

## 80 t 转炉-LF-VD-CC 流程冶炼 N80-1 石油套管钢的工艺实践

张勇<sup>1,2</sup> 康建光<sup>2</sup> 任焕<sup>2</sup> 何明辉<sup>2</sup>

(1 东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110000; 2 黑龙江建龙钢铁有限公司技术处, 双鸭山 155100)

**摘要** N80-1 石油套管钢 36Mn2V (%): 0.34 ~ 0.38C, 0.25 ~ 0.40Si, 1.45 ~ 1.70Mn, ≤0.020P, ≤0.015S, 0.01 ~ 0.04Al, 0.11 ~ 0.16V, (Sn + Sb + As + Pb + Bi) ≤0.035, [O] ≤35 × 10<sup>-6</sup>, [N] ≤80 × 10<sup>-6</sup>, [H] ≤2.5 × 10<sup>-6</sup> 由 80 t 顶底复吹转炉-LF-VD-Φ210 ~ 270 mm 圆坯连铸工艺冶炼。通过高拉碳补吹氧、控制终点[C], 控制出钢回磷 ≤0.008%, 使用碱度 3.2 ~ 4.0 的精炼渣系等工艺措施, 使该钢 P 为 0.012% ~ 0.019%, S 为 0.003% ~ 0.005%, [O] (11 ~ 22) × 10<sup>-6</sup>, [N] (39 ~ 76) × 10<sup>-6</sup>, [H] (1.5 ~ 2.1) × 10<sup>-6</sup>, 其成分、组织和性能均达到用户以及 API Spec 5CT 标准要求。

**关键词** 转炉 N80-1 石油套管钢 工艺实践

## Practice of Process for Steelmaking of N80-1 Oil Casing Pipe Steel by 80 t Converter-LF-VD-CC Flow Sheet

Zhang Yong<sup>1,2</sup>, Kang Jianguang<sup>2</sup>, Ren Huan<sup>2</sup> and He Minghui<sup>2</sup>

(1 School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110000;  
2 Technical Department, Heilongjiang Jianlong Iron and Steel Co, Shuangyashan 155100)

**Abstract** The N80-1 oil casing pipe steel (36Mn2V, %; 0.34 ~ 0.38C, 0.25 ~ 0.40Si, 1.45 ~ 1.70Mn, ≤0.020P, ≤0.015S, 0.01 ~ 0.04Al, 0.11 ~ 0.16V, (Sn + Sb + As + Pb + Bi) ≤0.035, [O] ≤35 × 10<sup>-6</sup>, [N] ≤80 × 10<sup>-6</sup>, [H] ≤2.5 × 10<sup>-6</sup>) is melted by 80t top and bottom combined blown converter-LF-VD-Φ210 ~ 270 mm round bloom casting process. With process measures such as catch carbon and reblow practice, controlling end [C], controlling rephosphorization ≤0.008% at tapping, and using basicity 3.2 ~ 4.0 refining slag, the P content in steel is 0.012% ~ 0.019%, S is 0.003% ~ 0.005%, while [O] (11 ~ 22) × 10<sup>-6</sup>, [N] (39 ~ 76) × 10<sup>-6</sup> and [H] (1.5 ~ 2.1) × 10<sup>-6</sup>, and the analysis, structure and properties of steel are all meeting the requirements of consumer and standard API Spec 5CT.

**Material Index** Converter, N80-1 Oil Case Pipe Steel, Process Practice

随着钻井深度越来越深, 钻井工况日趋复杂, 对油井管的质量要求越来越高, 原 J55 钢级套管已不能满足深井、超深井和特殊情况采集的要求, 其用量在不断减少, 而以 N80 为代表的更高钢级的油井管数量在不断增加。N80-1 石油套管钢最早是美国石油协会(API)推荐生产的典型钢种(API Spec 5CT-2005), 目前一直使用, 其用量约占套管总量的 50%<sup>[1]</sup>, 现广泛应用于中国的石油及天然气行业<sup>[2]</sup>。

### 1 生产工艺

N80-1 石油套管钢 36Mn2V 的工艺流程为: 900 t 混铁炉- 80 t 顶底复吹转炉(铁水 + 废钢)- LF +

VD- Φ210 mm 和 Φ270 mm 合金钢圆坯弧形连铸机- 连续式环形加热炉- 斜轧穿孔- Accu-Roll 轧管- 定径- 矫直- 探伤- 标识、包装。

根据与天津钢管公司签订的技术协议, 确定 N80-1 石油套管钢的钢种牌号及化学成分要求(表 1)。选用优质铁水、废钢和冶金石灰, 合金及保护渣进行烘烤。

#### 1.1 高拉补吹、控制终点碳含量和控制回磷

36Mn2V 钢转炉冶炼的难点是终点磷的控制。由于地区资源的限制, 石灰有效 CaO 和活性度偏低, 需要采取增大渣量、延长吹氧时间或增加后吹次数

表 1 N80-1 石油套管钢 36Mn2V 的化学成分要求和成品分析结果 / %

Table 1 Requirement of chemical composition of N80-1 oil case pipe steel 36Mn2V and analysis results / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Al	V	有害元素					气体			
								Sn	Sb	As	Pb	Bi	总和	O	N	H
要求	0.34 ~ 0.38	0.25 ~ 0.40	1.45 ~ 1.70	≤0.020	≤0.015	0.01 ~ 0.04	0.11 ~ 0.16	≤0.015	≤0.010	≤0.015	≤0.010	≤0.010	≤0.035	≤0.0035	≤0.008	≤0.00025
成品 (8 炉)	0.35 ~ 0.36	0.32 ~ 0.37	1.46 ~ 1.52	0.012 ~ 0.019	0.003 ~ 0.005	0.008 ~ 0.019	0.11 ~ 0.12	0.0004 ~ 0.0017	0.0006 ~ 0.0007	0.0020 ~ 0.0034	0.0004 ~ 0.0010	0.0001 ~ 0.0002	0.0036 ~ 0.0060	0.0011 ~ 0.0022	0.0039 ~ 0.0076	0.00015 ~ 0.00021

等措施,从而达到终点磷满足控制目标的要求,但是带来的后果是冶炼终点拉碳偏低,钢水氧化严重,纯净度变差。由碳氧平衡曲线可以看出,提高转炉终点碳的控制水平,可以有效降低钢的初始氧含量,为精炼操作及钢材氧的降低打下基础。在试炼 36Mn3V 钢时,采用了特殊的终点控制技术-高拉补吹、控制终点碳含量。但是一次倒炉碳成分判断不准确时会造成终点磷高,被迫后吹造成钢水过氧化。因此从铁水成分控制、铁水与废钢配比、造渣制度、供氧制度和终点吹炼控制技术等方面进行优化,初步实现了终点碳和磷含量的控制目标,基本满足了转炉试炼 36Mn2V 钢的生产需要。

转炉连续试炼 36Mn2V 钢 8 炉,有 6 炉终点碳含量达到控制目标(目标值  $\geq 0.08\%$ ),命中率为 75% (图 1a);有 7 炉一次倒炉终点磷含量达到控制目标(目标值  $\leq 0.010\%$ ),命中率为 87.5%。

确保出钢口寿命在 50~100 次冶炼此钢种,挡渣

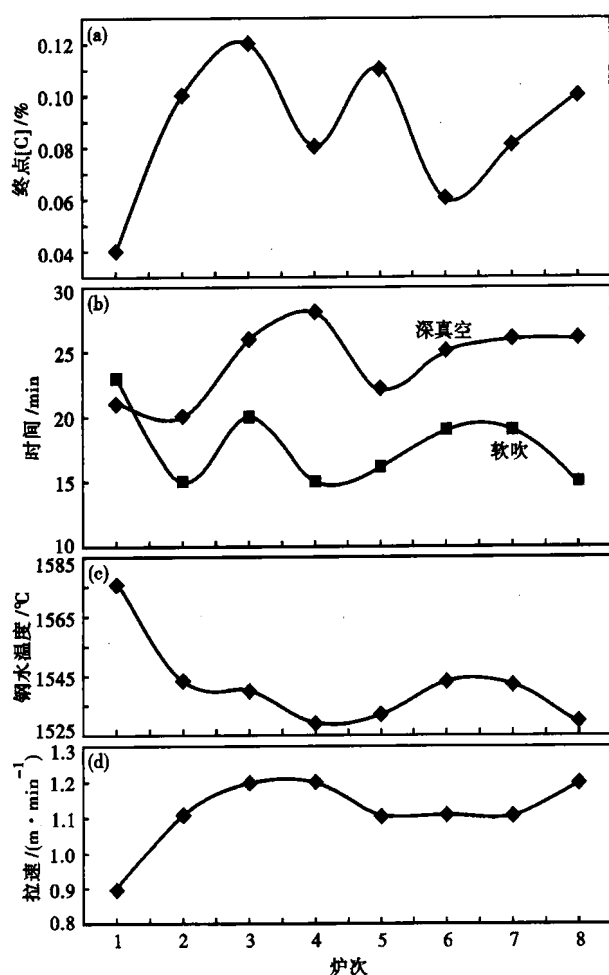


图 1 转炉冶炼 36Mn2V 钢终点碳含量(a)、深真空和软吹时间(b)、中间包钢水温度(c)和连铸拉速(d),8 炉次

Fig.1 End carbon content (a), high vacuum and soft blowing time (b), temperature of liquid in tundish (c) and casting speed (d), steel 36Mn2V melt by converter, 8 heats

表 2 36Mn2V 钢转炉冶炼[P]和 LF 精炼时[S]的控制/%  
Table 2 Control of [P] in converter melting, [S] LF refining, steel 36Mn2V /%

炉次	转炉[P]			LF[S]		
	终点	吹氩站	出钢回磷	吹氩站	成品	脱硫率
1	0.006	0.014	0.008	0.011	0.003	72.7
2	0.004	0.010	0.006	0.011	0.004	63.6
3	0.006	0.011	0.005	0.012	0.005	58.3
4	0.008	0.014	0.006	0.015	0.005	66.7
5	0.007	0.014	0.007	0.013	0.005	61.5
6	0.009	0.013	0.004	0.012	0.005	58.3
7	0.007	0.014	0.007	0.010	0.004	60.0
8	0.009	0.014	0.005	0.011	0.005	54.5
平均	0.007	0.013	0.006	0.011 9	0.004 5	61.95

球车工作正常,在合金增磷的允许范围内将下渣回磷控制到最小,出钢回磷控制情况见表 2。

### 1.2 精炼

进行精炼渣系的优化(表 3),从而实现了快速成渣和脱氧、脱硫,连续冶炼 8 炉钢中 LF 精炼脱硫率最高达到 72.7%、平均 61.95%,LF 脱硫控制情况见表 2。

表 3 LF 精炼渣成分和渣碱度

Table 3 Ingredient of LF refining slag and basicity of slag

渣成分/%						碱度 (R)
CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	
53 ~	12 ~	5 ~	18 ~	0.5 ~	0.2 ~	3.2 ~
57	15	8	20	0.7	0.3	4.0

通过采用碳化硅 + 精炼渣造渣、专用中间包覆盖剂和结晶器保护渣等措施,控制精炼过程增碳及连铸过程增碳,实现了钢中碳的稳定控制,其它化学成分通过准确取过程样、过程成分调整,达到了稳定控制和窄成分控制的要求。

采用合适的深真空和软吹时间控制,能有效去除钢中气体和夹杂物含量(目标值:深真空时间 20 min、软吹时间 15 min),见图 1(b)。

### 1.3 连铸

36Mn2V 钢试生产过程中,中间包浇铸温度控制相对比较理想,除第 1 炉外其余全部控制在目标范围内(1515~1545 °C),见图 1(c)。但是仍有 3 炉在控制范围的上限,生产试验表明,实际浇铸温度高时,不利于控制连铸坯的成分偏析。

36Mn2V 钢试生产过程中,拉速控制比较稳定,除第 1 炉因浇铸温度高控制拉速外,其余均在控制范围内(1.0~1.2 m/min),见图 1(d),而且相对比较平稳。

为防止连铸过程中钢水吸气及二次氧化,较好地控制钢中的气体和夹杂物含量,采用了全程保护

浇铸技术:钢包加盖,钢包里钢水采用先加套管后开浇并加密封垫及吹氩的方式进行保护,中间包钢水采用覆盖剂与碳化稻壳双层保护,中间包至结晶器钢水采用整体浸入式铝碳入口进行保护,提高了钢的洁净度。

#### 1.4 轧制

N80-1钢的连铸坯进行分段加热。根据管坯规格通过理论计算结合机组生产特点,确定钢坯加热温度为1 240~1 260℃,加热保温时间150~170 min。

穿孔和轧管的变形温度高,变形量大。奥氏体变形和动态再结晶能充分进行,从穿孔结束到轧管时间也可进行静态再结晶,获得细小的奥氏体晶粒。轧后快冷可以阻止奥氏体晶粒长大,保持其细小状态,同时采用较低的终轧温度(850℃左右)及较大的变形量。可以抑制奥氏体晶粒长大,且使变形渗透,形变奥氏体晶粒显著伸长,晶内产生变形带。晶体缺陷增多,从而使奥氏体有效晶界面积增加,铁素体形核点增多及相变后铁素体量增加,晶粒更加细小均匀<sup>[3]</sup>。由此提高钢管韧性。

钢管上小冷床温度控制在A<sub>3</sub>以上,控制冷却从钢管上冷床开始,在500℃温度附近结束,然后进行空冷。冷却方式主要影响V的沉淀强化及显微组织的转变,冷却速度过慢会导致沉淀相和显微组织粗化,得到粗大珠光体+网状铁素体,套管韧性差;冷却速度过快会导致马氏体出现<sup>[3]</sup>。因而为获得细晶组织和足够数量的铁素体,轧后在650℃以上快速冷却,然后风冷到550℃以下。

## 2 试验结果及分析

通过设计合理的工艺过程和化学成分,采用生产关键技术和相关措施,有效地解决了转炉生产36Mn2V钢的技术难题,使钢的实物质量满足了石油套管钢的要求。

从表1可以看出,成品碳、硅含量处于协议要求的中限,锰含量处于协议要求的下限,全铝含量处于协议要求的中下限,钒含量处于协议的下限,微量有害元素控制在0.003 6%~0.006 0%,低于用户要求的≤0.035%,磷含量控制在0.012%~0.019%,硫含量控制在0.003%~0.005%,氧含量控制在(11~22)×10<sup>-6</sup>,氮含量控制在(39~76)×10<sup>-6</sup>,氢含量控制在(1.5~2.1)×10<sup>-6</sup>,全部满足用户的协议要求。

钢管非金属夹杂物控制情况较好,A类0级,B类0级,C类细系0.5~1.0级、粗系0~0.5级,D

类细系1.0~1.5级、粗系0.5级,DS类0.5~1.5级,完全满足用户协议要求。

将钢管试样在200倍的金相显微镜下进行高倍组织检测,其组织为F+P,晶粒度6.5~7.5级。

钢管力学性能检测结果得出(表4),钢管屈服强度580~610 MPa,抗拉强度825~895 MPa,伸长率23.5%~26.0%,根据本次轧制的Φ177.8 mm×10.36 mm钢管规格取55 mm×10 mm×7.5 mm纵向试样进行夏比V型缺口冲击试验,其结果满足API Spec 5CT(2005年第8版)规范要求<sup>[4]</sup>。

表4 36Mn2V钢管的Φ177.8 mm×10.36 mm力学性能  
Table 4 Mechanical properties of Φ177.8 mm×10.36 mm tube of steel 36Mn2V

试样 编号	抗拉强度 (R <sub>m</sub> )/MPa	屈服强度 (R <sub>0.5</sub> )/MPa	伸长率 (A)/%	冲击功(A <sub>KV</sub> ) 试样尺寸(mm)55×10×7.5/J
API 5CT	≥689	552~758	≥16	0℃ ≥21.6
1	840	580	25.0	24.3
2	825	590	25.5	26.3
3	875	605	26.0	24.0
4	895	605	23.5	27.7
5	880	610	25.5	24.0
6	855	585	25.5	26.3
7	875	605	24.5	24.7
8	865	610	25.5	25.3

## 3 结论

(1)黑龙江建龙钢铁公司采用转炉、精炼炉(LF+VD)、圆坯连铸机、Φ273 mm Accu-Roll 轧管机工艺生产的Φ177.8 mm×10.36 mm非调质N80-1级石油套管钢,在采用窄成分控制、合适的精炼渣系及合理的加热制度、控制轧制、控制冷却等先进操作技术的基础上,化学成分、非金属夹杂、高倍组织、力学性能均达到用户及API Spec 5CT 2005年第8版标准要求。

(2)采用转炉Φ273 mm Accu-Roll 轧管机工艺生产的Φ177.8 mm×10.36 mm非调质N80-1级石油套管钢通过低成本控制填补了黑龙江省生产大口径石油套管钢的空白,经济效益和社会效益显著。

### 参考文献

- 尹人洁,王婀娜,陈坤,等.大直径非调质N80钢级石油套管的研制与开发.钢管,2008,37(5):35
- 殷瑞钰.钢的质量现代进展.北京:冶金出版社,1995
- 周勇.微合金非调质钢N80油井管研制.轧钢,2006,24(3):25
- 套管和油管规范 API Spec 5 CT 2005年7月1日第8版 ISO11960:2004 石油天然气工业——油气井套管或油管用钢

张勇(1978-)男,2008年东北大学毕业,技术处处长。

收稿日期:2010-03-23