

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710062013.1

[51] Int. Cl.

*C22C 33/04 (2006.01)*

*C21C 5/28 (2006.01)*

*C21C 7/00 (2006.01)*

*C22C 38/08 (2006.01)*

*C22C 38/12 (2006.01)*

*B22D 11/00 (2006.01)*

[45] 授权公告日 2009年2月18日

[11] 授权公告号 CN 100462466C

[51] Int. Cl. (续)

*C21D 8/02 (2006.01)*

*C21D 1/18 (2006.01)*

*C21D 11/00 (2006.01)*

*B21B 37/16 (2006.01)*

*B21B 37/74 (2006.01)*

[22] 申请日 2007.5.26

[21] 申请号 200710062013.1

[73] 专利权人 山西太钢不锈钢股份有限公司

地址 030003 山西省太原市尖草坪街2号

[72] 发明人 胡玉亭 刘东风 张增武 段建平

王彩焕 白日普

[56] 参考文献

CN1840725A 2006.10.4

CN1718832A 2006.1.11

JP6-65679A 1994.3.8

CN1876857A 2006.12.13

低温压力容器用钢锭的冶炼. 谭月枝. 大型铸锻件, 第01期. 1998

审查员 彭梅香

[74] 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限公司

代理人 王思俊

权利要求书3页 说明书8页

[54] 发明名称

一种生产低温高韧性钢及其钢板的方法

[57] 摘要

一种生产 06Ni9 低温高韧性钢及其钢板的方法, 生产钢的方法包括以下次序的步骤: (一) 装入转炉的原料全部为经铁水预处理的铁水; (二) 顶底复吹转炉冶炼; (三) 精炼 I VOD(VD) 工序; II LF 炉工序出站钢水成分(重量)为 C:  $\leq 0.06\%$ , Si:  $0.01\% \sim 0.40\%$ , Mn:  $0.20\% \sim 0.90\%$ , P:  $\leq 0.004\%$ , S:  $\leq 0.002\%$ , Ni:  $8.50\% \sim 10.00\%$ , Mo:  $\leq 0.5\%$ , V:  $\leq 0.5\%$ , 其余为铁和不可避免的杂质; (四) 连铸板坯或模铸并将铸锭进行开坯; (五) 把板坯轧制、热处理制成 06Ni9 钢钢板。本生产低温高韧性钢的方法生产的 06Ni9 钢, 轧制与热处理后, 在  $-196^\circ\text{C}$  低温度条件下的冲击韧性, 横向  $-196^\circ\text{C}$  Akv 平均值达 220-280J。

1、一种生产 06Ni9 低温高韧性钢的方法，它包括转炉冶炼、精炼与浇铸依次步骤，其特征是：在转炉冶炼时，加入到转炉的原料为预处理铁水，铁水中的磷与硫的含量的重量配比降低到：

P :  $\leq 0.008\%$       S :  $\leq 0.008\%$       Si :  $\leq 0.4\%$

预处理后的铁水不低于 1230℃；

精炼后的钢水中的低熔点元素含量：

As:  $< 9\text{ppm}$       Sb:  $< 9\text{ppm}$       Bi:  $< 0.5\text{ppm}$       Sn:  $< 9\text{ppm}$

Pb:  $< 8\text{ppm}$       Zn:  $< 9\text{ppm}$ 。

2、根据权利要求 1 所述的生产 06Ni9 低温高韧性钢的方法，其特征是它包括以下次序的步骤：

#### (一) 铁水预处理

将化学成分重量配比为

C:  $\leq 4.5\%$       P :  $\leq 0.05\%$       S :  $\leq 0.07\%$

Si :  $0.4\% \sim 0.7\%$       其他为铁和不可避免的杂质

的铁水，经过普通铁水预处理后，铁水中的磷与硫的含量的重量配比降低到：

P :  $\leq 0.008\%$       S :  $\leq 0.008\%$       Si :  $\leq 0.4\%$

将预处理后的铁水装入顶底复吹转炉；

#### (二) 顶底复吹转炉冶炼

将预处理的铁水倒入顶底复吹转炉内，之后加入镍板，吹氧脱碳、升温，底部吹入惰性气体—氩气，冶炼后期还原出钢，冶炼后钢水的化学成分重量配比为：

C:  $\leq 0.06\%$       Si :  $0.01\% \sim 0.40\%$       Mn :  $0.20\% \sim 0.90\%$

P :  $\leq 0.003\%$       S :  $\leq 0.006\%$       Ni :  $8.50\% \sim 10.00\%$

Mo :  $\leq 0.5\%$       V:  $\leq 0.5\%$       其余为铁和不可避免的杂质

#### (三) 精炼

经脱硫、脱碳、脱磷、脱气、补喂 Al、调整其它合金成分后，出站钢水的成分重量配比为：

C:  $\leq 0.06\%$       Si : 0.01%~0.40%      Mn : 0.20%~0.90%  
 P :  $\leq 0.003\%$       S :  $\leq 0.002\%$       Ni : 8.50%~10.00%  
 Mo :  $\leq 0.5\%$       V:  $\leq 0.5\%$       其余为铁和不可避免的杂质;

#### (四) 连铸板坯

钢水通过连铸成中板坯, 或者模铸成钢锭, 再把钢锭通过初轧开成中板坯。

3、一种生产 06Ni9 低温高韧性钢板的方法, 它包括转炉冶炼、精炼、浇铸、轧制、热处理依次的步骤, 其特征是: 在转炉冶炼时, 加入到转炉的原料为预处理铁水, 铁水中的磷与硫的含量的重量配比降低到:

P :  $\leq 0.008\%$       S:  $\leq 0.008\%$       Si :  $\leq 0.4\%$

预处理后的铁水不低于 1230℃;

精炼后的钢水中的低熔点元素含量:

As: <9ppm      Sb: <9ppm      Bi: <0.5ppm      Sn: <9ppm  
 Pb: <8ppm      Zn: <9ppm。

4、根据权利要求 3 所述的生产 06Ni9 低温高韧性钢板的方法, 其特征是它包括以下次序的步骤:

#### (一) 铁水预处理

将化学成分的重量配比为

C:  $\leq 4.5\%$       P :  $\leq 0.05\%$       S :  $\leq 0.07\%$   
 Si : 0.4%~0.7%      其他为铁和不可避免的杂质

的铁水, 经过普通铁水预处理后, 铁水中的磷与硫的含量的重量配比降低到:

P :  $\leq 0.008\%$       S:  $\leq 0.008\%$       Si :  $\leq 0.4\%$

将预处理后的铁水装入顶底复吹转炉;

#### (二) 顶底复吹转炉冶炼

将预处理的铁水倒入顶底复吹转炉内, 之后加入镍板, 吹氧脱碳、升温, 底部吹入惰性气体—氩气, 冶炼后期还原出钢, 冶炼后钢水的化学成分重量配比为:

C:  $\leq 0.06\%$       Si : 0.01%~0.40%      Mn : 0.20%~0.90%

P :  $\leq 0.003\%$       S :  $\leq 0.006\%$       Ni : 8.50%~10.00%

Mo :  $\leq 0.5\%$       V :  $\leq 0.5\%$       其余为铁和不可避免的杂质

### (三) 精炼

经脱硫、脱碳、脱磷、脱气、补喂 Al、调整其它合金成分后，出站钢水的成分重量配比为：

C :  $\leq 0.06\%$       Si : 0.01%~0.40%      Mn : 0.20%~0.90%

P :  $\leq 0.003\%$       S :  $\leq 0.002\%$       Ni : 8.50%~10.00%

Mo :  $\leq 0.5\%$       V :  $\leq 0.5\%$ 其余为铁和不可避免的杂质；

### (四) 连铸板坯

钢水通过连铸成中板坯，或者模铸成钢锭，再把钢锭通过初轧开成中板坯；

### (五) 轧制、热处理

I 把板坯加热，加热温度 1150℃~1250℃；

II 在轧制工序时，按照普通工艺轧制成 8mm—35mm 厚的钢板，轧制温度为 800℃~1150℃；

III 热处理工序中，把轧制后的钢板，在连续六段式常化炉中加热到  $A_{c3}$  点以上—880℃，保温 15 分钟以上；

IV 水冷却进行淬火；

V 回火 在  $A_{c1}$  点以下 550℃—620℃保温 30 分钟以上；

VI 空冷或大于空冷的速度冷却进行回火热处理。

## 一种生产低温高韧性钢及其钢板的方法

### 技术领域

本发明涉及一种生产低温高韧性钢及其钢板的方法，具体讲是生产 06Ni9（9%Ni）低温高韧性钢及其 06Ni9（9%Ni）钢板的方法。

### 技术背景

因为能源需求的增大和对环保的迫切要求，世界上对天然气的需求急剧增大，韩国、日本等国家建造了多座大型 LNG 储罐，近几年国内也积极推进 LNG 储罐的建设，建设这些储罐所需的 06Ni9(9%Ni)钢材用量也随之大量增加。

为了保证 LNG、液氩、液氮等低温液体储罐的安全性，要求其关键制造材料 06Ni9(9%Ni)具有良好性能，如要求钢在-196 °C 低温度条件下具有很好的强韧性匹配，且钢的冷成形性、焊接性和抗裂纹扩展性等良好，其中钢的低温韧性是保证低温压力容器安全的关键技术指标。

06Ni9（9%Ni）钢是目前使用温度最低的一种低温钢，故获得高的低温韧性是结构设计制造和材料研究工作者共同的目标。以往大家主要关注 06Ni9（9%Ni）钢材料中如果含有较高的磷、硫元素含量，会产生晶界偏聚，损害钢的低温韧性，而忽视了 P、S 元素以外的 As、Sn、Sb、Bi、Pb、Zn 等低熔点元素对低温韧性的影响。经过大量的试验表明，06Ni9（9%Ni）钢中如果含有较高的 As、Sn、Sb、Bi、Pb、Zn 等低熔点元素，这种钢板在热处理后，这些低熔点元素将不可避免地偏聚于钢的晶界上，从而导致钢板的低温韧性值大幅度下降。现有生产低温高韧性 06Ni9 钢的方法，步骤是转炉冶炼→精炼→浇铸，装入转炉的原料均部分采用废钢，废钢会带入一些 As、Sn、Sb、Bi、Pb、Zn 等低熔点元素，这些元素在转炉冶炼及之后的精练工序中不能被去除，明显降低了 06Ni9（9%Ni）钢板热处理后的低

温冲击韧性，当从垂直于钢板轧制方向取冲击试样，在-196℃下进行冲击试验，低温冲击功低于 220J。

### 发明内容

为了克服现有生产低温高韧性 06Ni9 钢及其钢板的方法的上述不足，本发明提供一种生产低温高韧性钢的方法，该方法生产的 06Ni9 钢轧成钢板的低温冲击功大于 220J，同时提供生产低温冲击功大于 220J 的 06Ni9 钢板的方法。

本用全铁水为原料生产低温高韧性 06Ni9 钢的方法技术方案是：

在采用转炉冶炼→精炼→浇铸工艺冶炼 06Ni9 (9%Ni) 钢时，装入转炉的原料不采用废钢，而是全部采用成分为（重量）：

C: ≤4.5%                      P : ≤0.05%                      S : ≤0.07%

Si : 0.45%~0.75%      其他为铁和不可避免的杂质的高炉铁水，并且铁水应经过预处理，预处理铁水中（重量）的磷与硫的含量降低到：

P : ≤0.008%      S: ≤0.008%                      Si : ≤0.4%。

因铁水是由铁矿石经高炉冶炼生产，相比废钢而言，具有低的低熔点元素含量，故精炼后的钢水中及最终钢板的低熔点元素含量达到如下水平，

As<10ppm              Sb<10ppm              Bi<0.5ppm              Sn<10ppm

Pb<10ppm              Zn<10ppm。

把上述浇铸成的板坯再经轧制与热处理后，即制成本发明的低温高韧性钢板。

具体的讲，本生产低温高韧性钢的方法采用的工艺路线为：

铁水予处理→K-OBM-S 转炉→真空处理→LF→连铸（或模铸+铸锭开坯）。

本生产低温高韧性钢的方法包括以下次序的步骤：

#### （一）铁水预处理

高炉铁水由铁矿石经高炉冶炼生产，将化学成分（重量）为：

C: ≤4.5%                      P : ≤0.05%                      S : ≤0.07%

Si : 0.45%~0.7%      其他为铁和不可避免的杂质

的铁水，经过普通铁水预处理后，铁水中（重量）的磷与硫的含量降低到：

P :  $\leq 0.008\%$       S :  $\leq 0.008\%$       Si :  $\leq 0.4\%$

预处理后的铁水不低于 1230℃，装入顶底复吹转炉；

### （二） 顶底复吹转炉冶炼

转炉顶部可以吹进氧气用于脱碳，底部吹入惰性气体—氩气，以加快脱碳速度和钢水均匀。将经预处理的铁水倒入顶底复吹转炉内，之后加入镍板。吹氧脱碳、升温。冶炼后期还原出钢，炉后温度 1620℃—1660℃。

转炉冶炼后钢水的化学成分（重量）为：

C :  $\leq 0.06\%$       Si : 0.01%~0.40%      Mn : 0.20%~0.90%

P :  $\leq 0.003\%$       S :  $\leq 0.006\%$       Ni : 8.50%~10.00%

Mo :  $\leq 0.5\%$       V :  $\leq 0.5\%$       其余为铁和不可避免的杂质

### （三） 精炼

#### I VOD (VD) 工序

用天车将钢包放到 VOD 罐车内，开罐车到处理位。到站钢水温度 1600℃—1660℃，在极限真空度（一般 $<4\text{mbar}$ ）下强搅拌，搅拌时间大于 20min，脱硫，抽真空去除夹杂，脱气。

经 VOD 处理后，钢水的化学成分（重量）为：

C :  $\leq 0.06\%$       Si : 0.01%~0.40%      Mn : 0.20%~0.90%

P :  $\leq 0.003\%$       S :  $\leq 0.003\%$       Ni : 8.50%~10.00%

Mo :  $\leq 0.5\%$       V :  $\leq 0.5\%$       其余为铁和不可避免的杂质。

#### II LF 炉工序

根据 VOD 成分，补喂 Al，硅钙线之后根据即时测量温度和成分情况调整温度及其它合金成分，弱搅拌时间 $\geq 15\text{min}$ ，严禁钢水裸露。出站温度：1560℃—1590℃。出站钢水成分（重量）为

C :  $\leq 0.06\%$       Si : 0.01%~0.40%      Mn : 0.20%~0.90%

P :  $\leq 0.003\%$       S :  $\leq 0.002\%$       Ni : 8.50%~10.00%

Mo :  $\leq 0.5\%$       V :  $\leq 0.5\%$       其余为铁和不可避免的杂质；

精炼后的钢水中的低熔点元素含量达到如下水平，

As<10ppm      Sb<10ppm      Bi<0.5ppm      Sn<10ppm  
Pb<10ppm      Zn<10ppm。

为了达到 06Ni9 (9%Ni) 钢的成分精练工序也可以采用 LF→VOD(VD)、LF→RH、RH→LF 的精练过程, 其中 LF 的作用是脱硫, VOD、VD、RH 的作用则为精确调整成分、脱碳、去除夹杂和气体、调整温度, 不同的精练过程如果采用特定的工艺控制, 均能满足精确的合金成分控制要求。

#### (四) 连铸板坯

钢水通过连铸成中板坯, 或者模铸成钢锭, 再把钢锭通过初轧开成中板坯。板坯厚 115~170mm、长>1600mm、宽>1500mm 的中板坯。

接着上述的步骤(四), 把上述连铸成的板坯进行轧制、热处理, 即制成本发明的低温高韧性钢板, 最后成品检验。

#### (五) 轧制、热处理

I 把板坯料加热, 加热温度 1150℃~1250℃; II 在轧制工序时, 先粗轧 1050℃~1150℃轧制成 80mm—135mm 厚的粗轧钢板, 再精轧成 8mm—35mm 厚的钢板, 精轧的轧制温度为 800℃~900℃; III 热处理工序中, 把精轧制后的钢板, 在连续六段式常化炉中加热到  $A_{c3}$  点以上—880℃, 一般为 740℃—880℃, 保温 15 分钟以上; IV 水冷却进行淬火; V 回火 在  $A_{c1}$  点以下 550℃—620℃保温 30 分钟以上; VI 空冷或大于空冷的速度冷却回火热处理, 制成本发明的低温高韧性钢板; VII 之后检验成品钢板的低温冲击韧性。

本生产低温高韧性钢的方法及本生产低温高韧性钢板的方法也可以把铁水预处理工序分开, 把铁水中

P : ≤0.008%,      S: ≤0.008%      Si : ≤0.4%

的预处理铁水加入转炉冶炼, 即从上述的顶底复吹转炉冶炼(二)开始。

本生产低温高韧性钢的方法在采用常规的转炉冶炼→精炼→浇铸冶炼 06Ni9 (9%Ni) 钢时, 装入转炉的原料不采用废钢, 而是全部采用预处理铁水, 钢水中的 As、Sn、Sb、Bi、Pb、Zn 等低熔点元素极少, 冶炼的 06Ni9 (9%Ni) 钢轧制成钢板在热处理后, 避免了这些低熔点元素偏聚于钢的晶



界上而导致钢板的低温韧性值大幅度下降的缺点。用本生产低温高韧性钢的方法冶炼的 06Ni9 (9%Ni) 钢, 与现有常规方法冶炼的 06Ni9 (9%Ni) 钢相比, 轧制成钢板热处理后, 大幅提高 06Ni9 钢板在-196 °C 低温度条件下的冲击韧性, 横向-196°C Akv 平均值(J) 达 220-280, 最大可提高 27%。

本发明的生产低温高韧性 06Ni9 钢的方法与现有生产低温高韧性 06Ni9 钢的方法与相比, 两种制造方法对轧制、热处理后的钢板的低温韧性影响效果的比较见表 1:

表 1

制造方法	As ppm	Sb ppm	Bi ppm	Sn ppm	Pb ppm	Zn ppm	横向-196°C Akv 平均值(J)
现有生产方法	25~35	8~15	<0.5	8~15	8~15	25~35	<220
本发明的生产方法	<10	<10	<0.5	<10	<10	<10	>230

### 具体实施方式

下面结合实施例详细说明本生产低温高韧性钢 06Ni9 及其钢板的方法的具体实施方式, 但本生产低温高韧性钢 06Ni9 及其钢板的方法的具体实施方式不局限于下述的实施例。

#### 生产低温高韧性钢实施例

本实施例是在铁水预处理炉和 85 吨顶底复吹转炉进行的, 采用的工艺路线为:

铁水予处理→K-OBM-S 转炉→真空处理→LF→连铸。

本实施例生产的钢种是 06Ni9 (9%Ni) 钢, 其生产工艺如下:

#### (一) 铁水预处理

高炉铁水由铁矿石经高炉冶炼生产, 将化学成分 (重量) 为:

C: ≤4.5%                      P : ≤0.05%                      S : ≤0.07%

Si : 0.45%~0.75%      其他为铁和不可避免的杂质

的铁水 69 吨, 经过普通铁水预处理后, 铁水中 (重量) 的磷与硫的含量降低到:

P : 0.008%      S: 0.008%      Si : 0.3%      带渣量≤100kg

预处理后的铁水为 1250°C, 装入顶底复吹转炉, 入顶底复吹转炉的铁

水为 68.9 吨:

### (二) 顶底复吹转炉冶炼

转炉顶部可以吹进氧气用于脱碳，底部吹入惰性气体—氩气，以加快脱碳速度，保证钢水均匀。

将经预处理的铁水倒入顶底复吹转炉内，之后加入镍板 5.76 吨。吹氧脱碳、升温。冶炼后期还原出钢。氧耗 3158m<sup>3</sup>，冶炼周期 46min，出钢量 70.41 吨，炉后温度 1655℃。

转炉冶炼后钢水的化学成分（重量）为：

C: 0.06%	Si : 0.10%	Mn : 0.62%
P : ≤0.003%	S : ≤0.006%	Ni : 9.0%
Mo : ≤0.5%	V: ≤0.5%	其余为铁和不可避免的杂质

### (三) 精炼

#### I VOD (VD) 工序

用天车将钢包放到 VOD 罐车内，开罐车到处理位。到站钢水温度 1650℃，渣厚 30mm，净空 1280mm。在极限真空度小于 4mbA 下强搅拌，搅拌时间大于 20min，脱硫，抽真空去除夹杂，脱气。

经 VOD 处理后，钢水的化学成分（重量）为：

C: 0.06%	Si : 0.30%	Mn : 0.62%
P : 0.003%	S : 0.002%	Ni : 9.45%
Mo : ≤0.50%	V: ≤0.50%	其余为铁和不可避免的杂质。

#### II LF 炉工序

根据 VOD 成分，补喂 Al 为 560 kg，硅钙线线之后根据即时测量温度和成分情况调整温度及其它合金成分，弱搅拌时间 ≥15min，严禁钢水裸露。出站温度：1575℃。

出站钢水成分（重量）为

C: 0.06%	Si : 0.31%	Mn : 0.62%
P : 0.003%	S : 0.001%	Ni : 9.45%
Mo : ≤0.50%	V: ≤0.50%	其余为铁和不可避免的杂质。

### (四) 连铸板坯

钢水通过连铸成中板坯，或者模铸成钢锭，再把钢锭通过初轧开成厚 135mm、长 1700mm、宽 1520mm 的中板坯，制成本发明的低温高韧性 06Ni9 (9%Ni) 钢。

本生产低温高韧性钢实施例也可以把铁水中 P : 0.008%，S: 0.008%，Si : 0.3%的预处理铁水加入转炉冶炼，即从上述实施例的顶底复吹转炉冶炼（二）开始。

#### 生产低温高韧性钢板实施例

本生产低温高韧性钢板的实施例的步骤包括铁水预处理、顶底复吹转炉冶炼、VOD (VD) 工序、LF 炉工序、连铸板坯、轧制、热处理与检验成品钢板。就是接着上述生产低温高韧性钢实施例的步骤（四），把上述连铸成的板坯进行轧制、热处理与检验。

#### （五）轧制、热处理

I 把制成的板坯加热，加热温度 1150℃~1250℃；II 在轧制工序时，先粗轧 1050℃~1150℃轧制成 100mm 厚的粗轧钢板，再精轧成 30mm 厚的钢板，精轧的轧制温度为 800℃~900℃；III 热处理工序中，把精轧制后的钢板，在连续六段式常化炉中加热到 860℃，保温 20 分钟；IV 水冷却进行淬火；V 回火 在 560℃保温 32 分钟；VI 空冷或大于空冷的速度冷却回火热处理；VII 之后检验成品钢板的回转变奥氏体含量和低温冲击韧性。本炉钢经四棍轧机热轧轧制成 12mm 厚钢板，在连续六段式常化炉中一次淬火和回火热处理，之后检验低熔点元素含量和低温冲击韧性。

低熔点元素含量：

As: <9ppm            Sb: <9ppm            Bi: <0.5ppm            Sn: <9ppm  
Pb: <8ppm            Zn: <9ppm。

低温冲击韧性检验结果：

垂直于钢板轧制方向取三个冲击试样，并进行-196℃ 低温冲击试验，其-196℃低温冲击功分别为 260J、268J、252J，平均为 260J。低温冲击韧性达到要求。

本生产低温高韧性钢及其钢板的方法适用于 06Ni9 钢和 9%Ni 钢等含镍 9%的低温用钢。

## 名词解释

**VOD:** 真空吹氧脱碳精炼工艺, 由德国维腾公司开发。该精炼法可在真空下添加合金和进行测温等操作, 主要用于精炼不锈钢。其特点是在减压下顶部吹氧, 同时从底部多孔塞吹氩搅拌, 降低 CO 分压, 加速碳氧反应。VOD 是英文 Vacuum Oxygen Decarburization 的 3 个打头字母。

**LF:** 钢包精炼炉, 由日本特殊钢公司 1971 年开发, 可处理各种特殊钢, 其特点是电弧加热, 加合成渣洗及吹氩。LF 是 Ladle Furnace 的打头字母。

**K-OBM-S** 顶底复吹转炉

精练设备有各自的功能, 根据需要可任意组合

**RH:** 真空处理设备, 主要用途是脱氢、轻处理、脱碳、真空脱氧、精确调整成分、提高钢水洁净度、调温。RH 工艺是 1958 年由德国蒂森钢铁公司开发, 至今已有 100 多台 RH 用于不同的生产目的。

**VD:** 真空精练炉, 包底有吹氩装置, 通过抽真空, 有优良的脱气、去除夹杂的效果, 对各种真空精练和真空脱气处理很有效。

**LF→VOD(VD):** 通过 LF 脱硫, 再通过 VOD 或 VD 精确调整成分、脱碳、去除夹杂和气体、调整温度。

**LF→RH:** 通过 LF 脱硫, 再通过 RH 精确调整成分、脱碳、去除夹杂和气体、调整温度。

**RH→LF:** 通过 RH 精确调整成分、脱碳、去除夹杂和气体, 再通过 LF 脱硫、调整温度。

**RH、LF、AOD** 还可参见冶金工业出版社 2005 年 5 月出版的《电弧炉炼钢工艺与设备》

**06Ni9** 按照国标 GB/T222 钢铁牌号表示方法, 把国际上通用的含镍 9% 的低温用钢即 9%Ni 钢, 重新命名为 06Ni9 钢, 与该钢种同一系列的低温高韧性钢还有 3.5%Ni、5%Ni, 但适用温度不同, 9%Ni 钢使用温度为-196 度, 该系列使用温度最低的。