类水稻叶多尺度表面构筑与各向疏水性

李晶*, 赵世才, 李强, 李红, 张为, 于化东

长春理工大学机电工程学院, 长春 130022

* 联系人, E-mail: jl2015edu@163.com

2017-02-16 收稿, 2017-04-14 修回, 2017-04-14 接受, 2017-05-09 网络版发表

国家自然科学基金(51505039)、吉林省科技发展规划(20150204018GX)和中国博士后科学基金(2014M551145)资助

摘要 采用高速电火花线切割加工方法与电刷镀工艺结合在铝合金表面构筑了类水稻叶多尺度层级结构表面. 利用扫描电子显微镜(SEM)、激光共聚焦显微镜(LSCM)、X射线衍射仪(XRD)和接触角测量仪表征表面的形貌结构、物相组成和润湿特性. 结果表明, 电刷镀获得的双尺度(微-纳米)微观结构对表面疏水性起关键作用, 而高速电火花线切割加工获得的规则排列亚毫米级槽棱结构进一步放大了其平槽方向表面的疏水性能, 使其未经任何化学修饰即获得优异的超疏水特性, 接触角可以达到 151° , 且展现平槽和垂槽方向不同的疏水特性. 这一研究将对各向异性功能材料结合超疏水材料的应用起到一定的指导意义.

关键词 超疏水, 多尺度, 各向异性, 类水稻叶

在自然界中, 经过亿万年的自然选择, 许多植物表面和动物体表展现优异的疏水^[1~4]特性, 一些疏水表面具有自清洁^[5~7]、减阻耐磨^[8,9]、防腐^[10,11]、高黏附^[12~14]、反黏附^[15]、防覆冰^[16]和各向异性^[17,18]等特性. 这些特性在实际生活中得到了广泛的应用, 同时也引起了许多科研领域的关注. 荷叶作为典型的超疏水表面, 其具有的自清洁功能, 主要归因于荷叶表面存在许多微米乳突结构加上其表面蜡状物质共同作用的结果, 并且乳突上还存在着纳米结构, 这种双尺度微观结构是荷叶表面具有超疏水性的根本原因. 然而, 自然界中也存在着多尺度结构的超疏水表面, 一些植物表面分布着棱状结构, 进一步放大发现, 在棱状结构上分布着排列规则的微-纳米级突起物, 同时棱状结构对于表面的各向异性作用发挥着不可或缺的作用. 例如水稻叶^[19], 其表面第三级棱状阵列的间距和高度分别达到200和45 μm , 通过扫描电子显微镜在其棱状结构上可以观察到规则排列的微-纳米级乳突结构, 其中乳突在沿垂直于棱状方向呈不

规则排列, 水滴沿其方向的滚动角为 $9^\circ\sim 15^\circ$, 乳突沿棱状方向呈规则排列, 水滴沿其方向的滚动角为 $3^\circ\sim 5^\circ$. 根据观察, 水稻表面的各向异性引导了雨水的流向. Wu等人^[19]认为第三级棱状结构、微米级乳突结构和纳米结构是水稻叶超疏水性和各向异性不可缺少的条件, 同时微-纳米级结构导致水稻叶具有超疏水性能, 而第三级棱状结构引起正交方向的能量势垒, 导致各向异性的滑动现象.

关于制备类水稻叶超疏水表面的方法有很多种. Yang等人^[20,21]在铝合金表面上采用光刻辅助电化学刻蚀、阳极氧化反应和氟化反应制备类水稻叶三级微观结构表面, 发现对于不同的液滴体积所对应的各向异性不同; 还利用自上而下的微铣削方法制备了微点、线和圆凹槽超疏水表面模型, 不同的模型具有不同的黏附性和各向异性, 可以应用在生物医学和化学分析领域, 例如液体集聚和存储. 姚佳等人^[22]采用二次转写的方法制备出仿生水稻叶表面, 此技术无需昂贵的设备和复杂工艺, 即可实现水稻叶表

引用格式: 李晶, 赵世才, 李强, 等. 类水稻叶多尺度表面构筑与各向疏水性. 科学通报, 2017, 62: 1766–1773

Li J, Zhao S C, Li Q, et al. Fabrication of biomimetic multi-scale surface of rice leaf and anisotropic superhydrophobic properties (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 1766–1773, doi: 10.1360/N972016-01335

面的大量快速制备,对于仿生表面材料有着广泛的应用前景. Yong等人^[23]使用飞秒激光一步到位的方法在聚二甲基硅氧烷表面生成周期性排列的棱状结构,并证明了其表面具有超疏水性、可控黏附性、各向异性滑动和各向异性润湿性,在生物医药、化学和生物传感、燃料电池、催化剂方面具有很重要的应用潜力. Yang等人^[24]结合了电化学腐蚀和光刻技术,制备出具有定向运输能力的超疏水表面,展现了各向异性和水滴运输能力,扩大了定向运输的应用范围.

目前有两种关于超疏水表面制备的方法,一种是在表面构筑微-纳米复合结构;另一种是用低表面能物质对粗糙表面进行修饰. 本文首先利用高速电火花线切割方法在铝合金表面制备出亚毫米级微观槽棱结构表面,再使用电刷镀工艺在槽棱结构表面上均匀地沉积镍原子,制备微-纳米结构,形成的亚毫米、微米和纳米多尺度层级结构能够捕捉更多的空气,进而增大了粗糙表面上气体占有比,从而使表面获得了超疏水特性. 构筑类水稻叶多尺度层级结构表面过程如图1所示.

1 材料与方法

(i) 试验材料. 试样基体为6061号铝合金板材,主要组成成分包括96.0 wt%铝, 1.2 wt%镁, 0.8 wt%硅和其他2.0 wt%;试样尺寸为15 mm×10 mm×1.5 mm;刷镀前将铝合金材料表面抛光成光滑平整;高速电火花线切割加工工艺参数设为机床脉冲宽度为4 μs,脉冲间隔为28 μs;测试液体积为4 μL. 线切割中所使用的是钼丝,选取的镀液为自制镀液,其主要成分包括硫酸镍、柠檬酸铵、乙酸铵、氨水、十二烷基硫酸钠,溶剂为去离子水. 电净液主要成分包括氢氧化钠、碳酸钠、磷酸钠. 活化液主要成分为盐酸.

(ii) 样品制备. 采用高速电火花线切割进行加工,基于钼丝与铝合金基体之间高频脉冲火花放电产生的电腐蚀现象,在铝合金表面加工出周期性规

则排列的亚毫米级槽棱结构. 槽宽、槽深和棱宽均为200 μm. 清洗过后,再依次用丙酮、乙醇、去离子水分别在超声波清洗机中清洗,然后将试件晾干,得到试件. 电刷镀电源为直流电源,电镀直流输出电压为0~30 V无极调压. 当刷镀时间一定时,刷镀电压分别为6, 8, 10, 12, 14和16 V时,测得所对应单刷镀试样表面接触角分别为116°, 125°, 132°, 143°, 139°和140°. 通过试验得知,刷镀电压为12 V时能得到最大接触角143°. 设定刷镀电压为12 V,电刷移动速度控制在8~10 mm/s左右,刷镀时间分别设置为150, 300, 450和600 s. 在电刷镀时,用电净液除油及表面杂质,由于氧化物的导电性不良,会阻碍刷镀过程中镍原子的沉积,用活化液去除铝合金表面形成的氧化薄膜. 然后在槽棱结构表面上均匀地沉积镍原子,形成微-纳米复合结构镍镀层,最后与槽棱结构耦合形成多尺度层级结构表面. 刷镀结束后,放入超声波清洗机中清洗,吹干放置.

(iii) 试样表征. 采用扫描电子显微镜(SEM, EVO 18, ZEISS)观察表面微观结构,采用激光共聚焦显微镜(LSCM, LSM 700, ZEISS)观察表面三维形貌图,采用X射线衍射仪(XRD, Bruker D8 Discover, Germany)分析表面物相组成,采用光学接触角测量仪(OCA20, Dataphysics, Germany)测量表面润湿性能.

2 结果与讨论

2.1 多尺度层级结构形貌

图2(a)和(b)为水稻叶表面不同倍数的SEM图像,可以看到水稻叶表面分布着许多微-纳米级乳突结构,并且乳突沿棱状方向呈规则排列,测得其在平行于棱状方向的接触角约为150°(图2(a)插图). 图2(c)和(d)为高速电火花线切割加工后形成的亚毫米级槽棱结构不同倍数的SEM图像,可以观察到规则排列的槽棱结构和槽棱表面形成的粗糙形貌. 在槽的底部、侧面和棱状结构上,由于加工过程中电腐蚀作用而形成不规则突起物、坑状结构和孔洞等多级结构,形成了材料表面粗糙形貌. 并且,由于设备加工误差导致亚毫米尺寸和预设加工尺寸有偏差,测量发现,加工后槽宽、槽深和棱宽尺寸分别约为160, 180, 220 μm. 同时,测量了单独高速电火花线切割加工槽棱结构表面的接触角,约为26.3°(图2(c)插图). 通过观察发现,水滴在电火花线切割加工形成槽棱结构表

图1 多尺度层级结构形成过程

Figure 1 The forming process of multi-scale hierarchical structure

图2 水稻叶、槽棱结构和多尺度层级结构表面的SEM图像。(a) 低倍水稻叶及其接触角轮廓; (b) 高倍水稻叶; (c) 低倍槽棱结构及其接触角轮廓; (d) 高倍槽棱结构; (e) 低倍多尺度层级结构及其接触角轮廓; (f) 高倍多尺度层级结构

Figure 2 SEM images of rice leaf, groove ridge structure and multi-scale hierarchical structure surface. (a) Low power of rice leaf and its contact angle profile; (b) high power of rice leaf; (c) low power of groove ridge structure and its contact angle profile; (d) high power of groove ridge structure; (e) low power of multi-scale hierarchical structure and its contact angle profile; (f) high power of multi-scale hierarchical structure

面上的浸润效果较符合Wenzel状态。图2(e)和(f)为多尺度层级结构表面不同倍数的SEM图像,可以观察到,棱状结构上分布着微米突起结构,在微米突起结构上还存在类菜花状的亚微米乳突结构和镶嵌在上面的纳米级颗粒。同时棱状结构的宽度明显大于槽底部的宽度,经测量其槽宽、槽深和棱宽分别约为120, 180和240 μm 。随着施镀时间的增加,镍原子不断地沉积形成微米级团聚物,且团聚物逐渐分散,最后形成均匀的多尺度层级结构表面。

观察发现,槽底的形貌不如棱状表面清晰,且排列无序,并不具有与棱状结构表面镀层相似的微-纳

米级微观结构,镍原子沉积不均匀,其团聚物也没有分散开。这是因为在施镀时,槽底距离阳极表面存在一定距离,导致刷镀过程中镀液与槽底接触较少且导电不良,进而使槽底镀层沉积无序不均。根据其形貌进行观察发现,多尺度层级结构上的棱状结构表面与单独电刷镀工艺下^[25,26]制备的双尺度微观结构表面具有相似的镍镀层结构,都具有优异的疏水性能。

图3(a)和(b)所示为亚毫米级槽棱结构二维和三维的表面形貌,可以清晰地看到表面上分布着形状不规则的突起物和坑状结构,棱状结构呈尖峰状。图3(c)和(d)是刷镀600 s后形成的多尺度层级结构表面,

图3 (网络版彩色)亚毫米级槽棱结构和多尺度层级结构的二维和三维LSCM形貌。(a), (b) 槽棱结构; (c), (d) 多尺度层级结构

Figure 3 (Color online) The 2D and 3D (LSCM) topographies of sub millimeter groove ridge structure and multi-scale hierarchical structure. (a), (b) The groove ridge structure; (c), (d) the multi-scale hierarchical structure

刷镀后棱宽、槽深和槽宽受到不同程度的影响。从多尺度层级结构与亚毫米级槽棱结构的二维形貌看,多尺度层级结构的棱宽增大 $20\ \mu\text{m}$ 、槽宽减小约 $40\ \mu\text{m}$,结构表面分布的突起物、坑状结构被镀层覆盖,形成平滑棱状表面,对比它们的三维形貌可以发现多尺度层级结构的槽深变化较小。这是由于较大尺度的槽棱结构,使镀层在结构表面沉积均匀而形成一定厚度,但槽底由于景深的影响沉积无序不均,尺寸增长较小。

2.2 表面润湿性能

双/多尺度层级结构表面的接触角随刷镀时间的变化趋势,如图4所示。双尺度微观结构平行和垂直两个方向(图4中A和B曲线)的接触角变化趋势幅度较小,与多尺度层级结构两个方向的接触角变化趋势(图4中C和D曲线)形成明显对比。在 $150\ \text{s}$ 时,双尺度微观结构的接触角明显大于多尺度层级结构表面平槽-垂槽方向的接触角,相差约 $30^\circ\sim 40^\circ$ 。从图4中C和

图4 (网络版彩色)双/多尺度层级结构表面接触角随刷镀时间的变化趋势

Figure 4 (Color online) Trend of double and multi scale structure surface contact angle with electric brush plating time changing

D曲线还可以观察到,多尺度层级结构表面平槽方向和垂槽方向体现着不同的表面静态疏水性能。多尺度层级结构表面的平槽-垂槽方向的接触角值随刷镀

时间的增加而增大,在150 s时与600 s时,接触角相差约 60° 。刷镀时,双尺度微观结构平行和垂直两个方向的接触角与多尺度层级结构在平槽方向和垂槽方向接触角的差异较为明显,随着时间的增加,沉积较多的镍原子后,其差异逐渐减小。同时在未经任何化学修饰下,多尺度层级结构表面两个方向均获得疏水性能。如图5所示,分别给出了抛光铝合金、高速电火花加工和高速电火花结合电刷镀的XRD图,可以观察到抛光铝合金和高速电火花加工表面成分主要由铝组成,高速电火花结合电刷镀表面成分主要由镍组成,试样表面成分并未改变。

图6展现了施镀600 s时三种情况的水接触角形貌和大小。从图6(a)可以看出,单独电刷镀工艺制备出的双尺度微观结构表面就具有较好的疏水性能,接触角可以达到 143° 。而从图6(b)可以看到,多尺度层级结构表面的平槽方向的接触角可以增加到 151° ,但从图6(c)发现,垂槽方向接触角只达到 141° 。显然电刷镀工艺制备的微-纳双尺度结构为多尺度结构表

面的疏水性的获得起到了决定性的作用,而亚毫米级槽棱结构放大了其平槽方向表面的疏水特性。

2.3 各向异性

图7所示为试样平槽和垂槽方向铺展图和试样倾斜 42° 时状态图。水滴铺展方向会因试样定向微观结构发生改变,水滴会向平槽方向滚动,而垂槽方向滚动受到阻碍。分析认为,当水滴与试样表面接触时,水滴浸入微结构引起毛细现象,从而增大毛细作用力,结合自身的表面张力,使水滴保持各向滚动趋势。但是在重力作用下,亚毫米级槽棱结构两侧对水滴流动起阻力作用,引导了水滴的运动方向。水滴在试样表面沿平槽方向铺展,形成狭长的运动轨迹,这种特性有利于水滴流动。显然,毛细作用力和重力共同作用,使水滴在具有方向性大尺度槽棱结构的多尺度结构表面具有方向依赖性,形成了各向异性。并且,两个方向的润湿性也存在较大区别,在平槽方向的运动铺展性易于垂槽方向,这种特性对一些定向运输^[23]有着一定的应用价值。

3 结论

通过高速电火花线切割加工方法与电刷镀工艺结合在铝合金表面制备出类水稻叶多尺度层级结构表面,构筑的表面具有优异的疏水特性和各向异性,接触角最高达 151° 。研究发现,电刷镀形成的双尺度微观结构是多尺度层级结构疏水表面获得疏水性的根本原因,而高速电火花线切割加工所制得的亚毫米级槽棱结构对表面的润湿性总体上体现放大作用,使得多尺度层级结构表面在未经任何化学修饰的情况下获得更加优异的疏水特性。制备的多尺度层级结构表面不仅具有超疏水性,同时由于槽棱结构的存在,使两方向上具有不同的静态润湿性,导致了各

图5 (网络版彩色)试样表面成分

Figure 5 (Color online) Component of the sample surface

图6 施镀600 s时不同结构表面润湿性。(a) 镍镀层;(b) 多尺度层级结构平槽方向;(c) 多尺度层级结构垂槽方向

Figure 6 The different structure surface exhibit wettability when electric brush plating is 600 s. (a) The nickel coatings; (b) the direction of parallel groove on multi-scale hierarchical structure; (c) the direction of vertical groove on multi-scale hierarchical structure

图7 (网络版彩色)多尺度层级结构表面润湿性的各向异性. (a) 平槽; (b) 垂槽

Figure 7 (Color online) The anisotropic of the wettability based on the multi-scale hierarchical surface. (a) The parallel groove; (b) the vertical groove

向异性. 虽然研究各向异性超疏水领域较少,但是在自然界中对于动植物来说由其重要,同时随着研究

的不断深入,各向异性功能材料结合超疏水材料的应用将在定向移动等领域得到一定的应用.

参考文献

- 1 Ma R T, Wei Y L, Guo H, et al. Preparation and characterization of a new bionic-recreation superhydrophobic surface (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2013, 58: 1326–1331 [马润恬, 魏玉丽, 郭昊, 等. 一种新型仿生-再造超疏水表面的制备与表征. *科学通报*, 2013, 58: 1326–1331]
- 2 Guan H Y, Han Z W, Cao L, et al. Bionic function surface inspired by the preventing moisture property mechanism of *Ephemera pictiventris* McLachlan compound eyes (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 2605–2612 [关会英, 韩志武, 曹亮, 等. 基于腹色蜉复眼防水汽机理的仿生功能表面. *科学通报*, 2016, 61: 2605–2612]
- 3 Zhu D Y, Qiao W, Wang L D. Hydrophobic mechanism and criterion of lotus-leaf-like micro-convex-concave surface (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2010, 55: 1595–1599 [朱定一, 乔卫, 王连登. 仿荷叶微凹凸表面的疏水机理与判据. *科学通报*, 2010, 55: 1595–1599]
- 4 Guo Z G, Liu W M. Biomimic from the superhydrophobic plant leaves in nature: Binary structure and unitary structure. *Plant Sci*, 2007, 172: 1103–1112
- 5 Barbastat G, Choi H J, Cohen R E, et al. Multifunctional inverted nanocone arrays for non-wetting, self-cleaning transparent surface with high mechanical robustness. *Small*, 2014, 10: 2487–2494
- 6 Zhang Y C, Qu S X, Cheng X, et al. Fabrication and characterization of Gecko-inspired dry adhesion, superhydrophobicity and wet self-cleaning surfaces. *J Bionic Eng*, 2016, 13: 132–142
- 7 Shan P, Bharat B. Mechanically durable superoleophobic aluminum surfaces with microstep and nanoreticula hierarchical structure for self-cleaning and anti-smudge properties. *J Colloid Interface Sci*, 2016, 461: 273–284
- 8 Ma F L, Zeng Z X, Gao Y M, et al. Research status and progress of bionic surface drag reduction (in Chinese). *China Surf Eng*, 2016, 29: 7–15 [马付良, 曾志翔, 高义民, 等. 仿生表面减阻的研究现状与进展. *中国表面工程*, 2016, 29: 7–15]
- 9 Yokoi N, Manabe K, Shiratori S, et al. Optically transparent superhydrophobic surfaces with enhanced mechanical abrasion resistance enabled by mesh structure. *ACS Appl Mater Inter*, 2015, 7: 4809–4816

- 10 Mo C Y, Zheng Y S, Wang F L, et al. Preparation and properties of TiO_2 /Fluoride-polymethylhydrosiloxane superhydrophobic and anti-corrosive coating (in Chinese). *China Surf Eng*, 2015, 28: 132–137 [莫春燕, 郑燕升, 王发龙, 等. TiO_2 /氟化含氢硅油超疏水防腐涂层的制备及性能. *中国表面工程*, 2015, 28: 132–137]
- 11 Grignard B, Vaillant A, Coninck J, et al. Electrospinning of a functional perfluorinated block copolymer as a powerful route for imparting superhydrophobicity and corrosion resistance to aluminum substrates. *Langmuir*, 2011, 27: 335–342
- 12 Qiu Y C, Liu K S, Jiang L. Peanut leaves with high adhesive superhydrophobicity and their biomimetic materials (in Chinese). *Sci Sin Chim*, 2011, 41: 403–408 [邱宇辰, 刘克松, 江雷. 花生叶表面的高黏附超疏水特性研究及其仿生制备. *中国科学: 化学*, 2011, 41: 403–408]
- 13 Lai Y K, Chen Z, Lin C J. A review on the recent progress in superhydrophobic surfaces with special adhesions (in Chinese). *Sci Sin Chim*, 2011, 41: 609–628 [赖跃坤, 陈忠, 林昌健. 超疏水表面黏附性的研究进展. *中国科学: 化学*, 2011, 41: 609–628]
- 14 Liu Y, Li S Y, Zhang J J, et al. Fabrication of biomimetic superhydrophobic surface with controlled adhesion by electrodeposition. *Chem Eng J*, 2014, 248: 440–447
- 15 Bi K D, Song X C, Wang Y J, et al. Anti-adhesion mechanisms of nepenthes waxy slippery zone surface (in Chinese). *J Mech Eng*, 2015, 51: 103–109 [毕可东, 宋小闯, 王玉娟, 等. 猪笼草蜡质滑移区表面反粘附特性的研究. *机械工程学报*, 2015, 51: 103–109]
- 16 Zhang C F, Qi L L, Ding K Q, et al. Research and progress of anti-icing superhydrophobic coatings (in Chinese). *China Adhes*, 2015, 24: 53–56 [张长飞, 祁玲玲, 丁克强, 等. 防覆冰超疏水涂料的研究与进展. *中国胶粘剂*, 2015, 24: 53–56]
- 17 Wei S C, Ma F M, Li W, et al. Design preparation and application of anisotropic material surface with micro/nanostructures (in Chinese). *Mater Rev*, 2014, 28: 125–129, 141 [卫世超, 马福民, 李文, 等. 各向异性微纳结构材料表面的设计制备及其应用. *材料导报*, 2014, 28: 125–129, 141]
- 18 Bahga S S, Vinogradova O I, Bazant M Z. Anisotropic electro-osmotic flow over super-hydrophobic surfaces. *J Fluid Mech*, 2010, 644: 245–255
- 19 Wu D, Wang J N, Chen Q D, et al. Three-level biomimetic rice-leaf surfaces with controllable anisotropic sliding. *Adv Funct Mater*, 2011, 21: 2927–2932
- 20 Yang X L, Liu X, Song J L, et al. Controllable water adhesion and anisotropic sliding on patterned superhydrophobic surface for droplet manipulation. *J PhysChem C*, 2016, 120: 7233–7240
- 21 Yang X L, Song J L, Xu W J, et al. Anisotropic sliding of multiple-level biomimetic rice-leaf surfaces on aluminium substrates. *Micro Nano Lett*, 2013, 8: 801–804
- 22 Yao J, Wang J N, Yang H, et al. Biomimetic fabrication and characterization of an artificial rice leaf surface with anisotropic wetting (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2012, 57: 1362–1366 [姚佳, 王剑楠, 杨罕, 等. 仿生水稻叶表面制备及其润湿性研究. *科学通报*, 2012, 57: 1362–1366]
- 23 Yong J L, Yang Q, Chen F, et al. A simple way to achieve superhydrophobicity, controllable water adhesion, anisotropic sliding, and anisotropic wetting based on femtosecond-laser-induced line-patterned surfaces. *J Mater Chem A*, 2014, 2: 5499–5507
- 24 Yang X L, Liu X, Xu W J, et al. Directional transport of water droplets on superhydrophobic aluminium alloy surface. *Micro Nano Lett*, 2015, 10: 343–346
- 25 Wang Y, Chen C Y, Li R, et al. Preparation of a superhydrophobic surface on steel substrate by nanocomposite electrodeposition (in Chinese). *J Harb Eng Univ*, 2016, 37: 660–665 [汪骥, 陈昌毅, 李瑞, 等. 纳米复合电沉积制备钢基超疏水表面工艺探究. *哈尔滨工程大学学报*, 2016, 37: 660–665]
- 26 Xu W Y, Zhao Y, Sun J, et al. Experimental study of super-hydrophobic surfaces obtained on steel matrix by brush plating technique (in Chinese). *China Mech Eng*, 2013, 24: 1–5 [徐文骥, 赵涌, 孙晶, 等. 电刷镀法制备钢基超疏水表面的实验研究. *中国机械工程*, 2013, 24: 1–5]

Summary for “类水稻叶多尺度表面构筑与各向疏水性”

Fabrication of biomimetic multi-scale surface of rice leaf and anisotropic superhydrophobic properties

LI Jing^{*}, ZHAO ShiCai, LI Qiang, LI Hong, ZHANG Wei & YU HuaDong

College of Mechanical and Electric Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China

^{*} Corresponding author, E-mail: jl2015edu@163.com

With the continuous exploration of the special morphologies and properties of skin of some animals and plant leaf surfaces in the nature, new hydrophobic surfaces are developed through imitation of the observed surface effects. The aluminum alloy surface which is similar to multi-scale hierarchical structure surface of biomimetic rice leaf can be obtained by combining high speed wire electrical discharge machining (WEDM) method and electric brush-plating technique. The morphological feature was analyzed by scanning electron microscopy (SEM). The surface wettability of the sample was measured at ambient temperature using a contact angle measurement instrument and the SCA20 software by placing a 4 μL pure distilled water droplet onto the surface of the sample. Three dimensional (3D) profile of the sample surface was obtained through confocal laser scanning microscopy (LSCM). The elemental composition was determined by X-ray diffraction (XRD) analysis in order to determine the phase composition on the sample surface. The regular submillimeter groove ridge structures were processed on the aluminum alloy surfaces by the method of high speed wire electrical discharge machining. And the hierarchical cauliflower-like structures which were consisted of micro-protrusions and submicro-grains were formed on the sample surfaces by electric brush-plating technique. The anisotropic functional surfaces and the superhydrophobic surfaces were achieved by the combination of the regular submillimeter groove ridge structures and hierarchical cauliflower-like structures. The research showed that the regular submillimeter groove ridge structures are similar to the surface morphology on rice leaf, and the hierarchical cauliflower-like structures are similar to the surface morphology on lotus leaf. The results showed that double scale (micro-submicro) microscopic structure obtained by electric brush-plating can play a key role on the hydrophobicity of the surface. The regular submillimeter groove ridge structure obtained by high speed wire electrical discharge machining further enlarged the hydrophobic properties of the direction of parallel groove. The sample surface showed excellent superhydrophobic properties, and the contact angle of the direction of parallel groove could reach up to 151° . The sample surface also showed different hydrophobic properties in the direction of the parallel groove and the direction of the vertical groove. Due to the existence of the edge structure make the two directions, and the two directions have different static wettability, which also led to the surface anisotropy. With the changing of electric brush-plating time, the trend of double and multi scale structure surface contact angle had large difference on the sample surface. The sample surface is fabricated without any chemical modification by combining high speed wire electrical discharge machining method with electric brush-plating technique. Although the application of the surface anisotropy and superhydrophobicity were not showed in other places, it is important for animals and plants in the nature. With the deepening of the study, this research will rise to certain guiding significance on the applications of combining the anisotropic functional materials with the superhydrophobic materials.

superhydrophobic, multi-scale, anisotropy, biomimetic rice leaf

doi: 10.1360/N972016-01335