

金属传热面上的化学腐蚀和表面微尺度的研究

赏国锋,周先桃,刘海峰,潘家祯

(华东理工大学,上海 200237)

[摘要] 为获得金属传热表面的多尺度效应,以提高传热表面积,以铝片为研究对象,对其进行了化学腐蚀处理。通过正交试验得到了腐蚀剂的最佳配比和最佳腐蚀条件;对采用最佳工艺得到的铝片作进一步分析,通过对腐蚀表面的初步表征,采用分形几何中的方盒计数方法,得到了腐蚀表面的分形维数,并利用表面粗糙度相关系数与分形维数的关系式求得了腐蚀表面粗糙度的相关系数;利用光学电子显微镜对腐蚀表面进行观察,测出了腐蚀坑的深度和宽度,并推导出了腐蚀坑宽度与深度的函数关系。

[关键词] 微尺度;化学腐蚀;分形维数

[中图分类号] TG178

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2010)01-0056-03

The Microscale Study on the Heat Transfer Area of the Metal Surface by Chemical Corrosion

SHANG Guo-feng, ZHOU Xian-tao, LIU Hai-feng, PAN Jia-zhen

(East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

[Abstract] In order to obtain metal heat transfer surface of the multi-scale effects to enhance the heat transfer surface area, with aluminum as the research object that was corroded by chemical etching treatment. By orthogonal test design, obtained the best ratio of caustic and corrosive conditions; Through the initial characterization of the surface corrosion, used the method of the fractal geometry of the box counting, obtained the fractal dimension; Used the relevant expressions between the correlation coefficient of surface roughness and the fractal dimension, obtained the surface roughness of the correlation coefficient of the corroded surface; Used the optical electron microscope to observe the surface of the corrosion, got the relationship between the breadth and the depth of the corrosion pits.

[Key words] Microscale; Chemical corrosion; Fractal dimension

各种不同类型的传热装置由于结构、形式、工作原理、传热特性、表面特性等方面的差异,其性能也有很大差异,微尺度效应^[1]是金属微成形过程中特有的现象,是由于制品整体或局部尺寸微小化引起的成形机理和材料变形规律表现出不同于传统成形过程的现象。在金属表面^[2]生成微观多尺度表面的方法大致上分为4种:原子沉积物、粒状沉积物、整体涂层、表面改性。

本文以金属表面传热^[3-4]为对象,对金属表面进行处理,形成微尺度效应,从而增大表面的传热面积^[5],通过比较上述4种微尺度成形方法后,采用表面改性中的化学方法来处理铝片表面,使得表面形成微尺度效应。

1 实验

本实验选择厚0.3 mm的铝片,采用化学腐蚀^[6]的方法对铝合金片进行腐蚀,每次试验后,在长焦距显微镜下观察试样的微观形貌。

未腐蚀的铝片微观形貌见图1,从图中观察到铝

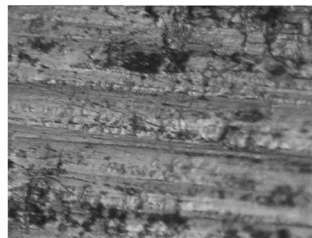


图1 未处理的铝片

Fig.1 Alloy slice without treatment

[收稿日期] 2009-09-09

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(50876032)

[作者简介] 赏国锋(1982-),男,浙江绍兴人,硕士生,主攻能源与环境。

片上有明显的压痕条纹。取 3 块形状差不多的铝片分别放入相同浓度的 NaOH 溶液中进行腐蚀反应,反应 8 min 后取出一块,用去离子水冲洗几次,放入 300~500 mL/L 的 HNO₃ 溶液中,约 5 s 后取出,再用去离子水冲洗几次后晾干,在显微镜下的微观形貌见图 2。剩余 2 块试样继续反应,至 25 min 时取出一块进行上述处理,得到图 3;另一块继续反应至 30 min 后取出。

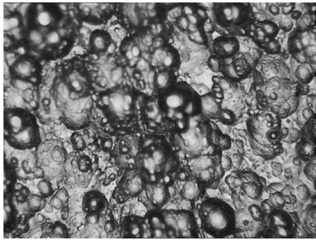
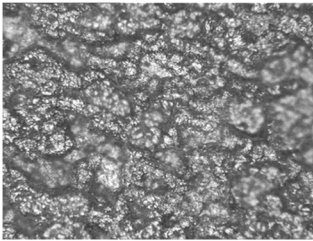
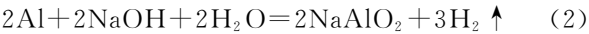


图 2 NaOH 溶液
处理 8 min 后的铝片
Fig. 2 Alloy slice corroded
8 min by NaOH solution

图 3 NaOH 溶液
处理 25 min 后的铝片
Fig. 3 Alloy slice corroded
25 min by NaOH solution

比较图 1、图 2 和图 3 可知,铝片与 NaOH 溶液反应而被腐蚀,具体反应如下:



在腐蚀过程中,随着反应时间的延长,铝片不断与 NaOH 进行剧烈反应,第 3 块铝片由于反应太久,已经变得很薄,失去使用价值。比较发现,在 NaOH 过量的条件下,铝片会被不断腐蚀直至变得很薄,且表面会出现一些不规则的腐蚀坑,腐蚀坑的出现就大大增大了铝片的表面积。为了使腐蚀反应缓慢地进行,得到错落有致的腐蚀坑,通过查阅文献^[7-8],对该 NaOH 腐蚀溶液进行了改进。

在 NaOH 溶液中添加一定量的络合剂^[9](柠檬酸钠、酒石酸钠)、缓冲剂(硫脲)、整平剂(氟化钠)、表面活性剂(磷酸钠)、增稠剂(碳酸钠)等,并设计正交试验,得出腐蚀液的最优组成为:柠檬酸钠 299.86 g/L、酒石酸钠 11.87 g/L、硫脲 20.47 g/L、氟化钠 12.06 g/L、磷酸钠 16.66 g/L、碳酸钠 12.06 g/L、氢氧化钠 38.04 g/L;最佳腐蚀条件为:腐蚀时间 12 min,腐蚀温度 60℃。采用最佳工艺对铝片进行腐蚀处理,得到图 4。比较图 3 和图 4,很明显,图 4 中的腐蚀坑比图 3 中的更加均匀,且腐蚀坑大小也比较接近,处理效果比较好。

2 腐蚀表面的表征

2.1 分形维数法

分形^[10]具有一种范围杂乱但结构精细的模式,该理论奠基人 Mandelbro 的研究表明,许多复杂、混乱的

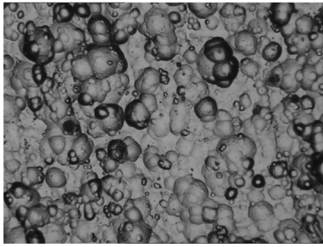


图 4 最佳腐蚀条件下处理的铝片

Fig. 4 Alloy slice corroded under optimum chemical corrosion

系统都有其固有的分形特征。放大分形物体会显示出重复性的细节,在所有尺度上拥有相似的结构。许多加工表面不断被放大时,呈现出局部与整体的相似性。因此分形分析成为表面表征的新方法,也可用于表面的加工研究。

粗糙表面是二维分形集^[11],而其轮廓曲线却是一维分形集。一般情况下,粗糙表面的分形维数 D_s 与轮廓曲线的分形维数 D_p 之间存在 $D_s = D_p + 1$ 的关系。因此,可以通过测量轮廓的分形维数来研究表面的分形特征。本实验采用方盒计数法测量铝片表面腐蚀坑的轮廓分形维数,对经最佳工艺腐蚀的铝片的图片进行分形维数计算,得到的数据见表 1,表中, N_i 为腐蚀图所占方盒格数, ϵ_i 为方盒尺寸比例倍数。以 $\ln N_i$ 为横坐标, $\ln(1/\epsilon_i)$ 为纵坐标作图,见图 5。

表 1 分形维数数据

Tab. 1 Date of fractal dimension

ϵ_i	总格数	N_i	$\ln N_i$	$\ln(1/\epsilon_i)$
64	192	192		
32	736	713	6.57	0.69
16	2 194	2 006	7.60	1.39
8	11 750	10 416	9.25	2.08
4	46 750	40 025	10.60	2.77

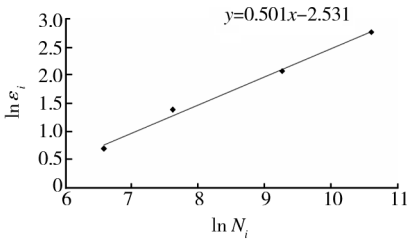


图 5 分形维数

Fig. 5 Fractal dimension

图 5 中直线的斜率为 0.50,即 $D_p = 0.50$,所以 $D_s = D_p + 1 = 1.50$ 。又根据标准表面粗糙度参数 Ra , R_q , S_m 与分形维数 D_s 之间的关系^[12]: $D_s = 1.539/Ra^{0.0478}$, $D_s = 1.500/R_q^{0.0449}$, $D_s = 2.272/S_m^{0.106}$,可以得出: $Ra = 1.68$, $R_q = 0.98$, $S_m = 49.84$ 。

2.2 腐蚀深度与宽度的关系

用长焦距显微镜对采用最佳工艺腐蚀所得铝片的腐蚀坑的深度 H_0 和宽度 D 进行数据采集,得到图 6。

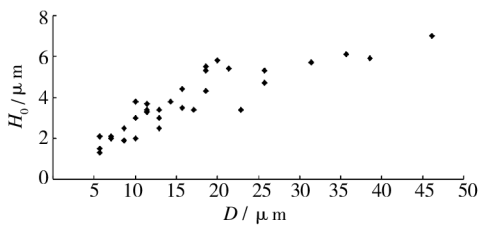


图6 深度与宽度的关系

Fig. 6 The relationship between depth and width

从图6中可以看出,深度与宽度在坐标轴上的分布没有相接近的函数可以表示,因此,令 $H=e^{\frac{1}{H_0}}$,以宽度 D 为纵坐标, H 为横坐标作图,得到图7。

从图7中可以看出, H 与宽度 D 的关系可选用双

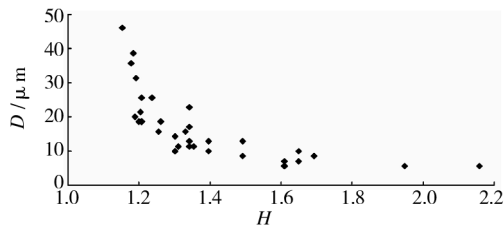


图7 处理后的关系

Fig. 7 The picture of processing

曲线函数表达,因此,令 $\hat{D}=\hat{a}+\hat{b}\frac{1}{H}$,拟合 D 与 H 的关系。设 $H'=\frac{1}{H}$, D 与 H' 的数据见表2。

表2 腐蚀表面参数

Tab.2 Parameters of corroded surface

$D/\mu\text{m}$	10	5.7	18.6	38.6	35.7	7.1	8.6	22.9	25.7	12.9	7.1
H'	1.649	1.948	1.262	1.185	1.178	1.649	1.693	1.342	1.237	1.492	1.610
$D/\mu\text{m}$	12.9	17.1	11.4	10	18.6	15.7	31.4	10	11.4	25.7	5.7
H'	1.342	1.342	1.354	1.301	1.199	1.331	1.192	1.396	1.342	1.208	2.158
$D/\mu\text{m}$	18.6	11.4	21.4	15.7	46.11	14.3	20	10	8.1	9.2	18.6
H'	1.208	1.310	1.203	1.255	1.154	1.301	1.188	1.301	1.653	1.643	1.208

整理表2中的数据可得:

$$\overline{H'}=0.734\ 89,\overline{D}=15.837\ 8$$

$$L_{H'D}=30.765\ 5,L_{H'H'}=0.429\ 31,L_{DD}=3\ 935.35$$

$$b=\frac{L_{H'D}}{L_{H'H'}}=30.765\ 5/0.429\ 31=71.662\ 2$$

$$a=\overline{D}-b\overline{H'}=15.837\ 8-71.662\ 2\times0.734\ 98=-36.826$$

得出回归直线方程为:

$$D=-36.826+71.662\ 2H'$$

因此,回归曲线方程为:

$$D=-36.826+71.662\ 2e^{-\frac{1}{H_0}}$$

3 结 论

1) 铝片腐蚀液的最佳成分为:柠檬酸钠 299.86 g/L、酒石酸钠 11.87 g/L、硫脲 20.47 g/L、氟化钠 12.06 g/L、磷酸钠 16.66 g/L、碳酸钠 12.06 g/L、氢氧化钠 38.04 g/L;最佳腐蚀条件为:温度 60℃,反应时间 12 min。

2) 采用最佳条件对铝合金进行腐蚀,腐蚀后表面的分形维数 $D=1.50$,腐蚀宽度和深度的函数关系式为: $D=-36.826+71.662\ 2e^{-\frac{1}{H_0}}$ 。

[参 考 文 献]

- [1] 雷鹏,张凯锋.金属微成形过程中微尺度效应与相似评估[J].机械工程学报,2007,43(7):213-220.
- [2] 胡传炘.表面处理手册[M].北京:北京工业大学出版社,2004.
- [3] 王许云,张林,陈欢林,等.膜蒸馏技术最新研究现状及进展[J].化工进展,2007,26(2):168-172.
- [4] Khawaji A D, Kutubkhanah I K, Jong-Mihn W. Advances in seawater desalination technologies[J]. Desalination, 2008, 221(1-3):47-69.
- [5] 赵镇南.传热学[M].北京:高等教育出版社,2008.
- [6] 石磊,石勇,董新民.铝及铝合金电镀[J].表面技术,2007,36(4):87-88.
- [7] 徐金来,赵国鹏,胡耀红.铝轮毂电镀工艺应用[J].电镀与涂饰,2008,28(1):7-9
- [8] 张宏,张燎原.铝型材砂面剂研究[J].轻合金加工技术,2001,29(11):39-41.
- [9] 卢静芳,姚志坚,李宇亮,等.铝合金的长效碱蚀剂 TA34[J].电镀与环保,1995,15(1):19-20.
- [10] 褚武扬,张立民,杨展如,等.材料科学中的分形[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [11] 李成贵,张国雄,陈敏,等.分形维数与表面粗糙度参数的关系[J].工业技术,1997,31(12):36-38.
- [12] 李丽伟,董申,程凯,等.表面微观形貌定量表征中几种新方法的应用[J].中国机械工程,2002,13(19):1702-1705.