

309S 奥氏体耐热不锈钢金相组织和表面缺陷分析

陈兴润, 王建泽, 王建新, 潘吉祥

(酒钢集团天风不锈钢有限公司, 甘肃省嘉峪关市, 735100)

摘要: 通过冶炼-轧制-退火酸洗工艺生产 309S 奥氏体耐热不锈钢卷板, 研究其连铸板坯、轧制态以及退火态金相组织, 退火态力学性能和表面缺陷。结果表明: 309S 奥氏体耐热不锈钢在三种状态下的组织均为奥氏体相和残留的高温铁素体相, 这种高温铁素体难以通过热处理消除; 轧制态和退火态金相组织中, 厚度方向近表面铁素体含量少, 心部铁素体含量高; 高温铁素体的存在不影响产品的力学性能; 通过连铸板坯的精修磨可以避免表面缺陷的产生。

关键词: 奥氏体不锈钢; 309S; 金相组织; 力学性能; 表面缺陷

中图分类号: TG142.41

Analysis of Microstructure and Surface Defect of 309S Austenitic Stainless Steel

Chen Xing-run, Wang Jian-ze, Wang Jian-xin, Pan Ji-xiang

(Jiuquan Iron and Steel Group Corporation, Tianfeng Stainless Steel Co., Ltd., Jiayuguan 735100, China)

Abstract: This paper discusses 309S which is melted, rolled, annealed and acid pickled in the industry. Its microstructural characteristics after being continuous-casting, hot-rolled and annealed were investigated respectively. Its mechanical properties after being annealed and surface defects were also investigated. The result show that 309S is composed of austenite and residual ferrite under these conditions, and the ferrite could not be eliminated easily by heat treatment. The residual ferrite of hearting is more than near surface along the thickness direction under the condition of the hot-rolled and annealed. The mechanical properties are not affected by the residual ferrite. Refined repair grinding can mainly solve the surface defect.

Key words: austenitic stainless steel; 309S; microstructure; mechanical properties; surface defect

0 引言

309S 奥氏体耐热不锈钢属于高 Cr、Ni 奥氏体型不锈钢, 在氧化性介质中具有优良的性能, 同时具有优良的高温力学性能, 广泛应用于锅炉、压力容器、冶金和石油化工行业中^[1-3]。目前国内 309S 钢板材使用量每年大约在万吨左右, 但由于该钢种板材生产难度大, 对此钢的研究和生产经验少、分析检测也缺乏成熟的经验, 因此国内生产量仍无法满足市场需求^[4]。

笔者对 309S 奥氏体耐热不锈钢连铸板坯、轧制态以及退火态金相组织、退火态力学性能和表面缺陷进行了研究, 以为工业生产及后续产品使用提供一定的理论指导。

1 生产工艺及试验方法

309S 奥氏体耐热不锈钢工业试验的具体工艺流程如下: 电炉→AOD 转炉冶炼→LF 炉精炼→板坯连铸→板坯修磨→加热炉加热→粗轧机轧制→炉卷轧机轧制→卷取→热退火酸洗→

检验、入库。

309S奥氏体耐热不锈钢成分见表1所示。取其连铸板坯（厚度220mm）中心试样、轧制态以及退火态（厚度6mm）中部试样，将不同状态的309S样品打磨、抛光、腐蚀（HCl+FeCl₃溶液）后，采用光学显微镜分别对近表面和心部金相组织进行观察。用拉伸试验机检测309S不锈钢退火后力学性能。用扫描电镜观察309S表面缺陷形貌。

表1 309S的化学成分（质量分数）

Table 1 Chemical compositions of 309S austenitic stainless steel								%
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	N
0.040~0.065	0.3~0.6	1.2~1.5	≤0.035	≤0.003	13.0~13.5	22.0~23.0	≤0.50	0.03~0.05

2 试验结果

2.1 连铸坯金相组织

图1为309S不锈钢连铸坯金相组织，从图1可以看出，黑色的铁素体相分布在奥氏体基体上，用光学显微镜自带的测量软件测得铁素体含量为10.1%。对于奥氏体不锈钢，合金元素的作用可分成两大类，即铁素体形成元素和奥氏体形成元素。两大类元素之间的平衡关系决定了奥氏体中铁素体含量的多少。根据309S奥氏体不锈钢的成分，计算镍铬当量比如下：

$$\text{镍当量}(\%) = m_{\text{Ni}} + 30m_{\text{C}} + 30m_{\text{N}} + 0.5m_{\text{Mn}} = 16.67$$

$$\text{铬当量}(\%) = m_{\text{Cr}} + m_{\text{Mo}} + 1.5m_{\text{Si}} = 22.99$$

$$\text{铬当量/镍当量} = 1.38$$

根据计算的镍铬当量比和Fe-Cr-Ni三元合金平衡相图，凝固过程为： $L \rightarrow L + \gamma \rightarrow L + \delta + \gamma \rightarrow \delta + \gamma \rightarrow \gamma$ 。凝固结晶时，首先从液相析出 γ 相，而使周围成为富Cr、贫Ni的区域。温度继续下降，根据对应液相的溶质浓度差异，发生 $L \rightarrow \delta + \gamma$ 反应，其结果是在 γ 相周围形成高温铁素体 δ ，然后 γ 和 δ 同时向液相内生生长。根据309S奥氏体耐热不锈钢的成分，计算液相线温度为1435℃，处于 γ 和 δ 两相区。连铸凝固过程冷却速率快，导致高温铁素体 δ 来不及转化为奥氏体相，最终保留到铸坯中。

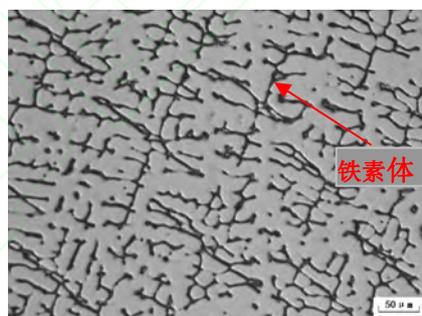


图1 309S不锈钢连铸坯金相组织

Fig.1 The microstructure of the 309S continuous-casting slab

2.2 轧制态金相组织

309S轧制态试验断面处金相组织见图2所示。从图2可以看出，309S轧制态组织主要为奥氏体加高温铁素体，高温铁素体在轧制力的作用下呈长条状分布，而奥氏体组织则出现部分再结晶现象。沿厚度方向，近表面铁素体含量比心部铁素体含量低。用光学显微镜自带的测量软件测得心部铁素体含量为9.6%，与309S不锈钢连铸坯金相组织中铁素体含量相近。这说明板坯加热、轧制和后续卷曲过程中没有发生高温铁素体的相变。309S轧制态组织中近表面铁素体含量低，跟连铸板坯中铬偏析有关。309S板坯中柱状晶十分发达，而柱状晶生长过

收稿日期：2012-10-08

作者简介：陈兴润（1985-），男，甘肃金昌人，硕士，主要从事不锈钢产品开发工作。

程是以逐层凝固的方式，固液界面几乎呈平面方式向前推进，导致在凝固过程中开始结晶的固相中铬含量低，后凝固的固相中铬含量高，因此连铸板坯近表面铁素体含量低，心部铁素体含量高。在后续板坯加热、轧制和卷曲过程中没有发生高温铁素体的相变，最终在轧制态金相组织中，厚度方向近表面铁素体含量低，心部铁素体含量高。

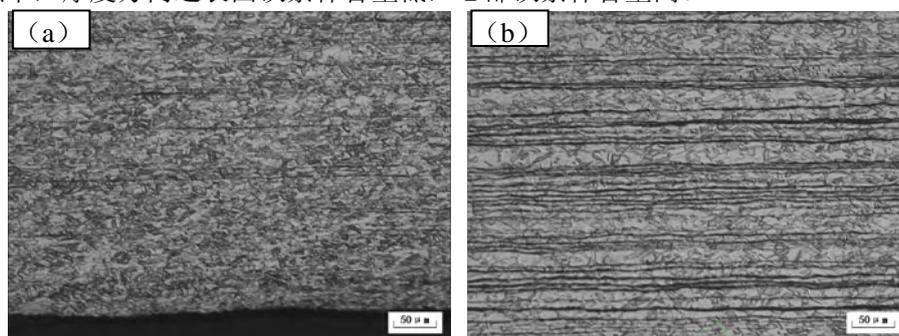


图2 309S轧制态金相组织：(a) 近表面；(b) 心部

Fig.2 The microstructure of hot-rolled 309S

2.3 退火态金相组织

309S不锈钢在1150℃和1160℃热线退火后的金相组织见图3所示。从图3(a)、(b)可以看出，1150℃退火处理后的组织为铁素体和再结晶的奥氏体。在高温退火过程中，奥氏体主要发生再结晶，铁素体主要以回复为主。退火后的铁素体形貌跟热轧态形貌相比，部分拉长的铁素体发生回复，呈断续态分布。沿厚度方向近表面铁素体含量比心部铁素体含量低。用光学显微镜自带的测量软件测得心部铁素体含量为9.3%，说明退火处理对铁素体含量的影响比较小。1160℃退火处理后的组织跟1150℃退火处理后的组织相比，铁素体含量没有发生明显变化，如图3(c)、(d)所示。用光学显微镜自带的测量软件测得心部铁素体含量为9.1%，说明高温铁素体很难通过热处理来消除^[4]。

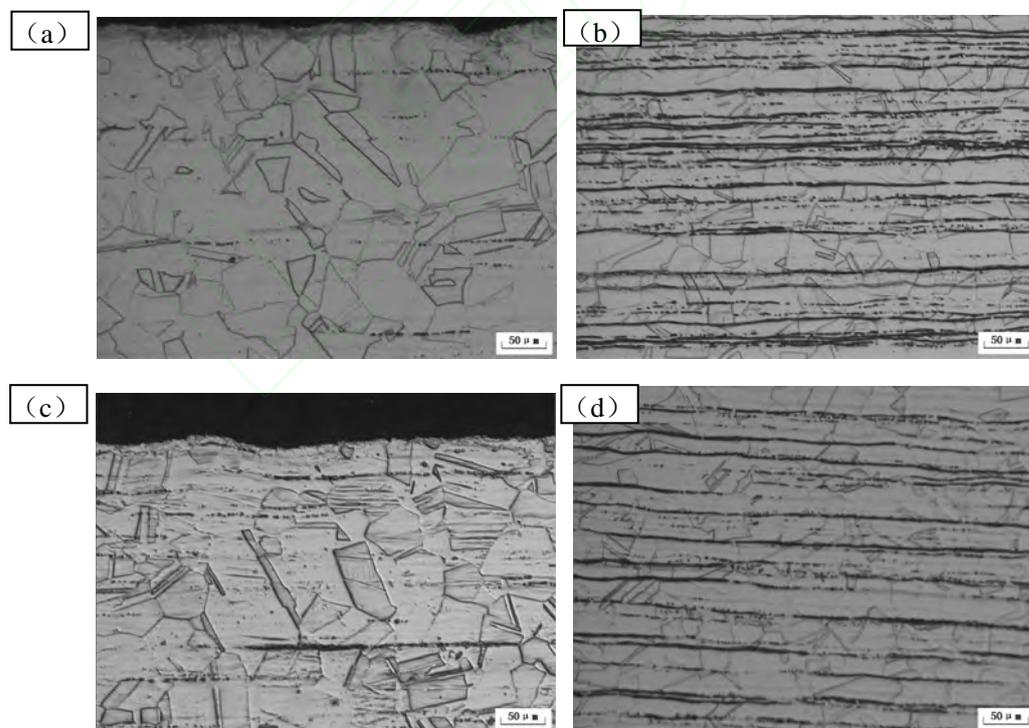


图3 309S退火态金相组织：(a) 1150℃-近表面；(b) 1150℃-心部；(c) 1160℃-近表面；(d) 1160℃-心部；

Fig.3 The microstructure of annealed 309S

2.4 力学性能

309S奥氏体耐热不锈钢退火后，头、中、尾各取1个试样，用拉伸试验机检测力学性能，见表2所示。从表2可以看出，309S奥氏体耐热不锈钢退火后力学性能满足标准要求，说明高温铁素体的存在不影响产品的力学性能。

表2 309S退火后力学性能

Table 1 Mechanical property of annealed 309S

规格/mm	样品 状态	力学性能			
		屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	布氏硬度(HBW)
6.0	退火	307	593	55.0	162.7
		291	574	56.0	164.7
		286	575	57.0	154.0
ASTM A240		≥205	≥515	≥40	≤217

2.5 产品缺陷

309S奥氏体耐热不锈钢酸洗后，正反面全宽方向无规则发生表面缺陷。主要缺陷照片如图4所示。

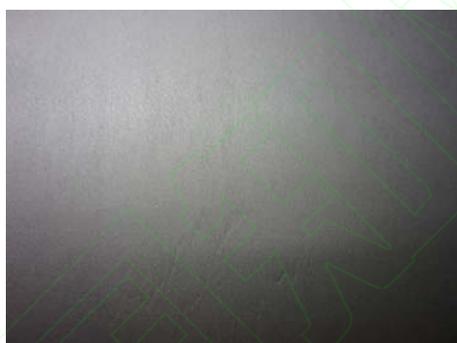


图4 表面缺陷照片

Fig.4 The photo of surface defect

对表面缺陷进行扫描电镜观察如图5所示。从图5可以看出，缺陷部位在放大60倍的情况下，形貌为凹进去的一个小沟槽，周围没有异常物质存在；放大200倍后，缺陷部位形貌基本和正常部位一致，缺陷底部没有发现小裂纹存在。

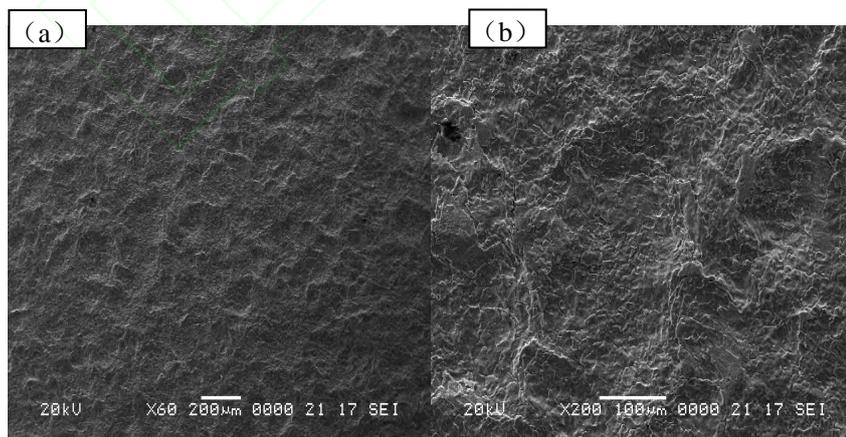


图5 放大不同倍数下表面缺陷形貌

Fig.5 The morphology of surface defect at the different magnification

从对缺陷的扫描电镜观察结果来看，产生缺陷的主要原因如下：309S奥氏体耐热不锈钢连铸板坯表面的粗糙度影响热轧过程氧化膜的形貌。目前309S的板坯修磨没有采用精修

磨，板坯表面粗糙度大，如图6所示。表面粗糙度大，热轧过程中产生的氧化膜就不均匀。此外，309S奥氏体耐热不锈钢，在高温时容易形成 Cr_2O_3 和NiO等保护性氧化膜，不容易被去除。这两个因素导致高压水除鳞过程中，氧化膜除不干净，在随后的轧制过程中，就会加以延伸，在精轧后就会呈现出一定的方向性。到冷轧热酸洗的过程中，309S表层残留的氧化皮被酸洗干净，就会留下山形痕迹。

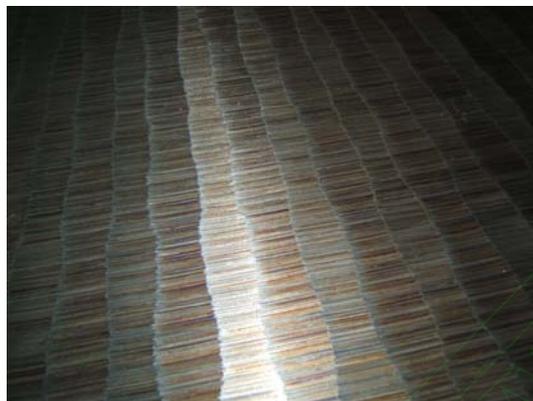


图6 309S板坯修磨后表面形貌

Fig.6 The surface morphology of 309S slab after grinding

因此，可以通过连铸板坯的精修磨来改善热轧过程氧化膜的形貌，从而有效避免表面缺陷的产生。

3 结论

1) 309S奥氏体耐热不锈钢在三种状态下的组织均为奥氏体相和残留的高温铁素体相，这种高温铁素体难以通过热处理消除；高温铁素体的存在不影响其力学性能。

2) 309S连铸板坯中心试样、轧制态以及退火态中部试样中，铁素体含量分别为10.1%、9.6%和9.3%，说明轧制和退火处理对铁素体含量的影响比较小。轧制态和退火态金相组织中，近表面铁素体含量少，心部铁素体含量高。

3) 通过连铸板坯的精修磨可以改善热轧过程氧化膜的形貌，从而避免表面缺陷的产生。

参考文献

- [1] Li Guoping. Study of heat resistance stainless steel 253MA making (S30815) [J]. Iron and Steel, 2008, 43(1): 33-36.
(李国平. 253MA(S30815)耐热不锈钢冶炼工艺研究[J]. 钢铁, 2008, 43(1): 33-36.)
- [2] Yang Zhaoming, Han Jingtao, Liu Jing, *et al.* Study on oxidation resistance of 310S austenitic stainless steel [J]. Hot Working Technology, 2006, 35(14): 33-34.
(杨照明, 韩静涛, 刘靖, 等. 奥氏体耐热不锈钢 310S 的抗高温氧化性能研究[J]. 热加工工艺, 2006, 35(14): 33-34.)
- [3] Tang Qingxin, Liu Jing, Han Jingtao. High temperature oxidation resistance of 309S austenitic stainless steel [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2009, 21(10): 43-47.
(唐庆新, 刘靖, 韩静涛. 奥氏体耐热不锈钢 309S 高温抗氧化性能研究[J]. 钢铁研究学报, 2009, 21(10): 43-47.)
- [4] Chang E, Ye Xiaoning. Microstructures and mechanical property analysis of 309L austenitic steel [J]. Baosteel Technology, 2011, 2: 54-57.
(常愕, 叶晓宁. 奥氏体不锈钢 309L 的组织及力学性能分析[J]. 宝钢技术, 2011, 2: 54.)