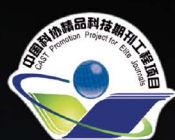


金属学报

ACTA METALLURGICA SINICA



2022

第58卷 第1期 Vol.58 No.1

中国金属学会主办

ACTA METALL.SIN.(JINSHU XUEBAO), Vol.58, No.1, pp.1—128, January 2022



金属学报

JINSHU XUEBAO

第 58 卷

第 1 期

2022 年 1 月 11 日

目次

综 述

- 冷喷涂 Ni 及镍基复合涂层研究进展李文亚 张正茂 徐雅欣 宋志国 殷 硕 (1)
- 高熵合金涂层研究进展崔洪芝 姜 迪 (17)
- 钢精炼过程非金属夹杂物演变与控制朱苗勇 邓志银 (28)

研究论文

- 纳米孪晶强化 304 奥氏体不锈钢的应变控制疲劳行为潘庆松 崔 方 陶乃镭 卢 磊 (45)
- 析出强化 $\text{Fe}_{53}\text{Mn}_{15}\text{Ni}_{15}\text{Cr}_{10}\text{Al}_4\text{Ti}_2\text{C}_1$ 高熵合金强韧化机制孙士杰 田艳中 张哲峰 (54)
- 不同 Cr 含量的奥氏体不锈钢在 700℃ 煤灰/高硫烟气环境中的腐蚀行为
.....曹 超 蒋成洋 鲁金涛 陈明辉 耿树江 王福会 (67)
- 高通量自动流程集成计算与数据管理智能平台及其在合金设计中的应用
.....王冠杰 李开旗 彭力宇 张壹铭 周 健 孙志梅 (75)
- 数据驱动镍基铸造高温合金设计及复杂铸件精确成形
.....汪东红 孙 锋 疏 达 陈晶阳 肖程波 孙宝德 (89)
- Cr 含量对 FeCrCoSi 永磁合金调幅分解组织及其性能的影响
.....项兆龙 张 林 XIN Yan 安佰灵 NIU Rongmei
LU Jun MARDANI Masoud HAN Ke 王恩刚 (103)
- “工艺-组织-性能”模拟研究 Mg-Gd-Y 合金混晶组织
.....李少杰 金剑锋 宋宇豪 王明涛 唐 帅 宗亚平 秦高梧 (114)

封面文章: 纳米孪晶强化 304 奥氏体不锈钢的应变控制疲劳行为
潘庆松, 崔 方, 陶乃镭等. 金属学报, 2022, 58: 45

C O N T E N T S

Overview

- Research Progress of Cold Sprayed Ni and Ni-Based Composite Coatings: A Review(1)
LI Wenya, ZHANG Zhengmao, XU Yaxin, SONG Zhiguo, YIN Shuo
- Research Progress of High-Entropy Alloy Coatings(17)
CUI Hongzhi, JIANG Di
- Evolution and Control of Non-Metallic Inclusions in Steel During Secondary Refining Process(28)
ZHU Miaoyong, DENG Zhiyin

Research paper

- Strain-Controlled Fatigue Behavior of Nanotwin-Strengthened 304 Austenitic Stainless Steel(45)
PAN Qingsong, CUI Fang, TAO Nairong, LU Lei
- Strengthening and Toughening Mechanisms of Precipitation-Hardened $Fe_{53}Mn_{15}Ni_{15}Cr_{10}Al_4Ti_2C_1$
High-Entropy Alloy(54)
SUN Shijie, TIAN Yanzhong, ZHANG Zhefeng
- Corrosion Behavior of Austenitic Stainless Steel with Different Cr Contents in 700°C Coal Ash/High Sulfur
Flue-Gas Environment(67)
CAO Chao, JIANG Chengyang, LU Jintao, CHEN Minghui, GENG Shujiang, WANG Fuhui
- High-Throughput Automatic Integrated Material Calculations and Data Management Intelligent Platform
and the Application in Novel Alloys(75)
WANG Guanjie, LI Kaiqi, PENG Liyu, ZHANG Yiming, ZHOU Jian, SUN Zhimei
- Data-Driven Design of Cast Nickel-Based Superalloy and Precision Forming of Complex Castings(89)
WANG Donghong, SUN Feng, SHU Da, CHEN Jingyang, XIAO Chengbo, SUN Baode
- Effect of Cr Content on Microstructure of Spinodal Decomposition and Properties in FeCrCoSi Permanent
Magnet Alloy(103)
*XIANG Zhaolong, ZHANG Lin, XIN Yan, AN Bailing, NIU Rongmei, LU Jun, MARDANI Masoud,
HAN Ke, WANG Engang*
- Multimodal Microstructure of Mg-Gd-Y Alloy Through an Integrated Simulation of "Process-Structure-Property"(114)
LI Shaojie, JIN Jianfeng, SONG Yuhao, WANG Mingtao, TANG Shuai, ZONG Yaping, QIN Gaowu

Cover paper: Strain-Controlled Fatigue Behavior of Nanotwin-Strengthened 304 Austenitic
Stainless Steel
PAN Qingsong, CUI Fang, TAO Nairong, et al. Acta Metall. Sin., 2022, 58: 45



不同Cr含量的奥氏体不锈钢在700℃煤灰/ 高硫烟气环境中的腐蚀行为

曹超¹ 蒋成洋¹ 鲁金涛² 陈明辉¹ 耿树江¹ 王福会¹

1 东北大学 沈阳材料科学国家研究中心东北大学联合研究分部 沈阳 110819

2 西安热工研究院有限公司 电站清洁燃烧国家工程研究中心 西安 710032

摘要 研究了3种不同Cr含量(质量分数)的奥氏体不锈钢在700℃下煤灰/高硫烟气环境中的腐蚀行为。结果表明,低Cr合金(19.13%)腐蚀最为严重,氧化膜由外层 Fe_2O_3 、内层 Cr_2O_3 及CrS组成,外层氧化膜剥落严重;中Cr合金(22.78%)氧化膜结构与低Cr合金类似,但腐蚀程度更轻;高Cr合金(24.00%)表面形成了稳定而致密的 Cr_2O_3 层,表现出比其他2种合金更好的抗高温腐蚀性。合金中的NbC会被氧化成 Nb_2O_5 分布在氧化膜中, Nb_2O_5 的形成会破坏氧化膜的完整性,导致氧化膜更容易发生开裂。

关键词 高温腐蚀,奥氏体不锈钢,煤灰/高硫烟气,硫化/氧化

中图分类号 TG174.44

文章编号 0412-1961(2022)01-0067-08

Corrosion Behavior of Austenitic Stainless Steel with Different Cr Contents in 700°C Coal Ash/High Sulfur Flue-Gas Environment

CAO Chao¹, JIANG Chengyang¹, LU Jintao², CHEN Minghui¹, GENG Shujiang¹, WANG Fuhui¹

1 Shenyang National Laboratory for Materials Science, Northeastern University, Shenyang 110819, China

2 National Energy R&D Center of Clean and High-Efficiency Fossil-Fired Power Generation Technology,

Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710032, China

Correspondent: JIANG Chengyang, Tel: 18069221160, E-mail: jiangchengyang@mail.neu.edu.cn

LU Jintao, senior engineer, Tel: 18192269998, E-mail: lujintao@tpri.com.cn

Supported by National Key Research and Development Program of China (Nos. 2019YFF0217500 and 2016ZX-05022-055), Excellent Youth Foundation of Liaoning Province (No.2019-YQ-03), and Science and Technology Project of China Huaneng Group (No.HNKJ20-H43)

Manuscript received 2020-12-08, in revised form 2021-01-20

ABSTRACT With the rapid increase in thermal power generation units in China, the thermal power generation industry is facing pressures such as reducing costs, improving power generation efficiency and mitigating environmental problems. Thermal power generation units with a large capacity and high parameters result in high system efficiency, but they also amplify the corrosion failure problem of high-temperature components, especially the atmosphere/ash corrosion of outer tubes. Many studies regarding flue gas corrosion have shown that molten alkali metal sulfate can form on the surface of pipelines,

资助项目 国家重点研发计划项目 Nos.2019YFF0217500和2016ZX05022-055,辽宁省优秀青年基金项目 No.2019-YQ-03,中国华能集团有限公司科技项目 No.HNKJ20-H43

收稿日期 2020-12-08 定稿日期 2021-01-20

作者简介 曹超,男,1994年生,硕士

通讯作者 蒋成洋,jiangchengyang@mail.neu.edu.cn,主要从事高温腐蚀的研究

鲁金涛,lujintao@tpri.com.cn,主要从事电站金属材料高温腐蚀与防护方面的研究

DOI 10.11900/0412.1961.2020.00496

causing severe corrosion damage, and the extent of corrosion is closely related to the sulfur content in raw coal. However, much attention has been paid to low-sulfur (standard coal combustion) environments in previous studies, with very few studies on high-sulfur environments. Austenitic stainless steels possessing a combination of excellent high temperature corrosion and fatigue resistances, are considered as promising construction materials for high temperature components in supercritical and ultra-supercritical fossil fuel power plants. Elements such as Cr and Nb have been shown to greatly affect the high temperature corrosion resistance of austenitic stainless steels; however few reports are available regarding the effect of Cr on corrosion resistance in high-sulfur flue gas environments and the effect of Nb on the corrosion resistance of Cr_2O_3 -forming alloys. Therefore, in this study, the corrosion behavior of three types of austenitic stainless steels with different Cr contents was studied in a coal ash/high-sulfur flue gas environment at 700°C . Results showed that low Cr alloys formed a two-layered structure: an external Fe_2O_3 layer and an internal layer with Cr_2O_3 and CrS. Medium Cr alloys developed a similar structure oxide scale to low Cr concentration alloys, but the corrosion extent was modest. Conversely, a stable and dense Cr_2O_3 layer was formed on the surface of the high Cr alloys, showing higher corrosion resistance than the other two alloys. The Nb in the alloys had some influence on the corrosion resistance of the alloys. The NbC in the alloys oxidized to Nb_2O_5 and distributed in the oxide scale. The formation of Nb_2O_5 destroyed the integrity of the oxide scale and led to the easy cracking of the oxide scale.

KEY WORDS high temperature corrosion, austenitic stainless steel, coal-ash/high sulfur flue-gas, sulfidation/oxidation

近年来,随着我国火力发电机组的高速发展,火力发电行业面临降低成本、提高发电效率以及缓解环境问题等压力,提高燃煤发电机组的蒸汽参数成为解决机组发电效率的有效途径之一^[1,2]。建设超(超)临界火电机组已经成为火力发电的主要趋势^[3,4]。然而,大容量、高参数火力发电机组在带来较高系统效率的同时,也使得高温部件的腐蚀失效问题变得更加突出,尤其管外气氛/煤灰腐蚀问题日趋严重^[5]。

奥氏体钢具有优良的性能,因而被广泛应用于过热器和再热器。相比于铁素体钢,Cr含量的增加使得奥氏体不锈钢高温持久强度以及抗氧化、耐腐蚀性能有了大幅度的提升。研究^[6-8]表明,Cr有利于提高合金的抗高温腐蚀性能。当合金中的Cr含量达到22%,甚至超过25%时,则能快速生成稳定单一的 Cr_2O_3 保护膜,从而阻止合金的内氧化和内硫化^[9]。

Nb作为一种合金元素,已经被证实有利于提高合金的抗高温腐蚀性能。研究^[10-12]发现Nb的添加能大幅度提高钛合金的抗高温氧化性能。Brady等^[13,14]发现Nb可以促进奥氏体不锈钢在高温下快速形成 Al_2O_3 ,从而提高其抗高温氧化性能。研究表明,Nb对合金抗高温氧化性能的提高主要通过提高Al的扩散速率^[15]和减少氧空位^[16]实现。但是,Nb对 Cr_2O_3 膜形成合金抗高温氧化性能的影响却鲜有报道。

随着电厂煤炭市场的开放,实际燃煤中的S元素含量有时高于锅炉设计煤种,高硫煤进入炉内燃烧,造成炉内高温部件的腐蚀、积灰、堵塞,严重影响火电机组的安全运行^[17]。研究^[18,19]表明,管道表面可

形成熔融碱金属硫酸盐,导致管道腐蚀破坏。原煤中的含S量越高,发生高温腐蚀的几率就越高且速率越快^[20]。而目前的研究和评价主要以低硫(标准煤燃烧)气氛为基础,对高硫气氛的研究较少。本实验在 700°C 煤灰/高硫烟气环境中对3种不同Cr含量的奥氏体不锈钢进行烟气腐蚀行为研究,揭示其腐蚀动力学、腐蚀形貌和元素分布规律,通过对比研究,阐明奥氏体不锈钢在高硫烟气环境中的腐蚀机理,探讨元素Cr和Nb对其抗腐蚀性能的影响。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

实验所用样品为实验室冶炼的柱状铸锭,其化学成分见表1。腐蚀实验前,先将样品切割加工成 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的片状样品,并在顶部钻直径为 0.75 mm 的圆孔用于悬挂。依次在240、400、800、1000和2000号水磨砂纸上打磨。最后,将样品放在丙酮和乙醇中进行超声波清洗,冷风吹干后备用。

1.2 实验方法

煤灰/烟气腐蚀实验在XY-1200D型恒温双段独立控温管式炉中进行,实验装置示意图如图1所示。测试温度为 700°C ,样品表面覆盖的煤灰为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaSO_4 、 Na_2SO_4 和 K_2SO_4 组成的混合物,具体成分(质量分数,%)为: SiO_2 39, Al_2O_3 22, Fe_2O_3 6, CaSO_4 29, Na_2SO_4 2, K_2SO_4 2。通入的烟气为 N_2 、 CO_2 、 O_2 、 H_2O 和 SO_2 组成的混合气体,具体体积分数

表 1 3 种试样的化学成分
Table 1 Chemical compositions of three samples

Alloy	(mass fraction / %)										
	Ni	Cr	Mn	Nb	Si	N	C	B	P	Co	Fe
Low Cr	19.41	19.13	0.40	6.23	1.19	0.13	0.13	0.002	0.018	4.74	Bal.
Medium Cr	20.31	22.78	0.61	1.04	1.20	0.19	0.092	0.002	0.03	1.02	Bal.
High Cr	19.20	24.00	0.45	1.41	0.58	0.18	0.10	0.002	0.02	2.30	Bal.

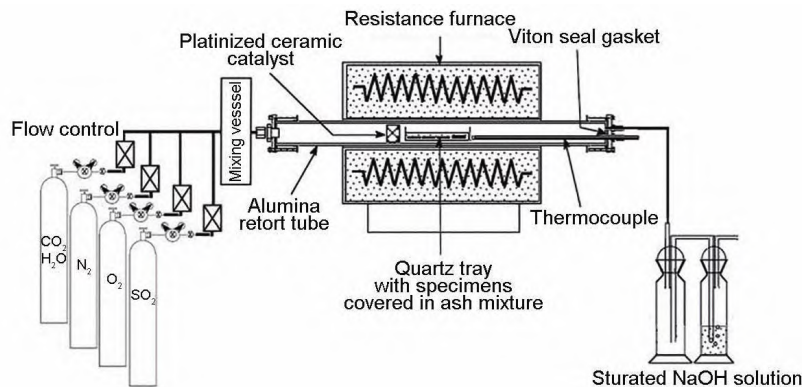


图 1 模拟煤灰/烟气腐蚀实验装置示意图

Fig.1 Schematic of corrosion experiment setup in simulative coal ash/flue-gas environment

为: N_2 80%, CO_2 10%, O_2 3.5%, H_2O 5%, SO_2 1.5%。在腐蚀之前,将配置好的煤灰混合物放在研钵中充分研磨,然后加入适量的丙酮配成悬浮液。将样品放在预热的铁板上加热,用毛刷蘸取后均匀涂敷在样品表面,涂敷量为 $40\sim 50\text{ mg/cm}^2$,通过管式炉中的烟气流速率为 100 mL/min 。为了促进 SO_2 和 SO_3 之间的可逆平衡反应,实验中采用了蜂窝状的Pt网作为催化剂。实验过程中,每隔一段时间取出一个样品,冷却后在沸腾的去离子水中将表面的残留盐洗去,再通过精度为 10^{-5} g 的电子分析天平称量样品质量变化,剩下的样品继续进行腐蚀实验。样品留样观察的时间节点分别为 20、50、100、200、300、400、500、600、800 和 1000 h。

采用 X'Pert PRO 型 X 射线衍射仪(XRD)分析腐蚀产物的物相结构,采用配有 INCA XMAX 型能谱分析仪(EDS)的 Inspect F50 场发射扫描电子显微镜(SEM)观察涂层微观结构及检测涂层和腐蚀产物的主要化学成分。采用 JXA-8530F 电子探针分析仪(EPMA)测定涂层及氧化膜的元素分布。为了保护氧化膜不因金相抛光而脱落,带有氧化膜的截面样品制样前均进行化学镀 Ni 和树脂镶样保护处理。

2 实验结果

2.1 腐蚀动力学

图 2 所示为 3 种样品在 700°C 下煤灰/烟气中的腐蚀质量变化曲线。腐蚀过程中的质量变化是生成

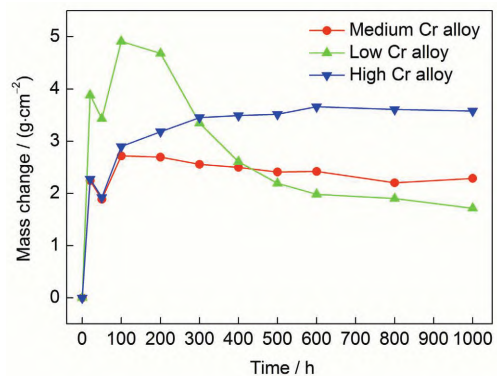


图 2 3 种样品在 700°C 下腐蚀 1000 h 的质量变化曲线
Fig.2 Mass change curves of the three test samples after corrosion at 700°C for 1000 h

氧化膜引起的增重和氧化膜剥落引起的减重的综合表现,缓慢而稳定的质量变化和更小的增重,表明样品具有更好的抗煤灰/烟气腐蚀能力。从图 2 可以看出,3 种样品在前 20 h 腐蚀中质量变化呈直线增长形态,说明试样在腐蚀初期,氧化膜快速生长。其中低 Cr 合金质量增重最为明显,约为中 Cr 合金和高 Cr 合金的 1.7 倍。腐蚀过程中,3 种样品都出现了不同程度的减重,中 Cr 合金和低 Cr 合金在腐蚀 100 h 后持续减重,尤其是低 Cr 合金,减重最为明显,表明腐蚀过程中样品表面氧化膜发生了严重的剥落;而高 Cr 合金只在 20 h 后有一次减重,之后一直平稳地增重。腐蚀 1000 h 后,中 Cr 合金和低 Cr 合金的质量增重分别为 2.72 和 1.80 g/cm^2 ,而高 Cr 合金的质量

增重为 4.91 mg/cm^2 。从腐蚀动力学曲线上看到,高Cr合金的氧化膜具有更好的抗剥落能力,抗煤灰/烟气腐蚀能力最强,而低Cr合金氧化膜的抗剥落能力以及抗煤灰/烟气腐蚀能力最差。

2.2 腐蚀产物

图3所示为3种样品在 700°C 下煤灰/烟气中腐蚀1000 h后的XRD谱。可以看出,腐蚀1000 h后,3种样品在表层均由 Fe_2O_3 和 Cr_2O_3 以及少量的 FeAl_2O_4 相组成,并无明显差别。腐蚀产物的增加和腐蚀层的增厚使得基体衍射峰强度相对减弱,高Cr合金的基体衍射峰强度则相对表现较高,表明高Cr合金腐蚀层更薄,腐蚀程度较轻。

2.3 腐蚀产物的表面形貌

图4所示为3种样品在 700°C 下煤灰/烟气中腐蚀1000 h后的表面形貌。可以看出,3种样品的表面有明显的不同:低Cr合金表面有大量凸起的“瘤状”氧化物,在“瘤状”氧化物附近存在裂纹并伴有部分氧化物脱落;相比低Cr合金,中Cr合金表面凸起的“瘤状”氧化物相对较少,部分氧化膜发生剥落,但剥落面积较小;高Cr合金表面较为平整,未见明显凸起的“瘤状”氧化物,氧化膜未见明显剥落现象。经EDS分析,这些凸起的“瘤状”氧化物主要由 SiO_2 、 CaO 、 Fe_2O_3 和少量疏松多孔的尖晶石相组成。

2.4 腐蚀产物的截面形貌

图5所示为3种样品在 700°C 下煤灰/烟气中腐蚀1000 h后的截面形貌。可以看出,3种样品的腐蚀产物厚度明显不同。低Cr合金表面形成了较厚的腐蚀产物层,氧化膜中出现了大量的孔洞和裂纹。结合XRD谱、EDS和EPMA面扫结果(图6~8)可以看出,氧化膜发生了明显的分层,外层氧化物主要为 Fe_2O_3 ,内层为 Cr_2O_3 及 CrS 。中Cr合金腐蚀产物的微观结构与低Cr合金相似,外层为 Fe_2O_3 ,内层为 Cr_2O_3

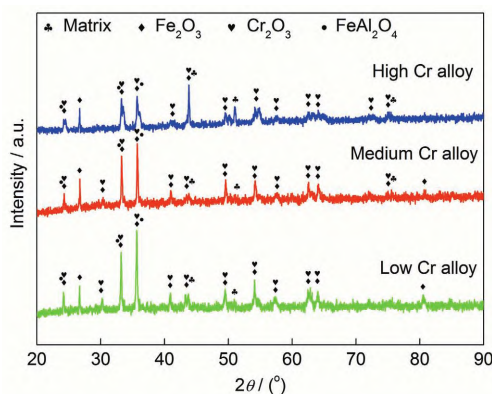


图3 3种样品在 700°C 下腐蚀1000 h后的XRD谱
Fig.3 XRD spectra of the three test samples after corrosion at 700°C for 1000 h

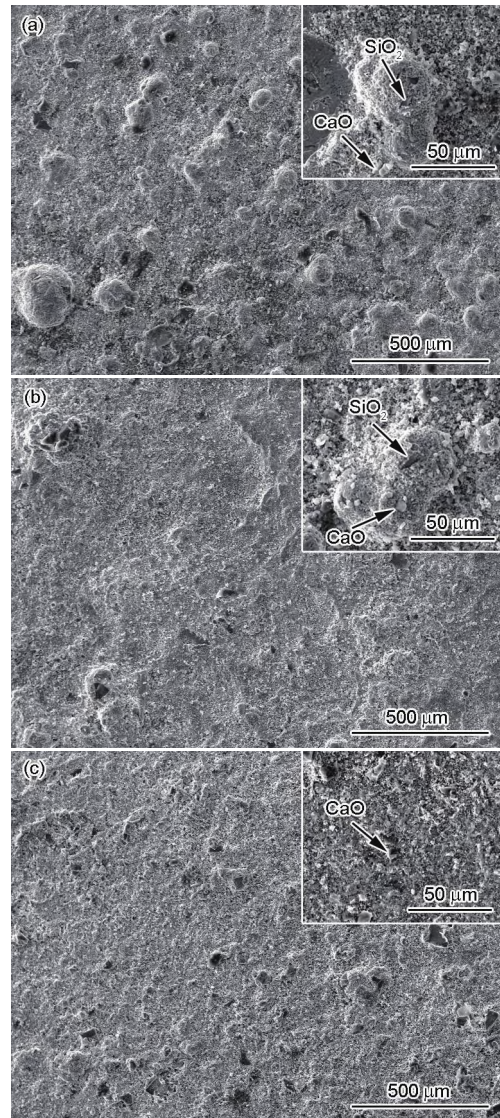


图4 3种样品在 700°C 腐蚀1000 h后的表面形貌
Fig.4 The surface morphologies and corresponding magnified images (insets) of the three test samples after corrosion at 700°C for 1000 h

(a) low Cr alloy
(b) medium Cr alloy
(c) high Cr alloy

及 CrS ,但无论是外层还是内层,低Cr合金的腐蚀产物都更厚。反观高Cr合金,腐蚀产物较为均匀,生成了连续单一的 Cr_2O_3 保护膜,且并未出现明显的内硫化现象。

2.5 腐蚀产物的元素分布

为了进一步了解3种样品腐蚀产物的元素分布情况,用EPMA对腐蚀后的样品进行面扫。图6~8分别为低Cr、中Cr和高Cr合金在 700°C 下煤灰/烟气中腐蚀1000 h后腐蚀产物的EPMA面扫结果。对比3种样品,可以看出主要有3点不同:(1)对于低Cr和中Cr合金,S元素已经侵蚀到基体内部较深的位置,而在高Cr合金中,S主要富集在氧化膜以及氧化膜

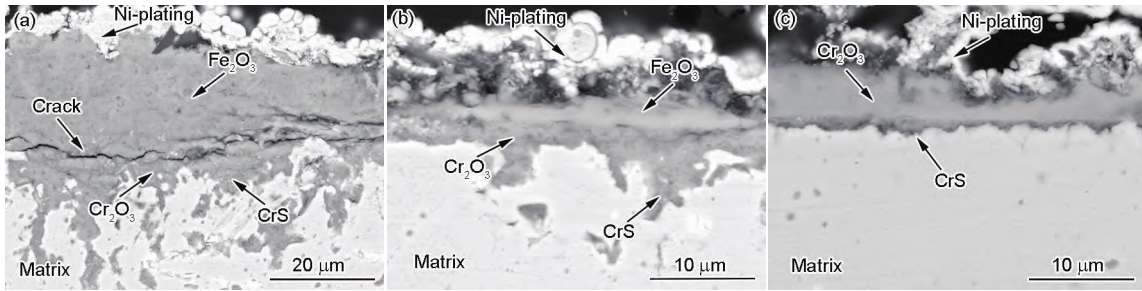


图 5 3 种样品在 700℃ 腐蚀 1000 h 后的截面形貌

Fig.5 The cross-sectional morphologies of the three test samples after corrosion at 700°C for 1000 h
(a) low Cr alloy (b) medium Cr alloy (c) high Cr alloy

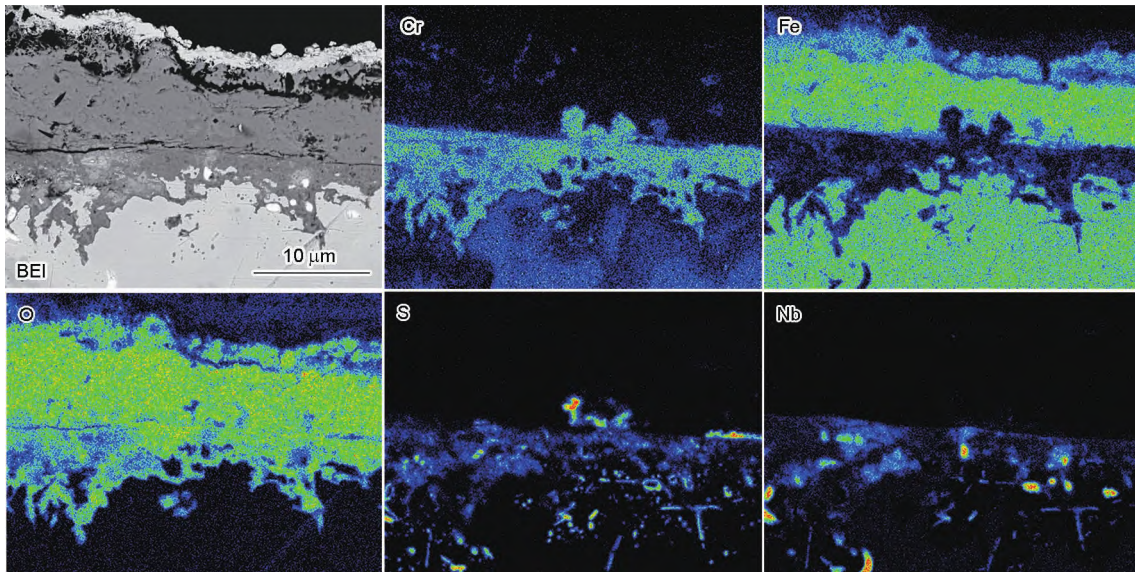


图 6 低 Cr 合金在 700℃ 腐蚀 1000 h 后的背散射电子像(BEI)及 EPMA 面扫结果

Fig.6 Back-scattered electron image (BEI) and elemental mapping for low Cr alloy after corrosion at 700°C for 1000 h

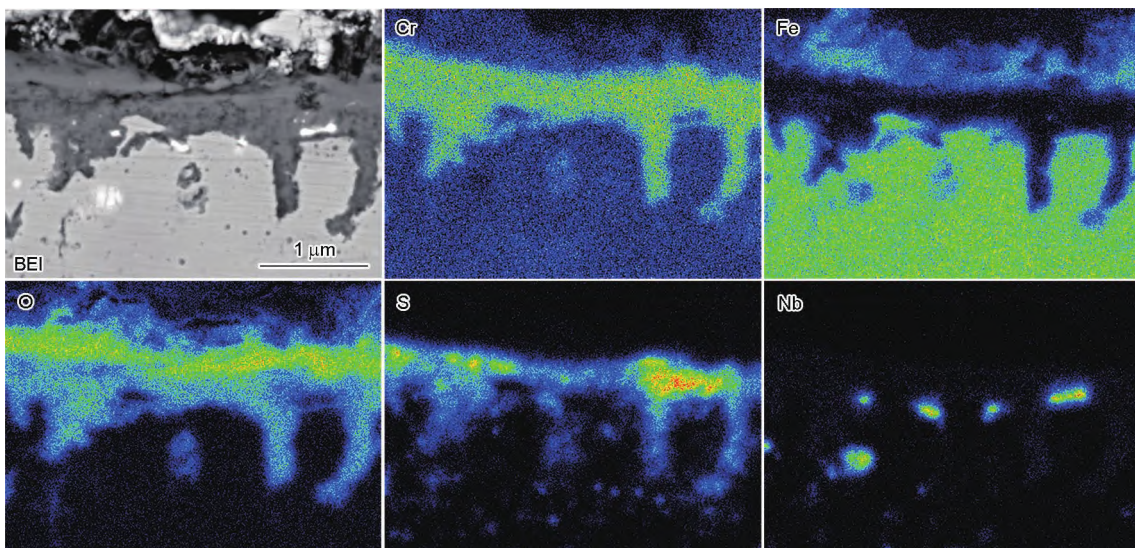


图 7 中 Cr 合金在 700℃ 腐蚀 1000 h 后的 BEI 及 EPMA 面扫结果

Fig.7 BEI and elemental mapping for medium Cr alloy after corrosion at 700°C for 1000 h

与涂层的界面处;(2) 在低 Cr 和中 Cr 合金中,大量 Fe 的氧化物富集在氧化膜外层,而在高 Cr 合金中,氧化膜外层主要由 Cr 的氧化物组成,只有少量 Fe 的氧

化物;(3) 在低 Cr 和中 Cr 合金中,大量的 Nb 元素分布在氧化膜内层及界面处,而高 Cr 合金中,氧化膜中没有 Nb 的富集,Nb 主要富集在合金基体中。

《金属学报》第七届编委会 (2018年)

主 编: 叶恒强
常务副主编: 张哲峰
顾问委员会: (按姓氏笔画排序)
干 勇 卢 柯 叶恒强 田永君 朱 静 刘 玠 李 卫 李依依
汪卫华 沈保根 周 廉 赵连城 柯 伟 祝世宁 徐惠彬 黄伯云
谢建新 潘复生
编 委: (按姓氏笔画排序)
马 恩 马宗义 王 强 王中林 王同敏 介万奇 左 良 卢 磊
戎利建 朱 星 朱 敏 朱鸣芳 刘 刚 刘 庆 刘永长 刘春明
孙 军 孙 超 孙立志 孙晓峰 杜 勇 李 奇 李金山 李美栓
李淼泉 李殿中 李嘉荣 杨 柯 杨 锐 杨王玥 沙 维 沈剑韵
张 菽 张平祥 张志东 张济山 张哲峰 陈 清 陈礼清 陈充林
陈道伦 武晓雷 林昌健 周月明 周亦胄 郑玉峰 赵九洲 荆 涛
姜 辛 秦禄昌 耿 林 徐 坚 高华健 高瑞平 郭正晓 黄卫东
董 闯 董 瀚 韩恩厚 韩雅芳 曾德长 赫冀成 熊柏青 潘 峰

金属学报

(月刊) (1956年创刊)

第 58 卷 第 1 期 2022年1月11日

ACTA METALLURGICA SINICA

(Monthly) (Started in 1956)

Vol.58 No.1 11 January 2022

主 管 中国科学技术协会
北京(100863)复兴路3号
主 办 中国金属学会
北京(100081)学院南路76号
承 办 中国科学院金属研究所
沈阳(110016)文化路72号
编辑出版 《金属学报》编辑部
沈阳(110016)文化路72号
网址: <http://www.ams.org.cn>
电话: (024)23971286
E-mail: jsxb@imr.ac.cn

主 编 叶恒强
印 刷 北京科信印刷有限公司
总 发 行 科学出版社
北京(100717)东皇城根北街16号

Superintended by CHINA ASSOCIATION FOR SCIENCE
AND TECHNOLOGY
3 Fuxing Road Beijing 100863, China
Sponsored by THE CHINESE SOCIETY FOR METALS
No.76 Xueyuan Nanlu, Beijing 100081, China
Managed by INSTITUTE OF METAL RESEARCH,
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES
Edited and Published by The Editorial Board of ACTA
METALLURGICA SINICA
Editorial Office: 72 Wenhua Road, Shenyang 110016, China
Tel: (024)23971286 E-mail: jsxb@imr.ac.cn
<http://www.ams.org.cn>

Editor-in-Chief Professor YE Hengqiang

Distributed by SCIENCE PRESS

16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China



© 版权所有

ISSN 0412—1961
CN 21—1139/TG

国内外公开发行人
全国各地邮局订购
国内邮发代号: 2-361
国内定价: 148.00元

ISSN 0412-1961



9 770412 196226