

doi: 10.11933/j.issn.1007-9289.20180402002

微球构筑防污减阻涂层的制备

宋美艳, 赵 曼, 石淑先, 陈晓农

(北京化工大学 生物医用材料北京实验室, 北京 100029)

摘 要: 通过乳液聚合法制备表面具有聚乙二醇(PEG)支链的聚苯乙烯微球, 将所得微球悬浮液与丙烯酸酯聚合物乳液共混, 采用涂覆的方式制备仿生减阻涂层。考察微球的组成及其粒度、不同微球含量对涂层表面形貌及润湿性的影响, 研究交联对涂层稳定性的影响。采用异硫氰酸荧光素标记的牛血清蛋白(BSA-FITC)考察不同微球含量对涂层抗蛋白吸附性的影响, 运用扭矩测定法考察了涂层的减阻性能。结果表明: 具有PEG支链的聚苯乙烯微球粒径具有单分散性, 所得仿生涂层表面分布着大量的聚合物微球, 且随着微球质量分数增大, 涂层水接触角减小、亲水性增强; 交联反应显著改善涂层的耐水稳定性; 与未添加微球的涂层相比, 当微球质量分数为15%时, 涂层的抗蛋白吸附效率最大可达到97%, 当微球质量分数为6%时, 涂层的减阻率最大可达到21%。

关键词: 减阻涂层; 微球涂覆法; 抗蛋白吸附; 减阻性能

中图分类号: TB333.23; Q811.7

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2018)05-0134-08

Preparation of Anti-fouling and Drag Reduction Coating Constructed by Microspheres

SONG Meiyang, ZHAO Man, SHI Shuxian, CHEN Xiaonong

(Beijing Laboratory of Biomedical Materials, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Polystyrene microspheres with hairy polyethylene glycol (PEG) chains on surface was prepared by emulsion polymerization. Aqueous suspension of the microspheres was then blended with an acrylic polymer emulsion to form a latex blend. A biomimetic layer was obtained through coating approach using the latex blend. The composition and particle size of the microspheres and its content in the coating layer on the surface morphology and wettability of the coating layer were investigated, respectively. The effect of crosslinking within the coating layer on the stability of the coating layer was also studied. Protein adsorption of the coatings with different contents of the microsphere was investigated using BSA-FITC. Drag-reducing efficiency of the coatings was tested using torque measurement. The results show that the polystyrene microspheres with PEG hairy chains are monodispersed regarding their particle size. A large number of the microspheres present on the surface of the coating prepared from the latex blend. The hydrophilicity of the coating layer increases with the increase of the microspheres content in the layer, indicated by the contact angle of water drop. Crosslinking reaction significantly improves the stability of the coatings under water. Compared with the coating without microspheres, the coatings with 15% content of microspheres provided dramatically less protein adsorption by 97%. With 6% content of microspheres, the drag-reducing efficiency of the coatings attains 21%.

Keywords: drag reduction coating; microspheres coating; anti-protein adsorption; drag reduction

收稿日期: 2018-04-02; 修回日期: 2018-05-31

网络出版日期: 2018-07-02 10:47; 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20180702.1047.008.html>

通信作者: 陈晓农(1965—), 男(汉), 教授, 博士; 研究方向: 材料表面改性、生物医用材料; E-mail: chenxn@mail.buct.edu.cn

引用格式: 宋美艳, 赵曼, 石淑先, 等. 微球构筑防污减阻涂层的制备[J]. 中国表面工程, 2018, 31(5): 134-141.

SONG M Y, ZHAO M, SHI S X, et al. Preparation of anti-fouling and drag reduction coating constructed by microspheres[J]. China Surface Engineering, 2018, 31(5): 134-141.

0 引言

海洋中船舰的航行受到水的流动阻力,航速越高、动力损耗越大。根据理论推算,在动力一定的条件下,若将阻力减小10%,则水下航行器的航行速度和航程可以同时增加约3.57%^[1]。生物垢在航行器表面附着会导致船体自重增加、航行阻力增大,并腐蚀船体。水生物分泌的蛋白在船体表面产生非特异性吸附粘附是水生物在船体表面附着生长的初始阶段。抑制非特异性蛋白吸附,可以有效阻断水生物附着。因此,减阻和防污一直是船体和水下构件材料表面设计中需要关注解决的问题^[2-3]。

自然界中的生物经过长期的进化,有些结构具有特殊的功能。像鲨鱼、荷叶、血管壁等表面可以兼具防污与减阻的功能^[4]。鲨鱼皮表面纵向有序排列着微小的沟槽结构,这种结构有效减小了鲨鱼与水之间的流动阻力^[5];荷叶的表面存在大量微米级的乳突结构,乳突上又存在许多的纳米结构,这种特殊的乳突结构使得水在接触荷叶时不易润湿表面,摩擦力降低,而迅速滑移;血管内表面具有顺血流方向的微米级沟槽,沟槽表面分布着纳米尺度的突起^[6]。人工血管可构筑这种微纳米复合结构,使血管能够改变血液的流动状态,减少血液与血管内表面的摩擦力,同时减少血小板等的粘附,具有一定的减阻效果^[7]。因此,水下构件表面仿生学设计越来越受到关注。仿生减阻法的减阻率大都为10%~20%,实现途径多是通过真空铸造、刻蚀加工、模具复刻等方法,这些方法工艺繁琐,大面积实施相当困难^[8-9]。

聚乙二醇(PEG)的抗蛋白吸附性已经得到了证实并获得应用^[10-12]。Kim^[13]由RAFT聚合合成PGMA-b-PS嵌段聚合物,通过环氧开环接枝PEG合成PGMA-g-PEG-b-PS聚合物并制备成防污涂层,研究发现防污涂层的蛋白吸附量大大降低。Lundberg^[14]研究了基于PEG的光固化硫醇烯水凝胶涂层的海洋防污性能,结果显示接枝PEG的水凝胶涂层具有显著的抗蛋白吸附能力,抑制细菌吸附及硅藻沉积能力。郭睿威^[15]合成了两亲性梳形嵌段共聚物PSt-b-P(A-mPEG),与聚醚砜共混制得超滤膜,发现此滤膜对牛血清蛋白具有优异的抗吸附性。

受微纳米特殊结构的启发,文中基于仿生学

理念,通过表面含有“毛发状”PEG支链的聚苯乙烯微球,与丙烯酸酯聚合物乳液共混,采用经典涂覆干燥工艺构筑一种具有亲水微区的涂层,所得涂层表面具有减阻与防污双重性能。在涂层材料结构设计中,引入环氧基团,赋予微球和丙烯酸酯聚合物具有胺基交联反应活性,从而实现微球与涂层聚合物之间交联,避免微球脱落。为此,在制备PS微球和丙烯酸酯聚合物乳液时加入GMA作为共聚单体,引入环氧侧基。

研究所制备的涂层兼具减阻与防污性能,且涂覆法易于实现大面积制作,交联反应使涂层耐水稳定性好,有望为水下构件表面设计提供新途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苯乙烯(St)、甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)、甲基丙烯酸甲酯(MMA)、丙烯酸丁酯(BA),以上单体均为分析纯(百灵威科技有限公司),均经脱除阻聚剂并减压蒸馏精制后使用。聚乙二醇甲氧基单甲基丙烯酸酯(PEGMA,分子量2080, Aldrich),偶氮二异丁基脒盐酸盐(AIBA,分析纯,百灵威科技有限公司),聚乙烯亚胺(PEI,分子量2000,分析纯),异硫氰酸荧光素标记牛血清蛋白(BSA-FITC, LABLEAD),去离子水。

1.2 聚苯乙烯微球乳液的制备

以St为主单体,PEGMA为反应型大分子乳化剂,GMA为交联单体,AIBA为引发剂,通过乳液聚合法合成功能化聚苯乙烯微球。将3 g St、0.60 g PEGMA、0.15 g GMA、30 g 一级水加入到反应瓶中,将0.08 g AIBA溶于水加入到反应瓶中,开启机械搅拌(转速280 r/min)、通氮气30 min,于冷凝回流条件下加热至70 ℃,反应10 h。反应结束后,采用称重法计算乳液固含量为8.15%。透析7 d后,得到聚苯乙烯微球悬浮液,固含量为5.82%。

1.3 丙烯酸酯聚合物乳液的制备

以MMA、BA为主单体,GMA为交联单体,AIBA为引发剂,通过无皂乳液聚合法合成丙烯酸酯类基底乳液。将3.25 g MMA,1.75 g BA,0.12 g GMA,100.00 g 一级水加入到反应瓶中,将0.70 g AIBA溶于水加入到反应瓶中,开启机械

搅拌(转速 280 r/min), 通氮气 30 min, 在冷凝回流条件下加热至 70 ℃, 反应 24 h。反应结束后, 采用称重法计算乳液固含量为 4.52%。透析 7 d 后, 得到纯化产物, 固含量为 3.62%。

1.4 交联涂层的制备

将不同质量的聚苯乙烯微球乳液分别与丙烯酸酯聚合物乳液共混, 聚苯乙烯微球分别占混合液中固型物总量的质量分数分别为 0%、3%、6%、9%、12% 和 15%, 加入适量质量分数 1.0% 的 PEI 交联剂水溶液, 使混合液中的环氧基与 PEI 交联剂中的胺基摩尔比约为 1:1, 超声脱气 3 min, 室温涂覆于铝箔或玻璃片表面, 于 80 ℃ 加热烘干, 得到交联固化的涂层。

1.5 涂层抗蛋白吸附实验

涂层的蛋白吸附过程在避光、恒温(25℃)超净台中进行。采用异硫氰酸荧光素标记牛血清蛋白(BSA-FITC), 用浓度为 0.01 mol/L 的 pH 7.2 的 PBS 缓冲液将 BSA-FITC 稀释至 0.1 mg/mL, 将涂层浸入蛋白溶液中静置吸附 4 h, 用 PBS 缓冲液及去离子水将涂层表面蛋白溶液洗净, 干燥后用激光共聚焦显微镜进行涂层表面荧光测试。

1.6 涂层减阻实验

减阻实验使用旋转粘度计进行扭矩测试, 以扭矩值的大小表征涂膜对水的流体力学阻力, 从而确定减阻效率。测试装置示意图如图 1 所示。测试装置参数设置: 转子转速为 60 r/min, 转筒内水恒温(25±0.5)℃。将涂层贴覆于粘度计转子表面, 进行测试, 待读数稳定后, 读取粘度计显示值。根据粘度计显示值和扭矩的关系(公式(1)), 将粘度计显示值换算为扭矩值, 依据公式(2)计算涂层的减阻率。每个配方涂层测试 5 次, 取平均值。

$$\eta = \frac{T}{4\pi h\omega} \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{r^2} \right) \quad (1)$$

其中 η 为粘度计显示值, T 为扭矩, h 为转子高度, ω 为转子转速, R 为套筒半径, r 为转子半径。

$$DRE = \frac{T_0 - T_i}{T_0} \times 100\% \quad (2)$$

其中 DRE 为减阻率, T_i 为减阻涂层测试所得扭矩值, T_0 为对照涂层测试所得扭矩值。

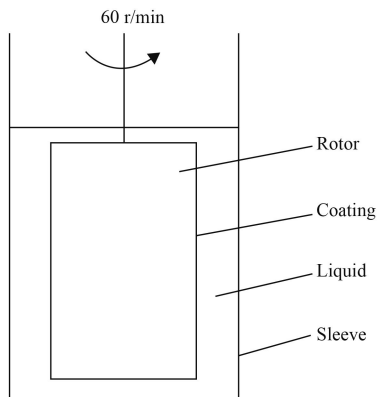


图 1 扭矩法减阻测试装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the drag reduction testing device based on torque measurement

1.7 测试与表征

利用 Thermo Nicolet 6700 红外光谱仪(热电尼高力, 美国)对聚合物微球进行红外测试, 利用 AV400 的核磁共振波谱仪(Bruker, 瑞士)对聚合物微球进行核磁共振测试($^1\text{H-NMR}$, 氘代氯仿为溶剂), 利用 BIC90 Plus Zeta 电位/粒度仪(Brookhaven Instruments, 美国)表征微球乳液的粒度和电位, 利用扫描电镜(Hitachi S-4700, 日本)表征涂层表面形貌, 利用 JC2000C1 接触角测量仪(上海中晨数字技术有限公司)对涂层进行水接触角测试, 利用徕卡 SP8 激光共聚焦显微镜(徕卡, 德国)对蛋白吸附涂层进行荧光测试。

2 结果与讨论

2.1 微球的组成及粒度表征

图 2 为微球聚合物的红外图谱。如图 2 所示, 1726 cm^{-1} 处的吸收峰是 PEGMA 中酯基的特征峰, 1108 cm^{-1} 处的吸收峰是 PEGMA 中 $-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 链节的特征峰, 1374 cm^{-1} 、942 cm^{-1} 和 843 cm^{-1} 处的吸收峰是 GMA 中环氧基的特征吸收峰。由此可以看出, PEGMA 和 GMA 均与苯乙烯发生了共聚。

图 3 所示是功能化聚苯乙烯微球聚合物的核磁氢谱, 图中 a 峰为 St 中苯环上的 H 谱峰, b 峰为 PEGMA 单元($-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$)的 H 谱峰。以 a 峰为基准, 对各峰进行积分求得峰面积, 得到 a、b 两峰的峰面积分别为 1 和 2.43, 计算得到产物中 $-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-/ \text{St}$ 的摩尔比为 0.33。根据投料摩尔比为 0.45, 计算得到 PEGMA 的接枝

效率为 73%, 即所添加的 PEG 大分子单体中, 有 73% 参与共聚, 在 PS 微球表面形成 PEG 分子刷。

图 4 为聚苯乙烯微球的粒径分布及其 SEM 形貌。由聚苯乙烯微球粒径分布可得, 微球的平均粒

径为 (92.3 ± 2.5) nm, 多分散系数为 0.023, 呈现单分散性。同时聚苯乙烯微球的 SEM 形貌也证明微球大小均一。由粒度电位仪测试得聚苯乙烯微球的电泳迁移率为 $0.86 (\mu\text{s})/(\text{V}/\text{cm})$, 微球表面带正电。

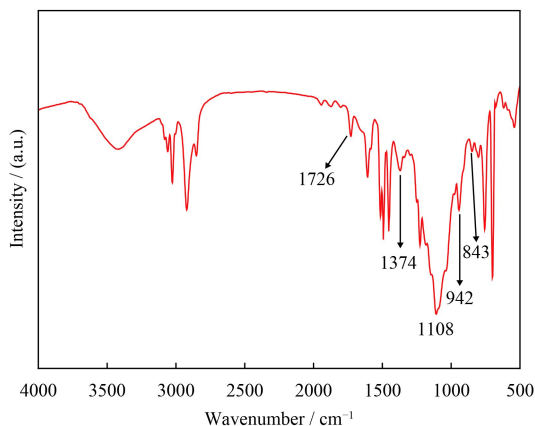


图 2 聚苯乙烯微球聚合物的红外图谱

Fig.2 FTIR spectrum of the polystyrene microsphere polymer

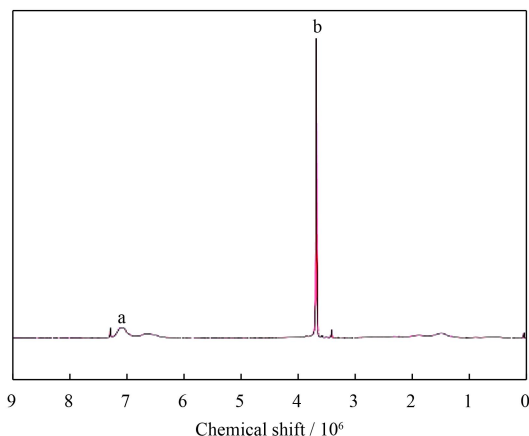


图 3 聚苯乙烯微球聚合物的¹H-NMR 图谱

Fig.3 ¹H-NMR spectrum of the polystyrene microsphere polymer

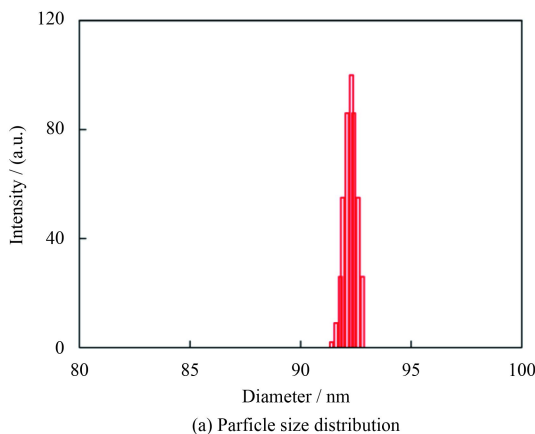


图 4 聚苯乙烯微球的粒径分布及 SEM 形貌

Fig.4 Particle size distribution and SEM image of polystyrene microspheres

2.2 涂层的表面形貌、润湿性及稳定性

图 5 为不同微球含量 (质量分数, 下同) 的涂层 SEM 形貌, 其中图 5(a) 为未添加微球的涂层, 涂层表面无微球存在。随着微球含量由 3% 增加至 6%, 涂层表面微球量增大, 排布趋于紧密。当微球含量增加至 9%, 涂层表面出现微球堆积。

交联涂层的润湿性如图 6(a) 所示。不添加聚合物微球所得到的涂层, 静态水接触角为 $84^\circ \pm 2^\circ$, 随着微球含量的增加, 涂层的接触角降低, 亲水性增强。当微球含量为 15% 时, 涂层接触角下降至 $67^\circ \pm 2^\circ$ 。这是由于微球表面具有亲水性的 PEG 支链, 随着微球含量增加, 涂层表面 PEG 数

量增大, 表现出亲水性增强。

通过交联及未交联涂层水中振荡 30 d 前后接触角的变化来表征涂层的稳定性。从图 6 可以看出, 交联涂层振荡 30 d 前后接触角基本不变, 未交联涂层振荡 30 d 后的接触角高于振荡前的接触角。交联涂层中微球与微球、涂层之间都存在化学键交联 (如图 7 反应式所示), 振荡前后涂层接触角基本不变, 微球难以发生脱落, 耐水稳定性好。而未交联涂层不存在交联结构, 振荡后涂层的接触角高于振荡前, 微球发生脱落, 耐水稳定性差。由此表明, 交联反应大大改善了涂层的耐水稳定性。

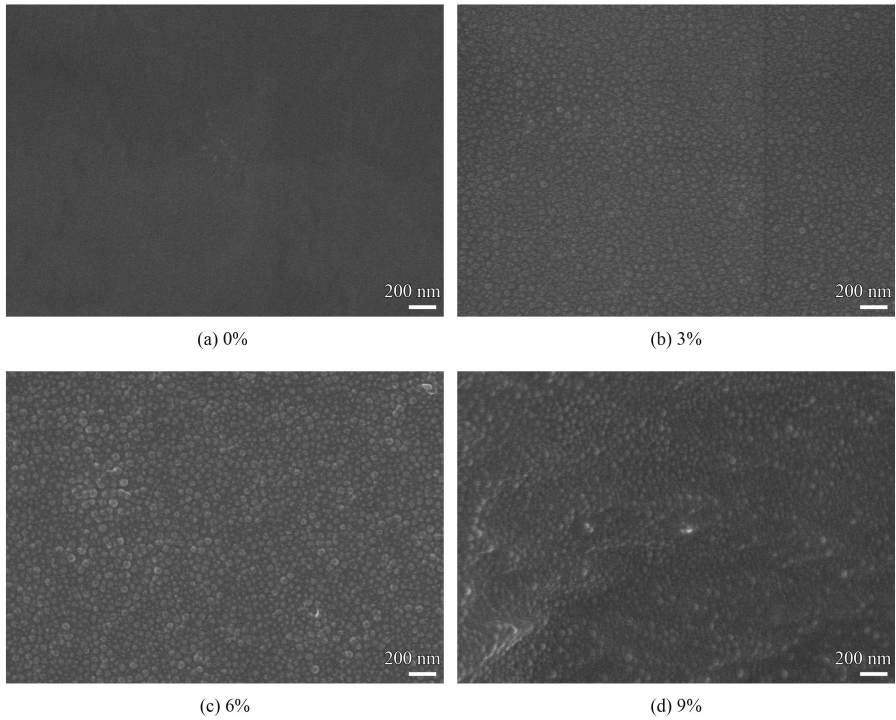


图 5 不同微球含量的涂层 SEM 形貌

Fig.5 SEM images of coatings with different content of microspheres

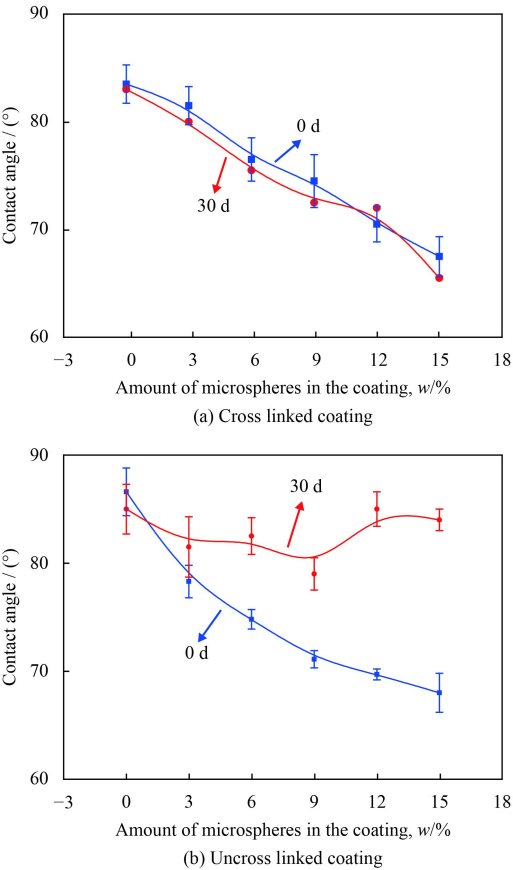


图 6 不同微球含量涂层水中振荡 30 d 前后的水接触角

Fig.6 Contact angles of coatings containing different amount of microspheres before and after shaking 30 days in water

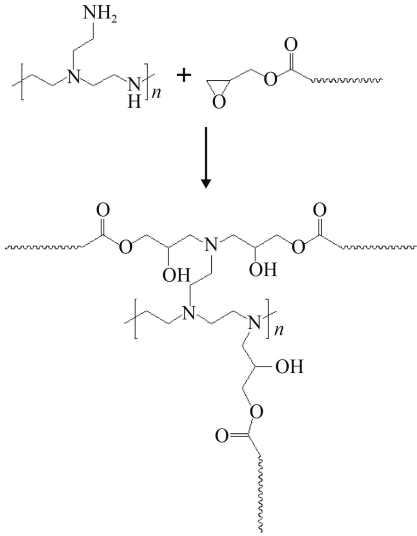


图 7 微球与丙烯酸聚合物涂层间的交联反应式

Fig.7 Cross-linking reaction between microspheres and the acrylic polymer within the coating layer

2.3 涂层的防污性

通过涂层表面的蛋白吸附实验，表征涂层的防污性能。涂层表面的蛋白吸附量越低，表明涂层的表面的防污性能越好。选用异硫氰酸荧光素标记的牛血清蛋白进行涂层表面的吸附实验。图 8 为蛋白吸附后涂层的激光共聚焦形貌。从图中可以看出，未添加微球的涂层 (图 8(a)) 显示高亮度

荧光, 表面吸附了大量荧光蛋白; 微球含量为 3% 时, 涂层表面无大面积荧光出现, 仅有少量块状荧光区域和微弱荧光斑点; 当微球含量达到 6% 后, 涂层表面仅有微弱荧光斑点。微球含量达到 15% 时, 几乎看不到荧光斑点。显然, 随着微

球含量增大, 涂层表面的荧光越来越弱, 表明蛋白吸附量越来越少。这是由于微球表面含有毛发状 PEG 链, 随着微球含量的增大, 涂层表面的 PEG 分子链数量随之增加, 使得荧光蛋白吸附量越来越低。

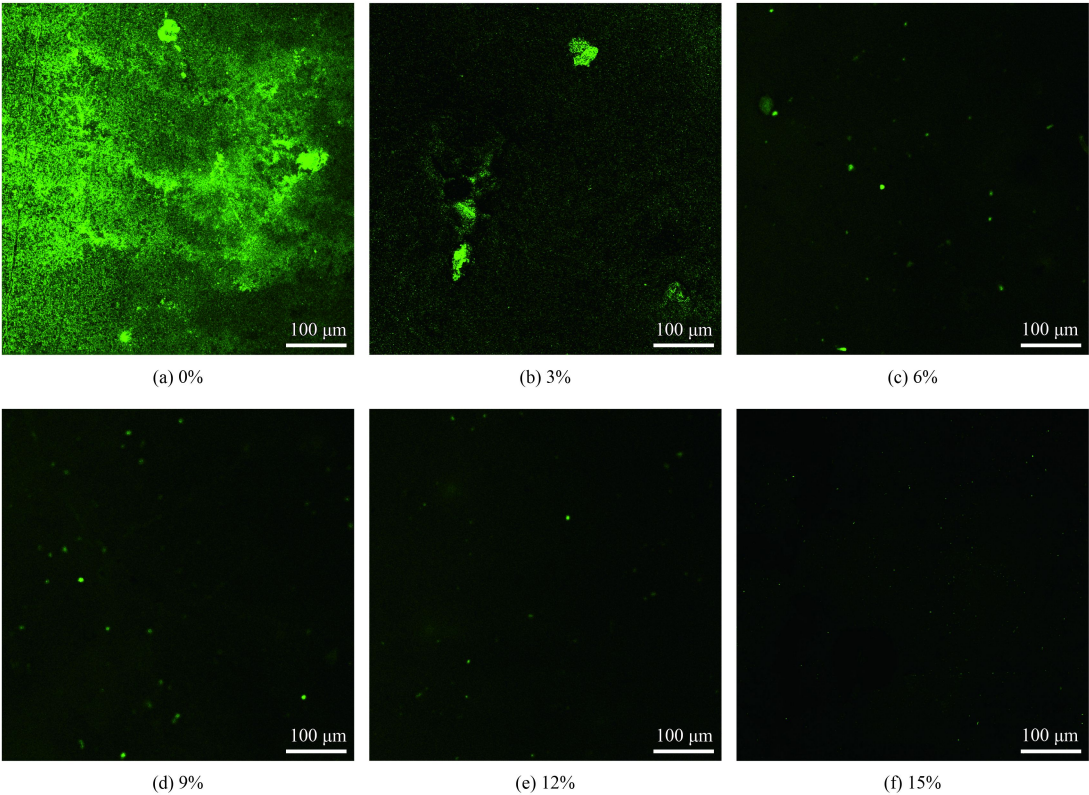


图 8 不同微球含量涂层表面荧光蛋白吸附状况

Fig.8 Adsorption of BSA-FITC on the coating surface containing different amount of microspheres

对所得荧光图像用 Image J 软件读取荧光强度值, 得到图 9 所示的结果。图中显示, 未添加微球的交联涂层的荧光强度为 119, 微球含量为

3%、6%、9%、12% 和 15% 的交联涂层的荧光强度分别为 21、15、13、12 和 4。添加微球后, 交联涂层的荧光强度大幅降低, 蛋白吸附量明显减弱。当微球含量为 15% 时, 基于荧光强度计算的抗蛋白吸附效率可达到 97%。

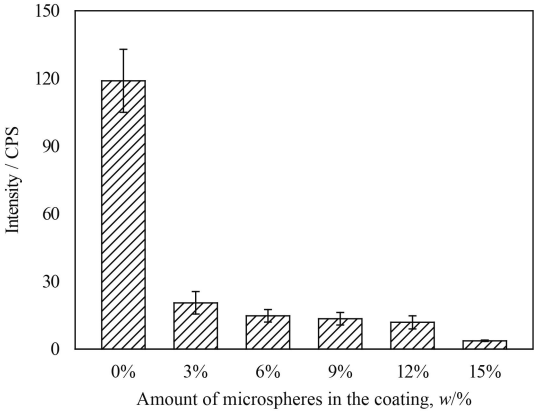


图 9 吸附蛋白后不同微球含量涂层的荧光强度

Fig.9 Fluorescence intensity of the coatings containing different amount of microsphere after protein adsorption

2.4 涂层的减阻性

涂层的减阻率以未添加微球的涂层作为对照, 从图 10 可以看出, 微球构筑的涂层均有良好的减阻效果。当微球含量低于 6% 时, 随着涂层中微球含量的增加, 涂层的减阻率增大。在微球含量为 6% 时, 涂层减阻率达到最大 21%。此时, 涂层表面微球含量达到饱和排列, 涂层表面 PEG 支链数量达到最大, 且涂层平整无褶皱 (参见图 5 SEM 形貌), 因而减阻效果最好。当微球含量高于 6% 后, 随微球含量增加, 涂层表面微球发

生堆积,涂层出现褶皱,反而对减阻产生不利影响。

图 11 为微球构筑的交联涂层的结构示意图,PS 微球表面富含 PEG 支链,且与涂层形成交联结构,形成一种在丙烯酸酯类聚合物基底中,由 PS-PEG 微球构筑的亲水微区的涂层表面结构,PEG 是柔顺性亲水支链,在水流作用下可以发生摆动产生润滑效应,而微球之间的微流道可以减缓水流湍动^[16],两种因素共同作用,达到仿生减阻效果。

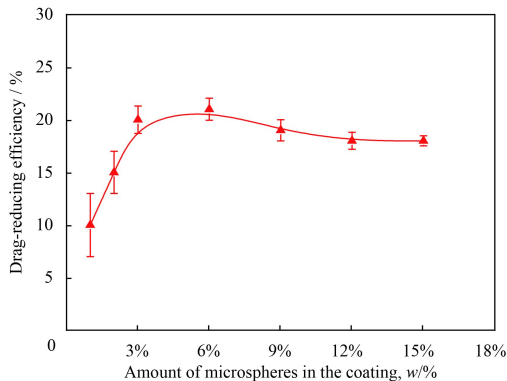


图 10 不同微球含量交联涂层的减阻率

Fig.10 Drag reduction efficiency of the coatings containing different amount of microsphere

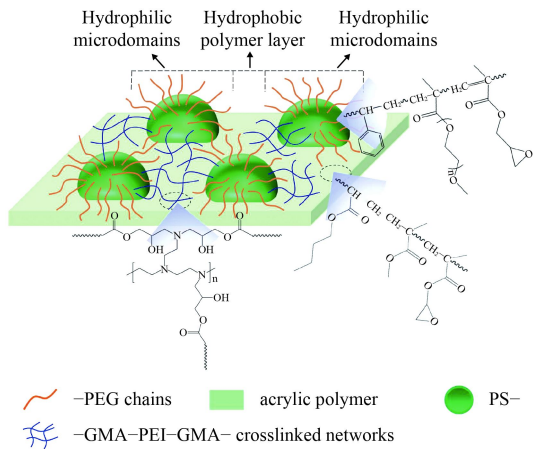


图 11 微球构筑的交联涂层微结构示意图

Fig.11 Schematic diagram of the coating structured by microsphere structure

3 结 论

(1) 采用乳液聚合法,制备了单分散聚苯乙烯功能微球,该微球表面具有亲水性 PEG 支链和可进行交联的环氧基。制备的适宜单体配方为 St : PEGMA : GMA 质量比 50 : 10 : 1,微球平均粒径为 (92.3 ± 2.5) nm。制备了丙烯酸酯聚合物乳

液,该乳液单体配方为 MMA : BA : GMA 质量比 25 : 15 : 1。将所得微球乳液与丙烯酸酯聚合物乳液共混,通过涂覆法制作了具有微球构筑的亲水微区的涂层。扫描电镜图像显示,随微球含量增加,涂层表面微球排布愈加紧密,当微球含量达到 9% 后,微球开始发生堆积。接触角测试表明,随着涂层中微球含量的增加,涂层表面水接触角由 $84^\circ \pm 2^\circ$ 降低至 $67^\circ \pm 2^\circ$,亲水性增强;交联涂层在水中振荡 30 d 后水接触角基本不发生变化,表明涂层表面耐水稳定性好。

(2) 采用异硫氰酸荧光素标记的牛血清蛋白对所得涂层进行蛋白吸附,当涂层中微球含量从 0% 增加到 15% 时,涂层表面的蛋白吸附量大幅下降,荧光强度从 119 下降到 4,抗蛋白吸附效率达到 97%。

(3) 微球构筑的仿生涂层具有显著减阻效果。以微球含量为 0% 的涂层作为对照,当涂层中微球含量从 3% 增加到 15% 时,涂层减阻率先增后趋于平稳的趋势。当微球含量为 6% 时,涂层减阻率最大,达到 21%。

参考文献

- [1] DEAN B, BHUSHAN B. Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow: A review[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A-Mathematical Physical & Engineering Sciences, 2010, 368(1929): 4775-4806.
- [2] ABDULBARI H A, MASHAMMED H D, HASSAN Z B Y. Bio-inspired passive drag reduction techniques: A review[J]. Cuadernos Geográficos De La Universidad De Granada, 2015, 2(3): 409-436.
- [3] BECHERT D W, BRUSE M, HAGE W, et al. Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with an adjustable geometry[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1997, 338(1997): 59-87.
- [4] CHEN H, ZHANG X, MA L, et al. Investigation on large-area fabrication of vivid shark skin with superior surface functions[J]. Applied Surface Science, 2014, 316(1): 124-131.
- [5] MAX O, KRAMER. Boundary layer stabilization by distributed damping[J]. Naval Engineers Journal, 2015, 74(2): 341-348.
- [6] WANG Y, LIU X, ZHANG H, et al. Superhydrophobic surfaces created by a one-step solution-immersion process and their drag-reduction effect on water[J]. RSC Advances, 2015, 5(24): 18909-18914.

[7] FAN H, CHEN P, QI R, et al. Greatly improved blood compatibility by microscopic multiscale design of surface architectures[J]. *Small*, 2009, 5(19): 2144-2148.

[8] TAGHVAEI E, MOOSAVI A, NOURI-BORUJERDI A, et al. Superhydrophobic surfaces with a dual-layer micro- and nanoparticle coating for drag reduction[J]. *Energy*, 2017, 125: 1-10.

[9] TANG L, ZENG Z, WANG G, et al. Investigation on superhydrophilic surface with porous structure: drag reduction or drag increasing[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2017, 317: 54-63.

[10] YAN Y L, CUI M Y, JIANG W D, et al. Drag reduction in reservoir rock surface: Hydrophobic modification by SiO₂, nanofluids[J]. *Applied Surface Science*, 2017, 396: 1556-1561.

[11] PU X, LI G, HUANG H. Preparation anti-biofouling and drag-reduction properties of a biomimetic shark skin surface[J]. *Biology Open*, 2016, 5(4): 389-396.

[12] LOURRINCO B N, MARCHIOLI G, SONG W, et al. Wettability influences cell behavior on superhydrophobic surfaces with different topographies[J]. *Biointerphases*, 2012, 7(1-4): 1-11.

[13] KIM S M, HAN S S, KIM A Y, et al. Anti-biofouling effect of PEG-grafted block copolymer synthesized by RAFT polymerization[J]. *Journal of Nanoscience & Nanotechnology*, 2015, 15(10): 7866-7870.

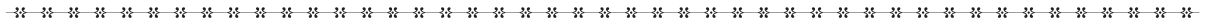
[14] LUNDBERG P, BRUIN A, KLIJNSTRA J W, et al. Poly(ethylene glycol)-based thiolene hydrogel coatings-curing chemistry, aqueous stability, and potential marine anti-fouling applications[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2010, 2(3): 903-912.

[15] 郭睿威, 赵书英, 马小乐, 等. 两亲梳型嵌段共聚物的合成及其共混改性聚醚砜超滤膜的抗污染性研究[J]. *膜科学与技术*, 2008, 28(2): 27-32.

GUO R W, ZHAO S Y, MAN X L, et al. Synthesis of two comb type block copolymer and its antifouling properties of polyethersulfone ultrafiltration membrane[J]. *Membrane Science and Technology*, 2008, 28(2): 27-32 (in Chinese).

[16] ABDULBARI H A. Bioinspired micro-nanostructured surfaces for oil drag reduction in closed channel flow[J]. *Journal of Engineering & Applied Sciences*, 2016, 11(4): 2146-2152.

(责任编辑: 常青)



• 本刊讯 •

PVD 涂层国际标准分委会专家委员会第二次会议将在马鞍山召开

2018 年 11 月 3—4 日, 由国际标准化组织物理气相沉积涂层分委员会主办, 安徽工业大学现代表面工程研究中心承办的 PVD 涂层国际标准分委会专家委员会第二次会议暨“一带一路”国际合作项目交流会将在安徽省马鞍山市召开。

此次会议的主要议题包括: ①介绍 ISO/TC107 金属及无机非金属涂层国际标准委员会和 ISO/TC107/SC9 PVD 涂层国际标准分委会会议, 并邀请专家做国际标准提案制订培训会; ②征集国际标准提案, 研讨提案的可行性, 并确定推荐参加第 31 届 ISO/TC107 国际标准年会(2019 年 2 月 25—28 号, 韩国安山市)项目; ③围绕“一带一路”国际合作项目, 讨论国际标准提案制订及评审流程合作事宜。

联系人: 林玥 0555-2315291/13295558170; E-mail: 20160045@ahut.edu.cn

(安徽工业大学 张世宏教授 供稿)