# Φ245 mm 坯型开发及生产实践*

付 岳[1], 张 昭[1], 张 曦[2], 赵志东[1], 王立军[1], 李东明[1], 石 龙[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司, 内蒙古 包头 014010;
2. 麦格瑞(北京)智能科技有限公司, 北京 100010)

**摘 要**: 包钢钢管公司2#铸机在原有Φ180～Φ270 mm五个圆形坯型的基础上, 通过结晶器结构设计、结晶器振动工艺设计、二次冷却工艺设计、铸坯连续矫直工艺设计等多方面研究, 成功开发Φ245 mm坯型。生产实践表明, Φ245 mm坯型铸坯内外部质量满足标准和轧制要求, 坯型开发达到预期效果。

**关键词**: Φ245 mm圆坯; 坯型开发; 工艺设计; 铸坯质量
**中图分类号**: TF777 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009－5438(2019)06－0038－05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.06.009

## Practices on Developing and Producing Φ245 mm Billet

*Fu Yue*[1], *Zhang Zhao*[1], *Zhang Xi*[2], *Zhao Zhi－dong*[1], *Wang Li－jun*[1], *Li Dong－ming*[1], *Shi Long*[1]

(1. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Macquarie (Beijing) Intelligent Technology Co., Ltd., Beijing* 100010, *China*)

**Abstract**: On the basis of the original five round billets with Φ180～Φ270 mm of 2# casting machine of Steel Tube Co. of Baotou Steel, Φ245 mm billet has been successfully developed by various studies such as the crystallizer structure design, design of vibration process for crystallizer, secondary cooling process and continuous straightening process for the billet. The production practices show that the internal and external qualities of Φ245 mm billet could meet the requirements of standard and rolling as well as its development reaches the desired effects.

**Key words**: Φ245 mm round billet; development of billet; process design; billet quality

包钢钢管公司2#铸机原有Φ180 mm、Φ200 mm、Φ210 mm、Φ230 mm和Φ270 mm五个圆形坯型, 2019年进行工艺技术改造, 新开发Φ245 mm坯型。通过优化坯型结构可以减少炼钢工序换断面次数、提高铸机作业率, 更为钢管公司Φ180 mm Mini－MPM连轧管机组稳定产品质量、降低热工具消耗、提高倍尺率和成材率创造有利条件。

## 1 2#圆坯连铸机工艺及装备简介

包钢钢管公司2#铸机为5机5流12 m弧型连铸机, 由100 t转炉配套供应钢水, 经LF炉精炼, VD真空处理装置, 主要产品为无缝圆管坯。

**收稿日期**: 2019－09－16
**作者简介**: 付 岳(1986－), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 工程师, 主要从事连铸工艺的开发及应用工作。

中国知网 https://www.cnki.net

针对优特钢圆坯高温热塑性差和裂纹敏感性强等瓶颈问题，2#连铸机采用高冷却强度、高刚度和高均衡冷却性能的弧形管式圆坯结晶器、双单元同频差幅仿弧液压振动装置、结构优化的铸坯导向段(带气雾冷却喷淋系统)和长矫直区多点矫直带中间托辊布置的拉矫机组，为克服优特钢圆坯连铸表面及内部裂纹难题提供了装备技术保障。

针对圆坯连铸凝固过程内部致密度和成分偏析控制难题，采用钢水低过热度浇铸配合组合式(结晶器及凝固末端)电磁搅拌技术控制铸坯内部质量，进一步提升铸坯洁净度和致密度。2#铸机主要工艺技术参数，见表 1。

**表 1　2#连铸机主要技术参数**

| 项目 | 参数 |
|---|---|
| 机型 | 全弧型连铸机 |
| 浇注规格范围/mm | Φ180 ~ Φ270 |
| 半径/m | 12 |
| 矫直方式 | 多点矫直 |
| 结晶器形式 | 管式、抛物线锥度 |
| 振动形式 | 双单元仿弧液压振动 |
| 铸坯导向段 | 活动段(带气雾喷淋冷却系统) + 固定段 |
| 二次冷却方式 | 气雾、分区独立控制 |
| 电搅方式 | 组合式(结晶器 + 凝固末端) |
| 引锭杆形式 | 挠性、下装、辊道侧面存放 |
| 切割方式 | 火焰切割机 |
| 三电控制系统 | 1 级基础自动化 + 2 级过程控制 |

## 2　Φ245 mm 坯型开发主要内容

### 2.1　Φ245 mm 坯型拉速设计

Φ245 mm 坯型拉速设计过程中，优先考虑整体工序的衔接问题。钢管公司制钢作业区铸机拉钢能力大于转炉冶炼能力，因此根据转炉冶炼周期确定 Φ245 mm 坯型正常拉速。统计不同冶炼难度钢种平均冶炼周期，确定单炉浇钢周期在 30 ~ 55 min，单炉钢水量按照 95 t 计算，计算正常拉速范围为 0.9 ~ 1.7 m/min。

综合考虑铸机开浇结晶器液位稳定性、异常高过热度浇注事故风险性、应急状态下快涨拉速需求、同时兼顾坯型改造成本，Φ245 mm 坯型沿用 2#铸机 Φ230 mm 坯型极值拉速设定，起步拉速 0.6 m/min，最大拉速 2.0 m/min，通过现场实际生产测试，该拉速范围能够满足现场生产需求。

### 2.2　Φ245 mm 坯型结晶器设计

Φ245 mm 坯型采用内表面镀硬铬的 CuAg 合金管式结晶器，足辊为 2 排四面支撑结构，二冷一区采用气雾冷却，三维设计结构见图 1。

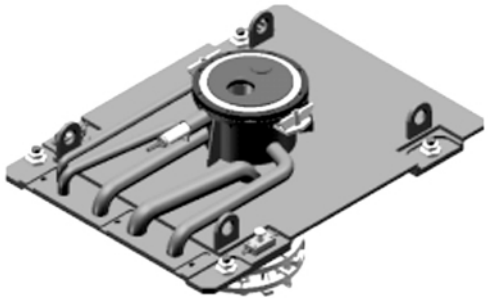


图 1　Φ245 mm 坯型结晶器三维设计结构图

根据圆坯凝固收缩特性，Φ245 mm 坯型结晶器设计特点如下：

(1) 通过对结晶器铜管的温度场进行模拟计算和分析，确定合适的铜管壁厚，使铜管冷热面温度分布合理；

(2) 优化水缝结构和铜管的支撑方式设计，保证水缝的均匀性；

(3) 根据不同钢种的碳含量及凝固特性进行分类，设定不同的冷却水量，结晶器冷却水流速控制在 9 ~ 12 m/s，温差控制在 4 ~ 8 ℃范围内；

(4) 结晶器铜管采用抛物线锥度以更好的适应铸坯的收缩，使铸坯在结晶器内均匀冷却并形成适宜的坯壳厚度；足辊区采用周向四个喷嘴均匀分布且上下排交错布置，避免因冷却不均产生表面纵裂问题。

### 2.3　Φ245 mm 坯型结晶器振动工艺设计

2#铸机结晶器液压振动装置由内、外弧两个独立的振动单元和一个振动底座组成，其振幅设置范围为 ± 7 mm、频率设置 30 ~ 350 次/min、通过设置合适的振频、振幅可控制负滑脱时间、时间负滑脱率及速度负滑脱率等参数，以改善结晶器润滑，提高铸坯表面质量，结晶器液压振动结构及 CAE 分析见图 2。

中国知网　https://www.cnki.net

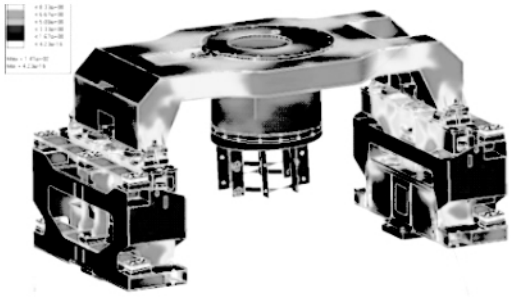


图2 结晶器液压振动结构及CAE分析

通过计算Φ245 mm坯型正常拉速的负滑脱时间、时间负滑脱率及速度负滑脱率等参数，确定Φ245 mm坯型采用正弦振动方式，振幅恒定为±4.5 mm，振频随拉速增加呈线性增加，计算公为：

$$f = K \times v$$

式中：$f$—— 振频，次/min；

$K$— 振动系数，$K = 67$；

$v$— 拉速，m/min。

按公式计算振动频率低于30次/min时，设置基础振动频率恒定为30次/min。

按照设计振动参数模拟计算Φ245 mm坯型1.30 m/min、1.50 m/min、1.70 m/min三种拉速下结晶器振动参数位移曲线，见图3。结晶器振动滑脱时间直接关系到铸坯脱模效果、合理的振痕间距和深度、结晶器保护渣填充效果等各项指标。计算1.30 m/min、1.50 m/min、1.70 m/min三种常规拉速下结晶器振动负滑脱时间分别为0.222 s、0.193 s和0.170 s，在0.13～0.25 s的理论设计要求范围内。通过拉速及实际振动频率计算铸坯振痕间距为14.9 mm，满足铸坯表面质量要求。

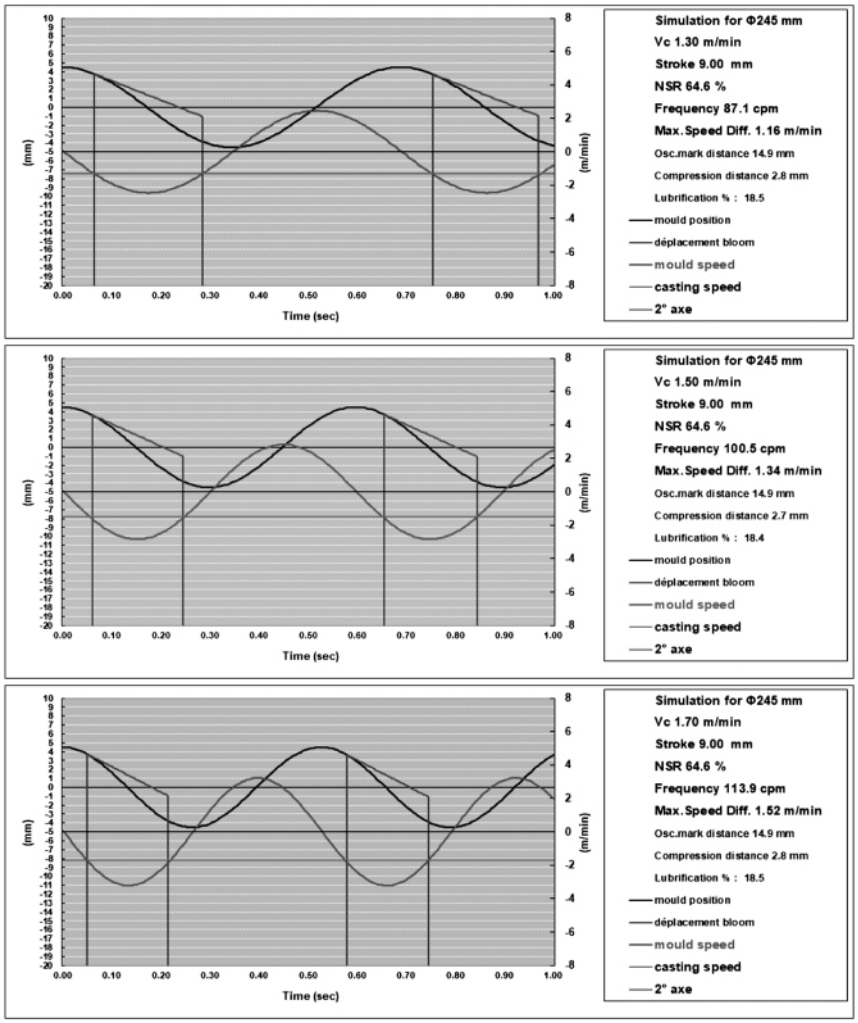



图3 Φ245 mm坯型结晶器三种拉速下结晶器振动参数位移曲线

中国知网 https://www.cnki.net

### 2.4　Φ245 mm 坯型电磁搅拌参数设计

为保证铸坯内部质量，2#铸机配置了结晶器外置电磁搅拌和凝固末端电磁搅拌系统，根据生产的坯型，使用大功率电磁搅拌器，确保产生足够搅拌力和搅拌速度，从而达到最佳的搅拌效果。兼顾其它坯型和改造成本，结晶器及末端电磁搅拌结构及位置不进行调整，试制过程中不同电磁搅拌参数进行控制单一变量对照实验，进行热酸低倍及成分偏析检验，从“中心等轴晶比率”、“铸坯成分偏析情况”、“是否存在白亮带”和“铸坯内部缺陷评级”四个方面评估使用效果，确定最佳参数见表 2。

**表 2　Φ245 mm 坯型电磁搅拌参数设计**

| 类型 | 电流/A | 频率/Hz |
|---|---|---|
| 结晶器电磁搅 | 200 | 3 |
| 凝固末端电磁搅 | 200 | 11 |

### 2.5　Φ245 mm 坯型二次冷却工艺设计

针对连铸圆坯的工艺特点，依据圆坯凝固传热数学模型[1-2]，制定合理的 Φ245 mm 坯型二次冷却工艺，设计计算模型如下：

微分方程：

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rk\frac{\partial T}{\partial r}\right)$$

初始条件：

$$T_{(r,0)} = T_C$$

边界条件：

中心：$\frac{\partial T}{\partial r} = 0$

表面：$-K\frac{\partial T}{\partial r} = q$

根据圆坯凝固传热数学模型对圆坯的二冷系统进行设计，控制铸坯的冷却速度、回温速度以及进入矫直区温度等，同时保证铸坯周向冷却均匀性。二冷区分为 4 个独立的控制回路，分区控制冷却区开闭。

二冷分区全部采用气水雾化冷却，各冷却分区采用特殊的喷嘴布置方式，根据铸坯表面温度要求控制各区冷却强度，以获得最佳的冷却效果，从而很好地保证铸坯质量。设计 Φ245 mm 坯型二次冷却工艺参数见表 3。

**表 3　Φ245 mm 坯型二次冷却工艺参数设计**

| 类别 | 代表钢种 | 比水量/(L·kg$^{-1}$) | 水量分配比 |
|---|---|---|---|
| 低碳普碳类 | 20# | 0.30 | 25∶40∶21∶14 |
| 低碳高 Mn 类 | Q345B(16Mn) | 0.30 | |
| 低碳高 CrMo 合金类 | 12Cr1MoV-1 | 0.30 | |
| 中碳普碳类 | 45# | 0.28 | |
| 中碳高 Mn 类 | 32Mn6 | 0.28 | |
| 中碳高 CrMo 合金类 | 42CrMo | 0.28 | |
| 高碳高 CrMo 合金类 | GCr15 | 0.25 | |

### 2.6　Φ245 mm 坯型铸坯连续矫直工艺设计

2#铸机采用多点矫直技术，设计选取长矫直区，4 台拉矫机带托辊实现多点矫直，有效地降低铸坯在矫直区产生的表面变形率和两项区的界面变形率。Φ245 mm 坯型设计 1-4 架拉矫机热坯压力分别为 0.85 MPa、0.1 MPa、1.47 MPa 和 1.47 MPa。通过计算表明，该设定参数铸坯表面和两相区的最大变形率均不超过 0.9% 和 0.08%，远远低于产生裂纹的临界值[3-5]。实际测量 Φ245 mm 坯型铸坯椭圆度，偏差控制在 2~3 mm 范围，达到较好水平。

## 3　Φ245 mm 坯型批量生产情况

在 Φ245 mm 坯型生产过程中，选取不同成分特点代表钢种进行 20 炉钢低倍热酸检验，按照 YB/T 4149-2006连铸圆管坯低倍组织缺陷评级图标准进行评级，各项铸坯缺陷评级均为 0~1 级，评级结果及低倍照片见表 4 及图 4。实验结果表明，铸坯内外部质量良好。

中国知网　https://www.cnki.net

表4 Φ245 mm坯型低倍热酸检验结果

| 熔炼号 | 钢种 | 中心疏松 | 缩孔 | 中心裂纹 | 中间裂纹 | 皮下裂纹 | 皮下气泡 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19707228 | 20# | 1 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 19707229 | 20# | 0.5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19607598 | 20G | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 |
| 19607599 | 20G | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 19707248 | BTLB-1 | 1 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 19607577 | BTLB-1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19707252 | 15CrMo-1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19707253 | 15CrMo-1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 19607617 | 34Mn6 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19607618 | 34Mn6 | 1 | 1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 19607633 | 16MnTi-1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 19607635 | 16MnTi-1 | 1 | 1 | 0 | 0.5 | 0 | 0 |
| 19707294 | 16MnTiRE-1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19607636 | 16MnTiRE-1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19607637 | 30MnCr22 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19607638 | 30MnCr22 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19607700 | B2-1 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 19607702 | B2-1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19607715 | GN-2A-1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 19607716 | GN-2A-1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |

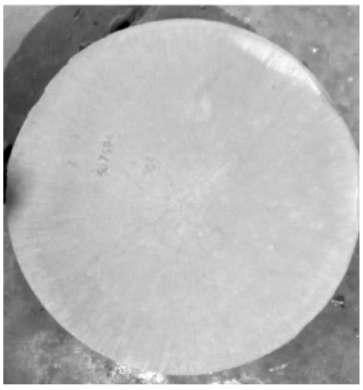


图4 Φ245 mm坯型热酸低倍照片

2019年5月Φ245 mm坯型首次进行全流批量生产,合计生产28炉钢,产量2 757.97 t;2019年10月生产220炉钢,产量2.12万t;两次生产涵盖20#、BTLB-1、34Mn6、16MnTi-1等15个不同类型钢种,轧制成材率达到91.11%以上,指标获得明显提升。

## 4 结束语

生产实践表明,包钢钢管公司2#铸机Φ245 mm坯型开发达到预期目标,连铸坯质量完全满足YB/T 4149-2006连铸圆管标准和轧制要求。Φ245 mm坯型的开发成功对于包钢钢管公司钢轧一体成本控制、质量提升、产品开发等都具有重大意义,为其他坯型开发积累了宝贵的经验,奠定了坚实的基础。

## 参 考 文 献

[1] 曾智,韩占光,李景,等.大圆坯连铸二冷配水设计模型的开发[J].特殊钢,2011,32(3):2.

[2] 唐海燕,李京社,韩丽敏,等.圆坯连铸凝固传热数学模型及应用[J].特殊钢,2009,30(4):5.

[3] 王朕增.液芯连铸坯矫直内裂分析[J].钢铁研究学报,1990,2(2):9.

[4] 唐光普,张培源.带液芯矫直连铸机二冷矫直段的设计原理[J].钢铁研究学报,2000,12(9):41.

[5] 郭春,岳峰,孙涛,等.大圆坯连铸传热数学模拟[J].连铸,2016,(1):35.

中国知网 https://www.cnki.net