

大断面圆坯连铸温度场的数值模拟

杨秀勤 宋小雷

(武汉大西洋连铸设备工程有限责任公司, 武汉 430023)

摘要 通过大型通用有限元软件 ANSYS 建立铸坯凝固过程有限元仿真分析模型, 在拉速 0.25 ~ 0.35 m/min, 钢水过热度 20 °C 的条件下, 对 20 钢 $\Phi 600$ mm 和 40Cr 钢 $\Phi 500$ mm 圆坯连铸过程进行了计算和分析, 得出距液面 0 ~ 32 m 时铸坯表面温度变化曲线。计算结果表明, 当 20 钢 $\Phi 600$ mm 圆坯的拉速为 0.3 m/min 时, 结晶器出口坯壳厚度为 30.9 mm, 结晶器出口铸坯温度为 1 050 °C, 二冷区表面最低温度 978 °C 铸坯在距液面 19.71 mm 处完全凝固。 $\Phi 600$ mm 圆坯连铸机 20 钢生产实践表明, 拉速 0.25 m/min, 结晶器出口铸坯表面温度为 1 048 °C, 二冷区表面最低温度为 918 °C, 与模拟结果相似。

关键词 大圆坯 连铸 温度场 数值模拟

Numerical Simulation on Temperature Field of Casting Large-Size Round Bloom

Yang Xiuqin and Song Xiaolei

(Wuhan Atlantic Continuous Casting Equipment Co Ltd, Wuhan 430023)

Abstract The finite element simulation analysis model has been established by using full-scale general finite element software ANSYS, and the calculation and analysis on casting process of 0.20C steel $\Phi 600$ mm round bloom and 40Cr steel $\Phi 500$ mm round bloom with casting rate 0.25 ~ 0.35 m/min and liquid overheating extent 20 °C has been carried out to get the curves of round bloom surface temperature changing at distance 0 ~ 32 m from liquid surface in casting process. Calculation results show that as the casting rate of 0.20C steel $\Phi 600$ mm round bloom is 0.3 m/min, the thickness of bloom shell at outlet of mold is 30.9 mm, the bloom surface temperature at outlet of mold is 1 050 °C and the lowest temperature of surface at secondary cooling zone is 978 °C, the casting bloom solidifies in full at the distance 19.71 m from liquid surface. The production practice by $\Phi 600$ mm round bloom caster casting 0.20C steel show that with casting rate 0.25 m/min, the surface temperature of casting bloom at outlet of mold is 1 048 °C and the lowest surface temperature of bloom in secondary cooling zone is 918 °C that are similar to simulated results.

Material Index large-Size Round Bloom, Continuous Casting, Temperature Field, Numerical Simulation

近年来,我国圆坯连铸市场发展迅速,而且有不间断向大断面连铸方向快速发展的趋势。虽然我国目前已有不少台 $\geq \Phi 400$ mm、甚至 $\Phi 800$ mm断面的连铸机,但大多还停留在低拉速状态下运行,为了在适当提高拉速的同时,仍能保证铸坯质量,对大断面圆坯连铸凝固过程进行研究十分必要。

1 研究内容

针对大西洋工程有限责任公司大圆坯连铸项目,对各断面、不同钢种连铸凝固过程进行了仿真计算,研究了铸坯凝固过程温度及坯壳厚度的变化及液芯长度,以求寻得最佳连铸工艺参数,为设备设计和现场连铸提供理论依据。

弧形连铸机半径为 15 m,仿真计算规格和钢种分别为 $\Phi 600$ mm 断面 20 钢及 $\Phi 500$ mm 断面 40Cr 钢,计算拉速分别为 0.3、0.35 m/min,钢水过热度均取 20 °C。

2 连铸过程计算机仿真研究

2.1 模型的建立及分析思路

仿真分析利用大型通用有限元软件 ANSYS 来进行,分析时忽略铸坯前进方向的相互传热而以二维模型来模拟,并根据截面对称性取 1/4 截面建模。凝固过程钢的热物理性能参数及凝固潜热可从手册查取^[1],钢水的密度按 7 400 kg/m³ 计算。

另外,分析时忽略二冷区铸坯表面温度的波动。铸坯表面换热边界条件用等效换热系数^[2-3]来考虑,并根据试算结果与大量现场实践结果的比较来调整等效换热系数的大小,以保证仿真分析结果与实际情况相符。

2.2 仿真结果分析

2.2.1 $\Phi 600$ mm 圆铸坯计算结果

铸坯典型截面温度分布如图 1 所示。由图 1 可见, $\Phi 600$ mm 铸坯凝固过程中坯壳厚度沿圆周均匀生长,坯壳厚度均匀,随着铸坯的不断前进,圆形液

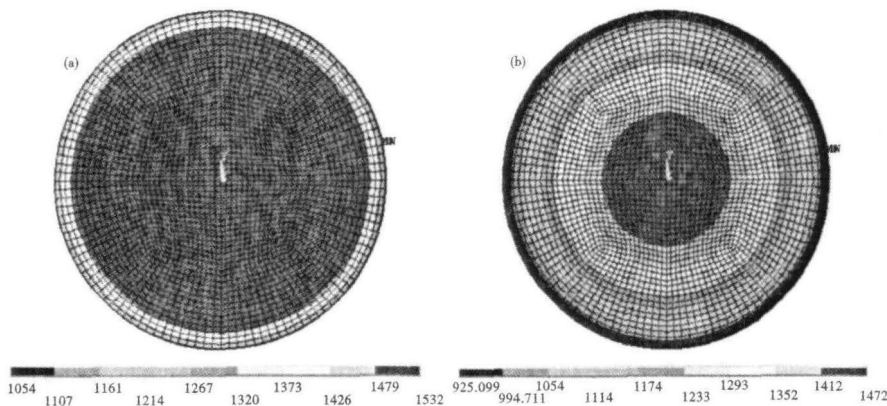


图 1 Φ600 mm 圆铸坯典型截面温度场:(a)结晶器出口;(b)凝固结束

Fig. 1 Typical section temperature field of Φ600 mm round bloom: (a) outlet of mold; (b) solidification finishing

区,铸坯表面温度稳定下降,坯壳厚度稳定增长;铸坯进入空冷时,表面温度有一定回升,温度回升速度小于 60 °C/m,之后呈稳定下降趋势直至最后凝固。空冷区表面最低温度为 920 °C。

2.2.2 Φ500 mm 圆铸坯计算结果

铸坯典型截面温度分布如图 3 所示。可见 Φ500 mm 铸坯凝固过程中坯壳厚度生长规律与 Φ600 mm 圆铸坯相似,结

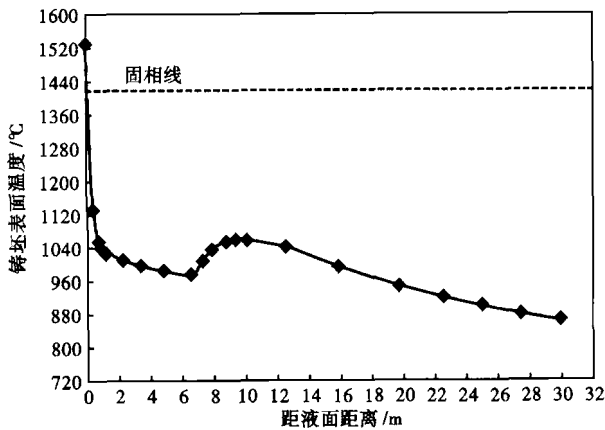


图 2 Φ600 mm 铸坯表面温度变化曲线

Fig. 2 Change curve of surface temperature of Φ600 mm round bloom

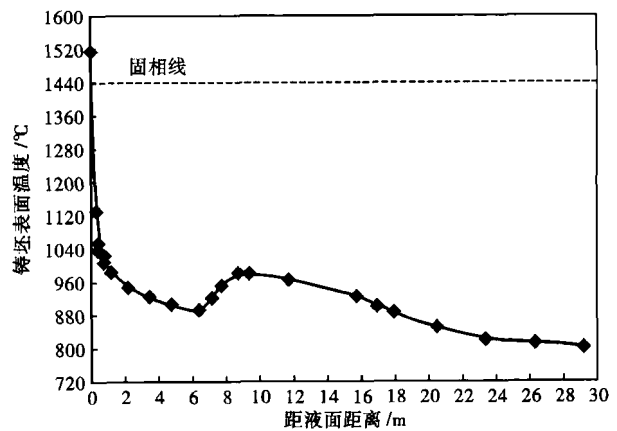


图 4 Φ500 mm 铸坯表面温度变化曲线

Fig. 4 Change curve of surface temperature of Φ500 mm round bloom

芯形状不断变小直至凝固终点,结晶器出口铸坯表面温度为 1 058 °C,二冷区表面最低温度为 978 °C。

铸坯表面温度变化规律如图 2 所示。可见,铸坯表面温度随时间呈近似抛物线分布,结晶器内表面温度快速下降,初始坯壳快速形成;在二冷喷水

晶器出口铸坯表面平均温度为 992 °C,二冷区表面最低温度为 916 °C。

铸坯表面温度变化规律如图 4 所示。可见,Φ500 mm 铸坯表面温度随时间变化规律与 Φ600

mm 圆铸坯相似,只是由于钢种与断面不同,温度值大小不同。铸坯进入空冷时,表面温度回升速度小于 56 °C/m,空冷区表面最低温度为 890 °C。

2.2.3 计算结果与实践生产的比较

根据大西洋公司设计的芜湖新兴铸管 Φ600 mm 圆坯连铸机生产实践表明,20 钢在拉速 0.25 m/min 时,结晶器出口坯壳厚度约为 34.6 mm,结晶

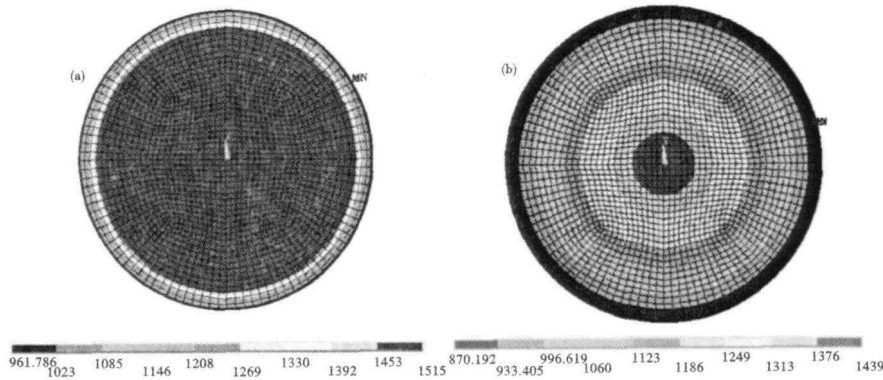


图 3 Φ500 mm 铸坯典型截面温度场:(a)结晶器出口;(b)凝固结束

Fig. 3 Typical section temperature field of Φ500 mm round bloom: (a) outlet of mold; (b) solidification finishing

器出口铸坯表面温度为1 048 ℃,二冷区表面最低温度约为 918 ℃。可见,现场生产时的结果与 Φ600 mm 圆铸坯仿真结果相似,只是由于仿真拉速较现场适当提高,所以同一截面处温度值大于现场测量数值,坯壳厚度小于现场实际值,假设现场拉速提高,其实际结果与仿真结果是相近的,故仿真计算结果是可信的。

3 计算结果综合分析

从前面的计算分析可知,浇铸 Φ600 mm 圆 20 钢,拉速为 0.3 m/min 时,结晶器出口坯壳厚度为 30.9 mm,铸坯在距液面 19.71 m 左右处完全凝固;浇铸 Φ500 mm 圆 40Cr 钢,拉速为 0.35 m/min 时,结晶器出口坯壳厚度为 29.6 mm,铸坯在距液面 17.92 m 左右处完全凝固。由此可见,由于多断面、多钢种共用 1 台铸机,铸坯凝固末端的位置在一个较大的位置区,故设计末端电缆装置时,设备位置应布置在对应断面及钢种铸坯完全凝固前的某一位置区。

通过不同断面铸坯表面温度变化曲线可知,坯壳厚度的增长可以分为 3 个典型阶段^[4]:

- (1) 结晶器内初始坯壳快速形成阶段;
- (2) 二冷区坯壳稳定增长阶段(近似抛物线);
- (3) 凝固最后阶段的快速增长阶段。

在所有试验工况条件下,铸坯在二冷区及空冷区的温度梯度均不大,二冷区表面温度冷却速度小于 100 ℃/m,空冷区回温小于 60 ℃/m,完全满足铸坯质量要求。在铸坯连续矫直区,铸坯表面最低温

度均较低,为 900 ℃左右,尤其是浇铸 40Cr 钢时,在矫直区末端,表面温度最低值达到 820 ℃,为有效避免矫直裂纹的产生,建议在空冷区采取保温措施。

4 结论

(1) 建立了典型钢种大圆断面铸坯凝固过程计算机仿真分析模型。

(2) 通过铸坯凝固过程仿真计算获得了铸坯表面温度分布场及坯壳厚度变化规律。

(3) 在工艺控制拉速条件下,结晶出口坯壳厚度均在 29 mm 以上。

(4) 计算得出了不同断面铸坯最后凝固点位置,为末端电缆装置的设计提供了理论参考数据,生产实践数据与仿真结果一致。

(5) 建议空冷区采取保温措施,可有效避免铸坯表面矫直裂纹的产生。

参考文献

- 1 陈家祥. 连续铸钢手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1991
- 2 曹晓兵,梁爱生. 连铸机二冷区传热系数的研究[J]. 太原重型机械学院学报,1999,20(4):289-294.
- 3 张克强,白学军,杜得宝. 连铸二冷区铸坯表面温度及配水研究[J]. 钢铁,2000,35(增刊):288-290.
- 4 吴迪平,秦勤,藏勇,等. 合金钢方坯连铸铸坯表面温度测试研究[C]. 中国钢铁年会论文集,北京,2003

杨秀勤(1984-),男,2007年北京科技大学毕业,连铸机的技术开发和设计。

收稿日期:2012-03-20

下 期 要 目

真空感应炉熔炼合金钢时用氮化物增氮的试验研究	岳江波等
100 t 单咀真空精炼炉底吹位置的优化	张利君等
连铸结晶器内无氟含钛保护渣固态渣膜再结晶研究	苗胜田等
电渣液态浇注新工艺制备高质量低成本复合轧辊	李万明等
薄板厂 210 t RH 脱气工艺研究	陈爱梅
振动激发金属液形核技术在铸锭和板坯凝固过程中的应用	陶红标等
大轴重铁路货车车轴用新型 LZ45CrV 钢坯的开发	周立新等
济钢 1 750 m ³ 高炉高 Al ₂ O ₃ 炉渣性能研究与冶炼实践	李荣等
减少 A36 含硼钢板坯角部横裂纹的工艺实践	于学森等
Ti-Nb 微合金化对低碳高强度钢组织和性能的影响	甘晓龙等
海洋石油平台用 H 型钢 0.11C-0.25Si-1.50Mn-0.038Nb 连续冷却转变曲线	朱敏等