

箱形孔型合金钢稳态轧制的温度场有限元模拟

洪慧平 康永林

(北京科技大学, 北京 100083)

冯长祧 韩 畴

(宝山钢铁股份有限公司)

摘 要 采用 MSC.Marc/Autoforge 3.1 软件中的三维大变形热力耦合弹塑性有限元分析模块, 对方形合金钢轧件在箱形孔中热变形的特点和温度分布规律进行了有限元模拟研究, 得出的结果与实际测定一致。

关键词 箱形孔型 温度分布 有限元模拟 MSC.Marc

Finite Element Simulation of Temperature Distribution of an Alloy Steel Billet in Box Pass during Stable Hot-Rolling

Hong Huiping and Kang Yonglin

(University of Science and Technology, Beijing 100083)

Feng Changtao and Han Chou

(Baoshan Iron and Steel Co Ltd)

Abstract The hot deformation characteristics and temperature distribution of an alloy steel square billet hot-rolling in box pass have been studied by finite element simulation with three dimensional thermo-mechanical coupled elastoplastic finite-element-method (FEM) of MSC Marc/Autoforge 3.1, and the obtained results conformed with the measured data.

Material Index Box Pass, Temperature Distribution, FEM Simulation, MSC.Marc

在箱形孔型中轧件的热变形属于三维流动过程, 研究这一过程变形的影响因素特别是有关轧制工艺参数对变形的影响, 对于改进孔型尺寸、提高产品质量和降低辊耗有着重要意义。在准确给定边界条件和相关初始条件的基础上, 用热力耦合弹塑性有限元模拟仿真方法预测轧制力的误差可达 0.65% 左右^[1]。

本文基于 HP9000L2000 小型机多 CPU 高速并行处理技术和 HP-UX 操作系统平台, 采用大型 CAE 有限元模拟仿真软件 MSC.Marc/Autoforge 3.1 热力耦合及接触分析技术, 在建立相关边界条件、初始轧制条件和有限元模型的基础上, 对合金钢轧件在箱孔中热变形的特点, 尤其是稳态轧制时轧件温度分布规律进行了全三维数值模拟并对结果进行了讨论。

1 箱形孔型及有限元模型

轧件首先经过大型初轧机开坯轧成边长为 358 mm、圆角为 40 mm 的中间方坯, 然后进入箱形

孔型的立辊轧机中轧制, 箱形孔型尺寸如图 1a 所示。此时的开轧温度约 980 °C。轧件的材质是一种中碳中铬型热作模具钢。在此轧辊作为刚性接触体定义, 轧辊与轧件之间采用剪切摩擦模型, 摩擦因子取 0.7^[2]。

选择八节点六面体单元分网, 采用更新的 Lagrange 算法、Prantl-Reuss 流动方程以及 Von Mises 屈服准则等理论处理箱孔中轧件的热力耦合大变形问题^[2]。根据对称性, 取四分之一轧件为模拟对象, 模拟时考虑到轧件在箱孔中有一段稳态轧制过程便于分析, 轧件长度在此取 358 mm, 轧件沿长度方向取 14 等份, 轧件横断面取 48 个单元, 共采用 672 个单元及 930 个节点。四分之一轧件在箱孔中变形的有限元模型如图 1b 所示。

2 模拟结果的分析

2.1 轧件各阶段的变形特点

箱形孔型中轧件在不同阶段的变形及网格畸变情况如图 2 所示。由于来料是具有一定圆角的

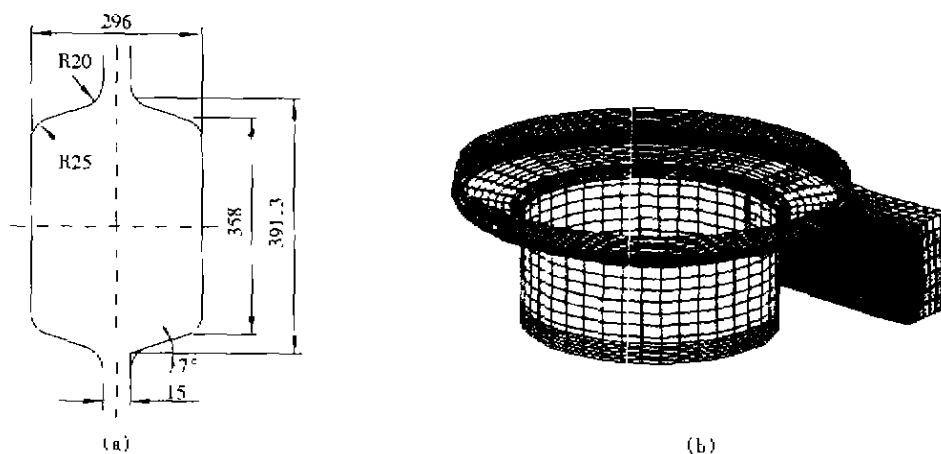


图 1 箱形孔型尺寸(a)及有限元模型(b)

Fig. 1 Dimension of box pass (a) and FEM simulation model (b)

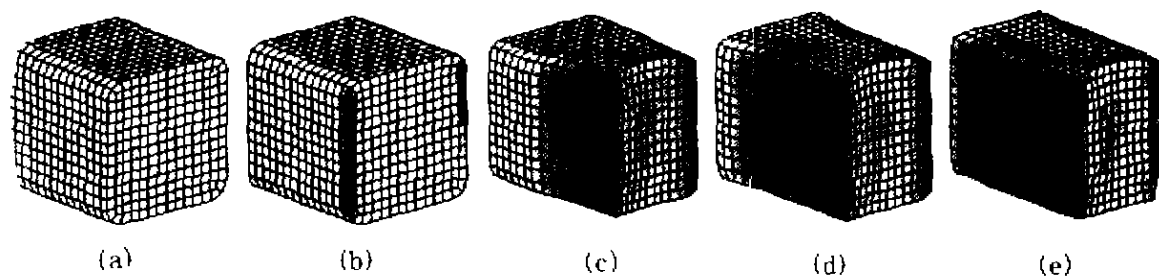


图 2 箱孔中轧件在不同增量步(a=0, b=10, c=400, d=570 and e=880)的变形

Fig. 2 Deformation of square billet at various increments: a=0, b=10, c=400, d=570 and e=880

中间方坯(图 2a), 开轧时首先与轧辊工作辊面相接触的是轧件前端的两个侧边, 而不是轧件前端的四个圆角, 所以咬入阶段变形首先是从轧件前端的两侧边开始(图 2b), 逐渐向圆角、侧面以及轧件心部蔓延, 此时表面金属流动速度大于心部, 导致轧件前端断面形成内凹。

到 400 步时, 轧件开始进入稳态轧制过程, 400 步至 570 步是轧件的稳态轧制过程。从 570 步开始进入非稳态轧制过程一直到 880 步结束。

以上轧制过程的不同阶段也可通过轧制力及轧制力矩随时间步长的变化得到反映。轧制力与轧制力矩具有相同的总体变化趋势, 在非稳态的咬入阶段(对应的时间步长为 0~400 步)随步长增加而递增, 在稳态轧制阶段(400~570 步长之间)变化范围很小, 进入非稳态阶段后递减。

2.2 稳态轧制时温度场分布

图 3 是轧件在稳态轧制过程中(450 步)轧件与轧辊工作辊面接触处(对应箱孔槽底处)轧件断

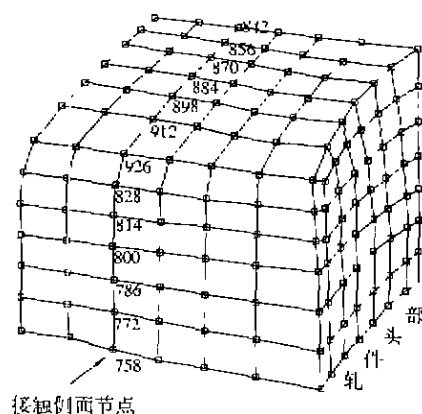


图 3 沿 1/4 轧件与轧辊接触处的断面外缘节点号(450 步)

Fig. 3 Node number at outside of section along contact area between a quarter billet and roll at increment 450

面外缘的节点号。

由于轧件在箱孔中热变形时除了与周围环境

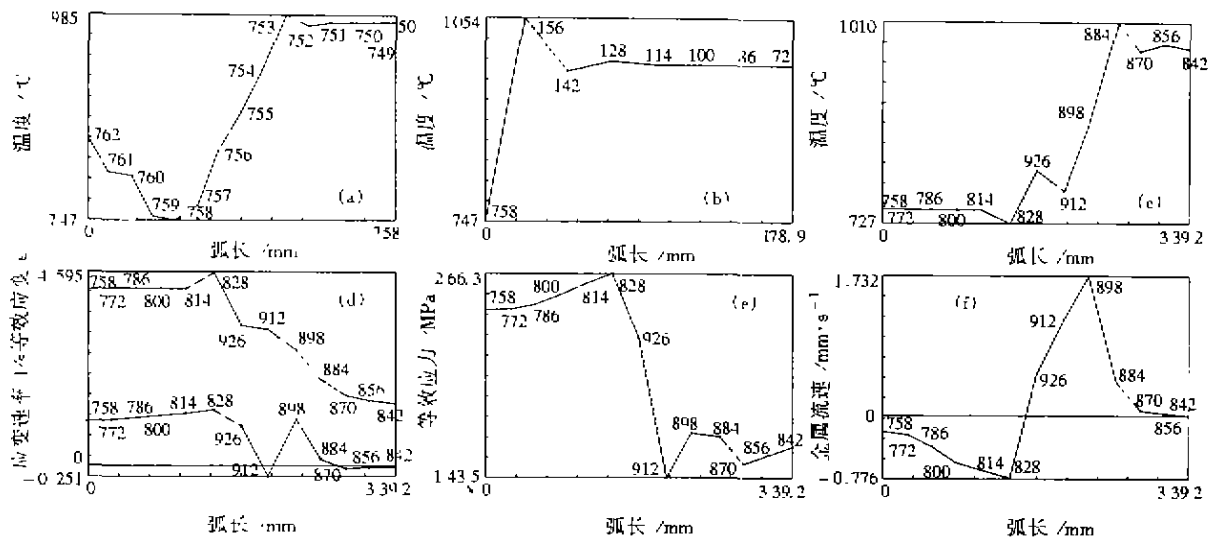


图4 轧件稳态轧制时(450步)温度(a-轧件沿长度方向节点,b-沿侧压方向节点,c-接触断面节点)、应变及应变速率(d-接触断面外缘节点)、应力(e-接触断面外缘节点)、金属流速(f-接触断面外缘节点沿宽度侧压方向)的分布曲线(图中各曲线上的数字均为节点号)

Fig.4 Distribution of temperature (a- note along billet longitudinal direction, b- note along side pressure direction, c- note at contact section), total equivalent plastic strain and equivalent plastic strain rate (d- note at outside of section along contact area), equivalent stress (e- note at outside of section along contact area), and metal flow velocity (f- note at outside of contact section along width side pressure direction) of billet during stable hot-rolling, numbers in figure being note number

和轧辊等接触体的热交换外,轧件本身单元体边界几何结构及其热力学边界条件的变化以及变形功和摩擦生热等因素均导致轧件的温度分布不均匀,以下从几个方面进行分析。

根据模拟仿真得出的轧件相关节点的温度(°C)、等效应力(MPa)、等效应变、应变速率(1/s)和轧件金属节点流速(mm/s)曲线如图4所示,图中各曲线上的数字均为轧件相关节点的节点号。

从图4a可以看出四分之一轧件侧面底边沿长度方向的最低温度点(仅为747°C)是在轧件与轧辊的接触侧面上,对应的是758号节点,这是由于高温轧件与低温轧辊在接触面的热传导效应占主导地位。而最高温度是在距轧件接触面以下约23 mm处为1054°C,比开轧温度高74°C,如图4b所示,原因是此处变形功生热效应较大。

从图4c、d、e和图4f的对比中发现,沿轧件与轧辊接触的侧面方向最低温度处与最大等效应力、最大总等效应变及应变速率以及金属沿侧压方向的最低流动速度都位于接触侧面与上圆角相交的节点处,对应828号节点,包括的原因除了轧

件与轧辊的热传导效应外,轧件单元体边界几何结构及其传热边界条件的变化在此处最为显著,另外此处属轧件与轧辊工作辊面沿箱形孔型槽底由接触向脱离接触过渡的临界区域。

3 结论

箱孔中轧件热变形温度分布沿各方向都不均匀,三维大变形弹塑性有限元理论为准确定量研究这种温度分布的不均匀性提供了有效手段,所得结果与实际观测一致。

参考文献

- 1 王艳文,康永林,等.轧制方坯的三维弹塑性有限元研究.钢铁,2000,35(2):38
- 2 MSC. Marc 中国公司.温度场及耦合场的有限元分析 北京:MSC 中国公司

洪慧平,男,38岁,讲师,博士研究生。从事材料加工CAE及模拟仿真优化研究。

收稿日期:2001-10-16