

# 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 奥氏体不锈钢带脱皮缺陷的成因分析及 预防工艺措施

李志栋 韦成贵 杜俊涛

(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 mm 热轧 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 奥氏体不锈钢带的生产流程为 70 t EAF-70 t 底吹 GOR 转炉-LF-180 mm × 1 240 mm 板坯 CC-热轧工艺。酸洗后 2.5 mm 热轧带距边部约 30 mm 处出现宽度 ≤ 20 mm, 深 ≤ 0.06 mm 的脱皮缺陷。分析表明, 由于在热轧加热过程中加热温度过高(1 200 ~ 1 260 °C), 以及加热时间过长(超过 210 min) 使得富铜相在晶界处大量析出致使在热轧过程形成脱皮缺陷。通过将加热温度调整为 1 200 ~ 1 240 °C, 加热时间为 150 ~ 210 min 后, 产生脱皮缺陷的带材由 7% 降至 0.5% 以下, 产品质量得到了显著的提升。

**关键词** 奥氏体不锈钢 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 带材 脱皮缺陷 加热温度 加热时间

## Analysis on Formation Cause of Peeling Defect of Austenite Stainless Steel 06Cr18Ni5Mn7Cu3N Strip and Preventing Process Measures

Li Zhidong, Wei Chenggui and Du Juntao

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

**Abstract** The production flow sheet for 2.5 mm hot rolled strip of austenite stainless steel 06Cr18Ni5Mn7Cu3N is 70 t EAF-70 t bottom-blown GOR converter-LF-180 mm × 1 240 mm slab CC-hot rolling process. The peeling defects with width ≤ 20 mm and depth ≤ 0.06 mm occur at distance about 30 mm from edge of pickled 2.5 mm hot-rolled strip. Analysis show that due to higher heating temperature during heating process for hot rolling (1 200 ~ 1 260 °C) and longer holding time during heating (more than 210 min) led to the formation of a large amount of copper-rich phase precipitated at grain boundary, as a result the peeling defect forms during hot rolling. With improving heating temperature 1 200 ~ 1 240 °C and holding time 150 ~ 210 min, the forming strip peeling defect ratio decreases from original 7% to less than 0.5%, the quality of products enhances markedly.

**Material Index** Austenite Stainless Steel 06Cr18Ni5Mn7Cu3N, Strip, Peeling Defect, Heating Temperature, Holding Time

不锈钢由于在多种腐蚀介质中具有优秀的耐腐蚀性能和良好的综合力学性能、工艺性能及可焊性, 在化工、石油、海洋、食品、轻工等多种领域具有广泛的用途。

06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢其主要特征是将奥氏体形成元素 N、Mn、Cu 等加入钢中, 以替代贵金属 Ni, 从而节约资源, 解决 Ni 资源匮乏的问题。钢厂在生产该不锈钢时, 出现了较大比例的脱皮质量问题, 并在局部伴随有边裂缺陷的产生, 缺陷比例最高达到了 7%, 严重影响产品的质量。为此, 通过对不锈钢带脱皮缺陷进行深入的分析, 找出了该缺陷产生的主要原因, 并采取针对性措施和质量跟踪, 从根本上解决了 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢带脱皮缺陷的问题。

### 1 工艺流程和主要技术条件

06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢生产工艺流程: 70 t 电弧炉(出钢钢水要求 Si < 0.7%) → 70 t 底吹 GOR

转炉(出钢钢水温度为 1 550 ~ 1 650 °C, 终点 [C] 为 0.06% ~ 0.075%, T[O] ≤ 30 × 10<sup>-6</sup>) → 70 t LF 精炼 → 连铸 → 铸坯修磨 → 加热 → 热轧 → 退火 → 酸洗 → 检验入库。06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢化学成分见表 1。

### 2 缺陷描述

06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢连铸板坯规格为 180 mm × 1 240 mm × L; 经过表面清渣(皮)处理后, 再进行热轧制。热轧用步进式加热炉进行加热, 先进行高压水除鳞去除表面氧化皮后, 进入 E1R1 经 5 道次粗轧和精轧(7 机架连轧), 轧至 2.5 mm ×

表 1 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 奥氏体不锈钢化学成分 / %  
Table 1 Chemical composition of austenite stainless steel 06Cr18Ni5Mn7Cu3N / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Cu
≤ 0.08	≤ 1.00	5.5 ~ 7.5	≤ 0.045	≤ 0.03	17.0 ~ 18.0	3.5 ~ 5.5	0.10 ~ 0.25	1.5 ~ 3.5

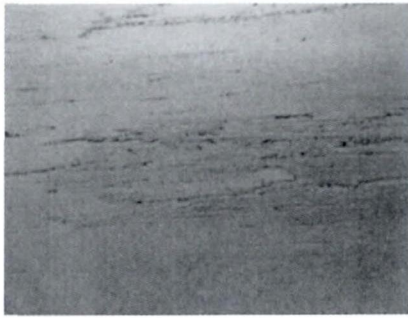


图 1 奥氏体不锈钢 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 2.5 mm 带材的脱皮缺陷的宏观形貌, ×1

Fig. 1 Macro-morphology of peeling defect of austenite stainless steel 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 2.5 mm strip, ×1

1 240 mm 规格的不锈钢黑皮卷;然后采用连续退火炉进行退火,加热温度为1 030 ~ 1 110 °C<sup>[1]</sup>,随后采用连续酸洗。酸洗后发现不锈钢带在边部出现脱皮缺陷。脱皮缺陷形貌沿轧制方向呈舌状,边缘呈锯齿状,如图 1 所示。缺陷沿钢带边部(距带边部约 30 mm 处)分布,脱皮缺陷最宽处为 20 mm,且在沿带钢长度方向连续分布,揭开脱皮后明显可见其下部发黑,缺陷深度最深为 0.06 mm。

### 3 理化分析和检验

#### 3.1 夹杂物检验

当铸坯内部含有大量的大颗粒夹杂物或边部卷渣时,在轧制过程中不断延伸,当显露到钢带表面时就会形成脱皮缺陷。因此有必要对脱皮缺陷部位进行夹杂物检测。

由表 2 可以看出,不锈钢带正常区域与脱皮区域都存在 A、B、C 类夹杂物,但级别均在 0.5 级以下,从数量上来说很少,因此夹杂物不会导致热轧不锈钢带出现分层状脱皮缺陷。

#### 3.2 显微组织分析

缺陷区域显微组织无明显异常,

表 2 2.5 mm 带材正常压和缺陷区夹杂物检验级别  
Table 2 Rating of inclusions examined at normal area and defect area of 2.5 mm strip

区域	A		B		C		D		DS 类
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	
正常	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
脱皮	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0

与正常区域组织基本一样均为奥氏体组织,未发现大量的铁素体相等存在,如图 2 所示。由此可见,缺陷是在退火酸洗之前就已经形成了<sup>[2]</sup>。

#### 3.3 扫描电镜分析

为进一步分析脱皮缺陷产生的原因,在 JSM-6490LV 型扫描电镜上对钢带脱皮缺陷区域和正常区域进行扫描分析和检测,结果见图 3。可知缺陷部位晶界上有较多颗粒状富铜析出,Cu 元素含量远超出原始基体百分含量,并发现有除常规元素外的 O 元素存在,在晶粒上除正常基体元素 Cr、Mn、Fe、Cu 元素外,未发现其他元素。

同时,对正常区域进行电镜扫描时,也发现了少量的颗粒状富铜相,并有除常规元素外的 O 元素存在,在晶粒上除正常基体元素 Cr、Mn、Fe、Cu 元素外,未发现其他元素。

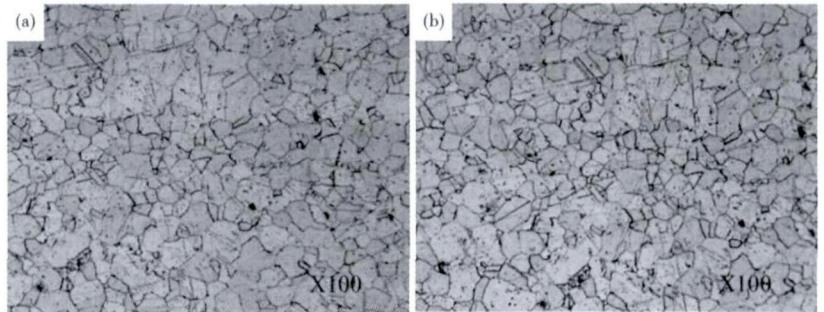


图 2 奥氏体不锈钢 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 2.5 mm 带材正常部位(a)和脱皮缺陷部位(b)的组织形貌, ×100

Fig. 2 Morphology of structure of normal area (a) and peeling defect area (b) of austenite stainless steel 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 2.5 mm strip, ×100

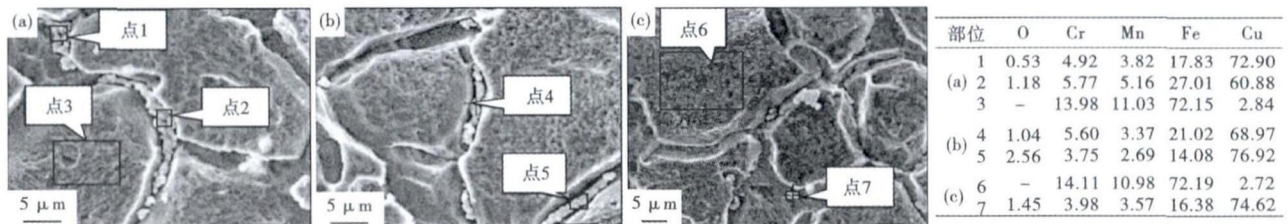


图 3 奥氏体不锈钢 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 2.5 mm 带材脱皮缺陷处(a)(b)和正常部位表面结构形貌(c)及表面微区分析  
Fig. 3 Morphology of surface structure at peeling defect area (a) (b) and normal area (c) of austenite stainless steel 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 2.5 mm strip and analysis of surface micro-zone

### 4 缺陷产生原因分析

在奥氏体钢中加入 Cu 比单纯地提高 Ni 含量更有益于降低加工硬化速率<sup>[3]</sup>,根据文献[4]研究结果,Cu 在镍铬奥氏体钢中的溶解度为接近 8%,它以置换固溶原子状态存在于奥氏体不锈钢中,单质 Cu 熔点为 1 089 ℃。当钢中的 Cu 含量大于 0.2% 时,若钢坯加热制度控制不当,铸坯表面会出现一种特有的裂纹。其影响的严重程度随钢中 Cu 含量的增加以及在氧化气氛下预热时间的延长和预热温度的提高而增加。这是因为在氧化气氛中较长时间高温加热时,由于选择性氧化的结果,在铸坯的表面氧化铁皮下会富集着一层熔点低于 1 100 ℃ 的富铜合金。如若铸坯表面氧化皮下富铜缺陷一旦形成,加热温度超过 1 100 ℃,这一层富铜合金将熔化并侵蚀钢表面层的晶粒边界。若铸坯在 1 100 ℃ 以上温度进行热变形加工时,就会发生热脆,使钢带的表面发生鱼鳞状开裂,形成边部裂纹或表面裂纹。

#### 4.1 加热温度的影响

06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢铸坯的加热温度为 1 200 ~ 1 260 ℃,热轧温度 1 000 ~ 1 050 ℃,已高于 Cu 的熔点(1 083.4 ℃)<sup>[5]</sup>,造成 Cu 在基体-氧化层界面处产生 Cu 的富集,形成液态富 Cu 相。液态富铜相沿界面附近的奥氏体晶界渗透,使其在热加工过程中产生表面裂纹<sup>[6]</sup>,在酸洗后白皮卷表面就会产生脱皮缺陷。

#### 4.2 加热时间的影响

在 1 100 ℃ 下 Cu 的浸润性最强,该温度下 Cu 沿奥氏体晶界的渗透最容易<sup>[7]</sup>。但是在奥氏体不锈钢中,由于 Ni 等元素的存在,改变了氧化层中富铜相的结构,促进了富铜相以颗粒状保留在晶界上,抑制了 Cu 向基体中的渗透。这与脱皮缺陷进行分析时,得到脱皮缺陷只集中在表面,且在晶界上出现大量颗粒状富铜相是完全吻合的。统计 06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢加热温度发现,产生脱皮缺陷的钢带加热温度超过 210 min,而加热时间小

于 210 min 的钢带未产生脱皮缺陷。

#### 4.3 加热气氛的影响

加热气氛也是造成富铜相析出的原因之一,06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢加热过程中都采用天然气为加热介质,因此排除由于气氛控制不合理造成产生钢带脱皮缺陷的因素。

### 5 结论

(1)06Cr18Ni5Mn7Cu3N 不锈钢带脱皮缺陷的产生是由于在热轧加热过程中加热温度控制过高,以及加热时间过长使得富铜相在晶界处大量析出造成的。

(2)将加热温度由 1 200 ~ 1 260 ℃ 调整为 1 200 ~ 1 240 ℃,加热时间由 > 210 min 减少至 150 ~ 210 min 后成功克服了钢带脱皮缺陷的产生,原工艺生产的带材脱皮缺陷比例最高为 7%,采用优化工艺后带材脱皮缺陷比例降至 0.5% 以下,产品质量得到了显著的提升。

#### 参考文献

- [1] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 卢大平,祁文军,刘 炳,等. 06Cr17Ni5N 奥氏体不锈钢热轧板表面脱皮原因[J]. 机械工程材料,2011,35(2):89-91.
- [3] 安治国. 含铜高纯低碳钢中铜沉淀过程的研究[D]. 包头:内蒙古科技大学,2006.
- [4] 岳杰兰. 深冲用 SUS304J1 不锈钢热轧卷裂边质量攻关[J]. 太钢科技,2004(3):25-28.
- [5] 李长荣,杨小平,文 辉. 铜元素在钢表面氧化过程中富集规律的研究[J]. 材料热处理技术,2010,39(4):8-14.
- [6] 杨才福,苏 航,李 丽,等. Cu、Ni 在含铜时效钢表面氧化层中的富集[J]. 钢铁,2007,42(4):57-60.
- [7] Shibata K, Seo S J, Kaga M, et al. Suppression of Surface Hot Shortness due to Cu in Recycled Steels[J]. Metallurgical and Materials Transactions a-physical Metallurgy and Materials Science,2002,43(3):292-300.

李志栋(1988-),男,助理工程师,2009 年重庆大学(本科)毕业,轧钢工艺研究。E-mail:Lizhidong@126.com

收稿日期:2013-09-18

欢迎全国各冶金机械及相关行业  
 在《特殊钢》杂志上刊登宣传广告