

基于有限元法对 GCr15 轴承钢 280 mm × 325 mm 铸坯凝固组织的模拟与分析

党爱国^{1,2} 崔娟^{1,2} 李永超^{1,2} 冯艳^{1,2}

(1 邢台钢铁有限责任公司, 邢台 054027; 2 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027)

摘要 基于有限元法按照二维凝固传热模型对拉速 0.6 m/min 和 0.5 m/min, 钢水过热度 30 °C 和 10 °C 以及比水量 0.25 L/kg 和 0.20 L/kg 连铸的 GCr15 轴承钢 280 mm × 325 mm 坯进行凝固组织模拟, 研究连铸工艺参数对铸坯组织的影响。结果表明, 当过热度由 10 °C 增大到 30 °C 时, 铸坯等轴晶和混晶区域面积由 70% 降低到 55%, 过热度对铸坯凝固组织的影响非常显著; 拉速由 0.6 m/min 降低到 0.5 m/min, 柱状晶平均增长 6.5 mm, 但是由柱状晶向等轴晶转变的过渡区域减小, 可以减轻溶质元素在此区域的富集; 将比水量由 0.25 L/kg 降低到 0.20 L/kg, 铸坯柱状晶和等轴晶区域没有明显的区别, 所以降低比水量对铸坯凝固组织没有明显的影响。

关键词 GCr15 轴承钢 280 mm × 325 mm 坯连铸 凝固组织 偏析 数值模拟

Simulation and Analysis on Solidification Structure of GCr15 Bearing Steel 280 mm × 325 mm Casting Bloom based on Finite Element Method

Dang Aiguo^{1,2}, Cui Juan^{1,2}, Li Yongchao^{1,2} and Feng Yan^{1,2}

(1 Xingtai Iron and Steel Corp Ltd, Xingtai 054027; 2 Hebei Wire Engineering Technical Research Center, Xingtai 054027)

Abstract Based on the finite element method according to two dimensional solidification heat transfer model, the simulation of solidification structure of 280 mm × 325 mm bloom of GCr15 bearing steel casting with casting speed 0.6 m/min and 0.5 m/min, liquid superheated extent 30 °C and 10 °C, and secondary cooling water rate 0.25 L/kg and 0.20 L/kg has been carried out to study the effect of casting process parameters on structure of bloom. Results show that with increasing the liquid superheated extent from 10 °C to 30 °C, the equiaxial crystal zone and mixed crystal zone decreases from 70% to 55%, so the effect of superheated extent on bloom solidification structure is very obvious; with decreasing the casting speed from 0.6 m/min to 0.5 m/min the average length of columnar crystal grows by 6.5 mm, but the transition zone from columnar crystal to equiaxial crystal decreases, it is available to reduce the enrichment of solute elements in the zone; with decreasing the secondary cooling water rate from 0.25 L/kg to 0.20 L/kg, there is no obvious difference in columnar crystal and equiaxial crystal zone, therefore there is no obvious effect of decreasing secondary water rate on solidification of structure in casting bloom.

Material Index GCr15 Bearing Steel, 280 mm × 325 mm Bloom Casting, Solidification Structure, Segregation, Numerical Simulation

对于高碳轴承钢而言, 绝大多数研究者支持以下结论: 采用“三低”工艺(低拉速、低过热度和弱冷)是解决铸坯宏观偏析的基本思路^[1]。但是由于不同连铸机的设计参数不同(如冷却区段数量和长度、二冷配水方式和连铸机弧半径不同等), 不同的工艺参数对铸坯宏观偏析的影响有很大偏差。

按照“三低”的基本思路进行前期现场试验, 但是铸坯低倍组织未见有明显好转。按照 GCr15 轴承钢(GB/T18254-2002)标准连铸生产过程的基本工艺参数(铸坯尺寸 280 mm × 325 mm), 模拟分析降低拉速、过热度和冷却水量对铸坯凝固组织的影响, 以利于制定合理的工艺参数。本文以蒙特卡罗法为基础, 建立了铸坯凝固组织仿真的计算机模型,

进行铸坯凝固组织分析

1 数值模拟方法及相关参数

1.1 连铸坯凝固传热模型

本文按照二维凝固传热模型进行计算, 其模型图如图 1 所示。

假设铸坯的表面冷却均匀, 根据对称性, 只需计算横断面上铸坯宽度和厚度方向各一半即 1/4 区域即可, 如图 1 所示, 其它部分根据对称性可求得。以铸坯角部为原点、铸坯宽度方向为 X 轴、铸坯厚度方向为 Y 轴建立坐标系, 将计算区域划分网格, X 方向的节点数为 N_x , Y 方向的节点数为 N_y 。

二维的传热方程与连铸过程的传热边界条件一起构成连铸坯凝固传热的数学模型, 传热方程为

当其他条件一定的情况下,为了分辨不同水量情况下铸坯凝固组织的生长状况,分别计算两种配水状态下(比水量由 0.25 L/kg降低到 0.20 L/kg)铸坯的凝固组织,其结果如图 5(a,b)所示。由图 5(a,b)可得,当比水量由 0.25 L/kg降低到 0.20 L/kg后,其凝固组织变化非常小,没有明显的变化,当放大到原始尺寸后对比发现计算结果没有明显区别。

3 结论

(1)当过热度为 10 ℃时,铸坯等轴晶和混晶区域面积达到 70%左右,当过热度为 30 ℃时,铸坯等轴晶和混晶区域面积达到 55%左右,过热度对铸坯凝固组织的影响非常大。

(2)拉速为 0.6 m/min时,铸坯柱状晶长度参差不齐,柱状晶到等轴晶的过渡区域较大,当降低拉速到 0.5 m/min后,铸坯柱状晶长度较均匀,拉速由 0.6 m/min降低到 0.5 m/min,柱状晶平均增长 6.5 mm,但是由柱状晶向等轴晶转变的过渡区域减小,可以减轻溶质元素在此区域的富集。

(3)将比水量由 0.25 L/kg降低到 0.20 L/kg后,铸坯柱状晶和等轴晶区域没有明显的区别,这与连铸机水量分配有关,因此,降低比水量对铸坯凝固组织没有明显影响。

参考文献

[1] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.

[2] Nastac L, Stefanescu D M. Stochastic Modelling of Micro-Structure Formation in Solidification Processes [J]. Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, 1997, 5(4): 391-395.

[3] 胡坤太,仇圣桃,张 慧,等. 用蒙特卡罗法模拟连铸坯的凝固组织[J]. 钢铁研究学报, 2004, 16(2): 27-30.

[4] 李道明,罗衍昭,王顺玺. 基于元胞自动机有限元法对方坯凝固组织的数值模拟[J]. 钢铁研究学报, 2012, 24(12): 17-19.

[5] 侯卫周,曹新国,徐 宏. 铸件凝固过程微观组织模拟研究状况

[J]. 铸造, 2006, 55(10): 1047-1050.

党爱国(1984-),男,硕士,工程师,辽宁科技大学(本科)毕业,冶金工艺和材料加工成形过程的数值模拟研究。

E-mail: dangaiquo@163.com

收稿日期:2016-05-23

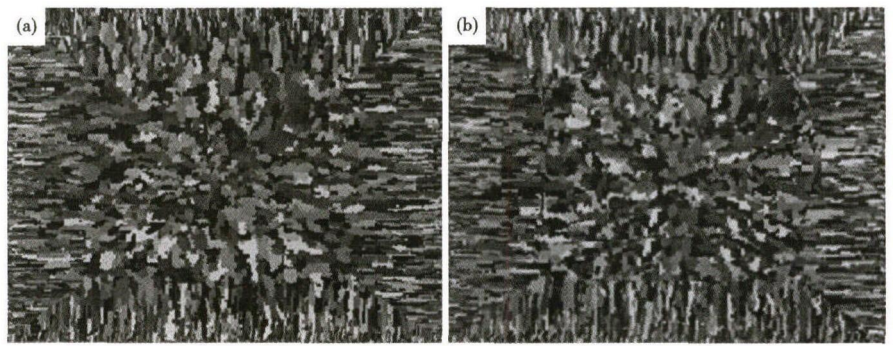


图 3 拉速 0.6 m/min(a)和 0.5 m/min(b)时 GCr15 轴承钢 280 mm × 325 mm 铸坯模拟组织图
Fig. 3 Diagram of simulated structure of GCr15 bearing steel 280 mm × 325 mm casting bloom with casting speed 0.6 m/min (a) and 0.5 m/min (b)

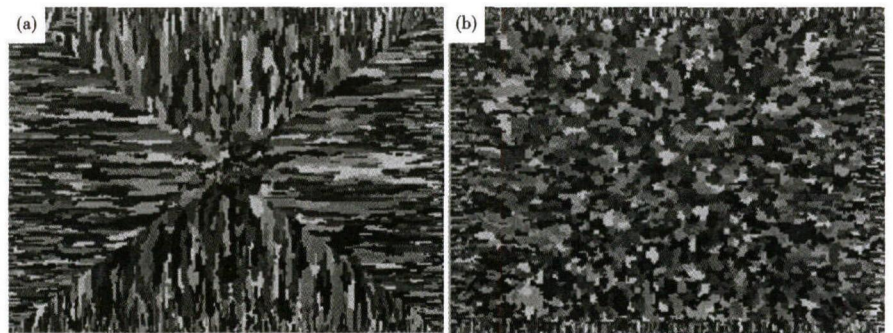


图 4 钢水过热度 30 ℃(a)和 10 ℃(b)时 GCr15 轴承钢 280 mm × 325 mm 铸坯的模拟组织
Fig. 4 Diagram of simulated structure of GCr15 bearing steel 280 mm × 325 mm casting bloom with liquid superheated extent 30 ℃ (a) and 10 ℃ (b)

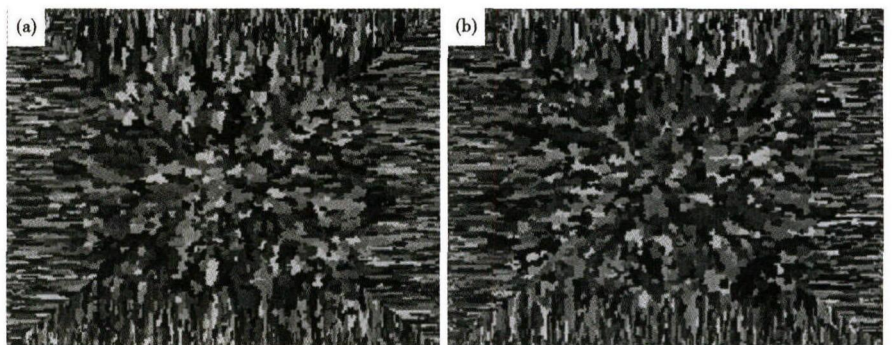


图 5 比水量 0.25 L/kg(a)和 0.20 L/kg(b)时 GCr15 轴承钢 280 mm × 325 mm 铸坯的模拟组织
Fig. 5 Diagram of simulated structure of GCr15 bearing steel 280 mm × 325 mm casting bloom with secondary cooling water rate 0.25 L/kg (a) and 0.20 L/kg (b)