喷砂-电刷镀制备疏水耐腐蚀复合结构

李晶^{1*}, 李红¹, 杜锋², 赵言辉¹, 于化东¹

1. 长春理工大学机电工程学院, 长春 130022;

2. 装甲兵技术学院机械工程系, 长春 130117

* 联系人, E-mail: jl2015edu@163.com

2016-07-26 收稿, 2016-10-08 修回, 2016-10-08 接受, 2017-03-21 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 采用喷砂-电刷镀相结合的方法, 在碳钢表面制备出具有疏水耐腐蚀性能的微-纳复合结构. 在最佳工艺参数下, 获得接触角达到 $149.3^\circ \pm 2.5^\circ$ 的疏水表面. 对喷砂-电刷镀相结合制备试样表面形貌、接触角以及耐腐蚀性进行表征. 结果表明: 喷砂与电刷镀结合工艺构筑的表面复合结构具有优异的疏水特性和良好的耐腐蚀性, 且试样表面的平均腐蚀电流密度下降1~2个数量级, 腐蚀电位也均有所提高. 可见, 通过在碳钢表面设计喷砂-电刷镀结合工艺构筑微-纳复合结构可以获得优异疏水耐腐蚀特性.

关键词 喷砂-电刷镀, 碳钢, 疏水, 耐腐蚀, 微-纳复合结构

润湿性是固体表面固有的特性之一, 也是影响固体使用性能的一个重要因素. 为解决生产生活中的需要, 研究人员向具有特殊性能的动植物学习, 模仿荷叶、玫瑰花瓣、蜻蜓、蝴蝶翅膀等表面效应制备具有超疏水、自清洁、高黏附、各向异性等^[1~7]功能表面. 目前, 仿生制备具有疏水性能材料已被广泛应用于工业生产和日常生活中. 并且, 已有越来越多的制备方法. 目前, 主要还是在高表面能固体表面构造粗糙结构, 然后再对表面进行低表面能物质修饰或者直接在低表面能固体表面构筑粗糙结构获得具有疏水性能的功能表面. 但是, 现在具有复合功能的疏水表面大都需要两种或多种方法相结合制备获得. 例如, 宋金龙等人^[8]在铝基(纯度>99%)表面采用电化学和化学加工方法处理, 经修饰后获得超双疏性能. Liu等人^[9]在AZ91D镁合金材料表面采用激光加工和化学刻蚀相结合方法, 经修饰后获得优异疏水性和良好耐腐蚀性. Wang等人^[10]以AA6061铝合金为基底, 采用刻蚀与水热法相结合, 经修饰后表面静态

接触角达到 161° , 滚动角 3° . 李彤等人^[11]采用碱性刻蚀与化学修饰结合的方法制备出具有超疏水特性的减反增透的玻璃表面. 康志新等人^[12]、Boinovich等人^[13]和Frank等人^[14]分别以Ti片、ZnO/PDMS复合材料和不锈钢为基底, 采用热氧化法、密集纳秒脉冲激光、喷砂与自组装相结合的方法制备出具有超疏水性能的功能表面. Cao等人^[15]和Wu等人^[16]使用溶胶-凝胶法与其他方法相结合, 分别以氧化硅和三氯化铝为原料制备出稳定的超疏水表面. 虽然这些方法均能制备出有疏水特性的功能表面, 但是大都具有操作复杂、化学修饰费用增加的问题.

当前, 钢材以其良好的机械性能、较低的价格、采购方便等优点广泛应用于生产生活中. 本文采用喷砂与电沉积相结合的方式在碳钢表面构筑出微-纳复合结构. 该复合方法构建的镍镀层, 未经任何低表面能修饰的情况下, 表现出良好的疏水性和耐腐蚀性. 而且喷砂方法在处理金属表面方面具有通用性强、效率高的优点, 还能够增加基底与镀层之间的附

引用格式: 李晶, 李红, 杜锋, 等. 喷砂-电刷镀制备疏水耐腐蚀复合结构. 科学通报, 2017, 62: 1307~1314

Li J, Li H, Du F, et al. Fabricated composite structure with hydrophobicity and anti-corrosion by sandblasting and electro-brush plating (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 1307~1314, doi: 10.1360/N972016-00823

着力. 电沉积方法所用到的设备具有体积小、质量轻、操作简单, 而且电源输出稳定、节能等特点. 所以, 采用喷砂和电刷镀技术相结合的方法制备疏水表面具有操作方便、成本低廉等优点.

1 试验与表征

(i) 试验材料. 碳钢, 牌号45#, 通化钢铁集团股份有限公司(中国); 硫酸镍分析纯, 北京振海应用化学所(中国); 柠檬酸分析纯、氨水分析纯、乙酸铵分析纯, 北京永定化工厂(中国).

(ii) 试样制备. 使用线切割机将45#钢材切割成10 mm×10 mm×1 mm的试样, 然后对试样进行逐级抛光去除切割纹理, 使表面粗糙度 R_a 在0.1~0.3 μm 之间. 然后进行喷砂处理, 采用金钢砂, 粒度为150~200目, 喷砂机喷嘴的出口气体压力为0.7 MPa, 喷嘴距基体表面的距离为10~15 cm, 喷嘴与基体表面之间大约呈80°~90°, 喷砂时间为15 s. 最后采用电刷镀技术在喷砂基底表面进行镍沉积. 镀液主要成分为0.712 mol/L的 NiSO_4 , pH为7~8, 刷镀时间为3 min, 刷镀电压分别为6, 8, 10, 12, 14和16 V, 并且各

试样的制备环境温度以及其他试验参数均相同.

(iii) 试样表征. 采用扫描电子显微镜(SEM, EM-30, COXEM, 韩国)观测其表面形貌; 采用扫描电子显微镜上X射线能谱模块对试样进行能谱分析(EDS); 采用光学接触角测量仪(OCA15 Pro, Dataphysics)在室温环境下(约20℃)对试样表面进行接触角测量(测量时所采用的液体为去离子水, 液滴体积为4 μL , 每个试样测试5个点, 然后取平均值); 采用电化学工作站(Ivium-n-state), 在室温下将制备试样置于3.5 wt%的NaCl溶液中, 利用Tafel曲线法进行腐蚀性测试.

2 结果

2.1 表面微观结构

经过不同加工方式制备试样表面的形貌和液滴在表面接触角的大小, 如图1所示. 图1(a)为抛光试样基底, 其表面光滑, 液滴在其表面的接触角为67°; 抛光试样经过喷砂处理后表面形貌如图1(b)所示, 表面构筑的粗糙结构高低不平, 形成I级粗糙结构, 表

图1 不同加工试样表面SEM和接触角图像. (a) 抛光; (b) 喷砂; (c) 电刷镀; (d) 喷砂-电刷镀

Figure 1 SEM and CA of different processed samples surfaces. (a) Polishing; (b) sandblasting; (c) brush plating; (d) sandblasting and electro-brush plating

面静态接触角则增加到 118° ，具有疏水性；图1(c)和(d)则是相同试验条件下，在抛光基底和喷砂基底上进行电刷镀处理形成Ⅱ级粗糙结构，表面接触角分别为 142.4° 和 149.3° ，均获得优异的疏水性能，并且表面晶粒成簇分布，呈菜花状。但是，结合加工方式制备试样表面的镀层与单一刷镀方式制备的试样表面相比，镀层的晶粒簇不仅分布均匀，间隙大，而且表面接触角也相对增大。从不同试样表面形貌、接触角值可知：在高表面能金属表面构筑一定的粗糙结构可以改变表面的润湿性能，使其从亲水状态转变成疏水状态；而结合加工方法制备获得多级结构的试样表面可以获得更优异的疏水性能。

在喷砂基底表面，通过调整电刷镀电压获得不同结构形貌，如图2所示。从图中可以看出，随着电

压增大，镀层表面晶粒簇的形貌和间距均增大。在试样制备过程中，改变刷镀电压，溶液中金属离子的沉积速度会随之改变，进而形成形态、大小以及分布不同的晶粒团簇结构。在刷镀电压从6~16 V的变化过程中，电压14 V时，沉积的金属离子团簇结构大小、分布最趋于均匀，如图2(e)所示。当刷镀电压增加到16 V时，由于刷镀电压过高，镍离子沉积过快，各向生长不均匀，使试样表面镍离子团簇结构开始变得粗糙、疏松，如图2(f)所示。

通过Nano measurer软件对不同电压制备试样表面SEM图像进行测量。由于在试样制备过程中，刷镀电压在6和8 V时，试样表面未形成明显的晶粒簇，且晶粒之间成粘连状态，所以表1中仅给出刷镀电压为10~16 V时所制备试样表面晶粒簇和间隙大小统计

图2 结合加工方式制备试样表面SEM图像. (a) 6 V; (b) 8 V; (c) 10 V; (d) 12 V; (e) 14 V; (f) 16 V

Figure 2 Morphologies of the samples prepared by sandblasting and electro-brush plating. (a) 6 V; (b) 8 V; (c) 10 V; (d) 12 V; (e) 14 V; (f) 16 V

表1 结合方式制备部分试样结构参数统计结果

Table 1 Statistical result of structural parameters of a part of samples prepared by the method of combination

刷镀电压 U (V)	直径 D (μm)	间距 P (μm)
10	20.16	17.34
12	22.02	30.02
14	21.26	31.89
16	27.06	37.37

参数. 从具体的统计参数可知: 在刷镀电压为10 V时, 试样表面晶粒簇直径大于晶粒簇之间间隙, 使表面比较紧密. 伴随刷镀电压的增大, 制备试样表面晶粒簇和间隙均增大. 不同的是: 晶粒簇之间的间隙大于晶粒簇, 表面不再拥簇. 在最佳刷镀电压14 V时, 表面晶粒簇被细化, 由12 V电压作用下平均直径22.02 μm 变为平均直径21.26 μm . 但是, 表面晶粒簇之间的间隙仍然增加, 变为平均间距31.89 μm . 此时, 试样表面晶粒簇和间隙分布最合理, 表面获得最佳疏水特性. 而当刷镀电压增加到16 V, 试样表面晶粒簇大小及其之间间隙急剧增加, 平均直径和间隙分别为27.06和37.37 μm .

2.2 表面结构成分

通过X射线能谱仪分析结合加工方式制备的试样表面成分, 结果如图3所示. 经过结合方式制备的复合结构镀镍层, 表面主要成分为Ni和O. 刷镀试样表面O元素的存在, 与试样在制备过程中以及表征过程中均暴露在自然环境中有关. 试样表面成分分析结果表明, 结合加工方式制备试样表面不存在低表面能材料.

2.3 表面结构润湿性

(i) 静态润湿性. 采用接触角测量仪测定试样表面接触角值, 并将测得的试样表面接触角绘制成图4所示. 在绘制接触角变化图时, 将喷砂基底视为刷镀电压0 V时结合加工方式制备的试样, 其表面的接触角值为 $118^\circ \pm 2^\circ$. 在不同刷镀电压的作用下, 试样表面的接触角呈线性增长. 当电刷镀电压增加到14 V时, 试样表面的接触角达到最大值 $149.3^\circ \pm 2.5^\circ$, 而电压继续增加到16 V时, 其表面的接触角减小到 $145.3^\circ \pm 3^\circ$.

通过对不同电刷镀电压制备试样表面接触角的测量发现: 在试样制备过程中, 喷砂处理后的试样,

图3 结合加工方式制备试样表面EDS图

Figure 3 EDS diagram of sample surface prepared by sandblasting and electro-brush plating

图4 (网络版彩色)不同电刷镀电压制备试样表面静态接触角变化图

Figure 4 (Color online) Trends of static contact angle on the sample prepared by different electro-brush plating voltages

由于粗糙度的变化已呈现疏水状态, 静态接触角达到 $118^\circ \pm 2^\circ$. 再经刷镀沉积镍形成复合结构后, 试样表面疏水性得到较大提高, 表面静态接触角最大达到 $149.3^\circ \pm 2.5^\circ$. 从抛光基底到喷砂基底, 表面疏水性的改变, 说明试样表面粗糙度能改变其表面的润湿性. 由喷砂基底表面到再经电刷镀处理形成复合结构, 使试样表面润湿性获得较大变化, 说明试样表面沉积的金属离子改变了其表面的微结构, 影响了试样表面润湿状态. 同时也说明通过构筑特殊结构可以直接获得优异的疏水特性.

(ii) 动态润湿性. 为全面了解试样表面的润湿性能, 用加减液滴的方法测定试样表面的动态接触角(测量时, 采用液滴体积为4 μL), 具体测量数据如表2所示. 结合图4中各试样表面的静态接触角值可知: 喷砂试样表面接触角最小, 仅有 118° , 但是其表面的接触角滞后角最大, 最大滞后达到 15.7° . 当试样表面的静态接触角增大时, 表面的接触角滞后随其增大而减小. 在试样表面静态接触角增加到 149.3° 时, 表面的接触角滞后减小到 $5^\circ \sim 7^\circ$. 但是, 液滴在其表面仍具有较高的黏附性. 由此可知, 结合加工方式制备的试样表面接触角滞后与其静态接触角的大

表2 不同加工试样表面动态接触角

Table 2 Dynamic contact angle of different processed samples surface

试样	序号	前进角 (°)	后退角 (°)	接触角滞后 (°)
喷砂	1	121.4	105.7	15.7
	2	116.7	105.4	11.3
喷砂-电刷镀(12 V)	1	146.7	139.4	7.3
	2	147.1	138.4	8.7
喷砂-电刷镀(14 V)	1	152.6	147.5	5.1
	2	153.7	146.8	6.9
喷砂-电刷镀(16 V)	1	149.2	140.1	9.1
	2	148.4	140.5	7.9

小息息相关,但不能实现表面的自清洁。

(iii) 润湿性分析。目前,用于分析试样表面润湿性的Cassie模型认为,液滴在试样表面形成的是固-液-气三相接触界面,而非单纯的固-液接触界面。Cassie模型^[17]公式为

$$\cos \theta_R = f(1 + \cos \theta_0) - 1,$$

式中, θ_R 是复合接触表面的表现接触角, θ_0 是光滑表面的本征接触角(基体抛光后液滴在表面所呈现的接触角), f 是复合接触表面中固-液接触面上液滴与固体的实际接触面所占的面积比。

由Cassie模型公式可知,试样表面的接触面积比的大小直接影响试样表面的润湿性。将制备的不同试样的接触角值带入Cassie模型公式,计算出的 f 值如表3所示。制备试样的电压从6 V增加到14 V,液滴与固体表面的接触面积所占面积比随电压的增加而减小。当刷镀电压14 V时, f 值最小为0.1008,此时试样接触角最大。这充分说明液滴在试样表面的接触面积比越小,试样越容易获得优异疏水性能。

结合图3中各电压下试样表面静态接触角的大小变化趋势和图4中不同电压下试样表面形貌变化,以及根据Cassie模型计算的不同试样表面 f 值,可知:试样在制备过程中,刷镀电压的变化直接影响金属离子形成晶粒簇结构的大小和分布,而晶粒簇和间隙之间的分布影响试样表面接触角的大小。在刷镀过程中,随着刷镀电压的增大,刷镀电流密度随之增大,金属离子的沉积速度加快,使试样表面晶粒簇和间隙随之增长。在刷镀电压14 V时,试样表面晶粒簇和间隙分布合理,且表面孔隙率达到最佳状态。试样表面金属离子的这种分布状态,使其具有最大的空气捕捉能力,从而使液滴在试样表面接触角最大,固

表3 液滴在不同刷镀电压试样表面的固-液实际接触面积比

Table 3 Actual contact area ratio of liquid drop on the surface of different brush plating voltage sample

刷镀电压 U (V)	f 值
0	0.3882
6	0.3440
8	0.2823
10	0.1898
12	0.1440
14	0.1008
16	0.1279

液接触面积最小,获得优异的疏水性能。但是,当刷镀电压增大到16 V及以上时,由于刷镀电流密度偏高,沉积速度过快,使金属晶体在金属离子容易扩散的方向上快速生长,晶格各向生长不均匀,导致镀层表面微观结构疏松、粗糙,使试样表面疏水性能下降。

3 耐腐蚀性

材料表面的抗腐蚀能力关系到材料使用周期的长短。为测试所制备试样的抗腐蚀性,将不同试样放入3.5 wt%的NaCl溶液中进行腐蚀性测试。

图5为不同试样的极化曲线谱图,经Tafel曲线外推法计算所得腐蚀电位和腐蚀电流密度,具体数据如表4所示。

试样具有较好的抗腐蚀能力就必须要有较低的腐蚀电流密度(I (A/cm²))、较高的腐蚀电位(E (V))以及较低的腐蚀速率(C (mm/y))。从图5中可以看出,

图5 (网络版彩色)碳钢表面在3.5 wt% NaCl溶液中的Tafel曲线
Figure 5 (Color online) Tafel curves for different carbon steel surfaces in 3.5 wt% NaCl solution

表4 碳钢表面在3.5 wt% NaCl溶液中的腐蚀参数

Table 4 Corrosion parameters of different carbon steel surfaces in 3.5 wt% NaCl solution

试样	序号	E (V)	I (A/cm ²)	R_p (Ohm)	ba	bc	C (mm/a)
抛光	1	-0.4931	6.34×10^{-6}	6164	0.11	0.506	0.2896
	2	-0.7396	4.11×10^{-6}	7519	0.072	0.159	0.0448
喷砂	1	-0.6399	1.34×10^{-5}	1666	0.112	0.079	0.3939
	2	-0.9114	2.34×10^{-5}	1252	0.388	0.082	1.067
喷砂-电刷镀(12 V)	1	-0.1965	7.92×10^{-7}	9.03×10^4	0.343	0.317	0.03616
	2	-0.3262	6.66×10^{-7}	4.65×10^4	0.12	0.086	0.007269
喷砂-电刷镀(14 V)	1	-0.4532	7.17×10^{-8}	1.52×10^6	0.672	0.278	0.005184
	2	-0.2117	2.89×10^{-8}	4.13×10^6	1.639	0.33	0.001319
喷砂-电刷镀(16 V)	1	-0.4272	7.40×10^{-8}	1.07×10^6	0.465	0.114	0.00338
	2	-0.766	5.19×10^{-8}	2.57×10^6	0.283	0.337	0.002368

结合方式制备的试样,其腐蚀电流密度相对于光滑试样和喷砂试样均下降;结合方式制备的试样,由于其表面静态接触角大小差异,导致其表面耐腐蚀能力不同.结合图5和表4可知:结合方式制备试样表面具有较好的抗腐蚀能力.试样表面微观结构在刷镀电压的作用下发生改变,其捕捉空气的能力随之发生变化.当刷镀电压为14 V时,试样表面晶粒簇和间隙分布相对均匀,获得最佳空气捕捉能力,进而获得最优异的疏水性能.同时,捕捉到更多的空气形成更大的空气膜层,使试样表面能更有效地阻止试样基底与腐蚀溶液中的氯离子接触,使腐蚀电流密度相对抛光试样下降2个数量级、腐蚀电位相对16 V电压也有所提高,腐蚀速率也相对减小,即具有较好疏水性的表面具有更有效的抗腐蚀能力.

4 结论

(1) 采用喷砂-电刷镀结合的方法在碳钢(45#)表面制备出具有疏水防腐性能的微-纳双尺度复合结构.

(2) 当试样表面晶粒簇和间隙结构分布相对最均匀、且具有最佳空气占有率时,表面静态接触角达到 $149.3^\circ \pm 2.5^\circ$.

(3) 经3.5 wt% NaCl溶液腐蚀性测试发现,结合方式制备的具有微-纳复合结构的表面,由于其表面能捕捉到更多的空气形成更大的空气膜层,疏水性得到改进的同时,也有效阻止了试样基底与溶液中氯离子接触,使其表面的腐蚀电流密度和腐蚀速率相对抛光基底分别下降2个和1个数量级,腐蚀电位也相应提高,从而提高了表面整体的抗腐蚀能力.

参考文献

- Zheng S L, Li C, Fu Q T, et al. Fabrication of self-cleaning superhydrophobic surface on aluminum alloys with excellent corrosion resistance. *Surf Coat Tech*, 2015, 276: 341–348
- Li W, Kang Z X. Fabrication of corrosion resistant superhydrophobic surface with self-cleaning property on magnesium alloy and its mechanical stability. *Surf Coat Tech*, 2014, 253: 205–213
- Sanjay S L, Chiaki T, Kazuya N, et al. Superhydrophobic surfaces developed by mimicking hierarchical surface morphology of lotus leaf. *Molecules*, 2014, 19: 4256–4283
- Ren L Q, Li X J. Functional characteristics of dragonfly wings and its bionic investigation progress. *Sci China Tech Sci*, 2013, 56: 884–897 [任露泉, 李秀娟. 蜻蜓翅膀功能特性及其仿生研究进展. *中国科学: 技术科学*, 2013, 43: 353–367]
- Wang J M, Wang C, Wang M C, et al. Effects of the distribution of micropapillae with nanofolds on the adhesive property of artificial red rose petals (in Chinese). *Chem J Chin Univ*, 2011, 32: 1807–1811 [王景明, 王春, 王明超, 等. 人造玫瑰花花瓣的微结构分布与水滴黏附性质的关系. *高等学校化学学报*, 2011, 32: 1807–1811]
- Wang K, Wang J M, Jiang L. Studies of the anisotropic property when water droplet moves on butterfly wings (in Chinese). *Chem J Chin Univ*, 2013, 34: 180–184 [王轲, 王景明, 江雷. 蝴蝶翅膀表面水滴各向异性黏附性质. *高等学校化学学报*, 2013, 34: 180–184]
- Darmanin T, Guittard F. Superhydrophobic and superoleophobic properties in nature. *Mater Today*, 2015, 18: 273–285

- 8 Song J L, Xu W J, Lu Y, et al. Research on electrochemical and chemical machining technology of superamphiphobic surfaces on Al substrates (in Chinese). *J Mech Eng*, 2013, 49: 182–189 [宋金龙, 徐文骥, 陆遥, 等. 电化学和化学加工法制备铝基体超双疏表面. *机械工程学报*, 2013, 49: 182–189]
- 9 Liu Y, Yin X M, Zhang J J, et al. Biomimetic hydrophobic surface fabricated by chemical etching method from hierarchically structured magnesium alloy substrate. *Appl Surf Sci*, 2013, 280: 845–849
- 10 Wang Y, Liu X W, Zhang H F, et al. Fabrication of self-healing super-hydrophobic surfaces on aluminium alloy substrates. *AIP Adv*, 2015, 5: 041314
- 11 Li T, He J H. Preparation of antireflective superhydrophobic glass surfaces via etching method (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2014, 59: 715–721 [李彤, 贺军辉. 刻蚀法制备具有减反增透和超疏水性质的玻璃表面. *科学通报*, 2014, 59: 715–721]
- 12 Kang Z X, Guo M J. Fabrication of superhydrophobic Ti surface by thermal oxidation and its anticorrosion property (in Chinese). *Acta Metall Sin*, 2013, 49: 629–634 [康志新, 郭明杰. 热氧化法制备超疏水 Ti 表面及其耐腐蚀性. *金属学报*, 2013, 49: 629–634]
- 13 Boinovich L B, Emelyanenko A M, Emelyanenko K A, et al. Anti-icing properties of a superhydrophobic surface in a salt environment: An unexpected increase in freezing delay times for weak brine droplets. *Phys Chem Chem Phys*, 2016, 18: 3131–3136
- 14 Frank M A, Boccaccini A R, Virtanen S. A facile and scalable method to produce superhydrophobic stainless steel surface. *Appl Surf Sci*, 2014, 311: 753–757
- 15 Cao L, Wan Y, Zhang Q. Fabrication and mechanical durability of superhydrophobic films on aluminum. *J Non-Cryst Solid*, 2015, 410: 35–38
- 16 Wu L Y L, Shao Q, Wang X C, et al. Hierarchical structured sol-gel coating by laser textured template imprinting for surface superhydrophobicity. *Soft Matter*, 2012, 8: 6232–6238
- 17 Cassie A B D, Baxter S. Wettability of porous surfaces. *Trans Faraday Soc*, 1944, 40: 546–550

Summary for “喷砂-电刷镀制备疏水耐腐蚀复合结构”

Fabricated composite structure with hydrophobicity and anti-corrosion by sandblasting and electro-brush plating

LI Jing^{1*}, LI Hong¹, DU Feng², ZHAO YanHui¹ & YU HuaDong¹

¹ College of Mechanical and Electric Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

² Department of Mechanical Engineering, Armor Technique University of PLA, Changchun 130117, China

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

The micro-nano composite structure on carbon steel substrate can be fabricated, and the composite structure not only has the property of hydrophobicity, but also has the property of corrosion resistance, which can be fabricated by combining a sandblasting technology and electro-brush plating method. The micro-nano composite structure fabricated by combining methods have been studied by the different preparation technology parameters, and then the different surface morphologies were obtained, at the same time, the different micro surface structures were formed. The parameters of the brush plating voltage plays an important part in this preparation process, so we can select the best parameters by changing the parameters of the brush plating voltage during the preparation process, and after the preparation process, hydrophobic surface has a bigger static contact angle than before, which is up to $149.3^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ without any modification. In this paper, the qualitative and quantitative analysis of various properties of the fabricated surface with the composite structure were studied by advanced techniques. The hydrophobic surface morphologies were investigated by means of scanning electron microscope (SEM), and the wettability of the surface were investigated by water contact angle measurements (WCA), the corrosion resistance of the fabricated surface on carbon steel substrate was investigated by potentiodynamic measurements. Through the above analysis, we can get a lot of corresponding results, and the results what we get showed that the micro-nano composite structure that constructed on the surface of carbon steel not only has the property of hydrophobic on the surface, and the hydrophobic surface also has the property of corrosion resistance by combining the technology of sand blasting and electro-brush plating. Moreover, based on potentiodynamic polarization measurement in 3.5 wt% NaCl solution, the average corrosion current density of the sample surface that was fabricated by combining methods on carbon steel substrate is decreased by 1–2 orders of magnitude, and which is also less 1–2 orders of magnitude than the bare carbon steel, and because of that, the corrosion rate is also decreased, and the corrosion electric potential has an ascending tendency because of the average corrosion current density decreased. So its corrosion resistance is improved after this preparation process. It is seen that, through the method that design of combining sandblasting technology and electro-brush plating method constructed on the surface of carbon steel, the micro-nano composite structure was obtained excellent properties which included hydrophobic and corrosion resistance.

sandblasting and electro-brush plating, carbon steel, hydrophobic, corrosion resistance, micro-nano composite structure

doi: 10.1360/N972016-00823