

## 37Mn5 钢管外折叠成因分析和工艺控制

魏 军<sup>1,2</sup> 洪慧平<sup>1</sup> 廖向军<sup>1</sup> 王 孟<sup>1</sup> 李春雨<sup>1</sup> 康永林<sup>1</sup>

(1 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083; 2 承德建龙特殊钢有限公司,承德 067201)

**摘 要** 通过对 37Mn5 钢(0.39C,1.30Mn)Φ85 mm×8 mm 管外折叠缺陷的分析,得出钢晶界处存在尺寸 ~20 μm 的硅酸盐和 SiO<sub>2</sub> 等脆性夹杂物是钢管外折叠形成的主要原因。通过控制转炉出钢后钢包顶渣厚度 ≤50 mm,LF 精炼(FeO)≤1%,白渣时间 ≥15 min,软吹氩 ≥10 min,全程保护连铸,使 [O] 为 (11.6~17.1)×10<sup>-6</sup>,钢中夹杂级别 A 类为 0~2.0, B、C 类为 0, D 类为 0.5~1.0, 有效地控制钢管外折叠的发生。

**关键词** 37Mn5 钢管 外折叠 成因 工艺控制

## Analysis on Formation of Outer Fold of 37Mn5 Steel Tube and Process Control

Wei Jun<sup>1,2</sup>, Hong Huiping<sup>1</sup>, Liao Xiangjun<sup>1</sup>, Wang Meng<sup>1</sup>, Li Chunyu<sup>1</sup> and Kang Yonglin<sup>1</sup>

(1 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Chengde Jianlong Special Steel Co, Ltd, Chengde 067201)

**Abstract** According to the analysis on outer fold defect of Φ85 mm×8 mm tube of 37Mn5 steel (0.39% C, 1.30% Mn), it is obtained that the ~20 μm brittle inclusions-silicate and SiO<sub>2</sub> existing at grain boundary in steel is main reason for formation of tube outer fold. With controlling thickness of top slag ≤50 mm in ladle after LD tapping, (FeO) ≤1%, white slag time ≥15 min and soft argon blowing ≥10 min in LF refining, shield casting in whole process, the [O] is (11.6~17.1)×10<sup>-6</sup> and the rating of inclusions in steel of A series is 0~2.0, of B and C series is 0 and of D series is 0.5~1.0, that are available to control the formation of outer fold of steel tube.

**Material Index** 37Mn5 Steel Tube, Outer Fold, Reason for Formation, Process Control

由于油井用 37Mn5 钢管生产工艺包括冶炼、连铸、加热、管坯连轧、管坯再加热及穿孔等多道工序,其表面质量的影响因素较为复杂,因此国内多年来对钢管折叠问题一直进行研究<sup>[1-3]</sup>。本文针对 37Mn5 钢管外折叠特性进行微观形貌分析以及夹杂物的能谱分析,结合外折叠处不同位置脱碳层分布情况的定量分析,从中分析 37Mn5 钢管外折叠产生的根本原因,在此基础上建立了有效控制管坯内部及表面质量的生产工艺措施。

### 1 37Mn5 钢管的成分和外折叠的脱碳层形貌分析

实际生产的 37Mn5 钢化学成分(%)为:0.39C、0.31Si、1.30Mn、0.013P、0.006S、0.057Cr、0.032Ni、0.015Cu、0.017Al、0.016Als。

Φ85 mm×8 mm 规格 37Mn5 钢管由 Φ100 mm 圆钢穿管形成。在 Φ85 mm×8 mm 规格 37Mn5 钢管存在的外折叠缺陷与钢管轴线方向约呈 60° 夹角,实际外折叠的最大深度达到 2 mm,折叠周向长度为 10 mm。

将 37Mn5 钢管外折叠缺陷试样研磨抛光,用 4% 的硝酸酒精溶液侵蚀 2~3 s,随后用酒精擦洗,吹干后观察外折叠处的组织形貌(图 1)。

由图 1 可见,外折叠的尖端脱碳层比较浅,在 50 μm 左右,随着折叠的逐渐扩大,脱碳逐渐严重,脱碳层的厚度逐渐变大。在折叠中段,折叠周边脱碳层已经达到了 100 μm 以上,并沿着折叠扩展方向厚度继续扩大,最大处的厚度达到 300 μm 左右。随着折叠的进一步扩大,脱碳程度愈加严重,逐渐出现了全脱碳层,大约在离折叠 100 μm 左右出现的一条黑色带状组织,区分了全脱碳层和部分脱碳层。外折叠两侧的脱碳组织不同,外折一侧的脱碳层最大厚度约 500 μm,另一侧约为 100 μm。

外折叠尖端脱碳层厚度小于根部。通过能谱分析得知,折叠尖端元素 Si 含量较高,有较多 Ca、Mg 等杂质元素,这些元素与氧结合的能力都较强,能够形成硅酸盐夹杂物及其他氧化质点,使得与碳结合的氧减少,也使得折叠尖端的脱碳层小于根部。

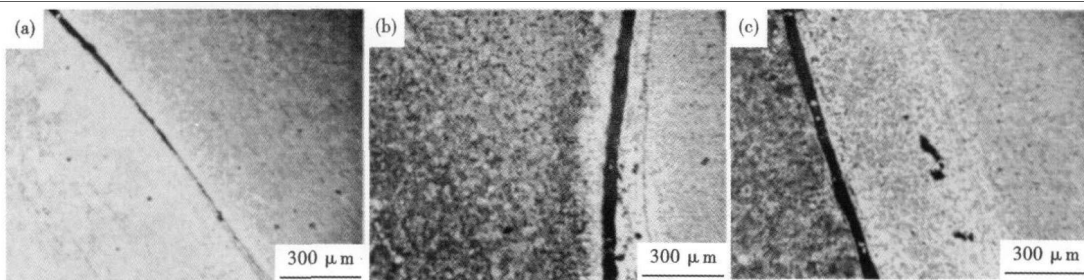


图 1 钢管折叠处的脱碳层:a-根部,b-中部,c-尖端  
Fig. 1 Decarburized layer at fold of steel tube: root (a), middle (b) and top (c) of outer fold

进一步分析得知,在钢管表层的基体组织中无明显的脱碳现象存在,组织也较均匀;基体组织没有出现比较明显的孔洞或气泡等缺陷,也没有发现有微观裂纹的延伸。

37Mn5 钢管外折叠与正常基体组织脱碳情况存在显著差异。分析得知 37Mn5 钢产生 500 μm 的严重脱碳层所需要时间要大于管坯加热及穿管轧制时间,这说明产生外折叠的微观裂纹在管坯上已经存在。

在外折叠尖端有许多的微小分叉,长度不一,其周边出现较多的氧化质点及元素偏析带,根据折叠尖端的微观组织形貌和缺陷分析,该折叠是由夹杂物引起的,根据折叠的形貌特征和裂纹尖端的延伸

方式可推断这应是管坯处的边部纵向裂纹在穿管过程的扭应力作用下扩展形成的。

## 2 钢管外折叠处夹杂物分析

将 37Mn5 钢管外折叠部分制成试样,通过研磨、抛光处理,用 4% 的硝酸酒精溶液侵蚀并用扫描电镜(型号为 Leica-440i)进行夹杂物定量分析。

图 2(a) 中钢管的外折叠周围有较多的固态氧化质点,尺寸约为 1 μm。图 2(b) 中的外折叠中间可明显看到有圆形的和方形异于基体的微小质点,尺寸大多在 5 ~ 6 μm,其中还夹着被压延的条状塑性硫化物夹杂。

图 2(c) 中外折叠尖端处主要含有 O、Si、Al、S、

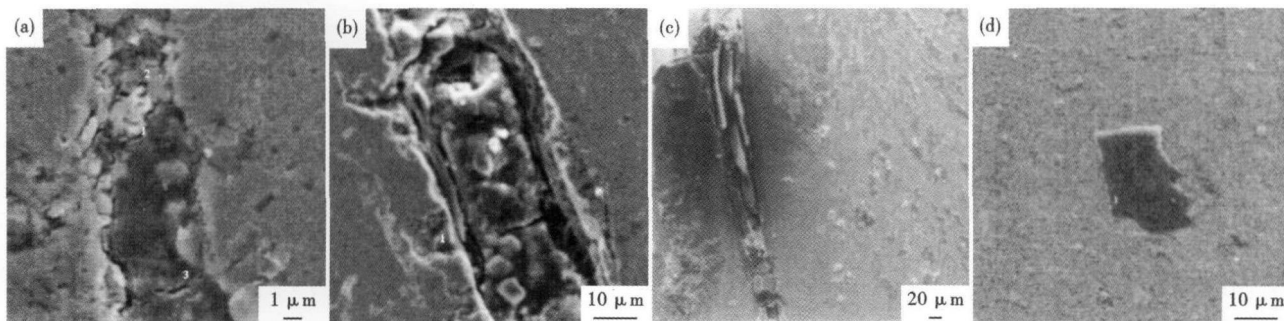


图 2 钢管外折叠处夹杂物的形貌:(a)尖端,(b)中部,(c)根部,(d)基体  
Fig. 2 Morphology of inclusions at top (a), middle (b), root (c) of outer fold; and in base metal (d) of steel tube

Mn 等元素,其中 O 元素含量都在 30% 以上,最高达到了 50%;Si 的含量为 3.63%,这些 Si 元素是以硅酸盐或者 SiO<sub>2</sub> 形式存在;Al 元素主要是以 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的形式存在于折叠之中,也可能形成铝硅酸盐。过量的 S 元素可能与钢包渣中的 Ca 元素以及偏析的 Mn 元素形成了 MnS 和 CaS 显微夹杂。在折叠尖端的能谱中未见到 Ca 元素。

在外折叠中部的 P、Ca、S 和 Si 元素的含量超出要求范围。根据折叠的形态,结合钢中的夹杂物成分分析,认为在炼钢过程中,炼钢炉的炉渣或炉衬耐

火材料给钢铸坯中带来了含 Ca、Mg 元素的夹杂,在这些夹杂周围又形成了硫化物和硅酸盐。

在外折叠根部内存在着条带状的夹杂物,通过能谱分析多为 MnS 夹杂,也有 CaS 夹杂。在外折叠根部还存在含量比较高的 Si 和 O 元素,这是由于同时存在 SiO<sub>2</sub> 造成的。这类脆性夹杂物在管坯连轧及穿孔等大变形条件下,会逐渐暴露于表面,被剥离或拉裂形成表面裂纹,在穿管过程中的扭转应力作用下则会产生折叠缺陷。同时存在的硅酸盐和 SiO<sub>2</sub> 夹杂物都在晶界处析出,这些地方在后续热加

工成形过程中应力集中增大而断裂强度降低,进一步加剧了宏观裂纹的产生。

采用惰性脉冲红外热导法(ASTME1019-2003)检测钢中氧含量为 $13 \times 10^{-6}$ ,在钢管外折叠处也未见皮下气泡存在,而在钢管外折叠处发现了较多 Al 和 Si 及 Ca 元素。钢管外折叠周边基体处夹杂物的尺寸在 $25 \mu\text{m}$ 左右(图 2d),能谱分析显示此夹杂物成分较复杂,以硅铝酸盐为主体,附着了 MnS 等。这些夹杂物对于外折叠产生具有重要影响。

### 3 37Mn5 管坯脱碳层分析

针对 $\Phi 100 \text{ mm}$ 规格 37Mn5 管坯出现的表面裂纹(基本沿着轧制方向延伸,深度达 $3 \sim 4 \text{ mm}$ )进行研究。在裂纹尖端的脱碳都处在开始阶段,脱碳层在 $50 \mu\text{m}$ 左右,在距离边界处(根部)比较明显,光亮度比较大,脱碳情况也比较严重,脱碳层厚度约为 $200 \mu\text{m}$ 。脱碳层情况说明裂纹在连铸坯上已经存在。

### 4 37Mn5 管坯钢生产工艺及改进措施

37Mn5 管坯钢的工艺流程:70 t LD-70 t LF-5 机 5 流连铸机( $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ )-缓冷-加热炉-棒材连轧机组-缓冷-精整。采用两辊斜轧穿孔机对管坯

进行穿孔。

针对 37Mn5 钢连铸坯存在较严重的脆性夹杂物问题,生产上采用了以下改进的工艺控制措施:

转炉冶炼工序:(1)确保一次拉碳命中,避免后吹,终点碳控制在大于 $0.10\%$ ;(2)提高转炉挡渣效果,严格控制下渣量,出钢过程采用挡渣锥挡渣,出钢后钢包顶渣厚度小于 $50 \text{ mm}$ ;(3)采用双渣法操作,控制钢水的磷含量。

精炼工序:(1)LF 精炼处理时间 $\geq 20 \text{ min}$ ;(2)强化脱氧、去夹杂效果。要求精炼渣碱度 $\geq 2.5$ ,渣中(FeO) $\leq 1\%$ ,白渣保持时间 $\geq 15 \text{ min}$ ;(3)精炼结束后保证底吹氩软吹时间 $\geq 10 \text{ min}$ ,以利于钢水中夹杂物的去除。

连铸工序:(1)采用钢包、中间包保护浇铸并吹氩密封,实现无氧化保护浇铸;(2)浇铸温度:中间包过热度在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 以内;(3)采用结晶器液面制动控制、电磁搅拌;(4)采用 37Mn5 专用保护渣,保证铸坯表面质量。

精整工序:为降低白点造成的氢致裂纹,采用钢坯和棒材缓冷工艺。

采用上述改进工艺措施后,37Mn5 钢棒材内部和表面质量得到有效控制与改善(表 1),钢管外折

表 1 改进工艺后 37Mn5 钢的冶金质量

Table 1 Metallurgical quality of 37Mn5 steel after process improvement

项目	疏松		偏析		A		B		C		D		O/ $10^{-6}$	
	一般	中心	锭形	一般点状	边缘点状	细	粗	细	粗	细	粗	细		粗
内控要求	$\leq 3.0$	$\leq 3.0$	$\leq 3.0$	-	-	$\leq 3.0$	$\leq 2.5$	$\leq 3.0$	$\leq 2.5$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 16$
实际结果	0	0~1.0	0	0	0	0.5~2.0	0~1.0	0	0	0	0	0.5~1.0	0.5~1.0	11.6~17.1

叠缺陷也得到有效控制。

### 5 结论

(1)37Mn5 钢管外折叠从尖端到根部,脱碳层厚度逐渐变大。折叠尖端处脱碳厚度为 $50 \mu\text{m}$ 左右,折叠中段脱碳层近 $300 \mu\text{m}$ ,根部两侧组织脱碳不一致,最大达 $500 \mu\text{m}$ 。基体组织无明显脱碳现象。外折叠是由穿管前管坯存在的微裂纹形成。

(2)外折叠尖端有多种元素偏析造成氧化质点,有偏析带,折叠中部有氧化物,根部有 $100 \mu\text{m}$ 的 MnS,周边基体有 $25 \mu\text{m}$ 的脆性夹杂物。

(3)在外折叠中存在过量的 Al、Mg、Ca、S、P、Mn 和 Si 元素,晶界处有 $20 \mu\text{m}$ 左右的脆性夹杂物 $\text{SiO}_2$ 和硅酸盐,其断裂的形式为沿晶断裂。上述脆性夹

杂物是外折叠形成的主要原因。

(4)采用冶炼、精炼及连铸工序改进工艺措施后,有效减少了 37Mn5 钢中的脆性夹杂物,棒材质量以及钢管外折叠缺陷均得到有效控制。

### 参考文献

- 1 张才安,卢志文.穿孔工艺因素对连铸坯毛管外折的影响.重庆大学学报(自然科学版),2005,28(1):65
- 2 逯登尧,陈青德,王德福,等.20 钢管外折叠研究.钢管,2002,31(5):29
- 3 贺道中,肖鸿光.J55 油井管质量的研究.钢铁研究,2003(5):21

作者简介见 3 页

收稿日期:2009-07-21