



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117102000 B

(45) 授权公告日 2025. 05. 30

(21) 申请号 202310877857.0

(22) 申请日 2023.07.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 117102000 A

(43) 申请公布日 2023.11.24

(73) 专利权人 江苏科技大学

地址 212003 江苏省镇江市京口区梦溪路2号

(72) 发明人 冯晓明 王治中 田桂中 褚加辉
周雯 孙鹏飞 李凤芹 李燕

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

专利代理师 丁静静 金诗琦

(51) Int. Cl.

B05D 5/00 (2006.01)

B08B 3/12 (2006.01)

B08B 3/08 (2006.01)

B23K 26/352 (2014.01)

B05D 7/14 (2006.01)

B05D 3/04 (2006.01)

B05D 3/00 (2006.01)

B05D 3/12 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108393588 A, 2018.08.14

审查员 郭志强

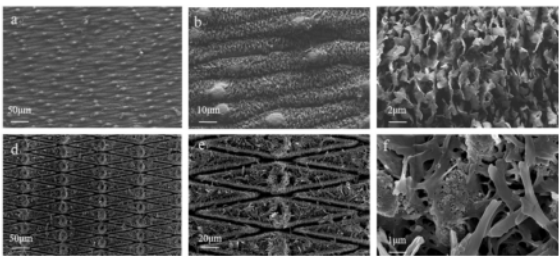
权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种金属基防冰减阻超疏水表面及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,包括以下步骤:(1)对金属表面进行打磨抛光处理,然后放入无水乙醇中进行超声波清洗,烘干;(2)在步骤(1)所得物表面进行纳秒激光加工处理,制备中心有圆形凸起的菱形阵列,加工完成后,在无水乙醇中进行超声波清洗,用去离子水冲洗后自然晾干;(3)然后将步骤(2)所得物放入低表面能溶液,真空干燥,随后在阴凉处静置,取出用无水乙醇清洗,风干。本发明还公开了该方法所得金属基防冰减阻超疏水表面。本发明超疏水表面具备减阻与防冰性能,可解决水下减阻和水上防冰这两个极地船舶表面工程中的重点难题,在极寒条件下延长4倍结冰时间,并且达到39%的减阻率。



1. 一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 对金属表面进行打磨抛光处理,然后放入无水乙醇中进行超声波清洗,烘干;

(2) 在步骤(1)所得物表面进行纳秒激光加工处理,制备中心有圆形凸起的菱形阵列,加工完成后,在无水乙醇中进行超声波清洗,用去离子水冲洗后自然晾干;

(3) 然后将步骤(2)所得物放入低表面能溶液,真空干燥,随后在阴凉处静置,取出用无水乙醇清洗,风干,得到金属基防冰减阻超疏水表面;

所述低表面能溶液为十四酸溶液、正十二硫醇溶液或硬脂酸溶液,浓度为0.07~0.2mol/L;

所述步骤(2)中,菱形阵列包括若干菱形结构,所述菱形结构之间相距8~12 μm ,长对角线长度为100~150 μm ,菱形阵列中心横向间距180~200 μm ,纵向间距35~40 μm ;所述圆形凸起的直径为20~30 μm 。

2. 根据权利要求1所述的一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,其特征在于:所述步骤(1)中,金属为黄铜、铝合金、不锈钢中的任意一种。

3. 根据权利要求1所述的一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,其特征在于:所述步骤(1)中,超声波清洗的温度为20~60 $^{\circ}\text{C}$,超声频率20~100KHz,输入功率为50~200W,清洗5~10min。

4. 根据权利要求1所述的一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,其特征在于:所述步骤(1)中,烘干在40~100 $^{\circ}\text{C}$ 下恒温干燥10~30min。

5. 根据权利要求1所述的一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,其特征在于:所述步骤(2)中,纳秒激光加工处理的扫描速度为100~500mm/s、激光频率为50~200kHz、脉冲宽度为5~20 μs 、电流强度为1~3A、加工层数为8~10层。

6. 根据权利要求1所述的一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,其特征在于:所述步骤(3)中,真空干燥的压力为0.05~0.10MPa,时间为10~20min,静置时间为7~9h。

一种金属基防冰减阻超疏水表面及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于超疏水表面及制法,具体为一种金属基防冰减阻超疏水表面及其制备方法。

背景技术

[0002] 在经济全球化的过程中,航运对全球贸易至关重要,因为它通常是最为经济环保的运输方式之一。随着全球变暖,北极冰层覆盖面积日趋减少,北极航道的开辟给船舶运输带来了巨大的机遇。然而机遇总是伴随着挑战,极地船舶在航行过程中需要面临三类经典问题——水上防冰、水面破冰以及水下减阻。其中水面破冰是由船体的结构强度所决定的,而水上防冰以及水下减阻都与表面结构及其性能相关。

[0003] 目前,关于船体结构的破冰研究已经较为成熟,而对于船体表面的水下减阻与水上防冰还缺乏相关研究。阻力的存在是船舶航行中不可忽视的问题,这些阻力消耗了相当大的能量和资源。其中摩擦阻力是阻力的主要组成部分之一,约占总阻力的60-80%。此外,严寒所引起的船舶结冰不仅会对船体设备产生巨大威胁,对于船员的甲板作业都将产生风险。裸露的甲板设备一旦结冰就极易导致接口处出现裂纹从而导致安全隐患。雷达天线等通讯设备的冻结也会严重影响对外通讯功能,导致航运中产生诸多困难。

[0004] 因此,解决水下减阻和水上防冰这两个问题成为了极地船舶表面工程中的重点难题。而超疏水表面不仅在减阻领域取得重大进展,还在防冰领域中广泛应用,这为应对极地船舶的水下减阻以及水上防冰需求都提供了重要的思路。

[0005] 申请号为CN201110407972.9的专利公开了一种仿生微纳复合结构防覆冰表面及其制备方法。使用机械加工方法和激光刻蚀法在表面制造出微米结构,再通过水热合成法在表面种植纳米结构再使用含氟化合物对表面进行真空蒸镀法的修饰。该方法不仅过程繁琐,制造成本高昂而且使用含氟化合物对环境具有很大的污染。申请号CN201110396837.9的专利公开了一种基于无电金属沉积技术的减阻超疏水涂层及其制备方法,通过使用金属沉积技术和气相沉积法再金属基材上制备出微纳米结构,随后使用低表面能物质进行修饰,该表面具有20%的减阻效果。这种超疏水表面减阻效果有限,而且并未涉及寒冷条件下表面的减阻情况,使用环境较为局限,还是难以应用于复杂环境中。

[0006] 总的来说,目前缺乏同时满足船舶在水下部分的减阻需求和船体水上部分的防冰需求。

发明内容

[0007] 发明目的:为了克服现有技术中存在的不足,本发明目的是提供一种无含氟化合物、绿色环保的防冰减阻超疏水表面的制备方法,本发明的另一目的是提供一种适用于极地船舶、解决极端寒冷条件下结冰与航行阻力问题的防冰减阻超疏水表面。

[0008] 技术方案:本发明所述的一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,包括以下步骤:

- [0009] (1) 对金属表面进行打磨抛光处理,然后放入无水乙醇中进行超声波清洗,烘干;
- [0010] (2) 在步骤(1)所得物表面进行纳秒激光加工处理,制备中心有圆形凸起的菱形阵列,加工完成后,在无水乙醇中进行超声波清洗,用去离子水冲洗后自然晾干;
- [0011] (3) 然后将步骤(2)所得物放入低表面能溶液,真空干燥,随后在阴凉处静置,取出用无水乙醇清洗,风干,得到金属基防冰减阻超疏水表面。
- [0012] 进一步地,步骤(1)中,金属为黄铜、铝合金、不锈钢中的任意一种,优选为黄铜,黄铜表面与低表面能物质结合效果更优,低表面能处理的时间更短。超声波清洗的温度为20~60℃,超声频率20~100KHz,输入功率为50~200W,清洗5~10min。烘干在40~100℃下恒温干燥10~30min。打磨抛光处理通过研磨机进行,采用1000cw的sic砂纸对金属表面进行磨砂处理。
- [0013] 进一步地,步骤(2)中,菱形阵列包括若干菱形结构,菱形结构之间相距8~12μm,长对角线长度为100~150μm,横向间距180~200μm,纵向间距35~40μm。圆形凸起的直径为20~30μm。纳秒激光加工处理的扫描速度为100~500mm/s、激光频率为20~200kHz、脉冲宽度为5~20μs、电流强度为1~3A、加工层数为8~10层。圆形凸起的作用是提供一种层级复合结构,没有的话就是单一的菱形结构,会导致其表面粗糙度与疏水性下降。
- [0014] 进一步地,步骤(3)中,低表面能溶液为十四酸溶液、正十二硫醇溶液或硬脂酸溶液,浓度为0.07~0.2mol/L,优选为十四酸溶液,处理时间更短,效果更佳。真空干燥的压力为0.05~0.10MPa,时间为10~20min,静置时间为7~9h。
- [0015] 上述金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法所得金属基防冰减阻超疏水表面,为鸢尾花叶片状。
- [0016] 本发明受到一种耐寒鸢尾科植物的启发,该鸢尾科植物栖息于水边湿地附近,冬季叶片呈现翠绿并具有优异的耐寒特性。鸢尾科植物叶片在不同时期表现出不同的疏水特性。在幼苗期,叶子具有优异的超疏水性。与荷叶相比,鸢尾科植物对寒冷环境的耐受性更强。水边湿地处的湿度极高,水蒸气其易附着在叶片表面,然而当水蒸气或者水雾凝结在叶片表面时,叶片的超疏水性使得液滴会迅速滚落。通过观察其叶片的显微镜图像发现,叶片的结构是类菱形状复合结构,类菱形结构的最长对角线为100-150μm,凸包结构位于类菱形结构中央处。通过使用更高倍率的镜片观察可以发现其复合结构是由片甲状结构构成。这种特殊的复合结构以及片甲状结构能够显著减少液滴与叶片表面的接触面积,降低液滴从表面滚落的阻力并且通过抑制表面的冰晶生长获得防冰效果。依据这种表面微结构,本发明成功制备了同时具有防冰与减阻性能的仿鸢尾科超疏水表面。
- [0017] 制备原理:通过对鸢尾科植物的研究与模拟,在金属基板上仿制鸢尾科的阵列复合微米级结构。而金属表面在被激光加工灼烧处理后,基板的表面粗糙度显著增加,使金属表面变为超亲水状态,而经过低表面能溶剂的修饰后,成功的在金属基板上模拟鸢尾科植物表面的片甲状纳米结构。在仿鸢尾科的微米级与纳米级粗糙结构的共同作用下使得光滑的金属表面变为粗糙状态。
- [0018] 由于低表面能溶剂修饰金属表面后会使得金属表面疏水化,使得金属表面变为疏水状态。根据Wenzel润湿状态模型,疏水表面的表面粗糙度的增加会导致表面更加疏水,而激光蚀刻与低表面能修饰后产生的仿生微纳米结构赋予金属表面极高的粗糙度。因此在仿鸢尾科植物阵列复合粗糙结构与低表面能物质疏水化处理的共同作用下赋予了金属表面

优异的超疏水性能。

[0019] 有益效果:本发明和现有技术相比,具有如下显著性特点:

[0020] 1、超疏水表面同时具备减阻与防冰两种性能,因此可同时解决水下减阻和水上防冰这两个极地船舶表面工程中的重点难题,所制备的仿鸢尾科结构的超疏水表面可在极寒条件下延长4倍的结冰时间,并且可以达到39%的减阻率;

[0021] 2、超疏水表面在超低温的环境下,依然保持着 5° 的滚动角,能够使得液体保持流动状态而不发生冻结,解决了极地船舶在海雾环境下以及海水飞溅后极易发生结冰的问题。

[0022] 3、本发明的制备方法相较于其他方法,大幅简化了处理工艺,为超疏水性能在工业上的大批量运用提供了可能性,同时也保证了无含氟化合物腐蚀来带的环境污染。

附图说明

[0023] 图1是本发明菱形结构的结构示意图;

[0024] 图2是本发明菱形结构的3D高度示意图;

[0025] 图3是扫描电镜图,其中,a、b、c分别为 $50\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 标尺下鸢尾科植物的表面形貌图,d、e、f分别为 $50\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 标尺下本发明实施例2所得防冰超疏水表面形貌图;

[0026] 图4是本发明所得防冰减阻超疏水表面在空气中的静态水接触角;

[0027] 图5是本发明所得防冰减阻超疏水表面在空气中的动态拒水性;

[0028] 图6是本发明所得防冰减阻超疏水表面与光滑金属基板表面上蒸馏水液滴的冻结时间的图像;

[0029] 图7是本发明所得防冰减阻超疏水表面与光滑金属基板表面上模拟海水液滴的冻结时间的图像;

[0030] 图8是本发明所得防冰减阻超疏水表面与光滑金属基板在流变仪测试中所显示减阻率的曲线;

[0031] 图9是本发明所得防冰减阻超疏水表面在 -10°C 的环境中液滴滚落的图像。

具体实施方式

[0032] 为了证明所制备的样件成功的仿制了鸢尾科植物的阵列复合结构,通过显微镜观察仿生制备样件的表面以及鸢尾科植物的表面,对比两者的表面形貌,验证通过仿生制备出的表面与鸢尾科植物表面具有类似微米与纳米级结构,从而验证制备出的仿生表面成功的模拟了鸢尾科植物的独特结构。进行实施例1。

[0033] 为了验证制备出的仿鸢尾科阵列复合结构表面是否具有优异的超疏水性能、防冰性能与减阻性能,进行弹跳实验、液滴冻结实验与液滴流动性能测试。通过对比液滴弹跳高度与液滴在表面的接触时间来评价动态超疏水性能;通过对比液滴在仿生表面的冻结时间来评估所制备仿生表面的防冰性能;通过流变仪测量滑移长度来评判所制备仿生表面的减阻性能。进行实施例2。

[0034] 为了验证制备出的仿鸢尾科阵列复合结构表面可在超低温的环境下,依然保持着超低的滚动角,能够使得液体保持流动状态而不发生冻结。进行液滴低温环境下滚动角测试实验,通过观察液滴在低温环境下的滚动角来验证所制备表面的低温超疏水性能。进行

实施例2。

[0035] 为了验证制备出的仿鸢尾科阵列复合结构表面可在不同金属基底上制备,在铝与不锈钢表面制备仿生表面,通过测量表面的疏水性能从而验证本实施例可在不同金属基底上制备超疏水表面。进行实施案例3。

[0036] 实施例1

[0037] 一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,包括以下步骤:

[0038] (1)以黄铜为基材(20mm×20mm×2mm),首先进行预处理:采用1000目的sic砂纸对黄铜表面进行打磨去除氧化铜,然后依次使用无水乙醇和去离子水对处理后的黄铜表面进行30℃超声波清洗5min,超声频率40KHz,输入功率为100W,去除表面残留物,最后放入70℃的恒温干燥箱内10min进行干燥。

[0039] (2)采用激光加工在处理后的黄铜样件表面制备出菱形阵列结构,所使用的激光参数为:加工尺寸为20*20mm的方形,脉冲宽度为5μs,频率100kHz,扫描速度为400mm/s,电流为1A,加工层数为10层。如图1~2,加工的菱形结构之间相距10μm,菱形阵列的长对角线长度为100μm,菱形的一个角为20°,菱形阵列中心横向间距200μm,纵向间距40μm。圆形凸起的圆心位于菱形结构的正中心,直径为20μm。加工完成后,在无水乙醇中进行超声波清洗,用去离子水冲洗后自然晾干。

[0040] (3)然后将步骤(2)所得物放入浓度为0.1mol/L的低表面能溶液十四酸溶液,置于真空干燥箱中抽真空,真空干燥箱设置压力为0.08MPa,抽真空的时间为10min,随后在阴凉处静置8h。取出用无水乙醇清洗,随后在室温下进行自然风干,便得到了具有多层次微结构的防冰超疏水表面S1。

[0041] 如图3所示,利用扫描电子显微镜观察仿生超疏水S1表面以及鸢尾科植物的表面,通过观察可得仿生制备出的表面与鸢尾科植物表面具有类似微米与纳米级结构,所制备仿生表面成功的模拟了鸢尾科植物的独特结构。通过观察图三鸢尾科叶片的显微镜图像,发现叶片的结构是类菱阵列形状的复合结构,凸包结构位于类菱形状结构中央处。

[0042] 实施例2

[0043] 一种金属基防冰减阻超疏水表面的制备方法,包括以下步骤:

[0044] (1)以黄铜为基材(20mm×20mm×2mm),首先进行预处理:采用1000目的sic砂纸对黄铜表面进行打磨去除氧化铜,然后依次使用无水乙醇和去离子水对处理后的黄铜表面进行30℃超声波清洗5min,超声频率40KHz,输入功率为100W,去除表面残留物,最后放入70℃的恒温干燥箱内10min进行干燥。

[0045] (2)采用激光加工在处理后的黄铜样件表面制备出菱形阵列结构,所使用的激光参数为:加工尺寸为20*20mm的方形,脉冲宽度为5μs,频率100kHz,扫描速度为400mm/s,电流为1A,加工层数为10层。加工的菱形结构之间相距10μm,菱形阵列的长对角线长度为150μm,菱形的一个角为20°,菱形阵列中心横向间距200μm,纵向间距40μm。圆形凸起的圆心位于菱形结构的正中心,直径为25μm。加工完成后,在无水乙醇中进行超声波清洗,用去离子水冲洗后自然晾干。

[0046] (3)然后将步骤(2)所得物放入浓度为0.1mol/L的低表面能溶液十四酸溶液,置于真空干燥箱中抽真空,真空干燥箱设置压力为0.08MPa,抽真空的时间为10min,随后在阴凉处静置8h。取出用无水乙醇清洗,随后在室温下进行自然风干,便得到了具有多层次微结构

的防冰超疏水表面S2。

[0047] 实施例3

[0048] 本实施例其余步骤与实施例1相同,不同之处在于菱形结构大小参数的不同,得到仿生超疏水表面S3。仿生超疏水表面S3的菱形结构之间相距 $10\mu\text{m}$,菱形阵列的长对角线长度为 $200\mu\text{m}$,菱形的一个角为 20° ,菱形阵列中心横向间距 $200\mu\text{m}$,纵向间距 $40\mu\text{m}$ 。圆形凸起的圆心位于菱形结构的正中心,直径为 $30\mu\text{m}$ 。

[0049] 如图4所示,按照上述步骤制备的仿生超疏水表面S1、S2、S3均在空气中具有优异的静态接触角。S1的静态接触角为 154° ,S2的静态接触角为 157° ,S3的静态接触角为 151° 。

[0050] 如图5所示,按照上述步骤制备的仿生超疏水表面具有出色的动态拒水性。液滴在仿生超疏水表面能够成功实现扩展、收缩和弹起的过程。

[0051] 液滴在超疏水S1表面(SH-S1)扩展到最大直径需要 2.2ms ,并在 11.4ms 内实现弹起。

[0052] 液滴在超疏水S2表面(SH-S2)扩展到最大直径需要 1.8ms ,并在 8.2ms 内实现弹起。

[0053] 液滴在超疏水S3表面(SH-S3)扩展到最大直径需要 1.8ms ,并在 9ms 内实现弹起。

[0054] 以上结果显示液滴在S2表面的接触时间最短,这表明超疏水S2表面具有最好的动态拒水性。

[0055] 如图6所示,在 -10°C 的环境下,按照上述步骤制备的仿生超疏水表面能够有效的延迟蒸馏水液滴在表面的冻结时间。

[0056] 通过观察结冰过程可以发现,未经处理的裸基板和三个不同尺寸微结构的样件预冷阶段和冰核生长时间出现了差异。首先分析各个样件的预冷阶段。相对于未经处理的裸基板 90s 的预冷时间,样件SH-S1、SH-S2和SH-S3形成冰壳所需时间分别为 236s 、 370s 和 200s 。三个样件的时间都发生了显著的延长,样件与液滴之间的传热过程由于微结构和低表面能物质的存在受到了阻碍,热传递的速率下降了1-3倍。随后分析各个样件的冰壳生长阶段,该阶段从液滴表面突然形成冰晶外壳开始计时。未经处理的裸基板的冰壳生长时间仅为 9s ,样件SH-S1和样件SH-S3的冰壳生长时间分别为 22s 和 27s ,而样件SH-S2的冰核生长时间达到了 61s 。这意味着在冰壳形成后,样件SH-S2表面液滴内部的传热速率显著低于其他样件。从而导致冰壳生长时间远远大于其他样件。

[0057] 因此样件SH-S2具有最长的冻结时间,证明样件SH-S2在蒸馏水液滴的测试中具有最优的防冰性能,这意味着该样件的微观结构尺寸具有最好的抗结冰性能。

[0058] 如图7所示,为了模拟海水飞溅导致的结冰,又选用了 3.5% 的NaCl溶液进行延迟结冰实验。仿生菱形阵列复合结构样件在使用盐水溶液进行实验中也有效延长液滴的结冰时间。与未处理的基板相比,仿生菱形阵列复合结构样件的延迟结冰时间显著延长。相较于蒸馏水作为液滴,使用盐水溶液进行实验,各个样件表面的冻结时间都发生了相应的延长。对于盐水溶液,冰点可以降低到 -2.2°C ,这也导致了每个样件的结冰时间都显著增加了。观察盐水溶液的冻结过程可以发现,样件SH-S2的接触角下降缓慢,冻结时间明显长于其他尺寸的样件。与裸基板相比,样件SH-S2的冻结时间延长了约4.7倍,直到 640s 后才完全冻结。在盐水的延迟结冰实验中,各个样件之间的结冰所需时间的差距显著增加了。样件SH-S2的形成冰壳所需的时间与样件SH-S1和SH-S3相比延迟了一倍。但冰壳成型后,冰水界面上升到顶部的时间没有明显差异。此外可以发现使用盐水溶液进行实验,即使完全结冰

后,液滴表面也无法形成尖峰。这归因于盐溶液中的可溶性盐对液滴的表面张力产生了影响。

[0059] 通过盐水的结冰实验后发现,样件SH-S2表面上的盐水完全冻结时间最长,是裸基板完全冻结耗时的4倍。因而证明样件SH-S2在海水环境中具有最优异的防冰性能,这意味着该样件的微观结构尺寸具有最好抗结冰性能

[0060] 如图8所示,通过流变仪对样件表面进行测量发现,S1、S2、S3表面均在流变仪测试中展现出出色的滑移长度,这表明本发明所制备的仿生超疏水表面具有优异的减阻性能。

[0061] 超疏水S1(SH-S1)表面具有30%-35%的减阻率。

[0062] 超疏水S2(SH-S2)表面具有35%-39%的减阻率

[0063] 超疏水S3(SH-S3)表面具有25%-30%的减阻率

[0064] 其中超疏水S2表面(SH-S2)具有最优异的减阻率,最高可达39%。同时超疏水S2表面具有最优异的弹跳性能与最佳防冰性能。这表明所制备的超疏水S2表面相较于其他表面,具有最佳的微结构尺寸,使得超疏水S2表面同时具备4倍延长结冰时间的优异防冰性能与39%的最佳减阻率。

[0065] 对制备的仿生超疏水表面S1、S2、S3进行在-10℃环境下滚动角性能检测,获得的结果如图9所示。通过观察可得出本发明所制备的仿生超疏水S2表面上在-10℃的环境中的滚动角仅为5°。

[0066] 实施例4

[0067] 表1表面接触角测量结果

	接触角 基底	1	2	3	4
[0068]	304 不锈钢	151°	153°	151°	152°
	316L 不锈钢	156°	157°	154°	156°
	铝合金	154°	153°	155°	154°

[0069] 表2表面滚动角测量结果

	滚动角 基底	1	2	3	4
[0070]	304 不锈钢	8°	7.5°	8°	8°
	316L 不锈钢	7°	6.5°	6.5°	6°
	铝合金	8.5°	9°	8.5°	8°

[0071] 设计3组平行试验,其余步骤与实施例1均相同,区别仅仅在于:所采用的金属基底不同,具体分别为304不锈钢、316L不锈钢、铝合金。分别对制备的超疏水表面进行性能检测,重复测量四次,获得的结果如下表所示。

[0072] 实施例5

[0073] 一种防冰减阻超疏水表面的制备方法,包括以下步骤:

[0074] (1) 以铝合金为基材 ($20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 2\text{mm}$), 首先进行预处理: 采用1000目的sic砂纸对黄铜表面进行打磨去除氧化铝, 然后依次使用无水乙醇和去离子水对处理后的黄铜表面进行 20°C 超声波清洗10min, 超声频率20KHz, 输入功率为50W, 去除表面残留物, 最后放入 40°C 的恒温干燥箱内20min进行干燥。

[0075] (2) 采用激光加工在处理后的黄铜样件表面制备出菱形阵列结构, 所使用的激光参数为: 加工尺寸为 $20 \times 20\text{mm}$ 的方形, 脉冲宽度为 $20\mu\text{s}$, 频率50kHz, 扫描速度为 100mm/s , 电流为3A, 加工层数为8层。加工的菱形结构之间相距 $12\mu\text{m}$, 菱形阵列的长对角线长度为 $100\mu\text{m}$, 菱形的一个角为 20° , 菱形阵列中心横向间距 $180\mu\text{m}$, 纵向间距 $35\mu\text{m}$ 。圆形凸起的圆心位于菱形结构的正中心, 直径为 $22\mu\text{m}$ 。加工完成后, 在无水乙醇中进行超声波清洗, 用去离子水冲洗后自然晾干。

[0076] (3) 然后将步骤(2)所得物放入浓度为 0.2mol/L 的低表面能溶液正十二硫醇溶液, 置于真空干燥箱中抽真空, 真空干燥箱设置压力为 0.05MPa , 抽真空的时间为20min, 随后在阴凉处静置9h。取出用无水乙醇清洗, 随后在室温下进行自然风干, 便得到了具有多层次微结构的防冰超疏水表面。

[0077] 实施例6

[0078] 一种防冰减阻超疏水表面的制备方法,包括以下步骤:

[0079] (1) 以黄铜为基材 ($20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 2\text{mm}$), 首先进行预处理: 采用1000目的sic砂纸对黄铜表面进行打磨去除氧化铜, 然后依次使用无水乙醇和去离子水对处理后的黄铜表面进行 60°C 超声波清洗7min, 超声频率100KHz, 输入功率为200W, 去除表面残留物, 最后放入 100°C 的恒温干燥箱内30min进行干燥。

[0080] (2) 采用激光加工在处理后的黄铜样件表面制备出菱形阵列结构, 所使用的激光参数为: 加工尺寸为 $20 \times 20\text{mm}$ 的方形, 脉冲宽度为 $10\mu\text{s}$, 频率200kHz, 扫描速度为 500mm/s , 电流为2A, 加工层数为9层。加工的菱形结构之间相距 $8\mu\text{m}$, 菱形阵列的长对角线长度为 $130\mu\text{m}$, 菱形的一个角为 20° , 菱形阵列中心横向间距 $190\mu\text{m}$, 纵向间距 $37\mu\text{m}$ 。圆形凸起的圆心位于菱形结构的正中心, 直径为 $28\mu\text{m}$ 。加工完成后, 在无水乙醇中进行超声波清洗, 用去离子水冲洗后自然晾干。

[0081] (3) 然后将步骤(2)所得物放入浓度为 0.2mol/L 的低表面能溶液硬脂酸溶液, 置于真空干燥箱中抽真空, 真空干燥箱设置压力为 0.10MPa , 抽真空的时间为15min, 随后在阴凉处静置7h。取出用无水乙醇清洗, 随后在室温下进行自然风干, 便得到了具有多层次微结构的防冰超疏水表面。

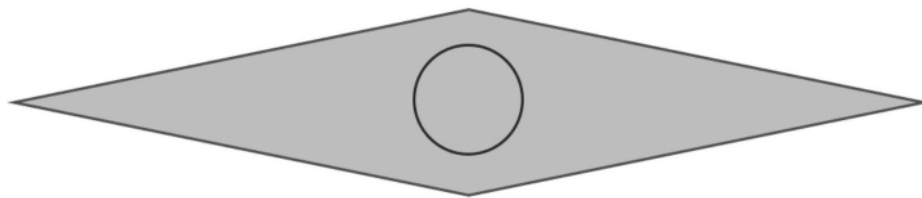


图1

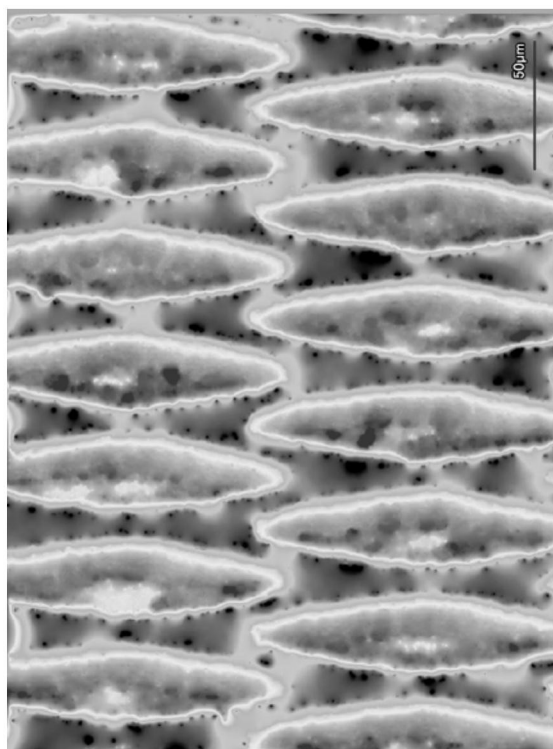


图2

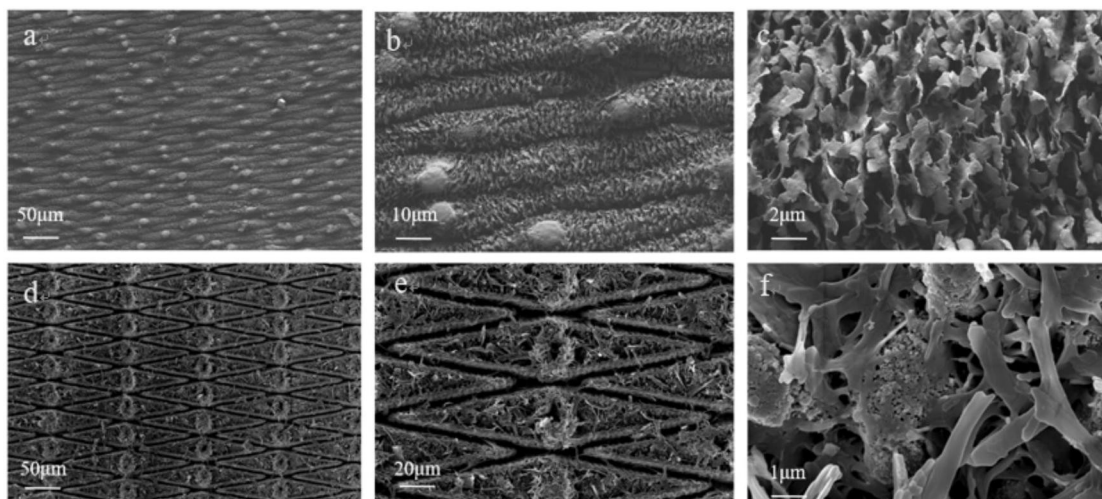


图3

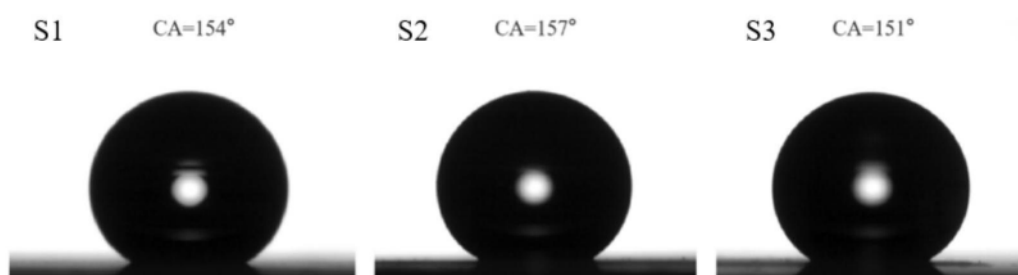


图4

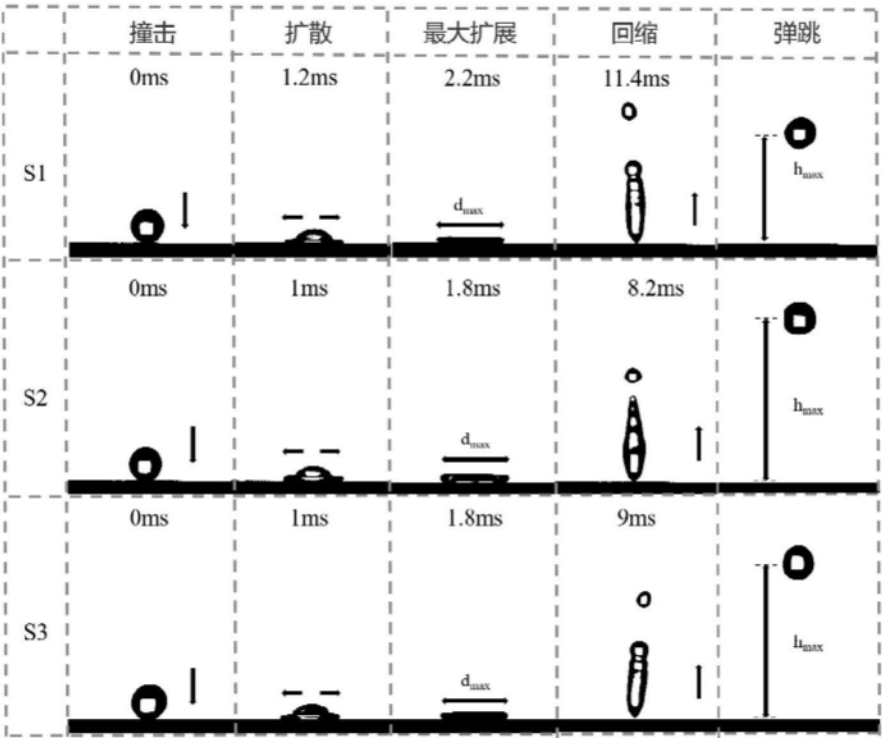


图5

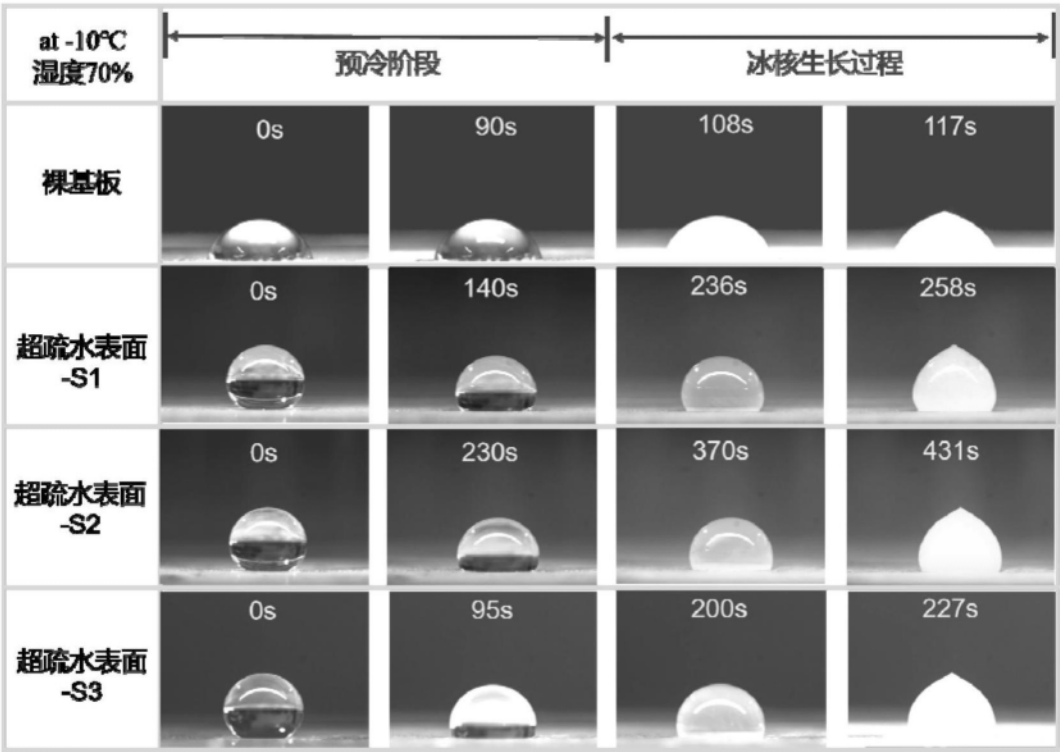


图6

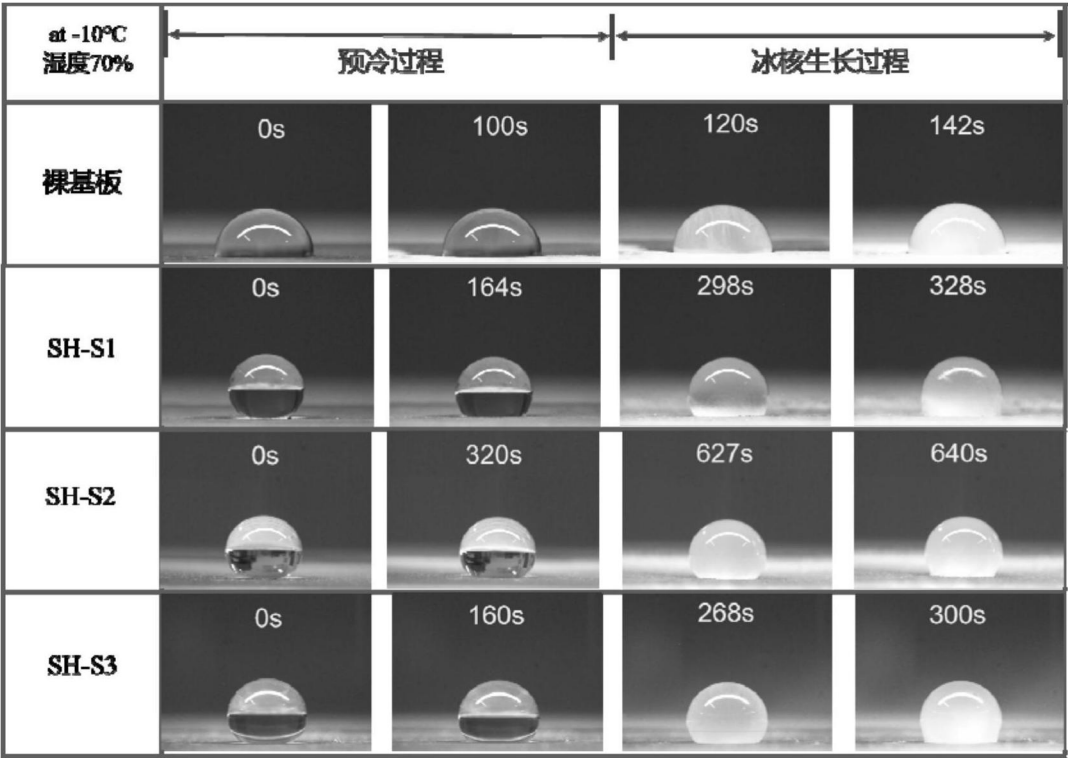


图7

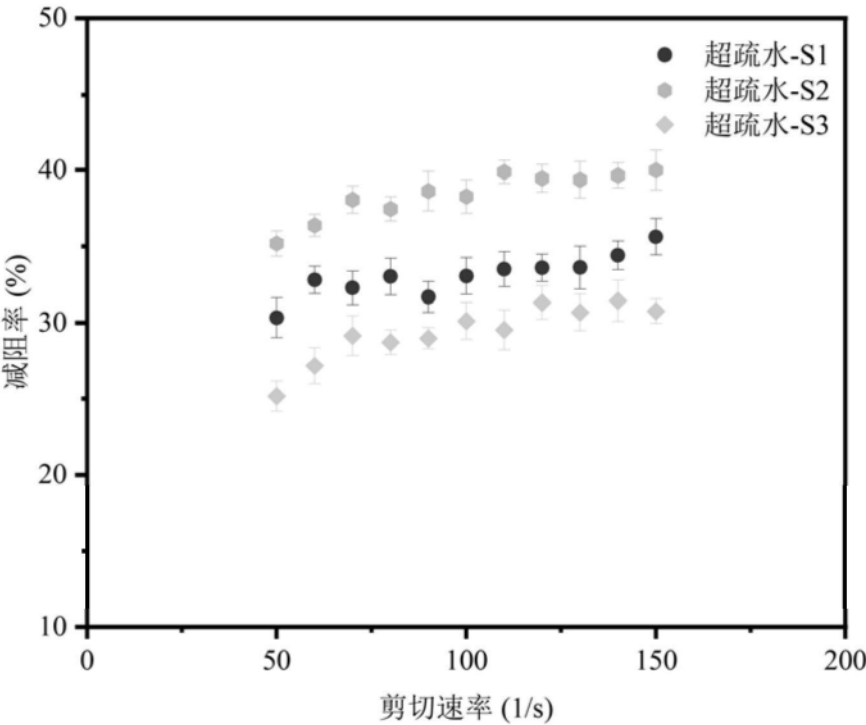


图8

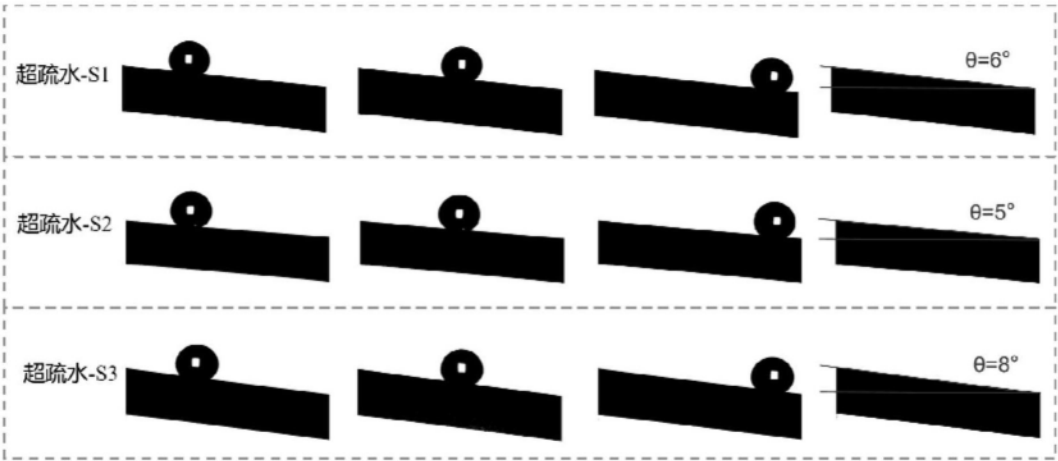


图9