doi: 10.11933/j.issn.1007-9289.2015.06.009

304 不锈钢复合电镀镍-膨胀石墨导热性能*

蔡 敏¹,范海林²,林喜乐²,黄有国²,王红强^{2,3},李庆余^{2,4}

(1. 广西现代职业技术学院 资源工程系,广西 河池 547000; 2. 广西师范大学 化学与药学学院,广西 桂林 541004;3. 黄冈师范学院 化工学院,湖北 黄冈 438000; 4. 百色学院 化学与生命科学系,广西 百色 533000)

摘 要:通过一种简单而经济的电镀方法在 304 不锈钢表面制备镍-膨胀石墨复合材料,并对其导热性能进行研究。 通过扫描电子显微镜(SEM)、拉曼光谱(Raman)、X 射线衍射(XRD)和能谱仪(EDS)对镀层的显微形貌及结构进行表 征,通过激光粒度分布仪对膨胀石墨的粒径进行测定,通过激光导热仪测定复合镀层的导热系数。结果表明:膨胀石墨 呈片状结构,缺陷少且复合镀前后缺陷基本不变。复合镀层中膨胀石墨的原子数分数为 5.98%,且均匀分布。镍-膨胀 石墨/304 不锈钢的导热系数为 16.02 W/(m・K),相比于镍/304 不锈钢和 304 不锈钢,其导热系数分别提高了 9.7% 和 23.8%。膨胀石墨与 304 不锈钢表面及镍镀层接触良好,构成了良好的导热通道,提高了镍镀层的导热性能。

关键词:电镀;膨胀石墨;复合镀层;导热性能;镍镀层 **中图分类号:**TG174.441;TB333 **文献标志码:**A **文章编号:**1007-9289(2015)06-0062-08

Thermal Conductivity of Ni-expanded Graphite Composite Plating on Surface of 304 Stainless Steel

CAI Min¹, FAN Hai-lin², LIN Xi-le², HUANG You-guo², WANG Hong-qiang^{2,3}, LI Qing-yu^{2,4}

Natural Resource Engineering, Guangxi Modern Vocational and Technical College, Hechi 547000, Guangxi;
 School of Chemistry and Pharmaceutical Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, Guangxi;
 College of Chemical Engineering, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, Hubei;
 Department of Chemistry and Life science, Baise University, Baise 533000, Guangxi)

Abstract: Ni-expanded graphite composite was synthesized on the surface of 304 stainless steel (304 SS) through a simple and economical plating method and the thermal conductivity of Ni-expanded graphite composite was studied. The microscopic morphology and structure of the coatings were characterized by SEM, Raman, XRD and EDS. The particle size distribution of expanded graphite and the thermal conductivity of the coatings were characterized by laser particle size distribution analyzer and thermal conductivity measurement, respectively. The results show that expanded graphite sheets have scarcely defects before or after plating and the expanded graphite content is 5.98%. Ni-expanded graphite/304 SS with well dispersed expanded graphite exhibits a high thermal conductivity of 16. 02 W/(m \cdot K) at 298 K. Compared with the thermal conductivity of Ni/304 SS and 304 SS, the thermal conductivity of Ni-expanded graphite/304 SS is enhanced by 9.7% and 23.8%, respectively. Expanded graphite has good contact with Ni coatings and the surface of 304 SS, which constitutes paths of the heat conduction, and enhances the heat transfer performance of Ni coatings.

Keywords: plating; expanded graphite; composite coatings; thermal conductivity; Ni coating

收稿日期: 2015-05-03; 修回日期: 2015-10-05; 基金项目: *国家自然科学基金(21473042); 广西自然科学重点项目 (2013GXNSFDA019027)

通讯作者: 李庆余(1962-), 男(汉), 教授, 博士; 研究方向: 有色冶金、复合材料和新型碳材料; Tel: (0773) 5858 562; E-mail: QYL1962@126.com

网络出版日期: 2015-12-09 08:36; 网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20151209.0836.026.html
 引文格式: 蔡敏,范海林,林喜乐,等. 304 不锈钢复合电镀镍-膨胀石墨导热性能 [J]. 中国表面工程, 2015, 28(6): 62-69. Cai M,
 Fan H L, Lin X L, et al. Thermal conductivity of Ni-expanded graphite composite plating on surface of 304 stainless steel
 [J]. China Surface Engineering, 2015, 28(6): 62-69.

63

0 引 言

金属银、铜、金、铝等因具有良好的热导率而 常涂覆在精密仪器的表面以作为散热片^[1-2]。但 是随着社会科技的发展,人们对散热片的要求越 来越高,常规的金属膜很难满足其要求。

石墨烯和碳纳米管因超高的热导率而被广 泛应用于复合镀层,其加入复合镀层中就可显著 提高材料的热导率^[3-6]。然而,石墨烯和碳纳米管 价格昂贵,限制了其产业化应用。高度取向的石 墨,其导热系数可高达 880 W/(m•K)^[7],为石 墨烯和碳纳米管的 1/4~1/6^[8-10],但其价格仅为 石墨烯和碳纳米管的 1/100~1/1 000。另外,高 度取向的石墨导热系数明显高于金属材料,为银 的 2 倍,铜的 2.2 倍,金的 2.8 倍,铝的 3.7 倍以 及镍的 9.8 倍^[11]。而镍相比于其他金属具有较 低廉的价格和更良好的抗腐蚀性能^[12-13],因此以 金属镍负载石墨作为一种新型的导热材料复合 物,将具有价格低廉、导热性能优良的特点。

文中以 304 不锈钢为基材,以电镀镍为载体,以膨胀石墨为分散相,在 304 不锈钢上进行 复合电镀镍-膨胀石墨。通过 SEM、XRD、Raman、EDS 等手段研究膨胀石墨与镍、不锈钢不 同相之间的结合情况,测定镍-膨胀石墨/304 不 锈钢复合材料的导热系数,研究复合材料的结构 对其导热性能的影响。

1 材料与方法

1.1 复合电镀镍

复合电镀镍的工艺流程如图1所示。其中, 化学除油液、酸洗液以及活化和预镀液分别示于 表1中。





化学除油是将样品浸泡于 90 ℃的碱液中 10 min。酸洗是将样品浸泡于室温(25 ℃)的酸液 中 30 min。活化和预镀是将样品浸泡于室温的预 镀液中 10 min,而后在电流密度为 2 A/dm² 下电 镀 5 min。

膨胀石墨悬浮液由膨胀石墨(2g/L)和 CMC (羧甲基纤维素钠)(0.5g/L)组成,先将 CMC 溶 解于水中,搅拌 2h,然后加入膨胀石墨搅拌 12h, 之后按表 2的成分加入。复合电镀采用纯镍 (99.99%)板作为阳极和 304 不锈钢片(尺寸为 70 mm×60 mm×3 mm)作为阴极。瓦特液的具 体工艺条件和工艺配方见表 2。

表 1 复合电镀镍的前处理工艺配方

 Table 1
 Pretreatment process recipes of the Ni composite plating

Pretreatment process	Parameters	Values
Chemical degreasing solution	$C_{\text{NaOH}}/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	25
	$C_{\text{Na}_2\text{CO}_3}/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	35
	$C_{{\rm Na_3PO_4} \cdot {\rm H_2O}}/({\rm g \cdot L^{-1}})$	35
	$C_{\mathrm{Triton X-100}} / (\mathrm{g \cdot L^{-1}})$	4
Pickling solution	$C_{\rm H_2 SO_4} (98\%)/(\rm mL \cdot L^{-1})$	100
	$C_{\rm HNO_3}$ (68%)/(ml • L ⁻¹)	100
	$C_{\rm HF}(40\%)/({\rm mL \cdot L^{-1}})$	100
Activation and preplating solution	$C_{\rm NiCl_2 \cdot 6H_2 O}/(g \cdot L^{-1})$	240
	$C_{\rm HCl}(37\%)/(\rm mL \cdot L^{-1})$	80

表 2 复合电镀镍的配方与工艺条件

Table 2 Process recipes and conditions of the Ni composite plating

Parameters	Values
$C_{\rm NiSO_4} \cdot {}_{^{6}\rm H_2O} / (g \cdot L^{-1})$	270
$C_{\mathrm{NiCl}_2} \cdot {}_{^{6}\mathrm{H}_2\mathrm{O}}/(\mathrm{g} \cdot \mathrm{L}^{-1})$	45
$C_{ m Saccharin}/(m g \cdot L^{-1})$	2
$C_{\rm H_{3}BO_{3}}/(\rm g \cdot L^{-1})$	40
$C_{\rm SDS}/(g \cdot L^{-1})$	0.1
$C_{ ext{Expanded graphite}}/(ext{g} \cdot L^{-1})$	2
Temperature/ °C	65
pН	3-5
Current Density/(A • dm ⁻²)	2
Stirring method	Magnetic stir
Time/min	30

1.2 表征

采用场发射扫描电子显微镜(FE-SEM,FEI Quanta 200 FEG,荷兰飞利浦)、X 射线衍射仪 (XRD,Rigaku D/max2500,日本理学)、拉曼光谱 (Raman,Invia,英国雷尼绍)和能谱仪(EDS)对 膨胀石墨、镍-膨胀石墨/304 不锈钢和镍/304 不 锈钢的微观形貌和晶体结构进行研究。采用激 光粒度分布仪(LS-POP(VI),珠海欧美克)对膨 胀石墨的粒度分布进行测定。采用激光导热仪 (LFA 447,德国耐驰)对镍-膨胀石墨/304 不锈 钢、镍/304 不锈钢以及 304 不锈钢的热扩散系数 进行测定。

304 不锈钢、镍/304 不锈钢和镍-膨胀石墨/ 304 不锈钢的热扩散系数由激光导热仪测出。

$$\alpha = 0.1388 \times d^2 / t_{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

其中: α 为热扩散系数,mm²/s;d 为样品厚度,mm; $t_{\frac{1}{2}}$ 为半升温时间,s。

由于在传热过程中,热扩散率 α 是热导率 λ 与比热容 c 和密度 ρ 的乘积之比,

$$\alpha = \lambda / (\rho \cdot c) \tag{2}$$

其中:λ,热导率,W/(m•K);c,比热容,J/ (kg•K);ρ,密度,kg/m³。

由于 304 不锈钢的厚度(约为 3 mm)远远大 于镍镀层和镍-膨胀石墨复合镀层的厚度,故可 以依据 304 不锈钢的比热容 c 为 450 J/(kg•K) 和密度 ρ 为 7.93×10³ kg/m³,估算出镍/304 不 锈钢和镍-膨胀石墨/304 不锈钢的导热系数。

2 结果与讨论

2.1 粒度分布分析

图 2 为膨胀石墨的粒度分布图。从图中可 以看出,该膨胀石墨的粒径主要分布在 5~20 μm 之间,这样的粒径尺寸有利于进入镍的镀层。

2.2 形貌和元素分析

图 3 为膨胀石墨、镍/304 不锈钢和镍-膨胀石 墨/304 不锈钢的形貌。其中图 3(a₁)和图 3(a₂)分 别为膨胀石墨的表面和截面形貌,从图中可以看 出该膨胀石墨呈片状结构。图 3(b₁)和图 3(b₂) 分别是镍/304 不锈钢表面和横截面形貌,图 3(b₁) 中可知该镍镀层表面呈颗粒状,而图 3(b₂)中明 显可以看出该横截面有一界面,且镀层厚度约为





Fig. 2 Granularity distribution diagram of the expanded graphite

7.3 μm。图 3(c₁)为镍-膨胀石墨/304 不锈钢的 表面形貌,从图中可以看出该镍-膨胀石墨/304 不锈钢表面呈片状结构,且片状结构上面有金属 镍颗粒,这是由于膨胀石墨具有良好的导电性, 当膨胀石墨进入镀层时,又会在膨胀石墨上形成 新的活性位点导致镍的沉积。而图 3(c₂)为镍-膨胀石墨/304 不锈钢横截面形貌,从图中可以看 出该镍-膨胀石墨/304 不锈钢横截面有一明显的 界面,且片状结构的物质直接与基材接触,镀层 厚度约为 22.2 μm。

为了确定镍-膨胀石墨复合镀层中膨胀石墨 的含量,对镍-膨胀石墨/304 不锈钢表面进行面扫 描分析,其 EDS 能谱面扫描结果以及主要元素的 原子数分数示于图 4(a)。从图 4(a)中可以看出, 镍-膨胀石墨/304 不锈钢表面主要有镍、碳、氧、硫 和铁等元素组成,其原子数分数分别为 79.29%、 5.98%、12.19%、1.04%和 1.50%。碳来源于膨 胀石墨,氧主要来源于镍的氧化,而硫来源于糖 精的电化学还原^[14-15]。

同时,为了检测镍-膨胀石墨/304 不锈钢横 截面上片状结构物质的组成,对其进行 EDS 能谱 点扫描(图 3(c₂)点1处)分析,结果示于图 4(b)。 从图 4(b)中发现该片状结构物质由镍、碳、铁和铬 等4种元素组成,其原子数分数分别为 91.23%、 3.27%、4.34%和1.16%。碳含量较低源于膨胀 石墨良好的导电性,使镍容易在膨胀石墨上沉 积,而铁和铬元素是 304 不锈钢的两种最主要的 组成元素,其出现是由于截面抛光过程中,作为 杂质元素吸附在复合镀层中。





(a₁) Surface, expanded graphite



(a₂) Cross section, expanded graphite



(b₁) Surface, Ni/304 SS



(b₂) Cross section, Ni/304 SS



(c₁) Surface, Ni-expanded graphite/304 SS

(c₂) Cross section, Ni-expanded graphite/304 SS

图 3 膨胀石墨, 镍/304 不锈钢和镍-膨胀石墨/304 不锈钢的表面和横截面形貌 Fig. 3 Surface and cross section morphologies of the expanded graphite, Ni/304 SS and Ni-expanded graphite/304 SS

为了进一步说明膨胀石墨与 304 不锈钢基 材有良好的接触,因而对膨胀石墨正下方的基材 进行 EDS 能谱点扫描(图 3(c₂)点 2 处)分析,其结 果示于图 4(c)。从图 4(c)中发现,该基材由镍、碳、铁、铬和锰等 5 种元素组成,其原子数分数分别为 7.34%、0.64%、69.93%、20.51%和 1.58%,由

此可以判断该点2对应的是304不锈钢。膨胀石 墨具有良好的导热性能,故其分布的均匀程度将 对镍-膨胀石墨/304不锈钢复合材料的导热性能 产生重大的影响。因而将面扫描测得的镍元素和 碳元素分布图示于图 5。从图 5 中可知,镍元素和 碳元素均匀的分布在镍-膨胀石墨复合镀层中。







图 5 镍-膨胀石墨/304 不锈钢表面镍和碳元素分布 Fig. 5 Element distribution for Ni and C on the surface of Ni-expanded graphite/304 SS

2.3 XRD 分析

图 6 为膨胀石墨、镍/304 不锈钢和镍-膨胀 石墨/304 不锈钢的 XRD 衍射图谱。从膨胀石墨 的 XRD 衍射图谱可知,主要呈现 C(002)晶面,这 就说明(002)晶面是膨胀石墨的择优取向,其有 很高的规整度,意味着其拥有高的导热系数^[7]。 镍-膨胀石墨/304 不锈钢和膨胀石墨相比,镍-膨胀 石墨/304 不锈钢和膨胀石墨相比,镍-膨胀 石墨/304 不锈钢表面的复合镀层中含有膨胀石 墨,且膨胀石墨的晶体结构没有改变,即电沉积 并没有影响膨胀石墨的择优取向。

但是膨胀石墨的存在却改变了镍的择优取向,加入膨胀石墨前,镍以(200)晶面为择优取向;



图 6 膨胀石墨, 镍/304 不锈钢和镍-膨胀石墨/304 不 锈钢的 XRD 图谱

Fig. 6 XRD patterns of the expanded graphite, Ni/304 SS and Ni-expanded graphite/304 SS

67

加入膨胀石墨后,镍以(111)晶面为择优取向, 这是由于膨胀石墨的存在抑制了镍在(200)晶 面的生长。而在 21.5°附近(XRD 插图)有一个 硫化镍^[14-15]的峰,这是由于糖精的电化学还原 所引起的。

2.4 Raman 分析

图 7 为膨胀石墨和镍-膨胀石墨/304 不锈钢的 Raman 光谱,从膨胀石墨的 Raman 光谱图中可以看出 1 580 cm⁻¹附近的 G 峰和位于 2 700 cm⁻¹左 右的 2D 峰是碳材料的典型特征峰,但是由于缺陷的存在,在 1 350 cm⁻¹附近出现 D 峰,D 峰与 G 峰的强度之比代表其缺陷程度,该膨胀石墨的 $I_{\rm D}/I_{\rm G}\approx0$ 。这就证明了膨胀石墨的规整度很高,排列有序。而从镍-膨胀石墨/304 不锈钢的 Raman 光谱图中可以看出,膨胀石墨的 $I_{\rm D}/I_{\rm G}\approx0$, 这就说明膨胀石墨与镍进行复合电沉积时,膨胀 石墨的规整度基本没有变化。



图 7 膨胀石墨和镍-膨胀石墨/304 不锈钢的 Raman 光谱

Fig. 7 Raman spectra of the expanded graphite and Niexpanded graphite/304 SS

2.5 导热系数的测定

304 不锈钢、镍/304 不锈钢和镍-膨胀石墨/ 304 不锈钢的热扩散系数和导热系数的结果示于 表 3 中。

从表 3 中可以看出, 镍-膨胀石墨/304 不锈钢、镍/304 不锈钢和 304 不锈钢的导热系数分别为 16.020、12.944 和 14.610 W/(m・K)。镍-膨胀石墨/304 不锈钢的导热系数相比于 304 不锈钢和镍/304 不锈钢,分别提高了 9.7%和 23.8%,这是由于复合镍镀层中膨胀石墨的存在, 有利于电子传输通道的构建, 同时高度结晶的膨胀石墨

具有较高的热导率。而镍/304 不锈钢的导热系数低于 304 不锈钢的导热系数,这是由于镍/304 不锈钢界面的存在,大大减弱了热量的传输^[16]。 同时,从图 7 中可以看出镍/304 不锈钢表面并非 是单一的织构组成,其主要以镍(200)晶面为择 优取向。热量的传递可能导致原子的偏移使晶 型点阵受损,另外因镀液中添加了糖精,故在电 镀的过程中因糖精的电化学还原使镀层中含有 硫化镍^[13-14],从而使镀层产生缺陷,电子的自由 程受到影响,最终降低导热性能。

表 3 在 25 ℃下,304 不锈钢、镍/304 不锈钢和镍-膨胀 石墨/304 不锈钢的热扩散系数和导热系数

Table 3 Thermal diffusivity and thermal conductivity of 304 SS, Ni/304 SS and Ni-expanded graphite/304 SS at 25 $^\circ\!\mathrm{C}$

Parameters	304 SS	Ni/304 SS	Ni-expanded graphite/304 SS
$\alpha/(mm^2 \cdot s^{-1})$	4.094	3.627	4.489
$\lambda/(W \bullet m^{-1} \bullet K^{-1})$	14.610	12.944	16.020

基于以上结果,提出膨胀石墨的存在对 304 不锈钢电镀镍层导热性能的影响机理。膨胀石 墨在表面活性剂(十二烷基磺酸钠)和分散剂 CMC 以及磁石搅拌的作用下,易均匀分散在水 溶液中。在电镀过程中,膨胀石墨吸附在阴极的 表面,随着镍离子的电沉积,膨胀石墨被沉积在 复合镀层中。图 8 为导热示意图。从图 8(a)中 可知,由于 304 不锈钢没有生成新的界面,故其 有较好的导热性能。304 不锈钢表面镀上一层镍 后(图 8(b)),原来的 304 不锈钢表面就形成了两 个界面,这是由于 304 不锈钢比较活泼,表面极 易形成一层钝化膜,导致了镍在 304 不锈钢表面 很难有良好的结合力。虽然镍的导热系数高于 304 不锈钢,但是由于这层界面的存在,导致热传 导的速度减慢,最终导致镍/304 不锈钢的导热系 数降低。在镀镍层中负载膨胀石墨后(图 8(c)), 原来的 304 不锈钢表面也形成了两个界面。尽 管镍-膨胀石墨复合镀层较为疏松,但是膨胀石 墨具有良好的导热性能,且复合镀层中的膨胀石 墨与 304 不锈钢表面有接触(图 3(c₂)),为热量 传导构成了通道,也就导致了镍-膨胀石墨/304 不锈钢的导热系数优于 304 不锈钢。



图 8 304 不锈钢、镍/304 不锈钢和镍-膨胀石墨/304 不锈钢的导热示意图 Fig. 8 Schematic diagrams of thermal conductivity of 304 SS, Ni/304 SS and Ni-exparded graphite/304 SS

3 结 论

(1)以膨胀石墨为分散相,在 304 不锈钢基材上,电镀制备镍-膨胀石墨/304 不锈钢导热材料。镍-膨胀石墨/304 不锈钢、镍/304 不锈钢和 304 不锈钢的导热系数分别为 16.02、12.944 和 14.61 W/(m•K)。

(2) 镍-膨胀石墨/304 不锈钢导热系数最高,源于膨胀石墨规整度高以及复合镀前后规整度几乎不变,且膨胀石墨与 304 不锈钢表面接触,为热量传导构成了通道。

参考文献

[1] 李晔晔. 基于 LED 照明灯具散热片的设计与分析 [J]. 技 术与市场, 2012, 9(3): 26-27.

Li Y Y. Design and analysis of LED lighting fins [J]. Technology and Market, 2012, 9(3): 26-27 (in Chinese).

[2] 张喜,李兴,曹杰. 一种新型导热材料的研究 [J]. 改革与 开放,2013(10):134-134.

Zhang X, Li X, Cao J. Research on a new type of thermally conductive material [J]. Reform and Opening, 2013 (10): 134-134 (in Chinese).

- [3] Cho S, Kikuchi K, Miyazaki T, et al. Multiwalled carbon nanotubes as a contributing reinforcement phase for the improvement of thermal conductivity in copper matrix composites [J]. Scripta Materialia, 2010, 63(4): 375-378.
- [4] Yavari F, Fard H R, Pashayi K, et al. Enhanced thermal conductivity in a nanostructured phase change composite due to low concentration graphene additives [J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2011, 115(17): 8753-8758.
- [5] Shahil K M, Balandin A A. Graphene-multilayer graphene

nanocomposites as highly efficient thermal interface materials [J]. Nano Letters, 2012, 12(2): 861-867.

- [6] Kim C, Lim B, Kim B, et al. Strengthening of copper matrix composites by nickel - coated single - walled carbon nanotube reinforcements [J]. Synthetic Metals, 2009, 159 (5): 424-429.
- [7] Liu Q, He X B, Ren S B, et al. Thermophysical properties and microstructure of graphite flake/copper composites processed by electroless copper coating [J]. Journal of Alloys & Compounds, 2014, 587(3): 255-259.
- [8] 刘忠范.石墨烯:一个持续十年的传奇故事[J].化学学报,2014,72(3):267-268.
 Liu Z F. Graphene: a decade of continuous legends [J].
 Acta Chimica Sinica, 2014,72(3):267-268 (in Chinese).
- [9] Firkowska I, Boden A, Vogt A M, et al. Effect of carbon nanotube surface modification on thermal properties of copper-CNT composites [J]. Journal of Materials Chemistry, 2011, 21(43): 17541-17546.
- [10] Chu K, Wu Q, Jia C, et al. Fabrication and effective thermal conductivity of multi - walled carbon nanotubes reinforced Cu matrix composites for heat sink applications [J]. Composites Science & Technology, 2010, 70(2): 298-304.
- [11] 司春波. 实用电镀工手册 [M]. 广东: 广东科技出版 社, 2007.
 Si C B. Practical handbook of platers [M]. Guangdong: Guangdong Science and Technology Press, 2007 (in Chinese).
- [12] Kirkland N T, Schiller T, Medhekar N, et al. Exploring graphene as a corrosion protection barrier [J]. Corrosion Science, 2012, 56(3): 1-4.
- [13] Prasai D, Tuberquia J C, Harl R R, et al. Graphene: corrosion-inhibiting coating [J]. ACS nano, 2012, 6(2): 1102-1108.

[14] 龚竹青,邓姝皓,陈文汨. 电沉积纳米晶体镍 [J]. 中南工 业大学学报,2002,33(3):281-284.
Gong Z Q, Deng S H, Chen W M. Electrodeposite nanocrystalline nickel [J]. Journal of Central South University of Technology, 2002, 33(3):281-284 (in Chinese).

[15] 曹寅亮.高活性镍基析氢电极的制备及其在碱性条件下析 氢行为研究 [D].北京:北京化工大学,2014. Cao Y L. Synthesis of highly active nickel-based hydrogen evolution electrodes and their hydrogen evolution behavior in the alkaline medium [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2014 (in Chinese).

[16]尚玉,张东. 石墨烯基界面导热材料的研究现状[J]. 功能 材料,2013,44(22):3219-3224.
Shang Y, Zhang D. Research status of graphene - based thermal interface material [J]. Functional Materials, 2013,44(22):3219-3224 (in Chinese).

(责任编辑:常青)

《中国表面工程》正式进入 EI 检索系统

2015年12月4日,《中国表面工程》收到EI Compendex 通知,从2016年1月起被正式列入EI Compendex 检索刊源。

EI 是主要收录工程技术期刊文献和会议文献的大型检索系统,与《科学引文索引(SCI)》和《科技 会议录索引(ISTP)》并列为国际最著名的三大数据库。2015 年 EI 在全球范围内共收录期刊 4859 种, 其中中国大陆出版的中文期刊 160 种。《中国表面工程》此次成为 EI 检索源核心刊,标志着我刊的学 术质量和编校质量达到国内领先水平。

近年来,《中国表面工程》影响因子逐年提升,稿件质量和期刊水平有明显提升,综合实力以明显优势居于表面处理类榜首。期刊自 1988年创刊,1998年公开发行,2008年成为中文核心期刊;目前已发展成为中国期刊方阵"双效"期刊、中国科技核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊、中国精品科技期刊和百种中国杰出学术期刊;被美国《化学文摘》、俄罗斯《文摘杂志》等重要国际数据库收录;并授权中国科技期刊开放获取平台(COAJ)进行全文开放获取。期刊于 2008、2013、2015年获得三期"中国科协精品科技期刊工程项目"资助;近 3年共 38篇文章入选"领跑者 5000——中国精品科技期刊顶尖论文(F5000)"。

优良的成绩得益于各位编委、专家和作者对本刊长期以来的关注与支持,本刊编辑部在此表示诚 挚的谢意。《中国表面工程》下一步将开放视野,重点加强专题组稿,紧跟学科前沿及热点,请大家一如 既往地关注和支持期刊发展,使期刊更上新的台阶!

(本刊编辑部 供稿)