

## NdFeB 表面磁控溅射沉积 Al-Mn 薄膜的耐蚀性

白巍栋<sup>1,2,3</sup>, 李光<sup>1,2</sup>, 夏原<sup>1,2</sup>, 高方圆<sup>1,2</sup>, 李占贤<sup>2</sup>

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100000;  
2. 华北理工大学机械工程学院, 河北唐山 063009;  
3. 中国科学院大学, 北京 100000)

摘要: 在钕铁硼(NdFeB)磁体表面利用磁控溅射沉积不同锰含量的铝锰合金薄膜。磁控溅射制备的铝锰合金薄膜表面光滑致密。薄膜结构受到锰含量的影响,当薄膜锰含量从 6.80at% 上升到 25.78at% 时,薄膜结构由晶态逐渐转变为非晶态,达到 35.67at% 时,薄膜中析出金属间化合物  $Al_8Mn_5$ 。铝锰合金薄膜的耐腐蚀性能受薄膜成分变化的影响很大,当薄膜中锰含量达到 25.78% 时,此时薄膜呈非晶态结构,薄膜的自腐蚀电流密度达到  $1.198 \times 10^{-7} A/cm^2$ ,比钕铁硼基体降低了 2 个数量级,耐腐蚀性能最好。

关键词: 磁控溅射; 钕铁硼磁体; 铝锰合金薄膜; 耐蚀性

中图分类号: TG174.444 文献标志码: A 文章编号: 0254-6051(2017)08-0015-05

## Corrosion resistance of Al-Mn film on NdFeB magnets by magnetron sputtering

Bai Weidong<sup>1,2,3</sup>, Li Guang<sup>1,2</sup>, Xia Yuan<sup>1,2</sup>, Gao Fangyuan<sup>1,2</sup>, Li Zhanxian<sup>2</sup>

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100000, China;  
2. College of Mechanical Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei 063009, China;  
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100000, China)

Abstract: Al-Mn film of different manganese content was deposited on NdFeB magnets by means of magnetron sputtering. The results show that the surface of the Al-Mn film is compact and smooth, and its structure is influenced by the manganese content, when the manganese content in the film increases from 6.8at% to 25.78at%, the film structure gradually changes from crystalline to amorphous. When the Mn content reaches 35.67at%, the intermetallic compound  $Al_8Mn_5$  is separated out from the film. Corrosion resistance of the Al-Mn film is greatly affected by component of the film, when the manganese content in the film reaches 25.78at%, the structure of the film becomes amorphous, and its corrosion current density reaches  $1.198 \times 10^{-7} A/cm^2$  which is lower two orders of magnitude than that of the NdFeB magnets matrix, and its corrosion resistance is preferable.

Keywords: magnetron sputtering; NdFeB magnets; Al-Mn alloy film; corrosion resistance

收稿日期: 2017-01-22

作者简介: 白巍栋(1992—),男,硕士研究生,研究方向为烧结钕铁硼磁体表面防护技术, E-mail: bai\_weidong@126.com。通讯作者: 李光,博士,副研究员,联系电话: 010-82545007, E-mail: lghit@imech.ac.cn

DOI: 10.13251/j.issn.0254-6051.2017.08.004

钕铁硼磁体作为一种饱和磁化强度高、矫顽力强且性价比高的磁体,在新能源汽车制造、风能发电、新型电机等高科技行业应用非常广泛<sup>[1]</sup>。钕铁硼是多相结构,由主相钕铁硼相、富钕相、富硼相三相组成,其

Wei Yonghui, Song Yanpei. Wear resistance of in-situ synthesized Fe matrix composites [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2007, 27 (3): 229-231.

[6] Pagounis E, Lindroos V K. Processing and properties of particulate reinforced steel matrix composites [J]. Materials Science and Engineering A, 1998, 246: 221-234.

[7] 李祖来, 蒋业华, 周荣, 等. Cr 的添加对  $WC_p$ /铁基表层复合材料三体磨料磨损性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2014, 35(1): 17-21.

Li Zulai, Jiang Yehua, Zhou Rong, et al. Effects of Cr addition on three-body abrasive wear behavior of WC particles reinforced iron substrate surface composites [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2014, 35(1): 17-21.

[8] 张宁, 张春红, 邵浩彬, 等. 复合电冶熔铸 WC 颗粒增强钢基复合材料的显微缺陷研究 [J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2016, 31(3): 70-74.

Zhang Ning, Zhang Chunhong, Shao Haobin, et al. Research of microscopic defects on WC particulates reinforced steel matrix composites prepared by the composite electroslag melting and casting [J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology (Natural Sciences Edition), 2016, 31(3): 70-74.

[9] 张宁, 强颖怀, 杨莉, 等. 热处理对复合电冶熔铸 WC 颗粒增强钢基复合材料力学性能的影响 [J]. 金属热处理, 2016, 41(11): 98-104.

Zhang Ning, Qiang Yinghuai, Yang Li, et al. Influence of heat treatment on mechanical property of WC particulates reinforced steel matrix composites by composite electroslag melting and casting [J]. Heat Treatment of Metals, 2016, 41(11): 98-104.

[10] Zhang Ning, Qiang Yinghuai, Zhang Chunhong, et al. Microstructure and property of WC/steel matrix composites [J]. Emerging Materials Research, 2015, 4(2): 149-156.

中富钕相和富硼相大部分位于晶界处,作为晶界相包围着主相<sup>[2]</sup>。这三种相电化学电位不同,富钕相的化学活性最高,所以当钕铁硼磁体处于电化学环境中,富钕相就会与其他的相结构形成腐蚀微电池,富钕相作为阳极,主相作为阴极,而且磁体中的富钕相跟主相相比,只占少部分,在局部腐蚀中形成了小阳极大阴极的腐蚀原电池,这样会使阳极处的腐蚀电流密度极大,加速富钕相的腐蚀,由于富钕相集中在主相晶界处,发生腐蚀后,主相晶粒就会失去与周围晶粒间的结合而发生脱落,长时间后就会导致磁体发生粉化。

当前,采用的防腐处理方法有合金法和涂层法<sup>[9]</sup>,合金法是在磁体内部加入一些金属元素,虽然能提高磁体的耐腐蚀性,但是会降低磁体的磁性能,而且耐腐蚀性能提高程度有限<sup>[10-11]</sup>。因此涂层法的使用比较广泛<sup>[12]</sup>,如电镀、化学镀,虽然成本较低,但是电镀废液的排放对环境污染比较严重,而且由于沉积在液体中进行,镀液易渗入基体,对磁体产生腐蚀,同时电镀时的阴极析氢会导致基体表面疏松,导致膜基结合较差,有些还需要进行热处理来改善耐蚀性能<sup>[13]</sup>,尽管如此电镀对磁体的耐蚀性能提升依然有限<sup>[14]</sup>。物理气相沉积是一种绿色无污染,很有前景的镀膜方法。磁控溅射是物理气相沉积技术中一种手段比较丰富的方法,可以通过控制调节镀膜参数,得到更加致密、均匀、结合力出色的膜层,而且磁控溅射属于干法镀膜,不存在电镀化学镀中的镀液腐蚀基体和废液污染问题,从环境保护的角度来看,磁控溅射较电镀化学镀更加绿色环保。

在钕铁硼磁体表面真空镀铝能够提高耐腐蚀性能,但是由于镀铝层呈柱状晶结构,这种柱状晶结构存在微观间隙,因此在腐蚀环境中,腐蚀液经过一段时间会通过这些间隙到达基体,对磁体造成腐蚀<sup>[15-16]</sup>。研究表明在铝中加入锰元素可以显著提高铝的耐腐蚀性,杜克勤、张伟等<sup>[17]</sup>通过电镀的方法制备了耐腐蚀性良好的铝锰合金薄膜。宋振纶等<sup>[18]</sup>也通过离子液体电沉积的方法在钕铁硼磁体表面制备了铝锰合金薄膜,并证明铝锰合金薄膜的耐腐蚀性能优于纯铝薄膜。不过现阶段针对铝锰合金薄膜的制备多停留在液态镀膜的领域,使用真空镀膜的方法则少有研究,当前只有 M. Reffass 等<sup>[19]</sup>曾在玻璃片上通过磁控溅射制备过铝锰合金薄膜,采用的双靶共溅射的方式,而在钕铁硼磁体上通过磁控溅射沉积铝锰合金提高磁体耐腐蚀能的方法则尚未进行过相关研究。而且磁控溅射制备的薄膜中的锰的质量分数会对铝锰合金薄膜结构产生极大影响,进而会影响薄膜的耐腐蚀性能。为此,本文通过磁控溅射制备不同锰含量的铝锰合金薄膜并与纯铝膜

和磁体基体作对比,通过微观结构和表面形貌对其耐腐蚀性能进行研究,以提高钕铁硼磁体的耐腐蚀性能。

## 1 试验材料及方法

### 1.1 原材料制备

基体为未充磁状态的烧结钕铁硼磁体,尺寸为 25 mm × 25 mm × 5 mm。靶材为纯铝材质,通过在纯铝靶材上镶嵌不同数量的纯锰柱来得到不同锰含量的铝锰靶。预处理:用 2000 号砂纸打磨光滑,抛光至镜面,放入丙酮溶液中超声波清洗 5 min 除油,取出放入去离子水中超声波清洗 2 min,然后放入无水酒精中超声波清洗 5 min,最后干燥处理。

### 1.2 试样制备

将试样夹在卡具中放入真空腔中,抽真空至本底真空  $5 \times 10^{-3}$  Pa,通入 Ar 气调节真空至 1 Pa,接通基板偏压升至 900 V,进行基体清理 10 min,接通靶电流进行靶清洗,然后开始镀膜,沉积电流为 0.75 A,沉积时间为 1 h。采用各镶嵌 1、2、3、4、6 块锰柱的铝锰靶材,制备不同锰含量的铝锰合金薄膜。

### 1.3 性能表征

采用场发射扫描电镜 SEM 来观察薄膜的表面形貌,并用其附带的能谱仪 EDS 分析薄膜成分,采用 XRD 分析薄膜的相结构,采用上海华辰电化学分析仪分析铝锰合金薄膜的电化学性能,拟合出极化曲线,以饱和甘汞电极(SCE)作为参考电极,铂电极为辅助电极,1 cm<sup>2</sup> 铝锰合金薄膜为工作电极,其余部分用环氧树脂包裹,电解液为 3.5% NaCl(质量分数),测试温度为 20 °C,测试前在溶液中静置 30 min,待开路电压稳定后开始测量,极化扫描速度为 1 mV/s。

## 2 结果讨论

### 2.1 薄膜的形貌和结构变化

通过 SEM 配套的 EDS 对铝锰合金薄膜成分进行检测,发现薄膜的锰含量与铝锰合金靶材的锰含量近似相等,表明通过磁控溅射沉积得到的铝锰合金薄膜中的锰含量与靶材中的锰含量近似相等,结果如表 1 所示。

表 1 靶材锰柱数量与薄膜中的锰含量对比  
Table 1 Comparison of manganese number of target and manganese content in the film

靶材锰柱数量	1	2	3	4	6
薄膜锰含量/at%	6.80	14.32	20.79	25.78	35.67

制备的不同锰含量的铝锰合金薄膜,如图 1 所示为不同锰含量的 SEM 结果,可以看出,当其中锰含量

不同时,通过磁控溅射制备出的铝锰合金薄膜其表面形貌有很大区别。低锰含量薄膜表面为颗粒大小均匀,棱边分明,表现为晶体生长的特点,不过表面有少

量孔洞,该薄膜为晶态结构薄膜;高锰含量薄膜表面呈胞状,且排列紧密,表现为表面致密,无孔洞,与文献[19]中 SEM 图片相似。

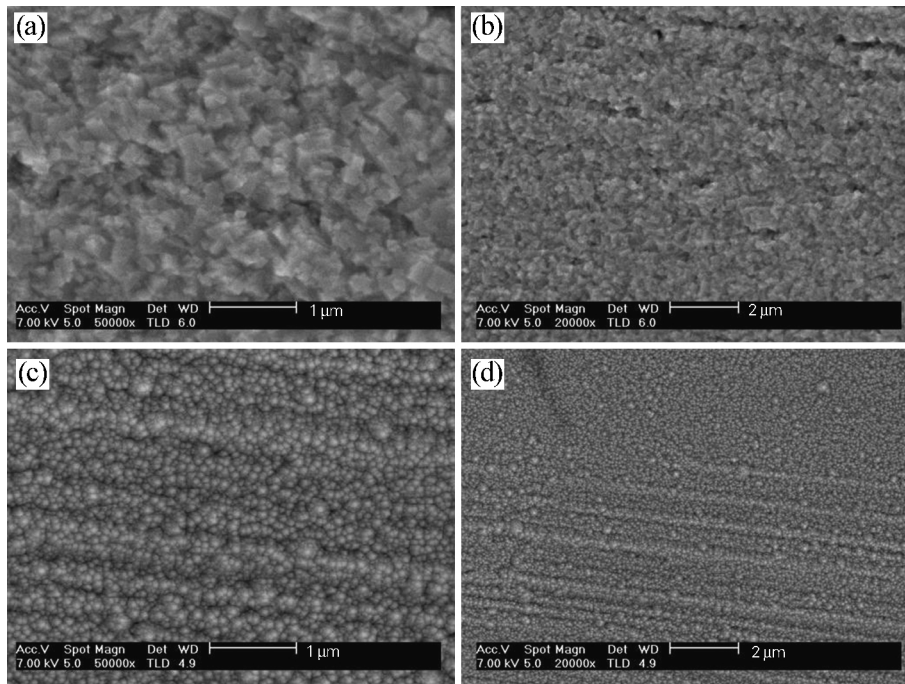


图 1 不同锰含量的铝锰合金薄膜形貌

Fig.1 Morphologies of the Al-Mn alloy film with different manganese content ( a b) 6.80at% Mn; ( c d) 25.78at% Mn

图 2 为不同锰含量薄膜的 XRD 图谱,分析该图谱可以得出,锰含量 6.80% 铝锰合金薄膜中,在图中出现两个比较尖锐的衍射峰,与铝的标准 PDF 卡片对比,应该是 Al(111) 面和(220) 面,不过这两个衍射峰朝着标准峰更高的角度移动,导致这种变化的原因是晶格常数变小了,而晶格常数变小的原因是固溶体中铝原子被锰原子替换,所以说此时薄膜结构为固溶了锰元素的面心立方铝,该结果与文献[19]中得出的结果相吻合。当锰含量上升至 17.68% ~ 25.78% 时,没

有明显的尖锐峰,只有很弱的漫反射峰,此时薄膜结构大部分应为非晶态结构,但还应存有少量的晶态结构。当锰含量达到 35.67% 时可以在 42.5° 看出非常明显的衍射峰,结合  $Al_8Mn_5$  的 PDF 标准卡片判定该峰为  $Al_8Mn_5$ (330) 面的衍射峰,同时在 61.6° 和 71.8° 处也出现了  $Al_8Mn_5$  在(600) 和(630) 面的较弱的衍射峰,充分证明了在薄膜中锰含量达到 36.84% 时,薄膜中析出了  $Al_8Mn_5$  金属间化合物。

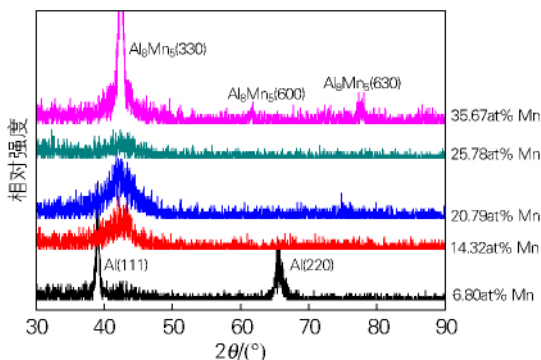


图 2 不同锰含量下铝锰合金薄膜的 XRD 图谱

Fig.2 XRD patterns of the Al-Mn alloy film with different manganese content

由该组 XRD 图谱分析得出,磁控溅射铝锰合金薄膜的结构受薄膜中的锰含量影响较大,薄膜结构随着锰含量的上升,由固溶了锰元素的面心立方铝结构逐渐变为非晶态结构,随着锰含量继续上升,薄膜中又逐渐析出  $Al_8Mn_5$ , 并且比重逐渐增大。其中当制备的薄膜中锰含量为 25.78% 时,薄膜为非晶态薄膜,XRD 衍射图谱没有明显的尖锐峰,只是很弱的漫反射峰。

### 2.2 薄膜的耐腐蚀性

考虑到铝合金系列金属属于钝化金属,其腐蚀行为一般是在含  $Cl^-$  的介质中发生点蚀,所以为了考察铝锰合金薄膜的耐腐蚀性,采用在 3.5% NaCl 溶液中的极化曲线来表征耐腐蚀性。

图 3 和表 2 为钕铁硼基体和铝锰合金薄膜在 3.5% NaCl 溶液中的动电位极化曲线和电化学腐蚀参数。由图 2 和表 2 可知: 钕铁硼基体的自腐蚀电位为 -0.806 V (vs SCE, 下同), 不同锰含量的铝锰合金薄膜的自腐蚀电位基本在 -1.028 V 和 -1.050 V 之间, 这意味着制备的铝锰合金薄膜的腐蚀电位比钕铁硼基体的腐蚀电位更负, 说明在电化学腐蚀环境中铝锰合金薄膜相对于钕铁硼基体会作为阳极, 对钕铁硼基体构成牺牲阳极保护; 同时由表 2 可以看出铝锰合金薄膜的自腐蚀电流密度都处于在  $10^{-7}$  数量级, 远低于钕铁硼基体, 腐蚀速度慢, 再次提高镀膜后钕铁硼的耐蚀性, 同时 Al-Mn 合金薄膜表面还会发生氧化反应形成了致密稳定的钝化膜, 延缓钕铁硼基体在 3.5% NaCl 溶液中的腐蚀过程。可见铝锰合金薄膜是一种性能优秀的耐蚀性薄膜。

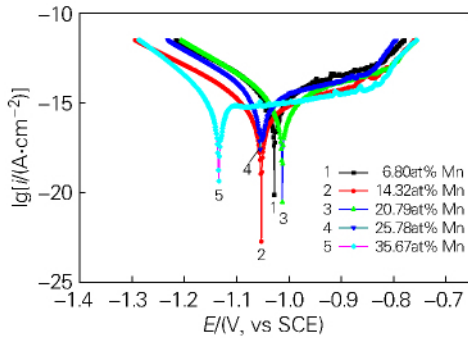


图 3 不同锰含量的铝锰合金极化曲线对比  
Fig. 3 Tafel curves comparison of the aluminum manganese alloy with different manganese content

表 2 3.5wt% NaCl 溶液中样品的电化学测试结果  
Table 2 Polarization date of the specimens immersed in 3.5wt% NaCl solution

Mn 含量 /at%	$E_{corr} / (V, vs SCE)$	$J_{corr} / (A \cdot cm^{-2})$
6.80	-1.028	$4.34 \times 10^{-7}$
14.32	-1.050	$3.61 \times 10^{-7}$
20.79	-1.033	$1.61 \times 10^{-7}$
25.78	-1.046	$1.198 \times 10^{-7}$
35.67	-1.123	$2.27 \times 10^{-7}$
NdFeB 基体	-0.806	$3.05 \times 10^{-5}$

如图 4 比较不同锰含量的铝锰合金薄膜之间的自腐蚀电流密度, 可以看出, 随着薄膜中锰含量的上升, 薄膜的自腐蚀电流密度先下降后升高, 结合 XRD 分析出的不同锰含量薄膜的不同结构, 可知当薄膜为非晶态结构时, 薄膜的自腐蚀电流密度最低, 腐蚀速度最慢, 薄膜耐蚀性最好。

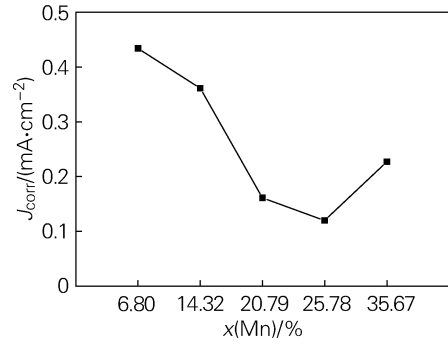
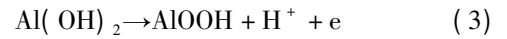
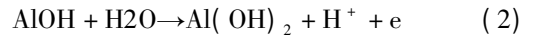
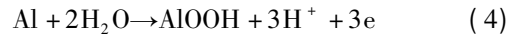


图 4 腐蚀电流密度随锰含量变化  
Fig. 4 Variety of corrosion current density with manganese content

从钝化膜的角度来讲, 在水溶液中, 纯铝薄膜会与水发生反应形成钝化膜  $AlO(OH) (Al_2O_3 \cdot H_2O)$  [20]



总反应过程:



然而, 纯铝薄膜在 NaCl 溶液中, 由于氯离子的存在, 会发生阳极氧化反应, 阳极氧化在反应(1)后就会发生, 代替了钝化膜的形成。



阳极氧化反应一般会先发生在化学活性较高的位置, 如晶体边界, 纯铝薄膜为晶态结构, 纯铝薄膜在 NaCl 溶液中钝化膜的形成就会受阻。而铝锰合金薄膜的 XRD 图谱表明铝锰合金薄膜为非晶态结构, 非晶态结构不存在晶界, 各个位置化学活性相近。随着锰元素的加入, 薄膜的阳极氧化反应就会被抑制, 进而保证后续的钝化反应顺利进行, 有利于形成致密稳定的钝化膜, 能够更好的保护基体。

### 3 结论

1) 通过磁控溅射制备的铝锰合金薄膜中的锰含量与使用的铝锰合金靶材中的锰含量近似相同, 可以通过更换不同锰含量的铝锰合金靶材来制备不同锰含量的铝锰合金薄膜。

2) 通过磁控溅射制备的铝锰合金薄膜结构会受薄膜中的锰含量影响。当薄膜中的锰含量为 6.80at% 时, 薄膜为固溶了锰元素的面心立方铝固溶体, 当锰含量达到 14.32at% 到 25.78at% 薄膜表现为非晶态结构和固溶体的混合结构, 当锰含量达到 35.67at% 薄膜析

出金属间化合物  $Al_8Mn_5$ 。

3) 极化曲线表明, 在钕铁硼磁体上磁控溅射沉积薄膜合金薄膜能极大的增强磁体的耐腐蚀性能; 薄膜的耐腐蚀性能受到薄膜中锰含量影响, 随着锰含量的升高, 薄膜的耐腐蚀性能先提高后降低。在薄膜为非晶态结构时耐腐蚀性能最好。

#### 参考文献:

- [1] 周寿增. 稀土永磁材料及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.
- [2] 贺琦军, 李卫. 钕铁硼永磁材料防腐蚀研究发展[J]. 金属功能材料, 2001, 8(5): 8-13.  
He Qijun, Li Wei. Progress in research on anticorrosion of NdFeB permanent magnet[J]. Metallic Functional Materials, 2001, 8(5): 8-13.
- [3] Minowa T, Yoshikawa M, Honshima M. Improvement of the corrosion resistance on Nd-Fe-B magnet with nickel plating [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1989, 25(5): 3776-3778.
- [4] Schultz L, El-Aziz A M, Barkleit G, et al. Corrosion behaviour of Nd-Fe-B permanent magnetic alloys [J]. Materials Science and Engineering, 1999, 267(2): 307-313.
- [5] Cygan D F, McNallan M J. Corrosion of NdFeB permanent magnets in humid environments at temperatures up to 150°C [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1995, 139(1/2): 131-138.
- [6] Kim A S, Camp F E, Lizzi T. Hydrogen induced corrosion mechanism in NdFeB magnets[J]. Applied Physics, 1996, 79(8): 4840-4842.
- [7] Otaigbe J U, Xiao J, Kim H. Influence of filler surface treatments on processability and properties of polymer-bonded Nd-Fe-B magnets [J]. Journal of Materials Science Letters, 1999, 18(4): 329-332.
- [8] Yan G L, McGuinness P, Farr J P G, et al. Environmental degradation of NdFeB magnets [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009, 478(1/2): 188-192.
- [9] El-Moneim A A, Gebert A, Uhlemen M, et al. The influence of Co and Ga additions on the corrosion behavior of nanocrystalline NdFeB magnets [J]. Corrosion Science, 2002, 44(8): 1857-1874.
- [10] 刘祺骏, 张鹏杰, 王明辉, 等. 烧结 NdFeB 表面碳纳米管/环氧树脂复合涂层的性能[J]. 金属热处理, 2016, 41(1): 179-183.  
Liu Qijun, Zhang Pengjie, Wang Minghui, et al. Properties of carbon nano-tube/epoxy resin composite coating on sintered NdFeB magnets [J]. Heat Treatment of Metals, 2016, 41(1): 179-183.
- [11] 刘卫强, 岳明, 张久兴, 等. 烧结 NdFeB 永磁合金本征腐蚀特

- 性研究进展[J]. 粉末冶金技术, 2006, 24(3): 198-198.
- Liu Weiqiang, Yue Ming, Zhang Jiuxing, et al. Intrinsic corrosion characteristic of sintered NdFeB permanent magnets [J]. Powder Metallurgy Technology, 2006(24): 198-198.
- [12] 宋振纶, 李卫. 钕铁硼永磁材料表面防护技术: 特点、应用、问题[J]. 磁性材料与器件, 2008, 39(1): 1-6.  
Song Zhenlun, Li Wei. Protection technology of NdFeB magnet materials: characteristics, applications and problems [J]. Journal of Magnetic Materials and Devices, 2008, 39(1): 1-6.
- [13] 袁庆龙, 曹晶晶, 冯旭东, 等. NdFeB 磁体表面化学镀 Ni-Co-P 合金镀层结构分析[J]. 金属热处理, 2010, 35(5): 31-33.  
Yuan Qinglong, Cao Jingjing, Feng Xudong, et al. Structural analysis of electroless plated Ni-Co-P alloy deposits on NdFeB magnets [J]. Heat Treatment of Metals, 2010, 35(5): 31-33.
- [14] 王明辉, 张鹏杰, 刘祺骏. 烧结 NdFeB 喷涂无铬 Zn-Al 涂层的耐蚀性能[J]. 金属热处理, 2016, 41(2): 38-42.  
Wang Minghui, Zhang Pengjie, Liu Qijun. Corrosion behavior of sprayed chromium-free Zn-Al coating on sintered NdFeB [J]. Heat Treatment of Metals, 2016, 41(2): 38-42.
- [15] Mao S D, Yang H X, Li J L, et al. The properties of aluminium coating on sintered NdFeB by DC magnetron sputtering [J]. Vacuum, 2011, 85(7): 772-775.
- [16] Mao S D, Yang H X, Song Z L, et al. Corrosion behaviour of sintered NdFeB deposited with an aluminium coating [J]. Corrosion Science, 2011, 53(5): 1887-1894.
- [17] 张吉卓, 张伟, 杜克勤, 等. AZ31B 镁合金表面电镀铝锰合金的耐蚀性[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2010, 30(4): 300-305.  
Zhang Jifan, Zhang Wei, Du Keqin, et al. Improved corrosion resistance of AZ31B magnesium alloy by electroplating of Al-Mn alloy [J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2010, 30(4): 300-305.
- [18] 余静, 冒守栋, 郑必长, 等. 烧结 NdFeB 磁体  $MnCl_2-AlCl_3-BMIC$  离子液体电沉积 Al-Mn 合金层的防腐蚀性[J]. 材料保护, 2013, 46(7): 1-3.
- [19] Reffass M, Berziou C, Rébéré C, et al. Corrosion behaviour of magnetron-sputtered  $Al_{1-x}Mn_x$  coatings in neutral saline solution [J]. Original Research Article Corrosion Science, 2010, 52(11): 3615-3623.
- [20] Foley R T, Nguyen T H. The chemical nature of aluminum corrosion [J]. Journal of the Electrochemical Society, 1982, 129(11): 27-32.

## 真空低压渗碳技术论坛

绿色制造技术是现代制造业的发展方向, 真空热处理是热处理领域公认的无污染的绿色制造技术, 尤其是真空低压渗碳是当今热处理发展的前沿技术和热点。我国作为热处理大国和全球最大的热处理装备市场, 面临诸多机会和挑战, 如何加快发展真空低压渗碳技术, 推进真空低压渗碳装备和工艺技术的开发及应用已成当务之急。为此, 全国热处理学会决定, 将于 2017 年 10 月 25 日在江苏常州举办“真空低压渗碳技术论坛”。本论坛将邀请国际知名真空低压渗碳技术专家、中外知名真空装备制造企业、我国相关研究机构及制造企业、热处理专业生产企业以及关键零部件制造企业就真空低压渗碳装备技术、工艺技术、应用技术及发展战略进行研讨, 并对技术的应用和发展进行现场观摩和咨询。

会议时间及地点: 2017 年 10 月 25 日, 常州金陵江南大饭店二楼江南厅。

联系人: 韩冲, 付丛伟, 李俏。电话: 010-882755375, E-mail: chts@chts.org.cn, 网址: www.chts.org.cn。