

2009-08-28

Crystallization and Electrochemical Corrosion Behaviors of Amorphous and Nanocrystalline Fe-Based Alloys

Xiang LI

Biao YAN

Peng DONG

Recommended Citation

Xiang LI, Biao YAN, Peng DONG. Crystallization and Electrochemical Corrosion Behaviors of Amorphous and Nanocrystalline Fe-Based Alloys[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2009 , 15(3): 269-274.

DOI: 10.61558/2993-074X.1993

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol15/iss3/7>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

Fe基非晶和纳米晶合金晶化及电化学腐蚀行为

李翔*, 严彪, 董鹏

(同济大学材料科学与工程学院, 上海市金属功能材料开发应用重点实验室, 上海 200092)

摘要: 应用单辊甩带法制备非晶态 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ 和 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ 薄带, 并以非晶晶化退火法制备出纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ 薄带. 利用 X 射线衍射 (XRD) 仪和示差扫描量热计 (DSC) 对该非晶薄带的非晶特性及其晶化过程进行了研究. 并用电化学极化曲线的方法和电化学阻抗技术研究了非晶态 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ 和纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液里的电化学腐蚀行为, 用 SEM 对极化测试后的试样形貌进行了观察; 同时还研究了不同的热处理温度对材料结构及在 1 mol/L NaOH 溶液里耐腐蚀性能的影响. 结果表明, 该非晶薄带的晶化过程分为两步; 纳米晶比非晶合金的耐腐蚀性要好; 且随着热处理温度的升高, 非晶和纳米晶的耐腐蚀性能都得到提高.

关键词: 非晶; 纳米晶; 晶化行为; 耐腐蚀性能; 扩散通道

中图分类号: TG139.8

文献标识码: A

非晶态合金是以很高的冷却速率获得的一种新型金属材料, 它的一个特点是没有晶界, 在结构上与液态金属相似. 非晶合金的物理、化学性能或其它力学性能优于相应的晶态合金. 但自从 Yoshizawa 等在非晶态合金的基础上首先发现 Finemet 铁基纳米晶合金以来, 纳米晶以其优异的软磁性能引起国内外材料科学家的广泛关注. 20 世纪 80 年代初, Gleiter (德) 提出纳米晶体材料概念并率先获得人工制备纳米晶体. 之后, 世界各国竞相开展这一新材料的研究. 纳米晶由于晶粒异常细小, 大量的原子处于晶界, 并存在高体积分数的三叉晶界, 从而表现出一系列普通多晶材料及非晶材料所不及的优异性能, 为发展新一代综合性能材料创造了条件, 也因此成为近年来材料科学研究的热点之一^[1-7].

由于纳米材料的粒径小, 表面原子百分数多, 吸附能力强, 表面活性高, 按照传统的腐蚀理论, 晶界是腐蚀的活性区使其非常容易被腐蚀, 严重影响材料的使用寿命从而制约着它的应用. 关于纳米材料腐蚀特性的研究, 已引起了人们的注意. 系统研究纳米材料腐蚀行为及其机理, 可为纳米材料的安

全使用以及提高寿命提供理论依据. 迄今为止, 国内外这方面的研究还较少, 所得结果也存在一些争议^[8-12]. 本文针对纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ 和非晶 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液中的耐腐蚀性能作了较详细的研究.

1 实验部分

1.1 试样制备

由真空感应炉炼制母合金锭 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ 和 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$, 经单辊快淬法制成 1 cm 宽 30 μm 厚的非晶薄带. 再将该非晶带于真空热处理炉中 350 $^{\circ}\text{C}$ (或 450 $^{\circ}\text{C}$) 非晶晶化退火, 然后, 随炉冷却即得 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ 纳米晶.

1.2 实验方法

用 CHI600C 电化学工作站和 PARSTAT2273 阻抗谱仪分别测定经不同退火温度热处理后的非晶及纳米晶试样的腐蚀性能, 其腐蚀液为 1 mol/L NaOH 溶液. 三电极体系: 甘汞电极为参比电极, 铂电极为辅助电极, 工作电极即待测试样 (室温下实验). 每次实验都更换新鲜的溶液. 实验之前, 首先

向 NaOH 溶液通入高纯氮气 1 h 以除去溶液中的溶解氧. 之后将待测样品连接好, 分别作电化学极化或阻抗测试. XRD 分析使用日本理学 D/max- α X 射线衍射仪, 扫描角度 $10^\circ \sim 90^\circ$, Cu K α 靶. DSC7 型差示扫描量热 (DSC) 仪 (Perkin-Elmer 公司) 作样品热分析, 升温速率 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 使用 SEM 观测, 在 S-2360N 扫描电子显微镜.

2 结果与讨论

2.1 非晶特性的表征

图 1 示出非晶态薄带 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ (A) 和 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ (B) 合金的 DSC 测试结果. 由图可见, 两种合金的完全晶化开始温度 T_x 分别为 535°C 和 524°C . 而前者在 96°C 和 204°C 处, 各出现一个小的晶化峰; 而后者则在 222°C 处, 显示一个小的晶化峰.

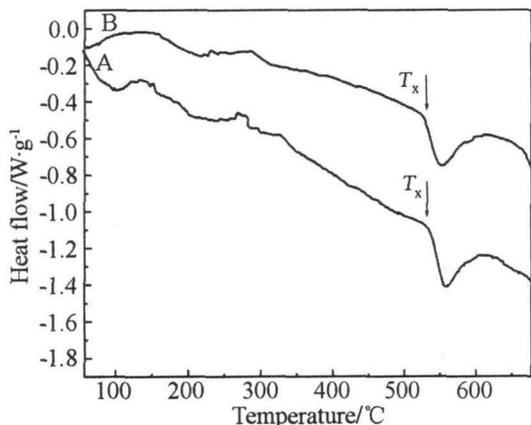


图 1 非晶 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ (A) 和纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ (B) 合金的 DSC 曲线

Fig. 1 DSC curves of the amorphous $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ (A) and the nanocrystalline $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ (B) alloys

图 2 是非晶 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ 合金经不同热处理温度退火后的 X 射线衍射图谱. 可以看出, 不经热处理的非晶态样品其 X 射线衍射峰弥散显著, 说明试验样品具有良好的非晶结构. 但经热处理 (350°C 和 450°C) 后则其衍射谱线就各出现一个小的晶化峰, 说明此时非晶样品已产生了部分晶化, 尤其是 450°C 时热处理的, 可能形成了纳米晶.

图 3 是纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ 合金经不同热处理温度退火后的 X 射线衍射图谱. 如图, 该样品经热处理后其衍射谱线除出现个别的晶化峰外, 还存在显著的弥散峰, 表明这一合金应当是由

非晶相和晶体相组成的. 实验发现虽然升高温度有向晶化转变的趋势, 但在 450°C 下热处理的样品也还没有完全达到晶化. 与 DSC 所测结果也一致.

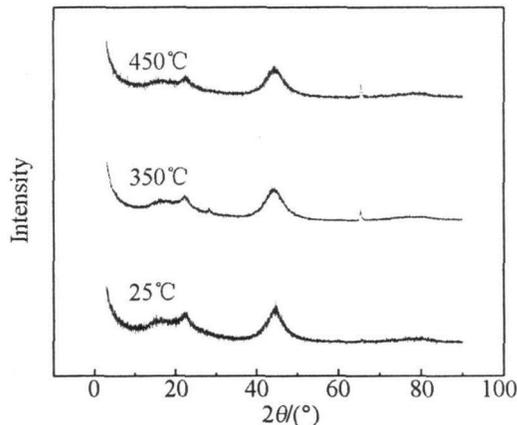


图 2 非晶 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ 合金经不同热处理温度退火后的 X 射线衍射图谱

Fig. 2 X-ray diffraction patterns of the $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ alloy in as-quenched and annealed states

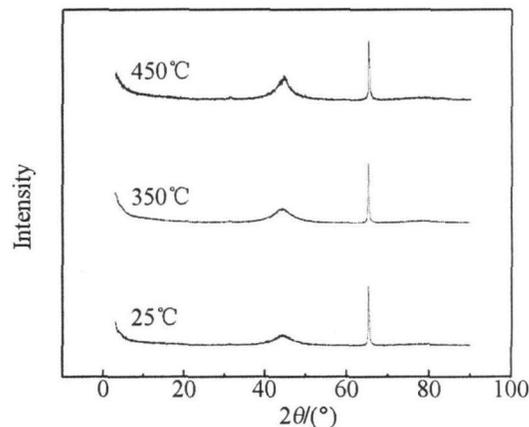


图 3 纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ 合金经不同热处理温度退火后的 X 射线衍射图谱

Fig. 3 X-ray diffraction patterns of the $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ alloy in as-quenched and annealed states

2.2 极化曲线测试

图 4 是室温下, 非晶 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ 和纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液中的极化曲线. 可以看出, 非晶和纳米晶都有明显的钝化趋势, 非晶的腐蚀电位较高于纳米晶, 虽其腐蚀电流稍低, 但纳米晶的钝化区比非晶的长. 总体而言, 纳米晶的耐腐性能要比非晶的好. 这主要是在纳米晶表面钝化膜更容易形成. 因为在非晶基体上形成的纳米晶分布着均匀的纳米尺度晶化相, 这些晶

化相能促进钝化膜的形成,从而阻止腐蚀反应的进行.另一方面,非晶部分晶化后,原子发生结构弛豫,结合能增大,使得合金中原子与溶液中离子的反应速率减慢.

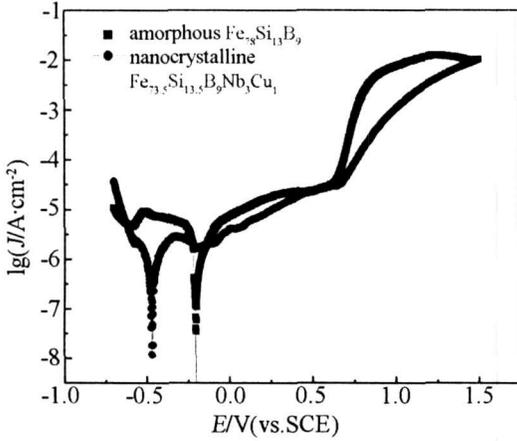


图 4 非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液中的极化曲线

Fig 4 Polarization curves of the $Fe_{78}Si_{13}B_9$ and $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ alloys in 1 mol/L NaOH solutions

图 5和图 6分别是未经和经过 350°C 或 450°C 退火后的非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液中的极化曲线.可以看出,未经和经过退火后的非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 合金虽二者腐蚀电位相差不大,但后者的腐蚀电流明显降低,钝化区变得更长,说明经退火后耐腐蚀性能得到提高.原因即在退火后非晶里有部分纳米晶粒形成,从而使其耐腐蚀性能强于未退火的非晶.

图 6 示明,未经和经过退火后的纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液中的极化曲线变化不大,但对 450°C 退火的纳米晶合金,其腐蚀电位明显增大,腐蚀电流明显降低,说明提高退火温度有助于增强该纳米晶的耐腐蚀性能.

由于升高热处理温度,会导致材料晶粒粗化,改变合金的扩散机制从而明显影响合金的腐蚀行为.通常认为,在一个具有大量的快速通道(晶界、位错)的合金系统中,组元的有效扩散系数应居于其体扩散系数和沿快速通道的扩散系数之间.据此,若仅考虑晶界的贡献,就应当以相应的有效扩散系数代替体扩散系数,有效扩散系数可表示为 $D_{\text{eff}} = (1 - f)D_b + fD_{\text{gb}}$, 其中 D_b 和 D_{gb} 分别是体

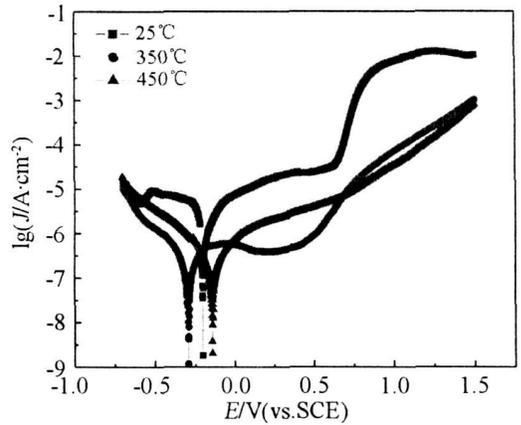


图 5 非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 合金在 25°C (■)及经 350°C (●)或 450°C (▲)退火后,在 1 mol/L NaOH 溶液中的极化曲线

Fig 5 Polarization curves of the $Fe_{78}Si_{13}B_9$ alloys at 25°C (■), after heat treated at 350°C (●), or at 450°C (▲) in 1 mol/L NaOH solutions

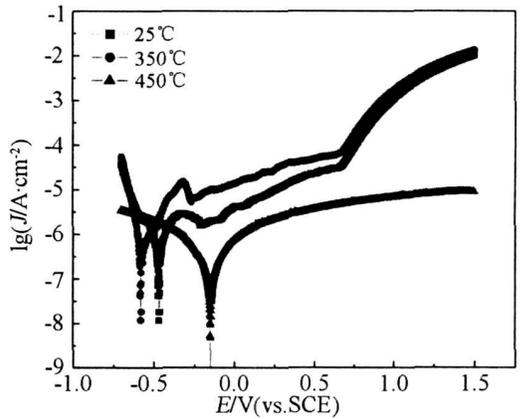


图 6 纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金于 25°C (■)及其经过 350°C (●)或 450°C (▲)退火后在 1 mol/L NaOH 溶液中的极化曲线

Fig 6 Polarization curves of the $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ alloys (■), after heat treated at 350°C (●), or at 450°C (▲) in 1 mol/L NaOH solutions

扩散系数和晶界扩散系数, f 是晶界扩散位置所占的分数.对于边长为 d 的立方晶粒, $f = 2\delta/d$ δ 是晶界宽度.因此,有效扩散系数实际上变动在体扩散系数(粗晶合金)至接近于晶界扩散系数(极细合金)之间.一般说来,金属中短程扩散的激活能是体扩散的 $50\% \sim 70\%$,而 D_{gb}/D_b 的比值约为 $10^4 \sim 10^6$.晶粒粗化使得可作为优先扩散通道的晶界减少,而处于晶界处的原子能量往往高于晶内的原子,使得参与腐蚀反应的活性原子数减

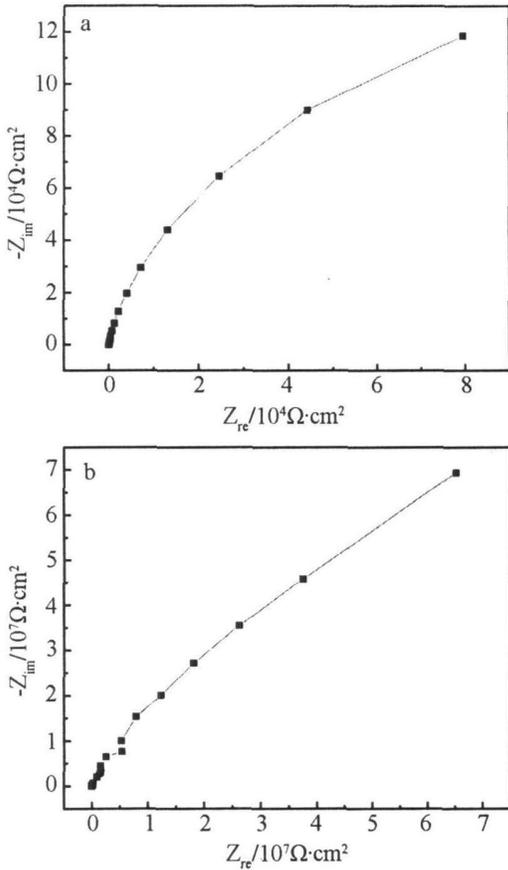


图 7 非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ (a)和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ (b)合金在 1 mol/L NaOH 溶液中开路电位下的电化学阻抗谱

Fig 7 EIS of the $Fe_{78}Si_{13}B_9$ (a) and $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ (b) alloys in 1 mol/L NaOH solution at open circuit potential

少,所以腐蚀速率降低.

2.3 交流阻抗测试

图 7是非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ (a)和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ (b)合金浸入 1 mol/L NaOH 溶液稳定后,于开路电位下测定的电化学阻抗谱 (EIS).如图,两种合金的 EIS均由单一容抗弧构成,包含一个时间常数,与其对应的等效电路如图 8所示.图

中 R_s 为溶液电阻, CPE为常相位角元件 (constant phase angle element),即非理想的金属-溶液界面双层电容,由两个参数 (常相系数 Y_0 和弥散系数 n)决定, R_t 为电化学反应电荷转移电阻.根据图 7

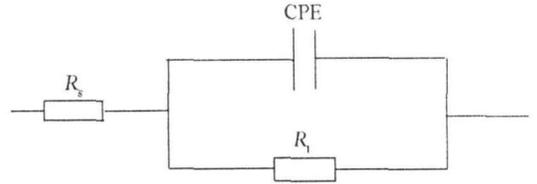


图 8 单容抗弧 EIS等效电路

Fig 8 Equivalent circuit for the EIS with in single capacitance loop

作参数拟合,结果见表 1.其中,非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金的 R_t 分别为 252540 和 $7.5285E7\Omega \cdot \text{cm}^2$, R_t 是一个与腐蚀速率密切相关的参数,其值越大,相应的腐蚀速率就越小.可见纳米晶的耐蚀性应比非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 的更好,与上述极化曲线测试结果一致.

2.4 极化测试后的试样表面形貌

图 9、图 10分别是未经 (a)和经过 450°C 退火后 (b)的非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液中极化曲线测定后的 SEM 照片.由图 9可以看出,未经退火处理的 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 非晶表面 (a)腐蚀产物较多,比较均匀,而经 450°C 退火后,其表面的腐蚀产物减少了且不均匀 (b).这是由于未经退火的非晶,它的无定形组织及短程有序使其结构更加均匀,而退火之后,由于内部已经形成了部分耐腐蚀的纳米晶,所以腐蚀产物也少了.图 10示明,未退火处理的 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 纳米晶表面 (a)腐蚀产物较少;而当退火后,则出现了明显的大晶界,使得参与腐蚀反应的活性原子数减少,表面的腐蚀产物也随之减少.这又佐证了前面极化曲线测量的结果.

表 1 非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金在开路电位下的 EIS拟合结果

Tab 1 The fitting parameters of $Fe_{78}Si_{13}B_9$ and $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ alloys according to the EIS

Alloy	$R_s / \Omega \cdot \text{cm}^2$	$\text{CPE}-T / \text{F} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\text{CPE}-P / \text{F} \cdot \text{cm}^{-2}$	$R_t / \Omega \cdot \text{cm}^2$
$Fe_{78}Si_{13}B_9$	7.126	$8.8303E-6$	0.92551	252540
$Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$	106.4	$8.114E-9$	0.84154	$7.5285E7$

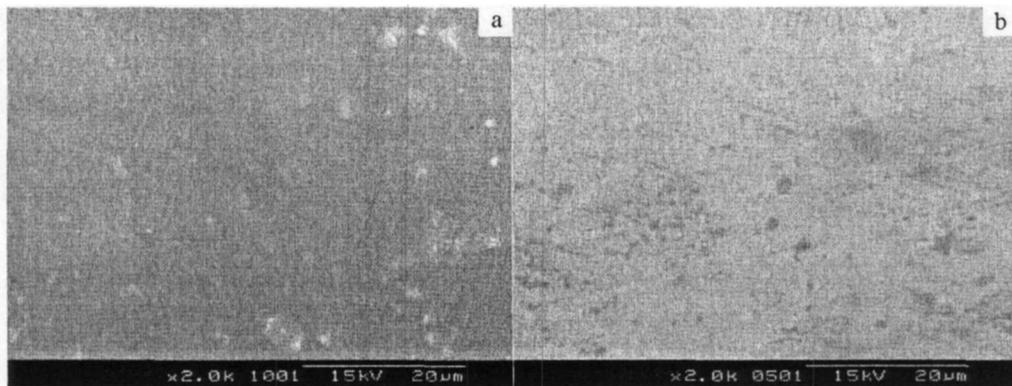


图 9 非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 合金极化后表面的 SEM 照片

Fig 9 SEM images of the $Fe_{78}Si_{13}B_9$ alloys after potentiodynamic polarization

a without heat treatment b after heat treated at 450°C

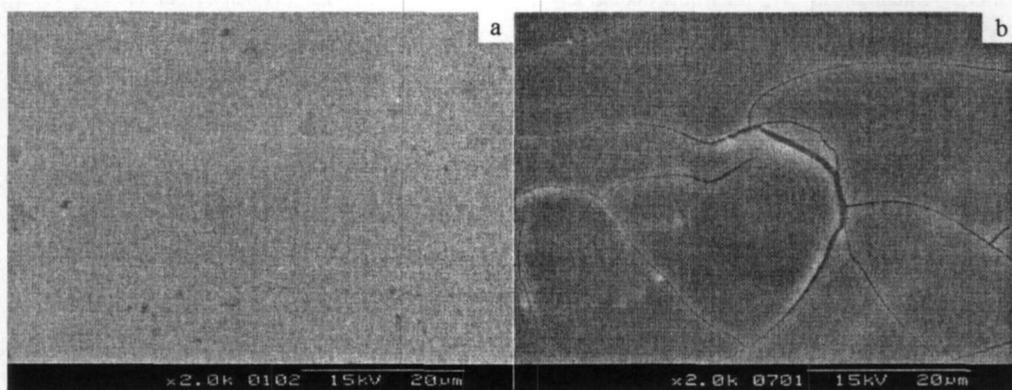


图 10 纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金极化后的 SEM 形貌

Fig 10 SEM images of the $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ alloys after potentiodynamic polarization

a without heat treatment b after heat treated at 450°C

3 结 论

1) 未经退火处理的非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液中都有明显的钝化趋势, 非晶的腐蚀电位稍高于纳米晶, 但腐蚀电流稍低, 而纳米晶的钝化区比非晶的长. 总体而言, 纳米晶的耐腐蚀性能要比非晶的耐腐蚀性能要好.

2) 非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 合金经 350 °C 和 450 °C 退火后在 1 mol/L NaOH 溶液中也具有明显的钝化趋势. 其腐蚀电位与未退火的相比差别不大, 而腐蚀电流却明显降低, 钝化区变得更长, 可见经退火后耐腐蚀性能得到提高.

3) 未经退火和经 350 °C 退火的纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金其在 1 mol/L NaOH 溶液中的极化曲线变化不大, 但如是 450 °C 下退火的, 则其腐蚀电位明显升高、腐蚀电流明显降低. 显然, 提高

退火温度有助于增强该纳米晶的耐腐蚀性能.

4) 非晶 $Fe_{78}Si_{13}B_9$ 和纳米晶 $Fe_{73.5}Si_{13.5}B_9Nb_3Cu_1$ 合金在 1 mol/L NaOH 溶液中开路电位下的 EIS 均由单一容抗弧构成, 包含一个时间常数, 纳米晶的电化学反应电阻 R_t 比非晶的大得多, 即其耐蚀性更好, 与前面的极化曲线测试结果一致.

5) SEM 表面形貌图观察佐证了电化学测量的结果.

参考文献 (References):

[1] Vara G, Piema A R, Jimenez J A, et al Influence of nickel content on the electrochemical behavior of finemet type amorphous and nanocrystalline alloys [J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2007, 353, 1008-1010.
 [2] Laura Elbaile Angel R, Gemma Vara Piema et al Effect of the oxidation in the surface coercive force of

- nanocrystalline $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ alloy [J]. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2006, 304, e630-e632.
- [3] Baron A, Szwieczek D, Nawrat G. Corrosion of amorphous and nanocrystalline Fe-based alloys and its influence on their magnetic behavior [J]. *Electrochimica Acta* 2007, 52, 5690-5695.
- [4] Baranowska J, Franklin S E. Characterization of gas-nitrided austenitic steel with an amorphous/nanocrystalline top layer [J]. *Wear* 2008, 264, 899-903.
- [5] Liu Lin (柳林), Sun Min (孙民), Chen Qi (谌祺), et al. Crystallization, mechanical and corrosion properties of Zr-Cu-Ni-Al-Nb bulk glassy alloys [J]. *Acta Phys Sin*, 2006, 55(4), 1930-1933.
- [6] Jozef Sitek, Jmila Degnova, Katarinna Sedlacikova et al. External influence on magnetic properties of Fe-based nanocrystalline alloys [J]. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2006, 304, e697-e699.
- [7] Mondal K, Murty B S, Chatterjee U K. Electrochemical behavior of multicomponent amorphous and nanocrystalline Zr-based alloys in different environments [J]. *Corrosion Science* 2006, 48, 2212.
- [8] Szwieczek D, Baron A. Electrochemical corrosion and its influence on magnetic properties of $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ alloy [J]. *Journal of Materials Processing Technology* 2005, 164, 940.
- [9] Wang Cheng (王成), Zhang Qing-sheng (张庆生), Jiang Feng (江峰). Corrosion behavior of $\text{Zr}_{65}\text{Al}_{10}\text{Cu}_{30}\text{Ni}_5$ amorphous alloy in NaOH solution [J]. *Rare Metal Materials and Engineering* 2003, 32(10), 814-816.
- [10] Pardo A, Otero E, Merino M C, et al. The influence of Cr addition on the corrosion resistance of $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ metallic glass in marine environments [J]. *Corrosion Science* 2002, 44, 1193-1200.
- [11] Souza C A C, May J E, Carlos I A, et al. Influence of the corrosion on the saturation magnetic density of amorphous and nanocrystalline $\text{Fe}_{73}\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_{7.5}\text{Cu}_1$ and $\text{Fe}_{80}\text{Zr}_{15}\text{Nb}_{15}\text{B}_{12}\text{Cu}_1$ alloys [J]. *Journal of Non-Crystalline Solids* 2002, 304, 210-216.
- [12] Cremaschi V, Avram I, Sirkin H, et al. Electrochemical studies of amorphous, nanocrystalline and crystalline FeSiB based alloys [J]. *Scripta Materialia* 2002, 46, 95-100.

Crystallization and Electrochemical Corrosion Behaviors of Amorphous and Nanocrystalline Fe-Based Alloys

LIXiang, YAN Biao*, DONG Peng

(Shanghai Key Lab of Metal Functional Materials, School of Materials Sciences and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this study, amorphous $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ and $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ ribbons were prepared by the chill block melt-spinning process and nanocrystalline $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ ribbons were obtained by annealing. The amorphous ribbons and their crystallization processes were identified by differential scanning calorimeter (DSC) and X-ray diffraction (XRD). A comparative study of the electrochemical corrosion behaviors of $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{13}\text{B}_9$ and $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ amorphous and nanocrystallized alloys was performed by linear polarization method and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) in 1 mol/L NaOH solutions. The photographs of the samples after potentiodynamic polarization were observed by SEM. The influence of heat treatment on the alloys structure and corrosion resistance in 1 mol/L NaOH solutions was investigated. The results show that the crystallization of amorphous ribbons occurs in two steps, nanocrystalline alloys have a higher corrosion resistance than amorphous alloys and the corrosion resistances of amorphous and nanocrystalline alloys increase as thermal treatment temperature rises.

Key words: amorphous; nanocrystalline; crystallization behavior; corrosion resistance; diffusion path