

# 385 锭型航空管坯的电渣重熔工艺

航空管课题组

(执笔:王兴源、钟朴然)\*

## 一、概述

我国过去所用的大口径航空厚壁无缝钢管是从苏联进口的。我厂试生产这种厚壁管是采用电渣钢锭作管坯,经水压机冲孔,两辊斜轧机延伸,再经周期式轧管机轧制。经过实践摸索,我厂生产线已打通,历年来我厂所生产厚壁管经用户单位鉴定证明,它的各项性能完全满足了我国现行航空厚壁结构无缝钢管标准 YB676-73 的技术要求。

本文着重介绍我厂设计的 385 新锭型  $30\text{CrMnSiNi}_2\text{A}$  航空管坯在电渣重熔工艺上,采用大断面电极对提高生产率和成品质量以及降低电耗所取得的成果,为推行扩大电极断面电渣重熔提供可靠的工艺参数。

## 二、锭型设计

周期式轧管机生产的特点之一是直接采用钢锭作管坯。我厂周期式轧管所采用的管坯是正四边波浪形钢锭。这种钢锭用钢锭模直接浇注,但电渣钢锭必须采用结晶器作模具,制作四边波浪形结晶器的难度大,而且这种形状的结晶器在高温强制水冷却过程中容易产生变形从而使钢锭

脱模困难。采用什么形状的电渣锭作周期式轧管机的管坯,这是电渣钢能否作周期式轧管机管坯的关键问题。据根我厂设备特点,我们曾选用正四边形、正六边形、正八边形和圆形电渣钢锭在周期式轧管机上试轧,生产实践证明正八边形管坯能满足要求。385 正八边形电渣锭及结晶器的设计尺寸如下:

### 1. 钢锭尺寸

钢锭外形尺寸是据根 318 车间轧制  $\phi 219 \times 6-7$  毫米规格钢管的重量、冲孔模尺寸和延伸机设备条件进行设计的,其尺寸为:

大头对角线	$384 \begin{smallmatrix} +3 \\ -4 \end{smallmatrix}$ 毫米
锥度	1%
长度	$1600 \pm 50$ 毫米

### 2. 结晶器尺寸

结晶器尺寸根据钢锭尺寸、渣壳及渣层厚度、钢锭收缩率等并运用有关经验公式设计如下:

大头对角线	405 毫米
小头对角线	385 毫米
高度	1760 毫米
锥度	1.08%
结晶器外径(为圆形)	575 毫米

\*参加人员还有:赵殿玺、闫家显、郝玉林、刘秉勤、刘润星、黄淑秋、刘立荣等。

### 三、大断面电极电渣重熔工艺

根据上述设计，我厂385航空电渣钢管环在两吨双支臂、结晶器固定式电渣炉上冶炼。自耗电极是在公称容量为五吨碱性电弧炉上采用矿石、吹氧法冶炼，炉后浇注采用钢包吹氩，氩气保护浇注成 $\phi 240 \times 2100$ 毫米规格电极。

#### 1. 自耗电极

自耗电极与结晶器直径、供电情况、炉体结构等诸因素有关。电极直径一般按下列经验公式计算：

$$D_{\text{极}} = K D_{\text{结}}$$

式中： $D_{\text{极}}$ ——电极直径，毫米

$D_{\text{结}}$ ——结晶器内直径，毫米

$K$ ——经验常数（一般控制在0.4—0.6范围内）。

我们在计算385锭型电极直径时， $K$ 值取上限，得出的电极直径平均为226.8毫米，近似于我厂440锭型电渣锭所选用的平均直径225毫米的电极。因此，385锭型选用了440锭型所用的电极，其 $K$ 值大于我厂目前各锭型所使用的 $K$ 值（0.44~0.56）。

增大自耗电极直径，即是扩大了自耗电极在渣中的吸热面积，增加了渣池对自耗电极的热传导，减少了渣池表面向大气和结晶器壁的热幅射，这样就改变了渣池的热分配，从而加快了自耗电极的熔化速度（比用相同电极重熔440锭型每炉缩短冶炼时间20—30分钟），降低了电耗。电耗的大小与自耗电极断面的大小密切相关，表1示出我厂四种锭型采用不同电极断面的电耗情况。

从表1数据看出，加大自耗电极断面即扩大充填系数后， $K$ 值比由0.49增大到0.60，单位电耗降低了188度/吨。

采用大断面电极，要求电极挠度小，而且电极之间应留有充分的安全间隙 $\delta_k$ ，以免电极与结晶器壁短接而击穿结晶器。按照安全间隙经验公式 $\delta_k = 0.7 D_{c\pi} + 1$ （ $D_{c\pi}$ —结晶器内直径，毫米）计算，385锭型的最小安全间隙为28毫米，我厂电渣重熔现场的最小安全间隙实测为61毫米，所以385锭型的安全生产是有切实保证的。

#### 2. 炉渣

电渣重熔渣系和渣量的选择对电渣钢的质量、冶炼经济指标等有很大影响。我们按照航空钢30CrMnSiNi<sub>2</sub>A的物理、化学性质以及熔渣的冶金特性等选用了

表1

锭型 项目	365	440	500	385	备注
$K = \frac{\text{电极直径}}{\text{结晶器直径}}$	0.49	0.53	0.56	0.60	本厂数据
单位电耗量 (度/T)	1938	1925	1850	1750	”

AHφ—6渣系。这种渣系熔点低，流动性好，去除非金属夹杂物的能力强，而且稳定性也很高。我们在确定渣量时，使用了下列计算公式：

$$G_{\text{渣}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{结}}^2 \cdot h_{\text{渣}} \cdot \gamma_{\text{渣}}$$

式中： $G_{\text{渣}}$ ——渣量，公斤；

$D_{\text{结}}$ ——结晶器平均直径，米；

$h_{\text{渣}}$ ——渣池深度，米；

$\gamma_{\text{渣}}$ ——液体炉渣比重，公斤/米<sup>3</sup>。

根据上式理论计算所得出的渣量为45公斤左右。在实际冶炼时，由于渣壳及挥发损失，因此将渣量增加到50公斤。生产实践表明，我们采用的渣系和渣量，保证了重熔过程稳定，并获得了钢锭表面好、冶金质量较高的良好效果。

### 3. 电参数

385钢锭选用的冶炼电压为55~59伏。根据重庆特殊钢厂推荐的冶炼电压公式：

$$U_n = a\sqrt{D_{\text{c}\pi}} + b.$$

式中： $U_n$ ——冶炼电压，伏；

$D_{\text{c}\pi}$ ——钢锭的平均直径，毫米；

$a$ ——与渣系有关的常数，对3—7渣系 $a \approx 3(\sqrt{\text{mm}})$ ；

$b$ ——与D极/D结比值有关的常数。

用上述公式计算，得出385锭型的冶炼电压为58伏，这与我们实际选用的冶炼电压相符合，因此385锭电渣重熔过程中，炉渣温度高，熔池活跃，钢渣界面反映强烈，去除非金属夹杂的效果良好。

385锭型重熔过程中的冶炼电流，系按照电极断面和电流密度计算的，即

$$I = i \cdot S$$

式中： $i$ ——电流密度，安/毫米<sup>2</sup>；

$S$ ——电极横截面，毫米<sup>2</sup>。

$$\text{其中 } i = \frac{50}{d_{\text{极}}}$$

按上述公式计算得出385锭的冶炼电流为8,782安，但由于采用大断面自耗电极冶炼，必须维持重熔过程的稳定，保证电极有一定的埋入渣池深度，因此将冶炼电流增大到9,000安。随着冶炼电流增大，电极插入深度增加，电极与渣液接触面积增大，因而可以有效利用的热能增多，从而使电渣炉的生产率提高，电耗也降低。

### 4. 补缩制度

补缩前先予补6'—8'，电流由

$$2' - 3'$$

9,000—→7,500A，再由7,500A—→0，停电1':30"后交换电极补缩，插入4,000A

$$6' - 8'$$

左右，自动升到7,000A—→0。补缩结果，14炉电渣钢锭全部补平。

### 5. 冷却制度

冷却水温度控制在 $37 \pm 5$  C。

### 6. 模冷及缓冷

模冷40分钟脱模，迅速埋进砂坑缓冷到70小时而后退火。

## 四、电渣钢管材的质量

我们共电渣重熔了14炉385锭型30CrMnSiNi<sub>2</sub>A钢锭，经轧管取样检验其理化性能如下：

### 1. 化学成分

30CrMnSiNi<sub>2</sub>A电渣钢采用大断面电极电渣重熔后，它的化学成分变化是均匀的，见表2。

表 2

电极炉号	电渣锭数	分析对象	化 学 成 分 <sup>①</sup> %						
			C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
8070029		自耗电电极	0.31	1.11	1.13	1.10	1.66	0.009	0.009
7	重熔锭	头	0.29	1.04	1.16	1.07	1.62	0.008	0.002
		尾	0.285	1.01	1.09	1.04	1.56	0.008	0.002
	变化率 <sup>②</sup> (%)	头	-6	-6	+2.6	-2.7	-2.4	-1	-78
		尾	-6	-9	-3.5	-5.5	-6	-1	-78
8070030		自耗电电极	0.30	1.08	1.22	1.09	1.64	0.011	0.016
7	重熔锭	头	0.29	1.05	1.20	1.07	1.61	0.011	0.004
		尾	0.29	0.97	1.13	1.03	1.56	0.011	0.002
	变化率 <sup>②</sup> (%)	头	-3.3	-2.8	-1.6	-1.80	-1.83	0	-75
		尾	-3.3	-10	-7.4	-5.5	-4.8	0	-88

注：①电渣钢的化学成分，取用同一炉电极所重熔的各钢锭头尾的算术平均值。

②变化率系重熔前后的差值与电极成分的比值。

表 3

试 样	机 械 性 能				
	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\delta_5$ (%)	$\psi$ (%)	$a_k$ (kg-M/cm <sup>2</sup> )
纵 向 <sup>①</sup>	174.9	145.1	11.6	52.5	7.83
横 向 <sup>②</sup>	174.6	144.9	11.6	52.02	7.01

注：①纵向值系1979年生产的14炉30CrMnSiNi<sub>2</sub>A电渣钢管材性能平均值。

②横向值系385锭型30CrMnSiNi<sub>2</sub>A电渣钢管材14炉的性能平均值。

从表2可以看出，在重熔过程中，碳、锰、磷、铬、镍元素变化不大。重熔后元素含量与原始成分间的微小差值没有超过化学分析允许误差范围。硫含量为0.002—0.004%降低了75—88%。这个钢种由于不含铝钛，所以硫的烧损略高，其平均变化率在2.8—10%。

## 2. 机械性能

飞机起落架对30CrMnSiNi<sub>2</sub>A钢的强度、韧性都有较高的要求。我厂385锭型电渣钢管材的机械性能是好的，管材的综合机械性能优于苏联的同类管材，详见表3所示出的385电渣钢管材的纵横向性能。从表3看出，385锭型电渣钢管材的横

向性能值近似于纵向值，超过航空厚壁无缝管标准的要求。

再与苏联同类管材的纵向机械性能比较（见表4），可以看出我厂钢管的各项性能都高于苏联管材，特别是横向冲击值比苏联管材高过将近一倍。我厂管材的机械性能稳定，上下波动小，苏联管材的性能波动却是较大的。

### 3. 电渣钢管材的高低倍

我厂冶炼14炉电渣钢管材的致密度高，低倍检验结果一般疏松是0.5级，未发现任何低倍缺陷。为了检验钢质的纯洁度，每根管材都作了非金属夹杂的检验，结果是氧化物和硫化物的评级都是0.5级。为说明385锭型30CrMnSiNi<sub>2</sub>A电渣钢管坯的纯洁度，我们选择了用一般工艺重熔的同钢种非金属夹杂作比较，见表5和表

6所示。从两表非金属夹杂评级数据可以看出，采用大断面电极重熔的385锭型的30CrMnSiNi<sub>2</sub>A新工艺较一般工艺去除非金属夹杂物的效果好，夹杂物评级大大降低。

再从图1中a和b电炉钢和电渣钢非金属夹杂物评级频率曲线图可以看出，电渣钢的氧化物和硫化物最低级别频率比电炉钢高；而385锭型电渣钢氧化物最高频率0.5级占100%，电渣钢30CrMnSiA 0.5级频率占71.5%，一般工艺电渣钢30CrMnSiNi<sub>2</sub>A 0.5级频率占40%，硫化物385锭型30CrMnSiNi<sub>2</sub>A电渣钢0.5级频率占100%，电渣钢30CrMnSiA 0.5级占76%，电渣钢30CrMnSiNi<sub>2</sub>A 0.5级占80%，可见385锭型30CrMnSiNi<sub>2</sub>A电渣钢夹杂物含量最低，钢的纯洁度高。

表4

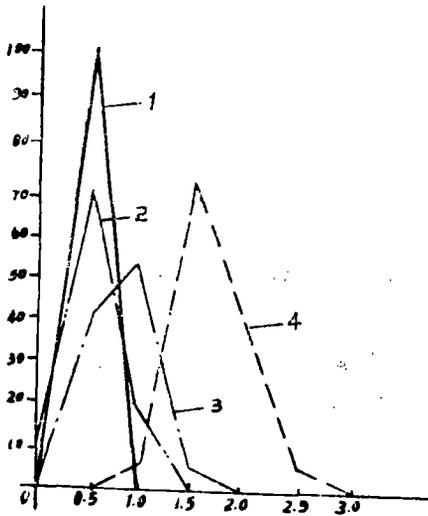
性能 单位	$\sigma_b$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\delta_5$ (%)	$\psi$ (%)	$a_k$ (横向)
				(kg-M/cm <sup>2</sup> )
苏联钢管	163~170	12.4~12.8	44.9~50.7	3.21~4.0
我厂钢管	174.4~174.9	11.7~11.9	52~54	6.4~7.7

表5

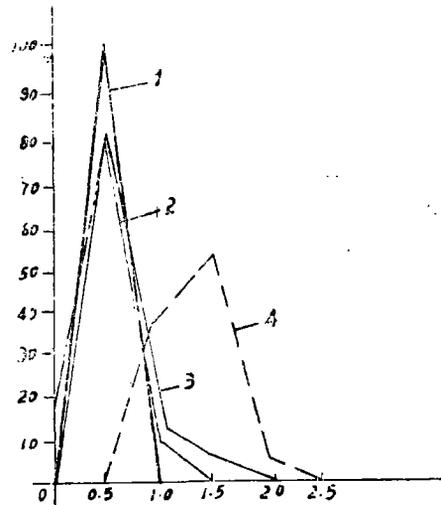
钢号	检验 数据	检验试 样总数	各级氧化物评级数						平均 级别
			0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
30CrMnSiNi <sub>2</sub> A (电渣钢)	40	50/100	20/40	27/54	3/6				0.83
30CrMnSiNi <sub>2</sub> A (385锭型电渣钢)	14	28/100	28/100						0.50

表 6

钢 号	检验数据	检验试 样总数	各级硫化物评级数					平均级别
			0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
30CrMnSiNi <sub>2</sub> A (电渣钢)	40	50/100	40/80	7/14.0	3/6.0			0.63
30CrMnSiNi <sub>2</sub> A (385锭型电渣钢)	14	28/100	28/100					0.5



a、氧化物夹杂评级频率图



b、硫化物夹杂评级频率图

图 1 电渣钢和电炉钢非金属夹杂物评级频率图

注: 图中 1——385锭型电渣钢管材30CrMnSiNi<sub>2</sub>A    2——电渣钢管材30CrMnSiA  
3——电渣钢管材30CrMnSiNi<sub>2</sub>A    4——电炉钢管材30CrMnSiA

## 五、结 论

综合以上所述, 可以得出如下结论:

1. 实践表明385锭型电渣钢的外型几何尺寸能满足周期式轧管机对航空管坯的技术要求, 管材的质量也能达到现行航空厚壁无缝管标准YB676-73要求。385锭型所确定的电渣重熔工艺是可行的, 可列为正常工艺生产。

2. 扩大自耗电极断面电渣重熔的工艺可靠、易行、不需投资即可以明显降低

电耗, 明显提高生产率。

3. 采用大断面自耗电极重熔, 电极端头变平(或变短), 金属液滴细化, 结晶条件良好, 铸锭表面光滑, 可以保证钢的冶金质量优良。

4. 在保证冶金质量和安全可靠条件下, 如将D级/D结值提高到0.65以上还可以取得更好的经济效果。