

## N80 级油管典型缺陷分析及控制的工艺实践

彭自胜<sup>1</sup> 徐景峰<sup>1</sup> 杨敏<sup>1</sup> 彭其春<sup>2</sup>

(1 衡阳华菱钢管有限公司技术中心, 衡阳 421001; 2 武汉科技大学, 武汉 430081)

**摘要** 分析 36Mn2V 钢 N80 级油管的典型缺陷——鱼鳞外折、夹渣性大外折和渣坑的组成、特征和形成原因, 通过控制钢水终点 [C]  $\geq 0.05\%$ , LF 钢水 [Al] 为 0.02%, 有效进行钙处理, 控制下渣量, 稳定中间包钢水液面  $\geq 600$  mm, 使 N80 油管典型缺陷出现率由 5% ~ 6% 下降到 2% 以下, 成材率由 82.20% 提高至 86.65%。

**关键词** N80 油管 36Mn2V 钢 缺陷 夹杂物 控制措施

## Analysis and Control Practice on Typical Defect of N80 Oil Pipe

Peng Zisheng<sup>1</sup>, Xu Jingfeng<sup>1</sup>, Yang Min<sup>1</sup> and Peng Qichun<sup>2</sup>

(1 Technical Center, Hengyang Hualing Steel Tube Co Ltd, Hengyang 421001;  
2 Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

**Abstract** The ingredients, characteristics and forming accounts of typical defects - scale-shaped outer-overlap, entrapped slag outer-overlap and dregs pit of steel 36Mn2V N80 oil pipe were analyzed. The occurred rate of N80 oil pipe typical defects decreased to less than 2% from 5% ~ 6% and tube product yield increased to 86.65% from 82.20% by controlling end [C]  $\geq 0.05\%$ , LF [Al] 0.02%, slagging amount during tapping and constant liquid steel level in tundish ( $\geq 600$  mm).

**Material Index** N80 Oil Tube, Steel 36Mn2V, Defect, Inclusion, Control Measure

湖南衡阳华菱钢管有限公司研制的 N80 级 (36Mn2V) 油管性能稳定, 内外表质量良好。但在钢管批量生产时, 钢管表面出现了一些较大的缺陷, 影响了钢管的成材率。通过对 N80 级油管典型缺陷进行扫描电镜和能谱仪分析, 找出了缺陷的成因。通过采取改进措施, 提高了油管质量。

### 1 N80(36Mn2V) 油管生产工艺

N80 油管采用  $\Phi 89$  mm 半浮芯棒连轧管机组轧制, 管坯使用 36Mn2V 水平连铸圆管坯。钢管生产工艺流程为: 废钢 + 生铁  $\rightarrow$  电弧炉 (表 1)  $\rightarrow$  LF 精炼 (表 2)  $\rightarrow$  HCC (表 3)  $\rightarrow$  铸坯检验、入库  $\rightarrow$  环形炉加热  $\rightarrow$  锥形穿孔  $\rightarrow$  6 机架连轧机轧制  $\rightarrow$  步进炉再加热  $\rightarrow$  高压水除鳞  $\rightarrow$  张力减径机减径  $\rightarrow$  精整、检验  $\rightarrow$  入库。

N80 级油管的性能和质量要求完全按 API 5CT 标准执行, 36Mn2V 钢的化学成分由本公司自行设计 (表 4)。

### 2 N80 油管典型缺陷特征

N80 油管表面出现的典型缺陷有鱼鳞外折、夹渣性大外折和渣坑, 上述 3 种缺陷占表面缺陷

表 1 EBT 电弧炉主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of EBT arc furnace

项目	参数
熔炼周期/min	84
每天平均炉数	30
平均容量/t	40 $\times$ 2
炉料组成	废钢 60%、生铁 40%
变压器容量/kVA	16 000、25 000
电极直径/mm	450
电耗/kWh $\cdot$ t <sup>-1</sup>	360
电极消耗/kg $\cdot$ t <sup>-1</sup>	4.0
氧耗/m <sup>3</sup> $\cdot$ t <sup>-1</sup>	70
产量/万 t $\cdot$ a <sup>-1</sup>	40
投产年份	1991

表 2 LF 主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of LF

项目	参数
额定处理量/t	40
钢包直径/mm	3 380
自由空间/mm	700
变压器容量/kVA	6 000
升温速度/°C $\cdot$ min <sup>-1</sup>	1 ~ 6

总数的 90% 以上。2004 年这几类缺陷共造成油管判废率达 5% ~ 6%, 严重影响钢管成材率。

#### 2.1 鱼鳞外折

表3 水平连铸机主要技术参数

Table 3 Main technical parameters of horizontal concaster

项目	参数
中间包容量/t	11
铸坯断面/mm	Φ120 ~ Φ150
流数	2×3(3台)
流间距/mm	1 200
铸(拉)坯速度/m·min <sup>-1</sup>	2.5~3.0
铸坯定尺长度/m	5~8
冶金长度/m	12.5
电磁搅拌(M-EMS)	有
铸流保护	有
连铸机平均作业率/%	80
连铸机连浇铸炉数	4
平均浇铸时间/min	70
生产能力/万 t·a <sup>-1</sup>	40

表4 36Mn2V 钢化学成分/%

Table 4 Chemical composition of steel 36Mn2V /%

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	V
0.35~0.40	0.20~0.40	1.40~1.60	≤0.025	≤0.020	≤0.20	≤0.20	0.10~0.15

表5 鱼鳞外折、夹渣性大外折、渣坑处夹杂物能谱分析/%

Table 5 Energy spectrum analysis of inclusions at scale-shaped outer-overlap, entrapped slag outer-overlap and dregs pit /%

缺陷	试样号	Al	Si	Fe	Ca	Mn	Mg	K	Ti	O
鱼鳞外折	13-2	7.96	12.87	8.93	-	-	-	4.09	3.29	56.56
	5-1	10.99	21.37	2.93	-	-	-	3.10	-	61.61
夹渣性大外折	31-1	22.46	1.78	14.08	7.19	1.82	6.72	-	1.19	44.76
	3-1	15.38	5.27	-	9.12	-	3.69	-	0.48	65.56
渣坑	7-1	23.71	1.74	1.33	11.94	1.44	-	-	1.86	57.98
	12-2	36.33	3.48	-	-	-	-	-	-	60.19

面分析主要为内生夹杂)在中间包水口及结晶器内浮于钢水上部(无法从钢水中去除),并在初期坯壳处(铸坯冷隔部位)富集,当达到一定数量,会引起铸坯开裂,形成表皮下的冷隔裂纹缺陷<sup>[1]</sup>。

## 2.2 夹渣性大外折

夹渣性大外折指含有大量夹渣的大型折叠缺陷,肉眼可在缺陷处观察到白色或褐色夹杂物。该类缺陷长度一般在 20 mm 以上,在钢管表面上随机分布。通过扫描电镜可观察到缺陷处存在块状或条状区域性夹杂物。

能谱仪显示,缺陷处夹杂物主要成分为 Al、Ca、Si、Fe、Mg、O 等元素(表 5),可以推断为含 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、SiO<sub>2</sub>、MgO 及 FeO 的复合夹杂物,部分夹杂物中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高。这类夹杂物为 500 μm 以上的特大型夹杂,根据其形貌和特征,可以判定它们主要是外来夹杂物。由于夹杂物尺寸大、数

量多,且比较集中,可以推断是产生夹渣性大外折的主要原因。产生机理是钢在轧制过程中,这类大型夹杂物易破碎及部分夹杂物脱落,留下较大的坑洞被延展变形,从而形成大外折缺陷<sup>[2]</sup>。

鱼鳞外折<sup>[1]</sup>指钢管表面上类似鱼鳞状的折叠缺陷,有半月形、人字形、S 形等几种形状,一般在钢管表面随机出现。典型鱼鳞外折具有一定规律性:如部分 Φ73 mm 规格油管表面出现的鱼鳞外折,间距比较均匀,在 300 mm 左右,与铸坯的拉程和钢管的延伸变形系数等因素有关,分布方向大致与钢管的扭转变形方向一致。缺陷处有一些白色或灰色颗粒状夹杂物(6~10 点,少量的为簇状),70% 的颗粒大小为 100~200 μm。

能谱分析显示(表 5),该缺陷处夹杂物主要成分为 Si、Al、Fe、O 等元素,少量夹杂物含 K、Ti 元素,可以推断夹杂物主要为铝硅酸盐,少量的为氧化铝、氧化钛夹杂。铝硅酸盐夹杂在钢中呈颗粒状,与钢基体间存在较大的缝隙,形成包裹物。在钢轧制过程中,夹杂物破碎或脱落,包裹物转变成折叠状缺陷。

由于钢水中含有数量较多的大型夹杂物(后

## 2.3 渣坑

渣坑是钢中夹杂物脱落后在钢管表面形成的坑洞,一般为菱形或椭圆形。缺陷处存在白色或褐色大型夹杂物,也有一些灰色夹杂物。夹杂物分为:较大的颗粒状夹杂和小块状区域性夹杂。

能谱仪显示,缺陷处夹杂物主要成分为 Al、Si、Ca、Mn、Fe、O 等元素(表 5),可推断出夹杂物主要有两种:一种为含 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、SiO<sub>2</sub>、MnO 及 FeO 的复合夹杂,且 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高;另一种为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 夹杂。各类颗粒状夹杂物和小块状夹杂物是产生渣坑缺陷的主要原因。形成机理是这两类夹杂物粒度较小,且夹杂物硬度较大,在轧制过程中不易

破碎,从而形成坑洞,部分夹杂物破碎后脱落,留下较小的坑洞。

### 3 工艺改进措施

通过分析,3种钢管缺陷主要是由于管坯质量差而造成,管坯的主要问题是钢中夹杂物含量较高。因此,应对管坯现行生产工艺进行改进,切实减少钢中的夹杂物。

36Mn2V 钢生产工艺及存在的问题有:

(1) 电弧炉工艺存在的主要问题是钢水过氧化严重,氧化末期[C]一般 $\leq 0.04\%$ 。

(2) LF 脱氧材料原来主要使用 Fe-Al-Si,含 Al 量为 35%,加入量为 1.3 kg/t<sub>钢</sub>,Al 的用量严重不足,造成 Si 元素过多地参与脱氧,从而在钢中产生大量的 SiO<sub>2</sub>,SiO<sub>2</sub> 夹杂难以上浮,将与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 夹杂聚合成铝硅酸盐,铝硅酸盐夹杂也不易去除。另外,LF 采用的是 CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO 四元渣系,碱度约为 2.5,渣中 SiO<sub>2</sub> 含量较高,不利于吸收钢水中的 SiO<sub>2</sub> 夹杂。

(3) 水平连铸钢包钢水浇注无下渣检测装置,易造成钢包下渣。另外,目前钢包支撑采用的是支架方式,采用行车进行转换,换包时间长,钢水连浇时间一般在 10 min 以上,不利于中间包液面控制,卷渣现象也比较严重。

电弧炉和 LF 的问题造成钢中内生夹杂较多,而水平连铸方面则造成钢中外来夹杂物含量高。

针对 36Mn2V 钢生产中存在的问题,从 2005 年下半年开始逐步采取以下改进措施:

(1) 控制钢水过氧化。必须控制电弧炉氧化末期的用氧量,同时喷吹 C 粉,造好泡沫渣,降低钢水[O]。确保氧化末期[C] $\geq 0.05\%$ ,尽量达到 $\geq 0.10\%$ ,从而减少脱氧产物。

(2) 主要采用铝脱氧。以 Al 脱氧为主,根据钢中氧化末期[O]确定 FeAlSi 块用量,控制[Al]在 0.02%左右。另外,采用高质量的 FeAlSi 块,Al 含量 $\geq 47\%$ 。同时,还试用了 Al 段,加入量为 1.5 kg/t<sub>钢</sub>,钢水脱氧情况良好。

(3) 钢水钙处理。从分析结果可知,夹杂物中 CaO 的含量很低,一般不到 10%,说明钢水钙处理工艺未到位,钢中[Ca]很低,未能对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 夹杂进行变性处理。须根据钢中[Al]来确定 Ca-Si 丝的喂入量,使钢水[Ca]/[Al] $\geq 0.1$ <sup>[3]</sup>。

(4) 钢中铝硅酸盐夹杂含量较高,一个重要原因是 LF 现行使用的炉渣吸附铝硅酸盐夹杂的能力较差。为此,应对钢包渣进行研究,提高其吸附夹杂的能力。

(5) 控制钢包下渣量。操作人员必须根据钢包钢水浇注时间在浇注末期认真进行观察,一旦发现钢水浇毕出现下渣时,应立即关住水口,停止下渣。为准确控制钢包下渣,拟添置一套下渣检测装置,目前已列入技改项目。

(6) 稳定中间包钢液面,确保液面高度 $\geq 600$  mm。当钢水液面较高时,夹渣深入中间包钢水的部位较高,有利于其上浮,而在低液面连浇时,钢中夹杂物将大量增加。

较好的途径是采用钢包回转台,将钢水连浇时间控制在 5 min 以内,从而可显著减少卷渣现象,已准备进行立项。

自 2005 年下半年采取以上部分改进措施后,管坯质量有了一定的提高,钢中夹杂物得到了初步控制。2005 年下半年 3 种缺陷降至 2% 以下,N80 油管成材率由 2004 年的 82.20% 提高到了 2005 年下半年的 86.65%。

### 4 结论

(1) 鱼鳞外折是铸坯上集聚着夹杂物的一种冷隔裂纹缺陷所造成;夹渣性大外折主要是钢中大型夹渣或夹渣与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 形成的复合夹杂造成;渣坑缺陷主要是钢中小型夹渣或 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 造成。

(2) 通过确保氧化末期[C] $\geq 0.05\%$ ,尽量达到 $\geq 0.10\%$ ,控制 LF 钢水[Al]为 0.02%,钙处理后[Ca]/[Al] $\geq 0.1$ ,控制下渣量和中间包液面高度 $\geq 600$  mm 等措施,使油管质量得到了改善,N80 油管的成材率达到了 86.65%。

#### 参考文献

- 黎新春.水平连铸坯轧管时产生“鱼鳞”状外折的原因.钢管,1997,26(4):8
- 周梦雄,彭国良,邱宁.石油钻杆裂纹分析.钢管,2004,33(5):11
- 职建军.钙处理对连铸钢浇注性能的影响.连铸,2004,137(6):5

彭自胜(1969-),男,高级工程师,硕士研究生,1991年毕业于重庆大学钢铁冶金专业,从事炼钢工艺技术和新产品开发工作。

收稿日期:2005-12-26