

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810095654.1

[51] Int. Cl.

B32B 7/02 (2006.01)
B32B 15/04 (2006.01)
B32B 18/00 (2006.01)
C23C 30/00 (2006.01)
C23C 24/08 (2006.01)
C22C 19/05 (2006.01)

[43] 公开日 2008年11月12日

[11] 公开号 CN 101301800A

[22] 申请日 2008.5.7

[21] 申请号 200810095654.1

[30] 优先权

[32] 2007.5.7 [33] EP [31] 07009128.5

[32] 2007.5.7 [33] US [31] 60/928088

[71] 申请人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

[72] 发明人 R·苏布拉马尼恩

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 周铁 李连涛

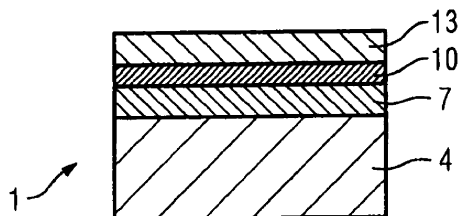
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

[54] 发明名称

具有烧绿石相和氧化物的双层体系

[57] 摘要

本发明涉及具有烧绿石相和氧化物的双层体系。绝热的层体系除了良好的绝热性之外也必须要具有很长的绝热层使用寿命。本发明的层体系(1)由具有相互协同的特殊层顺序的金属结合层(7)、内陶瓷层(10)和外陶瓷层(13)构成。



1. 层体系，其具有
基材(4)，
特别是基材(4)上有金属结合层(7)，
所述结合层(7)特别是含有NiCoCrAlX合金，
金属结合层(7)或基材(4)上的内陶瓷层(10)，
特别是稳定化的氧化锆层，更特别是钇稳定的氧化锆层，
其中，在内陶瓷层(10)上存在外陶瓷层(13)，且该层(13)含至少92wt%、特别是100wt%的烧绿石相，并且该层(13)具有内层(10)和外层(13)的总层厚度的至多40%。
2. 权利要求1所述的层体系，其含有作为烧绿石相的锆酸钆、特别是 $Gd_2Zr_2O_7$ 。
3. 权利要求1所述的层体系，其含有作为烧绿石相的铪酸钆，特别是 $Gd_2Hf_2O_7$ 。
4. 权利要求1、2或3所述的层体系，其中外层(13)含有二次氧化物，其含量特别是0.5wt%至8wt%，更特别是1wt%至8wt%。
5. 权利要求1或4所述的层体系，其中二次氧化物的含量为1.5wt%-2.5wt%，特别是2wt%。
6. 权利要求1或4所述的层体系，其中二次氧化物的含量为0.5wt%至7wt%，特别是6wt%。
7. 权利要求4、5或6所述的层体系，其中作为二次氧化物存在氧化铪。
8. 权利要求4、5、6或7所述的层体系，其中作为二次氧化物存在氧化锆。
9. 前述权利要求中一项或多项所述的层体系，其含有以下成分作为烧结助剂：
 - 不超过0.05wt%的氧化硅
 - 不超过0.1wt%的氧化钙
 - 不超过0.1wt%的氧化镁
 - 不超过0.1wt%的氧化铁
 - 不超过0.1wt%的氧化铝
 - 不超过0.08wt%氧化钛。

10. 权利要求1、2、3、4、7或8所述的层体系，其中只存在一种烧绿石相。

11. 权利要求1、2、3、4、7或8所述的层体系，其中只存在两种烧绿石相。

12. 如权利要求1、2、3、4、7或8所述的层体系，其中，在外陶瓷层(13)中存在由两种烧绿石相，特别是锆酸钆，特别是 $Gd_2Zr_2O_7$ ，和铪酸钆，特别是 $Gd_2Hf_2O_7$ ，组成的混合物。

13. 权利要求1、4、7、8或11所述的层体系，其中存在由两种烧绿石相，特别是其中 w 、 $x+y \approx 2$ 、 $z=7$ 的 $Gd_w(Hf_xZr_y)O_z$ 构成的混晶。

14. 权利要求4、5、6、7、8或10所述的层体系，其中只存在一种二次氧化物。

15. 权利要求4、6、7、8或11所述的层体系，其中只存在两种二次氧化物。

16. 权利要求1所述的层体系，其中内层(10)具有占内层(10)和外层(13)的总层厚60%至90%的层厚。

17. 权利要求1所述的层体系，其中，内层(10)具有占内层(10)和外层(13)的总层厚60%至80%的层厚。

18. 权利要求1所述的层体系，其中，内层(10)具有占内层(10)和外层(13)的总层厚60%至70%的层厚。

19. 权利要求1所述的层体系，其中，内层(10)具有占内层(10)和外层(13)的总层厚70%至90%的层厚。

20. 权利要求1所述的层体系，其中，内层(10)具有占内层(10)和外层(13)的总层厚70%至80%的层厚。

21. 权利要求1所述的层体系，其中，内层(10)具有占内层(10)和外层(13)的总层厚80%至90%的层厚。

22. 权利要求1所述的层体系，其中，金属结合层(7)具有如下组成，特别是由下列成分组成(wt%)：

11%-13%的钴，

20%-22%的铬

10.5%-11.5%的铝，

0.3%-0.5%的钇，

1.5%-2.5%的铈，和

余量的镍。

23. 权利要求1所述的层体系，其中，金属结合层(7)具有如下组成，特别是由下列成分组成 (wt%)：

24%-26%的钴，

16%-18%的铬

9.5%-11%的铝，

0.3%-0.5%的钇，

1%-1.8%的铈，和

余量的镍。

24. 权利要求1所述的层体系，其中，钇稳定的氧化锆层含6wt%-8wt%的钇。

25. 权利要求1或16至21所述的层体系，其中，内层(10)和外层(13)的总层厚为至少300 μm ，特别是为300 μm 。

26. 权利要求1或16至21所述的层体系，其中，内层(10)和外层(13)的总层厚为至少450 μm ，特别是为450 μm 。

27. 权利要求1或16至21所述的层体系，其中总层厚为最大800 μm ，特别是最大600 μm 。

28. 权利要求1所述的层体系，其由基材(4)、金属结合层(7)、任选地在金属结合层(7)上的氧化物层(TGO)、内陶瓷层(10)和外陶瓷层(13)组成。

29. 权利要求1、7、8、10、11、12、13、14或15所述的层体系，其中的陶瓷层(13)由烧绿石相和二次氧化物组成且不含烧结助剂。

30. 如权利要求1、7、8、10、11、12、13、14或15所述的层体系，其中的陶瓷层(13)由烧绿石相、二次氧化物和烧结助剂组成。

具有烧绿石相和氧化物的双层体系

技术领域

本发明涉及一种如权利要求1所述的具有烧绿石的层体系。

背景技术

这种层体系含有具有基于镍或钴的金属合金的基材。这类产品尤其用作燃气涡轮的零件，特别是用作燃气轮机的浆叶或耐热护壳。这些零件会遭受到腐蚀性燃气的热气流腐蚀。因此，它们必须能够保持较高的耐热标准。另外，也需要使这些零件耐氧化和耐腐蚀。尤其是对运动的零件，例如燃气涡轮浆叶，以及对静止零件提出进一步的机械要求。在其中使用可耐受热气的零件的燃气涡轮机中，其效率和功率都会随着工作温度升高而增加。为了获得较高的功率和较高的效率，就要在特别是遭受到高温的燃气涡轮机的元件上涂覆一层陶瓷材料。其能起到作为热气流和金属基材之间的绝热层的作用。

涂层防护金属基体不受腐蚀性热气流的腐蚀。并且，现今的零件多数都具有多个分别满足特殊要求的涂层。因此其也就属于一种多层体系。

因为燃气涡轮机的效率和功率随着工作温度增加而增加，因此人们也就总是试图通过改善涂层体系而获得更高的燃气涡轮机效率。

EP0944746B1公开了烧绿石用作绝热层。但是，对于将材料用作绝热层来说，并不只是要求要有良好的绝热性能，而且还要求能良好地结合于基材上。

EP0992603A1中公开了由氧化钆和氧化锆制成的绝热层体系，其不具有烧绿石结构。

发明内容

因此，本发明的任务在于提供一种层体系，且具有良好的绝热性以及良好的基材粘结性并因此也使得整个层体系具有很长的使用寿命。

本发明所基于的认识是，必须要将整个体系视作整体并且不允许相互隔离地来看待和优化各个层，从而获得长的使用寿命。

所述任务可通过如权利要求1所述的层体系来解决。

从属权利要求中给出了其他有利措施，这些措施可以以有利的方式任意组合。

附图说明

图1本发明的层体系，
图2有关超合金的一页，
图3涡轮叶片的透视图，
图4燃烧室的透视图，
图5燃气涡轮机。

具体实施方式

图1所示为本发明的层体系1。

层体系1具有金属基材4，该基材特别是对于于高温下的零件而言是由基于镍或钴的超合金（图2）组成。

优选直接在基材4上存在特别是NiCoCrAlX型的金属结合层7，该层优选具有(11-13)wt%的钴、(20-22)wt%的铬、(10.5-11.5)wt%的铝、(0.3-0.5)wt%的钇、(1.5-2.5)wt%的铈和余量的镍，或者优选具有(24-26)wt%的钴、(16-18)wt%的铬、(9.5-11)wt%的铝、(0.3-0.5)wt%的钇、(1-1.8)wt%的铈和余量的镍。

特别优选结合层7由这些合金之一构成。

在该金属结合层7上优选在涂覆其他陶瓷层之前就已经存在一个氧化铝层，或者在操作时形成这样一个氧化铝层(TGO)。

在金属结合层7上或者在氧化铝层（未示出）上或者在基材4上存在内部陶瓷层10，优选是完全或部分稳定化的氧化锆层。

优选采用优选使用6wt%-8wt%钇的钇稳定化的氧化锆。同样也可以采用氧化钙、氧化铈和/或氧化铪以稳定氧化锆。

氧化锆优选作为等离子喷注层涂覆，也可以优选利用电子束蒸发法(EBPVD)涂覆成圆柱形结构。

在稳定化的氧化锆层10上涂布一个外部的、特别是最外的陶瓷层13(直接遭受热气)，所述的层绝大部分由烧绿石相组成，也即具有至少

92wt%的烧绿石相，并且该相优选含有铈酸钪，特别是 $Gd_2Hf_2O_7$ ，或者是锆酸钪，特别是 $Gd_2Zr_2O_7$ ，特别优选由其组成。

优选外层13 100wt%由两种烧绿石相之一构成。在该情况下不期望有并且要减少纯 GdO_2 、纯 ZrO_2 或纯 HfO_2 非晶相，由 GdO_2 和 ZrO_2 或 HfO_2 组成的不含烧绿石相的混和相。

但也优选最外的陶瓷层13具有最高8wt%的二次氧化物（Sekuncläroxid），特别是0.5wt%至8wt%、更特别是1wt%至8wt%。

在该情况下，要特意地将二次氧化物添加到陶瓷层13的粉末中或者添加到陶瓷层13中，也就是说其含量要明显超过二次氧化物的测量技术的检验极限值，也就是具有至少为二次氧化物检验极限值的两倍数值的量。

二次氧化物优选分布于陶瓷层13内，特别是均匀分布。

二次氧化物优选作为氧化物（次生相）存在。

特别地，如果是锆酸钪作为烧绿石相的情况，则陶瓷层13优选具有含量为1.5wt%至2.5wt%、特别是2wt%的二次氧化物，特别是氧化铈。氧化铈优选可以作为纯氧化物或作为混晶构成剂存在于烧绿石相中。同样，二次氧化物也可以完全构成具有烧绿石相的混晶。

特别当是铈酸钪的情况时，陶瓷层13优选具有含量为5wt%至7wt%、特别是6wt%的二次氧化物，特别是氧化锆。

氧化锆可以优选以纯氧化物的形式存在或者完全或部分地构成混晶。

陶瓷层13任选地可以具有不超过0.05wt%的氧化硅，不超过0.1wt%的氧化钙，不超过0.1wt%的氧化镁，不超过0.1wt%的氧化铝和不超过0.08wt%的氧化钛作为烧结助剂。烧结助剂能在涂覆时在稍后用于高温下时促进层的结合。优选陶瓷层13不具有其他烧结助剂。

对于陶瓷层13，所述层体系特别是只具有烧绿石相。

为了使外陶瓷层的膨胀系数与位于下方的层相适应或者与基材相适应，也可以只存在两个烧绿石相，且其优选由锆酸钪和铈酸钪混合物构成。

同样也优选可以使用混晶，特别是其中 $x+y \approx 2$ 的 $Gd_2(Hf_xZr_y)O_7$ 作为唯一的烧绿石相，因为这里不再会由于混和不同的元素而发生扩散并且实现了较高的相稳定性。

通常总会出现或者有意识地调节而偏离化学计量式 $A_2B_2O_7$ 。

同样,也可以使用由均具有另一烧绿石相的两种粉末组成的粉末混合物。这里特别是使用锆酸钇和铪酸钇。

优选在陶瓷层13中只存在一种二次氧化物。当只存在一种烧绿石相时上述这点是特别有益的。

但是也可以采用多种或者只有两种二次氧化物,从而使膨胀系数相适配。

优选层体系由基材4、金属结合层7、任选地TGO、内陶瓷层10和外陶瓷层13组成。

优选外陶瓷层13由一种或多种烧绿石相和二次氧化物组成且不含烧结助剂。

优选陶瓷层13由烧绿石,特别是铪酸钇和/或锆酸钇和/或二次氧化物,特别是氧化铪和/或氧化锆组成。

优选外陶瓷层13由一种或多种烧绿石相和二次氧化物组成且不含烧结助剂。

但也优选二次氧化物和烧结助剂的组合:

- 锆酸钇+氧化铪
- 铪酸钇+氧化锆
- 或者它们的混合物(作为粉末混合物或者作为混晶的形式)。

作为用于层13的粉末,铪酸钇具有43wt%至50wt%、优选44.7wt%至47.7wt%的氧化钇和余量的氧化铪和任选地二次氧化物,优选氧化锆,和任选地烧结助剂。

锆酸钇作为粉末含有56wt%至63wt%、优选58wt%至61wt%的氧化钇和余量的氧化锆和任选地二次氧化物,优选氧化铪,和任选地烧结助剂。

对于混晶或对于粉末混合物,这些成分按照Hf与Zr的比例存在。

对于短时间使用和/或更高的温度,具有更好绝热性的外层13要薄于具有较差绝热性能的内层10。

内层10的厚度为内层10和外层13的总层厚的60%至90%。

优选内层10的层厚在总层厚的60%至80%之间。

同样也优选使内层10的层厚为总层厚的60%至70%。

同样也优选使内层10的层厚为总层厚的70%至<100%或者在70%至90%之间。

当内层10占总层厚的比例为70%至80%之间时,同样也能获得有益的结果。

同样也优选使内层10的层厚为总层厚的80%至90%。

同样还优选,内层10的层厚为总层厚的90%至<100%。

内层10和外层13的总层厚优选为300 μm或优选450 μm。最大总层厚优选为800 μm或优选最大为600 μm。

图3所示为沿着长轴121方向伸展的涡轮机的转子叶片120或导向叶片130的透视图。

涡轮机可以是飞机或机动车的用以产生电的燃气涡轮机,蒸汽涡轮机或压缩机。

叶片120、130沿着纵轴121方向相继具有固定区域400,与其邻接的叶片平台403以及叶片面406。

作为导向叶片130,叶片130可以在其叶片顶415上具有另一平台(未示出)。

在固定区域400内构造用以将转子叶片120、130固定于轴或盘上(未示出)的叶片根183。

叶片根183设计成例如锤头的形状。其他的圣诞树或燕尾榫脚形也是可行的。

叶片120、130对于流经叶片面406的介质具有流入边409和流出边412。

对于传统的叶片120、130,在叶片120、130的所有区域400、403、406内都可采用例如致密的金属材料,特别是超合金。

这类超合金公开于例如EP1204776B1, EP1306454, EP1319729A1, WO99/67435或WO00/44949中;这些文献有关合金化学组成的内容是本发明公开的一部分。

叶片120、130在此可以通过浇铸法,也借助于取向凝结过程,通过锻造法,通过铣切法或它们的组合来制造。

将具有单晶结构的工件用作在工作时要耐受高机械、热和/或化学载荷的机械的零件。

通过诸如由熔体取向凝固的过程可制得这类单晶工件。这里所指的是浇铸法，该方法中液态的金属合金会凝固成单晶结构，即成为单晶工件，或取向凝固。

并且，树枝状晶体沿着热流方向取向并构成棒状结晶晶粒结构（柱形，也即那些在工件的整个长度上分布的晶粒并且在此按照一般的语言习惯也称作为是取向凝固）或者构成单晶结构，即整个工件由单晶构成。在这些方法中，必需要避免转变为球晶（多晶）凝固，因为非取向的生长必然会形成横向和纵向的晶粒边界，而这会使得取向凝固的或单晶的零件的良好性能失效。

一般在谈及取向凝固的结构时，指的既是不具有晶粒边界或顶多具有小角度晶粒边界的单晶，也指的是具有可能在纵向上延展的晶粒边界但没有横向的晶粒边界的棒状晶体结构。对于该第二种所述的晶体结构，也可称之为取向凝固的结构（方向性固化的结构）。

这些方法公开于US-PS6024792和EP0892090A1中；这些文献也是本申请公开的一部分。

同样，叶片120，130也可以具有耐受腐蚀或氧化的涂层，例如（McrAlX；M是铁(Fe)、钴(Co)、镍(Ni)这一组中的至少一个元素，X是活性元素并且表示钇(Y)和/或硅和/或稀土元素的至少一种，或铪(Hf)）。这些合金公开于EP0486489B1、EP0786017B1、EP0412397B1或EP1306454A1，它们有关合成化学组成的内容也是本发明公开的一部分。

在McrAlX上还可以存在一个本发明的陶瓷绝热层13。

通过合适的涂覆方法，如电子辐射蒸发法（EB-PVD）而制得在绝热层中的棒状晶粒。

再加工（再磨光）意味着，零件120，130在其使用之后在可能情况下必须去除防护层（例如通过喷砂）。然后再去除腐蚀层和/或氧化层或产品。有可能也要再修复零件120，130中的裂缝。随后再次涂覆零件120，130，并重新使用零件120，130。

叶片120，130可以设计为空心或密实的。若要将叶片120、130冷却，则其是空心的并且任选地还具有膜冷却孔418（虚线所示）。

图4所示为燃气轮机100（图5）的燃烧室110。

燃烧室110设计成例如所谓的环形燃烧室的形状，其中许多在圆周方向上围绕旋转轴102排列的燃烧器107衔接入产生火焰156的公共燃烧

室内腔154中。为此，在总体上将燃烧室110构造成围绕着旋转轴102排列的环形结构。

为了获得较高的效率，将燃烧室110设计成适用于约1000℃至1600℃的较高的工作介质M的温度。为了能够在不利于材料的操作参数下也能得到较长的操作持续时间，就要在燃烧室壁153的朝向工作介质M的那一侧设置由耐热护壳元件155构成的内衬。

每个合金制的耐热护壳元件155在工作介质一侧都设置有特别耐热的防护涂层（McrAlX-层和/或陶瓷涂层）或者由耐高温的材料（密实的陶瓷石材）制成。

这些防护层可以类似于涡轮机叶片，也即例如MCrAlX：M是铁(Fe)、钴(Co)、镍(Ni)这一组中的至少一种元素，X为活性元素并且表示钇(Y)和/或硅和/或稀土金属中至少一种元素，或铪(Hf)。这类合金公开于EP0486489B1、EP0786017B1、EP0412397B1或EP1306454A1，它们有关合金的化学组成方面的内容也应是本申请公开的一部分。

再加工（再磨光）意味着，耐热护壳元件155在其使用之后在可能的情况下必须去除防护层（例如通过喷砂）。然后再去除腐蚀层和/或氧化层或产品。可能也还要修复耐热护壳元件155中的裂缝。然后，再次涂覆耐热护壳元件155并重新使用耐热护壳元件155。

由于在燃烧室110内部有着很高的温度，所以还能针对耐热护壳元件155或针对其支撑元件设置一个冷却系统。耐热护壳元件155是例如空心的并且还可任选地具有衔接到燃烧室内腔154中的冷却孔（未示出）。

图5例示了燃气涡轮机100的纵剖局部视图。

燃气涡轮机100在内部具有一个围绕旋转轴102旋转放置的带有轴101的转子103，其也称作是涡轮机转动部件。

沿着转子103方向相继设置吸进壳体104，压缩机105，例如环形面的具有多个共轴设置的燃烧器107的燃烧室110且特别优选是环形燃烧室，涡轮机108和排气壳体109。

环形燃烧室110与例如环形的热气通道111相通。在那里，例如有四个相继接通的涡轮级112构成涡轮机108。

每个涡轮级112例如由两个叶片环构成。沿着工作介质113的流动方向看去在导向叶片115的热气通道111内随后具有由转动叶片120构成的栅125。

导向叶片130在此固定于定子143的内壳138上，与此相反，栅125的转子叶片120则例如借助于涡轮叶片盘133而设置于转子103上。

连接于转子103上的是发电机或做功机械（未示出）。

在燃气涡轮机100工作时，由压缩机105通过吸进壳体104抽入并压缩空气135。在压缩机105于涡轮机侧的那一端上所提供的压缩空气被导入到燃烧器107中并在那里与燃剂混和。然后点燃混合物并在燃烧室110内形成工作介质113。工作介质113从那里沿着热气通道111流动经过导向叶片130和转子叶片120。在转子叶片120上工作介质113膨胀并转移冲量，从而使得转子叶片120驱动转子103并且使后者驱动与其相连的做功机械。

在燃气涡轮机100工作时，经受热工作介质113的零件要受热。沿着工作介质113流动方向看去的第一涡轮级112中的导向叶片130和转子叶片120是除了构成环状燃烧室110内衬的耐热护壳元件之外最为受热的部分。

为了耐受那里的主导温度，可以借助于冷却介质将其冷却。

同样，零件的基材可以具有取向结构，即其是单晶的（SX-结构）或者具有只是纵向取向的晶粒（DS-结构）。

作为零件材料，特别是用于涡轮叶片120，130和燃烧室110部件的材料，采用例如基于铁、镍或钴的超合金。

这些超合金公开于例如EP1204776B1、EP1306454、EP1319729A1、WO99/67435或WO00/44949中；这些文献有关合金化学组成的内容是本发明公开的一部分。

导向叶片130具有一个朝向涡轮机108内壳138的导向叶片根（这里未示出）和一个位于导向叶片根对面的导向叶片头。导向叶片头朝向转子103并且固定于定子143的固定环140上。

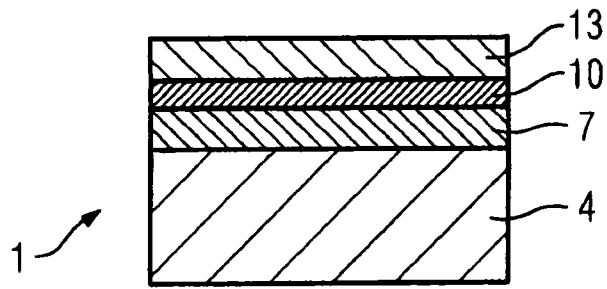


图 1

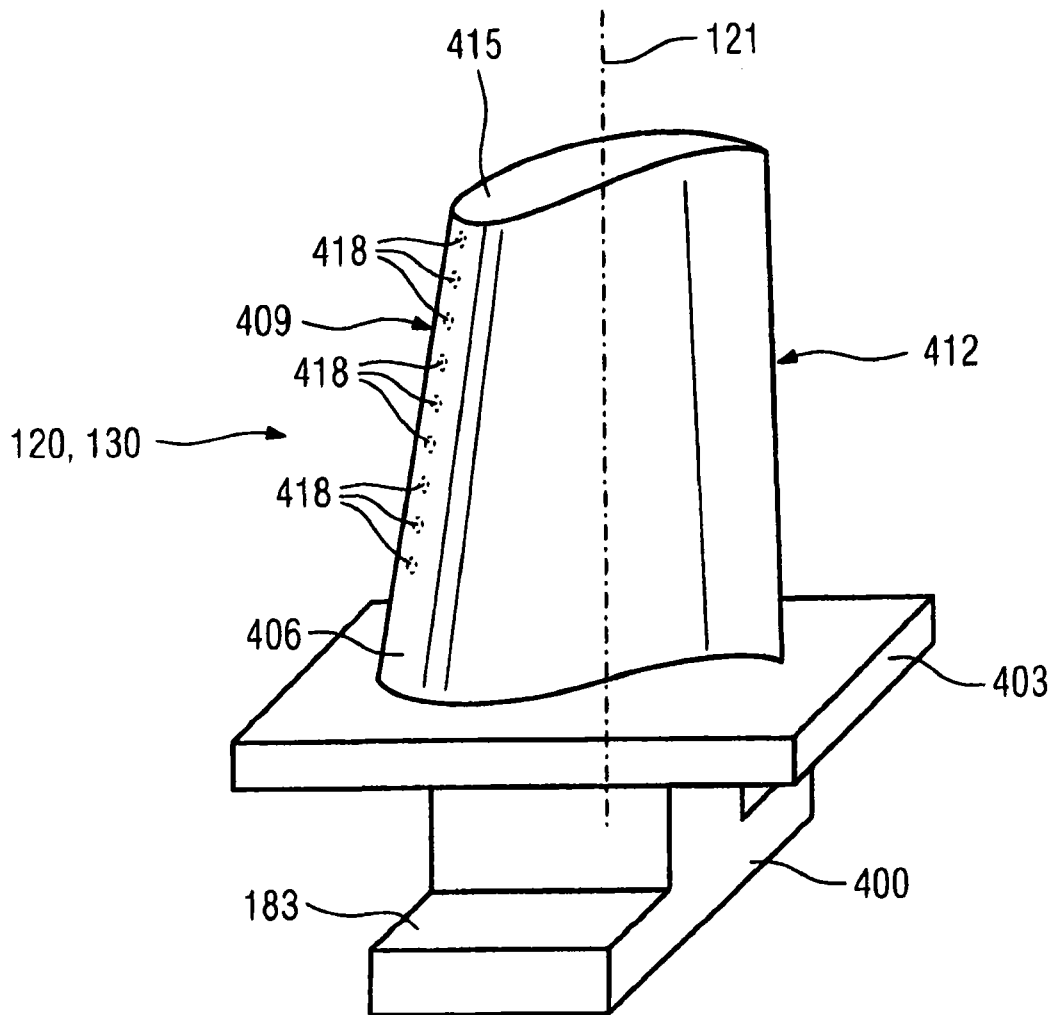


图 3

材料	化学组成, %												
	C	Cr	Ni	Co	Mo	W	Ta	Nb	Al	Ti	B	Zr	Hf
Ni 基精细铸造合金													
GTD 222	0.10	22.5	余量	19.0		2.0	1.0		1.2	2.3	0.008		
IN 939	0.15	22.4	余量	19.0		2.0	1.4	1.0	1.9	3.7	0.009	0.10	
IN 6203 DS	0.15	22.0	余量	19.0		2.0	1.1	0.8	2.3	3.5	0.010	0.10	0.75
Udimet 500	0.10	18.0	余量	18.5	4.0				2.9	2.9	0.006	0.05	
IN 738 LC	0.10	16.0	余量	8.5	1.7	2.6	1.7	0.9	3.4	3.4	0.010	0.10	
SC 16	<0.01	16.0	余量		3.0		3.5		3.5	3.5	<0.005	<0.008	
Rene 80	0.17	14.0	余量	9.5	4.0	4.0			3.0	5.0	0.015	0.03	
GTD 111	0.10	14.0	余量	9.5	1.5	3.8	2.8		3.0	4.9	0.012	0.03	
GTD 111 DS													
IN 792 CC	0.08	12.5	余量	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	
IN 792 DS	0.08	12.5	余量	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	1.00
MAR M 002	0.15	9.0	余量	10.0		10.0	2.5		5.5	1.5	0.015	0.05	1.50
MAR M 247 LC DS	0.07	8.1	余量	9.2	0.5	9.5	3.2		5.6	0.7	0.015	0.02	1.40
CMSX-2	<.006	8.0	余量	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	<.003	<.0075	
CMSX-3	<.006	8.0	余量	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	<.003	<.0075	0.10
CMSX-4		6.0	余量	10.0	0.6	6.0	6.0		5.6	1.0		Re=3.0	0.10
CMSX-6	<.015	10.0	余量	5.0	3.0	<.10	2.0	<.10	4.9	4.8	<.003	<.0075	0.10
PWA 1480 SX	<.006	10.0	余量	5.0		4.0	12.0		5.0	1.5	<.0075	<.0075	
PWA 1483 SX	0.07	12.2	余量	9.0	1.9	3.8	5.0		3.6	4.2	0.0001	0.002	
Co 基精细铸造合金													
FSX 414	0.25	29.0	10	余量		7.5					0.010		
X45	0.25	25.0	10	余量		8.0					0.010		
ECY 768	0.65	24.0	10	51.7		7.5	4.0		0.25	0.3	0.010	0.05	
MAR-M-509	0.65	24.5	11	余量		7.5	4			0.3	0.010	0.60	
CM 247	0.07	8.3	余量	10.0	0.5	9.5	3.2		5.5	0.7			1.5

图 2

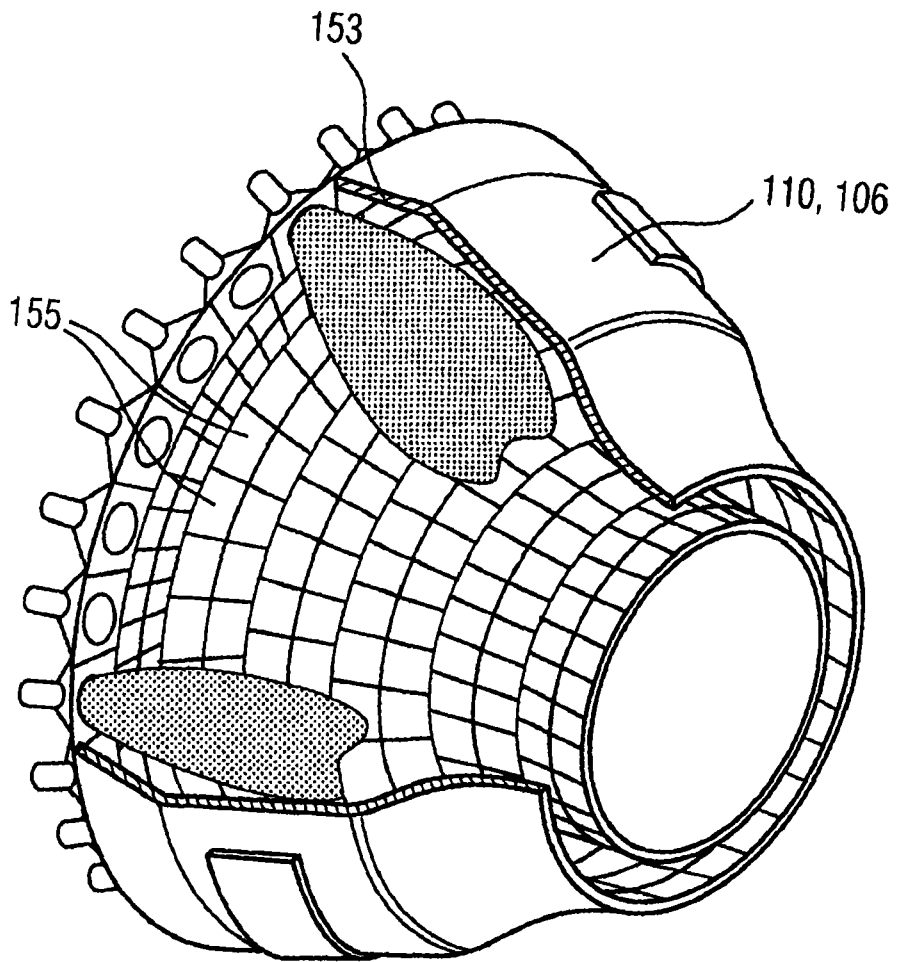


图 4

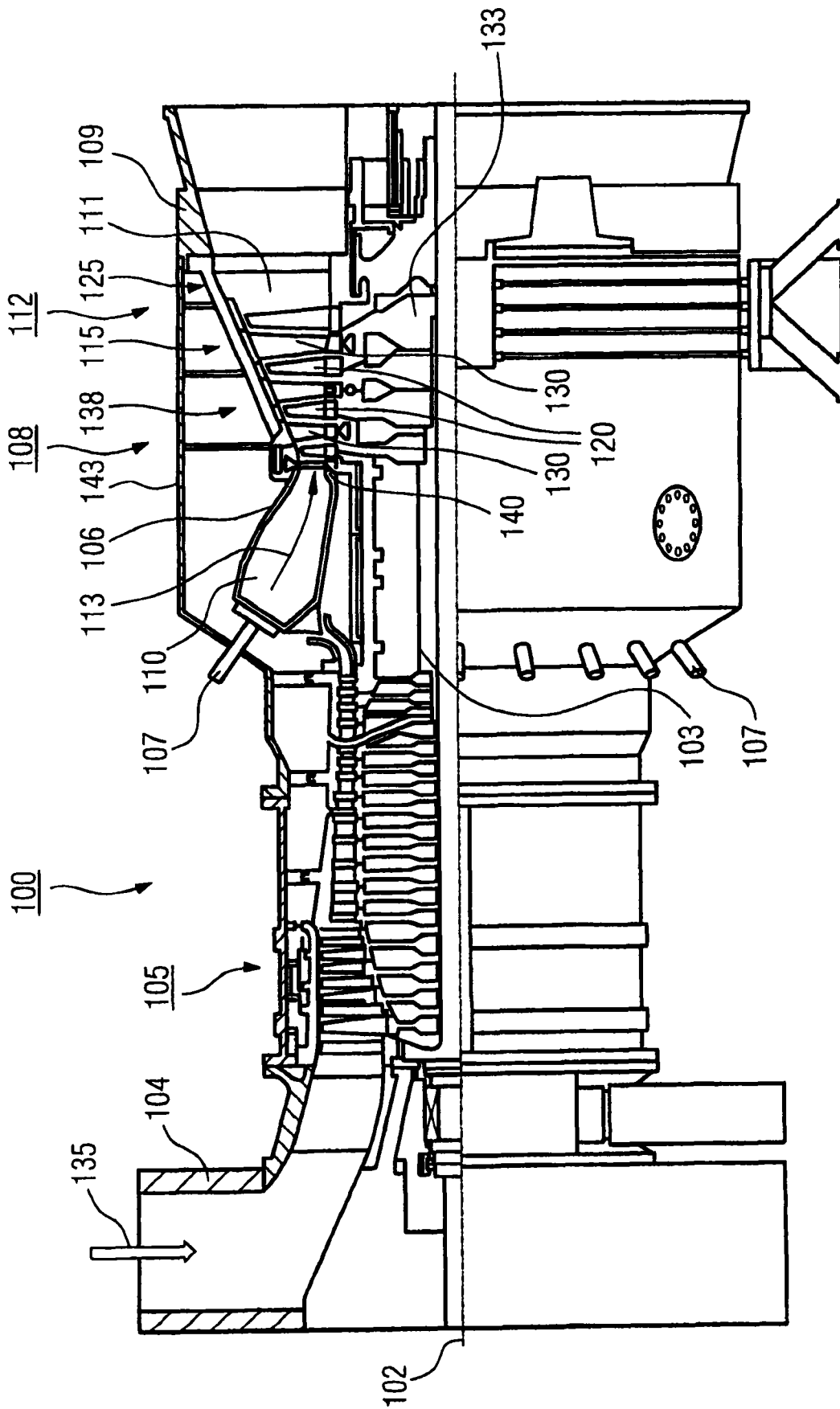


图 5