

# 906高强度奥氏体无磁不锈钢管的研制

周云南 闵家显

## 内 容 提 要

随着国防工业的发展,原 $\sigma_s \geq 30\text{kg/mm}^2$ 的2Cr18Ni11Ti钢种在具有无磁、压扁、耐海水腐蚀性能前提下,强度已经逐渐不能适应需要。国防部门迫切需要具有原牌号相同性能,而又具有 $\sigma_s \geq 40\text{kg/mm}^2$ 高强度不锈钢新钢种。经过钢种筛选和半工业性实验并于1978年7月在海上实地考察和经有关部门鉴定证明,我们研制的906奥氏体高强度无磁不锈钢管在具有原牌号2Cr18Ni11Ti相同性能前提下具有较高的抗震、抗弯性能。

## 一、 历 史 情 况

我国海军原使用的 $\phi 200 \times 30 \times 900$  mm、2Cr18Ni11Ti不锈钢管的钢种是第二次世界大战中苏军俘获希特勒舰艇所用钢种。这是当时不锈钢冶炼水平下的产品,钢中保留了较高的碳含量以提高奥氏体不锈钢的强度。2Cr18Ni11Ti的C含量规定为0.12—0.22%,因而保证了这个钢种的强度 $\sigma_s \geq 30\text{kg/mm}^2$ ,无磁并具有耐海

水腐蚀性性能。

### 1、原牌号2Cr18Ni11Ti的特点:

#### a) 化学成份及设计特点(%)

C	Mn	Si	S
0.12/0.22	0.50/2.0	$\leq 0.8$	$\leq 0.03$
P	Cr	Ni	Ti
$\leq 0.03$	18.0/19.5	10.5/12.0	0.20/0.50

(上接15页)

于成品管体的尺寸,这样可节约40~50%的不锈钢和减少约50%的大型机床的机加工台时,因而这项新工艺的经济效果是显著的;

(五) 经冷轧形变热处理的管体表面光洁度达到 $\nabla_6$ ,尺寸精度达到YB804—70的高级精度的水平,为今后研制高强度和高精度的管材产品提供了技术根据;

(六) 1Cr18Ni9Ti管体经冷轧形变热处理后,不仅具备高强度级水平,而其韧性、抗晶间腐蚀等综合性能均比2Cr18Ni11Ti专用钢种优越,并且成本也较低。因此,为进一步提高舰艇等重点工程所用管材的综合性能,采用通用牌号的1Cr18Ni9Ti和1Cr18Ni9电渣重溶管坯来进行试制就更为合理。

参考文献(略)

2Cr18Ni11Ti中的C含量规定为0.2~0.22%，它比常规的1Cr18Ni9Ti所规定的C含量0.08~0.12%高0.10%左右（平均含量）。较高的C含量使单相奥氏体区扩大和稳定，有利于使导磁率 $\mu \leq 1.5$ 高斯/奥斯特，保持无磁性；使2Cr18Ni11Ti的 $\sigma_s$ 比1Cr18Ni9Ti屈服点高5kg/mm<sup>2</sup>左右。关于C能够提高18—8型奥氏体不锈钢屈服强度的问题，法国考拉姆彼和戈赫曼在1955年曾作如下介绍：

C对18—9型不锈钢强度的影响：

C(%)	$\sigma_{0.2}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ kg/(mm <sup>2</sup> )
0.020	18.0	60.1
0.065	25.5	64.0
0.140	31.0	72.0
0.21	34.0	76.0
0.305	36.5	81.3

但是，较高的C含量使碳化物数量相对增高，使M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>更容易沿晶界析出，造成晶内贫铬，导致网状晶间腐蚀。因此，要求在固溶处理时提高固溶温度，增长保温时间，使晶界上的M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>尽量溶解于奥氏体晶内，以避免晶间腐蚀。然而，M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>的固溶量增多又导致强度指标下降，这是2Cr18Ni11Ti的特点之一。C含量的增加，使奥氏体变得稳定并逐渐成为单相奥氏体不锈钢，使铁素体（ $\alpha$ -相）很微量，既保证了导磁率，也使其因 $\alpha$ -相的微量带来了轧制无缝钢管的方便。

2Cr18Ni11Ti中规定Ti含量为0.2%~0.5%。根据传统的C/Ti比值要求，Ti含量应该是Ti=5（C-0.02）%，即平均Ti的含量应该是1.0%。实践和理论证明，Ti的含量达不到5（C-0.02）%就起不到由Ti做稳定化元素固定C的作用，就要产生晶间腐蚀。如果按传统的C/Ti要求，

则2Cr18Ni11Ti中的C、Ti含量都高于18—8Ti型钢，这样在钢中的TiC、TiN、Ti（C，N）的含量过高以致Ti夹杂增多，压扁实验就会产生裂纹。根据该钢种的工艺要求，压扁实验是将 $\phi 200 \times 30$ mm无缝管加工成 $\phi 180 \times 7 \times 50$ mm、内表面 $\nabla_6$ 、外表面 $\nabla_7$ 的园环形试样，以20—50毫米/分速度压成如图1所示形状。压扁后的试样，要求受张力面不得超过0.5×10mm的裂纹，但在金相显微镜下发现了压扁后产生的裂纹，这是由于硬脆相TiC、TiN、Ti（C，N）夹杂所造成的。由此可知，采用Ti含量0.2~0.5%的目的是减少Ti夹杂以满足工艺压扁要求。但是，Ti含量减少，其稳定化效果减弱，因此可以认为2Cr18Ni11Ti钢是属于用Ti做稳定化元素的半稳定型钢。

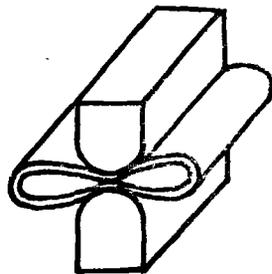
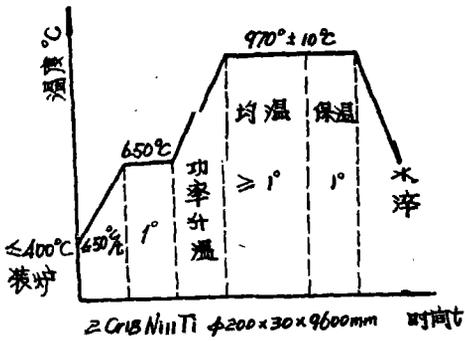


图1 压扁实验示意图

b)、2Cr18Ni11Ti钢的C、Ti特殊含量决定了它具有 $\sigma_s \geq 30$ kg/mm<sup>2</sup>、无磁并具有一定的耐海水腐蚀特点，因此它的热处理工艺与传统的18—8型钢有所不同。1974年以前由德阳二重30米电加热井式炉进行970°±10°C水淬与400°C±10°C回火，其工艺曲线见图2、图3。1974年以后，由我厂卧式火焰加热步进式常化炉进行980°±20°C水淬与350°C±10°C回火，见图4、5。



井式炉热处理曲线  
(淬火)

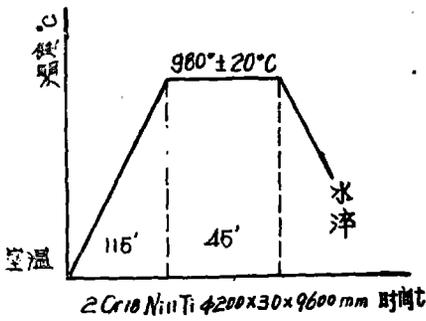


图3 30m电加热井式炉热处理曲线  
(回火)

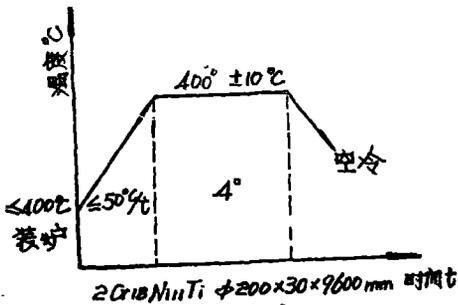


图4 火焰加热步进式常化炉淬火曲线

上述工艺的选择是取2Cr18Ni11Ti不完全固溶化处理的性能,以便既能满足一部分 $M_2C_6$ 固溶于奥氏体中从而保证晶间腐蚀(未经敏化处理);同时,也保留一

部分碳化物以提高奥氏体的基体强度,从而达到 $\sigma_{\geq 30kg/mm^2}$ ,免强满足海军战术要求。至于为什么要在350°C或400°C进行一次回火处理(正常18—8型是不需要或不允许进行的),主要目的之一是消除因淬火中急剧冷却所造成的热应力,其二则是通过再析出的一部分细小碳化物点强化基体,保证达到 $\sigma_{\geq 30kg/mm^2}$ 的平。

下面是1974年以前与1974年以后不同炉型处理结果,见表1。

表 1

一九七四年以后	一九七四年以前
单位: 成都无缝钢管厂	单位: 德阳二重
炉型: 步进式常化炉	炉型: 电加热井式炉
总数: 102支	总数: 126支
6 $\geq 30kg/mm^2$	6 $\geq 30kg/mm^2$ 83支
共102支全部达到要求	6 = 28~30kg/mm <sup>2</sup> 34支
	6 $\leq 28kg/mm^2$ 9支

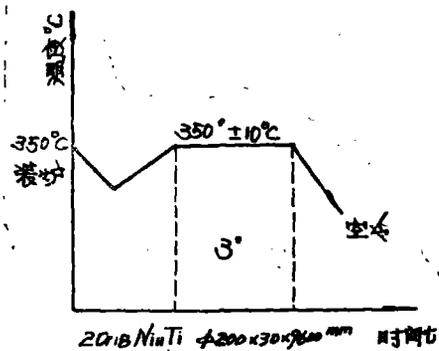


图5 火焰加热室式炉回火曲线

从上述统计数字看出,虽然工艺制度相近,但因炉型不同,不锈钢2Cr18Ni11

Ti的屈服强度指标就受到了影响。

### 2、原牌号2Cr18Ni11Ti钢的缺点

由于化学成份设计及当时的冶炼条件所限制，它本身存在下列不可克服的缺点：

a)、 $\sigma_s \geq 30\text{kg/mm}^2$ 是设计中必保的，但由于热处理中温度波动或炉型影响以致 $\sigma_s \geq 30\text{kg/mm}^2$ 的波动较大。即便能够保证 $\sigma_s > 30\text{kg/mm}^2$ ，也满足不了近年来海军建设的要求。海军要求比 $\sigma_s \geq 30\text{kg/mm}^2$ 强度更高的无磁不锈钢管，看来仅仅用C来形成一定数量的碳化物强化奥氏体

来提高强度是不行的，必须还要采用其他强化元素。

b)、压扁实验易产生裂纹。经高倍分析裂纹的根部都有聚集的Ti夹杂，这是用Ti做稳定化元素的钢种不可避免的。目前解决途径有二：一是提高固溶温度，由原 $970^\circ\text{C}$ 提高到 $1100^\circ\text{C}$ 或 $1150^\circ\text{C}$ ；二是改用Nb做稳定化元素。第一种办法提高固溶温度虽然改善了压扁性能，但牺牲了强度指标，而且增加了设备的热负荷。第二种办法是可行的，但是全靠Nb稳定，会使成本提高，这就要求我们研制新钢种。

## 二、906高强度奥氏无磁不锈钢管的研制过程

### 1、技术要求

a)规格： $\phi 200 \times 30 \times 9000\text{mm}$

b)化学成份：

C	Mn	Si	P, S
0.10/0.18	$\leq 1.0$	0.60/1.0	$\leq 0.30$
Cr	Ni	W	
18.5/20.0	9.0/10.0	0.60/0.90	
Mo	Nb	N	
1.20/1.60	0.30/0.40	0.18/0.22	
Re			
0.13*			

在保证机械性能和腐蚀性能情况下，允许有如下偏差：

C $\pm 0.01$	Si $\pm 0.1$	Cr $\pm 0.2$
Ni $\pm 0.2$	W $\pm 0.1$	Mo $\pm 0.1$
Nb $\pm 0.02$		

c)机械性能：

$980^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 固溶处理后要求：

$\sigma_s \geq 60\text{kg/mm}^2$        $\sigma_b \geq 40\text{kg/mm}^2$

$\delta_s \geq 20\%$        $\alpha_k \geq 8\text{kg-M/cm}^2$

d)做人造海水和B法晶间腐蚀实验  
(试样未经敏化处理)

e)按YB49—64检验钢管的低倍。  
在低倍试样(片)上不允许有肉眼可见的缩孔残余、裂纹孔洞、夹杂等缺陷。

要求：一般疏松 $\leq 2$ 级，偏析 $\geq 3$ 级。

f)按YB25—59检验高倍：

$[O] \leq 2.5$ ,  $[S] \leq 2.5$ ,  $[O] + [S] \leq 4.5$ , 晶粒度4~8级。

g)导磁率：在10—200奥斯特磁场下要求 $\mu \leq 1.5$ 高斯/奥斯特。

h)压扁实验：在 $\phi 180 \times 7 \times 50\text{mm}$ 试样上压成图1形状，检查裂纹条数、宽度、长度。

~~~~~  
\*Re按加入量计算

## 2) 冶炼工艺

冶炼是在齐齐哈尔钢厂进行的。906  
高强度奥氏体不锈钢用公称容量5吨碱性

电弧炉冶炼，实际出钢量16.5吨，变压器  
为3200千伏安，冶炼采用返回吹氧法。  
炉料配制，见表2

炉料配制表

表 2

| 炉号    | 各料成份 (%)  |      |      |     |         | 装炉料                                 | 脱氧剂             | 出钢量 (吨) | 锭型                                             |
|-------|-----------|------|------|-----|---------|-------------------------------------|-----------------|---------|------------------------------------------------|
|       | C         | Mn   | Si   | Cr  | Ni、W、Mo |                                     |                 |         |                                                |
| 63987 | 0.45/0.55 | <0.8 | <0.7 | 5/6 | 中 限     | 类似钢种、碳钢、软钢、N—Fe、W—Fe、Mo—Fe、矽块、电极块组成 | 矽粉<br>矽粉<br>矽钙粉 | 12.5    | 5.8 <sup>T</sup> × 2                           |
| 64294 | "         | "    | "    | "   | "       | "                                   | "               | 13.5    | 5.8 <sup>T</sup> × 2                           |
| 65577 | "         | "    | "    | "   | "       | "                                   | "               | 13      | 4.35 × 2<br>3.12 × 1                           |
| 73129 | "         | "    | "    | "   | "       | "                                   | "               | 16.5    | 4.35 <sup>T</sup> × 2<br>3.12 <sup>T</sup> × 2 |

冶炼过程中，熔清后扒渣造新渣，吹氧使碳降到0.05%左右。插Al、矽粉脱氧后温度不低于1700°C时，加Fe—N—Cr。在渣流动性良好情况下进行全扒渣，加入1~1.5kg/T电石块，及时造新渣。扩散脱氧用矽钙粉五批，可掺入小块电石间隔5—6分钟脱氧一次。Nb—Fe在出钢前40分钟加入。脱氧良好，温度在1600—1700°C时出钢，出钢前5分钟加入包头1\*混合稀土。氮的回收率与氮化铬铁中含N量高低有关。氮化铬铁中氮的含量高，回收率低，氮含量低，则回收率高，一般在45—70%左右。氮的回收率见表3。

氮回收率

表 3

| 炉号    | N—Cr—Fe<br>中N含量、% | N回收率<br>(%) | Nb回收率<br>(%) |
|-------|-------------------|-------------|--------------|
| 63987 | 1.099             | 60          | 86.5         |
| 64294 | 1.099             | 69          | 85           |
| 65577 | 1.09              | 68          | 80           |
| 73129 | 7.5               | 44          | 70           |

浇注工艺：浇注前根据出钢温度可镇静2'30"~4'。浇注工艺同一般铬镍不锈钢工艺相同。烧注脱模后热送退火。

## 3) 锻造工艺

906钢用3.12~5.8吨锭子，在3000吨水压机上锻造开坯，加热制度见图6。

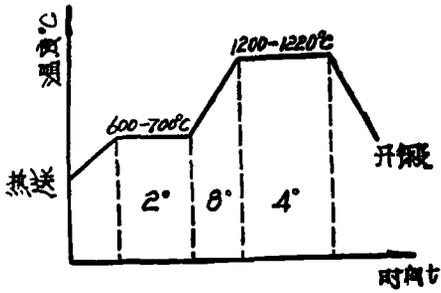


图6 906钢锻造曲线

热送钢锭在600~700°C保温2小时。升温8小时到1200~1220°C再保温4小时开锻，终锻温度不高于900°C。实验证明，锻造性能良好。

#### 4) 轧管工艺

##### a) 管坯几何形状的选择

根据奥氏体不锈钢高塑性、高变形抗力的特点，结合我厂318周期轧管机组水压机和延伸机的能力，选择了轧制成成品 $\phi 200 \times 30 \times 9000\text{mm}$ 以上所需要毛管的几尺寸为：外径 $\phi 350\text{mm}$ 、内径 $\phi 150\text{mm}$ 、长度2.7米、水口端代15°稍头外扒皮内镗孔空心管坯，几何形状及加工尺寸见图7。

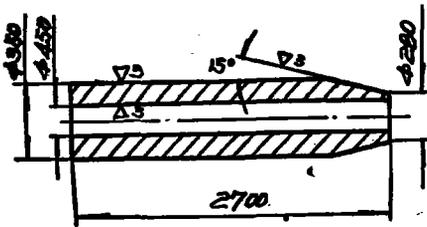


图7 906不锈钢热轧管坯规格

按正常轧制表计算，轧制 $\phi 200 \times 30 \times 9000\text{mm}$ 不锈钢时需要钢锭 $\phi 400\text{mm}$ 长达1.5米，这样的不锈钢锭先在19米三段

式环形炉内加热，在1800吨卧式水压冲孔机冲成带杯底的杯状坯，在盘式再加热炉内加热，通过延伸机延成 $\phi 350 \times 100 \times 2700\text{mm}$ 毛管，然后在周期轧管机上轧制。

实践证明，按上述正常轧制表轧制不锈钢管是行不通的，主要原因是奥氏体不锈钢变形抗力大。我厂现有1800吨卧式水压冲孔机、延伸机能力不足，造成冲不动、延卡。为了解决上述矛盾，我们选择了 $\phi 350 \times 100 \times 2700\text{mm}$ 内镗外扒管坯（见图7）经加热后直接送入轧机轧制成品管方案，这样就解决了水压机、延伸机因不锈钢变形抗力大造成设备能力不足的矛盾，同时也节省了两道工序，解决了厚壁管壁厚不均的缺点。近十年来证明这条工艺线生产奥氏体不锈钢管是切实可行的。

毛管 $\phi 350 \times 100 \times 2700\text{mm}$ 采用内镗孔、外扒皮的主要目的在于消除水压机锻造缺陷，提高成品管质量。至于选择代15°角稍头的原因，主要是便于周期轧机喂料器的易同步咬入，减少打头次数。906奥氏体高强度不锈钢管决定采用同原2Cr18Ni11Ti相同的工艺，即用 $\phi 350 \times 100 \times 2700\text{mm}$ 管坯直接加热轧成所需要的 $\phi 200 \times 30 \times 9000\text{mm}$ 成品管，因此选择图7所示形状的管坯对906不锈钢的研制成功起了重要作用。

##### b) 轧管过程

将 $\phi 350 \times 100 \times 2700\text{mm}$ 空心906高强度不锈钢管坯（由齐钢供给）置于19米环形三段式加热炉内加热，加热曲线见图8。

为保证加热曲线，在环形炉进料端空出3—5个角度。整个过程采用中性弱氧化火焰加热。钢管的轧制是在我厂318

车间周期轧管机组上进行的。其工具选择及轧制参数见表4、表5。

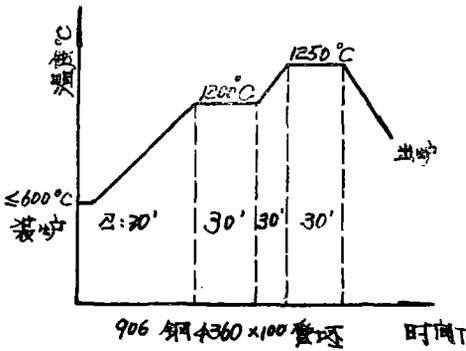


图8 加热曲线

轧管工具选择 表4

| 轧辊孔型尺寸  | 选用芯棒                   |
|---------|------------------------|
| φ204 mm | φ140~144mm*<br>(代锥度) 润 |

\* 芯棒代锥度的目的, 便于脱棒。润滑采用玻璃丝+食盐+石墨机油。

轧制参数 表5

| 转速<br>(转/分) | 风压<br>(大气压) | 电流<br>(安)   | 喂入量<br>(mm) | 开轧温度<br>(°C)  | 终轧温度<br>(°C) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| 55—58       | 10—11       | 250<br>-260 | 20—25       | 1150<br>—1100 | >950         |

### 5) 热处理工艺

906高强度奥氏体不锈钢的热处理工艺是在本厂管加工车间步进式常化炉内进行的。根据906钢的相析出曲线(图9)可以看出, 在970°C固溶处理时M23C6大部分溶解于奥氏体内, 残余量只约有0.2%; 同时906钢还具有不经敏化处理就可以保证晶间腐蚀倾向特点。在选择固溶温度时要照顾到热处理温度对性能的影响, 这样才能达到海军所需要的高强度不锈钢的重要指标。从图10的906钢热处理

温度对性能的影响曲线也可以看出: 970°C左右可以使 $\sigma_{0.2}$ 保持在40kg/mm<sup>2</sup>级水平; 如果低于此温度, 虽然强度有所提高, 但是图9中的M23C6数量却有所增加; 如果高于此温度, M23C6减少(减少数量并不很多), 强度指标 $\sigma_{0.2}$ 却大大下降, 以致达不到高强度的目的。因此我们选择了970°C这个温度做为固溶处理的温度。但考虑到合金元素量较大, 元素较多, 所以总加热时间也相对增长。热处理曲线见图11。

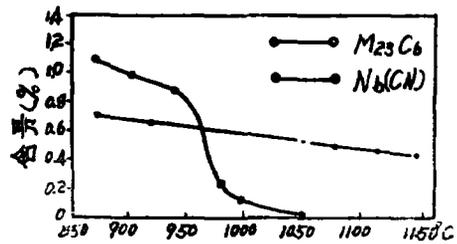


图9 906钢相析出曲线

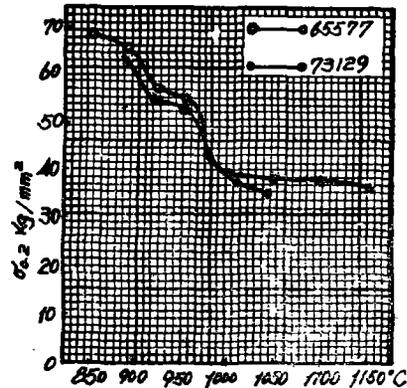


图10 906钢热处理温度对性能影响

热处理后检验结果, 炉号7—73129的化学成分(%)为:

|      |       |       |      |      |      |
|------|-------|-------|------|------|------|
| C    | Si    | Mn    | Cr   | Ni   | W    |
| 0.14 | 0.86  | 0.61  | 18.7 | 9.8  | 0.86 |
| Mo   | S     | P     | Nb   | Re   | N    |
| 1.33 | 0.005 | 0.027 | 0.16 | 0.15 | 0.16 |

机械性能:

技术要求:  $\sigma_s \geq 40 \text{ kg/mm}^2$   $\sigma_b \geq 60 \text{ kg/mm}^2$   $\delta \geq 20\%$   $ak \geq 8 \text{ kg-M/cm}^2$

实际达到: 54 76.5 40 17.3

非标准试样: 53.5 76.5 ——— ———

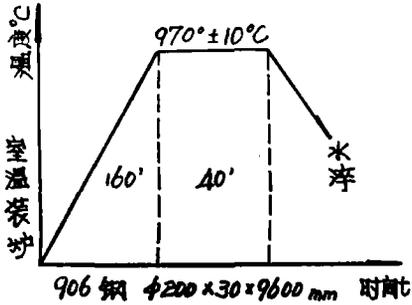


图11 火焰加热步进式常化炉淬火曲线

压扁实验: 按原2Cr18Ni11Ti技术标准进行, 结果所有张力面均无裂纹。

晶间腐蚀: 按B法进行四周期腐蚀, 无晶间腐蚀倾向。

导磁率: 在10—200奥斯特磁场下  $\mu = 1.003$ 高斯/奥斯特。

高倍检验: [O] 0.5级 [S] 0级  
晶粒度6.5~8级(内壁略有粗晶但不影响成品尺寸)

低倍: 无疵病

### 三、性能对比

为了便于了解新老钢种, 现将轧管工艺及有关性能指标作以下对比:

从轧管工艺上来看, 两钢种变形抗力相仿。在1200°C高温时可以看出18—8Ti型2Cr18Ni9在1200°C时的 $\sigma_b$ 为1.8kg/mm<sup>2</sup>, 而906钢在1200°C时的 $\sigma_b$ 为1.5~1.8kg/mm<sup>2</sup>。它们在轧制同规格( $\phi 200 \times 30 \times 9000$ )无缝钢管时, 其轧制参数基本相同。由此可以得出结论, 2Cr18Ni11Ti与906钢在轧管工艺上无特殊区别, 要试制新钢种可以按老钢种2Cr18Ni11Ti轧制参数选择, 不需要特殊工艺和工具。新老钢种热处理后性能的比较, 腐蚀和导磁率性能对比以及人造海水腐蚀实验对比等分别列入表6~9。

人造海水的成份是: NaCl 35克/升; MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 11克/升; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3.5克/升; CaCl<sub>2</sub> 22克/升; KBr 0.9克/升; H<sub>2</sub>O<sub>1</sub> 1.0克/升。

取腐蚀试样尺寸为20×3×8mm, 外表面加工△8, 在人造海水中浸蚀96小时, 并弯曲90度, 结果可以看出906钢要比2Cr18Ni11Ti的年腐蚀率、点的最大直径、最大深度都要好。

由此可知, 906钢经周期轧管机轧出 $\phi 200 \times 30 \times 9000$ mm大口径无缝管具有2Cr18Ni11Ti钢要求的同等或高于它的腐蚀、压扁、导磁率等性能的前提下, 还具有 $\sigma_s \geq 40 \text{ kg/mm}^2$ 较高的强度水平。

906高强度不锈钢曾在我国北部海面进行实验, 实验结果得出, 906钢在海情比2Cr18Ni11Ti钢更恶劣的情况下, 它在不同航速下的单振幅都小于2Cr18Ni11Ti, 这说明906高强度不锈钢具有较好的抗震性能。根据海军七院七一七所、沈阳金属研究所等单位的共同鉴定, 906钢优于2Cr18Ni11Ti钢, 它达到了海军战术要求。

2Cr18Ni11Ti 与 906 钢 轧 管 工 艺 对 比 表 6

|             | 轧制规格<br>(mm) | 转 速<br>转/分) | 风 压<br>(大气压) | 电 流<br>(A) | 喂 入 量<br>(mm) | 开 轧 温 度<br>°C | 终 轧 温 度<br>°C | 孔 型 尺 寸<br>(mm) | 选 用 芯 棒<br>(mm)   |
|-------------|--------------|-------------|--------------|------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-------------------|
| 2Cr18Ni11Ti | φ200×30      | 55~60       | 10—11        | 250—260    | 20—25         | 1150—1100     | ≥950          | φ204            | φ140~144<br>代 锥 度 |
| 906         | φ200×30      | 55—58       | 10—11        | 250—260    | 20—25         | 1150 —1100    | >950          | φ204            | φ140~144<br>代 锥 度 |

热 处 理 后 性 能 比 较 表 7

|             | $\sigma_L$ kg/mm <sup>2</sup> | $\sigma$ kg/mm <sup>2</sup> | $\delta$ % | $\psi$ % | ak g—M/cm <sup>2</sup> |
|-------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|----------|------------------------|
| 2Cr18Ni11Ti | 60~62                         | 28—33                       | 45~50      | 60—65    | 15—20                  |
| 906         | 76.5                          | 54                          | 40         | 57.5     | 17.3                   |

|             | 晶间腐蚀 | 导磁率   | 压扁               | 敏化处理否  |
|-------------|------|-------|------------------|--------|
| 2Cr18Ni11Ti | 无    | >1.01 | 有一批有裂纹<br>大部分无裂纹 | 未经敏化处理 |
| 906         | 无    | >1.01 | 无裂纹              | 未经敏化处理 |

海水腐蚀实验

表 9

|             | 热处理制度           | 年腐蚀率<br>mm/年 | 弯曲90度 | 点最大直径<br>(mm) | 点最深深度 |
|-------------|-----------------|--------------|-------|---------------|-------|
| 2Cr18Ni11Ti | 980°C×2小时<br>水淬 | 未测           | 无裂纹   | 0.96          | 22    |
| 906         | 970°C×40分<br>水淬 | 0.01         | 无裂纹   | 0.54          | 1.0   |

### 四、继续发展新工艺

根据有关文献介绍，目前，提高奥氏体不锈钢强度大致有两个途径，其一是用合金化提高奥氏体本身的强度来达到高强度。这种办法需要选择合理的元素，并对相变特点和强化相在奥氏体中的应用要有较深刻了解。例如，906钢需要大量的合金元素，而且对每种元素作用机理要了解得透彻才能达到预期的目的。元素的增多对冶炼工艺、热处理工艺、加工工艺都带来一定困难。其二是近些年来国内外发展的形变热处理、控温轧制（低温轧制）、温成形等强化变形以提高奥氏体强度的工艺，目前业已较广泛应用，这是值得注意和重视的途径。

形变热处理可分为正、逆向两类。正向一类是控制轧制的，要求在较低的温度下完成变形过程，并在变形后仍保留强化位错以达到强化的目的。自动轧管机组采用正向形变热处理最有条件。如果自动轧

管机组采用此工艺，就是一般18—8Ti型钢也可以达到906钢所达到的40kg/mm<sup>2</sup>级水平。至于周期轧管机组是否可以采用正向形变热处理，这是尚待仔细研究的课题之一。

根据我厂现有设备能力，采用逆向形变热处理是有条件的。在冷变形（经过冷轧、冷拔形变）后经过适当的工艺回火，使机械变形产生的大角度、高密度位错得到适当恢复，这样就能达到强化的目的。906钢经过形变热处理（逆向）后的性能如下：

906钢在30%的冷变形下使屈服强度从40kg/mm<sup>2</sup>提高到99.0—100kg/mm<sup>2</sup>， $\psi$ %保持在60~62%， $\delta$ %仍然可达到25—30%，变形后仍然无磁性，在人造海水腐蚀和B法晶间腐蚀下仍无腐蚀倾向，环形压扁试样良好。这样，如果采用906钢经过冷

(下转49页)

铝能够避免因设备故障延长出钢时间而造成整炉化学废品；

3. 38CrMoAlA钢由于钢液粘稠，流动性差，夹杂物难于上浮，因此必须保证一定的浇注镇静时间；

4. 采用新工艺冶炼，只要加强予脱氧，还原期保证足够的铝粉用量，钢的氧化物可以控制在1.5级以下（但钢锭帽口必须很好填充补缩，而且钢管的切头率也

必须大于8%以上）；

5. 采用无烟固体发热渣保护浇注，钢锭表面质量得到了改善，而且还能够解决钢的针孔低倍缺陷；

6. 钢锭的冷却条件对钢的发裂纹没有较大影响，生产中必须采取缓冷措施；

7. 新工艺比老工艺采用钢包吹Ar和Ar气保护浇注的钢质量好。

（上接25页）

轧、冷拔，选择适当回火温度，可以使40 kg/mm<sup>2</sup>屈服强度的906钢又提高一级。这一途径是很有发展前途的工艺途径。

根据我国情况采用电渣钢代替锻坯将是提高906高强度不锈钢管的质量途径之一，我厂目前正在做这方面的工作。

## 五、结 论

1. 906奥氏体高强度不锈钢管在周期轧管机组上生产与原2Cr18Ni11Ti不锈钢管生产工艺参数基本相同，无特殊例外。从轧管工艺上说是没有问题的，其轧制规程和工具选择可按原2Cr18Ni11Ti有关要求执行。

2. 906奥氏体高强度不锈钢管既保持原2Cr18Ni11Ti所具有的性能条件（如晶间腐蚀、压扁实验、导磁率等），而且又具有 $\sigma_s \geq 40 \text{ kg/mm}^2$ 级水平，通过海上试航，它能够满足海军需要，因此今后可

以成批生产。

3. 906奥氏体高强度不锈钢管通过几年来实验室、半工业性实验结果，它在压扁性能、耐海水腐蚀性能、相析出上都优于原2Cr18Ni11Ti钢种。如果采取形变热处理（正、逆向）工艺，还有可能将其 $\sigma_s \geq 90 \text{ kg/mm}^2$ 级提高到 $\sigma_s \geq 60 \text{ kg/mm}^2$ 级水平。

参考文献（略）

（转载自“四川冶金”1979年第四期，本刊有删节）