



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113305440 A

(43) 申请公布日 2021.08.27

(21) 申请号 202110571626.8

(22) 申请日 2021.05.25

(71) 申请人 中国核动力研究设计院

地址 610000 四川省成都市双流区长顺大道一段328号

(72) 发明人 闫晓 王云 曾元峰 周磊

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所
(普通合伙) 51220

代理人 林菲菲

(51) Int. Cl.

B23K 26/352 (2014.01)

B23K 26/364 (2014.01)

F28F 13/02 (2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

微纳结构表面强化方法及高功率换热设备性能提升方法

(57) 摘要

本发明公开了一种微纳结构表面强化方法及高功率换热设备性能提升方法,本发明的方法包括以下步骤:步骤一、对原始基体材料换热表面进行预处理;步骤二、采用飞秒激光技术在预处理之后的换热表面上加工阵列分布的不同尺寸的“沟槽”微纳结构。本发明利用飞秒激光微纳加工技术,在原始基体材料上构建不同尺寸阵列分布的“沟槽”微纳结构,从而提升壁面的亲水性,实现临界热流密度的提高。

对原始基体材料换热表面进行预处理

采用飞秒激光技术在预处理之后的换热表面上加工阵列分布的不同尺寸的“沟槽”微纳结构

1. 一种微纳结构表面强化方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一、对原始基体材料换热表面进行预处理;

步骤二、采用飞秒激光技术在预处理之后的换热表面上加工阵列分布的不同尺寸的“沟槽”微纳结构。

2. 根据权利要求1所述的一种微纳结构表面强化方法,其特征在于,所述“沟槽”微纳结构的高度为 $0.1\sim 100\mu\text{m}$;所述“沟槽”微纳结构的沟槽夹角为 $20^\circ\sim 70^\circ$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种微纳结构表面强化方法,其特征在于,所述阵列分布按照以“n大尺寸沟槽+m小尺寸沟槽”为基本单元阵列布置;

其中,m、n均未正整数。

4. 根据权利要求3所述的一种微纳结构表面强化方法,其特征在于,所述大尺寸沟槽微纳结构的高度大于 $10\mu\text{m}$ 小于等于 $100\mu\text{m}$,沟槽夹角为 $20^\circ\sim 70^\circ$;

所述小尺寸沟槽微纳结构的高度大于等于 $0.1\mu\text{m}$ 小于等于 $10\mu\text{m}$,沟槽夹角为 $20^\circ\sim 70^\circ$ 。

5. 根据权利要求3所述的一种微纳结构表面强化方法,其特征在于,所述n取值为2,m取值为3。

6. 根据权利要求1-5任一项所述的一种微纳结构表面强化方法,其特征在于,所述步骤二具体包括:

步骤S21,采用飞秒激光技术在预处理后的换热表面上制备小尺寸微纳结构;

步骤S22,调节飞秒激光能量;

步骤S23,在已完成小尺寸微纳结构的换热表面上利用调节之后的飞秒激光技术加工大尺寸微纳结构,从而实现两种不同尺寸的微纳结构的阵列排布。

7. 根据权利要求6所述的一种微纳结构表面强化方法,其特征在于,所述步骤一对原始基体材料换热表面进行预处理,使得该原始基体材料换热表面整体粗糙度小于后续需要制备的微纳结构中的微米结构的粗糙度。

8. 根据权利要求6所述的一种微纳结构表面强化方法,其特征在于,所述预处理为研磨处理。

9. 一种高功率换热设备性能提升方法,其特征在于,该方法采用如权利要求1-8任一项所述的方法得到的精确可控的不同结构尺寸阵列排布的表面微纳结构提高传热界面临界热流密度,在保持长期稳定性的同时不带来其他附加影响,提升高功率换热设备的安全限值。

微纳结构表面强化方法及高功率换热设备性能提升方法

技术领域

[0001] 本发明属于热工水力技术领域,具体涉及一种微纳结构表面强化方法以及基于该表面强化方式提升高功率换热设备性能的方法。

背景技术

[0002] 临界热流密度是高功率密度的换热设备热工水力设计的关键限值之一,提高临界热流密度,可进一步释放热工安全裕量,对提高换热设备的热工性能以及安全性具有重要作用。现有较为成熟的临界热流密度模型大多认为气相覆盖加热面之后导致了加热面不能很好被冷却,触发沸腾临界从而导致加热面温度飞升。因此,强化临界热流密度的机制主要包括:(1)促使气相快速离开加热面,使得加热面能较好的冷却;(2)拓展加热面面积,在相同功率条件下降低壁面热流密度,提高等效临界热流密度;(3)提高加热面与冷却剂的接触能力,使得壁面更好的被冷却。主要的技术方法包括:强化表面、添加剂、改变流道设计以及附加力场等。其中,添加剂方面近年来主要是针对纳米颗粒添加剂组成的纳米流体,通过纳米颗粒沉积为多孔介质层提高壁面润湿能力而提高CHF;外加力场的方式主要是通过流体诱导振动、流体旋转以及电磁场作用使得气相快速脱离加热面以提高CHF。由于添加剂、改变流道设计以及附加力场在工程应用中容易带来附加的影响,在高功率密度的换热设备中,强化表面这一技术方式相比而言具有更好的应用前景。

[0003] 强化表面的技术方法主要包括:壁面微小结构、人工粗糙表面、多孔附着层(涂层)等,然而粗糙表面和多孔附着层由于工艺制造的不确定性较大,再考虑到长期稳定性的问题,使得设计与制造之间难以较好的匹配,对于热工安全性能要求极高的高功率换热设备而言难以适用。为此,对于这一类换热设备的临界热流密度的提高,迫切需要长期稳定,并且工艺结构精确可控的临界热流密度提升技术。

发明内容

[0004] 针对现有强化临界热流密度不适用对热工安全性能要求极高的高功率换热设备的局限性,本发明提供了一种新的微纳结构表面强化方法,该强化方法利用飞秒激光技术在金属传热界面上制造精确可控的微纳米结构实现表面改性,在保持长期稳定性的同时可以不带来其他附加影响,大幅度提升高功率密度的换热设备的安全限值,对这一类换热设备的热工性能和安全性的提升具有重要意义。

[0005] 本发明通过下述技术方案实现:

[0006] 一种微纳结构表面强化方法,该方法包括以下步骤:

[0007] 步骤一、对原始基体材料换热表面进行预处理;

[0008] 步骤二、采用飞秒激光技术在预处理之后的换热表面上加工阵列分布的不同尺寸的“沟槽”微纳结构。

[0009] 本发明利用飞秒激光微纳米加工技术,在原始基体材料上构建不同尺寸阵列分布的“沟槽”微纳米结构,从而提升壁面的亲水性,实现临界热流密度的提高。

[0010] 优选的,本发明的“沟槽”微纳结构的高度为0.1~100um;所述“沟槽”微纳结构的沟槽夹角为20°~70°。

[0011] 优选的,本发明的阵列分布按照以“n大尺寸沟槽+m小尺寸沟槽”为基本单元阵列布置;

[0012] 其中,m、n均未正整数。

[0013] 优选的,本发明的大尺寸沟槽微纳结构的高度大于10um小于等于100um,沟槽夹角为20°~70°;

[0014] 所述小尺寸沟槽微纳结构的高度大于等于0.1um小于等于10um,沟槽夹角为20°~70°。

[0015] 优选的,本发明的n取值为2,m取值为3。

[0016] 优选的,本发明的步骤二具体包括:

[0017] 步骤S21,采用飞秒激光技术在预处理后的换热表面上制备小尺寸微纳结构;

[0018] 步骤S22,调节飞秒激光能量;

[0019] 步骤S23,在已完成小尺寸微纳结构的换热表面上利用调节之后的飞秒激光技术加工大尺寸微纳结构,从而实现两种不同尺寸的微纳结构的阵列排布。

[0020] 优选的,本发明的步骤一对原始基体材料换热表面进行预处理,使得该原始基体材料换热表面整体粗糙度小于后续需要制备的微纳结构中的微米结构的粗糙度。

[0021] 优选的,本发明的预处理为研磨处理。

[0022] 另一方面,基于上述新的微纳结构表面强化方法本发明还提出了一种高功率换热设备性能提升方法,该方法采用上述新的微纳结构表面强化方法得到的精确可控的不同结构尺寸阵列排布的表面微纳结构提高传热界面临界热流密度,在保持长期稳定性的同时不带来其他附加影响,提升高功率换热设备的安全限值。

[0023] 本发明具有如下的优点和有益效果:

[0024] 1、本发明利用飞秒激光技术加工出精确可控的不同尺寸阵列分布的“沟槽”微纳结构,提升壁面亲水性,从而提高液膜对加热面的润湿能力,实现临界热流密度的提高,在保持长期稳定性的同时可以不带来其他附加影响,大幅度提升高功率密度的换热设备的安全限值。

[0025] 2、本发明具有巨大的应用潜能和经济价值,并具备良好的拓展性,充分满足高效紧凑换热设备进一步挖掘热工安全裕量的需求。

附图说明

[0026] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定。在附图中:

[0027] 图1为本发明的强化方法流程示意图。

[0028] 图2为本发明的“沟槽”微纳结构峰谷夹角示意图。

[0029] 图3为本发明的非均匀尺寸阵列分布的“沟槽”微纳结构阵列截面示意图。

[0030] 图4为本发明的不同尺寸的“沟槽”微纳结构多电子显微镜下实物图。

[0031] 图5为本发明的制备均匀和非均匀“沟槽”微纳结构表面的性能对比图。

[0032] 其中,(a)为均匀“沟槽”微纳结构,(b)为非均匀“沟槽”微纳结构。

[0033] 附图中标记及对应的零部件名称:

[0034] 1-大尺寸“沟槽”微纳结构,2-小尺寸“沟槽”微纳结构。

具体实施方式

[0035] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施例和附图,对本发明作进一步的详细说明,本发明的示意性实施方式及其说明仅用于解释本发明,并不作为对本发明的限定。

[0036] 实施例1

[0037] 临界热流密度是高功率密度的换热设备热工水力设计的关键限值之一,提高临界热流密度,可进一步释放热工安全裕量,对提高换热设备的热工性能以及安全性具有重要作用。对于热工安全性能要求极高的高功率换热设备临界热流密度的提高,迫切需要长期稳定,并且工艺结构精确可控的临界热流密度提升技术。因此,针对热工安全性能要求极高的高功率换热设备性能提高的问题,本实施例提出了一种新的微纳结构表面强化方法,本实施例的方法利用飞秒激光技术加工出精确可控的不同尺寸阵列分布的“沟槽”微纳结构,提升壁面亲水性,从而提高液膜对加热面的润湿能力,实现临界热流密度的提高,在保持长期稳定性的同时可以不带来其他附加影响,大幅度提升高功率密度的换热设备的安全限值。

[0038] 具体如图1所示,本实施例的方法包括以下步骤:

[0039] 步骤一、对原始基体材料换热表面进行预处理。

[0040] 一般机械加工获得的表面相对而言平整度有限,可能出现局部区域凹穴或凸起的尺寸过大,影响微纳结构表面的精加工。在进行微纳结构表面精细化加工处理之前,可对原始基体材料进行预处理(如研磨),使得其整体粗糙度小于后续需要制备的微纳结构中的微米结构的粗糙度。

[0041] 步骤二、采用飞秒激光技术在预处理之后的换热表面上加工阵列分布的不同尺寸的“沟槽”微纳结构。

[0042] 本实施例提出采用不同结构尺寸的阵列排布的沟槽微纳结构提高壁面润湿特性实现临界热流密度的提高,其沟槽微纳结构尺寸范围为:高度0.1-100um,沟槽夹角 θ (如图2所示)范围 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。不同尺寸“沟槽”微纳结构多电子显微镜下实物图如图4所示。

[0043] 本实施例提出利用非均匀的不同尺寸的“沟槽”微纳结构,实现加热面不同亲水性能的调控,阵列分布的不同尺寸的“沟槽”微纳结构可以利用较大的微纳结构破坏汽膜生长,利用较小微纳结构促使气相快速离开加热面,提高液态冷却剂对表面的冷却能力。两者共同作用下进一步提高临界热流密度。

[0044] 其中,较大尺寸的微纳结构尺寸范围为:高度10-100um,沟槽夹角 θ 范围 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$,较小微纳结构尺寸范围为:高度0.1-10um,沟槽夹角 θ 范围 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。

[0045] 阵列方式可以按照需求以“n大+m小”为基本单元阵列布置实施,n和m分别为大结构和小结构在一个单元内的个数,其中本实施例中n优选为2,m优选为3,具体如图3所示。

[0046] 本实施例的步骤二具体包括以下步骤:

[0047] 在通过研磨等预处理之后,首先通过飞秒激光在整体加热面上根据小的微纳结构的尺寸结构要求在全范围内制备出小的微纳结构,在此基础上,再调节飞秒激光能量

等参数,在上述已有小的微纳米结构的基础上,控制间距加工出大的微纳米结构,从而实现大小两种微纳米结构的阵列排布。

[0048] 本实施例通过在原始基体材料换热表面上分别构建均匀和非均匀沟槽微纳结构之后,表面微纳结构的作用改变了表面的亲/疏水性能,可利用“坐滴”法对不同结构表面的性能进行表征。具体实施过程为:利用高速高倍摄像机观测水滴在表面上自由铺展的过程以及最终形态,并获得三相接触角,以其接触角来表征表面性能,如图5所示。

[0049] 本实施例的微纳结构表面强化方法通过构建适宜的微纳结构形式改变壁面的亲水性能,从而提高液膜对加热面的润湿能力,实现临界热流密度的提高,大幅度提升换热设备安全限值。

[0050] 本实施例的微纳结构工作条件为:水介质,工作压力为常压~20MPa,工作温度为常温~500℃。

[0051] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

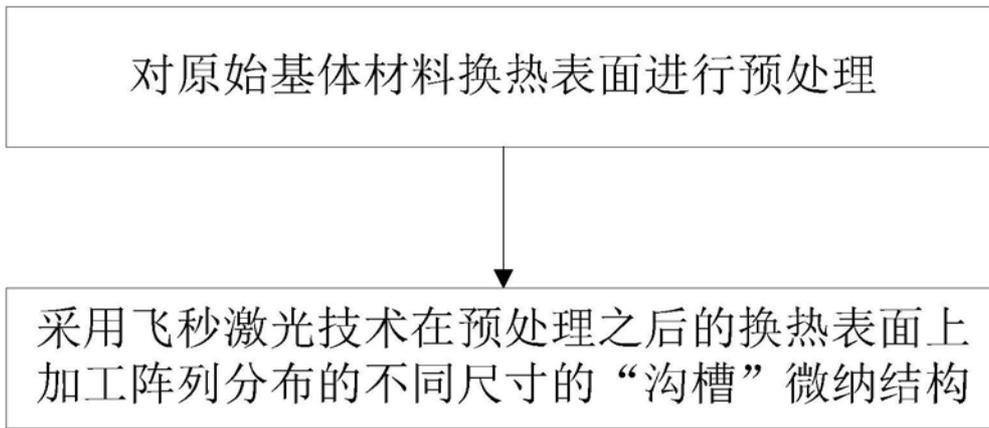


图1

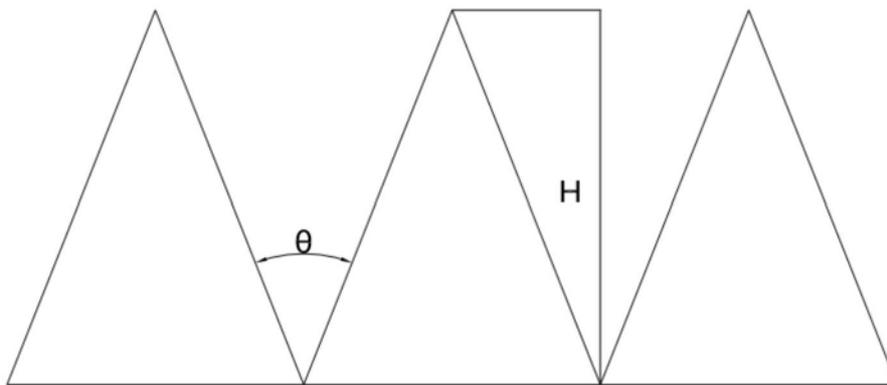


图2

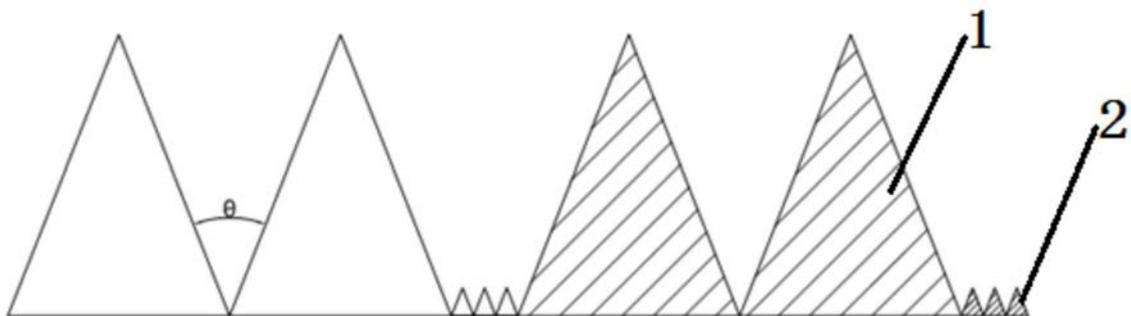


图3

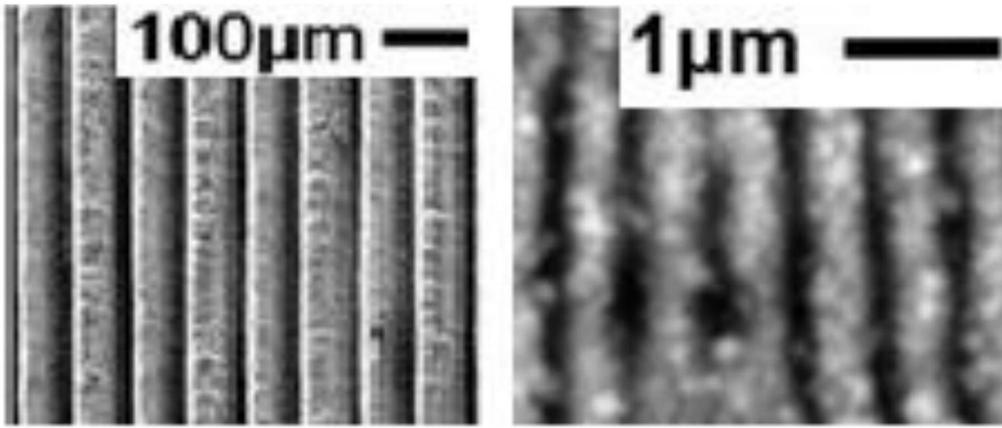


图4

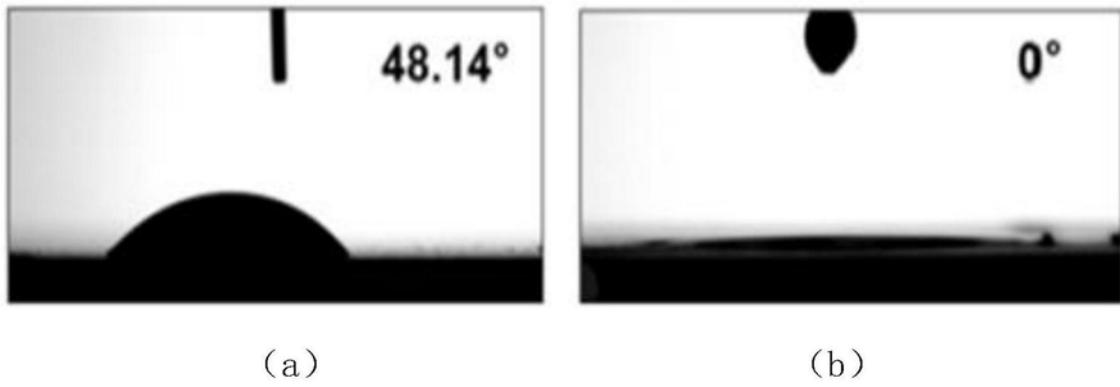


图5