

带液芯方坯重压下的变形特点

张凤心, 杨轶龙, 宋秉钧, 祁林

(鞍钢股份有限公司炼钢总厂, 辽宁鞍山 114021)

摘要: 应用有限元仿真软件研究了带液芯方坯重压下的变形特点。结果表明, 施加不同压下量, 铸坯的宽展变形和应变均随压下量的增加而增加, 组合压下较单辊压下的宽展量大, 铸坯应变最大值逐渐增大, 最大应变位置逐渐向铸坯中心移动, 压下量的临界值为 12~14 mm, 超过该值后, 铸坯的最大应变位置出现在铸坯中心。

关键词: 方坯; 重压下; 仿真; 宽展; 应变

中图分类号: TF537

文献标识码: A

文章编号: 1006-4613(2017)06-0017-04

Deformation Characteristics of Billet with Liquid Core under Heavy Reduction

Zhang Fengxin, Yang Yilong, Song Bingjun, Qi Lin

(General Steelmaking Plant of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114021, Liaoning, China)

Abstract: The deformation characteristics of a billet with liquid core under heavy reduction were studied by the finite element simulation software. The study results showed that both the width deformation and the strain of the billet enlarged with increasing different reduction, comparing with the width deformation under the reduction by the single pair of rollers, the width deformation under combined reduction was bigger and also the biggest strain value of the billet gradually increased and the biggest strain point gradually moved to the center of the billet, the critical value of the reduction was in the range from 12 to 14 mm. so if the critical value of the reduction was over this range, the biggest strain point of the billet should be in the center of the billet.

Key words: billet; heavy reduction; simulation; width deformation; strain

方坯重压下是在连铸坯凝固过程中, 对铸坯施加压下量, 补偿凝固收缩并破碎已经形成的“晶桥”, 使得铸坯内的钢水可以自由流动, 最大程度地减少中心偏析和疏松, 改善铸坯内部质量。方坯重压下是融凝固与形变两个物理过程于一体的新工艺, 目前, 这方面的研究分为解析与模拟两大类。用传统数学—力学方法处理重压下问题过于简单, 得不到试验结果的支持, 应用范围受到限制, 同时由于问题的复杂性, 很难在现场条件下直接研究压下过程。冶金工作者们为了研究压下时铸坯的变形特点在实验室作了很多的物理模拟研

究工作, 例如, H.Eisermann^[1]、Cremer^[2]采用轧制空心矩形样品的方法来模拟研究压下过程, 国内赵红阳教授则采用填充塑性泥的矩形铅试样轧制^[3], 陈其安教授采用铜包铅复合样品进行轧制^[4], 对压下时的变形特征做了模拟研究。

近年来, 随着计算机计算能力的提高, 有限元仿真技术在处理塑性加工问题时取得了良好的结果。本文采用有限元仿真技术对方坯重压下的变形特点进行了研究, 得出铸坯变形行为特征。

1 研究方法

本研究基于有限元仿真软件, 采用数值模拟的方法来研究方坯重压下时的变形行为, 具体方法如下: 模拟铸坯的断面尺寸为 180 mm ×

张凤心, 硕士, 工程师, 2010年毕业于东北大学机械工程专业。E-mail: zfx_angang@126.com

180 mm, 考虑到铸坯的对称性, 取 200 mm 长铸坯的 1/4 作为研究对象; 模型计算过程中所应用的计算方法及方程求解都是运用软件自身的计算模块。考虑到模型中铸坯材料的非线性特征, 调用弹塑性求解器, 而模型中也考虑了铸坯与导辊之间的接触问题。

本研究中, 铸坯中心温度 1 250 ℃, 表面温度 1 000 ℃。对铸坯施加 1、2、4、6、8、12、14、16 mm 的压下量, 研究铸坯的变形特点。

2 计算结果与分析

2.1 不同压下量的宽展变形

测量施加重压下前后铸坯的整体宏观宽度, 结果表明, 施加重压下后, 铸坯宽度有所增加。国内几个冶金企业如梅山炼钢厂、济钢、武钢等连铸机生产时均出现过类似现象。连铸机应用重压下技术后, 板坯宽向有变形现象, 同时窄面鼓肚缺陷发生的几率大大增加。重压下后铸坯宽面变形实物照片见图 1。由图 1 看出, 铸坯宽面比窄面长。

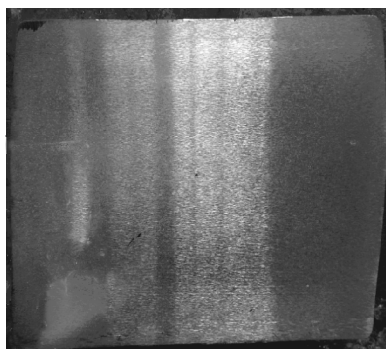


图 1 重压下后铸坯宽面变形实物照片

图 2 为实测的铸坯压下量和宽向延展量的关系。从图 2 中可以看出, 随着压下量的增加, 宽向延展量增加; 压下高, 宽向延展量大。

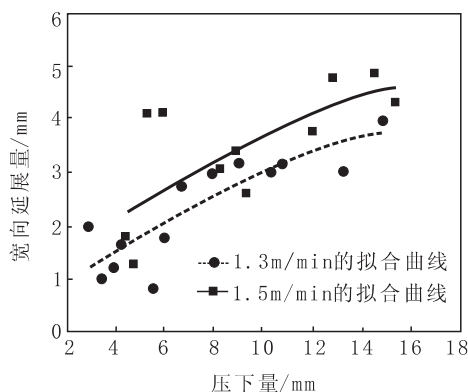


图 2 实测的铸坯压下量和宽向延展量的关系

观察分析认为, 重压下造成凝固坯壳受内部未凝固钢水的挤压向外鼓肚, 引起铸坯宽度方向上尺寸的增加, 而凝固坯壳本身不发生增厚变形, 这种情况随着压下量的增加而越发显著。由此可见, 连铸坯重压下时发生的宽展是坯壳侧壁变形的结果。由于凝固坯壳宽向的外凸, 侧壁外表面将受厚向的附加拉应力的作用, 同时, 由于铸坯外表面的冷却, 铸坯内部存在温度梯度, 故附加拉应力还将与温度梯度所产生的热应力迭加。同样由于外凸, 在坯壳侧壁与宽面相交的角部内侧将产生拉应力。此外, 在重压下过程中, 坯壳宽面的厚向变形与延伸均很小, 故塑性弯曲是其主要变形方式。于是, 宽面内侧也将出现拉应力状态。这些地方的拉应力的分布状态极易产生铸坯缺陷。

2.2 不同压下量的铸坯表面位移分布云图

图 3 是不同压下量的铸坯表面位移分布云图。研究发现, 若单辊直接压下 12 mm, 宽展量为 3.536 mm; 如果按照 1、4、1、6 mm 压下量实施组合压下, 即将单辊压下量分配到四个辊压下, 计算得到的宽展总量为 5.066 mm。这里得到的宽展没有考虑撤去载荷后的弹性恢复, 因此组合压下较单辊压下得到的宽展量较大。

图 4 为压下量和宽向延展量模型计算结果和现场实测结果的比较。从图 4 中可以看出, 模型计算结果和实测结果符合的较好, 可以用来预测重压下后铸坯的宽展。

2.3 不同压下量的铸坯应变分析

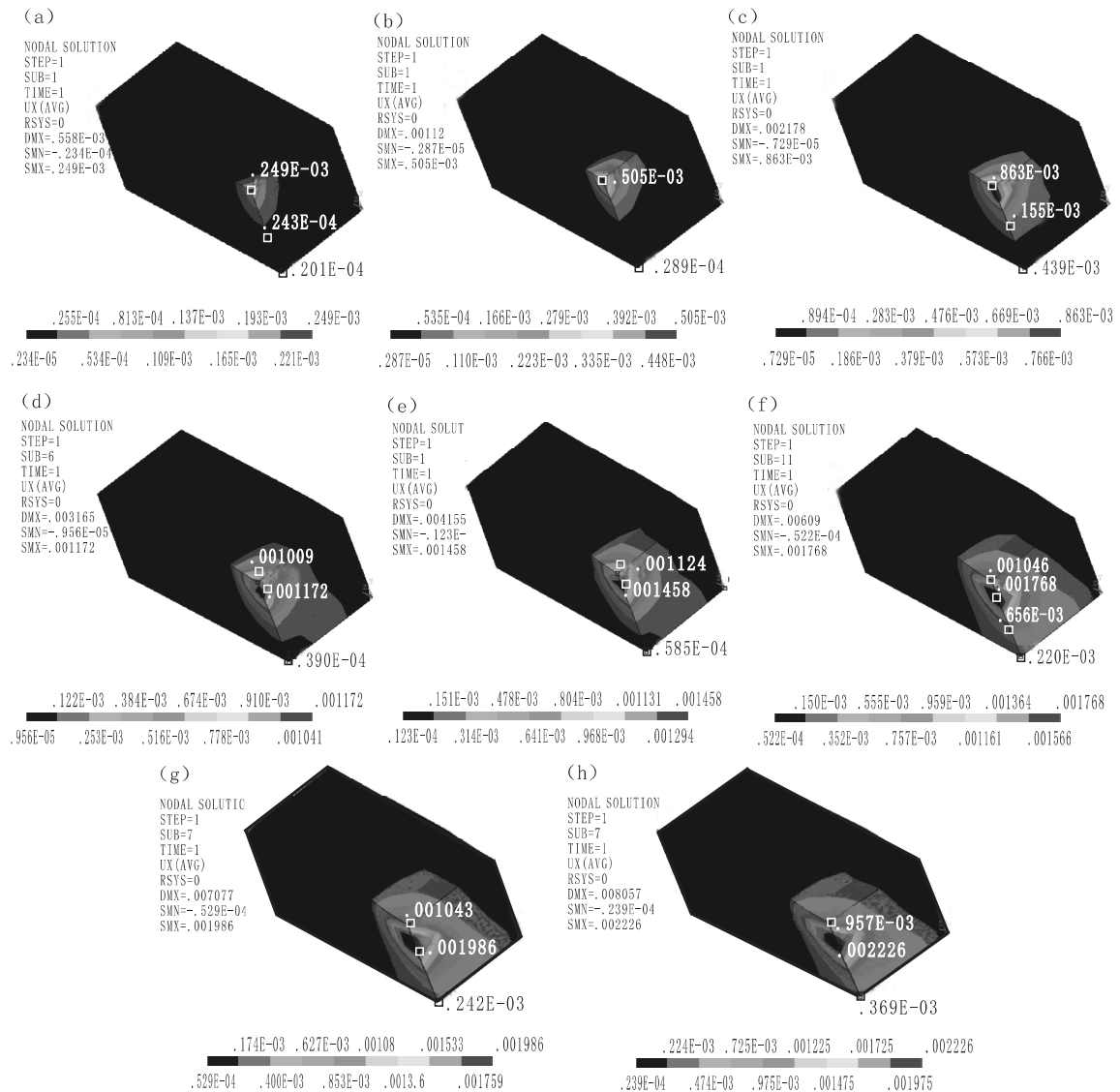
图 5 为不同压下量的应变分布云图。从图 5 中可以看出, 随着压下量的增加, 最大应变值逐渐增大, 最大应变位置逐渐向铸坯中心移动。压下量临界值是 12~14 mm, 超过 12~14 mm 后, 铸坯最大应变位置出现在铸坯中心。因此, 合理控制优化压下量模型对铸坯质量至关重要, 压下量的大小必须综合满足以下 3 方面的要求:

(1) 补偿铸坯凝固末期的综合凝固收缩, 有效抑制中心偏析和中心疏松。

(2) 避免铸坯产生内裂。

(3) 重压下产生的作用力不能破坏拉矫机机架刚性和使用寿命。压下量过小, 对中心偏析和疏松改善不明显。压下量过大会使铸坯内部产生裂纹, 并使重压下拉矫机等设备受力过大。

2.4 重压下量和铸坯内部质量的关系



(a) 1 mm 压下量的宽展变形最大为 0.249 mm; (b) 2 mm 压下量的宽展变形最大为 0.505 mm; (c) 4 mm 压下量的宽展变形最大为 0.863 mm; (d) 6 mm 压下量的宽展变形最大为 1.172 mm; (e) 8 mm 压下量的宽展变形最大为 1.458 mm; (f) 12 mm 压下量的宽展变形最大为 1.768 mm; (g) 14 mm 压下量的宽展变形最大为 1.986mm; (h) 16 mm 压下量的宽展变形最大为 2.226 mm;

图 3 不同压下量的铸坯表面位移分布云图

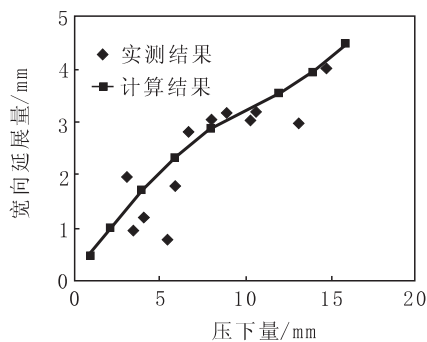
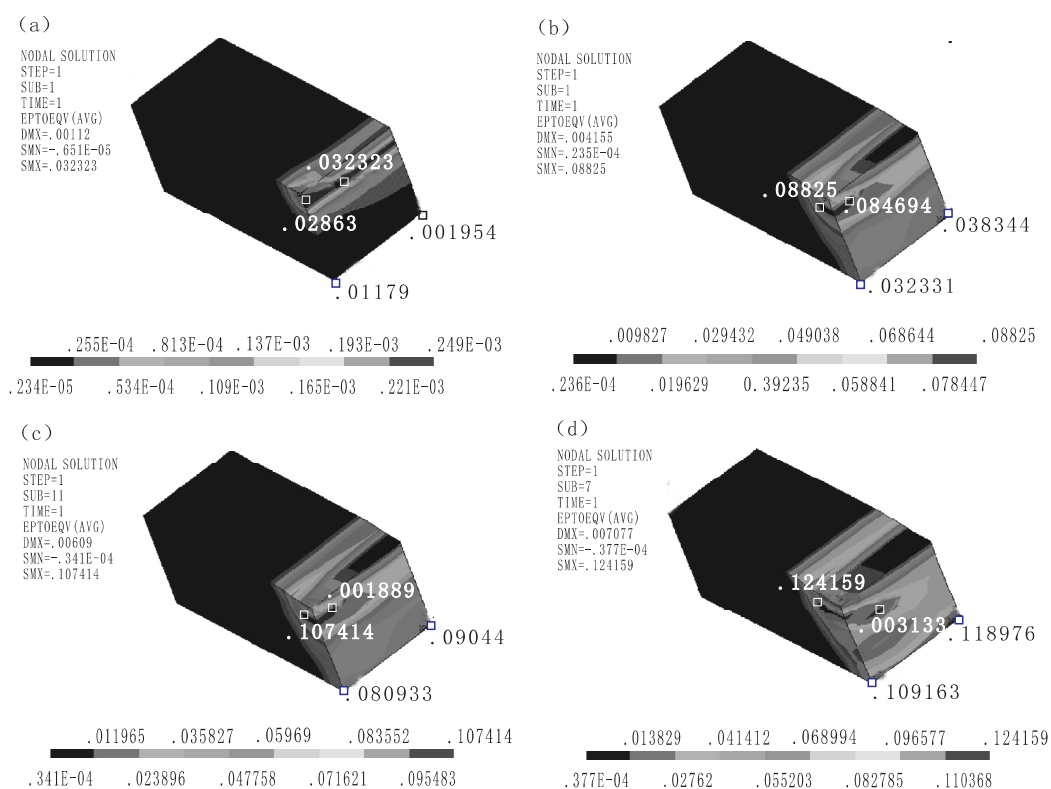


图 4 压下量和宽向延展量模型
计算结果和现场实测结果比较

通过前面的计算可以看出, 压下量小的情况下, 更多的变形发生在和辊子接触的铸坯表面; 随着压下量的增大, 最大变形向铸坯中心传递; 压下量达到一定值后, 铸坯中心发生了最大变形, 铸坯中心区域未完全凝固的两相或者已经凝固的高温固相发生了较大变形, 必然变的更加致密, 从而提高铸坯内部质量。这种中心区域致密度的增大是其它技术 (比如电磁搅拌和轻压下技术) 所不具备的, 必将给后续的加热和轧制工艺带来有益影响^[5]。

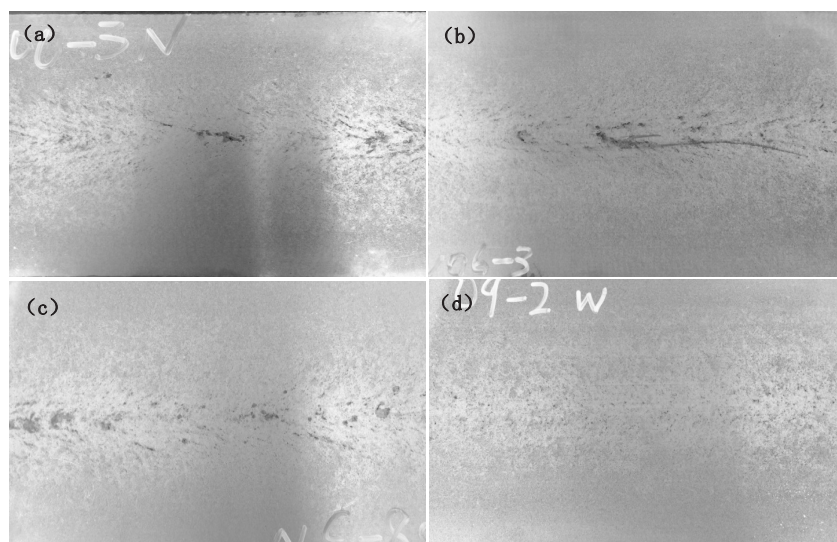


(a) 2 mm 压下量的最大应变值为 0.032 323; (b) 8 mm 压下量的最大应变值为 0.088 250;
(c) 12 mm 压下量的最大应变值为 0.107 414; (d) 14 mm 压下量的最大应变值为 0.124 159

图 5 不同压下量的应变分布图

图 6 为不同压下量的铸坯纵截面低倍结果, 从图 6 能看出, 压下量小时, 中心偏析和疏松改善效果不大; 随着压下量的增大, 铸坯中心区域的疏

松和偏析逐渐减轻, 最后基本消失。如果压下位置不合适、压下量过大, 则会导致压下裂纹, 但整体上, 重压下裂纹的敏感性要小于多辊轻压下^[6]。



(a) 压下量为 0 mm; (b) 压下量为 8 mm; (c) 压下量为 12 mm; (d) 压下量为 14 mm

图 6 不同压下量的铸坯纵截面低倍结果

(下转第 24 页)

表 4 钢管热处理后硬度值(HRC)

牌号	炉罐号	1 点	2 点	3 点	平均值
NM50	164D2546	52.3	51.0	50.8	51.4
NM55	164D1017	56.6	57.6	57.2	57.1
NM62	164D1500	64.5	63.2	64.4	64.0

注: 硬度值在靠近钢管壁厚中间位置测定 3 点。

3.3 用户评价

(1) 鞍钢提供的 $\Phi 133 \times 4.5$ mm、 $\Phi 133 \times 4.8$ mm、 $\Phi 133 \times 5.1$ mm、 $\Phi 133 \times 5.3$ mm、 $\Phi 95 \times 9$ mm 规格, 牌号为 NM50、NM55、NM62 钢管给耐磨管件加工厂进行试验和检验, 顺利通过磨耗、硬度、冲击、水压、拉伸等多项试验, 得到用户认可。

(2) 用户采用 MLS-225 型湿砂式橡胶轮磨粒磨损试验机进行 NM50 和 NM62 磨损对比试验, 从磨损失重数值结果显示 NM62 的耐磨性是 NM50 的 1.31 倍。

(3) 在用户使用过程中, 在装车实际运营中考察耐磨性能, 结果表明 NM50 钢管可输送砂浆水泥 2.0~3.5 万 m^3 , NM55 可输送砂浆水泥 3.0~4.0 万 m^3 , NM62 可输送砂浆水泥 6.0~8.0 万 m^3 , 是

普通钢管输送方量(一般为 6 000 m^3 ~8 000 m^3)的 4~7 倍。

4 结论

(1) 鞍钢无缝厂研发的输送砂浆用耐磨无缝钢管, 采用“转炉炼钢+(LF+VD)精炼+热轧管+在线探伤+内壁热处理”工艺, 炼钢工艺合理、成分控制精准, 制管工艺先进, 钢管内外表面质量好、几何尺寸精度高, 性能稳定。

(2) 鞍钢研发的 NM50、NM55、NM62 系列输送砂浆耐磨泵管, 具有高硬度和高耐磨性, 能够满足混凝土泵送管路的设计、选材要求。

参考文献

- [1] 戴献车, 夏凌枫, 许永和. 超高压混凝土泵的复合输送管研究. 建筑施工, 2016(1): 77-79.
- [2] 李辉, 张浩, 王广涛. 超高层高强度混凝土超高压泵送安全技术. 建筑安全, 2014(6): 57-59.

(编辑 常桂华)

修回日期: 2017-09-04

(上接第 20 页)

3 结论

(1) 本文应用有限元大型仿真软件研究得到了方坯重压下时的变形特征, 结果认为, 施加不同压下量, 铸坯的宽展变形会随着压下量的增加而增加, 铸坯宽展变形将产生铸坯缺陷。

(2) 合理控制压下量对铸坯质量至关重要, 压下量过小对中心偏析和疏松改善不明显; 压下量过大会使铸坯内部产生裂纹, 并使重压下拉矫机等设备受力过大。压下量的临界值为 12~14 mm, 超过该值后, 铸坯的最大应变位置出现在铸坯中心。

参考文献

- [1] Eiser mann H, Schwerdtfeger K. Squeezing Segregation in

Continuous Casting of Steel Slabs Caused by In-line Thickness Reduction[J]. Isij International, 2006, 46(1): 75-81.

- [2] Cremer B, Pawelski O, Rasp W. Rolling Characteristics of Continuously Cast Slabs with Liquid Core [J]. Ironmaking and Steelmaking, 1993, 20(4): 264-268.
- [3] 赵红阳, 胡林. 连铸方坯带液芯轧制的模拟试验研究[J]. 钢铁, 1999, 34(5): 34-38.
- [4] 陈其安, 李振亮, 王连仲, 等. 带液芯重压下变形特征的视塑性研究[J]. 钢铁, 2001(9): 38-42.
- [5] 钱亮, 陈志凌, 李泽林, 等. 小方坯重压下技术的工程实践[J]. 连铸, 2016(1): 48-55.
- [6] 钱亮, 董启鹏, 李泽林, 等. 小方坯带液芯重压下裂纹倾向试验研究与探讨[J]. 炼钢, 2016(2): 30-35.

(编辑 许营)

修回日期: 2017-03-12