

· 工艺技术 ·

## 热轧 304 不锈钢带表面亮斑缺陷的形成因素和预防工艺措施

韦成贵 李志栋

(四川金广实业(集团)股份有限公司技术中心, 德阳 618300)

**摘要** 2.5~8.0 mm 304 奥氏体不锈钢( $\% : \leq 0.08\text{C}, 18.00 \sim 20.00\text{Cr}, 8.00 \sim 10.50\text{Ni}$ )热轧材的生产工艺为 70 t 电弧炉-70 t 底吹 GOR 转炉-LF-板坯连铸-热连轧-固溶处理-酸洗。通过对热轧带材酸洗后表面亮斑的粗糙度、夹杂物、组织的分析和检验以及现场层流冷却水质对带材亮斑形成影响的试验,确定层流冷却水的油污及悬浮物沉积在钢带表面经固溶处理和酸洗后形成表面亮斑缺陷。通过严格控制层流冷却水的质量,加强层流冷却相关设备检修过程的管理,保证层流冷却水油度低于 0.5 mg/L,悬浮物低于 7 mg/L,有效地避免 304 不锈钢带亮斑缺陷的产生,显著提升产品的质量。

**关键词** 304 奥氏体不锈钢带 亮斑缺陷 层流冷却 水质 过酸洗

## Formation Factors of Strip Surface Bright Spot Defect of 304 Austenite Stainless Steel and Preventing Process Measures

Wei Chenggui and Li Zhidong

(Technical Center, Sichuan Jinguang Industrial (Group) Co Ltd, Deyang 618300)

**Abstract** The production process for 2.5~8.0 mm strip of 304 austenite stainless steel ( $\% : \leq 0.08\text{C}, 18.00 \sim 20.00\text{Cr}, 8.00 \sim 10.50\text{Ni}$ ) is 70 t EAF-70 t bottom blowing GOR converter-LF-slab casting-hot continuous rolling-solid solution treatment-pickling. Based on analysis and examination on bright spots of hot rolled and pickling strip including roughness, inclusions and structure, and test of effect of laminar cooling water quality in situ on strip bright spots formation, it is defined that the contaminated oil and suspending particles in laminar flow cooling water deposit on surface of strip, after solid-solution treatment and pickling the bright spots form on surface of strip. With strict controlling the laminar cooling water quality and strengthening the management of relative laminar flow cooling equipment during facility maintenance, as oil contamination of cooling water is less than 0.5 mg/L and suspending particles is less than 7 mg/L, it is available to avoid the formation of bright spot defect of 304 stainless steel strip and obviously enhance the quality of products.

**Material Index** 304 Austenite Stainless Steel Strip, Bright Spot Defect, Laminar Flow Cooling, Water Quality, Over-Pickling

不锈钢是指一系列在空气、水、盐等水溶液、酸以及其他腐蚀介质中具有高度化学稳定性的钢种<sup>[1]</sup>。不锈钢厂在生产 304 不锈钢时,在热轧后退火酸洗时出现亮斑质量问题,尤其是在热轧厂检修后缺陷更为明显,比例最高达到了 10%,该缺陷经后续冷轧压延后有明显色差,不能满足高档产品的表面质量要求,严重影响最终产品的质量。

### 1 工艺流程和缺陷描述

304 不锈钢( $\% : \leq 0.08\text{C}, \leq 0.75\text{Si}, \leq 2.00\text{Mn}, \leq 0.045\text{P}, \leq 0.030\text{S}, 18.00 \sim 20.00\text{Cr}, 8.00 \sim 10.50\text{Ni}, \leq 0.10\text{N}$ )生产工艺流程:70 t 电弧炉→70 t 底吹 GOR 转炉→70 t LF 精炼炉→板坯连铸→铸坯修磨→加热→热连轧→固溶酸洗→检验入库。

宽度 1 000~1 240 mm 的 304 不锈钢连铸板坯,经过表面检查、修磨清理后进行热轧制。连铸板坯出步进式加热炉后先进行高压水除鳞去除表面氧化皮后,再进入 E1R1 经 5 道次粗轧和精轧(7 机架连

轧),轧至 2.5~8.0 mm 厚的钢带,经层流冷却后卷取不锈钢卷;轧后钢卷自然冷却后经连续固溶酸洗退火线进行 1 050~1 150 °C<sup>[2]</sup> 固溶和连续酸洗处理。酸洗后发现在钢带上表面出现有较多亮斑缺陷,缺陷呈不规则形状,在酸洗后钢带尾部(热轧时头部)缺陷尤为严重,在钢带头部(热轧时尾部)及本体部分并无明显分布规律,而钢带下表面无该缺陷产生,产生该缺陷的钢卷比例最高达到了 10%,如图 1 所示。

### 2 试验分析和检验

#### 2.1 粗糙度

按照 GB/T1013-2009《产品几何技术规范(GPS)表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》,在 SJ-401 表面粗糙度仪上检测钢带表面亮斑处的粗糙度,检测结果如表 1 所示。结果显示,钢带亮斑缺陷粗糙度均高于正常位置,粗糙度差最高为 0.08 μm、最低为 0.034 μm、平均值为 0.062 7 μm。

#### 2.2 夹杂物

在钢带尾部,即在缺陷最严重位置取样进行夹杂物检测分析,检测方法采用 GB/T10561-2005《钢中非金属夹杂物显微评定方法》,结果如表 2 所示。可以看出,钢带正常部位与亮斑缺陷部位都存在 A、B、C 类夹杂物,但级别均在 0.5 级以下,排除钢坯内部夹杂物引起亮斑缺陷。

### 2.3 显微组织

按照 GB/T13298-1991《金属显微组织检验方法》在缺陷部位及正常部位截取试样,在 BX41M 金相显微镜上进行检测,结果显示缺陷部位显微组织无明显异常,与正常部位组织基本一样均为奥氏体组织,如图 2 所示。

SEM 形貌如图 3 所示,能谱分析结果可知,缺陷部位在形貌上与正常部位有明显的差异,缺陷部位晶界暴露呈深沟状,局部出现坑洞,而正常基体光滑平整,进一步对微区化学成分进行检测后,除正常基体元素 Si、Cr、Mn、Fe、Ni 元素外,未发现其他元素。

### 2.4 现场试验

表 1 304 不锈钢带亮斑缺陷处和正常区域粗糙度检测结果  
Table 1 Examination results of roughness at normal area and bright spot area of 304 stainless steel strip

钢带号	位置	粗糙度/ $\mu\text{m}$			平均值/ $\mu\text{m}$
		1.303	1.314	1.240	
1	正常	1.303	1.314	1.240	1.286
	亮斑	1.321	1.335	1.304	1.320
2	正常	1.307	1.299	1.319	1.308
	亮斑	1.425	1.369	1.357	1.384
3	正常	1.333	1.298	1.325	1.319
	亮斑	1.408	1.332	1.458	1.399
4	正常	1.306	1.321	1.309	1.312
	亮斑	1.354	1.368	1.420	1.381
5	正常	1.343	1.308	1.333	1.328
	亮斑	1.389	1.402	1.369	1.387
6	正常	1.402	1.394	1.401	1.399
	亮斑	1.468	1.345	1.558	1.457

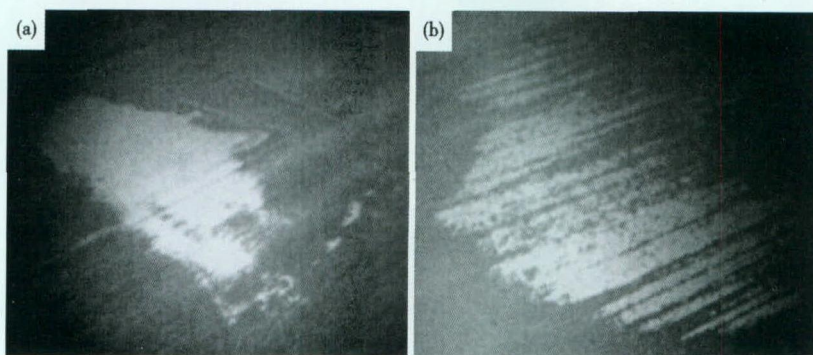


图 1 304 不锈钢带亮斑缺陷的形貌,  $\times 1$   
Fig. 1 Morphology of bright spot defect of 304 stainless steel strip,  $\times 1$

在热轧后钢带进入退火炉之前,在钢带表面不同位置采用工业用水、加入细微的氧化铁粉尘的工业用水即“红水”、加入油污的工业用水做标记,退

表 2 304 不锈钢带正常区域和亮斑缺陷区域夹杂物检验结果/级  
Table 2 Examination results of inclusions in normal area and bright spot area of 304 stainless steel strip /rating

试样部位	A类		B类		C类		D类		DS类
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	
正常	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
缺陷	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0

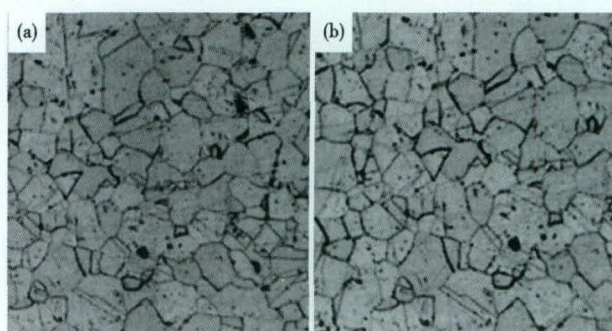


图 2 304 不锈钢带正常部位(a)和亮斑缺陷部位(b)的组织形貌,  $\times 200$   
Fig. 2 Morphology of normal area (a) and bright spot area (b) of 304 stainless steel strip,  $\times 200$

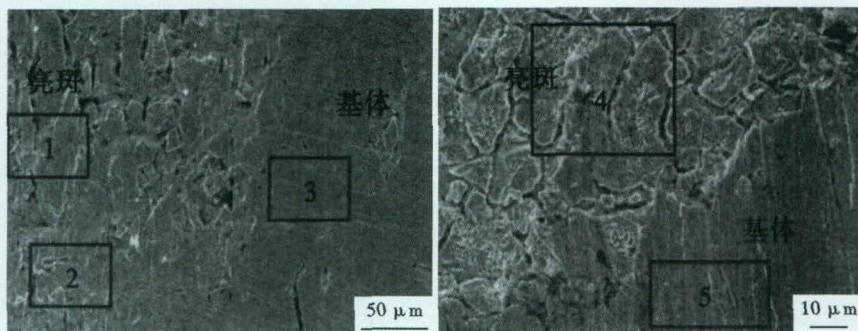


图 3 304 不锈钢带缺陷部位(1,2,4)和正常部位(3,5)的微区成分

Fig. 3 Micro-zone analysis of bright spot defect area (1, 2, 4) and normal area (3, 5) of 304 stainless steel strip

部位	检测位置	化学成分 /%				
		Si	Cr	Mn	Fe	Ni
缺陷部位	1	0.48	17.33	0.94	72.83	8.41
	2	0.50	15.38	1.25	74.96	7.91
	4	0.64	16.90	1.04	73.44	7.98
正常部位	3	0.80	19.33	1.86	73.42	5.10
	5	0.80	18.85	1.98	70.27	8.11

表 3 工业用水、含氧化铁粉尘水和油污水层流冷却对 304 不锈钢带形成亮斑缺陷的影响

Table 3 Effect of laminar cooling with industrial water, iron oxides powder dust contaminated industrial water and oil contaminated industrial water on formation of bright spot defect of 304 stainless steel strip

位置	工业用水	红水	油污水
1	○	⊙	●
2	○	●	●
3	○	⊙	●
4	○	●	●
5	○	●	●

注:○-无亮斑;⊙-轻微亮斑;●-有亮斑。

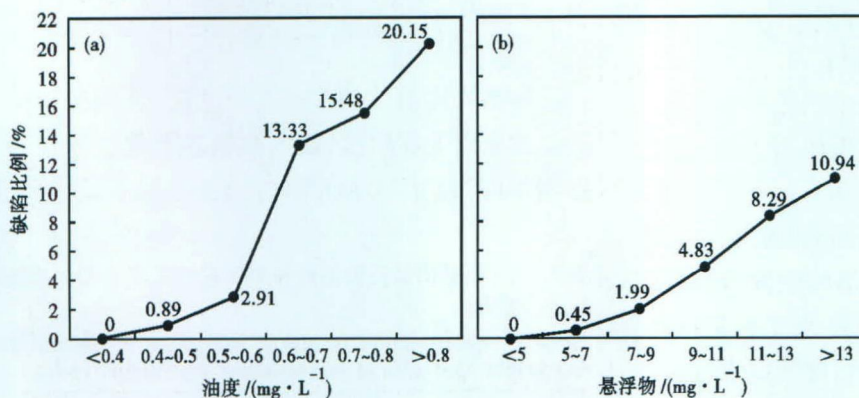


图 4 油度(a)和悬浮物(b)对 304 不锈钢带亮斑缺陷比例的影响

Fig. 4 Effect of contaminated oil (a) and suspending particles (b) on bright spot defect ratio of 304 stainless steel strip

火酸洗观察表面是否会产生亮斑缺陷,见表 3。通过现场试验,亮斑缺陷是由于钢带在进入退火炉之前存在油污或存在粉尘在钢带表面聚焦造成的,尤其是当存在油污时,缺陷更为明显。

在钢带生产过程中,能够接触到“红水”和油污水且积聚到钢带上表面的,以层流冷却为首要关注对象。从图 4 可以看出,当油度超过 0.5 mg/L 时,缺陷比例明显升高,而当悬浮物超过 7 mg/L 时,也会出现较明显的亮斑缺陷,而且当油度较高时产生的缺陷比例明显偏高。

### 3 缺陷产生原因分析

黑皮钢带在冷却过程中,水质不符合要求,水中油污及悬浮物沉积在钢带表面,固溶处理时由于产生的氧化皮厚度不均匀,在酸洗过程中,钢带“过酸洗”造成的颜色差异,使得亮斑缺陷处粗糙度明显高于正常部位,而化学成分、组织及夹杂物分布未产生明显变化。

不锈钢层流冷却装置基本工作原理是使不锈钢带表面覆盖一层最佳厚度的水层,利用不锈钢和水之间的热交换使不锈钢冷却到卷取温度<sup>[3]</sup>,由于循环水与钢带充分接触,在轧制过程中产生的氧化铁皮和附着在红钢表面产生二次氧化铁细微粉尘被带

入到循环水系统,较大颗粒的氧化铁皮沉入铁皮坑,细微的二次氧化铁粉尘则悬浮在循环水系统中通过循环水系统的不断循环浓缩<sup>[4]</sup>,或者层流集管长期使用内部的出现大量的锈垢<sup>[5]</sup>,而油污主要来自于设备检修及钢带表面轧制润滑油累积<sup>[6]</sup>,当这些杂质累积到一定程度后,就会沉积到钢带表面,产生亮斑缺陷。这也说明当钢带头部进入层流冷却时,由于水中的油污在冷却间隙中有足够的时间上浮,这也印证了钢带头部(酸洗尾部)上表面亮斑缺陷集中分布情况。

通过定期对层流冷却水进行油污、悬浮物等检测和清除,严格控制层流冷却水水质,加强在层流冷却相关设备检修过程中的管理,保证层流冷却水油度小于 0.5 mg/L、悬浮物小于 7 mg/L,从根本上解决亮斑缺陷的产生,缺陷钢卷比例由最高 10% 降至目前 0.5% 以下。

### 4 结论

(1) 黑皮钢带在冷却过程中,因水质不符合要求,水中油污及悬浮物沉积在钢带表面经固溶酸洗处理后缺陷部位被过酸洗形成 304 不锈钢带亮斑缺陷。

(2) 定期对层流冷却水进行油污、悬浮物等检测和清除,严格控制层流冷却水水质,加强在层流冷却相关设备检修管理,保证层流冷却水油度小于 0.5 mg/L、悬浮物小于 7 mg/L,避免产生亮斑缺陷,缺陷比例由最高 10% 降至 0.5% 以下。

### 参考文献

- [1] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题[M]. 北京:冶金工业出版社, 2006.
- [2] 王治宇, 韩 俭, 江来珠. 304 与 301B 奥氏体不锈钢在线固溶热处理工艺研究[J]. 宝钢技术, 2007(4): 16-34.
- [3] 王明华, 权芳民, 孙文强, 等. 不锈钢热轧层流冷却过程的温度模拟[J]. 工业炉, 2012, 34(4): 1-4.
- [4] 李 六, 王亚翰, 项凯元, 等. 层流冷却系统水质发红的原因探讨及处理[J]. 冶金动力, 2011(4): 71-75.
- [5] 王 俊. 层流冷却集管锈垢清洗工艺[J]. 现代冶金, 2011, 39(4): 48-50.
- [6] 张卫革, 万承胜. 邯钢冷轧带钢表面水印分析研究[J]. 钢铁研究, 2012, 40(5): 22-24.

韦成贵(1967-),男,硕士(兰州大学),高级工程师,1990 年兰州大学(本科)毕业,不锈钢冶金技术和性能的研究。

E-mail:weichenggui@163.com

收稿日期:2013-12-25