



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103822519 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 28

(21) 申请号 201410050388. 6

(22) 申请日 2014. 02. 13

(71) 申请人 中国科学院工程热物理研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路 11 号

(72) 发明人 姜玉雁 王涛 唐大伟

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021
代理人 曹玲柱

(51) Int. Cl.
F28D 21/00 (2006. 01)

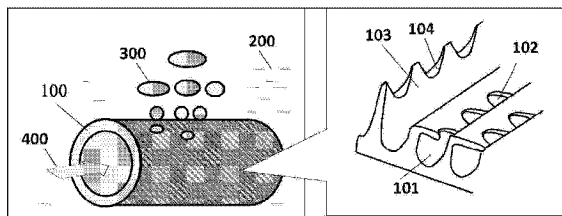
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

多孔表面沸腾换热强化装置及其制备方法

(57) 摘要

本发明提供了一种多孔表面沸腾换热强化装置及其制备方法。该多孔表面沸腾换热强化装置。该多孔表面沸腾换热强化装置包括：换热强化装置本体；多条散热沟槽，位于换热强化装置本体的外表面；若干个相互分离的微肋，位于相邻两排散热沟槽之间，由形状记忆合金材料制备，这些微肋经过训练，呈现以下两种状态：在预设温度以下，这些微肋呈倾斜状态，覆盖于散热沟槽的上部，该散热沟槽转换为多孔沟槽；在预设温度以上，这些微肋呈翘起状态，散热沟槽上部全部或部分打开，该散热沟槽转换为敞口沟槽。该多孔表面沸腾换热强化装置不但可以提高能源利用效率，还能够将发热器件的温度控制在较低的温度，提高设备的稳定性和可靠性。



1. 一种多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,包括:

换热强化装置本体;

多条散热沟槽,位于所述换热强化装置本体的外表面;以及

若干个相互分离的微肋,位于相邻两排散热沟槽之间,由形状记忆合金材料制备,这些微肋经过训练,呈现以下两种状态:

在预设温度以下,这些微肋呈倾斜状态,覆盖于所述散热沟槽的上部,该散热沟槽转换为多孔沟槽;

在预设温度以上,这些微肋呈翘起状态,所述散热沟槽上部全部或部分打开,该散热沟槽转换为敞口沟槽。

2. 根据权利要求1所述的多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,相邻两排散热沟槽之间同一排的若干个微肋呈圆弧锯齿状,所述微肋的纵剖面呈“Γ”字型或“7”字型。

3. 根据权利要求2所述的多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,所述微肋在倾斜状态下,两排微肋之间的缝隙 S 小于 $10\mu\text{m}$;在翘起状态下,两排微肋之间的缝隙介于相邻两排散热沟槽间距 D 的 $50\sim 80\%$ 之间。

4. 根据权利要求2所述的多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,相邻两排散热沟槽的间距 D 介于 $1\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$ 之间;微肋顶端距离沟槽底部的高度 H 大于 D ;微肋的厚度 W 介于 $0.25\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 之间,圆弧锯齿半径 ϕ 介于 $0.25\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 之间。

5. 根据权利要求2所述的多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,所述微肋的纵剖面呈“Y”字型;

在预设温度以下,微型肋处于大角度Y字形状态,内外出口较小;

在预设温度以上,微型肋变成小角度Y字形,出口变大。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,所述换热强化装置本体与所述微肋均由形状记忆合金材料制备。

7. 根据权利要求1至5中任一项所述的多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,所述形状记忆合金材料为以下材料中的一种:镍钛形状记忆合金、铁系形状记忆合金、铜镍系形状记忆合金、铜铝系形状记忆合金和铜锌系形状记忆合金。

8. 根据权利要求1至5中任一项所述的多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,所述换热强化装置本体为冷热流体热交换管道,其内部供热流体工质流通,其外部为冷流体工质。

9. 根据权利要求1至5中任一项所述的多孔表面沸腾换热强化装置,其特征在于,所述换热强化装置本体为板状基体;

该板状基体的上表面作为其外表面加工有所述散热沟槽和微肋,其下表面与发热器件贴合。

10. 一种制备多孔表面沸腾换热强化装置的方法,其特征在于,包括:

步骤A,在形状记忆合金材料的换热强化装置本体外表面通过切削加工,刻出散热沟槽;

步骤B,在换热强化装置本体表面通过切削加工,在与散热沟槽正交的方向切出第二类沟槽,该第二类沟槽的深度小于散热沟槽的深度,从而在换热强化装置本体表面布满锯齿状微肋;以及

步骤 C,对锯齿状微肋进行滚轧训练,使其在预设温度以下时,处于倾斜状态,覆盖于所述散热沟槽的上部,该散热沟槽转换为多孔沟槽;在预设温度以上时,微肋呈翘起状态,所述散热沟槽上部全部或部分打开,该散热沟槽转换为敞口沟槽。

多孔表面沸腾换热强化装置及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及制冷、化工、航天等行业的先进热管理技术,尤其涉及一种多孔表面沸腾换热强化装置及其制备方法。

背景技术

[0002] 在能量的利用和传递过程中,传热强化对于提高整个系统的效率、降低设备费用具有至关重要的意义,沸腾换热作为代表性的高效换热技术,在制冷、化工、能源动力行业的换热器,航空航天及电子设备的冷却中具有非常广泛的应用。自 20 世纪中叶以来,人们研发了各种强化沸腾传热的技术,而多孔表面微细结构被认为是最有效的沸腾换热强化技术,成为提高换热设备效率促进工业企业节能减排的关键手段之一。

[0003] 目前商用化的典型多孔表面强化换热结构如图 1 所示,多孔结构可用多种方法制造,如机加工多孔表面、烧结多孔表面、喷涂多孔表面等等。表面多孔结构可以提供人工汽化核心,并大幅度提高传热面积,从而成倍地提高沸腾换热系数。以图 2A 中的 Thermoexcel-E 多孔表面为例,多孔层形成许多微细通道,通道与外表面通过很多小孔连通,微通道和小孔的尺寸约 0.5mm 左右。当壁面与液体的温差(也叫过热度)增加到一定程度后,通道内残留的汽核首先产生气泡,气泡在通道内长大时迅速向充液区流动并排开液体,形成相互连通的长汽柱,蒸汽和壁面之间形成一层液膜。长大后的气泡从一些气孔排出,伴随气泡的排出,通道内压力降低,液体从其它小孔被吸入,以补充蒸发掉的液膜。由于液膜蒸发具有高性能的吸热能力,正常的吸液-蒸发(suction-evaporation)换热模式具有比普通表面高出 3-10 倍的换热系数。

[0004] 但是正常的吸液-蒸发换热模式与加热条件有关,热流密度较小时处于泛液(flooding)模式,这时,只有少数孤立的汽泡产生,蒸汽压力不足以排开通道内的液体,大部分通道和气孔被液体充满,传热能力较弱。而当热流密度超过一定的范围时,发泡点过多,通道内的蒸汽压力过大,外界液体无法通过不发泡小孔注入通道,内壁液膜蒸干,这时的传热处于蒸干(dryout)模式。蒸干模式的出现对多孔表面的换热强化效果不利,通常会使得换热器的换热系数明显降低,壁面过热度迅速升高,在航空航天和电子器件的冷却应用中甚至导致电子器件烧毁。

[0005] 图 2B 比较了几种典型多孔表面的沸腾换热性能,可以看出,通道与外表面靠小孔或极细缝隙连通的微结构,在小过热度下具有更好的强化换热能力,而在大过热度下强化效果迅速下降。这是因为,内外不畅通的微结构有助于产生和保留汽核,利于汽泡成长,而在大温差下,由于液体的内外流动阻力大,容易发生蒸干。反之,以翅片式表面(pin fin)和 GEWA-TW 为代表的大开口式微结构,在小过热度下强化效果不明显,而适应大过热度的能力却很强。

[0006] 现有的沸腾换热强化多孔表面主要采用普通金属材料制造(如铜、铝),微细结构的尺寸是按照预先设定的热负荷、使用环境等因素进行优化设计决定的,一旦设计完成,换热表面的微结构就是确定的尺寸和形状。这种多孔表面只在很窄的热流负荷或温差范围内具有较高的强化效果。小热流负荷下强化效果好的多孔表面在大热流密度下易于发生蒸

干,导致传热效果恶化;大热流负荷下强化效果较好的多孔表面,在小热流负荷下不能形成足够的汽化核心,强化效果较弱。总之,现有多孔表面由于结构不可变无法兼顾大热流和小热流下的沸腾强化效果,工作范围窄,影响换热设备的可靠性和稳定性。

发明内容

[0007] (一)要解决的技术问题

[0008] 鉴于上述技术问题,本发明提供了一种采用形状记忆合金材料的多孔表面沸腾换热强化装置及其制备方法,以解决原有多孔表面一旦加工完成,形状就固定不变,表面微结构不能根据热流负荷的大小进行调整的技术缺陷。

[0009] (二)技术方案

[0010] 根据本发明的一个方面,提供了一种多孔表面沸腾换热强化装置。该多孔表面沸腾换热强化装置包括:换热强化装置本体;多条散热沟槽,位于换热强化装置本体的外表面;若干个相互分离的微肋,位于相邻两排散热沟槽之间,由形状记忆合金材料制备,该些微肋经过训练,呈现以下两种状态:在预设温度以下,该些微肋呈倾斜状态,覆盖于散热沟槽的上部,该散热沟槽转换为多孔沟槽;在预设温度以上,该些微肋呈翘起状态,散热沟槽上部全部或部分打开,该散热沟槽转换为敞口沟槽。

[0011] 优选地,本发明多孔表面沸腾换热强化装置中,相邻两排散热沟槽之间同一排的若干个微肋呈圆弧锯齿状,微肋的纵剖面呈“Γ”字型或“7”字型。

[0012] 优选地,本发明多孔表面沸腾换热强化装置中,微肋在倾斜状态下,两排微肋之间的缝隙小于 $10\mu\text{m}$;在翘起状态下,两排微肋之间的缝隙介于相邻两排散热沟槽间距 D 的 $50\sim 80\%$ 之间。

[0013] 优选地,本发明多孔表面沸腾换热强化装置中,相邻两排散热沟槽的间距 D 介于 $1\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$ 之间;微肋顶端距离沟槽底部的高度 H 大于 D ;微肋的厚度 W 介于 $0.25\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 之间,圆弧锯齿半径 $\phi 0.25\text{mm}\sim \phi 0.5\text{mm}$ 。

[0014] 优选地,本发明多孔表面沸腾换热强化装置中,微肋的纵剖面呈“Y”字型;在预设温度以下,微型肋处于大角度Y字形状态,内外出口较小;在预设温度以上,微型肋变成小角度Y字形,出口变大。

[0015] 优选地,本发明多孔表面沸腾换热强化装置中,换热强化装置本体与微肋均由形状记忆合金材料制备。

[0016] 优选地,本发明多孔表面沸腾换热强化装置中,形状记忆合金材料为以下材料中的一种:镍钛形状记忆合金、铁系形状记忆合金、铜镍系形状记忆合金、铜铝系形状记忆合金和铜锌系形状记忆合金。

[0017] 优选地,本发明多孔表面沸腾换热强化装置中,换热强化装置本体为冷热流体热交换管道,其内部供热流体工质流通,其外部为冷流体工质。

[0018] 优选地,本发明多孔表面沸腾换热强化装置中,换热强化装置本体为板状基体;该板状基体的上表面作为其外表面加工有散热沟槽和微肋,其下表面与发热器件贴合。

[0019] 根据本发明的另一个方面,还提供了一种制备多孔表面沸腾换热强化装置的方法,该方法包括:步骤A,在形状记忆合金材料的换热强化装置本体外表面通过切削加工,刻出散热沟槽;步骤B,在换热强化装置本体表面通过切削加工,在与散热沟槽正交的方向

切出第二类沟槽,该第二类沟槽的深度小于散热沟槽的深度,从而在换热强化装置本体表面布满锯齿状微肋;步骤C,对锯齿状微肋进行滚轧训练,使其在预设温度以下时,处于倾斜状态,覆盖于散热沟槽的上部,该散热沟槽转换为多孔沟槽;在预设温度以上时,微肋呈翘起状态,散热沟槽上部全部或部分打开,该散热沟槽转换为敞口沟槽。

[0020] (三)有益效果

[0021] 本发明多孔表面沸腾换热强化装置采用形状记忆合金材料代替目前普遍使用的铜或铝等材料,在形状记忆合金材料的表面加工毫米量级的多孔结构,底层的微细通道经由微缝隙或微孔与外表面联通,经过对形状记忆合金的训练,使内外连通通道部分能够在某一温度下发生形变。这种根据热流密度和温度进行形状调整的多孔表面微细结构更利于工质的取热,提高了多孔表面的沸腾换热能力,减小传热的过热度,不但可以提高能源利用效率,还能够将发热器件的温度控制在较低的温度,提高设备的稳定性和可靠性。

附图说明

[0022] 图1为现有技术多孔表面强化换热结构的示意图;

[0023] 图2A为现有技术 Thermoexcel-E 多孔表面在不同沸腾换热模式下散热的示意图;

[0024] 图2B为现有技术典型多孔表面沸腾换热性能的曲线图;

[0025] 图3为根据本发明实施例多孔表面沸腾换热强化装置的结构示意图;

[0026] 图4A和图4B为图3所示多孔表面沸腾换热强化装置中微肋处于倾斜状态和翘起状态的示意图;

[0027] 图5A和图5B为根据本发明另一实施例多孔表面沸腾换热强化装置中微肋处于倾斜状态和翘起状态的示意图;

[0028] 图6为制备图3所示多孔表面沸腾换热强化装置的流程图。

[0029] 【主要元件】

[0030] 100- 换热强化装置本体 101- 散热沟槽

[0031] 102- 多孔沟槽; 103- 微肋;

[0032] 104- 浅沟槽; 200- 冷流体工质;

[0033] 300- 气泡; 400- 热流体工质。

具体实施方式

[0034] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明进一步详细说明。需要说明的是,在附图或说明书描述中,相似或相同的部分都使用相同的图号。附图中未绘示或描述的实现方式,为所属技术领域普通技术人员所知的形式。另外,虽然本文可提供包含特定值的参数的示范,但应了解,参数无需确切等于相应的值,而是可在可接受的误差容限或设计约束内近似于相应的值。实施例中提到的方向用语,例如“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等,仅是参考附图的方向。因此,使用的方向用语是用来说明并非用来限制本发明的保护范围。

[0035] 本发明将采用形状记忆合金材料加工形状可变的多孔表面,使微结构可以随着加热条件的变化而自适应调节,在热流负荷较小时 ($10^4 \sim 10^5 \text{W/m}^2$) 的情况下,内外流动通道

较窄小,有利于微通道内部形成稳定的汽核,从而在 $3 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 的较低过热度下促进汽泡产生和微液膜蒸发,提高换热系数。而当热流负荷很大时($10^5 \sim 10^6\text{W}/\text{m}^2$),微结构的变形使通道变大变宽,改善了微通道内外的汽液流动和交换,从而避免沸腾换热性能的恶化,防止发生大的温度波动和设备过热烧坏。

[0036] 在本发明的一个示例性实施例中,提供了一种多孔表面沸腾换热强化装置。图3为根据本发明实施例多孔表面沸腾换热强化装置的结构示意图。请参照图3,本实施例多孔表面沸腾换热强化装置包括:换热强化装置本体100;多条散热沟槽101,位于换热强化装置本体100的外表面;若干个相互分离的微肋103,位于相邻两排散热沟槽之间,至少该若干个微肋由形状记忆合金材料经过训练制备:在预设温度以下,该微肋呈倾斜状态,覆盖于散热沟槽的上部,该散热沟槽转换为多孔沟槽102,如图4A所示;在预设温度以上,该微肋呈翘起状态,散热沟槽上部全部或部分打开,该散热沟槽转换为敞口沟槽,如图4B所示。

[0037] 以下对本实施例多孔表面沸腾换热强化装置的各个组成部分进行详细说明。

[0038] 请参照图3,本实施例中,换热强化装置本体100为圆管状的冷热流体热交换管道,其内部供热流体工质400流通,其外部为冷流体工质200,但本发明并不以圆管状冷热流体热交换管道为限。热流体管道的横截面也可是长方形、梯形等形状。

[0039] 此外,该换热强化装置本体还可以为板状基体,该板状基体的上表面加工上述的散热沟槽和微肋,该板状基体的下表面作为传热表面,通过导热硅脂粘结、或焊接的方式直接与发热器件结合,形成各种CPU等大功率电子器件的热沉式传热装置。

[0040] 冷流体工质200的主要作用是通过工质的沸腾和液膜蒸发等作用吸收高温流体工质400或发热器件热量,达到散热效果,根据此要求,冷流体工质一般选用具有较高汽化潜热、对环境无污染、成本较低的物质,如水、乙醇或氟利昂等。

[0041] 热流体工质400的主要作用是携带热源的热量,流经多孔表面管内并将热量传给多孔表面。它可以是水、氟利昂等液态或两相混合工质,也可以是气体工质。

[0042] 本实施例中,整个热流体管道均由镍钛形状记忆合金制备,但本发明并不以此为限,其他的形状记忆合金材料,例如:铁系形状记忆合金、铜镍系形状记忆合金、铜铝系形状记忆合金、铜锌系形状记忆合金等等也可以应用到本发明中。需要说明的是,对于上述形状记忆合金的每一种,合金中相应组分和含量均为已知的。由于本发明只是涉及利用形状记忆合金来加工,而未涉及形状记忆合金材料的任何改变,此处不再对各种形状记忆合金材料的成分进行详细说明(详细请参考http://baike.baidu.com/link?url=pRw7MEJKRj_qfBY1Y7hp_p_RkEV-TVvBTs_ku3k7KMC-SVmCPCk_QWU8EvQ_3E1R9)。

[0043] 请参照图4A和图4B,本实施例中,微肋的纵剖面呈“ Γ ”字型。相邻两排散热沟槽之间的若干个微肋103呈锯齿状。两排散热沟槽的间距D(包含微肋的厚度)在 $1\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$ 之间。微肋顶端距离沟槽底部的高度H大于D,介于 $1\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 之间,微肋的厚度W介于 $0.25\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ 之间,锯齿圆弧半径 ϕ 介于 $0.25 \sim 0.5\text{mm}$ 之间。微肋在倾斜状态下,两排微肋之间的缝隙S小于 $10\mu\text{m}$ 。微肋在翘起状态下,两排微肋之间的缝隙S介于间距D的 $50 \sim 80\%$ 之间。

[0044] 对于图4A和图4B所示的微肋,其是由形状记忆合金经碾压训练制备而成的。对形状记忆合金进行碾压训练的方法对本领域技术人员而言是公知的,此处不再赘述。此外,形状记忆合金的变形温度可以根据具体的发热器件的热流密度和温度控制要求进行选择,

可以通过改变形状合金的材料配比实现,此处也不再详细说明。

[0045] 本实施例中,微肋的纵剖面“ Γ ”字型,但本发明并不以此为限,微肋的纵剖面还可以为“7”字型或其他形状。在本发明的另一个实施例中,微肋的纵剖面呈“Y”字型。在预设温度以下,即低热流密度条件下,微型肋处于大角度Y字形状态,内外出口较小,如图5A所示;在预设温度以上,即热流密度较高时,微型肋变成小角度Y字形,出口变大,如图5B所示。

[0046] 以下介绍利用形状记忆合金材料制备图4A和图4B所示多孔表面沸腾换热强化装置的方法。图6为制备图3所示多孔表面沸腾换热强化装置的流程图。请参照图6,该方法包括:

[0047] 步骤A,在形状记忆合金材料的换热强化装置本体外表面通过切削加工,在表面刻出较深的沟槽101;

[0048] 步骤B,在换热强化装置本体表面通过切削加工,在沟槽101正交的方向切出较浅的沟槽104,使在换热强化装置本体表面布满锯齿状微肋103;

[0049] 步骤C,对微肋103进行滚轧训练,使其在 $80 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 以下的温度范围内处于如图4A所示的倾斜状态,当记忆合金处在 120°C 以上的温度时,微肋翘起,处于图4B所示的形状。

[0050] 以下本实施例多孔表面沸腾换热强化装置的工作方法。请参照图3、图4A和图4B,该工作方法包括:

[0051] 步骤S101,将具有这种形状记忆合金多孔微结构的传热管浸入冷流体内,管内有热流体工质400流动,热量由热流体400通过多孔表面100传给冷流体内,多孔表面在一定的过热度下进入沸腾换热状态;

[0052] 步骤S102,当热流负荷较小时,表面微结构处于图4A的状态,封闭的微通道101内比较容易形成汽化核心,促进沸腾气泡300的产生,使多孔表面快速进入正常的传热状态;

[0053] 步骤S103,随着热流负荷的增大,壁面温度升高到 120°C 以上时,发生图4B所示的变形,微肋之间的缝隙变大,以改善微通道和液池之间的汽液流动条件,避免微通道内液膜的蒸干,使多孔表面继续保持良好的沸腾换热性能。

[0054] 至此,已经结合附图对本发明两实施例进行了详细描述。依据以上描述,本领域技术人员应当对本发明多孔表面沸腾换热强化装置有了清楚的认识。

[0055] 此外,上述对各元件和方法的定义并不仅限于实施例中提到的各种具体结构、形状或方式,本领域普通技术人员可对其进行简单地更改或替换。

[0056] 综上所述,本发明根据形状记忆合金加热到一定的温度时,可以改变形状,当温度下降时,又恢复原有形状的记忆效应,提供了一种多孔表面沸腾换热强化装置,实现微细结构的形状或尺寸能够在不同的热流密度条件下发生形变,从而更好地适应高换热系数的要求,由此提高沸腾换热传热器件的效率、可靠性和稳定性,在制冷、化工、能源动力行业的换热器,航空航天及大功率电子设备的冷却技术中具有广阔的应用前景。

[0057] 以上所述的具体实施例,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例而已,并不用于限制本发明,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。

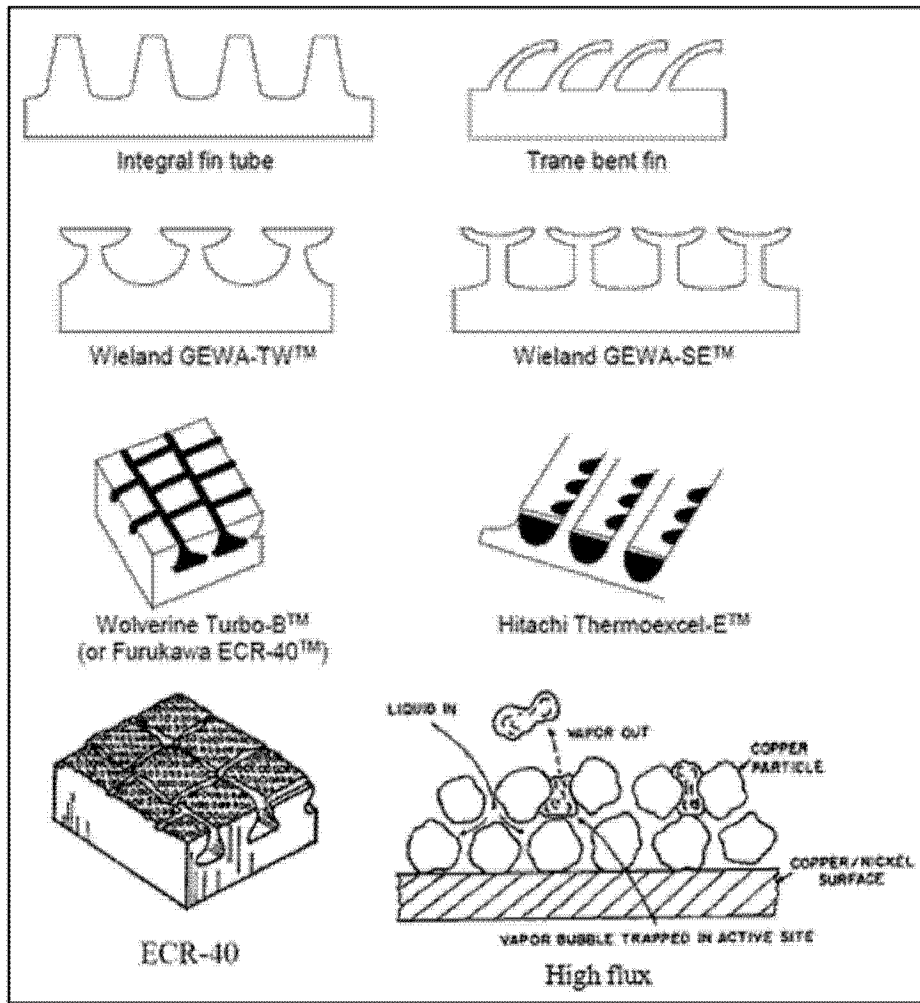


图 1

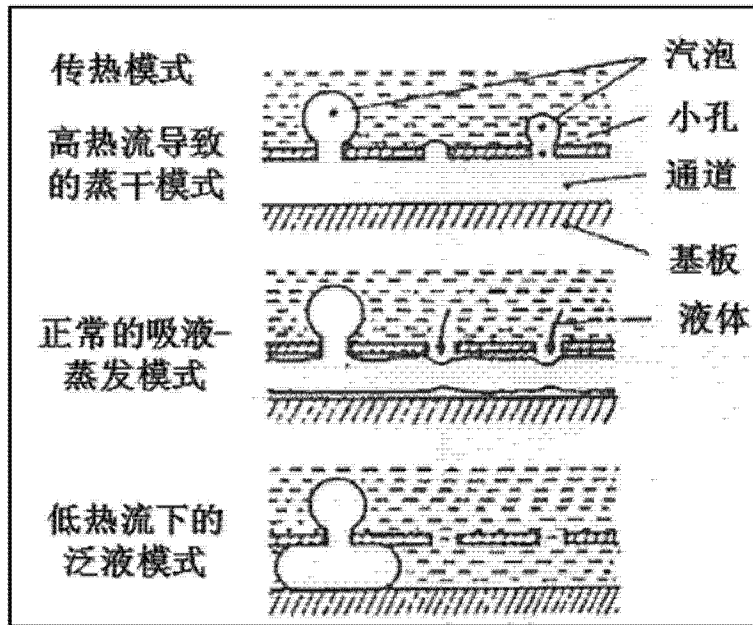


图 2A

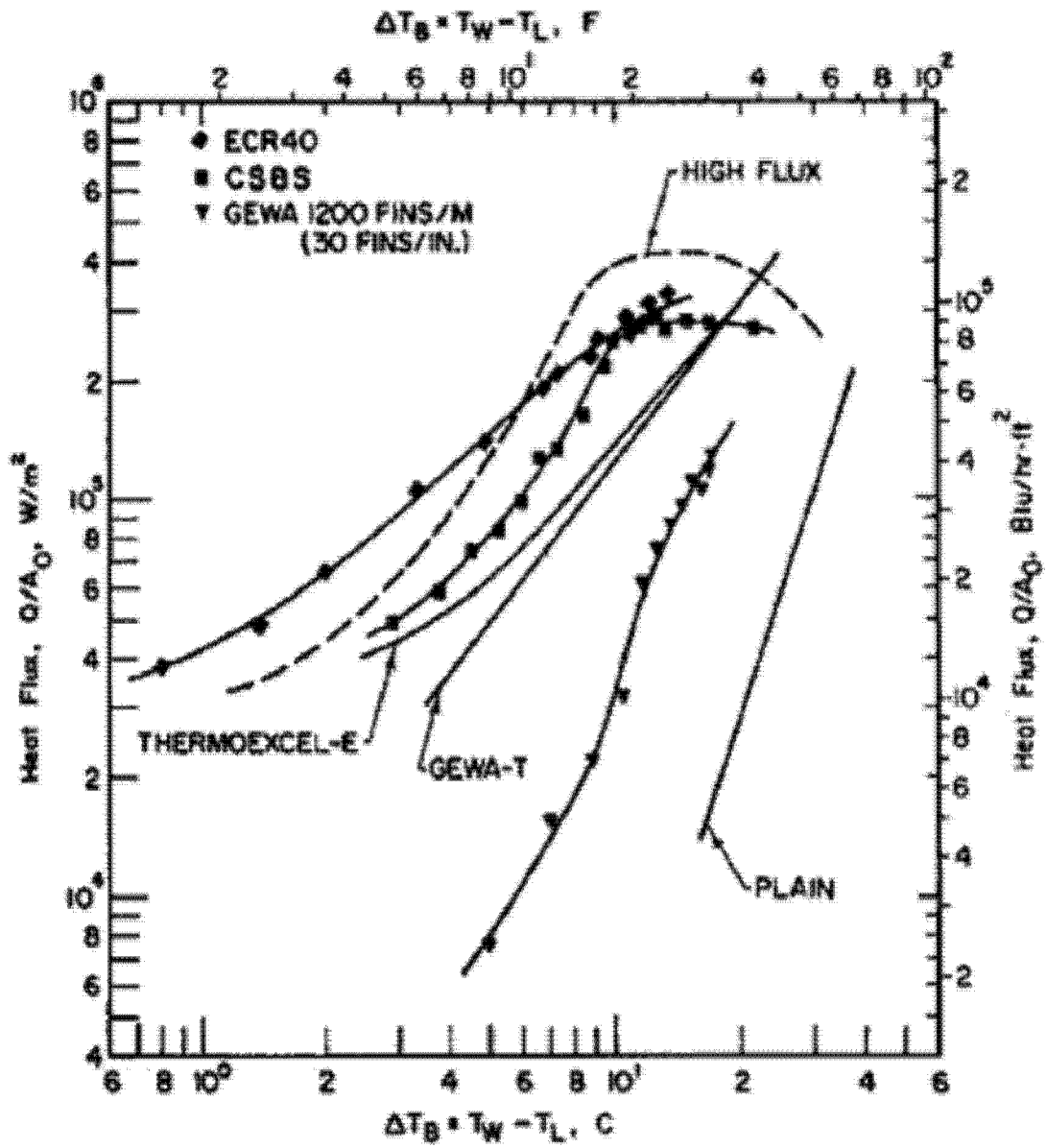


图 2B

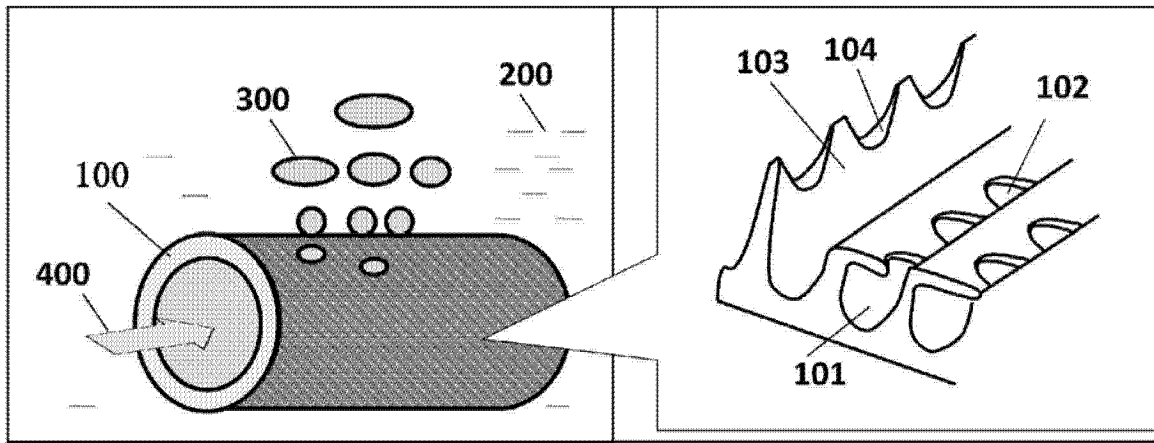


图 3

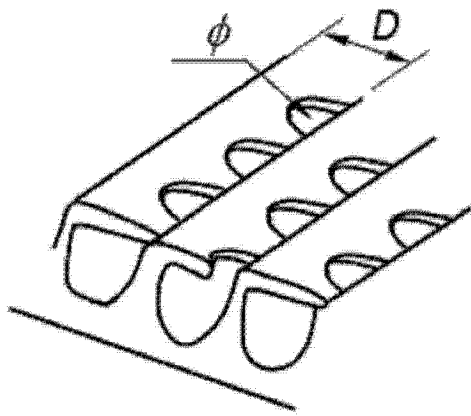


图 4A

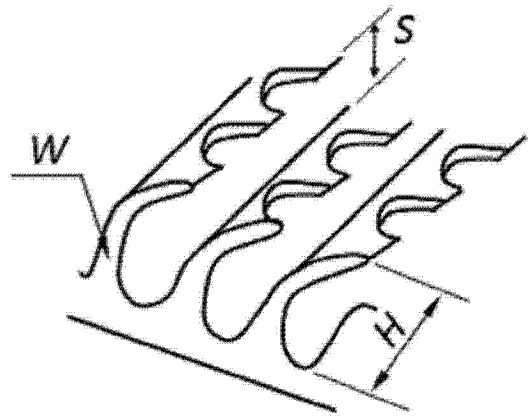


图 4B

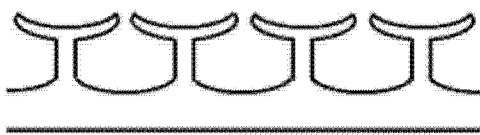


图 5A



图 5B

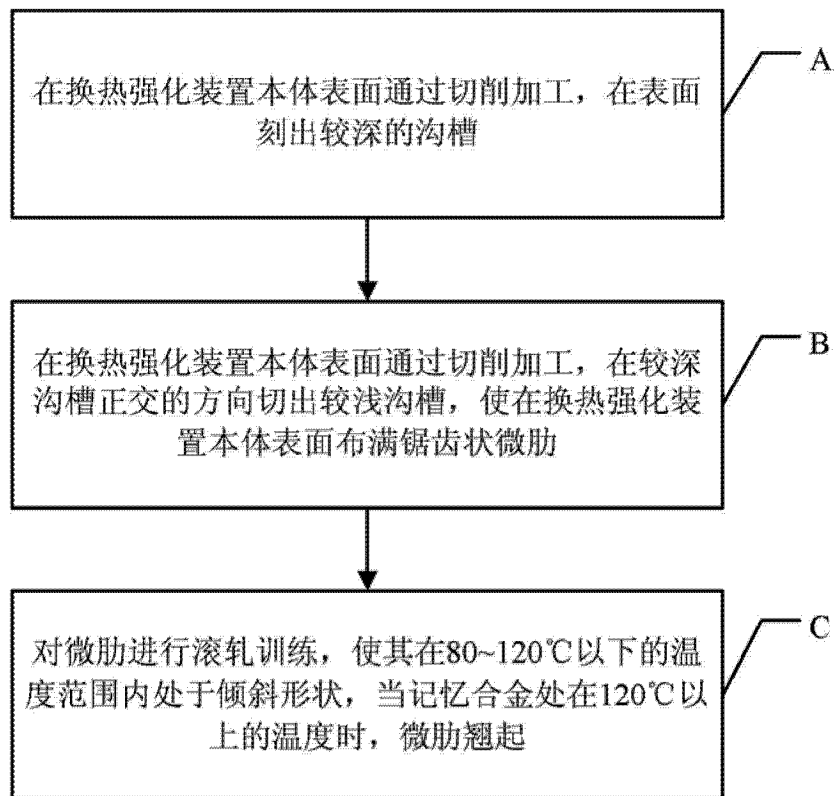


图 6