

## 40Cr合金结构钢连铸工艺研究与应用

王立君, 翟正龙, 郑桂芸, 孙永喜

(莱芜钢铁股份有限公司 特殊钢厂, 山东 莱芜 271105)

**摘要:** 莱钢特钢厂在1\#连铸系统中采用EBT—LF—连铸工艺生产40Cr合金结构钢, 通过合理控制用氧、调整炉渣碱度、采用Si—Ca线处理钢水、控制钢水过热度、调整拉速、合理控制二冷配水, 确定了最佳工艺方案, 提高了钢水收得率, 解决了水口锈眼问题, 保证了连铸生产顺行和质量稳定。

**关键词:** 40Cr合金结构钢; EBT电炉; LF精炼; 连铸; 水口锈眼

中图分类号: TF762<sup>+</sup>.3 文献标识码: B

### Research and Application of 40Cr Structural Alloy Steel Continuous Casting Process

WANG Li-jun, ZHAI Zheng-long, ZHENG Gui-yun, SUN Yong-xi

(The Special Steel Plant of Laiwu Iron and Steel Group Co. Ltd., Laiwu 271105, China)

**Abstract:** 40Cr structural alloy steel is produced with EBT-LF-CC process in No.1 continuous casting system in the special steel plant of laigang. Through reasonably controlling argon blowing, adjusting slag alkalinity, treating liquid steel with Si-Ca wire, controlling liquid steel superheat, adjusting casting speed, reasonably controlling secondary cooling, the optimal process is defined, which raises the recovery ratio of liquid steel and resolves the problem of nozzle blocking, ensures smooth continuous casting production and stable steel quality.

**Keywords:** 40Cr structural alloy steel; eccentric bottom tapping electric furnace; ladle furnace refining; continuous casting; nozzle blocking

## 1 前言

随着核心竞争力工程的实施, 莱芜钢铁股份有限公司特殊钢厂(简称莱钢特钢厂)对整个一炼区域进行了生产工艺调整, 将原有的4座电炉进行改造, 新上1台连铸机, 并在短期内实现全连铸, 达到年产25万t以上的设计能力。在这种形势下, 40Cr合金结构钢作为主要生产品种, 研究其连铸工艺技术并做到熟练应用显得尤为重要。

## 2 主要工艺设备及参数

电炉、精炼炉主要工艺技术参数见表1。

表1 电炉及精炼炉的主要工艺技术参数

参数名称	电炉			LF
	1#	2#	3#	
公称容量/t	20	20	20	20
电炉形式	炉盖旋转	炉盖旋转	炉盖旋转	钢包开出
变压器容量/kVA	5500	5500	5500	5500
一次电压/V	6000	6000	6000	6000
二次电压/V	122~263	122~263	122~263	122~263
额定电流/A	12000	12000	12000	12000
电极直径/mm	350	350	350	250
炉壳直径/mm	4000	4000	4000	
熔池直径/mm	2860	2860	2860	
炉盖拱高/mm	650	650	650	水冷炉盖

### 1#连铸机主要工艺参数:

连铸机型: 刚性引锭杆全弧形小方坯合金钢连铸机

弧形半径R: 6m

流数: 三机三流

铸坯断面尺寸: 150 mm×150mm

铸坯定尺长度: 2.7~3m

结晶器型式: 全弧形带足辊管式结晶器

结晶器水缝: 3.5mm

振动方式: 半板簧四连杆振动

中间包浇铸方式: 定径水口、浸入式水口保护浇铸

拉矫机矫直方式: 渐进式一点矫直

二冷冷却方式: 足辊、二段冷却

## 3 1#连铸系统工艺技术方案

40Cr合金结构钢的连铸实际上是一个系统的工艺研究过程,它包括提高钢水的纯净度和提高钢水收得率两个方面,包括电炉、精炼炉和连铸三个过程,以此来确定整个连铸系统的工艺内容。

### 3.1 电炉冶炼主要工艺控制

电炉冶炼控制的主要目标就是造泡沫渣,控制终点碳含量不小于0.10%,这是防止钢水过氧化、减少夹杂物含量的主要措施之一。主要控制措施就是合理用氧,充分发挥喷粉罐的作用。根据熔清碳情况,用氧量按表2中对应关系进行控制。并适时调整用氧量和喷粉罐操作,保证终点碳符合要求,在出钢过程中加入Ca-Si粒、电石、合成渣、增碳剂等,控制电炉出钢成分如表3所示。

表2 用氧量与熔清碳的关系

碳含量/%	氧气压力/MPa
≥0.6	0.6~0.8

0.3~0.6	0.4~0.6
≤0.3	0.4~0.6

表3 电炉出钢成分控制 %

C	Si	Mn	Cr	P	S
0.27~0.30	0.10~0.15	0.45~0.55	0.75~0.85	≤0.025	≤0.025

注：其它残余元素符合要求。

### 3.2 LF工艺控制

精炼炉在电炉与连铸之间起衔接与纽带的作用，但它对提高钢水纯净度、降低中间包过热度、防止锈眼和实现窄成分控制等至关重要。因此，电炉钢水到位后，及时喂Al线，尽量保持白渣操作，根据渣况及时调整渣子碱度，以控制氧含量在 $2.0 \times 10^{-5}$ 甚至 $1.5 \times 10^{-5}$ 以下，保证脱氧良好。

### 3.3 减少 $Al_2O_3$ 、CaS等夹杂以防止锈眼

40Cr合金结构钢属于用铝脱氧的镇静钢，在浇注过程中经常发生中间包水口堵塞，影响浇注顺利进行，甚至产生中断。对中间包水口的堵塞物进行成分分析发现，主要是高熔点的氧化物聚集造成。以 $\alpha-Al_2O_3$ 为主，并混有MgO、 $Al_2O_3$ 尖晶石以及CaO- $Al_2O_3$ 为主的化合物。成分见表4。

表4 水口堵塞物成分 %

$Al_2O_3$	MgO	CaO	$SiO_2$
70~80	2~10	3.0~12.5	<3.0

用铝脱氧后，钢水中有 $Al_2O_3$ 夹杂，钢水流经水口时，水口横断面上的钢水流速呈抛物线分布，靠近水口壁附近流速很低，促使固体的 $Al_2O_3$ 夹杂沉积在水口上逐渐长大直至堵塞。 $Al_2O_3$ 的来源主要是用铝脱氧后生成的脱氧产物未完全排除，另外钢水中的溶解[Al]与水口表面的 $SiO_2$ 发生还原反应生成的 $Al_2O_3$ 附着于水口壁上或与空气中的氧发生反应继续生成 $Al_2O_3$ 等。同时，因[S]含量高而生成过多的CaS沉积，也会造成水口锈眼。

通过进一步分析和研究，采用对钢水进行Si-Ca线处理的方法可以很好的解决锈眼的问题。Si-Ca合金在钢中溶解时，且 $[Ca]/[Al]$ 小于0.07、大于0.10~0.15时，很容易与钢中的氧发生反应，形成液态的硅酸钙脱氧产物，同时使钢中的 $Al_2O_3$ 等氧化物和硫化物球化，起到变性处理的作用，易于上浮，从而避免水口锈眼。因此，可以在喂铝线或加铝粒后，进行软吹3min，出钢后喂入CaSi丝，促使 $Al_2O_3$ 夹杂物充分上浮。

### 3.4 连铸过程工艺控制

连铸工艺控制以三个方面作为重点：一是中间包温度制度，即过热度的控制；二是拉速制度；三是配水制度。

中间包过热度过高不仅增加了拉漏的危险，而且使铸坯柱状晶发达，中心偏析和中心疏松加重，影响钢材的性能。根据40Cr合金结构钢的液相线要求及现实条件，中间包过热度控制在15~25℃是合理的。2002年5~10月中间包过热度控制平均值见图1。

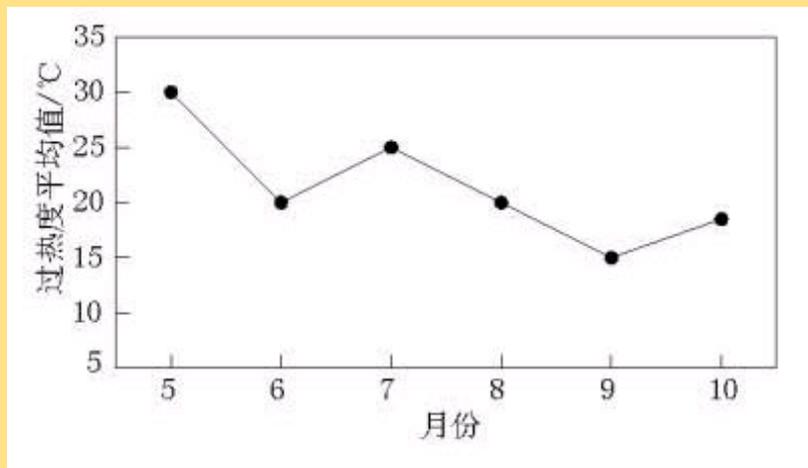


图1 2002年5~10月中间包过热度控制情况

根据图1进行中间包过热度控制，铸坯质量不断提高。对部分铸坯进行低倍分析发现，等轴晶率达到了30%左右，中心偏析、疏松等内部质量缺陷明显减少。

拉速高低直接决定连铸机的生产效率，但拉速太高，铸坯出结晶器太薄，容易漏钢，同时铸坯温度升高，在辊间鼓肚量增大，对铸坯质量不利。

由凝固定律公式可计算出最佳拉速，即：

$$V=L(k/e)^2 \quad (1)$$

式中V—工作拉速，m/min；

k—凝固系数，小方坯取20~24mm/min<sup>1/2</sup>；

L—结晶器长度，mm；

e—坯壳厚度，mm，小方坯取8~12mm。

通过计算可以看出，40Cr合金结构钢的工作拉速控制在1.5~1.7m/min的范围内是合理的。

结晶器冷却和二次冷却对整个连铸过程具有相当重要的作用，根据实际生产及质量的需要，对配水设计进行优化：结晶器水量为95m<sup>3</sup>/h，水流速度为8~10m/s。根据配水曲线和比水量0.8L/kg钢的理论要求，确定二冷配水见表5。

表5 结晶器及二冷配水表

项目	喷嘴分布	喷嘴型号	占用水量/%	喷水形状
0段（足辊）	3个	460.695	25	椭圆
1段	前4个	1/4PZ-3965QZ3	25	圆形
1段	后6个	1/4PZ-1755QZ3	20	圆形
2段	8个	1/4PZ-1755QZ3	30	圆形

在优化设计的过程中，充分考虑了40Cr合金结构钢的高温特性，使铸坯在进拉矫机时温度在900~1000℃之间，避免了钢在高温脆性区发生 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变而引起表面横向裂纹，同时避免了因冷却不均匀而出现的鼓肚、脱方等质量缺陷。

## 4 工艺应用情况

40Cr合金结构钢连铸工艺在1<sup>#</sup>连铸系统应用后，生产工艺流程见图2。

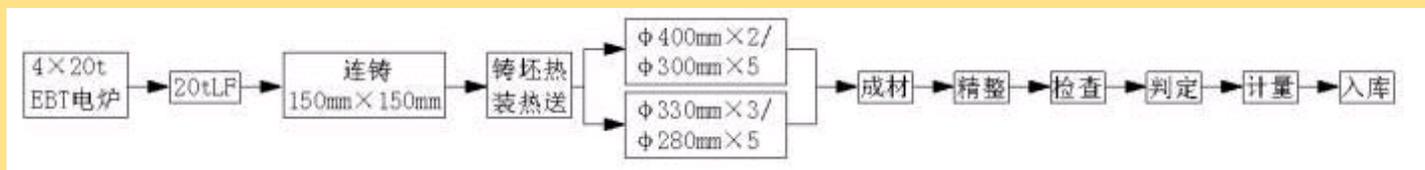


图2 40Cr合金结构钢连铸工艺流程

40Cr合金结构钢在1<sup>#</sup>连铸系统的工艺研究与应用表明，工艺流程缩短，生产成本降低，有效地提高了生产效率，提高了钢水收得率，降低了职工的劳动强度，保证了生产操作的可靠性和安全性，提高了产品的质量水平和企业形象，增强了企业的核心竞争力。

---

[返回上页](#)