为左右对称各在 8 级以上的双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为 90 - 1300 毫米，上述转子轴上嵌装上述动叶部分的直径大于相对于静叶部分的直径，上述叶片长度的比值为 0.15-1.0，从上述上游侧起越到下游侧越小。

17.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述低压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶为左右对称，各在 8 级以上为双流结构，其叶片长度从上述蒸汽的上游侧到下游侧为 90 - 1300 毫米，相邻各级的上述叶片长度为上述下游侧大于上游侧，其比值范围为 1.2-1.7，上述比值在上述下游侧逐渐增大。

18.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述低压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该

动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶为左右对称各在 8 级以上的双流结构，其叶片长度从上述蒸汽的上游侧到下游侧为 90 - 1300 毫米，上述转子轴对应于上述静叶部分的轴向宽度为上述下游侧大于上游侧，上述动叶的下游侧相邻叶片长度的比值范围 0.2 - 1.4，上述比值在下游侧逐级减小。

19.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述高压汽轮机装有转子轴，嵌装在该转子轴上的动叶，把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶在 7 级以，上述转子轴与静叶对应部分的直径小于上述动叶嵌装部分的直径，上述动叶的最末级与其前一级之间的宽度为上述动叶第 2 级与第 3 级之间宽度的 0.75-0.95 倍，上述转子轴嵌装上述动叶部分的轴向宽度按上述蒸汽流的下游侧与上游侧相比，是以 3 个级段以上逐段增大，上述动叶的最末级的轴向宽度为上述第 2 级轴向宽度的 1 - 2 倍。

20.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述中压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶在 6 级以上，上述转子轴与静叶对应部分的直径小于上述动叶嵌装部分的直径，对应于上述静叶部分的上述直径的轴向宽度按上述蒸汽流的上游侧与下游侧相对比，按 2 个级段逐段增大，上述动叶最末级与其前一级之间的轴向宽度为上述初级的轴向宽度的 0.8-2 倍。

21.权利要求 1 所述的汽轮机发电设备，其特征在于：上述低压汽轮机装有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸，上述动叶为左右对称在 8 级以

上，为双流结构，上述转子轴与上述静叶对应部分的直径小于上述动叶片嵌装部分的直径，对应于上述静叶部分的上述直径的轴向宽度按上述蒸汽流的上游侧与下游侧相对比，按 3 个级段逐段增大，上述动叶最末级与其前一级之间的宽度为上述动叶第 2 级与第 3 级之间宽度的 1.5-2.5 倍，上述转子轴嵌装上述动叶部分的轴向宽度按上述蒸汽流的下游侧与上游侧相对比，按 3 个级段逐段增大，上述动叶最末级的轴向宽度为上述初级轴向宽度的 2 - 3 倍。

说　明　书

汽轮机发电设备及汽轮机

本发明涉及新型高效率高温汽轮机，特别是涉及有关主蒸汽温度和再热蒸汽温度二者或其中之一高达620℃以上的汽轮机。

以往的汽轮机，蒸汽温度最高为566℃，蒸汽压力为246大气压(表压)。然而，从石油、煤等矿物燃料日益枯竭、节能和防止环境污染的观点考虑，希望火力发电厂能实现高效化。提高发电效率的最有效手段是提高汽轮机的蒸汽温度。就这类高效汽轮机所用材料而言，其转子材料已经知道的有 $1Cr-1Mo-1/4V$ 铁素体低合金锻钢和 $11Cr-1Mo-V-N_b-N$ 锻钢，缸体材料有 $1Cr-1Mo-1/4V$ 铁素体低合金铸钢和 $11Cr-1Mo-V-N_b-N$ 铸钢。特别是用作这类材料的高温强度更好的材料，在专利公报“特开昭62—180044号”和“特开昭61—23749号”中给出了奥氏体合金、“特开平4—147948号”、“特开平2—290950号”“特开平4—371551号”专利公报中列出了马氏体钢。

上述专利公报所公布的转子和缸体等材料，对于在如前所述的更高温度下运行的汽轮机及火力发电厂系统完全未加考虑。

再者，虽然在“特开昭62—248806号”专利公报中已涉及超高

温高压汽轮机，但没有就发电厂整体系统全面进行考虑。

本发明 的目的是通过采用铁素体耐热钢提供可在高达 610—660℃的蒸汽温度下具有高热效率的汽轮机和使用这种汽轮机的发电设备。

本发明的进一步目的是，提供在 610—660℃各运行温度下基本构造大致相同的汽轮机和使用这种汽轮机的发电设备。

对于高压汽轮机与中压汽轮机相连接，2 台低压汽轮机串列联接的汽轮机发电设备，本发明提供的汽轮机发电设备的特点是，流入上述高压汽轮 机和中压汽轮机的初级动叶的蒸汽入口温度范围为 610—660℃（ 理想范围为 615—640℃、更为理想的范围为 620—630℃），流入低压汽轮机的初级动叶的蒸汽入口温度范围为 380—475℃（理想范围为 400—430℃），上述高压汽轮机和中压汽轮机在上述蒸汽入口温度下，其转子轴、动叶、静叶及缸体用 *Cr*8—13 重量%的高强度马氏体钢制成的。

进一步，对于具有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、将流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸体，流入上述动叶初级的上述蒸汽温度为 610—660℃而压力为 250kg/cm^2 以上（ 理想值为 246—316kg/cm^2）或 170kg/cm^2 的汽轮机，本发明提供的汽轮机的特点是，上述转子轴和至少是动叶和静叶的初级是由具有 *Cr*9.5—13 重量%马氏体组织的马氏体钢制造的，在相应于各蒸汽温度（可为 610℃、625℃、640℃、650℃、660℃）的温度下，其 10^5 小

时的抗蠕裂强度为 $15kg/cm^2$ 以上(理想值为 $17kg/mm^2$ 以上)。上述内缸体由含 Cr8—9.5 重量%的马氏体钢制成,在相应于上述各蒸汽温度的温度下,其 10^5 小时的抗蠕裂强度为 $10kg/mm^2$ 以上(理想值为 $10.5kg/mm^2$ 以上)。

对于具有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸体的汽轮机,本发明提供的汽轮机的进一步特点是,上述转子轴和上述动叶及静叶的至少初级是由含量为 C0.05—0.20%、Si0.15%以下、Mn0.05—1.5%、Cr9.5—13%、Ni0.05—1.0%、V0.05—0.35%、Nb0.01—0.20%、N0.01—0.06%、Mo0.05—0.5%、W1.0—4.0%、Co2—10%、B0.0005—0.03%及 78%以上 Fe 的高强度马氏体钢制造的。

对具有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸体的高压汽轮机,本发明进一步特点是,上述动叶有 10 级以上,初级为双流式。上述转子轴的轴承中心距(L)为 5000mm 以上(理想值为 5200—5500mm)而设置上述静叶部分的最小直径(D)为 600mm 以上(理想值为 620—700mm)、上述(L/D)为 8.0—9.0(理想值为 8.3—8.7),由含铬量为 Cr9—13 重量%的马氏体钢制成。

对具有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸体的中压汽轮机,本发明的进一步特点是,上述动叶左右对称各在 6 级以上、嵌设在上述转子中部

的初级为双流结构。上述转子轴的轴承中心距（L）为5200mm以上（理想值为5300—5800mm）、设置上述静叶部分的最小直径（D）为620mm以上（理想值为620—680mm）、上述（L/D）为8.2—9.2（理想值为8.5—9.0），由含铬量为Cr9—13重量%的高强度马氏体钢制造。

对具有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶、把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸体的低压汽轮机，本发明的进一步特点是，上述动叶左右对称各在8级以上、嵌设在上述转子轴中心部分的初级为双流结构。上述转子轴的轴承中心距（L）为7200mm以上（理想值为7400—7600mm）、设置上述静叶部分的最小直径（D）为1150mm以上（理想值为1200—1350mm）上述（L/D）为5.4—6.3（理想值为5.7—6.1），由含Ni3.25—4.25重量%的$Ni—Cr—Mo—V$低合金钢制成。最末级动叶的叶片长度为40英寸以上，用Ti基合金制造。

进一步，对于高压汽轮机和中压汽轮机相连接、2台低压汽轮机串列联接的汽轮机发电设备，本发明的特点是，流入上述高压汽轮机和中压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度为610—660℃，流入上述低压汽轮机的初级动叶的蒸汽入口温度为380—475℃。为使上述高压汽轮机转子的嵌装初级动叶部分及上述初级动叶的金属温度比流入上述高压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度不低过40℃以上（最好比蒸汽温度低20—35℃），上述中压汽轮机转子轴的嵌

装初级动叶部分及初级动叶的金属温度比流入中压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度不低过75℃以上(最好比蒸汽温度低50—70℃)。上述高压汽轮机和中压汽轮机的转子轴和至少初级动叶是由含Cr9.5—13重量%的马氏体钢制造的。

进一步,对设有燃煤锅炉,用该锅炉的蒸汽驱动的汽轮机及用该汽轮机驱动的单机或2台以上最好是2台输出功率为1000兆瓦以上的发电机的燃煤火力发电厂,本发明的特点是,上述汽轮机包括高压汽轮机和与该高压汽轮机相连接的中压汽轮机、以及2台低压汽轮机,流入上述高压汽轮机和中压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度为610—660℃,而流入上述低压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度为380—475℃,蒸汽通过上述锅炉的过热器加热到比上述高压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度高3℃以上的温度,流入上述高压汽轮机的初级动叶,从上述高压汽轮机排出的蒸汽经过上述锅炉的再热器加热到比上述中压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度高2℃以上的温度,流入上述中压汽轮机的初级动叶。从上述中压汽轮机排出的蒸汽通过上述锅炉的省煤器加热到比上述低压汽轮机初级动叶的蒸汽入口温度高3℃以上(理想值为3—10℃、更理想的值为3—6℃),流入上述低压汽轮机的初级动叶。

进一步,对上述低压汽轮机,本发明的特点,流入上述初级动叶的蒸汽入口温度为380—475℃(理想范围400—450℃),上述转子轴是由含量为C 0.2—0.3%、Si0.05%以下、Mn0.1%以下、

*Ni*3.5—4.25%、*Cr*1.25—2.25%、*Mo*0.07—0.20%和 *Fe*92.5%以上的低合金钢制造的。

对于上述高压汽轮机，本发明的特点是，上述动叶在7级以上（最好为9—12级）、其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为35—210*mm*，上述转子轴上嵌装上述动叶部分的直径大于对应于上述静叶部分的直径，上述嵌装部分的轴向宽度，以上述下游侧与上游侧相比，按3个级段以上（最好为4—7级段）逐段增大，上述叶片长度的比值为0.6—1.0（最好为0.65—0.95），以上游侧起越到下游侧越小。

对上述高压汽轮机，本发明的进一步特点是，上述动叶在7级以上，其叶片长度从上游侧到下游侧为35—210*mm*，相邻各级的上述叶片长度之比为1.2以下（最好为1.10—1.15），该比值到下游侧逐渐增大。上述叶片长度，上述下游侧大于上游侧。

对上述高压汽轮机，本发明的进一步特点是，上述动叶在7级以上、其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为35—210*mm*，上述转子轴上相对于静叶部分的轴向宽度，上述下游侧比上游侧逐级小2级以上（最好为2—4级），上述动叶的下游侧叶片长度的比值范围为0.65—1.8（最好为0.7—1.7），上述比值上游侧逐级减小。

对上述中压汽轮机，本发明的特点是，上述动叶为左右对称在6级以上（可为6—9级）的双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的

上游侧到下游侧为100—300*mm*，上述转子轴上嵌装动叶部分的直径大于对应于静叶部分的直径，上述嵌装部分的轴向宽度，以上述下游侧与上游侧相比，按2个级段以上(最好为3—6级段)逐段增大上述叶片长度的比值为0.45—0.75(最好为0.5—0.7)，从上述上游侧到下游侧越来越小。

对上述中压汽轮机，本发明的进一步特点是，上述动叶为左右对称在6级以上双流结构，其叶片长度从上述上汽流的上游侧到下游侧为100—300*mm*，相邻的上述叶片长度，下游侧大于上游侧，其比值为1.3以下(最好为1.1—1.2)，在下游侧逐渐增大。

对上述中压汽轮机，本发明的进一步特点是，上述动叶为左右对称在6级以上双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为100—300*mm*，上述转子轴对应于上述静叶部分的轴向宽度以上述下游侧与上游侧相比，按2个级段以上(最好为3—6级段)逐段减小，上述动叶的下游侧叶片长度的比值范围为0.45—1.60(最好为0.5—1.5)，上述比值在下游侧逐级减小。

对上述低压汽轮机，本发明的特点是，上述动叶为左右对称在8级以上(可为8—10级)的双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为90—1300*mm*，上述转子轴上嵌装动叶部分的直径大于对应于上述静叶部分的直径，上述嵌装部分的轴向宽度，以上述下游侧与上游侧相比，按3个级段以上(最好为4—7级段)逐段增大上述叶片长度的比值为0.15—1.0(可为0.15—0.91)，上

述上游侧起越到下游侧越小。

对上述低压汽轮机，本发明的进一步特点是，上述动叶为左右对称各在8级以上(可为8—10级)的双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为90—1300*mm*，相邻各级的上述叶片长度，下游侧大于上游侧，其比值为1.2—1.7(最好为1.3—1.6)，上述比值在上述下游侧逐渐增大。

对上述低压汽轮机，本发明的进一步特点是，上述动叶为左右对称各在8级的双流结构，其叶片长度从上述蒸汽流的上游侧到下游侧为90—1300*mm*，上述转子轴与上述静叶对应部分的轴向宽度，以上述下游侧与上游侧相比，按3个级段以上(最好为4—7级段)逐渐增大上述动叶下游侧叶片长度的比值范围为0.2—1.4(最好为0.25—1.25)，上述比值在上述下游侧逐级减小。

对具有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶，把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸体的高压汽轮机，本发明的特点是，上述动叶为7级以上，上述转子轴与上述静叶对应部分的直径小于上述动叶嵌装部分的直径，对应于上述静叶的上述直径的轴向宽度，上述蒸汽流的上游侧比下游侧逐级增大2级以上(可为2—4级)，上述动叶的最末级与其前一级之间的宽度为第2级与第3级之间宽度的0.75—0.95倍(理想值为0.8—0.9，更理想的值为0.84—0.88)，上述转子轴嵌装上述动叶部分的轴向宽度以上述蒸汽流的下游侧与上游侧相比，按3个级段以上(最好为4—7级段)逐

段增大上述动叶的最末级的轴向宽度为上述第2级轴向宽度的1—2倍(最好为1.4—1.7倍)。

对具有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶,把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸体的中压汽轮机,本发明的特点是,上述动叶在6级以上,上述转子轴与上述静叶对应部分的直径小于上述动叶嵌装部分的直径,对应于上述静叶部分的上述直径的轴向宽度以上述蒸汽流的上游侧与下游侧相比,按2个级段以上(最好为3—6级段)逐段增大上述动叶的最末级与其前一级之间的宽度为上述动叶的初级与第2级之间宽度的0.55—0.8倍(最好为0.6—0.7倍),上述转子轴上嵌装上述动叶部分的轴向宽度以上述蒸汽流的下游侧与上游侧相比,按2个级段以上(最好为3—6级段)逐段增大,上述动叶的最末级的轴向宽度为上述初级的轴向宽度的0.8—2倍(最好为1—1.5倍)。

对具有转子轴、嵌装在该转子轴上的动叶,把流入蒸汽导向该动叶的静叶及支承该静叶的内缸体的低压汽轮机,本发明的特点是,上述为左右对称在8级以上的双流结构,上述转子轴与上述静叶对应部分的直径小于上述动叶嵌装部分的直径,对应于上述静叶部分的上述直径的轴向宽度以上述蒸汽流的上游侧与下游侧相比,按3个级段以上(最好为4—7级段)逐段增大,上述动叶的最末级与其前一级之间的宽度为上述动叶的初级与第2级之间宽度的1.5—2.5倍(最好为1.7—2.2倍),上述转子轴上嵌装上述动叶部

分的轴向宽度以上述蒸汽流的下游侧与上游侧相比，按3个级段以上(最好为4—7级段)逐段增大，上述动叶的最末级的轴向宽度为上述初级轴向宽度的2—3倍(最好为2.2—2.7倍)。

以上的高压、中压和低压汽轮机对610—660℃蒸汽工作温度范围的任何温度都可以有相同的结构。

本发明的转子材料，就完全回火的马氏体组织而言，为了获得很好的高温强度和低温韧性，可将按下式计算的*Cr*当量在4—8内进行成分调整。

另外，本发明的耐热铸钢缸体材料，调整合金组成得到95%以上回火马氏体(δ铁素体5%以下)组织，为了获得很好的高温强度和低温韧性，可将按下式计算的*Cr*当量在4—10内进行成分调整。

$$Cr\text{当量}=Cr+6Si+4Mo+1.5W+11V+5Nb-40C-30N-30B-2Mn-4Ni-2Co$$

本发明的12*Cr*耐热钢，特别是在621℃以上的蒸汽中使用时，其625℃、10^5小时抗蠕裂强度应在$10kg/m^2$以上，而室温冲击吸收能应在$1kg-m$以上。

(1) 对构成本发明中的汽轮机高压和中压转子、叶片、喷嘴、内缸紧固螺栓和中压部分初级隔板的铁素体耐热钢，下文说明了限定其成分组成的理由。

C(碳)是确保淬透性和在回火热处理过程中析出碳化物提高高温强度的不可缺少的元素。为了获得很好的抗拉强度，该元素的

含量必须在0.05%以上，而如超过0.20%，且又长时间处在高温下时，金属组成会不稳定，且长时间抗蠕裂强度会有所降低，因此限定为0.05—0.20%。希望限定在0.08—0.13%，而0.09—0.12%则是最为满意的条件。

Mn(锰)是作为脱氧剂添加的，少量添加可达到应有的效果，但如添加过多，超过1.5%，则会产生抗蠕裂强度降低，就不好了。可限定为0.03—0.20%或0.3—0.7%，而在很多情况下，0.35—0.65%更好。含锰量少时，强度高。而含锰量多时，加工性能好。

Si(硅)也是作为脱氧剂添加的，如采用真空*C*脱氧法等炼钢技术，则不需要*Si*脱氧。因降低*Si*的含量有防止生成有害δ铁素体组织和防止因晶界偏析造成韧性降低的结果，因此，添加时必须限制在0.15%以下。可限定在0.07%以下，而不到0.04%则更好。

Ni(镍)是提高韧性和防止生成δ铁素体的非常有效的元素，但其含量如不到0.05%，则其效果不够充分，添加量超过1.0%，则因抗蠕变强度降低就不好了。可限制为0.3—0.7%，而0.4—0.65%更好。

Cr(铬)是提高高温强度和耐高温氧化性的不可缺少的元素，最低限度必须为9%，如超过13%，则会生成有害的δ铁素体组织，并使高温强度和韧性降低，因此限定为9—12%。可限定为10—12%，而10.8—11.8%更好。

Mo(钼)是为提高高温强度而添加的。但如像本发明中的那样

钨的含量超过1%时，添加0.5%以上的*Mo*，会使韧性和疲劳强度降低，所以应限制在0.5%以下。可限定为0.05—0.45%，而0.1—0.2%则更为满意。

W(钨)可抑制在高温下碳化物的晶粒凝集粗大并使基质固溶强化，因而具有显著提高620℃以上高温长时间强度的效果。620℃时可限定为1—1.5%、630℃时为1.6—2.0%、640℃时为2.1—2.5%、650℃时为2.6—3.0%、660℃时为3.1—3.5%。*W*的含量如超过3.5%，则会生成δ铁素体使韧性降低，所以限定为1—3.5%。可限定为2.4—3.0%，而2.5—2.7%更为满意。

V(钒)的添加，可析出*V*的碳氮化物，因而有提高抗蠕裂强度的效果，但如不到0.05%，则其效果不明显，超过0.3%则生成δ铁素体而使疲劳强度降低。可限定为0.10—0.25%，而0.15—0.23%更好。

Nb(铌)的添加，可析出*NbC*碳化物，对提高高温强度有非常明显的效果，但如添加量过多，特别是对大型钢材会生成粗大的共晶*NbC*碳化物，反而会使强度降低并析出使疲劳强度降低的δ铁素体，因此必须限制在0.20%以下。另外如*Nb*含量不到0.01%则其效果不明显。可限定为0.02—0.15%，而0.04—0.10%更为满意。

Co(钴)是作为本发明区别于旧有发明的特征的重要元素。在本发明中，由于添加了钴，在显著改善高温强度的同时也提高了韧

性。在本发明的合金中 *W* 的含量在 1% 以上，这是带有特征的情况，因此要考虑与 *W* 的相互作用。为了达这种情况下达到 *Co* 的效果，本发明中的合金中的 *Co* 下限为 2.0%，过量的添加不但得不到明显的效果，却会使延展性降低。所以上限为 10%。对 620℃可限定为 2—3%、630℃为 3.5—4.5%、640℃为 5—6%、650℃为 6.5—7.5%、660℃为 8—9%。

N(氮)也是作为本发明区别于旧有发明的特征的重要元素。*N* 有改善抗蠕变强度和防止生成 δ 铁素体组织的效果，但如不到 0.01%，则效果不明显，如超过 0.05%，则在降低韧性 的同时，也降低了抗蠕裂强度。可限定为 0.01—0.03%，而 0.015—0.025%更好。

B(硼)因具有晶界强固作用并能固溶于 $M_{23}C_6$ 碳化物中，防止 $N_{23}C_6$ 型碳化物凝集长大，因而有提高高温强度的效果。添加量超过 0.001%即有效果，但如超过 0.03%则对焊接和锻造性能有害，所以限制为 0.001—0.03%。最好限定为 0.001—0.01%或 0.01—0.02%。

Ta(钽)、*Ti*(钛)和 *Zr*(锆)的添加有提高韧性的效果，*Ta* 在 0.15%以下、*Ti* 在 0.1%以下而 *Zr* 在 0.1%以下单独或复合添加都可以获得明显的效果。*Ta* 的添加量在 0.1%时，可省去 *Nb* 的添加。

本发明中的转子轴及动叶和静叶的至少初级，在 620—630℃蒸汽温度下应由具有 *C*0.09—0.20%、*Si*0.15%以下、*Mn*0.05—

1.0%、Cr9.5—12.5%、Ni0.1—1.0%、V0.05—0.30%、N0.01—0.06%、Mo0.05—0.5%、W2—3.5%、Co2—4.5%、B0.001—0.030%及77%以上Fe的完全回火马氏体组织的钢构成。而在635—660℃蒸汽温度下应由具有Co量为5—8%、Fe为78%以上的上述完全回火马氏体组织的钢构成。特别是在两温度下，如将Mn量减少为0.03—0.2%、B量减少为0.001—0.01%，则可获得更高的强度。若含量为C0.09—0.20%、Mn0.1—0.7%、Ni0.1—1.0%、V0.10—0.30%、N0.02—0.05%、Mo0.05—0.5%、W2—3.5%，则在630℃下最好为Co2—4%、B0.001—0.01%，而在630—660℃时最好为Co5.5—9.0%、B0.01—0.03%。

对转子轴而言，按后文的公式求得的Cr当量可为4—10.5，而6.5—9.5则更好，其他含量是同样的。

本发明的汽轮机高压和中压转子材质如混杂有δ铁素体组织，其疲劳强度和韧性会降低，所以组织结构应为均匀的回火马氏体组织。为得到回火马氏体组织，按(1)式计算的Cr当量应通过成分调整限制在10以下。Cr当量太低会降低抗蠕裂强度，所以必须在4以上。Cr当量最好为5—8。

本发明的转子，为了达到规定的成分组成，应将合金原料在电炉中熔化、碳真空脱氧，浇注在金属铸模内，然后锻拉成电极棒。此电极棒再经电渣熔化，并锻拉成型为转子形状。为防止产生锻造裂纹，这种锻拉加工必须在1150℃以下的温度进行。此锻钢经退火热

处理后，再加热到 1000—1100℃并急冷淬火处理，然后按 550—650℃和 670—770℃顺序进行两次回火，才能制成可在 620℃以上高温蒸汽中使用的汽轮机转子。

本发明中的叶片、喷嘴、内缸紧固螺栓、中压部分初级隔板是用真空熔化方法熔化、在真空中进行金属型铸造制成锻模坯料。将锻模坯料在与上述相同的温度下热锻加工成规定形状，加热到 1050—1150℃后水冷或油冷退火，然后在 700—800℃下回火处理并切削加工成所要求形状的叶片。真空熔化在 10^{-1}—10^{-4} 毫米汞柱下进行。本发明的耐热钢可在高压部及中压部所有各级的叶片和喷嘴使用，但两部分的初级则必须使用。

本发明中的用 10 重量%*Cr* 马氏体钢制成的汽轮机转子轴，在构成其轴颈部分的母材表面上应加上具有良好轴承特性的堆焊层。用钢制焊接材料形成的 5—10 层上述堆焊层，从初层到第 2—第 4 各层的上述焊接材料的含 *Cr* 量依次降低，而第 4 层以后则用含 *Cr* 量相同的钢制焊接材料进行焊接。上述初层焊接作用焊接材料的含 *Cr* 量要比上述母材的含 *Cr* 量少 2—6%左右。第 4 层以后焊层的含 *Cr* 量为 0.5—3 重量%(最好为 1—2.5 重量%)。

在本发明中，为改善轴颈部的轴承特性而进行的堆焊从安全性最高这点看来固然是很好的，但这种堆焊随着钢中含 *B* 量的增加而非常困难，所以，为了获得更高强度而必须使 *B* 的含量在 0.02%以上时，最好采用通过热压配合镶套一个含 *Cr* 量为 1—3%

的低合金钢制衬套的结构。衬套的成分组成与下述堆焊层的组成相同。

按照本发明方法得到的堆焊层必需为5层—10层。如上所述，作为初层焊层，其含Cr量的急剧降低会产生很大的拉伸残余应力或焊接裂纹，所以作为其焊接材料的含Cr量不能大幅度减小，必须增加焊接层数使含Cr量逐步减小。为了确保表面层达到所要求的含Cr量，所需厚度必须在5层以上。而焊接层在10层以上反而达不到以上的效果。像汽轮机转子轴这样的大型结构材料，堆焊层不应受母材组成的影响，而且必须达到规定的成分组成和必要的厚度。在不受母材影响的3层和3层以上必须有达到规定特性的必要的厚度，此厚度必须在2层以上，作为一个例子，最好精加工要求大约为18mm的厚度。为了在到这样的厚度，除去切削的最终精加工裕量，也需要5层的堆焊层。第3层以后主要为回火马氏体组织并应析出碳化物。第4层以后焊接层的成分组成按重量应为C0.01—0.1%、Si0.3—1%、Mn0.3—1.5%、Cr0.5—3%、Mo0.1—1.5%，其余为Fe。

另外，堆焊层从初层到第2—第4层各层的含铬量应依次降低，所以当进行堆焊时如每层采用含铬量逐层降低的焊条进行焊接，就不会发生因初层焊接层含铬量相差过大而造成初层焊接区延展性降低的问题，不会产生焊接裂纹，因此可以得到具有规定组成的堆焊层。所以，本发明的母材与初层区部位的含铬量没有显

示出很大的差别，而且最末层可以构成具有良好轴承特性的上述堆焊层。

适用于初层焊接的焊接材料，其含铬量应比母材的含铬量低2—6重量%左右。焊接材料的含铬量如比母材低2%以下，则堆焊层的含Cr量不能充分地降低，其效果很小。相反，相差6%以上是与母材或堆焊层的含铬量急剧降低相关，含铬量的这个差值将产生热膨胀系数差，因而造成很大的拉伸残余应力或产生焊接裂纹。因含铬量越高热膨胀系数越小，所以，含铬量低的堆焊层热膨胀系数比母材大，焊接后会造成很大的拉伸残余应力。因此用含铬量更低的钢进行焊接时，由于残余应力高而使硬度增大，将会产生焊接裂纹，所以焊接材料的含铬量必须比母材的含铬量低6%以下。因使用这种焊接材料可使初层焊接区的含铬量与母材相混合，所以限定为比母材低1—3%左右将能获得良好的焊接效果。

在本发明的方法中，第4层以后是用含铬量相同的钢制焊接材料构成的。堆焊时第3层以前要受母材组成的影响，第4层以后堆焊层的组成只按照所用焊接材料的组成构成，所以汽轮机转子轴轴颈部分可以得到满足必要特性的堆焊层。因此，如上所述的汽轮机转子轴这样的大型结构件所需堆焊层厚度约为18*mm*，为确保最末层具有规定的合金必这种组成所必要的足够厚度，在第4层以后用含铬量相同的焊接材料堆焊2层以上即可使上述的轴颈部分具有满足所要求特性的足够的厚度。

(2) 以下说明对构成本发明的高压、中压汽轮机内缸调节阀阀体、组合再热阀阀体、主蒸汽导管、主蒸汽入口管、再热入口管、高压汽轮机喷嘴箱、中压汽轮机初级隔板、高压汽轮机主蒸汽入口法兰、弯头、主蒸汽截止阀对铁素体耐热钢的组成加以限定的理由。

在铁素体耐热铸钢壳体材料方面，通过将 Ni/W 比在 0.25—0.75 范围内进行的调整可以得到 621℃、250kg/cm^2 以上特超临界压力汽轮机高压和中压内缸及主蒸汽截止阀和调节阀所需要的 625℃、10^5 小时抗蠕裂强度在 9kg/mm^2 以上、室温冲击吸收能为 1$kg—m$ 以上的耐热钢壳体材料。

对于本发明的铁素体耐热铸钢壳体材料，为了获得高的高温强度和低温韧性以及高的疲劳强度，可将按下式各成分(重量%)算出的 Cr 当量在 4—10 范围内进行成分调整。

$$Cr\text{ 当量}=Cr\%+6Si\%+4Mo\%+1.5W\%+11V\%+5Nb\%-40C\%-30N\%-30B\%-2Mn\%-4Ni\%-2Co\%$$

本发明的 12Cr 耐热钢，由于在 621℃以上的蒸汽中使用，所以其 625℃、10^5 小时抗蠕裂强度必须在 90kg/mm^2 以上，而其室温冲击吸收能必须在 1$kg—m$ 以上。为了确保高的可靠性，625℃、10^5 小时抗蠕裂强度最好在 10kg/mm^2 以上，室温冲击吸收能在 2$kg—m$ 以上。

C(碳)是为了获得高抗拉强度而必须在 0.06%以上的元素，但如超过 0.16%，当其长时间处在高温下时其金属组织会变得不

稳定，因而使其长时间抗蠕裂强度降低，因此限定为0.06—0.16%最好为0.09—0.14%。

N(氮)有改善抗蠕裂强度和防止生成δ铁素体的效果，但如含量不到0.01%则效果不够，如超过0.1%效果也不显著，相反会在降低韧性的同时，降低了抗蠕裂强度。最好为0.02—0.01%。

Mn(锰)是作为脱氧剂添加的，少量添加可达到其效果，如添加过多超过1%，则会降低抗蠕裂强度。

Si(硅)也是作为脱氧剂添加的，如采用真空*C*脱氧法等炼钢技术，就不需要*Si*脱氧。另外，降低*Si*的含量有防止生成有害δ铁素体组织的效果。因此，添加时必须限制在0.5%以下。最好为0.1—0.4%。

V(钒)有提高抗蠕裂强度的效果，但如不到0.05%，则其效果不明显，超过0.35%则会生成δ铁素体而使疲劳强度降低。

Nb(铌)是对提高高温强度具有非常明显效果的元素。但如添加过多，特别是对大型钢材会生成粗大的共晶*Nb*碳化物，反而会使强度降低，并析出使疲劳强度降低的δ铁素体，因此必须将其限制在0.15%以下。另外如含*Nb*量不到0.01%则其效果不明显。特别是对大型钢材，可限制在0.02—0.1%，而0.04—0.08%则更为满意。

Ni(镍)是提高韧性和防止生成δ铁素体的非常有效的元素，但如不到0.2%则其效果不明显，添加量超过1.0%，则因抗蠕裂强

度降低就不好了。最好为 0.4—0.8%。

Cr(铬)有改善高温强度和耐高温氧化性的效果。如超过 12%，则会生成有害的 δ 铁素体组织，如低于 8%，则对高温高压蒸汽的耐氧化性不够。添加 *Cr* 虽有提高抗蠕裂强度的效果，但过大的添加量又成为生成有害 δ 铁素体组织和降低韧性的原因。可限定为 8.0—10%，而 8.5—9.5% 更好。

W(钨)有显著提高长时间高温强度的效果。*W* 若少于 1%，则作为 620—660℃下使用的耐热钢，效果是不满意的。但如 *W* 超过 4%，则韧性降低。在 620℃时，可限定为 1.0—1.5%、630℃时为 1.6—2.0%、640℃时为 2.1—2.5%、650℃时为 2.6—3.0%、660℃时为 3.1—3.5%。

W 和 *Ni* 具有相关性，*Ni*/*W* 比如取 0.25—0.75，则强度和韧性都将得到提高。

Mo(钼)是为提高高温强度而添加的。但如像本发明的铸钢那样 *W* 的含量超过 1%时，添加 1.5%以上的 *Mo* 会使韧性和疲劳强度降低，所以应在 1.5%以下为好，可限定为 0.4—0.8%，而 0.55—0.70%则更为满意。

Ta(钽)、*Ti*(钛)和 *Zr*(锆)的添加，有提高韧性的效果，*Ta* 在 0.15%以下、*Ti* 在 0.1%以下而 *Zr* 在 0.1%以下单独或复合添加都能得到满意的效果。*Ta* 的添加量为 0.1%以上时，可省去 *Nb* 的添加。

本发明的耐热铸钢壳体材料如混杂有δ铁素体组织，则疲劳强度和韧性都会降低，所以应为均匀回火马氏体组织。为得到回火马氏体组织，必须通过成分调整把按(1)式计算出的 *Cr* 当量调整在 10 以下。*Cr* 当量太低，会使抗蠕裂强度降低，所以必须在 4 以上。*Cr* 当量可调整为 6—9 最好。

B(硼)的添加可显著提高高温(620℃以上)抗蠕裂强度。含 *B* 量如超过 0.003%，则可焊性会产生恶化，所以上限限制为 0.003%。特别是大型壳体的含 *B* 量上限为 0.0028%。*B* 的添加量可限制为 0.0005—0.0025%，而 0.001—0.002%更好。

壳体因为要承受 620℃以上高温的高压蒸汽的作用，因而会由于内压而产生高应力。为此，从防止蠕变断裂的观点出发，要求有 $10kg/mm^2$ 以上的抗蠕裂强度。另外，在起动时，由于金属温度低而承受热应力的作用，所以从防止脆性断裂观点出发，要求具有 1*kg—m* 的室温冲击吸收能。对于更高的温度，可通过将 *Co* 的含量限制在 10%以下得到强化。对 620℃可限制为 1—2%、630℃为 2.5—3.5%、640℃为 4—5%、650℃为 5.5—6.5%、660℃为 7—8%。

为制造缺陷少的壳体，因铸件重达 50 吨在若而且体积很大，所以要求很高的制造技术。本发明的铁素体耐热铸钢壳体材料通过将具有规定组成的合金原料在电炉中熔化，再经钢包精炼后浇注在砂型铸模内，即可制造出更健全致密的壳体。在浇铸前应进行充分的精炼和脱氧，可减少气孔等铸造缺陷。

上述铸钢经1000—1150℃退火热处理后再加热到1000—1100℃急冷正火热处理并按550—750℃和670—770℃顺序进行两次回火，即可制造出能在620℃以上的蒸汽中使用的汽轮机壳体。退火和正火温度在1000℃以下时，碳氮化物不能充分固溶，但若温度过高则会导致晶界粗大。两次回火可将残留的奥氏体完全分解并得到均匀的马氏体组织。经上述制造方法制造可以达到10kg/mm^2以上的625℃、10^5小时抗蠕裂强度，因而可制成能够在620℃以上蒸汽中使用的汽轮机壳体。

本发明中的壳体如取上述的*Cr*当量，其*δ*铁素体的含量可以降低到5%以下，甚至为0%。

中压汽轮机用的内缸体除用铸钢制造外也可用锻钢制造。

(3)其他

(*a*) 低压汽轮机转子轴可用含量为*C*0.2—0.3%、*Si*0.1%以下、*Mn*0.2%以下、*Ni*3.2—4.0%、*Cr*1.25—2.25%、*Mo*0.1—0.6%、*V*0.05%—0.25%的贝氏体组织低合金钢，而上述的高压、中压转子轴可用同样方法制造。应使用含*Si*量在0.05%以下、*Mn*0.1%以下而其他如*P*、*S*、*As*(砷)、*Sb*(锑)、*Sn*(锡)等杂质尽量少的原料。所用杂质少的原材料要求其总量在0.025%以下，可用超精炼法制造。*P*、*S*各在0.010%以下、*Sn*、*As*0.005%以下、*Sb*0.001%以下。

(*b*) 低压汽轮机用的叶片(除最末级外)和喷嘴，可使用含

C0.05%—0.2%、Si0.1—0.5%、Mn0.2—1.0%、Cr10—13%、Mo0.04—0.2%的完全回火马氏体钢。

(c) 低压汽轮机的内外缸体均可使用含C0.2—0.3%、Si0.3—0.7%、Mn含%以下的碳质铸钢。

(d) 主蒸汽截止阀阀体和蒸汽调节阀阀体可使用含C0.1—0.2%、Si0.1—0.4%、Mn0.2—1.0%、Cr8.5—10.5%、Mo0.3—1.0%、W1.0—3.0%、V0.1—0.3%、Nb0.03—0.1%、N0.03—0.08%、B0.0005—0.003%的全回火马氏体钢。

(e) 低压汽轮机的最末级动叶可使用Ti合金，特别是当长度超过40英寸进可用含Al5—8重量%及V3—6重量%的Ti合金制造，长度越长这类元素的添加量越多。对43英寸叶长可用含Al5.5—6.5%、V3.5—4.5%、对46英寸可用含Al4—7、V4—7%和Sn1—3%的高强度材料。

(f) 高压和中压汽轮机用的外缸体，可用含C0.05—0.20%、Si0.05—0.5%、Mn0.1—1.0%、Ni0.1—0.5%、Cr1—2.5%、Mo0.5—1.5%、V0.1—0.3%以及B0.001—0.01%或Ti0.2%以下二者至少一种的全回火贝氏体组织铸钢制造。

图1　与本发明有关的铁素体钢制高压汽轮机断面结构图

图2　与本发明有关的铁素体钢制中压汽轮机断面结构图

图3　与本发明有关的低压汽轮机断面结构图

图4　与本发明有关的燃煤发电厂的简明结构图

图 5　与本发明有关的高压汽轮机用转子轴断面图

图 6　与本发明有关的中压汽轮机用转子轴断面图

图 7　示出转子轴材料抗蠕裂强度的曲线图

图 8　表示含钴量与抗蠕裂强度关系的曲线图

图 9　表示含硼量与抗蠕裂强度关系的曲线图

图 10　表示含钨量与抗蠕裂强度关系的曲线图

图 11　壳体材料抗蠕裂强度曲线图

符号说明

1—第 1 轴承、2—第 2 轴承、3—第 3 轴承、4—第 4 轴承、5—止推轴承、10—第 1 轴封、11—第 2 轴封、12—第 3 轴封、13—第 4 轴封、14—高压隔板、15—中压隔板、16—高压动叶、17—中压动叶、18—高压内缸、19—高压外缸、20—中压第 2 内缸、21—中压第 2 内缸、22—中压外缸、23—高压转子轴、24—中压转子轴、25—法兰、弯头、26—前端轴承箱、27—轴颈部分、28—主蒸汽入口、29—再热蒸汽入口、30—高压蒸汽排出口、31—汽缸连接管、38—喷嘴箱(高压第 1 级)、39—止推轴承磨损隔断装置、40—预热蒸汽入口、51—锅炉、52 高压汽轮机、53—中压汽轮机、54、55—低压汽轮机、56—凝汽器、57—凝水泵、58—低压给水加热器系统、59—除汽器、60—升压泵、61—给水泵、63—高压给水加热器系统、64—省煤器、65—蒸发器、66—过热器、67—空气加热器、68—发电机

实施例 1

以石油冲突后油价上扬为契机，为通过提高蒸汽参数条件来提高热效率，需要有蒸汽温度为600—649℃的粉煤直接燃烧锅炉和汽轮机。表1列出了具有这种蒸汽条件的锅炉的一个例子。

表　1

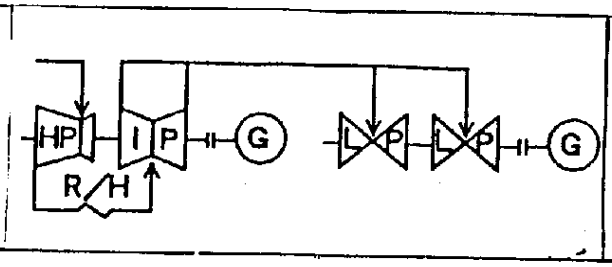
发电设备输出功率 运行方式		1050兆瓦 定压式
锅炉规格	型　式	辐射再热式特超临界压力直流锅炉
	蒸发量	3170吨／时
	蒸汽压力	24·12兆帕（表压）
	蒸汽温度	630℃／630℃
性能	燃烧特性 NOX	120ppm
	灰中未燃成分	3·2%
	负荷变化速度 （50 — 100%）	4%／分
	最低负荷	33%ECR（等效持续运行额定值）

随着这种高温化会产生蒸汽氧化作用，所以应以8—10%*Cr*钢代替以往的2.25%*Cr*钢，同时，对粉煤直接燃烧烟气造成的高温腐蚀，因含硫量最大为1%、含氯量最大为0.1%，所以作为过热管应采用含量为*Cr*20—25%、*Ni*20—35%、0.5%以下微量*Al*、*Ti*、*Mo*0.5—3%、而含*Nb*量最好在0.5%以下的奥氏体不锈钢钢管材料。粉煤燃烧是高温燃烧，所以，为降低NO_x量应采用吹入夹心风以便在一次风与粉煤的燃烧火焰及其外周形成还原焰、并吹入二次风以便在其外周形成更高温火焰的燃烧器。

在大容量化的同时，粉煤燃烧炉膛日趋大型化。1050兆瓦级的炉膛宽31米、长16米，1400兆瓦级的炉膛宽34米、长18米。

表2列出了蒸汽温度625℃、1050兆瓦汽轮机的主要规格。本实施例为并列式4路排气汽轮机，低压汽轮机最末级叶片长度为43英寸*HP*—*IP*(高压—中压)机组的转数为3600转/分而2台*LP*(低压机)的转数为1800转/分。高温部分用表中所列主要材料构成。高压部分(*HP*)的蒸汽温度为625℃、压力为250kg/cm^2，中压部分(*IP*)的蒸汽温度用再热器加热到625℃，并在170—180kg/cm^2压力下运行。流入低压部分(*LP*)的蒸汽温度为450℃，在100℃以下温度、722*mmHg*真空下送入凝汽器。

表　2

汽轮机型式	CC4F－43
转数	3600／1800转／分
汽轮机机组构成	
初级叶片结构	双流式 2棵鞍形燕尾叶片
最末级叶片	T1合金钢43英寸长叶片
汽轮机全长	Hp—Ip：13·2米 Lp—Lp：22·7米
主蒸汽截止阀阀体 蒸汽调节阀阀体	高强度12Cr锻钢
高压转子 中压转子 低压转子	高强度12Cr锻钢 高强度12Cr锻钢 超精炼型 3·5Ni—Cr—Mo—V锻钢
高温部分动叶	初级高强度12Cr锻钢
高压汽缸 内缸 外缸	高强度9Cr铸钢 高强度Cr—Mo—V—B铸钢
中压汽缸 内缸 外缸	高强度9Cr铸钢 高强度Cr—Mo—V—B铸钢
热效率（额定输出时，发电端）	47·1%

CC4F－43：并列式4路排气，用43英寸长叶片
Hp：高压部分，Ip：中压部分，Lp：低压部分，R／H：再热器（锅炉）

图 1 为高压汽轮机断面结构图。高压汽轮机在高压内缸 18 及其外侧的高压外缸 19 内设置有嵌装了高压动叶 16 的高压轴(高压转子轴)23。来自上述锅炉的上述高温高压蒸汽,通过主蒸汽管、经构成主蒸汽入口的法兰、弯头 25 通到主蒸汽入口 28,并经喷嘴箱导向初级双流动叶。初级为双流式,每侧各设 8 级。对应于这些动叶设置有静叶。动叶为鞍型燕尾式、双榫,初级叶片长度约 35 毫米。转子轴中间长度约 5.25 米,而与静叶对应部分的最小部位直径约 620 毫米,长度对直径之比约为 8.5。

转子轴初级与最末级动叶嵌装部分的宽度大致相等,而初级、第 2 级、第 3—第 5 级、第 6 级、第 7—第 8 级 5 个级段的宽度逐段地越到下游越小,第 2 级嵌装部分的轴向宽度为最末级宽度的 0.64 倍。

转子轴上与静叶对应部分的直径小于对应于嵌装动叶部分的直径。该部分的轴向宽度从第 2 级动叶与第 3 级动叶之间的宽度直到最末级动叶与其前一级动叶之间的宽度逐级减小,后者的宽度为前者的宽度的 0.86 倍。按第 2 级—第 6 级和第 6 级—第 9 级两个级段减小。

在本实施例中除初级叶片及喷嘴使用后面表 3 所列材料外都采用不含 *W*、*Co* 和 *B* 的 12%*Cr* 钢构成。本实施例中动叶的叶片长度为 3.5—50*mm*,从第 2 级到最末级各级的叶片长度越来越长。

按照汽轮机的输出功率，从第 2 级到最末级的长度可为 65—210mm，级数可为 9—12 级，各级叶片长度下游侧对上游侧相邻级以 1.10—1.15 的比例增加，同时在下游侧比值慢慢增大。

动叶嵌装部分与对应于静叶部分相比较直径要大，动叶叶片的长度越长，嵌装部分的宽度越宽。其宽度对动叶叶片长度的比值从第 2 级到最末级为 0.65—0.95，从第 2 级到最末级逐级减小。

另外，转子轴上与各静叶对应部分的宽度从第 2 级与第 3 级之间直到最末级与其前一级之间的各级逐级减小。其宽度对动叶叶片长度的比值为 0.7—1.7，从上游侧到下游侧越来越小。

图 2 为中压汽轮机的断面图。中压汽轮机利用由高压汽轮机排出并经再热 器重新加热到 625℃的蒸汽作动力与高压汽轮机一起以 3600 转/分的转数转动，驱动发电机。中压汽轮机与高压汽轮机一样，设有中压内缸 21 和外缸 22、并与中压动叶 17 对应设置有静叶。动叶 17 为 6 级双流、沿中压轴(中压转子轴)的轴向左右大致对称设置。轴承中心距约 5.5 米，初级叶片长度约 92 毫米、最末级叶片长度约 235 毫米。燕尾榫槽内为倒锥型。与最末级动叶前的静叶相对应的转子轴部分的直径约为 630 毫米，轴承间距离约为该直径的 8.7 倍。

本实施例的中压汽轮机转子轴嵌装动叶部分的轴向宽度，按初级到 4 级—5 级和最末级的 3 个级段逐段增大，最末级的宽度约为初级宽度的 1.4 倍。

另外，本汽轮机的转子轴对应于静叶部分的直径较小，其宽度按初级动叶、2—3级直到最末级动叶的4个级段逐段减小，对于前者，后者的轴向宽度约小0.7倍。

在本实施例中，除初级叶片，喷嘴使用表3所列材料外，都采用不含*W*、*Co*和*B*的12%*Cr*钢。本实施例的动叶叶片长度从初级到最末级各级逐渐加长。按照汽轮机的输出功率，从初级到最末级的长度为90—350毫米，可为6—9级，各级叶片长度从上游侧到下游侧相邻各级的长度以1.1—1.2的比例增大。

动叶嵌装部分与对应于静叶的部分相比较，直径要大，动叶叶片长度越长、嵌装部分的宽度越宽。该宽度与动叶叶片长度之比值从初级到最末级为0.5—0.7，从初级到最末级逐级减小。

另外，转子轴与各静叶对应部分的宽度，从初级和第2级之间直到最末级与 其前一级之间逐级减小。此宽度与动叶叶片长度的比值为0.5—1.5，从上游侧到下游侧越来越小。

图3为低压汽轮机的断面图。低压汽轮机为2台串列，并具有相同的结构。各台的动叶41左右各设8级、大致对称。与动叶相对应设有静叶42。最末级动叶长度为43英寸、采用*Ti*基合金，并均为双榫、鞍型燕尾式。喷嘴箱45为双流式。*Ti*基合金经时效硬化处理，按重量含有*Al*6%、*V*4%，转子轴44采用含*Ni*3.75%、*Cr*1.75%、*Mo*0.4%、*V*0.15%、*C*0.25%、*Si*0.05%、*Mn*0.10%其余为*Fe*的超精炼全 回火贝氏体 组织锻钢。除最末级以外的动叶和静

叶均采用含 Mo0.1%的 12%Cr 钢。催缸体材料采用 C0.25%的铸钢。本实施例中，轴承 43 的中心距为 7500 毫米，与静叶对应的转子轴部分的直径约为 1280 毫米，动叶嵌 装部分的直径为 2275 毫米。轴承中心距约为此转子轴直径的 5.9 倍。

本实施例中的低压汽轮机动叶嵌装部分的轴向宽度，按初级—3 级、4 级、5 级、6—7 级及 8 级 5 个级段逐段增大，最末级的宽度与初级宽度相比约大 2.5 倍。

与静叶对应部分的直径较小，这部分的轴向宽度从初级动叶侧开始按第 5 级、第 6 级和第 7 级 3 个级段逐渐增大，最末级的宽度相对于初级侧约大 1.9 倍。

本实施例中的动叶叶片长度从初级到最末级各级叶片越来越长，按照汽轮机的输出功率从初级到最末级长度为 90—1270 毫米，可为 8 级或 9 级，各级叶片长度从上游侧到下游侧相邻各级的长度以 1.3—1.6 倍的比例增大。

动叶嵌装部分与对应于静叶部分相比，直径要大，动叶叶片长度越长，此嵌装部分的宽度越宽。其宽度对动叶叶片长度的比值从初级到最末级为 0.15—0.91，从初级到最末级逐级减小。

另外，转子轴与各静叶对应部分的宽度，从初级和第 2 级之间直到最末级与其前一级之间的各级逐级减小。此宽度对动叶叶片长度的比值为 0.25—1.25，从上游侧到下游侧越来越小。

除本实施例外，对高压汽轮机和中压汽轮机蒸汽入口温度为

610℃、2 台低 压汽轮机蒸汽入口温度为 385℃的 1000 兆瓦级大容量发电厂，可按相同方法构成。

图 4 所示为燃煤高温高压汽轮机发电厂的典型设备构成简图。

本实施 例中的高温高压汽轮机发电设备主要包括燃煤锅炉 51、高压汽轮机 52、中压汽轮机 53、低压汽轮机 54、低压汽轮机 55、凝汽器 56、凝水泵 57、低压给水加热器系统 58、除气器 59、升压泵 60、给水泵 61 及高压给水加热器系统 63。亦即，锅炉 51 产生的超高温高压蒸汽进入高压汽轮机 52，产生动力后由锅炉 51 再热进入中压汽轮机 53 产生动力。由中压汽轮机排出的蒸汽流入低压汽轮机 54、53，产生动力后在凝汽器 56 中凝结。此凝结水经凝水泵 57 送至低压给水加热器系统 58、除气器 59。终除气器 59 除气后的给水由升压泵 60、给水泵 61 送到高压给水加热器 63，升温后返回锅炉 51 。

图中，锅炉 51 的给水通过省煤器 64、蒸发器 65、过热器 66 变成高温高压蒸汽。另外，加热蒸汽用的锅炉燃烧气从省煤器 64 排出后送入空气加热器 67 对空气进行加热。为了驱动给水泵 61，可采用以中压汽轮机的抽汽作动力的给水泵驱动用汽轮机。

对于按上述构成的高温高压汽轮机发电设备，因其从高压给水加热器系统 汉出的给水温度比以往的火力发电厂的给水温度要高得多，所以从锅炉 51 内的省煤器排出的燃烧气的温度也必须比以往的锅炉高得多。因此，这里对锅炉排气进行热回收不会使燃烧

气温度降低多少。

代替本实施例，以同样的高压汽轮机、中压汽轮机及1台或2台低压汽轮机串列联接驱动一台发电机组成的串列多缸式发电设备，也可按以上相同的方法构成。如本实施例一样，对1050兆瓦级的发电机，其发电机的轴也可采用更高的强度。可以用含*C*0.15—0.30%、*Si*0.1—0.3%、*Mn*0.5%以下、*Ni*3.25—4.5%、*Cr*2.05—3.0%、*Mo*0.25%—0.60%、*V*0.05—0.2%的全回火贝氏体组织，室温抗拉强度为93*kg/mm*^{2}以上，最好是100*kg/cm*^{2}以上、50%*FATT*（断裂现象过渡温度）在0℃以下、最好是—20℃以下、21.2*KG*（千高斯）下磁化力为*AT/cm*（安匝/厘米）以下，*P*、*S*、*Sn*、*Sb*、*As*等杂质的总量在0.025%以下，*Ni/Cr*比在2.0以下。

图5为高压、图6为中压转子轴的正面图。高压汽轮机转子轴的结构为以多级侧的初级叶片根部为中心嵌装8级叶片。中压汽轮机的叶片为多级叶片，左右各6级大致对称，叶片嵌装部分大致以中心分界。低压汽轮机转子轴没有画出，但高压、中压、低压汽轮机各转子轴上都设有中心孔，可通过这个中心孔进行超声波检查、肉眼检查和荧光擦伤，借以检查有无缺陷。

表3列出了本实施例的高压汽轮机、中压汽轮机和低压汽轮机主要部件的化学成分组成（重量%），在本实施例中，无论高压或是中压其高温部分全部为铁素体晶体结构，热膨胀系数为12×10^{-6}/℃，所以完全不存在因热膨胀系数不同而造成的问题。

对高压部分和中压部分的转子，是将表 3 所列耐热铸钢 30 吨在电炉中熔化，经碳真空脱氧、浇注于金属铸模内，锻拉加工成电极棒，此电极棒再经电渣熔化以便从铸钢的上部熔化到下部，然后锻拉成型为转子形状（直径 1050 毫米、长 3700 毫米）。为防止产生锻造裂纹、这种锻拉加工是在 1150℃以下温度进行的。此锻钢经退火热处理后，加热到 1050℃喷水雾冷却淬火处理，再在 570℃和 690℃下进行两次回火，然后通过切削加工即可得到图 5 和图 6 所示形状。在本实施例中，电渣精炼钢锭的上部用在初级叶片一边，而下部用在最末级一边。

高压部份和中压部分的叶片和 喷嘴，同样是将表 3 所列的耐热钢在真空电弧炉中熔化，再锻拉成型为叶片和喷嘴的坯料形状（宽 150 毫米、高 50 毫米、长 1000 毫米）。为防止产生锻造裂纹，锻拉加工应在 1150℃ 以下温度进行。将锻钢件加热到 1050℃，进行油淬火处理，并在 690℃下回火，然后切削加工成所规定的形状。

高压部 分和中压部分的内缸体、主蒸汽截止阀阀体和蒸汽调节阀阀体，也是将表 3 所列耐热铸钢在电炉中熔化，经钢包精炼后，浇在砂型铸模内进行加工制作。浇铸前应进行充分精炼和脱氧，可以防止产生气孔等缺陷。采用这类壳 材料的焊接性能评定，可按 *JIS*Z3158 标准进行。预热、焊道间及后补热处理起始温度为 200℃，后补热处理是按 400℃×30 分进行的。本发明的材料没有发现焊接裂纹，可焊性良好。

表　3

（重量%）　psil-14

主要部件名称		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	N	Co	B	其他	Cr当量	摘要
高压部及中压部	转子	0.11	0.03	0.52	0.49	10.98	0.19	2.60	0.21	0.07	0.019	2.70	0.015	—	5.11(≤9.5)	锻钢
	叶片（初级）	0.10	0.04	0.47	0.51	11.01	0.15	2.62	0.19	0.08	0.020	2.81	0.016	—	5.07 (≤10)	〃
	喷嘴（初级）	0.09	0.04	0.55	0.59	10.50	0.14	2.54	0.18	0.06	0.015	2.67	0.013	—	4.54 (〃)	〃
	内缸	0.12	0.19	0.50	0.68	8.95	0.60	1.68	0.18	0.06	0.040	—	0.002	—	7.57	铸钢
	外缸	0.12	0.21	0.32	0.25	1.51	1.22	—	0.22	—	—	—	0.005	Ti 0.05	—	〃
	内缸紧固螺栓	0.11	0.10	0.50	0.60	10.82	0.23	2.80	0.23	0.08	0.021	3.00	0.020	—	4.72	锻钢
低压部	转子	0.25	0.03	0.04	3.68	1.75	0.36	—	0.13	—	—	—		—	—	锻钢
	叶片	0.11	0.20	0.53	0.39	12.07	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	〃
	喷嘴	0.12	0.18	0.50	0.43	12.13	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	〃
	内缸	0.25	0.51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	铸钢
	外缸	0.24	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	〃
主蒸汽截止阀阀体		0.10	0.19	0.48	0.65	8.96	0.60	1.52	0.20	0.05	0.042	—	0.002	—	8.56	铸钢
蒸汽调节阀阀体		0.12	0.21	0.52	0.63	9.00	0.63	1.70	0.17	0.06	0.039	—	0.001	—	7.97	〃

表 4 列出了上述铁素体铜制高温汽轮机主要部件材料切断检查的机械特性和热处理条件。

对转子轴中心部分的检查结果确认完全满足高压、中压汽轮机所要求的特性(625℃、10^5 小时强度≥13kg/mm^2,20℃冲击吸收能≥1.5$kg—m$)。因此证实了可以制造能够在620℃以上蒸汽中使用的汽轮机转子。

另外,对叶片特性的检查结果确认完全满足高压、中压汽轮机初级叶片所要求的特性(625℃、10^5 小时强度≥15kg/mm^2)。因此证实了可以制造能够在620℃以上蒸汽中使用的汽轮机。

进一步对壳体(缸体)特性的调查结果确认完全满足高压、中压汽轮机壳体(缸体)所要求的特性(625℃、10^5 小时强度≥10kg/mm^2、20℃冲击吸收能≥1$kg—m$),而且可以焊接。因此,证实了可以制造能够在620℃以上蒸汽中使用的汽轮机壳体(缸体)。

表　4

主要部件名称		抗拉强度 (kg/mm^2)	0.2%屈服强度 (kg/mm^2)	延伸率 (%)	深冲性 (%)	冲击值 (kg-m)	FATT (%)	10^5小时抗蠕裂强度 (kg/mm^2)			热处理条件
								625℃	575℃	450℃	
高压部及中压部	转子	98.5	76.6	20.8	66.8	3.8	40	17.0	—	—	1050℃×15h 水喷雾冷却，570℃×20h 炉冷，690℃×20h 炉冷
	叶片	93.4	81.5	20.9	68.8	4.1	—	18.1	—	—	1075℃×1.5h 油却，740℃×5h 空冷
	喷嘴	93.8	80.8	21.4	70.3	4.8	—	17.8	—	—	1050℃×1.5h 油却，690℃×5h 空冷
	内缸	77.7	60.7	19.8	65.3	2.3	—	11.2	—	—	1050℃×8h 风冷，600℃×20h 炉冷，730℃×18h 炉冷
	外缸	68.6	57.2	20.4	65.4	1.5	—	—	12.5	—	1050℃×8h 风冷，725℃×18h 炉冷
	内缸螺栓	107.1	91.9	19.5	68.7	2.8	—	18.8	—	—	1075℃×2h 油却，740℃×5h 空冷
低压部	转子	91.8	80.8	22.8	70.1	19.1	-50	—	—	36	950℃×30h 水喷雾冷却，605℃×45h 炉冷
	叶片	80.8	66.8	22.1	67.5	3.5	—	—	—	27	950℃×1.5h 油却，650℃×5h 空冷
	喷嘴	79.8	65.7	22.4	69.6	3.8	—	—	—	26	950℃×1.5h 油却，650℃×5h 空冷
	内缸	41.5	22.2	22.2	81.0	—	—	—	—	—	—
	外缸	41.1	20.3	24.5	80.5	—	—	—	—	—	—
主蒸汽截止阀阀体		77.8	61.0	18.6	65.0	2.5	—	11.2	—	—	1050℃×8h 风冷600℃×20h 炉冷，730℃×18h 炉冷
蒸汽调节阀阀体		77.5	61.8	18.2	64.8	2.4	—	11.0	—	—	1050℃×8h 风冷600℃×20h 炉冷，730℃×10h 炉冷

图 7 所示为转子轴的 10^5 小时断裂强度与温度的关系曲线。可以看出本发明的材料是在 610—640℃范围内，能够满足 10^5 小时的蠕变断裂强度在 $13kg/mm^2$ 以上的要求。而 12Cr 转子材料为不含 B、W 和 Co 的以往的材料。

本实施例中，转子轴的轴颈部分堆焊有 Cr—Mo 低合金钢，因而改善了轴承特性。堆焊方法如下。

用色剂焊条(直径 4.0φ)作试验焊条。表 5 列出了用这种焊条焊接的熔敷金属的化学成分(重量%)。所列溶敷金属的组成成分与焊接材料的组成大致相同。

焊接条件为焊接电流 170 安培、电压 24 伏、速度为 26 厘米/分。

表 5

No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
A	0.06	0.45	0.65	0.010	0.011	—	7.80	0.50	其余部分
B	0.03	0.65	0.70	0.009	0.008	—	5.13	0.53	〃
C	0.03	0.79	0.56	0.009	0.012	0.01	2.34	1.04	〃
D	0.03	0.70	0.90	0.007	0.016	0.03	1.30	0.57	〃

按表 6 所示在上述试验母材表面上进行堆焊，使用焊条按每层组合，焊接 8 层。每层厚度为 3—4 毫米，总厚度约 28 毫米，表面磨削大约 5 毫米。

焊接施工条件为，预热、焊层间去应力退火（*SR*）起始温度为 350℃，而 *SR* 处理条件按 630℃×30 小时保持时间进行。

No. 1、*No.* 2 和 *No.* 3 均为本发明的试样，第 5 层以后的组成均为表 5 所列 *No. C* 和 *D* 的组成。

表　6

试样№	第1层	第2层	第3层	第4层	第5层	第6层	第7层	第8层
1	A	B	C	C	C	C	C	C
2	B	C	D	D	D	D	D	D
3	A	B	C	D	D	D	D	D

（罗马字表示所用焊条的序号№）

为确认焊接部分的性能，在板材上进行同样的堆焊并进行160°侧弯曲试验，焊接区没有发现裂纹。

进一步，本发明通过转动进行了轴承的滑动试验，对轴承均无不利影响，而且耐氧化性也是优良的。

与本实施例不同，以中压汽轮机和1台或2台低压汽轮机串联连接组成的3600转串列型发电设备亦可按同样的构成。

实施例2

将表7所列组成的合金经真空感应熔化，铸成10*kg*的坯料并锻造成30*mm*的主棒料。在大型汽轮机转子轴的场合，模拟其中心部分，进行1050℃×5小时、100℃/小时冷却淬火、570℃×20小时的一次回火和690℃×20小时的二次回火，再进行1100℃×1小时的淬火、750℃×1小时的回火，然后在625℃、30*kg/mm²F*进行蠕变断裂试验。结果如表7所示。

从表7可以看出，*No.* 1—*No.* 9的本发明合金与*No.* 10的比较合金相比较，其抗蠕裂寿命要长得多。

比较合金中，*No.* 10为从本发明合金除去*Co*后的合金。

图8和图9分别为含*Co*量和含*B*量对抗蠕裂强度的影响曲线图。如图所示，含钴量越多，蠕变断裂时间越长，但如含*Co*量过量增加，则受到600—660℃温度加热时会产生加热脆化的倾向。因此，为使强度和韧性都得到提高，对620—630℃，含*Co*量最好为2

—5%，对 630—660℃最好为 5.5—8%。

如图所示，若含 *B* 量高则有降低强度的倾向，而含 *B* 量在 0.03%以下则可以看到具有优异的强度。620—630℃时取含 *B* 量在 0.03%以下而含 *Co* 量为 2 — 4 %、在 630—660℃的更高温度范围，取 *B* 量为 0.01—0.03%、*Co* 为 5—7.5%，则可获得较高的强度。

在本申请实施例中，在超过600℃的温度下若含 *N* 量少则强度高，因此 *No.* 2 合金的强度显然要高于含 *N* 量多的 *No.* 8 合金的强度。含 *N* 最好为 0.01—0.04%。对于真空熔化，因几乎不含有 *N*，所以要根据母合金添加。

如表 7 所列可以看出，与本发明有关的合金均如实施例 1 图 7 所示具有很高的强度，实施例 1 中给出的转子材料相当于本实施例中的 *No.* 2 合金。

如图 9 所示 *No.* 8 合金含 *Mn* 量如 0.09%那样低，但可以看到按同样含 *Co* 量进行比较它具有较高的强度，所以为使强度更高，含 *Mn* 量可取 0.03—0.20%。

表 7

No.	化学组成 (重量%)													蠕变断裂时间(小时) 625℃-30kg/mm²	
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Co	N	B	Fe	转子轴	叶片
1	0.11	0.01	0.50	0.54	10.72	0.15	2.61	0.20	0.09	2.15	0.025	0.014	Bal	140	278
2	0.11	0.01	0.50	0.50	10.98	0.15	2.59	0.21	0.09	2.87	0.025	0.014	〃	161	315
3	0.11	0.01	0.51	0.53	11.00	0.16	2.55	0.22	0.08	5.79	0.027	0.015	〃	241	508
4	0.11	0.01	0.48	0.49	11.03	0.18	2.60	0.19	0.08	9.43	0.030	0.016	〃	240	488
5	0.12	0.01	1.30	0.11	11.24	0.20	2.65	0.18	0.11	2.98	0.051	0.003	〃	192	392
6	0.13	0.01	0.15	0.89	11.35	0.09	2.91	0.27	0.10	4.50	0.045	0.027	〃	219	456
7	0.09	0.01	0.64	0.09	10.54	0.32	3.33	0.14	0.15	2.77	0.028	0.020	〃	111	225
8	0.15	0.01	0.09	0.33	12.63	0.27	2.46	0.16	0.08	3.01	0.035	0.022	〃	140	286
9	0.12	0.01	0.37	0.71	10.22	0.14	2.41	0.23	0.06	3.45	0.034	0.018	〃	126	258
10	0.11	0.01	0.51	0.50	10.78	0.15	2.58	0.21	0.14	—	0.026	0.013	〃	34	78

实施例 3

表 8 所列为本发明内缸材料的化学组成(重量%)。试样模拟大型汽缸的厚壁部分，用高频感应熔化炉熔化 200*kg*、浇注在最大厚度为 200*mm*、宽 380*mm*、高 440*mm* 的砂模内，制成铸锭。试样 *No.* 3—7 为本发明材料，试样 *No.* 1 和 2 为以往的材料。试样 *No.* 1 和 *No.* 2 为目前汽轮机中使用的 *Cr—Mo—V* 铸钢和 11*Cr—*1*Mo—V—Nb—N* 铸钢。试样经 1050℃×8 小时炉内冷却退火处理后，模拟大型汽轮机汽缸厚壁部分，按以下条件进行了热处理(正火、回火)。

试样 *No.* 1：1050℃×8 小时　空气冷却

710℃×7 小时　空气冷却

710℃×7 小时　空气冷却

试样 *No.* 2—*No.* 7：

1050℃×8 小时　空气冷却

710℃×7 小时　空气冷却

710℃×7 小时　空气冷却

焊接性能评定按照 *JIS Z*3158 标准进行。预热、焊道间和后补热处理起始温度为 150℃，后补热处理按 400℃×30 分进行。

表　8

試料	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	N	B	其他	Cr当量	Ni／W
1	0.15	0.44	0.77	0.20	1.28	1.12	—	0.19	—	—	—	Ti 0.02	—	—
2	0.13	0.40	0.52	0.55	10.25	0.90	—	0.20	0.10	0.05	—	—	9.01	—
3	0.12	0.22	0.51	0.82	9.05	0.59	1.59	0.21	0.06	0.05	0.0031	—	7.13	—
4	0.13	0.20	0.50	0.61	8.97	0.11	1.60	0.19	0.07	0.05	0.0019	—	5.31	—
5	0.13	0.22	0.49	0.95	9.00	0.65	1.06	0.20	0.05	0.05	0.0015	—	5.48	0.90
6	0.12	0.20	0.48	0.61	9.00	0.62	1.66	0.19	0.07	0.03	0.0010	—	8.21	0.37
7	0.12	0.19	0.50	0.58	9.10	0.68	1.68	0.20	0.06	0.02	0.0015	—	8.66	0.35

表 9 表出了室温拉伸特性、20℃ *V* 形缺口摆锤式冲击吸收能、650℃、10^5 小时抗蠕变强度以及焊接裂纹试验结果。

适量添加了 *B*、*Mo* 和 *W* 的本发明材料(*No.* 3、4、6、7)的抗蠕裂强度和冲击吸收能完全满足高温高压汽轮机汽缸所要求的特性(625℃、10^5 小时强度≥$8kg/mm^2$、20℃冲击吸收能≥$1kg-m$)。特别是 *No.* 3、6 和 7 显示了 $9kg/mm^2$ 以上的高值。另外,本发明材料没有发现焊接裂纹,焊接性能良好。对含 *B* 量与焊接裂纹的关系的检查结果表明,含 *B* 量如超过 0.0035%,则有焊接裂纹发生。*No.* 3 合金有令人担心的若干裂纹。可以看到 *Mo* 对机械特性的影响,含 *Mo* 量多到 1.18%时虽然抗蠕裂强度提高,但冲击值降低,因而不能满足所要求的韧性。另一方面,含 *Mo* 量为 0.11%时,虽然韧性好,但抗蠕裂强度低,不能满足所要求的强度。

W 对机械性质的影响的调查结果表明,含 *W* 量如在 1.1%以上,则抗蠕裂强度显著提高,但 *W* 含量如超过 2%时室温冲击吸收能反而会降低。如将 *Ni*/*W* 比调整为 0.25—0.75,则可以得到温度 621℃、压力 $250kg/cm^2$ 以上高温高压汽轮机的高压和中压内缸及主蒸汽截止阀和调节阀阀体所要求的、625℃、10^5 小时抗蠕裂强度在 $9kg/mm^2$ 以上、室温冲击吸收能在 $1kg-m$ 以上的耐热铸钢壳体材料。特别是如调整为含 *W* 量 1.2—2%、*Ni*/*W* 比为 0.25—0.75,则可得到 625℃、10^5 小时抗蠕裂强度在 $10kg/mm^2$ 以上、室

温冲击能在 2kg—m 以上的优良的耐热铸钢壳体材料。

表 9

试料	抗拉强度 (kg/mm)	延伸率 (%)	深冲性 (%)	冲击吸收能 (kg—m)	625℃, 10^5 小时抗蠕裂强度 (kg/mm²)	焊接裂纹有·无
1	67.4	22.3	68.5	2.1	3	无
2	71.0	18.0	59.9	1.9	6	无
3	72.8	19.7	64.8	2.1	9.7	有
4	71.6	19.9	65.8	2.1	8.5	无
5	69.8	20.3	62.7	3.5	6.8	—
6	72.5	20.2	64.8	2.4	10	无
7	72.7	21.0	65.3	2.3	10.2	无

图 10 所示为表明含 W 量与抗蠕裂强度的关系的曲线图。如图所示，含 W 量如在 1.0% 以上强度显著提高，在 1.5% 以上时可达到 8.0kg/mm^2 以上的值。

图 11 为说明 10^5 小时断裂强度与断裂温度关系的曲线图。本发明的 No.7 合金完全满足在 640℃以下所要求的强度。

将具有本发明耐热铸钢规定组成成分的合金原料在由炉中熔化 1 吨，经钢包精炼后，浇注在砂型铸模，即可制得实施例 1 所述的高压和中压内缸。

上述铸钢经 1050℃×8 小时炉内冷却退化热处理后，进行 1050℃×8 小时风冷正火热处理和 2 次 730℃×8 小时回火。对这个具有完全回火马氏体组织的试制缸体作切断检查，结果确认完全满足 250 大气压、650℃高温高压汽轮机汽缸体所要求的特性（625℃、10^5 小时强度≥9kg/mm^2、20℃冲击吸收能≥1$kg-m$），而且可以进行焊接。

实施例 4

在本实施例中，高压汽轮机和中压汽轮机的蒸汽温度从实施例 1 的 625℃改为 649℃，结构和尺寸的设计与实施例大致相同。这里与实施例 1 不同的地方是直接与这个温度接触的高压、中压汽轮机的转子轴、初级动叶和初级静叶及内缸。涂内缸外，其余的部件使用的材料是将前述表 7 所列材料中的含 B 量提高为 0.01—0.

03%、含 Co 量提高为 5—7%，而缸体材料是将实施例 1 中的含 W 量提高到 2—3%、Co 增加为 3%，这样即可满足所要求的强度，而且可以使用以往的设计是其很大的优点。亦即，在本实施例中从处在高温下的结构材料全部采用铁素体钢这一点来看，即可照原样使用以往的设计思想。第 2 级动叶和静叶的蒸汽入口温度约 610℃，所以这些部件最好采用实施例 1 动叶所用的材料。

低压汽轮机的蒸汽温度比实施例 1 的大约 380℃略高一些为 405℃，所以其转子轴本身因实施例 1 的材料具有非常高的强度，可用相同的超精炼材料。

与本实施例中的并列型相反，也可以实施全部直接联接的 3600 转/分转数的串列型。

如按照本发明，可以得到在 610—660℃下抗蠕裂强度和室温韧性高的马氏体耐热钢和铸钢，所以可以在各温度下的特超临界压力汽轮机用的主要部件材料可以全部采用铁素体耐热钢制造，可以照原样使用此前的汽轮机基本设计并可得到可靠性很高的火力发电设备。

过去，在这样的温度下不得不采用奥氏体合金，因此从制造性观点来看，不可能制造出健全可靠的大型转子，但如采用本发明的铁素体耐热锻钢，健全可靠的大型转子的制造就有可能了。

另外，本发明的全铁素体钢制高温汽轮机，因不使用热膨胀系数大的奥氏体合金，所以具有汽轮机易于紧急起动而且难于受到

热疲劳损伤等优点。

说　明　书　附　图

图1

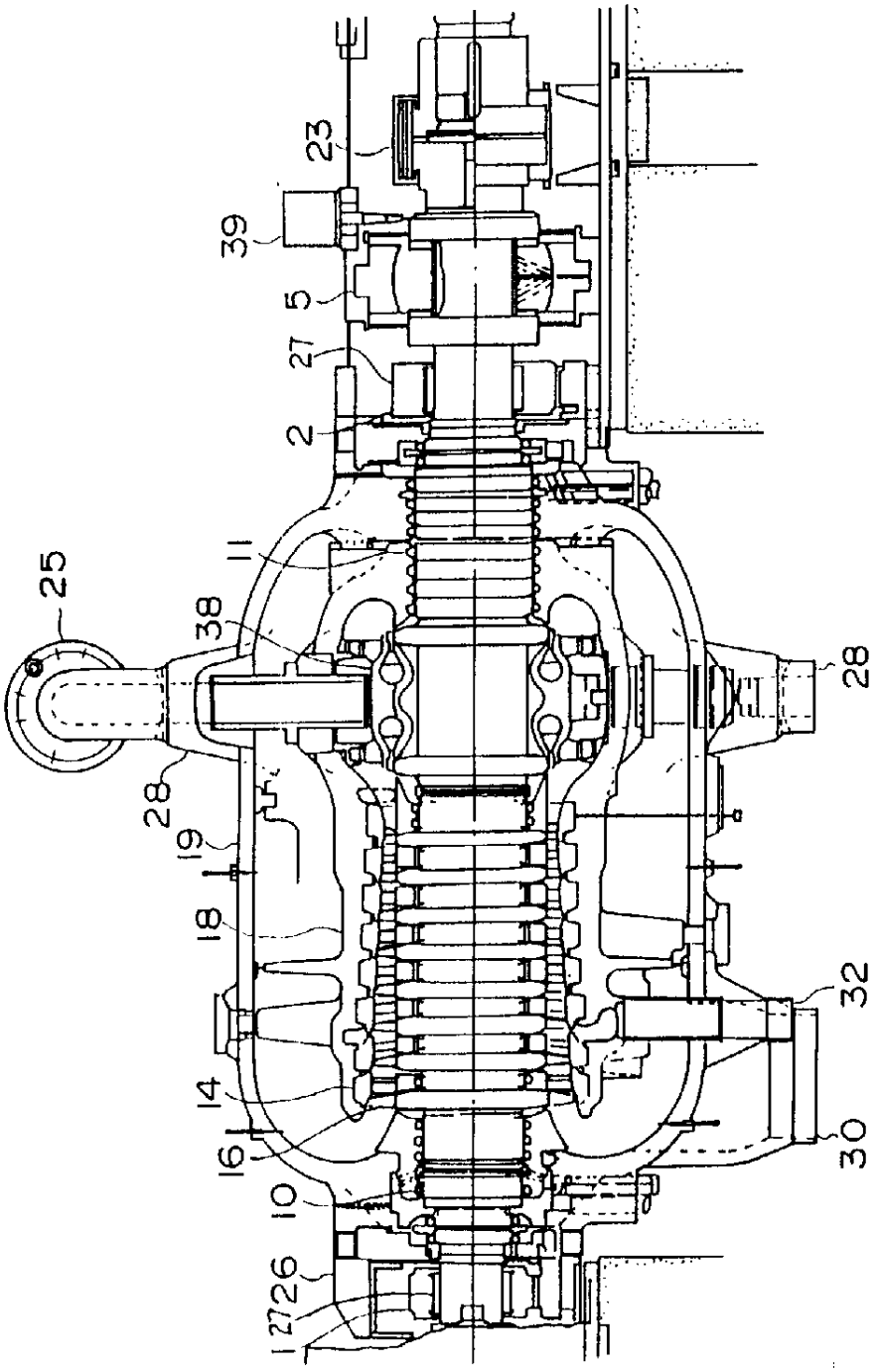


図2

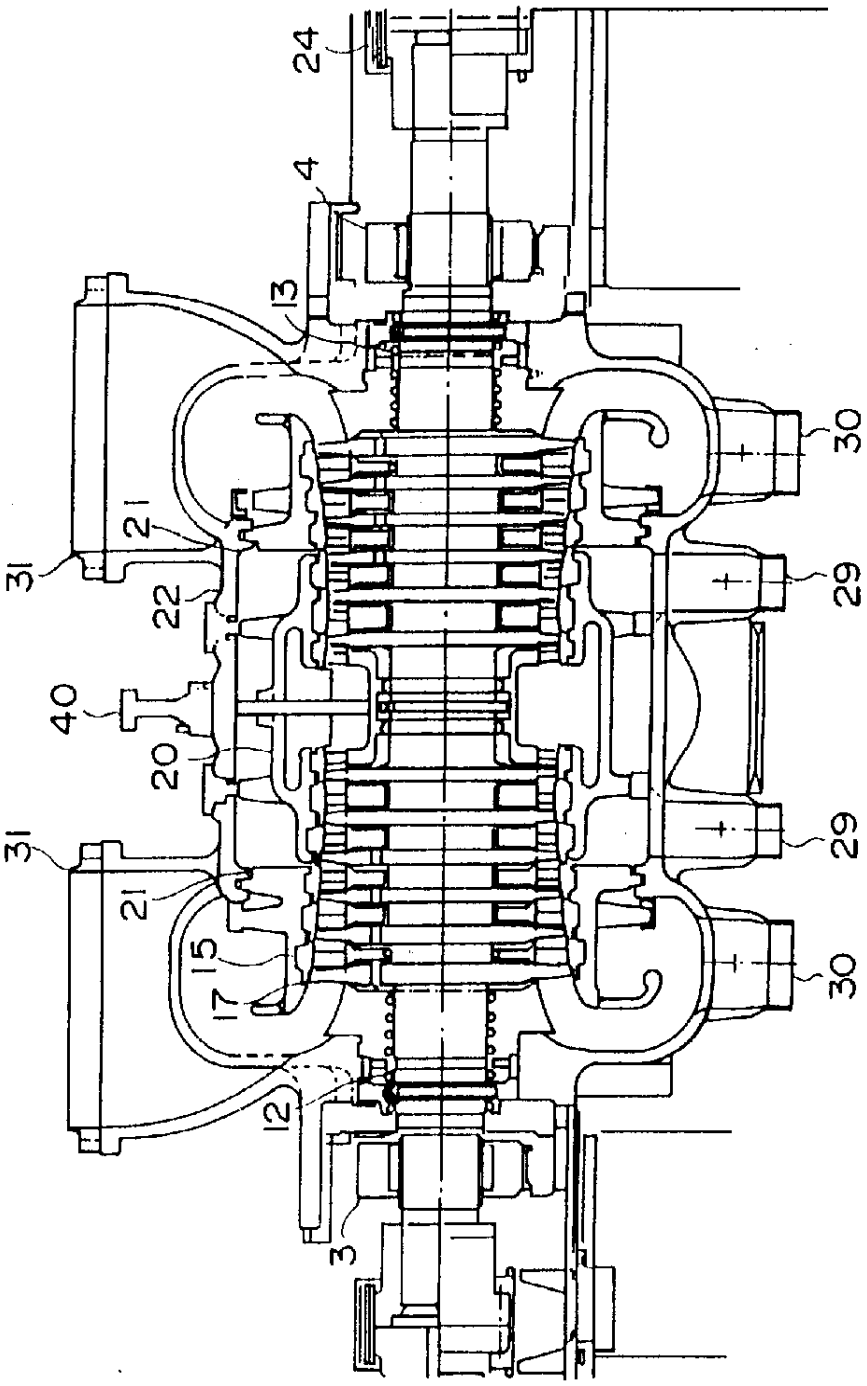


図3

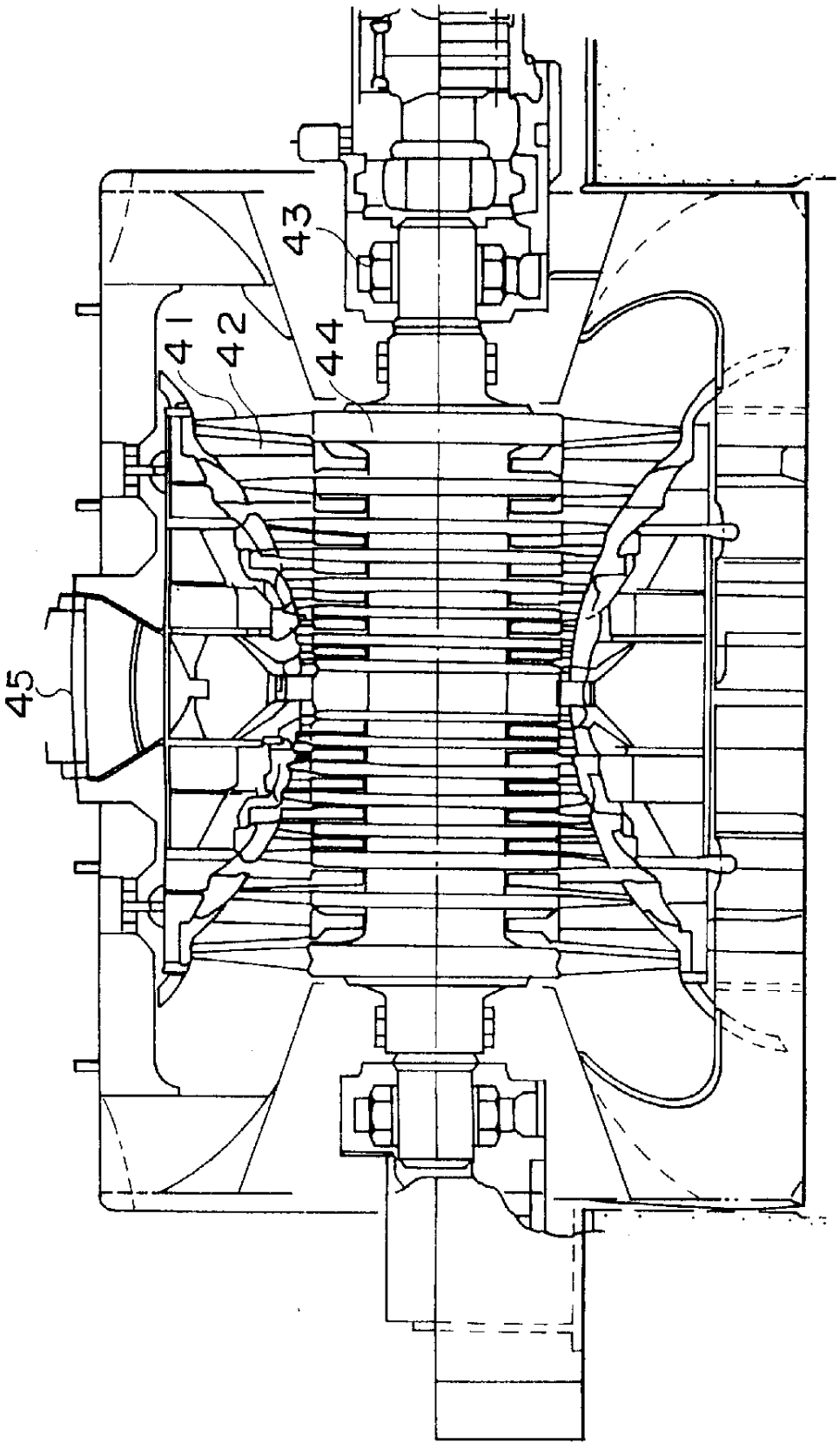


図4

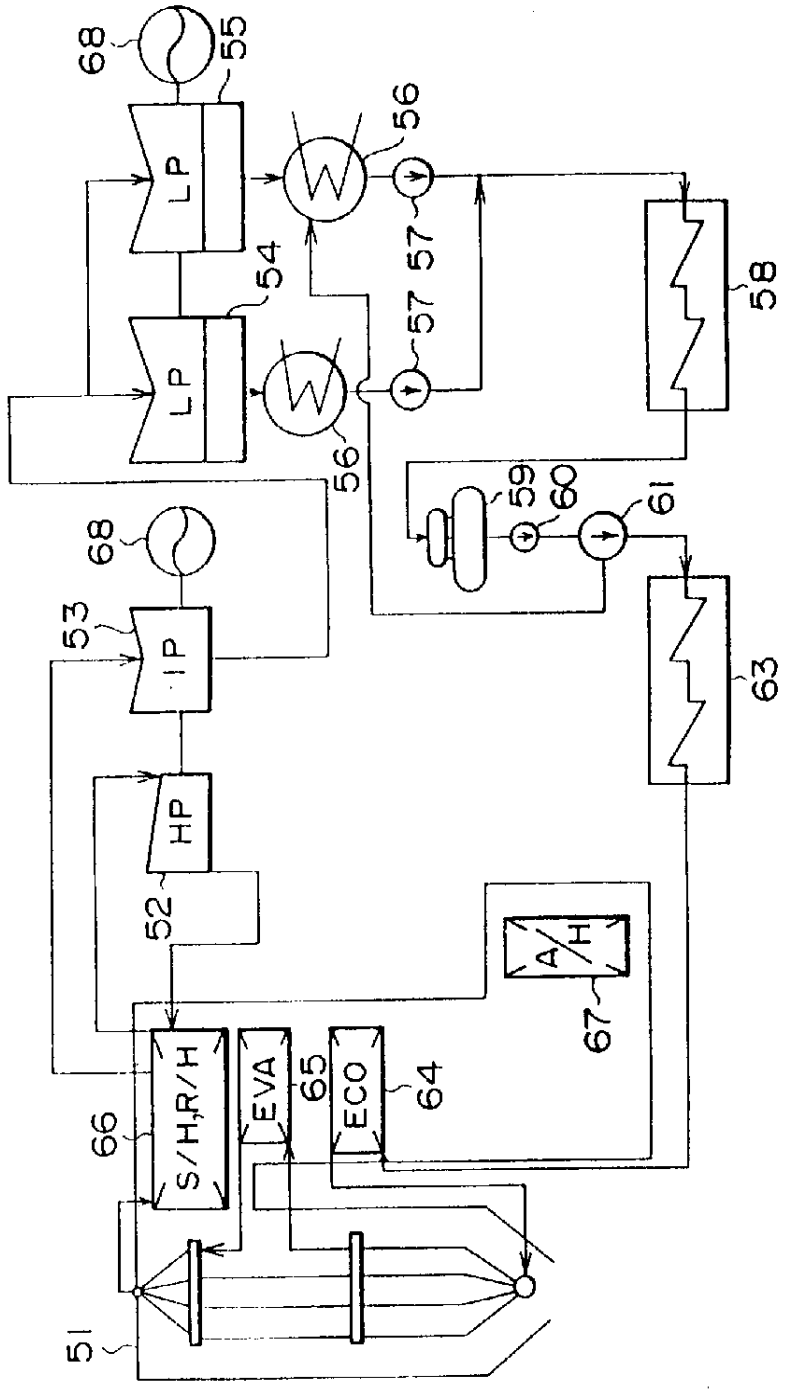

68
55
LP
56
57
57
58
54
LP
57
56
68
59
60
61
53
IP
63
HP
52
A/H
67
S/H,R/H
EVA
65
ECO
64
66
51

図5

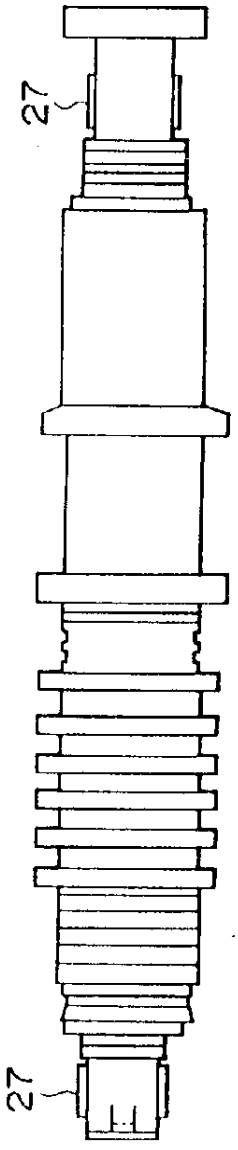


图6

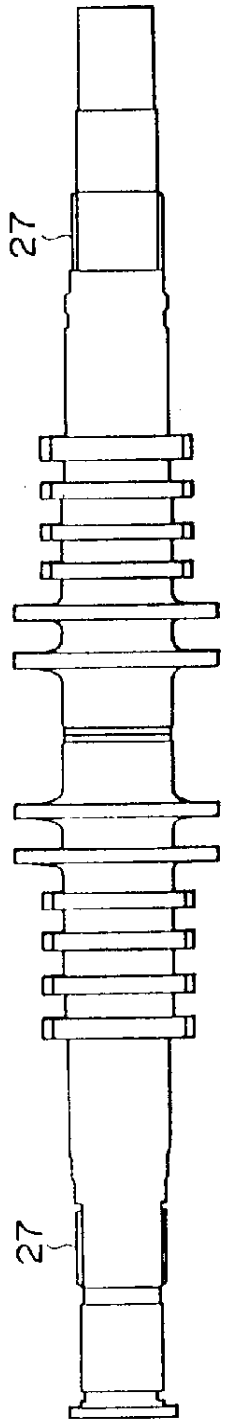


图 7

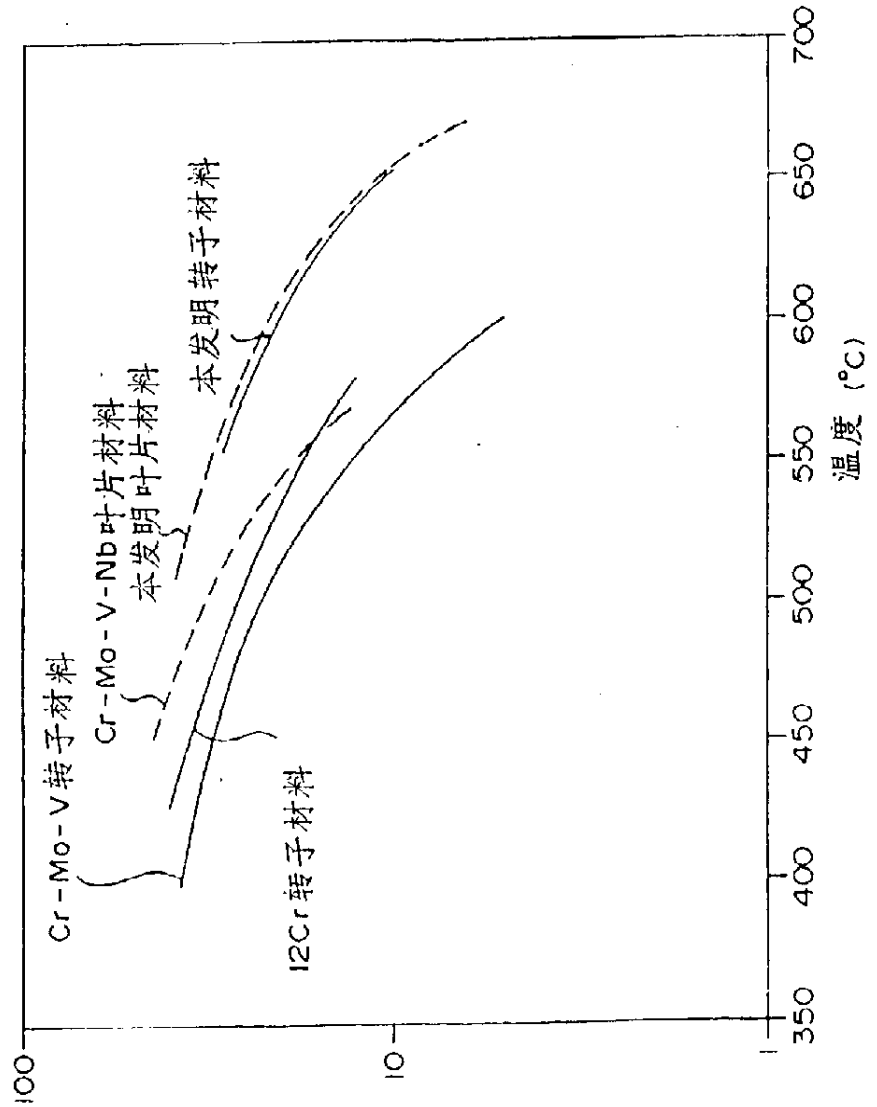

100
10
1
350
400
450
500
550
600
650
700
温度（°C）
100,000小时抗蠕变强度（ Kg/mm² ）
Cr-Mo-V转子材料
Cr-Mo-V-Nb叶片材料
本发明叶片材料
本发明转子材料
12Cr转子材料

图8

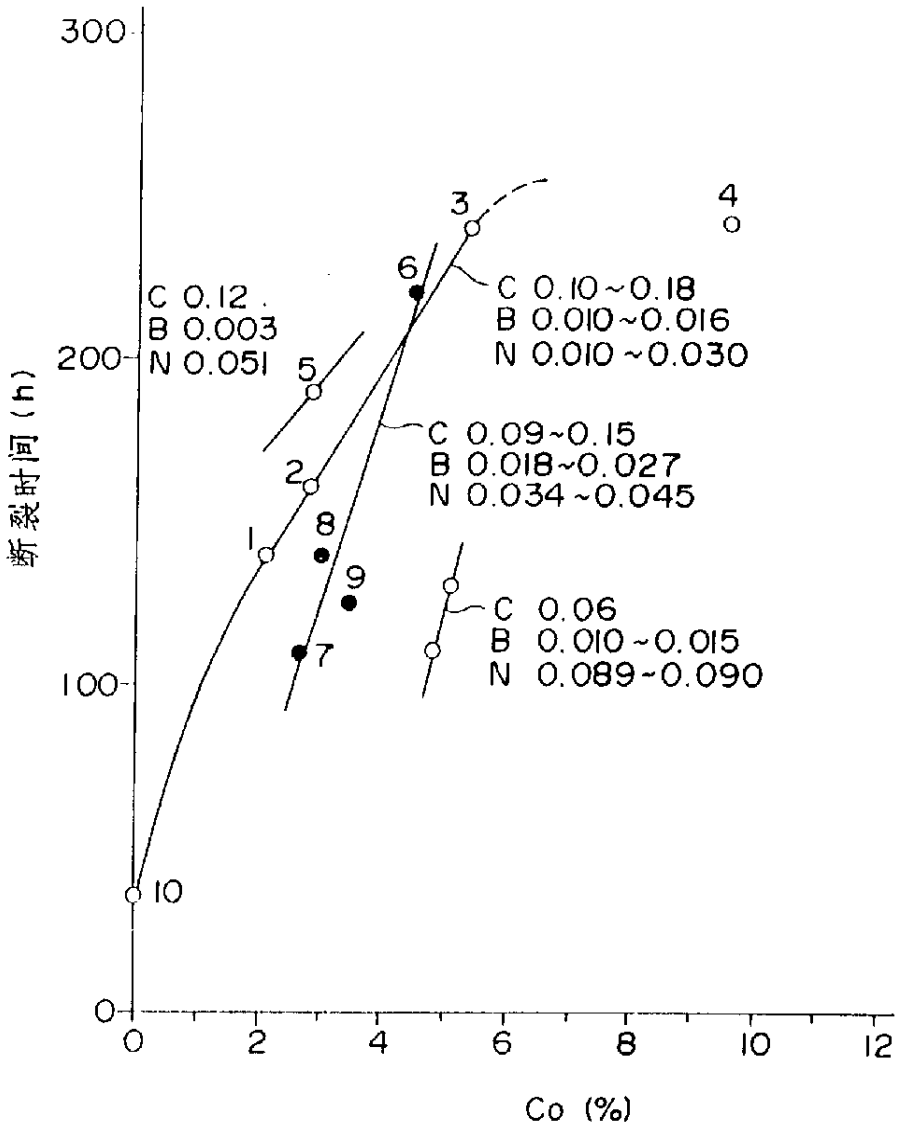

300
200
100
0
断裂时间（h）
C 0.12
B 0.003
N 0.051
C 0.10~0.18
B 0.010~0.016
N 0.010~0.030
C 0.09~0.15
B 0.018~0.027
N 0.034~0.045
C 0.06
B 0.010~0.015
N 0.089~0.090
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
0
2
4
6
8
10
12
Co (%)

图 9

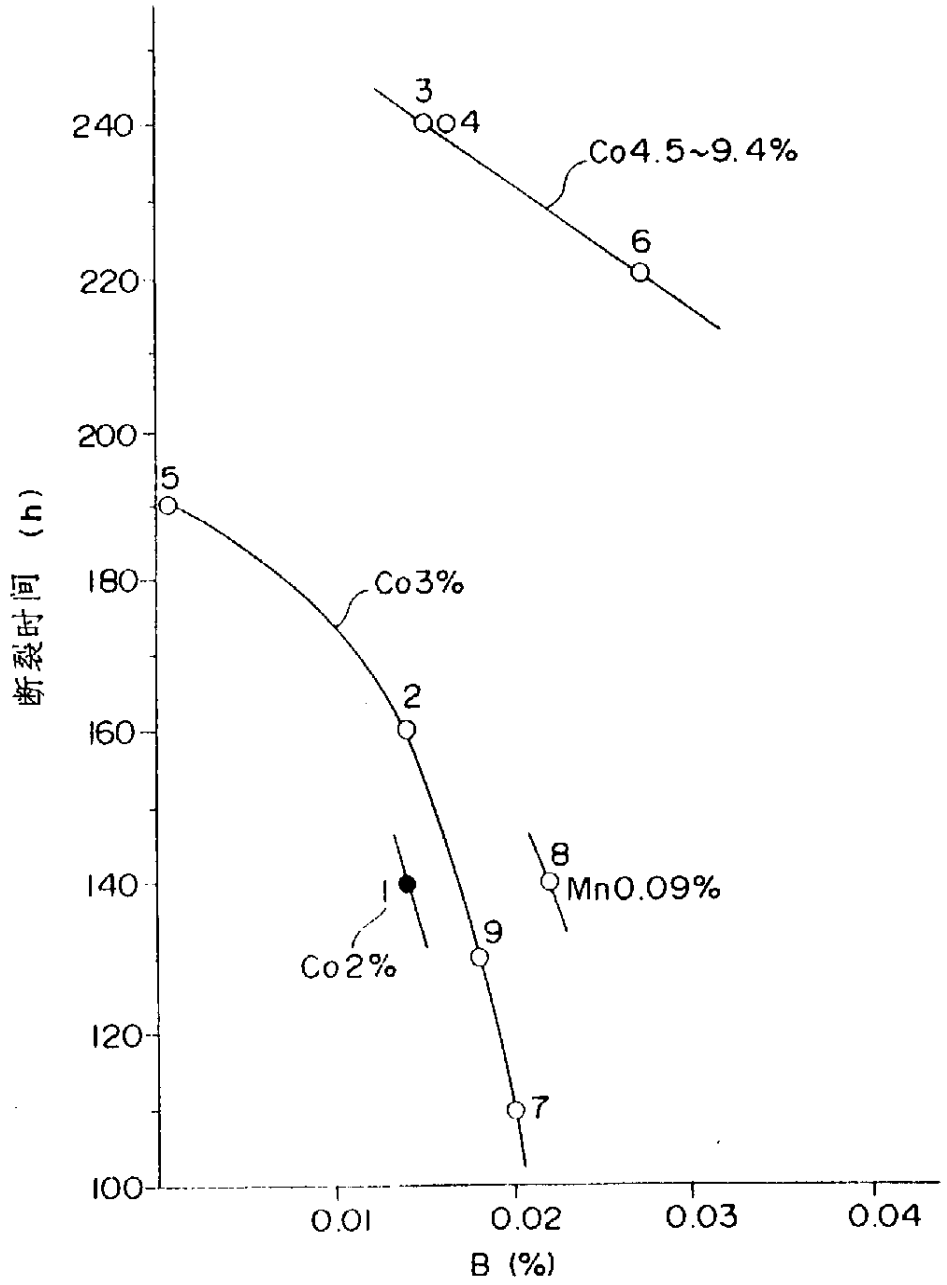

240
220
200
180
160
140
120
100
断裂时间 (h)
0.01
0.02
0.03
0.04
B (%)
3
4
Co4.5~9.4%
6
5
Co3%
2
1
Co2%
9
8
Mn0.09%
7

图10

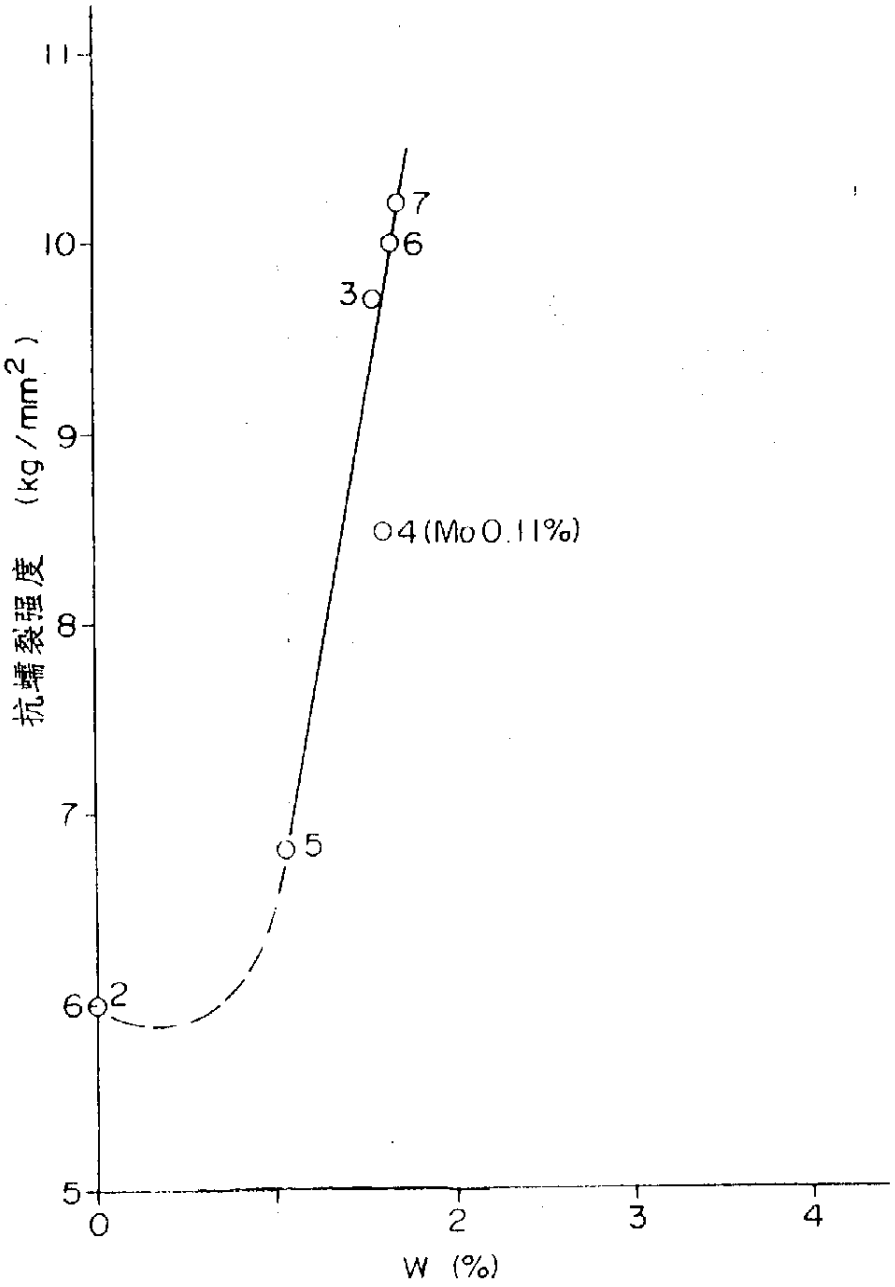
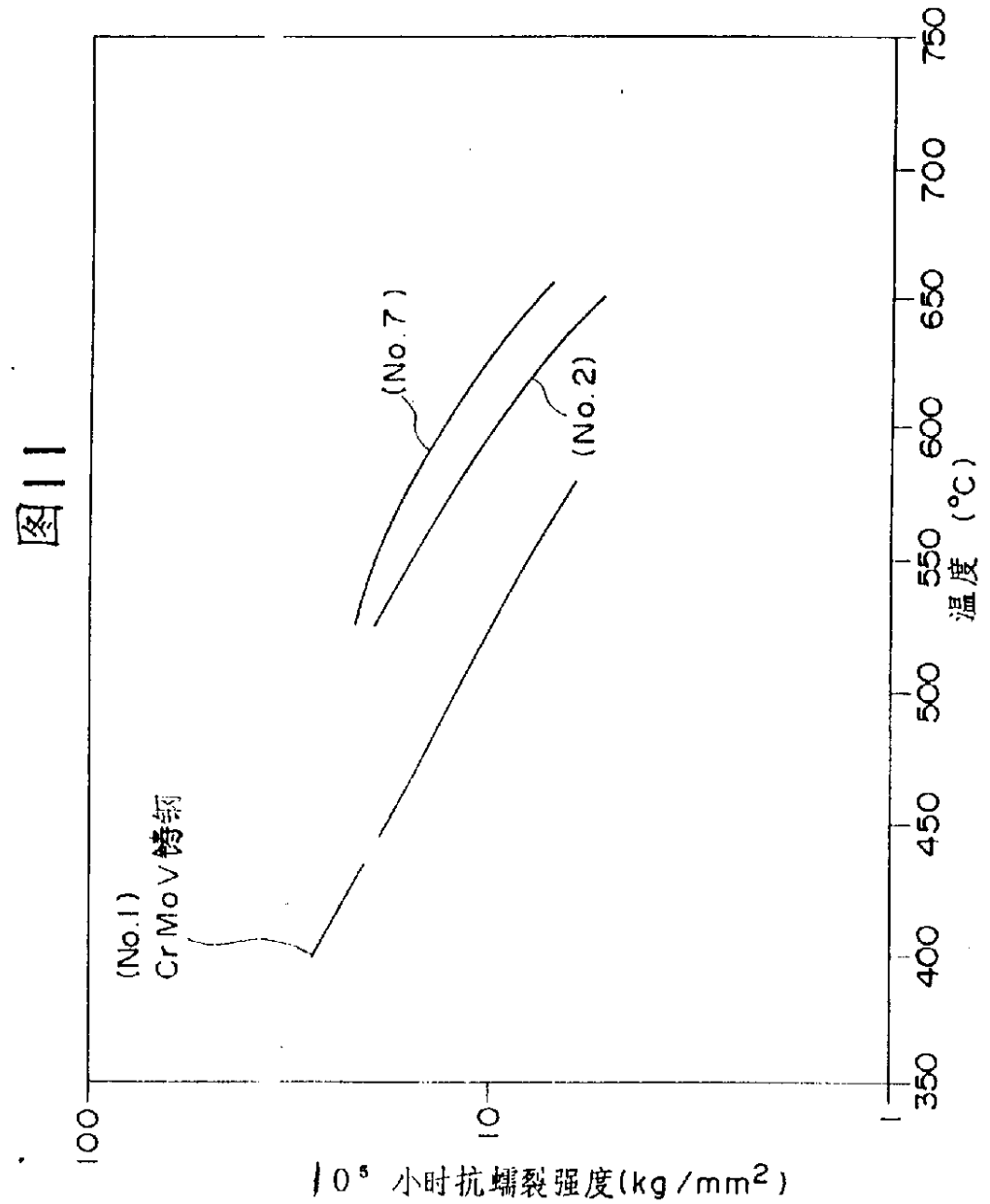


图 11


(No.1)
CrMoV钢
(No.7)
(No.2)
100
10
1
350
400
450
500
550
600
650
700
750
温度 (°C)
10⁵ 小时抗蠕裂强度(kg/mm²)