

[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 200610168415.5

[51] Int. Cl.

*G21B 1/13 (2006.01)*

*H05H 1/12 (2006.01)*

*F28F 21/00 (2006.01)*

*F28F 21/08 (2006.01)*

[43] 公开日 2007年6月20日

[11] 公开号 CN 1983459A

[22] 申请日 2006.12.4

[21] 申请号 200610168415.5

[30] 优先权

[32] 2005.12.6 [33] AT [31] GM830/2005

[71] 申请人 普兰西欧洲股份公司

地址 奥地利乐特市

[72] 发明人 B·舍德勒 Th·胡贝尔

A·察贝尼格 K·沙伊贝尔

D·舍德勒 Th·弗里德里希

H-D·弗里德尔 S·迈尔

N·韦尔莱

[74] 专利代理机构 上海新高专利商标代理有限公司

代理人 楼仙英 谢燕军

权利要求书1页 说明书5页 附图1页

[54] 发明名称

具有管段的第一壁构件

[57] 摘要

本发明涉及热核反应堆的第一壁构件，其包括至少一个石墨材料的挡热板和铜或铜合金的冷却管。所述挡热板和冷却管之间设置有一管段，所述管段的至少某些区域通过含铜层与挡热板和冷却管连接。

1.热核反应堆的第一壁构件(1),其包括至少一个石墨材料的挡热板(2)和铜或铜合金的冷却管(3),所述挡热板(2)具有闭合或开放的管道(4),其特征在于,所述挡热板(2)和冷却管(3)之间设置有一管段(5),所述管段(5)的至少某些区域通过含铜层(6,7)与挡热板(2)和冷却管(3)连接。

2.如权利要求1所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述管段(5)具有一20到180°的开度角 $\alpha$ 。

3.如权利要求2所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述管段(5)的所述开度角 $\alpha$ 为50°到130°。

4.如权利要求1到3任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述开度角 $\alpha$ 的角平分线垂直于与等离子体接触的挡热板(2)的表面(9)。

5.如权利要求1到4任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述管段(5)的壁厚为0.2到1.5mm。

6.如权利要求1到5任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述挡热板(2)通过含铜区在管段(5)的开放区(8)与冷却管(3)连接。

7.如权利要求1到6任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,组成所述管段(5)的材料包括钼、钼合金、钨和钨合金。

8.如权利要求7所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述管段(5)由钼-铜或钨-铜构成。

9.如权利要求1到8任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述挡热板(2)由CFC构成。

10.如权利要求1到9任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述冷却管(3)由铜-铬-锆构成。

11.如权利要求1到10任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述管道(4)是一孔。

12.如权利要求1到11任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述管道(4)通过激光构造。

13.如权利要求1到12任一所述的第一壁构件(1),其特征在于,所述管道(4)的壁的至少某些区域具有碳化钛层。

## 具有管段的第一壁构件

### 技术领域

本发明涉及热核反应堆的第一壁构件，其包括至少一个石墨材料的挡热板和铜或铜合金的冷却管，所述挡热板具有一闭合或开放的管道。

### 背景技术

这种第一壁构件的用途的典型实例是处于超过  $10\text{MW}/\text{m}^2$  的极端高的热载荷条件下的翻转器(diverter)和限幅器。第一壁构件通常包括挡热板和散热区。挡热板材料必须与等离子体相容，对物理和化学的溅射具有高的耐受性，高的熔点/升华点以及对热震的尽可能高的耐受性。另外，它还必须具有高的热导率，低的中子活化和适当的强度/断裂韧性，以及好的可利用性和可接受的成本。除了耐熔金属，例如钨，石墨材料最佳地符合这种多变化的且在某种程度上有冲突的要求。由于来自等离子体的能量流长时间地作用于这些构件，这种第一壁构件通常是有效冷却的。通过例如铜或铜合金散热片散热，所述散热片通常由很大程度上粘合(material bond)与挡热板连接。

铜具有保证散热的功能。另外，当石墨通过红铜中间层(例如铜-铬-锆)与高强度铜合金连接时，它还履行降低应力的功能。这种情况下，铜层通常的厚度为 0.5 到 3mm。

除了石墨和一种或多种铜材料区，这种第一壁构件还可以包括其他区，例如钢或钨合金。

在这种情况下，石墨和铜之间的连接区显示出这种复合材料的弱点。EP 0 663 670 B1 描述了一种用于生产连接区中具有改良强度的冷却装置的方法。其中，冷却装置的熔化状态的金属与耐热材料接触，在连接操作过程中，连接区提供一种或多种元素周期表的第 IV 族和/或第 V 族金属元素。如此制成的复合材料具有大大改良的强度。

第一壁构件可由不同的设计制成。这里，所引起的区别为平板状、鞍

状和整体状设计。

如果具有一平坦连接面的挡热板与散热片连接，冷却液通过该散热片流动，这被称为平瓦状设计。在鞍状设计中，具有一半圆形凹槽的挡热板与管形的散热片连接。在每种设计中，散热片具有形成热量输入侧和冷却介质之间的热触点的功能，且因而暴露于由温度梯度和连接在一起的元素的不同膨胀系数所引起循环的、由热引起的载荷中。在整体状设计中，第一壁构件包括一具有同心管道的挡热板。挡热板通过该同心管道与冷却管连接。

由于几何条件，由铜中间层的塑性变形所引起的应力降低，在平瓦状设计中比在存在三维应力状态的整体状设计中更有效地发生，这最大程度地抑制了塑性变形。由于这种受限制的应力降低，因此石墨材料中会出现裂缝。

第一壁构件不仅须经受由热引起的机械应力，而且还须经受额外发生的机械应力。这种额外的机械载荷可能由电磁引起的电流生成，这些电流流入构件并与周围的磁场相互作用。这可以涉及高频率加速力的出现，其必须由挡热板传输。然而，石墨材料具有低的机械强度和断裂韧性。另外，在使用期间发生的中子脆化使得这些材料的灵敏性的进一步增加，导致裂缝发生。

纤维强化石墨(CFC)通常用作石墨材料。这里，纤维实施是三维和直线性设置的。取决于空间方向，该纤维的体系结构可提供具有不同特性的材料。通常，CFC 由前-树脂(ex-pitch)纤维在一个空间方向里强化，其兼具最好的强度和导热性。由前-PAN 纤维强化另外两个空间方向，通常仅一个方向被针刺。

因此，当 CFC 具有线性材料的体系结构时，挡热板/冷却管连接的几何结构对单块设计来说是圆形的。由于所使用材料不同的热膨胀系数，在生产工艺过程中发生累积的压力，且该压力可以导致 CFC 中的裂缝。

由于所使用的组合材料的几何条件，如果有的话，这些裂缝只能用很复杂的方法才能检测。针对这种构件的核辐射环境背景，其产生相应的问题，特别是因为裂缝/脱离可被认为是更重大事件的可能的诱因。

尽管在第一壁构件领域中的费劲的研究工作已经进行了许多年，迄今

为止可用的结构构件仍没有最佳地符合要求。

## 发明内容

因此，本发明的目的是提供一种整体状设计的第一壁构件，其以适当的方式符合机械和物理应力的要求。

该目的通过权利要求 1 的特征来实现。

本发明的第一壁构件包括至少一个石墨材料的挡热板和铜或铜合金的冷却管，所述挡热板具有闭合或开放的管道，且所述挡热板和冷却管之间设置有一管段。所述管段通过易延展的铜层分别与挡热板和冷却管相连。

管段具有降低挡热板里的由不同的膨胀系数产生的内应力的作用。为了以最佳方式获得该作用，有利地，挡热板和管段的膨胀系数是相似的，且管段具有至少 0.2mm 的足够厚度，以及尽可能高的导热性和强度。如果厚度较小，则不能实现足够的压力降低。归因于几何条件，上限约为 1.5mm。

能很好满足管段的机械/物理要求的材料包括钼、钼合金、钨和钨合金。

特别要注意的是钨-铜系统和钼-铜系统中的假合金。就钨-铜来说，优选的含铜量为 5 到 25wt%，就钼-铜来说，优选的含铜量为 15 到 40wt%。管段可带有一 20°到 180°的开度角 $\alpha$ ，优选 50°到 130°。开度角较大时，压力降低不足够。开度角较小时，热通量受阻。

有利地，开度角 $\alpha$ 的角平分线垂直于暴露在等离子体中的挡热板的表面。该挡热板通过一含铜层与管段连接，管段同样也依次通过一含铜层与冷却管连接。这些层同样起应力降低的作用。管段的开放区同样填满铜或铜合金，以便在该区内挡热板通过该含铜区与冷却管连接。因而，在该区内，热通量不会被管段减弱。

通过挡热板的管道优选为闭合的并以孔形成，其壁通过激光构造，该壁被金属地和/或碳化地激活。

为制造本发明的第一壁构件，首先将一管道，优选为一孔，引入到一块石墨材料，优选 CFC 中。管道表面优选通过激光构造，并随后被金属地和/或碳化地以这样一种方法激活，以致激活面可被液态铜润湿。随后管段插入以这种方式预处理后的管道中。本发明中，优选的管段厚度为 0.2 到

约 1.5mm。管段与激活管道的壁之间的间隙约为 0.2 到 0.8mm。该间隙中引入一红铜套管。且红铜套管对着管段的内径设置。以这种方式产生的构造在真空或惰性气体下加热到高于铜的熔点的温度。为确保铜的补充，特别是在 CFC，管段和管段的开放区之间的间隙里，提供一相应的铜库。

这产生了一种具有以下径向构造的复合物(从外到内)：CFC/激活层/铜/钼-铜或钨-铜/铜。

铜合金冷却管，优选铜-铬-锆冷却管，可以由常用的标准方法例如焊接或 HIP 工艺在很大程度上粘合到内铜层上。

## 附图说明

图 1 是本发明第一壁构件的斜投影图。

图 2 是如图 1 所示的本发明第一壁构件的主视图。

图 3 是管段的斜投影图。

## 具体实施方式

以下通过实施例详细描述本发明。

使用尺寸为 45 mm × 30 mm × 25 mm 的 CFC 挡热板 2 来制造第一壁构件 1。该 CFC 挡热板 2 具有三维纤维结构，取决于方向得到不同的特性。具有最高热导率的纤维与 45mm 的外形尺寸平行设置。具有平均热导率的纤维束与 30mm 的外形尺寸平行设置。在其对称中心，将直径为 18mm 的通孔 4 垂直引入 30 mm × 45 mm 的区域。随后通过激光构造该 25mm 深的孔，实现表面积增加超过 100%。该圆锥形激光孔的深度约为 1000 μm，表面的开放宽度约为 200 μm。本实施例中，选择这样的激光脉冲序列，使得单个孔尽可能靠拢设置。以这种方式处理的表面被激活，因此在 CFC 材料 2 上产生了被液态铜润湿的碳化结合面。这由涂敷于该表面的钛实现。然后，将该部件加热到高于钛熔点的温度，由于毛细管作用力，熔化的钛渗入 CFC，从而形成碳化钛。碳化钛一方面通过良好的化学物粘附到 CFC 上，另一方面使得挡热板 2 对于液态铜是可润湿的。然后，将厚度为 0.4mm 的红铜薄片这样设置在激活孔 4 里，使得形成一圆柱体，其对着挡热板 2 中的孔的内侧设置。随后，将高度为 25mm，外径为 17mm，壁厚为 0.5mm

和开度角 $\alpha$ 为  $90^\circ$ 的铜含量为 10wt%的钨管段 5 引入该孔。该实施例中，开度角 $\alpha$ 的角平分线垂直设置在  $45\text{ mm} \times 25\text{ mm}$  区域上。在使用期间，该区域 9 与等离子体接触。外径为 15.8mm 的铜核心设置在管段 5 的内区里，该核心有一直径为 20mm 的前端。该前端的功能是融体库。随后将该组件设置在真空加热炉中，在真空下加热约 10 分钟到  $1100^\circ\text{C}$ ，随后引入冷却阶段。

以这种方式，挡热板 2 通过铜层 6 与管段 5 连接。管段 5 的开放区 8 同样填满铜。随后，以这种方式产生的整体汽缸座可在各方面工作。在每种情况下，原来的外形尺寸因此减少了 1mm，因此在进一步加工之前，整体汽缸座具有的外形尺寸为  $44\text{ mm} \times 29\text{ mm} \times 24\text{ mm}$ 。填充铜的管道 4 被钻成直径为 15mm。该实施例中，内径有一连续的铜层 7。然后将一外径为 14.8mm 的铜-铬-锆管 3 设置在管道 4 里。随后，冷却管 3 和整体汽缸座通过 HIP 工艺在很大程度上粘合，因此得到一可有效冷却的第一壁构件 1。

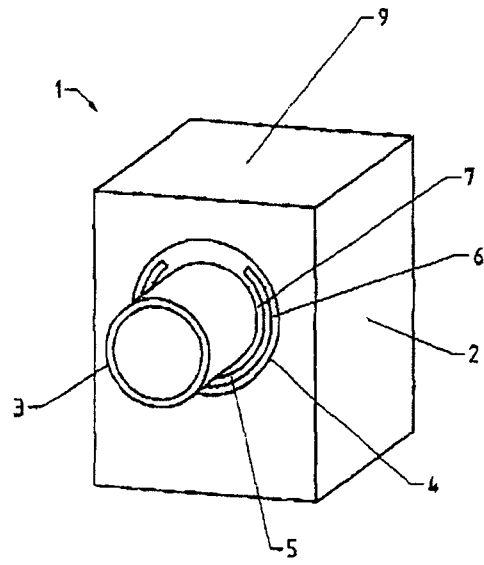


图 1

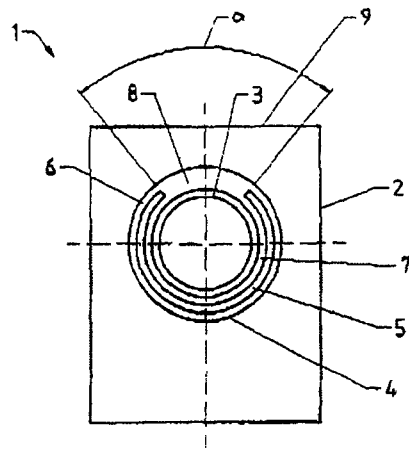


图 2

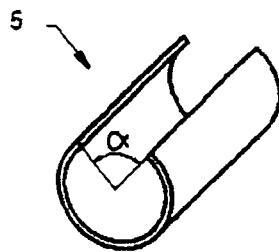


图 3