

文章编号: 1007 - 1482(2005)04 - 0233 - 04

· 论著 ·

奥氏体不锈钢超高温服役过程中组织转变和晶界特征的 EBSD 研究

范丽霞¹, 潘春旭^{1,2}, 蒋昌忠^{1,2}, 付强^{1,2}, 吴佑明³

(1. 武汉大学物理科学与技术学院, 武汉 430072; 2. 武汉大学纳米科学与技术中心, 武汉 430072;

3. 武汉钢铁(集团)公司金属结构公司, 武汉 430072)

摘要: 本文利用电子背散射衍射 (electron backscatter diffraction, EBSD) 技术研究了 YUS701 奥氏体不锈钢 ROF 内罩在高温服役前后的显微组织和晶界特征分布。研究表明, 服役前后 YUS701 奥氏体不锈钢 ROF 内罩在显微组织和晶界特征分布上有明显的差异, 这种差异是 ROF 内罩超高温运行失效的重要原因。

关键词: 奥氏体不锈钢; 晶界特征分布 (GBCD); 电子背散射衍射 (EBSD); SEM

中图分类号: TG115.23; O722⁺7

文献标识码: A

Structural transformation and grain boundary character distribution during super high temperature service of austenitic stainless steel analyzed by EBSD

FAN Lixia¹, PAN Chunxu^{1,2}, JIANG Changzhong^{1,2}, FU Qiang^{1,2}, WU Youming³

(1. Department of physics, Wuhan university, Wuhan 430072, China; 2. Center of Nanosci & Nanotech Research, Wuhan 430072, China; 3. Wuhan Iron & Steel Group company, Wuhan 430080, China)

Abstract: The microstructure transformation and grain boundary character distribution of a YUS701 austenitic stainless steel ROF internal cover, which were operated at very high temperatures, were investigated by using the electron backscatter diffraction technique. Significant changes in microstructure and grain boundary character distributions were observed, which are attributed as the major cause for failure of the ROF internal cover due to very high temperature service conditions.

Key words: austenitic stainless steel; grain boundary character distribution; EBSD; scanning electron microscope

含高铬 (Cr) 和镍 (Ni) 奥氏体不锈钢由于形成致密的氧化膜, 而且具有高的热强性, 比其他不锈钢具有更优良的耐蚀性、高温性能和焊接性, 因此被广泛用于各种高温和腐蚀的环境中^[1,2]。其原因是铬元素的存在使得铁基固溶体的电位提高, 并且铬吸收铁的电子使铁钝化, 这样钢中添加铬作为合金元素以后, 促使其内部的矛盾运动向有利于抵抗腐蚀破坏的方面发展。镍是优良的耐腐蚀材料, 也是合金钢的重要合金化元素。镍在钢中是形成奥氏体的元素, 但低碳镍钢要获得纯奥氏体组织, 含镍量要达

到 24%, 而只有含镍 27% 时才使钢在某些介质中的耐腐蚀性能显著改变。但是镍与铬同时存在于不锈钢中时, 含镍的不锈钢却具有许多可贵的性能。镍作为合金元素在不锈钢中的作用, 在于它使高铬钢的组织发生变化, 从而使不锈钢的耐腐蚀性能获得某些改善。本研究中的 Cr25Ni13 奥氏体不锈钢 ROF 内罩是环形退火炉中热处理的保护设备, 长期在 650 ~ 1200 之间的高温下运行, 因此要求它具有相当高的持久强度和耐腐蚀、抗氧化能力^[3]。在设计使用中发现随着内罩运行时间的延长, 其下

收稿日期: 2005 - 09 - 10

作者简介: 范丽霞 (1981 -), 女, 武汉大学物理科学与技术学院, 硕士研究生

研究方向: 奥氏体不锈钢 ROF 内罩超高温服役失效机理, E-mail: flxybsy@sina.com

部的形变很严重,最后导致失效,必须进行维修。据文献报导晶界特征分布 (GBCD)很大程度上影响材料的抗腐蚀性^[4]。本文的目的是利用电子背散射技术 (EBSD)研究奥氏体不锈钢超高温服役前后的显微组织和晶界特征的变化从而得出其失效的原因。

1 实验材料与方法

实验用的样品有原始 YU S701奥氏体不锈钢和

已经服役过的 ROF 内罩。ROF 内罩编号: WJ-60ROF内罩母材为 YU S70 (日本钢号 25Cr-13Ni-2Si-0.8Mn-0.25N),化学成分及力学性能见表 1。ROF内罩的服役条件: 650 保温 17 h, 1 200 保温 27 h,运行周期为 150 h,罩内保护气体为 70% H₂ + 30% N₂,罩内压强为 250 kPa,罩外压强为 25 kPa。

表 1 ROF内罩母材化学成分及力学性能

牌号	化学成分 (w%)									σ_0 /MPa
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	
YU S701	0.116	2.463	2.165	0.032	0.026	13.60	24.20	0.856	0.250	690

EBSD 样品制备:现在金相砂纸磨至 2 000#,然后用 0.5 μ 金刚石喷雾抛光剂抛光,最后用 5%的铬酸水溶液在 10 伏的电压下电解腐蚀出显微组织。将样品放在荷兰 FEI公司的 Sirion FEG SEM 上观察,该电镜配有美国 EDAX公司的 PEGASUS EDS和 EBSD 一体化微观分析系统。观察时的加速电压是 25 kV。

2 实验结果与分析

图 1为服役前后 YU S701奥氏体不锈钢的显微组织形貌,从图中可以看出服役前的奥氏体不锈钢 ROF内罩为等轴奥氏体晶粒,晶粒细小,但分布不是很均匀,平均晶粒尺寸约为 20 μ m 左右,并且晶界弯曲。由于服役前晶粒尺寸的不均匀性,所以在 1 200 高温运行过程中,超过了晶粒粗化的温度,

少数晶粒择优生长,逐渐吞并周围小晶粒,直至这些择优长大的晶粒互相接触,周围小晶粒消失,最终奥氏体不锈钢晶粒严重长大 (晶粒尺寸约为 200 μ m 左右),晶界平直化。一般来说,强度和韧性均和晶粒直径的平方根成反比。晶粒愈细,强度和韧性就愈高。形成大晶粒后,其强度和任性都有所降低。晶粒的长大和晶界的平直化都能减少晶界面积,从而降低晶界的总能量,然而晶粒的长大和晶界的平直化均需通过原子的扩散来实现,因此,随着温度升高和保温时间的增长,均有利于这两过程的进行。但是由于粗大晶粒的晶界前塞积的位错数目多于细晶,应力集中大,易于启动相邻晶粒的位错源,利于滑移的传递而使屈服强度降低^[5]。故这种晶粒粗大是引起失效的原因之一。

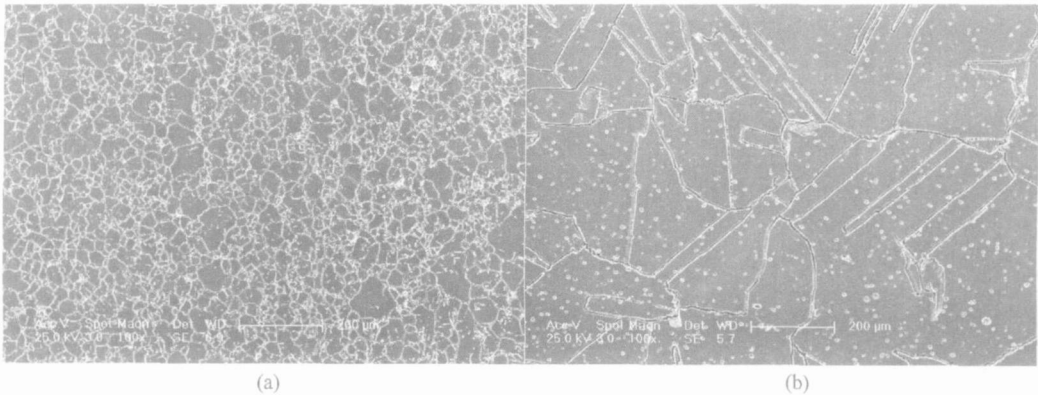
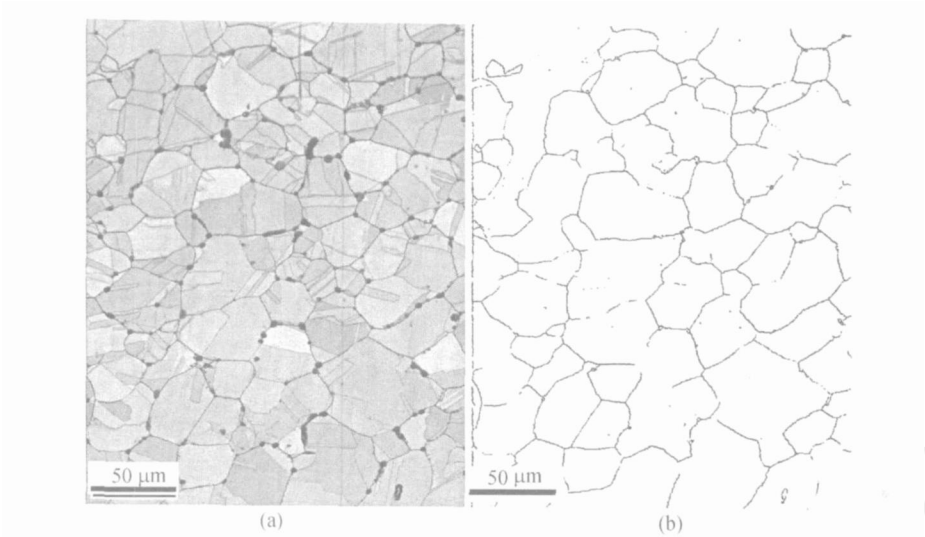


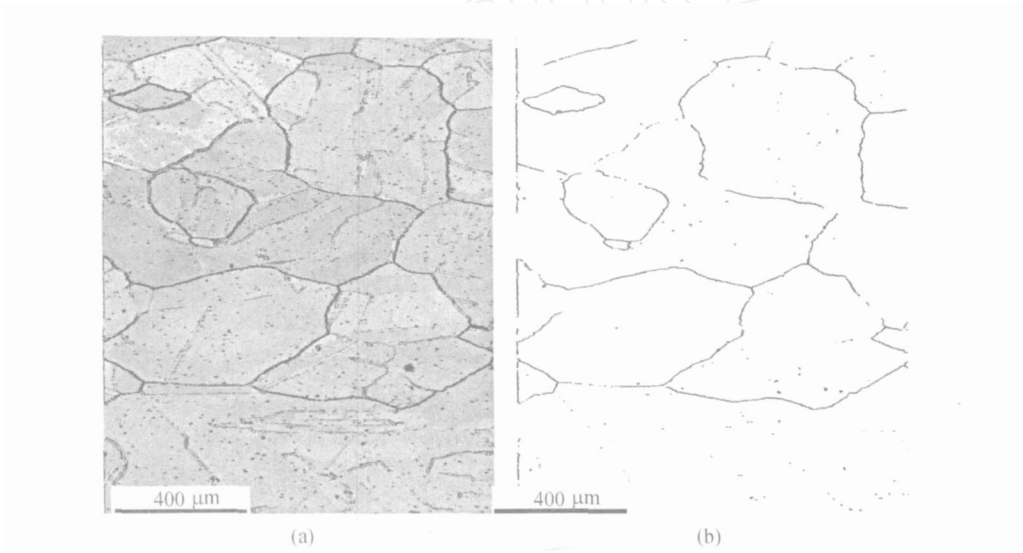
图 1 由 SEM 获得的服役前后 ROF内罩的组织形貌图: (a)使用前 (b)使用后

图 2为由 OM 成像获得的服役前奥氏体不锈钢 ROF内罩晶界特征分布图。图 3为由 OM 成像获得的服役后奥氏体不锈钢 ROF内罩晶界特征分

布图。图 4为服役前后奥氏体不锈钢 ROF内罩组织取向差分布图。



(a) 为随机边界和 CSL 边界分别用黑色和灰色表示 (b) 只显示随机边界
图 2 为由 OM 成像获得的服役前奥氏体不锈钢 ROF 内罩晶界特征分布图



(a) 为随机边界和 CSL 边界分别用黑色和灰色表示 (b) 只显示随机边界
图 3 由 OM 成像获得的服役后奥氏体不锈钢 ROF 内罩晶界特征分布图

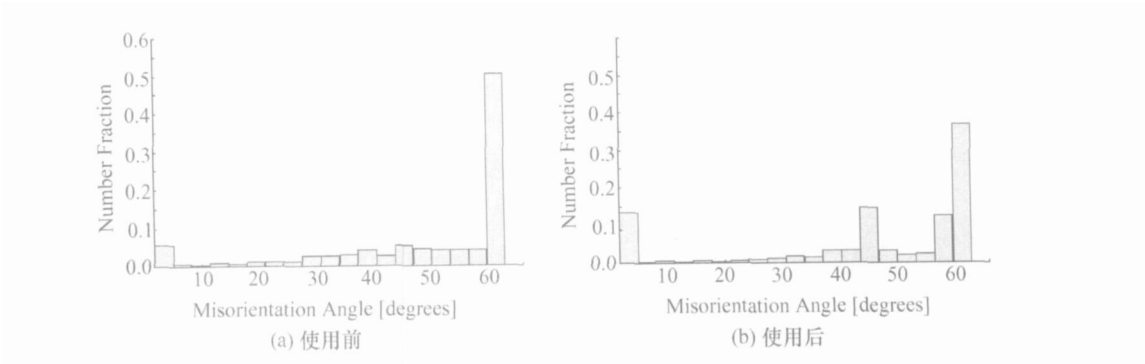


图 4 服役前后奥氏体不锈钢 ROF 内罩取向差分布图

统计结果表明,服役前的奥氏体不锈钢 ROF 内罩的晶界大部分是大角晶界,可占晶界总数的 92.5%,而高温服役后大角晶界减少,界面能低的小角晶界明显增多。服役前存在大量随机晶界,占晶界总数的 31.6%,服役后随机晶界 19.3%,但是服役前后都存在大量的 CSL 晶界(主要是孪晶晶界)。由于 CSL 晶界处,两晶粒是通过晶粒间的重位点阵的密排或者较密排面,这样晶粒在晶界处的原子有

较好的匹配,晶界能低。所以在奥氏体晶粒形成过程中虽然晶界迁移不可避免将与点阵位错和其他的晶界作用,但是由于低能晶界对点阵位错的吸收率比随机晶界低,故低能晶界不会移动很远。这种低能结构比较稳定,并且可以阻止位错的相互作用。这些 CSL 晶界对抑制晶粒腐蚀起到重要作用^[6,7]。由图 2~4 可以看出,服役前的奥氏体不锈钢 ROF 内罩的高能随机晶界,构成连续的网络,这样有害元素容易在这些构成连续的网状的高能随机晶界偏聚,使的晶界的结合力降低^[8],这样在高温运行过程中,位错运动到此时受到阻碍,位错大量聚集容易引起沿晶断裂。这种高能随机边界的连续的网状分布特征也是引起失效的原因之一。

3 结论

服役前后 YUS701 奥氏体不锈钢 ROF 内罩的组织形貌和晶界特征分布 (GBCD) 存在明显的差异。其中高温服役后晶粒的粗化和服役前连续的高能随机晶界网络分布是内罩失效的重要原因。

参考文献:

[1] 腾田辉夫. 不锈钢的热处理 [M]. 北京:机械工业出版社, 1983.

- [2] 朱日彰, 卢亚轩. 耐热钢和高温合金 [M]. 北京:化学工业出版社, 1996.
- [3] 冯仁辉, 潘春旭, 杨世柏, 等. YU S701 奥氏体不锈钢 ROF 内罩的脆断特征及脆化机理 [J]. 武汉交通大学学报, 2000, 24(6): 622 - 626.
- [4] Shimada M, Kokawa H, Wang Z J, et al. Optimization of grain boundary character distribution for intergranular corrosion resistant 304 stainless steel by twin-induced grain boundary engineering [J]. Acta Materialia, 2002, 50: 2331 - 2341.
- [5] 徐恒钧. 材料科学基础 [M]. 北京:北京工业大学出版社, 2001.
- [6] kunikova T, Wendrock H, Wetzig K, et al. EBSD investigation of intergranular corrosion attack on low interstitial stainless steel [J]. Materials and Corrosion, 2004, 55(6): 437 - 443.
- [7] 曹圣全, 张津徐, 吴建生. IF 钢再结晶晶粒尺寸、显微组织和晶界特征分布的 EBSD 研究 [J]. 理化检验—物理分册, 2004, 40(4): 163 - 167.
- [8] Kokawa H, Watanabe T, Karashima S. Dissociation of lattice dislocations in coincidence boundaries [J]. Journal of Materials Science, 1983, 18(4): 1183 - 1194.

· 动态与信息 ·

全国性学会个人会员管理系统培训班在京举办

为了加强学会组织建设,推广使用个人会员登记号,推动学会会员登记、管理和服务工作,中国科协学会学术部组织开发了全国性学会个人会员管理系统,由中国科协信息中心提供技术环境支持。该系统为全国性学会与广大科技工作者、学会会员提供了信息交流的平台,同时,为全国性学会提供了会员登记、管理和服务的平台。在多方征求意见和逐步完善的基础上,经过一年多的试运行,该系统已经基本完善成形。

为了在全国性学会中推广使用该系统,2005年 10月 27日—28日,由中国科协学会学术部组织,学会管理服务中心承办,在北京理工大学连续举办了两期“全国性学会个人会员管理系统培训班”。中国科协主管的 159 个全国性学会(其中办事机构设在京外地区的学会 12 个)负责组织工作的同志 218 人参加了培训。中国科协书记处书记冯长根出席培训班并就大力加强学会的组织建设和管理作了重要讲话。中国科协信息中心在培训班上介绍了 CAST 网信息发布系统。通过培训,学会负责组织工作的同志初步了解和掌握了“全国性学会个人会员管理系统”的应用及管理;同时补充完善了各学会个人会员管理系统中的有关内容。

中国体视学学会秘书处的有关工作人员参加了此次培训。