

大型钢锭加热过程数值模拟与验证

贾荣利¹, 赵振慧²

(1. 中国第一重型机械集团 能源装备材料科学研究所, 天津 300457;

2. 神华销售集团有限公司 天津办事处, 天津 300457)

摘要: 对重量为 44 t 的大型钢锭的锻前加热过程进行了数值模拟分析。介绍了钢锭的结构尺寸、材料的热物性参数以及数值模拟所需的边界条件, 模拟得到了加热过程中钢锭的升温曲线。在加热过程中对钢锭内部温度进行了测量, 结果表明模拟结果与实测结果基本吻合。

关键词: 大型钢锭; 加热; 数值模拟

中图分类号: TF062

文献标识码: A

文章编号: 1001-6988 (2013) 04-0043-03

Numerical Simulation and Verification of Heating Process for Heavy Steel Ingot

JIA Rong-li¹, ZHAO Zhen-hui²

(1. Materials Research Institute for Energy Equipments, China First Heavy Industries, Tianjin 300457,

China; 2. Tianjin Office, Shenhua Trading Group Co., Ltd, Tianjin 300457, China)

Abstract: The numerical simulation analysis of the heating treatment process of the heavy ingot with the weight of 44 t before forging was carried out. The dimension of the ingot and the thermo-physical parameters of the material, and the boundary conditions used to the numerical simulation were introduced. The temperature rising curve of the ingot during the heating process was calculated. The temperature within the ingot during the heating process was measured, and the results show that the simulation results and experimental results are consistent.

Key words: heavy ingot; heating; numerical simulation

大型锻件是冶金、能源、交通和化工等行业中重大装备上的关键性零部件, 如核电设备的反应堆压力容器、发电机转子、加氢反应器和轧辊等。钢锭是大型锻件等产品的基础材料, 控制钢锭在加热过程中的升温速率和内部温度均匀性是非常重要的, 它将直接影响到后续加工工艺过程和产品的最终质量^[1]。为了保证产品质量和性能要求, 通常在制定加热工艺时会倾向于采取比较保守的工艺规范, 耗时较长, 这样会大大增加能源的消耗。因此, 在保证钢锭加热质量的前提下, 缩短加热时间对节能减排、提高生产效率等具有重要的经济和社会效益。

由于大型锻件尺寸较大, 进行实物研究可能性不大, 单凭经验又很难制定或优化合理的热处理工

艺。利用计算机模拟技术可以合理地制定加热工艺, 更好地提高产品质量, 从而取得更好的经济效益^[2-5]。本文基于 44 t 钢锭建立了计算模型, 分析了钢锭在加热过程中的温度变化, 并与实测数据进行了对比, 为钢锭加热工艺的制定提供了依据。

1 钢锭加热模型建立

1.1 钢锭的结构与加热工艺

钢锭的三维结构图和主要结构尺寸如图 1 和图 2 所示。该钢锭为 8 凌, 重量约为 44 t。钢锭的加热工艺如图 3 所示。

1.2 钢锭材料及热物性参数

研究钢锭所用材质为 30NiCrMoV12, 其化学成分如表 1 所示。

材料的导热系数、密度和比热容是三个关键的热物性参数, 直接影响计算的精度。本次模拟所用热

收稿日期 2013-04-16

作者简介 贾荣利 (1976—), 男, 工学博士, 主要研究方向为计算冶金工程。



图 1 钢锭的三维结构图

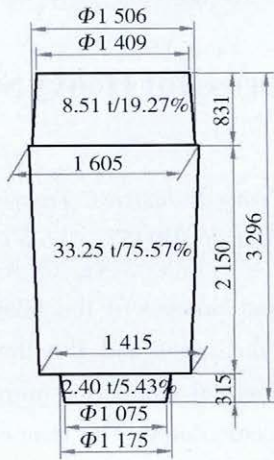


图 2 钢锭的主要结构尺寸

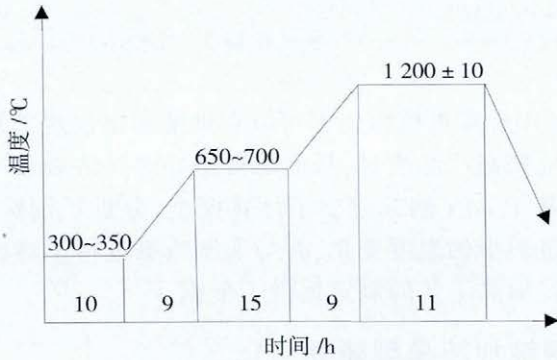


图 3 钢锭的加热工艺曲线

表 1 钢锭的化学成分(w%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
0.27	0.30	0.65	0.85	0.50	3.10	0.12

物性参数充分考虑了材料热物性参数的非线性,导热系数由实验测试获得,密度和比热容由 Jmatpro 软件计算获得。钢锭材料的热物性参数随温度变化的曲线如图 4~6 所示。

1.3 钢锭与环境的换热系数

在传热过程模拟中,边界条件是指工件表面与

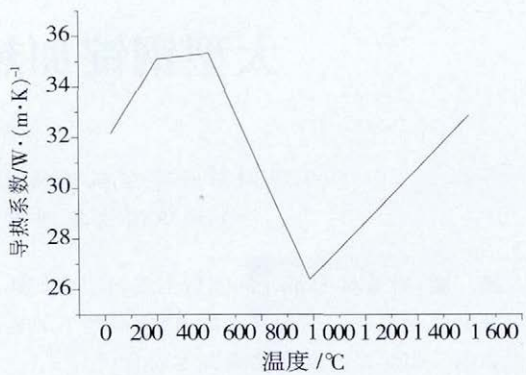


图 4 钢锭材料的导热系数

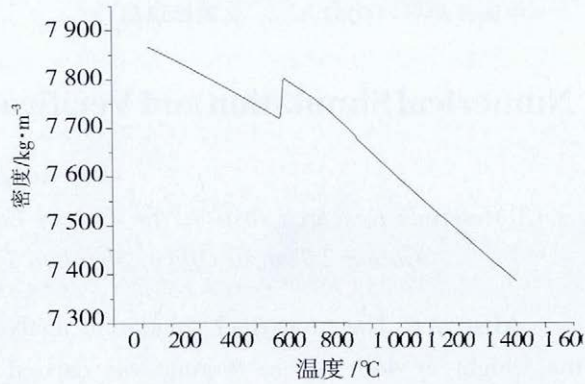


图 5 钢锭材料的密度

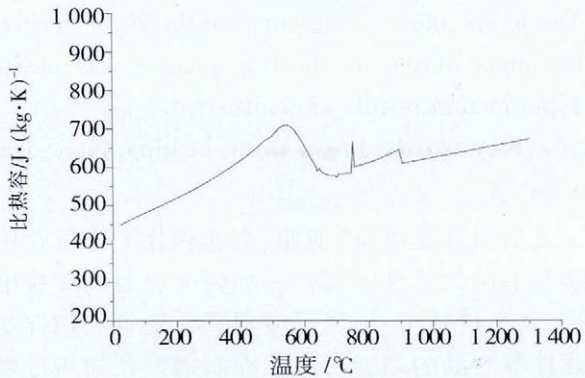


图 6 钢锭材料的比热容

周围环境介质的热交换情况,在传热学上一般将边界条件归纳为 3 类。模拟计算中最常用的是第 3 类边界条件,物体与相接触的流体介质间的对流换热系数和介质温度已知,其表达式为

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_n = H_c (T_w - T_f) \quad (1)$$

式中: λ 为材料的导热系数; $\frac{\partial T}{\partial n}$ 为沿外法线 n 方向的温度梯度; T_w 为工件表面温度。

通常情况,第 3 类边界条件综合考虑了对流和辐射两种换热情况,其表达式:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \bigg|_n = H_c(T_w - T_f) + \sigma \varepsilon (T_w^4 - T_f^4) =$$

$$H_c(T_w - T_f) + H_r(T_w - T_f) =$$

$$H(T_w - T_f) \quad (2)$$

式中: H —综合换热系数, $H = H_c + H_r$

H_r —辐射换热系数, $H_r = \sigma \varepsilon (T_w^2 + T_f^2)(T_w + T_f)$

1.4 钢锭内部测温

为了验证数值模拟结果的准确性,在加热过程中对 44 t 钢锭内部进行了温度测量。选择钢锭 1/2 锭身处横截面不同位置加工敷偶孔,具体测温位置如图 7 所示。

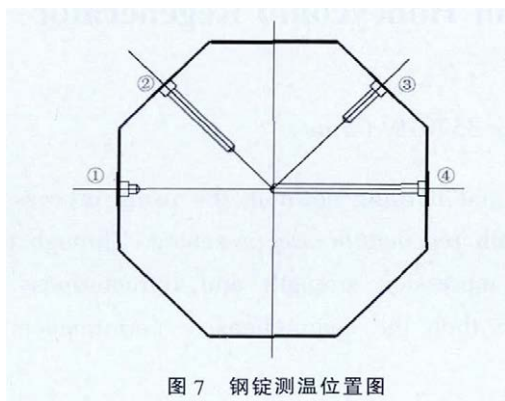


图 7 钢锭测温位置图

2 结果与分析

通过对钢锭加热过程的数值模拟,得到了加热过程中钢锭内部不同位置的升温曲线。为了验证计算结果的准确性,将计算结果与实测结果进行了对比,4 个不同测温点的升温曲线见图 8。可以看出,计算模型得到的结果与实测结果基本吻合,说明所建立模型符合实际计算要求,可以推广至其他相似加热过程的模拟计算。

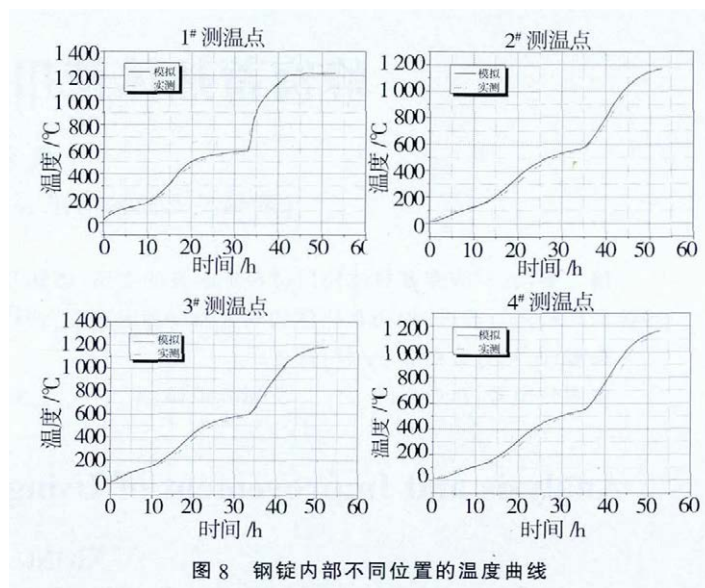


图 8 钢锭内部不同位置的升温曲线

3 结论

建立了钢锭加热过程的计算模型,计算结果与实测结果基本一致,比较准确地反映钢锭加热过程的升温情况,为加热工艺的优化提供依据。

参考文献:

- [1] 王忠科,李世健,徐斌,等. 大型钢锭加热过程有限元模拟[J]. 金属铸锻焊技术, 2011, 40(9): 96-100.
- [2] 崔晓龙,万妮丽. 大型锻件热处理过程的数值模拟研究[J]. 热处理, 2005, 20(4): 12-16.
- [3] 隋大山,范柳光,崔振山. 大型钢件的热处理数值模拟与实验验证[J]. 铸造技术, 2007, 28(9): 1238-1242.
- [4] 李志广,崔随现,胡丰泽. 钢质锻件加热时间的确定[J]. 金属铸锻焊技术, 2010, 39(13): 102-104.
- [5] SONHLBERG B. Grey box modeling for model predictive control of a heating process[J]. Journal of Process Control, 2003, 13(3): 225-238.

工业炉杂志社重要启事

- ☆ 本刊印刷版和网络版的版权属工业炉杂志社所有。
- ☆ 为本刊撰写的文稿、图片等,从发表之日起,其专有出版权即归工业炉杂志社所有。请作者不要一稿多投。
- ☆ 本刊文章欢迎转载或翻译成其它文种发表,但需征得工业炉杂志社的书面同意。未经书面许可,不得以任何方式全部或部分翻印、转载、网上发布或录入数据库。
- ☆ 如发现本刊有印刷、装订、残缺破损等质量问题,请寄回本杂志社调换。