

(15)407-410

方坯结晶器铜管三维温度场与热应力的分析*

赵巍 刘海啸

(鞍山钢铁学院材料科学与工程系, 鞍山 114002)

田勇

(鞍山钢铁公司第一炼钢厂, 鞍山 114000)

摘 要 在对小方坯结晶器铜管内热流传递理论分析的基础上, 研究了钢坯及结晶器内温度的传递规律; 利用有限元法对结晶器铜管的温度场及热应力场进行了系统研究, 并对不同拉速、冷却强度及设计锥度的条件下铜管的温度场和热应力场进行了研究, 提出了预应力结晶器设计的理论基础。提高连铸机的拉速及改善连铸坯的质量, 为实际生产提供了一定的理论指导。

关键词 有限元, 温度场, 应力场, 优化设计

中图分类号 TG249.7

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2000)04-0407-04

结晶器

小方坯连铸

TF341.6

ANALYSIS ON 3-D TEMPERATURE FIELD AND THERMAL STRESS FIELD IN Cu PIPE BILLET MOULD

ZHAO Wei, LIU Haixiao

Department of Material Science and Engineering, Anshan Institute of Iron and Steel Technology, Anshan 114002

TIAN Yong

No.1 Plant, Anshan Iron and Steel Company, Anshan 114000

Correspondent: ZHAO Wei, lecturer, Tel: (0412)5597442, E-mail: yjx@public2.asptt.ln.cn

Manuscript received 2000-01-25, in revised form 2000-02-20

TF777.3

ABSTRACT Based on the theoretical analysis of heat transfer of billet copper-pipe, the rule of heat transfer in the billet and copper-pipe has been explored. The copper-pipes temperature field and heat stress field have been studied systematically with FEM. The copper-pipe temperature field and heat stress field have been analyzed under different conditions of the casting speed, the cooling strength and the designed wimble. A theory has been put forward on which the design of beforehand-stress crystal-impliment is based, and which is applied to guide for practice.

KEY WORDS FEM, temperature-field, stress-field, optimized design

连铸技术是现代炼钢生产过程中重要的成型技术, 而结晶器是连铸机的核心, 在连铸生产过程中, 结晶器具有合适的温度场及均匀的热应力场, 则是提高连铸机的产量、改善铸坯的质量、延长结晶器的寿命的有效手段之一^[1]。

目前, 国外连铸机的拉速已高达 7 m/s 以上, 同时适应连铸坯变形规律的自适应结晶器亦已应用于生产实践。而我国的连铸技术起步较晚, 技术相对较为落后, 本工作采用理论与实践相结合的方法, 研究了结晶器在使用过程中的温度场、热应力场及热变形, 为改进连铸生产提供了合理的工艺参数, 对结晶器的优化设计具有重要的实际意义。

1 实验方法

研究连铸及结晶器温度场, 前人多采用有限差分法将连铸过程简化为二维问题, 将弧形结晶器当作直形结晶器进行讨论^[2-4], 为避免因上述简化而造成的误差, 本文采用了数学模型、有限元计算与实测相结合的方法, 运用有限元软件包-SUPERSAP 对结晶器三维温度场及热应力应变进行了研究, 利用前人的实测温度场数据对模型进行修正^[5-8], 将应力场计算结果与热光弹实验的结果进行比较, 对模型的可行性进行了验证, 并在此基础上分析了结晶器锥度、冷却水流量等诸因素对结晶器的温度及变形的影响, 为结晶器的优化设计提供了基础。

研究的对象为弧形管式结晶器, 半径为 5.25 m, 断面为 115—136 mm, 结晶器长度为 700—1000 mm, 铜管壁厚度为 10 mm, 内壁镀铬层为 0.06—0.08 mm, 水流速度为 6—15 m/s, 拉速为 1.5—4.5 m/min, 结晶器上端受限, 下端允许膨胀, 在有限元分析中将铜壁及镀层按

* 收到初稿日期: 2000-01-25, 收到修改稿日期: 2000-02-20

作者简介: 赵巍, 女, 1968 年生, 讲师, 硕士

不同材质的复合壁进行了研究.

2 计算结果分析

2.1 温度场

由计算结果可以看出, 在连铸拉坯过程中, 结晶器铜管最高温度出现在内弧热面距弯月面 100 mm 处, 温度可达 190 ℃ 左右 (图 1a), 最低温度出现在下端面附近的外弧外壁, 与冷却水接触角部处, 温度在 35 ℃ 左右 (图 1b).

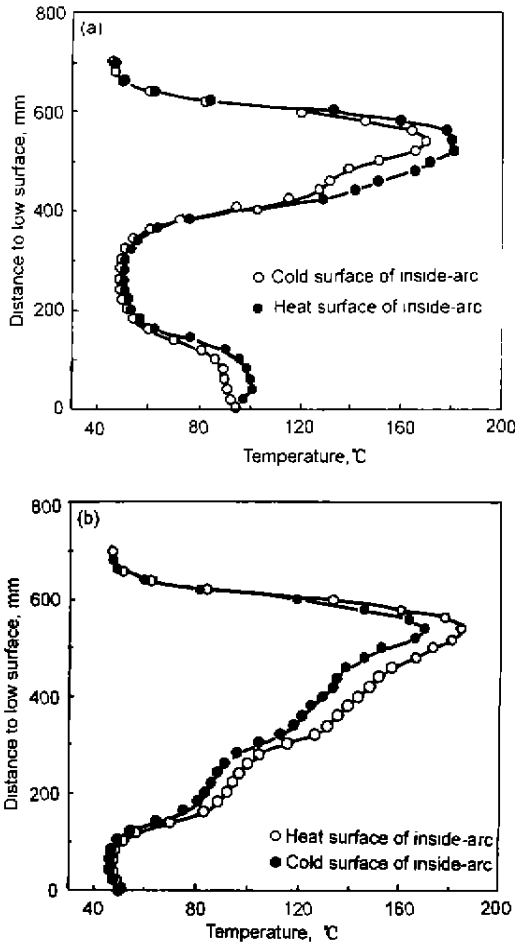


图 1 内弧及外弧外热面、冷面的温度曲线

Fig.1 The temperature curves of the heat surface and cold surface

(a) inside-arc (b) outside-arc

图 2 为铜管的三维温度场云图 (图的下部为结晶器上部). 由图可见, 沿高度方向, 距上表面 100—200 mm 这段距离内, 铜管温度显著升高, 这主要是由于坯壳很薄, 坯壳与铜管接触紧密, 形成的断续气隙基本可以忽略, 而从下向上流动的冷却水到达顶部时温度略有升高. 从 200 mm 往下温度开始降低, 尤其是 350 mm 以下, 温度显著降低. 这是因为从 350 mm 处气隙开始稳定形成, 由于气隙热阻很大, 使钢水凝固时的潜热和显热很难传出,

而冷却水的冷却强度却比上部的大, 使传出的热量被及时带走, 所以温度沿结晶器高度方向显著降低. 在结晶器上部, 铜管角部的温度要大于铜管表面温度 (图 3a), 这主要是由于角部的传热是沿两个方向进行的, 而表面的传热是沿一个方向进行的. 在结晶器下部, 铜管角部温度要低于铜管表面温度, 这是因为上部角部导热快, 使坯壳的收缩量增大, 坯壳首先在角部形成气隙, 然后气隙逐渐向中心扩散, 气隙形成后结晶器热阻增大, 传出的热量减少, 故下部铜管角部温度要低于表面温度.

内外壁最大温差出现在角部附近距上表面 200 mm 处, 这是由于铜管与钢坯的传热, 在 100—200 mm 范围内使铜管内壁温度迅速达到最大值, 而外壁由于受冷却水

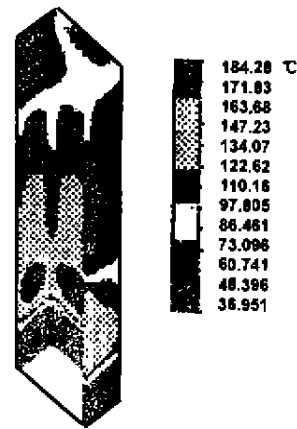
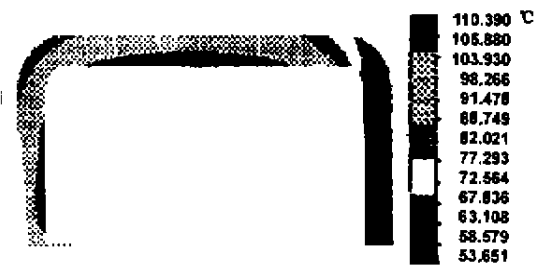


图 2 铜管三维温度场云图

Fig.2 The picture of copper-pipe 3-D temperature field



(a)



(b)

图 3 距铜管上表面 500 及 200 mm 处横截面温度场云图

Fig.3 The pictures of copper-pipe cross temperature field 500 mm (a) and 200 mm (b) apart from upper surface

的强制冷却, 虽然温度也升至最大值, 但上升的速度比内壁慢 (图 3b).

因此, 从温度场的角度来看, 优化设计结晶器结构的准则可归纳为: 增加上部的冷却强度, 以强化上部的传热; 设计合理的内腔形状, 以改善纵向和周向的气隙的形成; 采用合适的手段减轻弯月面波动对初生坯壳的影响.

2.2 应力场

由图 4—6 分析可知, 沿铜管周向热应力最大值出现在铜管的铜壁中心附近, 而内外壁的热应力差值的最大值

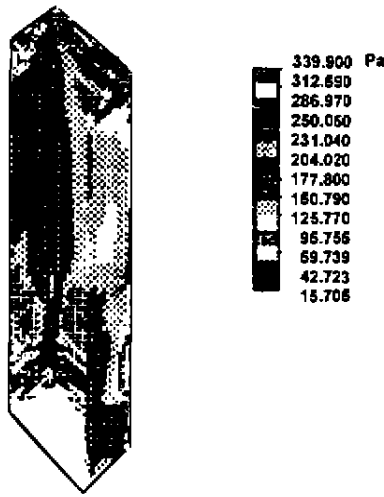
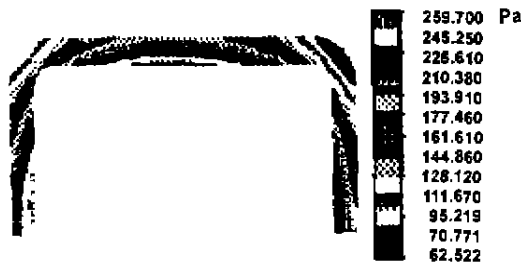


图 4 铜管三维热应力场云图

Fig.4 The picture of copper-pipe 3-D heat stress field



(a)



(b)

图 5 距铜管上表面 500 和 200 mm 处横截面应力场云图

Fig.5 The pictures of copper-pipe cross section stress field upper surface 500 mm (a) and 200 mm (b)

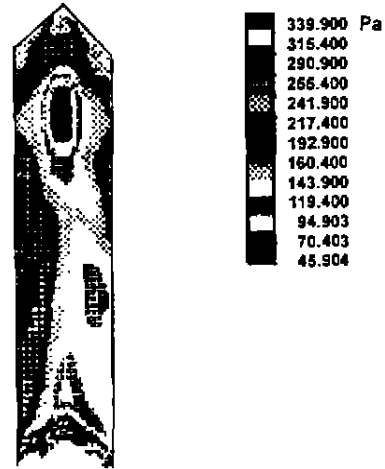


图 6 内弧侧 1/4 铜管的三维热应力场云图

Fig.6 The picture of quarter copper-pipe 3-D stress field inner arc

出现在角部. 沿结晶器高度方向上 (图 4,6 的下部为结晶器的上部) 热应力和热应力差值的最大值均出现在距离弯月面 100 mm 附近处, 根据结晶器的散热特点及型腔结构, 铜管产生的热应力表现在内弧为压应力, 外弧为拉应力, 且拉应力普遍大于压应力, 不会因为内弧产生变形而报废.

3 优化设计

研究了常规生产的结晶器及不同锥度结晶器内铜管的温度场及热应力场, 以外壁温度最低、应力分布均匀、热变形最小为原则, 对结晶器的优化设计提出了以下几点看法:

(1) 结晶器的温度分布在纵向上具有较大的波动, 上部温度高, 而下部温度较低, 采用传统的自下而上的冷却方式无法消除这种冷却效果, 势必使结晶器上、下部的温度分布不均, 而造成上、下部的应力分布不均匀, 从而引起结晶器长期使用时的疲劳, 缩短其寿命. 因此建议依据结晶器的温度分布, 在结晶器的上、下部采用不同的冷却方式和强度.

(2) 由于温度场的分布不均匀而引起结晶器双锥度的形成, 这对结晶器的寿命及拉坯速度的提高都极为不利, 前人为了消除结晶器内的这种变形, 一般将结晶器设计为双锥度或多锥度, 但同时又增大了结晶器与铸坯之间的气隙, 减弱了结晶器的冷却强度, 故本文作者倾向于单锥度的设计, 并依据钢锭模的均衡模设计思想, 沿纵向将结晶器的壁厚按其不同受热情况进行合理的分布, 以消除结晶器在钢液弯月面附近的变形, 以减小气隙, 提高冷却强度.

(3) 结晶器应具有较强的冷却强度, 传统的结晶器冷却理论认为, 结晶器的冷却水的流速不应该大于 12 m/s, 当大于此值时, 增大水的流速对结晶器的传热系数影响不

大. 但意大利 Danieli 公司的研究表明, 采用适当的结晶器设计, 冷却水的流速可大于 15 m/s. 因此, 在新型结晶器的设计时可在水缝设计得更小, 使水缝内冷却水的流速在 12—16 m/s 之间, 以增大冷却水的压力, 适当提高冷却水的温度, 可大幅度的提高冷却强度, 同时冷却水的用量亦减少一半.

(4) 增加结晶器的长度可适当提高铸坯的拉速, 结晶器的长度似介于 700—1200 mm 之间为宜.

(5) 铸速越高, 结晶器内的紊流越大, 紊流越大, 易引起钢水与覆盖渣界面的波动, 促使坯壳内夹杂物和气泡增多, 引起钢水与坯壳的直接接触, 导致坯壳的再熔化, 从而产生薄弱点.

4 结论

(1) 小方坯结晶器的铜壁无论纵向还是横向上的温度和应力分布都不均匀, 距上表面 200 和 500 mm 处的温度和应力值都较高, 整个结晶器有复锥度变形, 内弧与外弧的温度、应力及变形也不同, 故不能一概将弧形结晶器简化为直型结晶器进行研究.

(2) 正常生产条件下, 结晶器的热面温度低于铜的再结晶温度 (320 ℃), 热变形处于正常范围内, 在现有的拉速及生产条件下该结晶器的设计是合理的.

(3) 结晶器铜管采用不均匀壁厚后, 冷却水水压采用较高值时, 可以使结晶器与铸坯收缩相适应, 可以采用较高的水温而无水沸腾的现象.

(4) 高的冷却水水压可获得较高的冷却强度. 当结晶器水的流速达到 15 m/s 时, 采用新型结晶器设计可以获得更高的传热系数.

(5) 采用较小的水缝, 可降低结晶器的温度, 优化温度场. 适当增厚两个高温区的镀层厚度, 可提高结晶器的强度, 进而延长结晶器的寿命.

(6) 增大结晶器与冷却水的接触面积, 有利于结晶器的散热.

参考文献

- [1] Bakshi I A, Brendzy J L, Walker N, Chandra S, Samarasekera I V, Brimacombe J K. *Ironmaking Steelmaking*, 1993; 20: 54, 104
- [2] Mahapatra R B, Brimacombe J K, Samarasekera I V, Walker N, Paterson E A, Young J D. *Metal Trans*, 1991; 22B: 861
- [3] Brimacombe J K. *Steelmaking Conf Proc*, 1993; 76: 3
- [4] Samarasekera I V, Brimacombe J K. *Ironmaking Steelmaking*, 1982; 9: 1
- [5] Miyashita Y, Suzuki M, Taguchi K, Uchida S, Sato H, Yamamura M. *Nippon Kokan Technol Rep*, 1982; (93): 56 (宫下芳雄, 铃木幹雄, 田口喜代美, 内田繁孝, 佐藤秀树, 山村 稔. 日本钢管技报, 1982; (93): 56)
- [6] Samarasekera I V, Anderson D L, Brimacombe J K. *Metal Trans*, 1982; 13B: 91
- [7] Brimacombe J K, Samarasekera I V, Bommaraju R. *Steelmaking Conf Proc*, 1986; 69: 405
- [8] Samarasekera I V, Brimacombe J K. *Steelmaking Conf Proc*, 1991; 74: 91