

## 控制 ER70S-G 含钛焊丝钢 TiN 析出和防止水口结瘤的工艺实践

杨咏阶

(青岛钢铁控股集团有限责任公司炼钢总厂, 青岛 266043)

**摘要** ER70S-G 含钛焊丝钢( /% : 0.07C, 0.82Si, 1.49Mn, 0.012P, 0.010S, 0.19Ti, 0.006 2N) 生产流程为 80 t 顶底复吹转炉-LF-150 mm × 150 mm 方坯连铸-盘条轧制工艺。热力学计算和生产实践表明, 当浇铸温度 ≥ 1 560 °C, [N] ≤ 78.6 × 10<sup>-6</sup>, [Ti/%][N/%] ≤ 0.001 49 及拉速 2.0 ~ 2.5 m/min 时, 可以避免在浇铸过程 TiN 析出和水口结瘤。

**关键词** 含钛焊丝钢 TiN 连铸 析出 水口结瘤 工艺实践

## Process Practice to Control of Precipitation of TiN in ER70S-G Welding Wire Steel Containing Titanium and Prevent Nozzle Clogging

Yang Yongjie

(Steelmaking General Plant, Qingdao Iron and Steel Group Co Ltd, Qingdao 266043)

**Abstract** The production flowsheet of ER70S-G welding wire steel containing titanium ( /% : 0.07C, 0.82Si, 1.49Mn, 0.012P, 0.010S, 0.19Ti, 0.006 2N) is 80 t top and bottom combined blown converter-LF-150 mm × 150 mm billet casting- coil rolling process. The results of thermodynamic calculation and production practice show that with control of liquid casting temperature ≥ 1 560 °C, [N] ≤ 78.6 × 10<sup>-6</sup>, [Ti/%][N/%] ≤ 0.001 49 and casting speed 2.0 ~ 2.5 m/min, it is available to avoid the precipitation of TiN during casting process and the nozzle clogging.

**Material Index** Welding Wire Steel Containing Titanium, TiN, Continuous Casting, Precipitation, Nozzle Clogging, Process Practice

ER70S-G 是一种 Si-Mn-Ti 合金系 CO<sub>2</sub> 气体保护焊丝, 与其同强度级别的国标焊丝为 ER50 系列。在 ER70S-6 基础上加 Ti 可以有效减少 CO<sub>2</sub> 气保焊飞溅。Ti 是强烈的脱氧元素, 能和氮化合成 TiN 起固氮作用, 提高焊缝金属抗氮气泡的能力。

Ti 加入到钢中, 通过在高温条件下析出的 TiN、TiC 或者 Ti(CN) 来体现其细化晶粒的效用。在相同条件下, TiN 会最先析出, 然而 TiN 的过早析出具有聚集长大的倾向, 会在钢液中形成颗粒较大并带有棱角的 TiN 夹杂。含钛焊丝钢生产过程中水口结瘤造成浇注中断, 连铸坯振痕深、表面质量差。文献[1]介绍了在生产含钛焊丝钢过程中出现的水口结瘤现象, 分析引起水口结瘤的高熔点物质有 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiN 等。文献[2]分析了含钛焊丝钢中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 型结瘤的形成机理, 提出通过控制钛、铝竞争氧化, 控制钢中铝含量, 有效避免 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 型结瘤, 提高了连浇炉数。首钢提出通过控制合适的氧、氮等措施<sup>[3]</sup>, 降低水口结瘤和结晶器保护渣结块的风险。

本文通过热力学计算研究了含 Ti 焊丝钢中 TiN 相的析出条件, 并对 TiN 析出相的控制提出了相应的措施。

表 1 含钛焊丝钢的化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of welding wire steel containing titanium /%

项目	C	Si	Mn	P	S	Ti	N
标准	0.05 ~ 0.10	0.70 ~ 0.95	1.45 ~ 1.65	≤ 0.020	≤ 0.020	0.12 ~ 0.25	
实测值	0.07	0.82	1.49	0.012	0.010	0.19	0.006 2

### 1 工艺条件

青岛钢铁控股集团有限责任公司(青钢)含钛焊丝钢生产流程: 80 t 顶底复吹转炉-LF-150 mm × 150 mm 小方坯连铸机, 铸坯送高速线材厂轧制成盘条。表 1 为含钛焊丝钢 ER70S-G 的化学成分。

由于 TiN 的熔点高达 2 950 °C, 在钢中形成不溶于钢水的高熔点夹杂物, 在浇注过程中容易富集于中间包上水口碗部和内壁、浸入式水口内壁, 造成浇注不顺甚至中断, 产生的 TiN 夹杂物进入钢液中。含钛焊丝钢连铸坯的表面质量较差, 盘条在轧制过程中产生起皮、毛刺等缺陷。连铸坯表面可用修磨机进行处理。

### 2 TiN 析出的热力学计算

根据反应<sup>[4]</sup>:

$$[N] + [Ti] = (TiN)_s$$

$$\lg K = 17\,040/T - 6.4 \quad (1)$$

该反应的平衡常数  $K$ ：

$$K = \frac{a_{[TiN]}}{a_{[Ti]}a_{[N]}} = \frac{1}{f_{Ti}[Ti/\%]f_N[N/\%]} \quad (2)$$

式中： $a_{[TiN]}$ 、 $a_{[Ti]}$ 、 $a_{[N]}$ —钢中 TiN、Ti、N 的活度； $f_{Ti}$ 、 $f_N$ —Ti、N 的活度系数； $[Ti/\%]$ 、 $[N/\%]$ —Ti、N 的质量百分数。

$$\lg f_{Ti,1873} = \sum_j e_{Ti}^j w_j = 0.025\,99,$$

$$\lg f_{N,1873} = \sum_j e_N^j w_j = -0.083\,74$$

$f_{Ti} f_N$  和温度  $T$  的关系<sup>[5]</sup>：

$$\lg f_{Ti} = (2\,557/T - 0.365) \lg f_{Ti,1873} = 66.456/T - 0.009 \quad (3)$$

$$\lg f_N = (3\,280/T - 0.75) \lg f_{N,1873} = -274.667/T + 0.063 \quad (4)$$

钢中 TiN 的析出条件热力学条件：

$$\lg f_{Ti} + \lg f_N + \lg([Ti/\%][N/\%]) = -17\,040/T + 6.4$$

$$\lg([Ti/\%][N/\%]) = -16\,813.789/T + 6.346 \quad (5)$$

式中： $f_{Ti,1873}$ 、 $f_{N,1873}$ —钢液在 1 873 K 时 Ti、N 的活度系数； $e_{Ti}^j$ 、 $e_N^j$ —钢液中 Ti、N 与组分  $j$  的相互作用系数； $w_j$ —组分  $j$  的质量百分数。

1 873 K 时钢液中元素的相互作用系数见表 2。

表 2 1 873 K 时钢液中元素的相互作用系数

Table 2 Interaction coefficients of elements in liquid steel at 1 873 K

项目	C	Si	Mn	P	S	N	Ti
$e_{Ti}^j$	-0.165	0.05	0.004 3	-0.006 4	-0.11	-1.8	0.013
$e_N^j$	0.13	0.047	-0.021	0.045	0.007	0	-0.53

根据表 1 中的成分，得出 TiN 的析出温度为 1 540 °C (1 813 K)。液相线温度 1 511 °C (1 784 K)，固相线温度 1 448 °C (1 721 K)。计算可知，ER70S-G 中 TiN 的析出温度大于它的液相线温度。

### 3 生产中 TiN 的控制以及避免水口结瘤的措施

由于 TiN 的析出会对钢水浇注产生影响，严重者甚至导致钢包、中间包浇注断流。因此，必须控制在钢液浇注过程中 TiN 的析出。根据上述热力学计算，影响 TiN 析出的因素有温度、Ti 含量、N 含量。因此，在生产上需要对这些影响因素进行控制。

#### 3.1 生产中控制 TiN 析出的因素分析

(1) 浇注温度的选择。通常控制中间包钢液温度 = 液相线温度 + 过热度，但由于含钛焊丝钢中 TiN 的析出温度高于液相线温度，在浇注过程中析出的 TiN 容易使水口结瘤导致浇注困难。因此，为了避免 TiN 在浇注过程中析出，应该控制中间包温度 = TiN 开始析出的温度 + 过热度，保证浇注过程的顺行。普通钢种过热度控制在 20 °C，从热力学角度考虑，并且根据生产实践来看，为避免在浇注过程中 TiN 的析出影响浇注的顺利进行，本钢种适宜浇注温度 (1 540 + 20) °C = 1 560 °C 以上。那么含钛焊丝钢的最小过热度为 (1 540 - 1 511 + 20) °C = 49 °C。

图 1 示出在固相线温度 (1 448 °C)、液相线温度 (1 511 °C)、中间包温度 (1 560 °C)、钢包温度 (1 600 °C) 时的  $[Ti/\%][N/\%]$  浓度积曲线。从图 1 中看出，温度越高，越不利于 TiN 的析出。钢包中钢液的温度比中间包中钢液的温度高 40 °C，根据式 (5) 可知，钢包浇注过程比中间包浇注过程更难以析出 TiN。

(2) 氮的控制。LF 精炼过程是一个增氮的过程，需要加强埋弧操作以及减少钢液裸露减少增氮。此外连铸浇注过程中密封不好也会导致增氮，在浇注过程中长水口、浸入式水口密封不好会导致空气的吸入，从而导致钢液增氮。使用氩封水口，保证气密性，可以减少增氮。在中间包钢水温度为 1 833 K (1 560 °C) 时，根据表 1 成分，氮应控制在  $78.6 \times 10^{-6}$  以下。

(3) 钛的控制。在保证产品性能的情况下可以将 Ti 往下限控制，确保  $[Ti/\%][N/\%]$  的浓度积低于临界值。此外，由于含钛焊丝钢中钛的含量较高，如果在钢液中的不均匀分布也可能导致局部 Ti 富

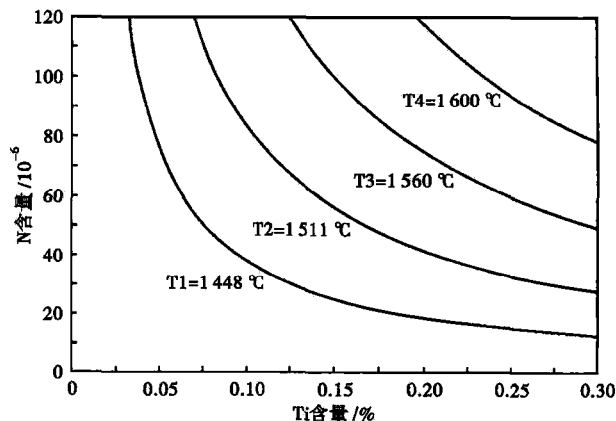


图 1 不同温度下的  $[Ti/\%][N/\%]$  浓度积  
Fig. 1 Concentration product of  $[Ti/\%][N/\%]$  at different liquid temperature

集,导致 $[Ti/\%][N/\%]$ 浓度积高。在浇注的过程中,随着温度的下降,更加容易析出,聚集在浸入式水口内壁。

(4)拉速的影响。在相同的中间包温度下,提高拉速可以减小中间包钢液与结晶器钢液的温降。因此,在中间包温度降低的情况下,可以提高拉速来减少温降,避免在水口内壁析出 TiN,从而导致水口结瘤。同时由于含钛钢液粘度大,流动性差。提高拉速,改善了钢水的流动,可以起到冲刷水口内壁的附着物,减轻水口结瘤。某浇次由于事故导致两流堵流后,中间包钢液温度低于下限温度,将拉速从 2.0 m/min 提高到 2.4 m/min 后,浇注顺利进行,没有出现温低结瘤以及析出物结瘤。

### 3.2 工艺参数的控制

表3为改进前后两个浇次的工艺参数对比,根据影响 TiN 析出的因素进行了工艺参数的调整。对氮含量进行了严格的控制,整体水平在向下控制。钛含量的控制目标由 0.19% ~ 0.23% 调整为 0.12% ~ 0.18%,中间包钢水平均温度从 1543 °C 提高到 1568 °C。正常拉速保持在 2.0 m/min,生产过

表3 改进前后工艺参数比较

Table 3 Comparison of process parameters between before and after improvement

工艺	$[N]/10^{-6}$	$[Ti]/10^{-2}$	中间包钢水平均温度/°C	拉速/ $(m \cdot min^{-1})$	$[Ti/\%][N/\%]$
改进前	38 ~ 63	0.19 ~ 0.23	1543	2.0	-
改进后	30 ~ 52	0.12 ~ 0.18	1568	2.0 ~ 2.5	$\leq 0.00149$ (按照最低浇注温度 1560 °C 计算)

程中的事故导致中间包钢水温度低时可提高拉速至 2.5 m/min。

通过采取全面的工艺控制措施,解决了因钢液中 TiN 析出造成的水口结瘤堵塞问题,连浇炉数从最初的 3 炉提高到 10 炉以上。

### 4 结论

(1)通过工艺改进控制 $[N]$ 0.0030% ~ 0.0052%, $[Ti]$ 0.12% ~ 0.18%,中间包钢水平均温度 1568 °C,拉速 2.0 ~ 2.5 m/min 和 $[Ti/\%][N/\%]$ 浓度积在临界值 0.00149 以下,可以防止钢液在浇注过程中 TiN 的析出。

(2)通过进行控氮操作、控制合适的浇注温度以及设计合适的钢液成分能够避免在浇注温度下 TiN 的析出,避免因 TiN 析出造成的水口堵塞。

### 参考文献

- [1] 亓奉友,甄先锋,李文英.含 Ti 焊接用线材的开发[J].金属制品,2009,35(3):36-38.
- [2] 常金宝,马德刚,李双武,等.含钛焊丝钢小方坯连铸水口的结瘤机制[J].钢铁,2013,48(7):27-31.
- [3] 朱殿翔,靳伟,李明,等.一种小方坯连铸高效合金焊丝用钢的生产方法:中国专利,201110123444.0[P].2011-10-12.
- [4] 成国光,朱晓霞,彭岩峰,等.洁净钢氮化钛凝固细化技术的基础[J].北京科技大学学报,2002,24(3):273-275.
- [5] 施晓芳,成国光.430 不锈钢中 TiN 的形成和析出机理研究[J].炼钢,2008,24(4):36-39.

杨咏阶(1977-),男,硕士(2007年北京科技大学),工程师,2000年武汉科技大学(本科)毕业,工艺技术和品种开发。  
E-mail:185031048@qq.com

收稿日期:2015-06-25

## 下期要目

42CrMo4 钢 39 t 锭真空浇铸和凝固过程数值模拟和生产实践 .....	李胜利等
90 t BOF-LF-VD 工艺冶炼 GCr15 轴承钢的氧化物夹杂变化行为 .....	蒋晨旭等
莹石含量对结晶器保护渣物理性质和渣膜矿相结构的影响 .....	王凯强等
超临界超超临界锅炉管品种的开发现状 .....	邢娜等
重轨钢连铸坯中心偏析的分析和工艺改进 .....	段永卿等
Q235B 热轧板表面纵裂成因分析及控制工艺 .....	张瑜等
100 t EAF-LF-VD-CC 流程生产 SK5 弹簧钢的工艺实践 .....	吴辉强等
X20Cr13 钢材成分对力学性能影响的回归分析 .....	张丽娜等
高碳合金钢 75Cr1 高温变形后相和组织的转变 .....	胡松涛等
连铸保护渣渣膜矿相结构对不同钢种板坯冶金质量的影响 .....	韩秀丽等