

## 夹杂物对 TP347H 不锈钢 $\Phi 108$ mm $\times$ 15 mm 荒管裂纹缺陷的影响和工艺改进

王志军<sup>1,2</sup> 杨永超<sup>2</sup>

(1 山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003;

2 太原钢铁(集团)有限公司先进不锈钢材料国家重点实验室,太原 030003)

**摘要** 试验 TP347H 钢( $\% : 0.08\text{C}, 0.36\text{Si}, 1.27\text{Mn}, 0.020\text{P}, 0.0005\text{S}, 18.10\text{Cr}, 10.80\text{Ni}, 0.78\text{Nb}, 0.007\text{Cu}$ )  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm 荒管的生产流程为:铁水预处理-90 t K-OBM-S 熔炼-VOD-LF-220 mm  $\times$  220 mm 方坯连铸-热轧  $\Phi 110$  mm 管坯-穿孔成荒管。对荒管内壁酸洗检验后发现批量间断无规律的裂纹缺陷。经检测确认荒管内壁缺陷是由于外来大型复合夹杂物在基体形成“夹层”,在锥形挤压穿孔过程中,基体金属受力不均匀产生破裂,导致形成内壁裂纹。通过延长 LF 弱搅拌和镇静时间,保持中间包钢水容量 20 t,提高浸入式水口质量,水口烘烤温度由  $\geq 800$  °C 提高至  $\geq 1000$  °C,使管坯中各类夹杂物为 0~1.0 级,荒管内壁缺陷率由 3.41% 下降至 0.01% 以下。

**关键词** TP347H 奥氏体不锈钢  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm 荒管 内壁夹杂物裂纹 工艺改进

## Effect of Inclusions on Cracks Defect of $\Phi 108$ mm $\times$ 15 mm Tube Shell of Stainless Steel TP347H and Process Improvement

Wang Zhijun<sup>1,2</sup> and Yang Yongchao<sup>2</sup>

(1 Technology Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003;

2 State Key Laboratory of Advanced Stainless Steels Materials, Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003)

**Abstract** The production flowsheet of  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm tube shell of tested steel TP347H ( $\% : 0.08\text{C}, 0.36\text{Si}, 1.27\text{Mn}, 0.020\text{P}, 0.0005\text{S}, 18.10\text{Cr}, 10.80\text{Ni}, 0.78\text{Nb}, 0.007\text{Cu}$ ) is hot-metal pretreatment-90 t K-OBM-S melting-VOD-LF-220 mm  $\times$  220 mm bloom casting- hot-rolled to  $\Phi 110$  mm tube blank- piercing to tube shell. The batches intermittent and irregular cracks at inner wall of shell occur after pickling. By examination and analysis the inner defects of shell it is defined that inner defects is double layers formed by large-external composite inclusions in base, during conical-extrusion-piercing process, the base metal produces breaking caused by uneven stress led to form inner wall cracks. With prolonging LF soft stirring time and killing time, maintaining liquid in tundish more than 20 t, increasing the quality of submerged nozzle and increasing the baking temperature of nozzle form  $\geq 800$  °C to  $\geq 1000$  °C, the rating of each type of inclusions is 0~1.0 and the rate of shell inner defects decreases form 3.41% to less than 0.01%.

**Material Index** Austenite Stainless Steel TP347H,  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm Tube Shell, Inner Wall Inclusions Crack, Process Improvement

TP347H 属于含铌 Cr-Ni 型奥氏体不锈钢<sup>[1]</sup>, TP347H 不锈钢无缝钢管主要用于制作大型发电锅炉上的高温过热器、高温再热器以及各种耐高温高压的管件等部件<sup>[2-3]</sup>。

TP347H 钢管采用 220 mm  $\times$  220 mm 连铸方坯轧制  $\Phi 110$  mm 圆棒后生产  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm 规格的荒管。TP347H 钢主要生产工艺流程为:炼钢过程采用铁水预处理进行脱 P、S,利用 90 t K-OBM-S 进行粗炼,经 90 t VOD、LF 精炼脱除有害元素和氧化物,并采用 4 流方坯连铸机进行浇铸;经 650 轧机轧制成圆棒后,经表面和性能检验后交钢管厂采用  $\Phi 89$  型穿孔机制备荒管。在制管作业中发现采用锥形辊立式穿孔机制管后,对荒管内壁酸洗检验后发现批量间断无规律的裂纹缺陷,对其进行挽救性修磨也不能消除,对后续生产带来不利影响。

### 1 检验与分析

采用 GB/T 11170-2008《不锈钢多原元素含量的测定火花放电原子发射光谱法(常规法)》对缺陷附近区域进行分析,检测结果见表 1。从表 1 可以看出:缺陷区域附近成分符合协议标准技术要求,有害元素和残余元素含量均保持在较低水平。

在热穿孔生产中,存在缺陷的荒管无规律,或间隔几支,或连续几支,产生于不同轧制批次。为查明荒管内壁无明显规律缺陷产生的原因,切取缺陷试样进行检验,其宏观形貌如图 1 所示。

从图 2(a) 荒管内壁裂纹缺陷微观形貌可见,在未发生裂纹区域微观观察基体表面光滑,粒度清晰,对 A 点进行能谱分析结果(图 2b)显示其主要元素包含 Fe、Cr、Ni、O 等为正常组织成分;在裂纹发生区域存在表面粗糙及折叠现象,选取 B 点进行能谱

分析,结果(图 2c)显示其主要元素包含 Fe、Cr、O 等与正常组织成分相近,但 O 元素含量相对较高,说明裂纹区域氧化程度高于正常区域。

图 3 显示了使用扫描电镜观察到的缺陷截面靠近荒管内壁部分微观形貌和 C 点能谱分析,从图 3 可以看出,裂纹产生于钢坯基体内部,距钢管内壁 18 ~ 23 mm,类似“夹层”状;同时,发现在裂纹内部裂纹源附近分布着宽度为 10 ~ 20 μm、长度为 100 ~ 600 μm 条状物,选取 C 点进行能谱分析,其主要成分为 Ca、Si、Al、F、O、Na、Mg 等。

使用扫描电镜对缺陷试样整个壁厚截面基体进行微观观察,在其表面发现大量随机分布着形状不规则的条状物,宽度为 1 ~ 10 μm,长度为 100 ~ 1 100 μm 不等。对典型条状物(图 4)进行能谱分析(图 4),主要成分为 Ca、Si、Al、F、O、Na、Zr、Mg、Ti、B 等。

表 1 TP347H 钢管材的化学成分/%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	Cu
标准要求	0.04 ~ 0.10	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	18.0 ~ 20.0	10.0 ~ 13.0	8C ~ 1.0	≤0.20
实测值	0.08	0.36	1.27	0.020	0.000 5	18.10	10.80	0.78	0.007

注:钢中实测/%;N 0.082,Al 0.006,Ph 0.001,Sn 0.001,As 0.003,Bi 0.005,Sb 0.001。

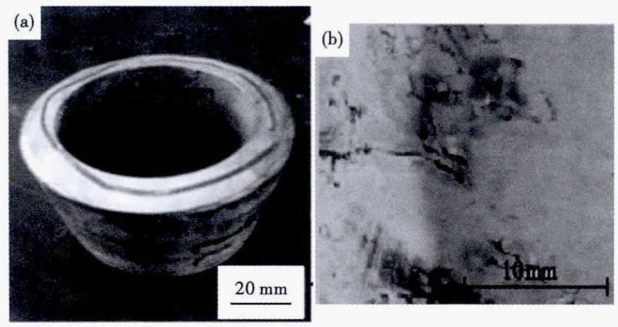


图 1 TP347H 钢 Φ108 mm × 15 mm 荒管(a)内壁裂纹缺陷和(b)局部裂纹缺陷形貌

Fig. 1 Morphology of inner wall defects (a) and local cracks defect (b) of Φ108 mm × 15 mm shell of steel TP347H

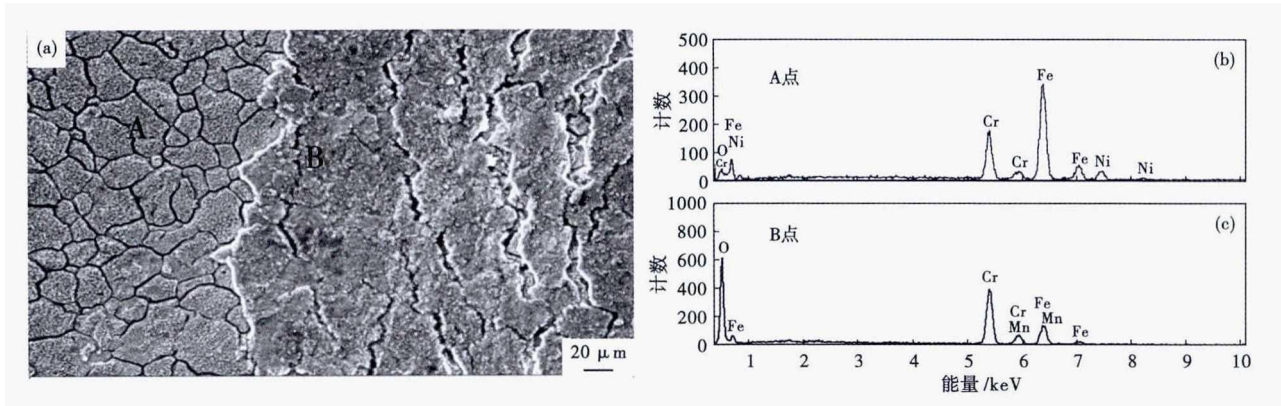


图 2 TP347H 钢 Φ108 mm × 15 mm 荒管典型缺陷组织形貌(a)和能谱分析(b)(c)

Fig. 2 Morphology of structure (a) and energy spectrum analysis (b) and (c) of Φ108 mm × 15 mm shell of steel TP347H

## 2 结果分析与讨论

由于夹杂物的存在破坏了管坯基体的连续性<sup>[4]</sup>,同时造成管坯基体在存在夹杂物的部分出现“夹层”,促成荒管内壁裂纹的产生。由于夹杂物的随机分布,使得裂纹缺陷也随机分布于管体内壁。

由能谱分析结果可见,其主要元素为 Ca、Si、Al、F、O、Na、Zr、Mg、Ti 等,而未见 S、P、N 等元素,说明夹杂物不是钢材本身固有的非金属夹杂物,且根据尺寸较大的特点,判断为外来大型非金属夹杂物,其主要类型是硅酸盐类复合夹杂物等,而硅铝酸盐主要是 Si-Al 脱氧产物在上浮过程中聚集而成<sup>[5]</sup>。能谱分析成分中,Si、Ca、Mg、Al、O、F 是常规炼钢辅材

主要元素,而夹杂物中 Mg 元素也是钢包、中间包等耐火材料的特征元素。有研究表明<sup>[6]</sup>,凡出现大型夹杂物的炉次一般出现在多炉连浇的中后期炉次,耐火材料由于高温钢水的冲刷、浸蚀而剥落进入钢水被氧化,或与氧化铝互相吸收并产生高温反应,从而形成高熔点的镁铝尖晶石,而脱氧产物铝酸钙颗粒多以镁铝尖晶石为核心吸附在其表面而长大,成为尺寸较大的铝酸钙与镁铝尖晶石的复合夹杂物。

## 3 改进措施

### 3.1 优化炼钢过程工艺控制去除大型夹杂物

对于大型夹杂物的控制主要从两个方向进行:(1)从夹杂物的来源入手,消除其产生的根源,为此

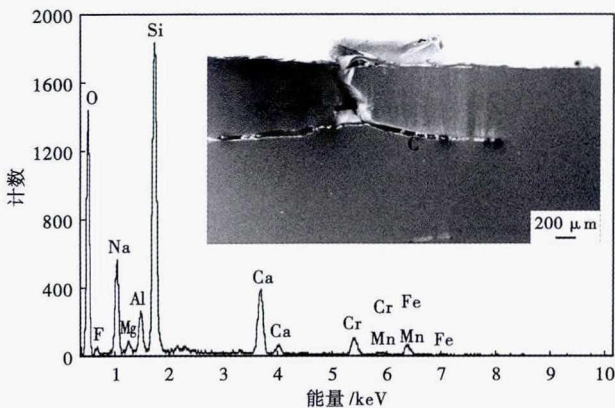


图3 TP347H 钢  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm 荒管内壁缺陷形貌和 C 点能谱分析

Fig. 3 Morphology of inner wall defect and C point energy spectrum analysis of  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm shell of steel TP347H

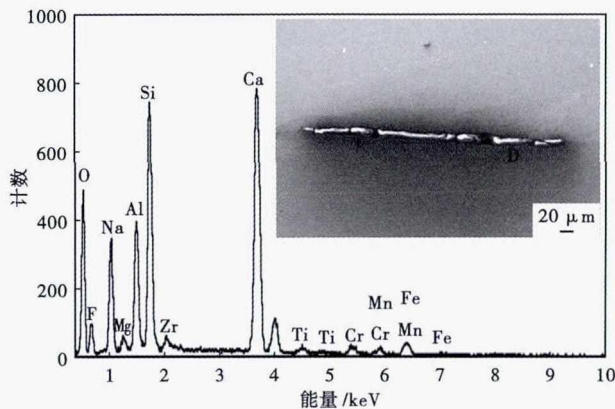


图4 TP347H 钢  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm 荒管缺陷截面典型条状物形貌和能谱分析

Fig. 4 Morphology of section of typical string type defects and energy spectrum analysis of  $\Phi 108$  mm  $\times$  15 mm shell of steel TP347H

重点从提高耐火材料原料质量及中间包衬砌筑质量进行管理,降低耐火材料的剥落或融损,提高中间包耐火材料侵蚀寿命;(2)从在凝固前去除大型夹杂物的方向考虑。针对实际情况,重点从第二个方向进行工艺优化。为此,炼钢工序将精炼结束后 LF 弱搅拌时间延长 5 min,且将钢包在连铸叉臂镇静时间也增加 5 min,同时保证浇铸过程中间包(中间包容量 20 t)钢水容量恒定在最大值。通过这些措施,使得大型夹杂物在凝固前有足够的上浮时间,已达到去除大型夹杂物的目的。

### 3.2 控制中间包浸入式水口质量

浸入式水口产生缺陷除了自身质量存在问题以外,多数是由于烘烤温度不够,在浇铸过程接触高温钢水并在热震作用下出现缺陷<sup>[7]</sup>。为避免浸入式水口缺陷的偶发因素对连铸坯质量产生的影响,一

表2 工艺优化后 TP347H 钢  $\Phi 110$  mm 圆棒夹杂物评级  
Table 2 Rating of inclusions in  $\Phi 110$  mm round bars of steel TP347H after process optimization

项目	A		B		C		D	
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细
检验结果	0	0	0	0~1.0	0~0.5	0~0.5	0	0.5
标准要求	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$

方面要求供应商提供浸入式水口 6 炉连浇后渣线浸蚀不得大于 12 mm;另一方面浸入式水口烘烤温度由  $\geq 800$  °C 提高到  $\geq 1000$  °C。

### 4 实施效果

炼钢工序强化管理和工艺调整后,对 15 炉 TP347H 不锈钢棒材试验炉次进行头尾取样,其夹杂物评级结果见表 2。从表 2 可见,TP347H 钢坯内部夹杂物控制满足质量控制要求。

此外,对 TP347H 不锈钢棒材穿管质量进行 3 个月的检验跟踪对比,由于大型夹杂物造成荒管内壁裂纹缺陷率由月度 3.41% 降到 0.01% 以下。

### 5 结语

钢中大型夹杂是造成 TP347H 钢制管裂纹缺陷的主要原因。它们的存在使得管坯内部存在分布不规则的“夹层”,对制管过程质量控制带来不利影响,并导致荒管表面的裂纹产生,为此,通过延长 LF 弱搅拌和镇静时间,提高浸入水口烘烤温度,提高了钢坯内部钢质洁净度,荒管内壁裂纹缺陷率由 3.41% 下降到 0.01% 以下。

### 参考文献

- [1] 陆世英,张廷凯,康喜范. 不锈钢[M]. 北京:原子能出版社,1995:243.
- [2] 方旭东,徐鸿麟. 太钢 1Cr19Ni11Nb 不锈钢无缝管的研制[J]. 轧钢,2006,23(6):22-25.
- [3] 郭玲. 连铸 TP347H 管坯的缺陷分析及探讨[J]. 特钢技术,2012,18(4):18-22.
- [4] 余伟,陈银莉,傅晨光,等. 张力减径焊管的压扁性能研究[J]. 钢管,2001,30(5):12-16.
- [5] 彭其春,陈本强,彭自胜,等. 管坯和钢管显微夹杂物性质及来源分析[J]. 炼钢,2006,22(4):6-8.
- [6] 蔡开科. 连续铸钢[M]. 北京:科学出版社,1990,302-307.
- [7] 赵晨光,王成青,袁皓,等. 浸入式水口缺陷成因及对板坯的影响[J]. 鞍钢技术,2015(1):48-51.

王志军(1977-),男,硕士(2008年山西大学),高级工程师,2000年昆明理工大学(本科)毕业,炼钢工艺研究和产品质量控制。E-mail:wangzjl@tisco.com.cn

收稿日期:2017-12-11