

# The Cause of Surface Defects of 304 Stainless Steel Bars

Wei Chen<sup>1</sup>, Shuqiang Yuan<sup>1</sup>, Yongliang Gao<sup>1</sup>, Bowei Ren<sup>2</sup>, Yang Yang<sup>1</sup>, Kang Li<sup>2</sup>, Duo Zong<sup>1</sup>, Hanbing Ying<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ningbo Branch of China Academy of Ordnance Science, Ningbo Zhejiang

<sup>2</sup>Ningbo Wanguan Mould Casting Co., Ltd., Ningbo Zhejiang

Email: chenwei9992@126.com

Received: July 3<sup>rd</sup>, 2019; accepted: July 18<sup>th</sup>, 2019; published: July 25<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

The cause of surface defects of 304 stainless steel bars was studied by means of SEM energy analysis, inclusion analysis, microstructure analysis and so on. The direct cause of the surface defect is determined by the pull mark, which caused by the force exerted on the CC rod during the rolling process. The formation of the pull mark is caused by the external defects or poor lubrication.

## Keywords

Stainless Steel, Inclusion, Microstructure

---

# 不锈钢棒材表面缺陷及成因分析

陈巍<sup>1</sup>, 袁书强<sup>1</sup>, 高永亮<sup>1</sup>, 任波维<sup>2</sup>, 杨阳<sup>1</sup>, 励康<sup>2</sup>, 宗铎<sup>1</sup>, 应寒冰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国兵器科学研究院宁波分院, 浙江 宁波

<sup>2</sup>宁波万冠熔模铸造有限公司, 浙江 宁波

Email: chenwei9992@126.com

收稿日期: 2019年7月3日; 录用日期: 2019年7月18日; 发布日期: 2019年7月25日

---

## 摘要

采用能谱分析、夹杂物分析、微观组织分析等手段, 研究了304不锈钢棒材表面缺陷的产生原因; 产生表面缺陷的直接原因, 是由连铸棒坯在轧制过程中受力形成的拉痕, 拉痕的产生是由外部的缺陷或润滑

文章引用: 陈巍, 袁书强, 高永亮, 任波维, 杨阳, 励康, 宗铎, 应寒冰. 不锈钢棒材表面缺陷及成因分析[J]. 材料科学, 2019, 9(7): 717-725. DOI: 10.12677/ms.2019.97090

不良引起的。

## 关键词

不锈钢, 夹杂物, 微观组织

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在不锈钢材料发展的百年历史中, 奥氏体不锈钢生产量和使用量占不锈钢总产量及用量的 70% 以上, 304 不锈钢作为奥氏体不锈钢家族中重要的一员, 因其具有良好的耐蚀性(特别是耐浓酸、强碱腐蚀环境方面有优良的性能)、耐高温、优良的力学性能、冲压、弯曲等热加工性能, 使得 304 不锈钢大量地用于石油、化工、电站、长输管线、造船、核工业。304 不锈钢在我国标准代号为 1Cr18Ni9 不锈钢, 又称 18/8 不锈钢, 是一种传统不锈钢[1], 美国 ASTM、日本 JISG 标准体系针对 304 不锈钢棒材、型材、板材、带材的生产制备均有成熟的生产工艺, 我国也有相应的国标与之对照[2]。

2012 年, 受国际形式影响, 我国大多数民营企业转型生产 304 不锈钢, 工艺路线为: 电弧炉(中频炉)熔炼 + AOD + 连铸连轧。某企业所生产的 304 不锈钢热轧棒表面有黑色线层, 酸洗后仍然存在, 经打磨后, 发现有气孔和微裂纹, 导致产品成批报废。

针对企业在生产中出现的问题, 课题组分析了黑色线层的夹杂物, 微观组织、合金元素分布等, 通过与基体对比分析, 找出黑色线层及缺陷产生的原因, 采用控制连铸坯质量稳定性等手段, 所生产的热轧棒质量全部合格, 提高产品成材率。

## 2. 样品基本情况介绍

企业生产的 304 不锈钢线材表面出现黑线, 线材规格及种类见表 1, 生产工艺为 20 T 中频炉熔炼 + 10 T 冷料(高铬、高镍铁、304 不锈钢) + 30TAOD + 中间包 + 连铸坯 + 连轧, 所生产的 304 热轧棒表面有黑色层, 酸洗后仍然存在, 经打磨后, 发现有气孔和微裂纹, 导致产品成批报废, 宏观形貌见图 1。从图 1 可以看出, 不同直径的试样上面都存在黑线, 黑线放大后可以看见有沟槽, 有些黑线都是连续和贯穿整个长度的, 而且黑线不止一个, 尺寸粗细不一。1#试样为  $\phi 20$  mm 的圆棒, 其沟槽宽度最大。而其他 3 个  $\phi 5.5$  mm 的圆棒上面的黑线相对较细, 从外表面未发现折叠现象。

Table 1. The description of sample appearance

表 1. 试样外观说明

编号	钢种	直径/mm	备注
1	304B	20	粗黑线
2	304	5.5	粗、细黑线共存
3	304H	5.5	粗黑线
4	304H	5.5	细黑线



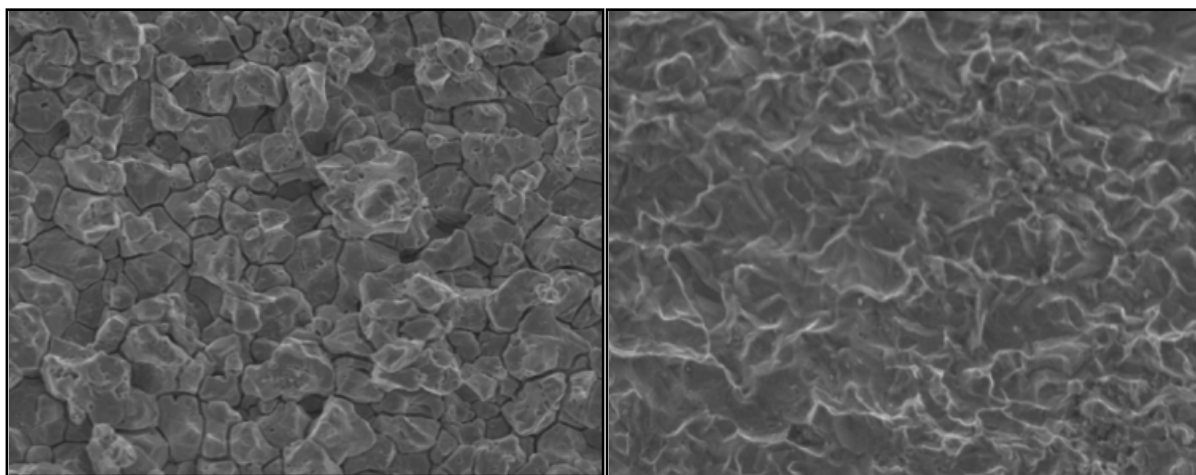
**Figure 1.** The Macroscopic appearance of black line defect  
**图 1.** 黑线缺陷宏观形貌

### 3. 能谱分析

能谱是材料或组织分析的常用手段，为考察黑线区域的成分与其它部位成分上是否存在差异，对 4 个试样黑线(沟槽部位)和基体部位分别进行了能谱分析，分析结果见图 2~图 5，1#沟槽部位与平整部位的能谱分析两者成分接近，组织形貌接近。

2#试样宽槽及平整部位进行能谱分析见图 3，各部位成分、形貌基本一致。

3#、4#试样宽槽及平整部位进行能谱分析，各部位成分、形貌基本一致。形貌见图 4、图 5。



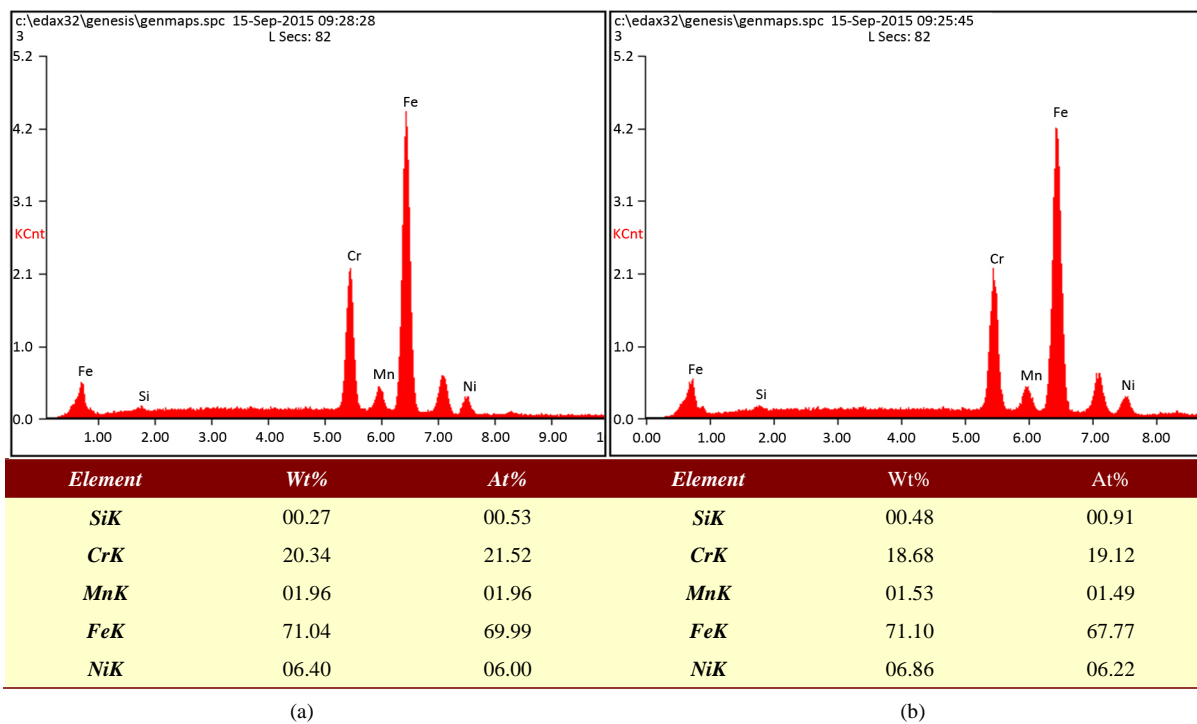
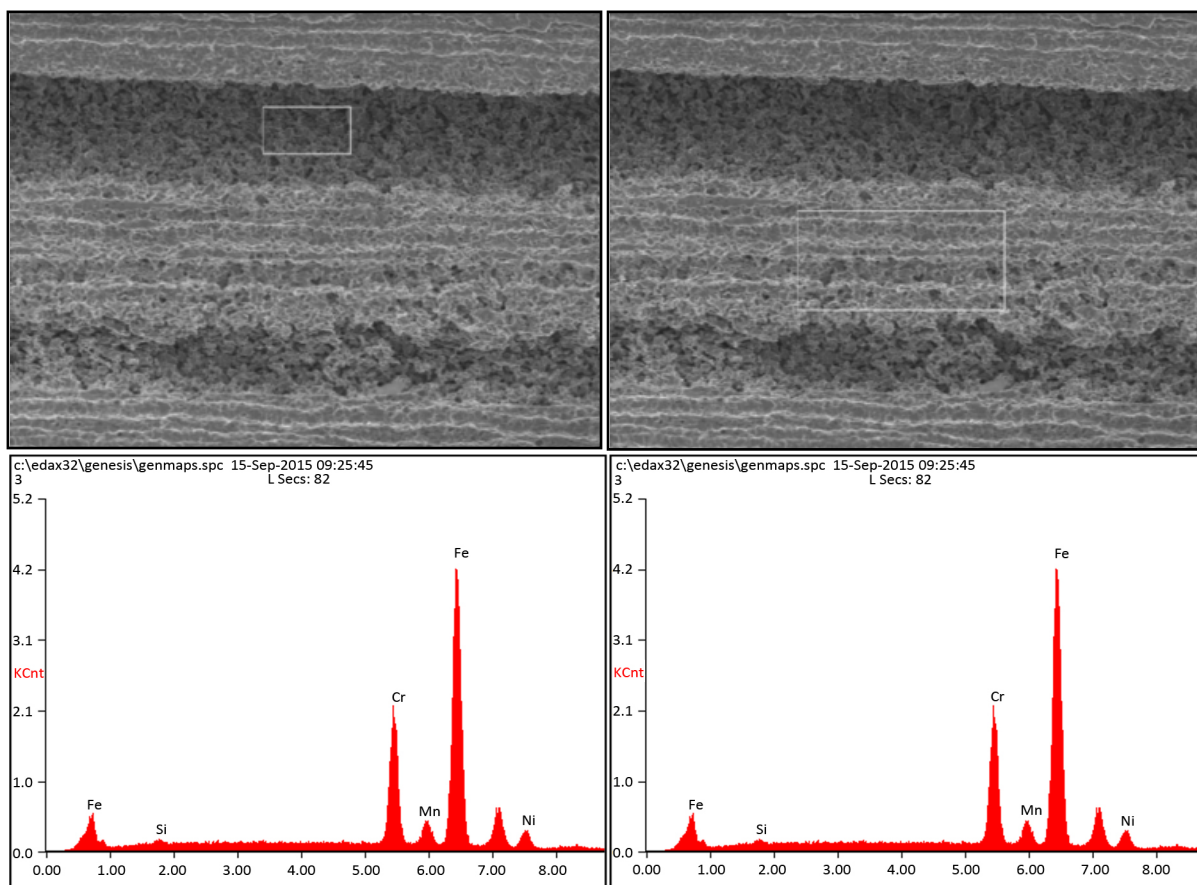


Figure 2. The Sample energy spectrum analysis (a groove position; b flating position)

图 2. 1#试样能谱分析(a 沟槽部位; b 样平整部位)



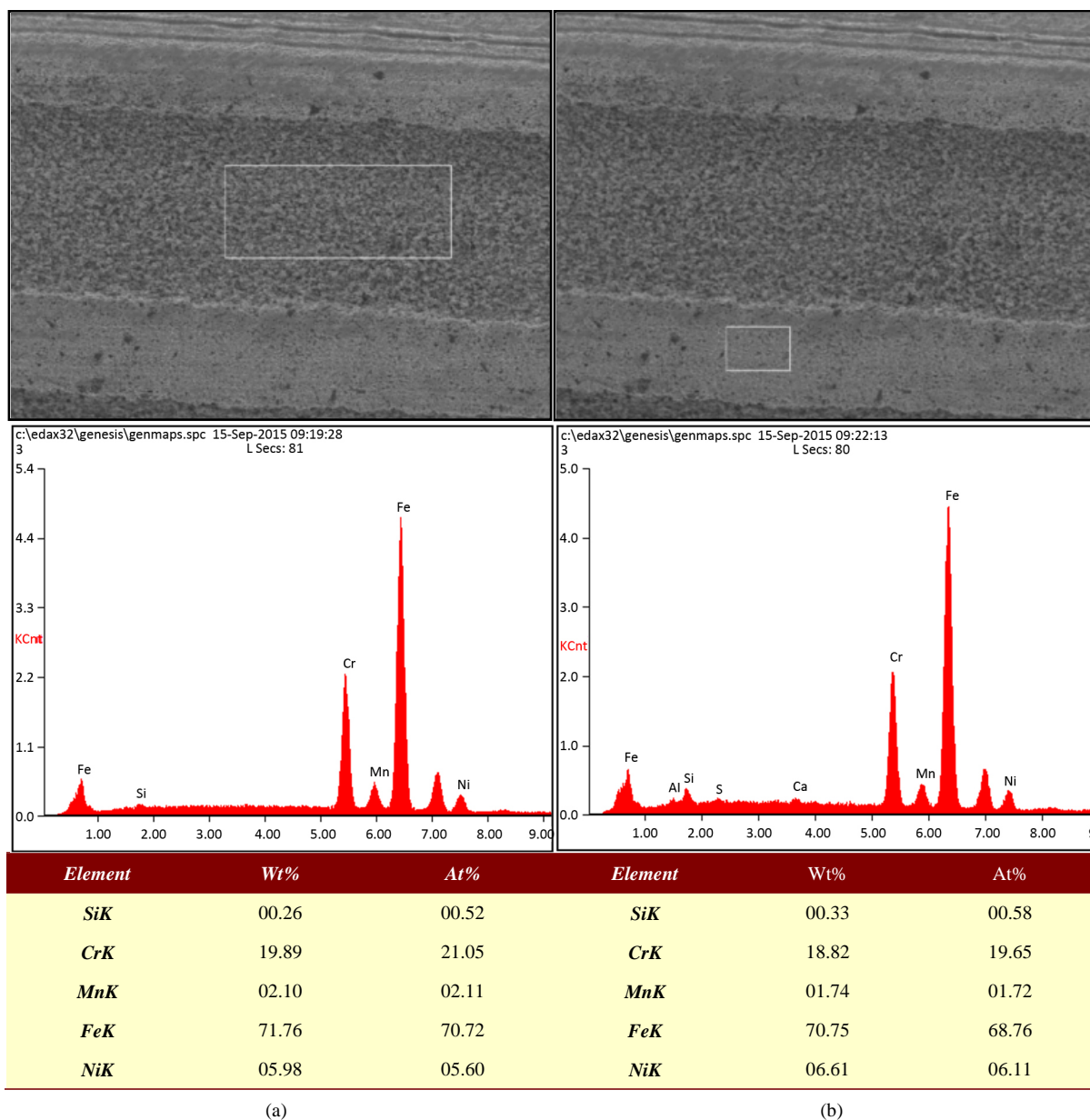
Element	Wt%	At%	Element	Wt%	At%
SiK	00.30	00.58	SiK	00.29	00.56
CrK	20.01	21.17	CrK	19.45	20.59
MnK	02.28	02.28	MnK	01.98	01.98
FeK	71.33	70.26	FeK	71.49	70.49
NiK	06.09	05.70	NiK	06.80	06.38

(a)

(b)

Figure 3. The Sample energy spectrum analysis (a groove position; b flatting position)

图 3. 3#试样能谱分析(a 沟槽部位; b 样平整部位)



(a)

(b)

Figure 4. The Sample energy spectrum analysis (a groove position; b flatting position)

图 4. 3#试样能谱分析(a 沟槽部位; b 样平整部位)

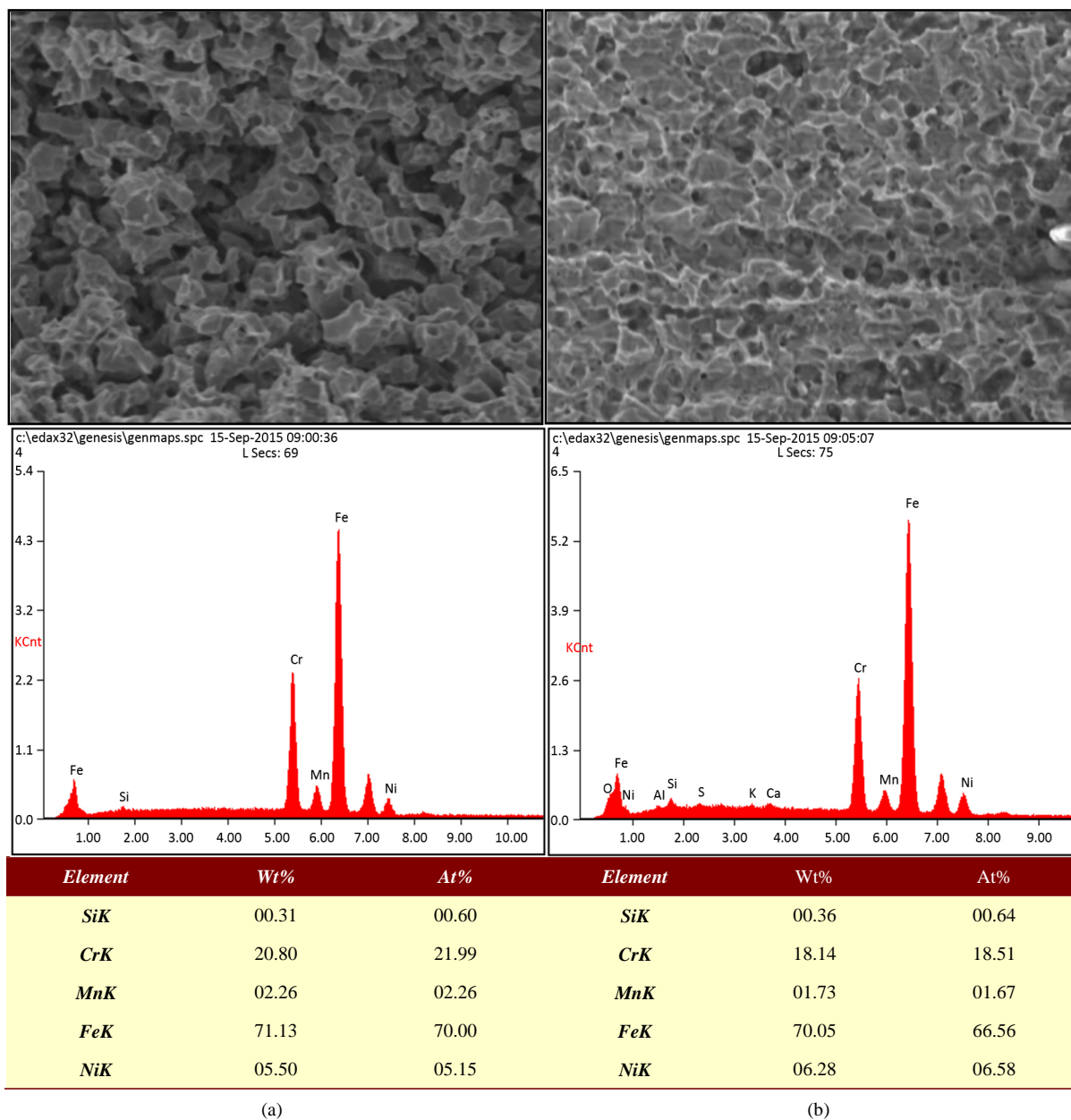


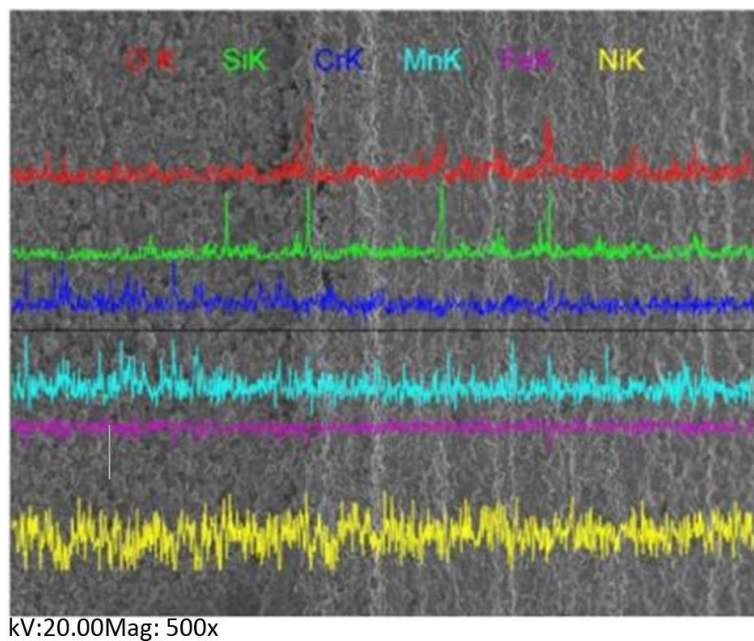
Figure 5. The Sample energy spectrum analysis (a groove position; b flatting position)

图 5. 4#试样能谱分析(a 沟槽部位; b 样平整部位)

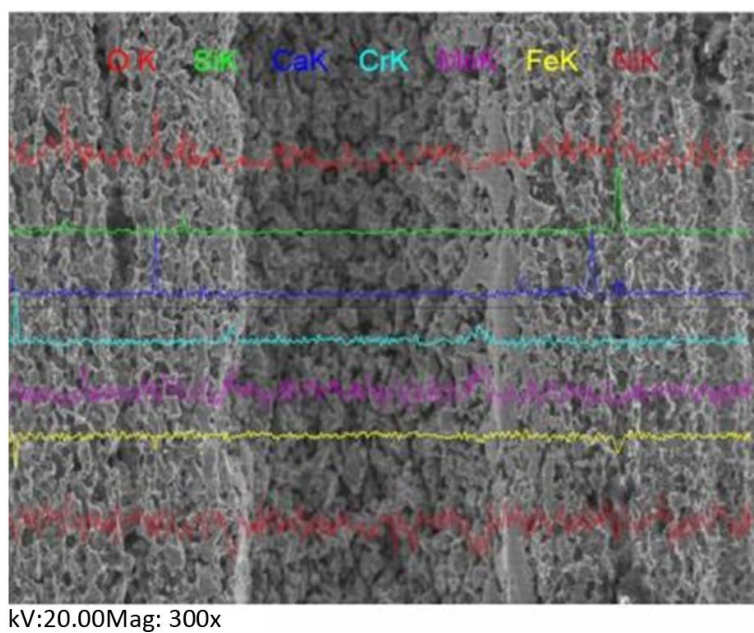
从能谱分析结果来看, 沟槽部位与平整部位的主要成分差异不大, 组织形貌接近。为了更直观地对比沟槽部位与平整部位成分的差异, 对 1#、4#两个试样进行了线扫描能谱分析, 图 6、图 7。1#试样左侧颜色较深部位是沟槽部位, 而右侧是平整部位。从图 6 可以看出, Fe、Cr、Ni、Mn 核心元素的成分分布基本均匀, 而 Si、O 在个别部位的存在富集。如 Si、O 在平整部位富集, 存在重叠现象, 表明这些部位可能有硅酸盐存在。

4#试样中中间部位颜色稍深的部分是沟槽部位, 两侧颜色较浅的部分则是平整部位。从图 7 可以看出, 与 1#试样的线扫描结果一样, Fe、Cr、Ni、Mn 核心元素的成分分布基本均匀, 而 Ca、Si、O 在平整部位的个别位置存在富集。

线扫描的结果表明，在沟槽即黑线部位不存在夹杂物的富集。



**Figure 6.** The Line scanning energy spectrum analysis of 1# Sample  
**图 6.** 1#试样线扫描能谱分析



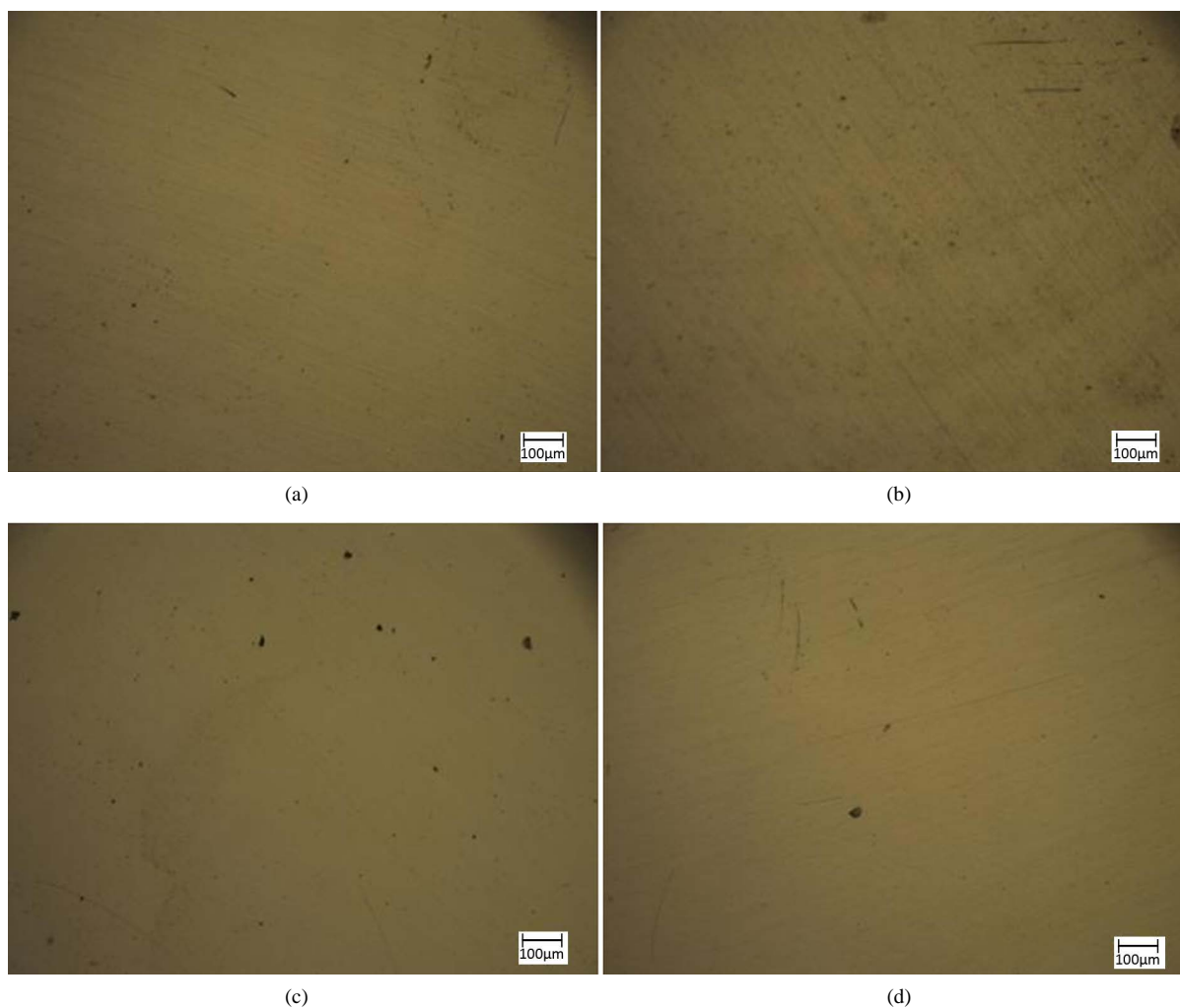
**Figure 7.** The Line scanning energy spectrum analysis of 4# Sample  
**图 7.** 4#试样线扫描能谱分析

## 4. 微观组织分析

### 4.1. 夹杂物分析

图 8 为 1~4#试样的夹杂物形貌，夹杂物为黑色颗粒相，呈球形弥散分布。1#试样的夹杂物尺寸最大，

但不超过  $10\ \mu\text{m}$ ；随着变形程度增加，夹杂物尺寸减小，2#、3#及 4#试样中的最大尺寸夹杂物约  $6\ \mu\text{m}$  左右。与肉眼可见的黑线相比，夹杂物要细小的多，夹杂物是非连续的颗粒状，与黑线连续的线状不同。



**Figure 8.** The Inclusion morphology(a 1#, b 2#, c 3#, d 4#)

**图 8.** 夹杂物形貌(a 1#, b 2#, c 3#, d 4#)

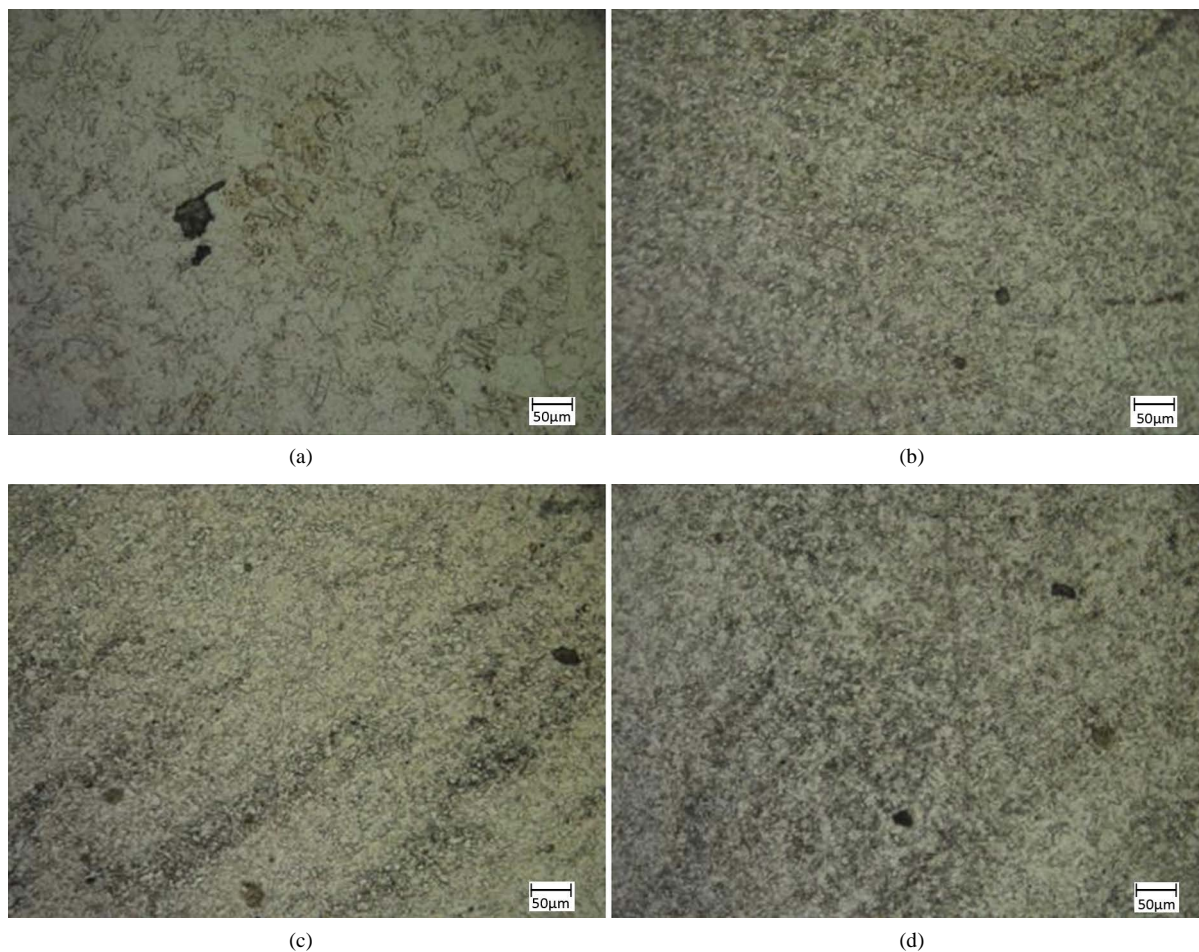
## 4.2. 组织分析

试样经不同粒度的砂纸打磨并抛光后，采用王水腐蚀，金相组织如图 9 所示，1~4#试样基体组织为奥氏体，在奥氏体中存在孪晶组织。组织中的黑色颗粒相为夹杂物。金相组织中未发现碳化物。

## 5. 结论

- 1) 黑线(沟槽)部位的组织、成分与平整部位没有明显差异，不会产生成分偏析和析出物。
- 2) 宏观黑线是通条连续的，试样中的夹杂物弥散分布且尺寸细小，因此从黑色沟槽的连续性分布以及存在方向，可以确定夹杂物并不是产生表面缺陷的直接原因，而是由连铸棒坯在轧制过程中受力形成的拉痕，拉痕的形成通常由外部的缺陷或润滑不良引起。
- 3) 课题组在跟踪生产流程发现，由于当时气温较高，粘在连铸坯表面的保护渣细小颗粒没有完全脱落，由于反复热轧所产生大量的黑线及裂纹。





**Figure 9.** The Microstructure (a 1#, b 2#, c 3#, d 4#)

**图 9.** 组织形貌(a 1#, b 2#, c 3#, d 4#)

4) 为有效脱除连铸坯表面的保护渣细小颗粒, 企业在连铸工艺中增加冷却水流强度, 加大冷却速度, 连铸坯表面质量得到有效保证, 所生产的热轧棒质量全部合格。

### 参考文献

- [1] 陆世英, 等. 不锈钢[M]. 北京: 原子能出版社, 1998: 250-253.
- [2] 朱中平. 中外不锈钢和耐热钢牌号速查手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 332-343.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)