



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103886919 B

(45) 授权公告日 2016. 02. 17

(21) 申请号 201410117811. X

(22) 申请日 2014. 03. 26

(73) 专利权人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园 100 号

(72) 发明人 王波 胡德志 马栋 吕广宏

(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203

代理人 刘萍

(51) Int. Cl.

G21B 1/13(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102560214 A, 2012. 07. 11,

CN 102610285 A, 2012. 07. 25,

CN 103088427 A, 2013. 05. 08,

CN 102337487 A, 2012. 02. 01,

JP 平 10-282276 A, 1998. 10. 23,

黄波 等. 聚变堆面向等离子体钨基材料的研究进展. 《核动力工程》. 2012, 第 33 卷

吕广宏 等. 磁约束核聚变托卡马克等离子体与壁相互作用研究进展. 《中国材料进展》. 2010, 第 29 卷 (第 7 期),

审查员 黄伟

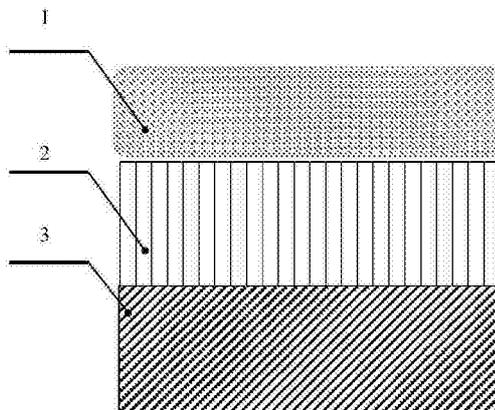
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54) 发明名称

利用叠片结构提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的方法

(57) 摘要

利用叠片结构提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的方法属于核能应用领域, 适用于采用氢同位素进行聚变反应装置中内壁上的面向等离子体表面。将面对等离子体的材料制成多片金属薄片, 然后将多片金属薄片按照垂直于壁表面的方向叠压在一起, 再与铜基体复合在一起。这种方法不仅可以有效降低氢、氦及其同位素等在钨基材料表层下面的聚集, 大大降低其表面的起泡现象, 同时还能减轻热疲劳裂纹损伤。



1. 一种提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的结构,其特征在于:

在等离子体和铜基体之间存在多片金属薄片,所述多片金属薄片按照垂直于壁表面的方向叠压在一起,再与铜基体复合在一起;所述金属为钨或者钼,或者所述金属薄片采用钨钼合金和钨钽合金材料热轧制作的两种材料薄片轮换叠压而成。

2. 应用权利要求 1 所述结构提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的方法,其特征在于步骤如下:

将面对等离子体的材料制成多片金属薄片,然后将多片金属薄片按照垂直于壁表面的方向叠压在一起,再与铜基体复合在一起。

3. 根据权利要求 1 所述提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的结构,其特征在于:

金属薄片与铜基体复合在一起的方法为熔铸或钎焊。

4. 根据权利要求 1 所述一种提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的结构,其特征在于:

每片金属薄片的厚度尺寸在 1 微米至 1 毫米的范围。

利用叠片结构提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的方法

技术领域

[0001] 本发明属于核能应用领域,涉及一种利用叠片结构提高核聚变反应装置内壁耐等离子体辐照性能的方法,该发明适用于采用氢同位素进行聚变反应装置中内壁上的面向等离子体表面。

背景技术

[0002] 核聚变能源的储量丰富并且安全,具有巨大的应用前景,将可能成为人类的终极能源。

[0003] 在核聚变装置中,内壁的面对等离子体材料表面(以下简称“壁表面”)要经受高热冲击、高剂量的中子和氘、氦等离子体辐照等严酷考验。钨、钼等难熔金属是较常采用的面向等离子体材料,其中金属钨是目前较普遍接受的优选的面对等离子体材料。但钨、钼等在氘、氦等离子体长时间辐照下,氢、氦及其同位素在其表层下面聚集而导致表面产生起泡现象;并且,聚变装置运行中还存在着持续的温度波动,使壁表面产生热疲劳效应,即产生表面热疲劳裂纹。这些现象会使壁表面产生损伤,影响壁表面材料的服役状况,缩短壁材料的寿命。因此,努力提高壁表面材料的“耐受聚变等离子体辐照性能”是核聚变材料领域的一个重要研究内容。

[0004] 为了抑制壁表面起泡,以前也有方法提出采用“梯度多孔结构”或“柱状晶”来实现这一目的。但它们都不能有效抑制热疲劳裂纹损伤,并且制备工艺上也较复杂。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供利用叠片结构来提高壁表面材料耐等离子体辐照性能的方法。这种方法不仅可以有效降低氢、氦及其同位素等在钨基材料表层下面的聚集,大大降低其表面的起泡现象,同时还能减轻热疲劳裂纹损伤。

[0006] 一种提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的结构,其特征在于:

[0007] 在等离子体和铜基体之间存在多片金属薄片,所述多片金属薄片按照垂直于壁表面的方向叠压在一起,再与铜基体复合在一起。

[0008] 应用所述结构提高聚变堆内壁耐等离子体辐照性能的方法,其特征在于步骤如下:

[0009] 将面对等离子体的材料制成多片金属薄片,然后将多片金属薄片按照垂直于壁表面的方向叠压在一起,再与铜基体复合在一起。

[0010] 进一步,金属薄片与铜基体复合在一起的方法为熔铸或钎焊。

[0011] 进一步,每片金属薄片的厚度尺寸在 1 微米至 1 毫米的范围。

[0012] 为了解决上述问题,本发明所采用的技术方案是将面对等离子体材料制成大量的薄片状,然后将各个片按照垂直于壁表面的方向叠压在一起,再与铜基体通过熔铸或钎焊等常规工艺复合在一起,从而形成面向等离子体的聚变内壁组件。这种叠片结构的特征是面向等离子体材料不是制成块体状,而是薄片状,并且薄片的平面按照垂直于壁表面的取

向,片与片之间紧贴在一起。薄片的厚度尺寸在 1 微米至 1 毫米的范围,并且越薄越有利于提高抗等离子体辐照损伤作用。

[0013] 本发明的原理在于:在所采用的垂直于壁表面的叠片结构中,会有许多垂直于壁表面的缝隙,并且这些缝隙都贯通于壁表面。等离子体辐照过程中进入壁材料的氢、氦会通过横向扩散进入这些缝隙,再经过这些缝隙作为通道快速扩散到壁表面并回到等离子体中,避免了氢、氦在壁材料中的积累,从而抑制了起泡问题。同时,由于壁表面在法线方向没有约束,聚变装置运行时产生的持续性温度波动在壁表面形成的热循环应力是垂直于法线方向上的二维平面应力。而用叠片结构取代块体结构以后,各个叠片间的垂直于壁表面的缝隙可以有效释放该二维平面应力,因此可以有效减轻壁表面的热疲劳裂纹损伤。并且,由于叠片都是垂直于壁表面,在热量扩散的方向上没有界面,因此不会对壁结构的热传导功能产生严重影响。

[0014] 虽然以往已经有利用“梯度多孔结构”或“柱状晶”来抑制起泡的方法提出过,然而目前为止,还没有人提出利用垂直于壁表面的叠片结构来抑制壁材料的等离子体辐照起泡并降低热疲劳损伤的方法。

[0015] 本发明的优点在于:

[0016] (1) 叠片结构中各个片垂直于壁表面,可以同时具有抑制起泡和减轻热疲劳裂纹损伤的作用。

[0017] (2) 相比梯度多孔结构和柱状晶结构,叠片结构的制作工艺更简单且利于批量生产。

附图说明

[0018] 图 1 是内壁上的面向等离子体表面采用了本发明的叠片结构的截面示意图;

[0019] 图中:1. 等离子体;2. 叠片结构;3. 铜基体。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图和实施例对本发明采用的叠片结构进一步说明。

[0021] 壁材料在氢同位素和氦的等离子体长时间辐照后,会在表层下面形成气泡,是由于氢同位素和氦在等离子体辐照过程下进入到材料的表层,并聚集成气泡;同时,持续的温度波动引起的热循环应力也引起疲劳裂纹损伤。针对这两方面的问题,本发明通过采用叠片结构来替换壁表面通常的整体块材结构,从而在这两方面同时减轻损伤。

[0022] 一种利用叠片结构提高核聚变反应装置内壁表面耐等离子体辐照性能的方法,所述的叠片结构是由许多的壁材料薄片叠在一起组成,薄片方向要采取垂直于内壁表面的取向。所述壁材料是指目前常用的各种金属类的内壁面向等离子体材料,主要有钨、钨合金、钼、钼合金等。薄片的制备可以用目前生产中的常规方法都可以制备,例如热轧、冷轧等工艺。薄片与薄片紧贴在一起,可以采用同一种壁材料制作的薄片,也可以采用多种材料制作的薄片混合叠压在一起。将叠在一起的壁材料薄片与铜基体通过熔铸或焊接等方法连接在一起,就组成了聚变装置内壁的面向等离子体表面结构组件。以下用三个实施例来进一步介绍。

[0023] 实施例 1:

[0024] 如图 1 所示,这是叠片结构的面向等离子体表面的典型形式。与等离子体 1 向接触的叠片结构 2 由许多的薄片组成,薄片采用钨材料热轧制作的钨片,所述薄片的厚度采用 0.2 毫米。薄片的方向是采用垂直于内壁表面取向,薄片与薄片之间紧密接触。叠片结构的下面紧密连接的是铜基体 3,铜基体 3 是通过常规熔铸的方式与叠片结构形成连接。将该结构的面向等离子体表面置于氩、氦等离子体束下进行辐照试验,辐照剂量达 $5 \times 10^{25} \text{m}^{-2}$ 时,表面不产生起泡和热疲劳裂纹。

[0025] 实施例 2:

[0026] 实施例 2 的叠片结构与实施例 1 的一样,薄片的取向要垂直于表面,只是其中薄片采用钼材料冷轧而成的钼片。钼片的厚度采用 1 微米。钼片组成的叠片结构下面连接铜基体,连接方式采用常规钎焊方法。将该结构的面向等离子体表面置于氩、氦等离子体束下进行辐照试验,辐照剂量达 $4 \times 10^{25} \text{m}^{-2}$ 时,表面不产生起泡和热疲劳裂纹。

[0027] 实施例 3:

[0028] 实施例 3 中,叠片结构采用钨铌合金和钨钽合金材料热轧制作的两种材料薄片轮换叠压而成。薄片的取向垂直于内壁表面。钨铌合金薄片的厚度采用 1 毫米,钨钽合金薄片厚度采用 0.5 毫米。钨铌合金和钨钽合金片组成的叠片结构下面连接铜基体,连接方式采用常规钎焊方法。将该结构的面向等离子体表面置于氩、氦等离子体束下进行辐照试验,辐照剂量达 $8 \times 10^{26} \text{m}^{-2}$ 时,表面不产生起泡和热疲劳裂纹。

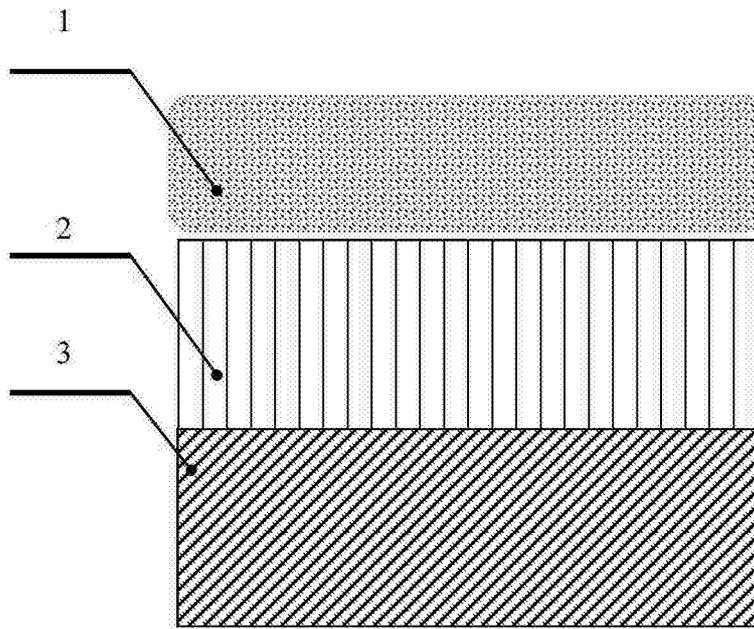


图 1