

在周期轧管机组上生产石油套管

刘松泉

为满足我国石油工业日益发展的需要,1975年我厂开始在318、216周期轧管车间按YB690—70标准生产D40石油套管。至今已轧出 $\phi 340$ 、 $\phi 273$ 、 $\phi 245$ 、 $\phi 178$ 、 $\phi 140$ 各种壁厚的石油套管管体8万吨(成材率已达64.5%),并由我厂管加工车间加工成套管7.8万吨。1979年又相继试制成D55级高强套管和D65级抗硫套管。今年开始按API标准生产J55、N80、C75级石油套管,现已轧出符合API标准的 $\phi 139.7 \times 7.72$ 、J55级套管110吨。试轧表明:在

周期轧管机组上可以生产出符合API标准要求的套管。今后的任务是进一步完善工艺,以稳定质量,提高成材率。

一、套管生产工艺

D40或J55级低强套管管体用钢锭直接由周期轧机热轧生产。N80、C75、C95级高强套管或抗硫套管用热轧管经直通式快速加热炉进行调质处理后再进行二次定径(定径温度为 $500^{\circ}\text{C} \sim 750^{\circ}\text{C}$)。

套管的具体生产过程如下:

1. 低强套管

(上接18页)

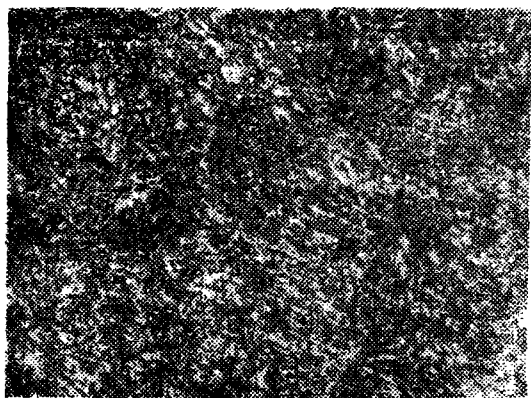


图7 调质后45钢管体组织 $\times 500$



图8 调质后45钢加厚端组织 $\times 500$

四、结 语

1、钻杆可以用分段式快速加热炉在没有端部予热的情况下进行快速加热淬火。热处理后加厚端和管体的性能差异很少。

2、所采用的快速加热热工制度基本合理。根据实测,管身过热时间约30—40秒。因此,在以后的生产中热工制度还可稍加调整,以进一步缩短过热时间。

钢锭→检查→火焰清理→环形
炉加热→高压水除鳞→冲孔→盘式
炉加热→延伸→高压风或高压水内孔
除鳞→周期轧制→热锯切断→步进
炉加热→定径→冷床→矫直→预
检→切管机切头→修磨→检查→内通径→
量尺→称重→标志→包装→管加工。

2) 高强套管 (热轧部分同上)

快速加热→水淬→冷床→回火→定径
→冷床→硬度检查→矫直→切头→检查、
内通→探伤→管加工。

二、生产套管的钢号、性能及热处理制度

我厂选用相当于50°钢 (详见表1) 由热轧直接生产D40或J55级低强套管, 其机械性能按1979年的统计值为屈服强度 $\bar{\sigma}_s = 44.16 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_{s-1} = 2.84 \text{ kg/mm}^2$; 抗拉强度 $\bar{\sigma}_b = 74.79 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_{b-1} = 3.07 \text{ kg/mm}^2$; 延伸率 $\bar{\delta}_5 = 24.2\%$, $\sigma_{s-1} = 2.72\%$ ($\bar{\sigma}$ 、 $\bar{\sigma}_b$ 、 $\bar{\delta}_5$ 为均值, σ_{s-1} 为标准偏差值)。按YB690标准规定D40级性能为 $\sigma_s \geq 38 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_b \geq 65 \text{ kg/mm}^2$, $\delta_5 \geq 16\%$ 。可见无论是强度或塑性都还有较大潜力。

N80高强套管及C75、C95抗硫套管分别选用45°钢及25CrMoTi钢热轧, 然后进行调质处理。套管用钢的化学成分、性能要求以及热处理制度详见表1。

三、影响石油套管管体质量的主要因素及其控制

由于石油套管的直径、壁厚、长度, 以及内外表面的质量方面都有较高的要

求, 几年来的实践证明, 周期轧管机所生产石油套管的管体质量及其成材率主要受内外表面缺陷和壁厚偏差的影响较大, 因而, 研究并控制产生这些弊病的因素便成为十分重要的任务。

1 外表面质量

由于采用钢锭直接生产, 以及在周期轧管机上多次喂入的往复轧制, 使表面质量难于控制, 尤其是套管的外折缺陷不仅极大地影响了管体的成材率 (1977年以前, 套管的外折废品达5%), 而且还可能成为使用中的隐患。

套管的外折缺陷常见于钢质原因及操作原因两种。钢锭表面存在裂纹、反皮、夹杂物、皮下气泡等缺陷所造成的这类外折称为钢质外折。而由周期轧制操作造成的打头外折和耳子外折均属操作外折。为此, 我厂自1978年以后, 一方面对钢锭表面实行全面检查和清理, 另一方面对周期轧机的孔型设计和操作进行了改革, 并且相应地减少延伸毛管的外径以改善周期轧机的变形条件等措施后, 外折废品已明显下降, 详见表2。

目前, 套管的外折废品仍占2.5%左右, 因而继续减少外折废品仍然是今后提高套管质量的主要课题。

另外, 由于周期轧机孔型粘结金属而造成的钢管表面擦伤, 以及由于轧辊热疲劳裂纹而形成的细小网状折迭不仅影响套管的外观质量, 严重时也可使钢管报废。因此, 对于这些缺陷也必须进一步研究解决。

2 离层、内折

离层、内折均属套管内表面缺陷。离层, 亦称分层, 主要是钢锭缩孔、残余缩

* 本文中有些数据系我厂有关课题组及我厂中心室有关同志提供, 特此致谢。

套管采用钢号的化学成分、性能要求（按API）及热处理制度

表 1

钢级	钢号	化 学 成 份								性 能		热处理制度	
		S	Mn	Si	Cr	Mo	Ti	P		$\sigma_{0.5}$ kg/mm ²	σ_b kg/mm ²		δ %
								S	P				
J55 (D40)	50°	0.50~0.60	0.25~0.35	—	—	—	—	≤0.035	38.7~56.2	≥52.7	热 轧		
		0.55	0.80	0.17~0.35	—	—	—	≤0.030	56.2~77.3	≥70.3			
N80 (D55)	45°	0.43~0.60	0.17~0.35	—	—	—	—	≤0.035	66.8~77.3	≥73.8			
		0.28	0.70	0.37	1.10	0.25	0.15	≤0.035	52.7~63.4	≥66.8			
C95 (D65)	25CrMoTi	0.20~0.40	0.70	0.37	1.10	0.25	0.15	≤0.035	52.7~63.4	≥66.8			
		0.28	1.2	0.35	—	—	—	≤0.020	52.7~63.4	≥66.8			
C75	25CrMoTi	0.20~0.28	1.0~1.2	0.20~0.35	—	—	—	≤0.020	52.7~63.4	≥66.8	待 定		
	24Mn	0.20~0.28	1.0~1.2	0.20~0.35	—	—	—	≤0.020	52.7~63.4	≥66.8	880°~900°C淬火 630°~650°C回火		

*A: 试样的断面积（标准值）

u: 规定的抗拉强度。

套管废品逐年下降情况

表 2

年 份	1977年		1978年		1979年	
套 管 规 格	$\phi 178$	$\phi 245, \phi 273$	$\phi 178$	$\phi 245, \phi 273$	$\phi 178$	$\phi 245, \phi 273$
外 折 废 品 率	7.5%	3.94%	4.7%	4.6%	2.49%	2.67%

注：表中的外折百分数是指外折废品占其总检查量的比例。

孔或内部夹杂物等在轧制过程中未被焊合而形成的。离层被碾破后即形成离层性内折（见图1）。这种内折不仅与缩孔本身有关，而且由于钢锭采用石墨渣保护浇注，在缩孔附近所形成的“V”形碳偏析区深入缩孔以下70~160mm，其含碳量可达1.0~1.2%（见图2）。由于这部分金属塑性差或过热，延伸时很容易破裂而形成内折（见图3）。当然，轧制工具（如冲头等）的划伤也会造成内折。

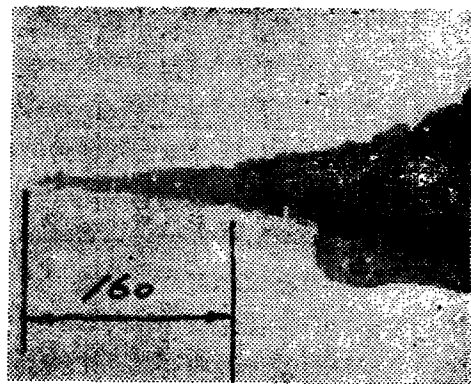


图2 钢锭缩孔部分碳偏析区



图1 离层性内折

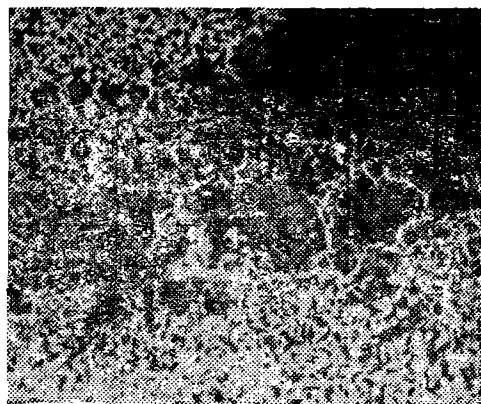


图3 冒口碳偏析区形成的离层性内折边缘

近年来，套管的离层、内折废品为一般管的3~5倍。特别是 $\phi 178$ 套管（用 $\phi 365 \times 1345$ 钢锭轧制）为最多，这可能是钢锭高宽比较大（达4.5），因而缩孔和偏析更为严重之故。

减少套管离层和内折废品的主要途径是选择合理的锭型及浇注工艺，以降低碳

偏析和明缩孔的深度，或采用水冷封顶使明缩孔变为暗缩孔。此外，在轧钢车间采用合理的加热工艺也会改善高碳偏析区的变形条件，从而有利于内折的减少。

3) 内麻坑

套管产生内麻坑的主要原因是：冲孔

历年套管的离层、内折情况(%)

表 3

年 份	1977年		1978年		1979年	
规 格	φ178	φ245, φ273	φ178	φ245, φ273	φ178	φ245, φ273
离 层	1.27		0.85	0.18	0.74	0.20
内 折	5.3	0.79	1.29	0.84	0.95	1.22
合 计	6.57	0.79	2.14	1.02	1.69	1.42

注: 1)表中数值是缺陷占其总检查量的比例;

2)φ178为216车间生产, φ245、及φ273为318车间生产。

历年内麻坑废品的比例(%)

表 4

年 份	1977年		1978年		1979年	
钢 管 规 格	φ178	φ245, φ273	φ178	φ245, φ273	φ178	φ245, φ273
内 麻 坑	2.12	0.98	1.36	0.69	0.87	0.28

坯(或延伸坯)在延伸炉内如果加热温度过高或时间过长,它便会产生过多的氧化铁皮。氧化铁皮沉积在延伸毛管内孔,当进入周期轧制时,芯棒将其压入钢管内壁而形成内麻坑缺陷。有时温度过高,冲孔坯内半熔状态的氧化铁皮在延伸时就被直接压入了毛管内壁。因此,冲孔坯在延伸炉中加热温度越高,时间越长,则钢管内麻坑废品越严重。1976年我厂216车间的内麻坑废品曾高达5.9%。后来,318、216两个周期轧管车间都采用降低延伸炉炉温及增设高压风(8atm)吹刷延伸毛管内孔的装置,内麻坑废品便显著减少(详见表4)。1979年,318车间进而采用高压风加高压水(100atm)冲刷,效果更好,内麻坑缺陷接近于根绝。

4 外径

我厂318、216车间周期轧管机后均设有五架二辊定径机(总减径量4~6%)。定

径后的钢管可以达到API标准的要求(即外径公差为±0.75%的精度)。但是,为满足套管车丝和提高套管内通径的合格率,管体的外径应控制在 $\begin{smallmatrix} +0.75 \\ -0 \end{smallmatrix}\%$ 。因此,为了生产石油套管,在周期轧管机后配备精度更高的定径机是有利的。

高强套管于回火后在五架二辊定径机上进行二次定径,(其总减径量约为1.5%)。外径偏差可达到 $\begin{smallmatrix} +0.75 \\ -0 \end{smallmatrix}\%$ 范围内,从而满足了车丝的要求。

5. 壁厚(包括单重、内通)

在套管生产中,除了上述诸原因直接报废外,还有一定数量的钢管由于壁厚不合格(包括单重、内通)或长度不够不能使用。虽然这一部分钢管(一般称为带出品)尚符合一般管的标准,但因钢号不对路,仍然很难销售。由此可见,改善套管壁厚的均匀程度不仅对提高套管性能(如

抗挤压)，而且对提高套管生产的成材率也具有十分重要的意义。

历年带出品数量(%)

表 5

1977年		1978年		1979年	
φ178	φ245, φ273	φ178	φ245, φ273	φ178	φ245, φ273
17.79	22.36	24.21	19.43	11.66	7.91

按API标准规定, 套管壁厚的负偏差不得大于公称壁厚的12.5%。而壁厚正偏差值实际上通过套管单重及其内通径来控制(即实际单重不得超过理论重量的+6.5%。内通规用于检查 $\leq \phi 219$ 的套管时, 其直径等于 $d-3.18\text{mm}$; 如用于检查 $\geq \phi 245$ 的套管时, 则其直径等于 $d-3.98\text{mm}$ (d 是钢管的名义内径)。

① 套管单重的控制

套管每米的重量, 对光管而言按下式计算:

$$W = k_1 S (D - S)$$

式中 W —套管每米理论重量 (kg/m);

S —套管名义壁厚 (mm);

D —套管名义直径 (mm);

$$k_1 = 0.02466.$$

根据此式可求出套管重量偏差, 即:

$$\frac{\Delta W}{W} = (1 - k_1) \bar{\Sigma}_s + \frac{1}{1 - k_1} \bar{\Sigma}_1 \dots (1)$$

式中: $\frac{\Delta W}{W}$ —套管重量偏差 (%);

$$\bar{\Sigma}_s = \frac{\overline{\Delta S}}{S} \text{—平均壁厚的偏差}(\%);$$

$$\bar{\Sigma}_1 = \frac{\overline{\Delta D}}{D} \text{—平均直径的偏差}(\%).$$

由于 Σ_1 值很小, 故 $\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta S}{S} \dots \dots (2)$

从(2)式可知, 为保证套管单重合格, 关键在于控制壁厚均值(或平均值)。生产实践亦证明, 凡是单重不合格的套管多半是因为对壁厚均值控制不当所造成的。

由于单重的负偏差值比正偏差值小, 故为保证单重合格, 不宜采用负偏差轧制。

② 套管内径的控制

套管单重测定情况

表 6

钢管规格	φ245×11		φ178×9		φ140×7.72	
抽查支数	100		29		13	
不合格率	5%		24.1%		7.7%	
不合格原因	<3.5%	>6.5%	<3.5%	>6.5%	<3.5%	>6.5%
不合格支数	4	1	6	1	0	1
$\bar{S}$	10.36	11.4	8.68	9.86	0	8.48
$\frac{\Delta S}{S}$	-4%	+3.6%	-3.6%	+9.6%	0	9.9%

注: 上表中平均壁厚由钢管端部的壁厚平均值确定。

由于套管的内径受到它的外径和壁厚的影响，它们之间存在着下列关系：

$$d = D - (S_1 + S_2)$$

式中 d —套管内径 (mm)；

D —套管外径 (mm)；

S_1 、 S_2 —在该直径方向套管两侧之壁厚 (mm)。

根据此式可推导出套管在任意直径方向上壁厚偏差与内、外径偏差之间的关系，即：

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{1}{2} [(\Sigma_1 - \Sigma_2)k_2 + 2(1 + \Sigma_2)] - 1 \\ &= \frac{1}{2} [k_2 \Sigma_1 + 2(1 + \Sigma_2) - k_2 \Sigma_2] - 1 \end{aligned} \quad (3)$$

故保证内通合格的条件是：

$$\frac{1}{2 - k_2} (2\Sigma_2 - k_2 \Sigma_1) \leq \Sigma_2 \quad (4)$$

式中 $\Sigma_1 = \frac{\Delta D}{D}$ ， ΔD 外径偏差值，

$$\Sigma_2 = \frac{\Delta d}{d}，\Delta d = -3.18 \text{ 或 } -3.97 \text{ mm}，$$

$$\Sigma_3 = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2}{2S}，\Delta S_1、\Delta S_2 \text{ ——}$$

同一直径方向上两侧的壁厚偏差值；

$$k_2 = \frac{d}{S}$$

由 (3) 式可知， Σ_2 、 k_2 对一定规格的套管是常数，故 Σ_1 越大（即外径公差越接近正值）， Σ_3 越小（即壁厚偏差越小），越有利于内通径合格。就壁厚而言，由于要保证单重合格，套管的平均壁厚应按名义壁厚轧制。可是，要有利于内通合格又必须严格控制壁厚偏差，这点已为生产实践所证实。

轧制 $\phi 139.7 \times 7.72$ 套管时壁厚偏差与内通情况

表 7

班 别	甲	乙	丙
总 检 查 支 数	114	105	249
壁厚偏差状况 ($\nabla S, \sigma$)	0.80 0.18	0.98 0.21	0.74 0.126
内通不合格支数	6	16	8
内 通 不 合 格 率	5.3%	15.2%	3.2%

∇S ——热取样时，钢管壁厚偏差的平均值；

σ ——热取样时，钢管壁厚偏差的标准偏差值。

综上所述，为保证套管壁厚检验合格（包括单重及内通径检查），其平均壁厚不宜按负偏差控制，而钢管取样时的最大壁厚偏差不应超过名义壁厚的10%。

鉴于钢锭尺寸、加热、冲孔、周期轧机的操作、调整、工具设计、加工质量以及设备状况等因素都影响套管壁厚。因此，为控制套管壁厚，必须推行全面质量管理。但是，应当指出，周期轧机对套管

的壁厚不均影响尤大。为此，国内外都有人提出在周期轧机后增设均整机，以减少周期轧制凸包所形成钢管壁厚不均的缺陷。经我厂试验表明：通过均整机可消除套管壁厚不均50%以上，这一结果是值得重视的。

6、探伤

我厂对409支N80级高强套管进行了超声波探伤，（下转28页）

值, 定义为钢管纵向的绝对壁厚差(钢管的纵向壁厚不均)。钢管的纵向绝对壁厚差与纵向平均壁厚的百分比, 定义为钢管纵向壁厚率(钢管的纵向相对壁厚不均)。根据上述定义, 将测量的数据进行计算, 结果列于表3。

由表3所示, 钢管经过均整轧制以后, 壁厚趋于均匀。均整后钢管横向绝对壁厚不均从1.5~2.2毫米降低到0.6~1.3毫米。纵向绝对壁厚不均从1.7~3.4毫米降低到0.7~1.4毫米。而横向相对壁厚不均由17.33~26.16%降低到7.08~17.58%。纵向相对壁厚不均由19.09~57.18%降低到7.83~24.34%。

由此可见, 壁厚不均的周期轧制钢管经过均整轧制以后, 壁厚不均程度可获得

显著的改善。

根据壁厚测量所得数据调查表, 确定壁厚数据分布范围 R 、级的宽度 h 。所作钢管壁厚数据的频率、钢管壁厚标准偏差 S 、不合格率 Σ 及工序能力指数 C_p 的计算结果列于表4。由钢管壁厚的频率表经加工后获得钢管壁厚直方图与概率分布图, 如图1所示。

由表4可见, 周期轧制钢管的壁厚不均, 经过均整轧制后不合格率 Σ 由0.644~0.316%减少为0.37~0.194%。工序能力指数 C_p 由0.565~1.3提高到0.918~2.12 ($C_p = 1 \sim 1.33$ 工序能力基本良好)。

因此, 均整轧制可以减少周期轧制钢管的壁厚不均, 改善钢管的质量, 提高收得率, 再次得到了证实。

(上接25页) 其合格率达97.7%。探伤不合格的主要原因是内外表面质量不良。因此, 只要严格控制钢锭的表面质量, 并且精心轧制操作, 便可以防止产生此类缺陷。

四、结束语

1) 由周期轧管机组生产石油套管(J55、N80、C75等)的质量可以达到

API标准的要求, 今后的任务是进一步使工艺完善, 以便稳定质量, 提高成材率;

2) 必须进一步改善钢锭质量, 改进周期轧管的工艺操作和工具设计, 以提高套管的表面质量和降低壁厚偏差;

3) 新设计的周期轧管车间应增加除鳞、内通、称重、探伤等必要设备, 以满足生产套管的要求。