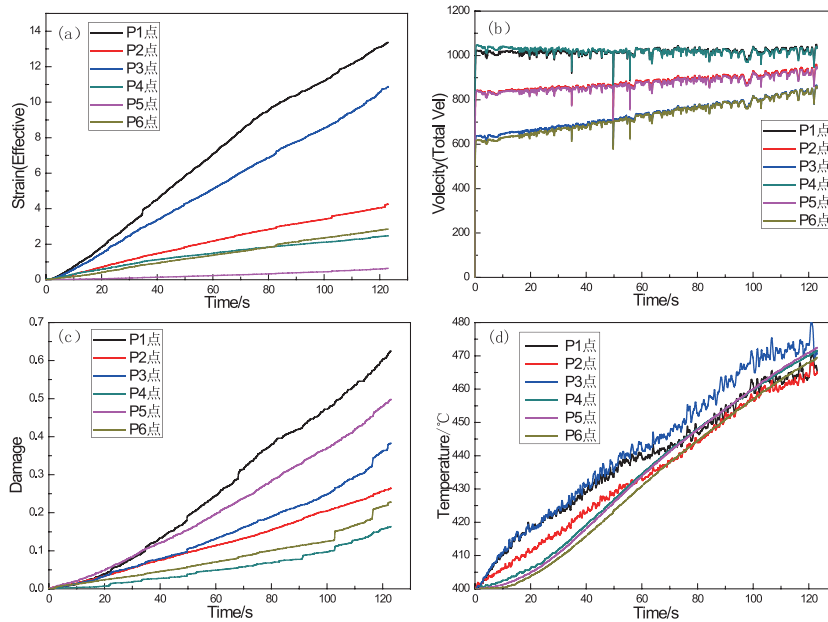


(a) 380°C; (b) 400°C; (c) 420°C; (d) 440°C
图5 不同变形温度的行程—载荷曲线图



(a) 等效应变; (b) 金属流动速度; (c) 金属损伤值; (d) 温度
图7 环锻件轧制过程中追踪点模拟结果的变化规律

的进行逐渐增大, 且与锥辊接触的端面内外径处和中间层的金属损伤值最大, 材料的损伤值代表对应变的积分量, 其值的大小反映了材料的断裂倾向, 说明此处材料断裂趋势较大。由图7(d)可知, 环锻件的温度随着轧制

过程的进行呈波浪式周期性升高, 说明塑性变形功产生的热量和轧制过程中摩擦生热大于环件与轧辊及周围环境进行热交换而散失的热量^[64]。

综上所述, 随着变形温度的升高, 环锻件的最大等效应变减小, 金



图6 环锻件截面图及所选特征追踪点

属流动速度的最小值增大, 变形均匀性增强, 金属损伤值和成形载荷逐渐降低, 最佳的变形温度为420°C。

3 环锻件轧制成形试验

采用试生产试验方法对环锻件成形, 试制出工艺优化后的环锻件, 分析成形产品的质量, 研究合金的变形规律, 并与数值模拟结果进行对比论证, 在实际生产中具有重要意义, 能节约成本, 提高效率。

3.1 轧制成形试生产工艺

1m级环锻件试生产试验环坯的实际尺寸为 $\Phi 620\text{mm}/\Phi 350\text{mm}\times 200\text{mm}$, 环轧所用设备为5米数控辗环机, 并在一次加热后完成环件轧制。环轧前将环坯在450°C下保温2h, 并预热工装至200°C左右, 涂润滑剂。环轧成形时, 环坯从加热炉转移至5米辗环机并开始成形的时间间隔为51", 始锻温度为422°C (基本满足工艺设定的始锻温度420°C), 终锻温度为416°C, 成形总时间为143"。

3.2 试验结果与模拟结果对比

图8(a)所示为试生产成形后的1m级环锻件, 其冷态尺寸为 $\Phi 950\pm 5\text{mm}/\Phi 775\pm 5\text{mm}\times 175\pm 5\text{mm}$, 与工艺设定尺寸和数值模拟尺寸 $\Phi 935\text{mm}/\Phi 775\text{mm}\times 170\text{mm}$ 的误差在5%以内, 与模拟结果接近, 说明数值模拟模型的建立与工艺参数的设定均比较合理, 模拟结果较好, 基本达到环锻件

轧制成形的要求,实际生产时可以作为参考。

图8 (b) 所示为试生产成形的5m级环锻件,其冷态尺寸与数值模拟结果尺寸的误差为5%左右,考虑到环锻件较大,可认为基本达到环锻件轧制成形的要求。由图8 (a)和8 (b)可以看出,试生产的环锻件的上下端面 and 内外径处均有一定的金属损伤和宽展,与模拟结果也较吻合。

对成形后的环锻件进行破坏性试验,热处理后1m级和5m级环锻件的力学性能如表1所示,由表中数据可知,成形并热处理后的环锻件均满足技术协议要求,且富余量充足。

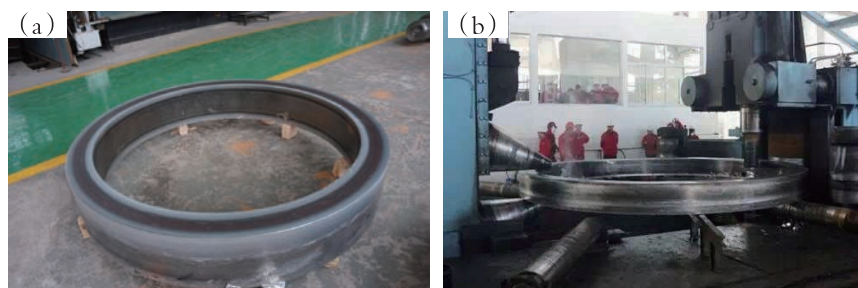
4 结论

在数值模拟软件DEFORM-3D平台下对环锻件轧制成形过程进行模拟分析,研究轧制成形温度对轧制过程的影响规律。本文主要研究结果如下:

(1) 随着变形温度的升高,环锻件的最大等效应变减小,金属流动速度的最小值增大,变形均匀性增强,金属损伤值和成形载荷逐渐降低。确定420℃为较优的变形温度。

(2) 利用特征追踪点研究环锻件成形过程中的参数变化规律:随着轧制过程的进行,等效应变逐渐增大,环件外层应变始终大于内层,中间层始终最小;外层金属流动的总速度大于内层,但外层的速度变化趋势小于内层;金属损伤值逐渐增大,且金属损伤最严重的部位集中在上下端面;环件整体温度呈波浪式周期性升高。

(3) 将较优的工艺参数用于试生产对比验证可得:建立的数值模拟



(a) 1m级环锻件 (b) 5m级环锻件
图8 2219铝合金环锻件试生产现场生产图

表1 试生产成形环锻件的力学性能

环锻件尺寸	取样方向	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	HBS
1m级	切向	445	337.5	10.5	128
	轴向	440	332.5	14.25	
	径向	445	340	5.5	
5米级	切向	438	316	17.7	121
	轴向	441	315	10.5	
	径向	437	323	7.0	

模型与优化的工艺参数均比较合理,试生产结果与数值模拟预测结果较吻合,成形后环件的质量完全满足技术协议要求。T

参考文献

[1] 华林,黄兴高,朱春东. 环件轧制理论和技术[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
[2] 李学通,杜风山,藏新良. 板带粗轧过程热、力、组织耦合三维有限元模拟[J]. 中国机械工程,2006,17(1):92-95.
[3] 兰箭,华林,潘利波,等. 大型复杂环件缩比轧制成形的实验与模拟研究[J]. 中国机械工程,2006,17(20):2167-2170.
[4] 王光艳,梅益,陈浪,等. 42CrMo环件轧制成形的数值模拟与分析[J]. 锻压技术,2014,39(5):82-86.
[5] 龚小涛,杨帆. 驱动辊转速对环件轧制工艺影响规律研究[J]. 轻合金加工技术,2012,40(5):47-52.

[6] 康煜华,刘义伦,何玉辉. 铝合金轧制过程中的热力耦合分析[J]. 锻压技术,2008,33(5):92-94.

[7] 韩星会,华林,兰箭,左治江,等. LD10内台阶锥形环件热轧模拟和实验研究[J]. 武汉理工大学学报,2007,29(11):7-10.

[8] 赵彦博,赵宏亮. 有色金属轧制技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007:127-129.

[9] 潘峰. 基于DEFORM-3D软件的不锈钢环件热辗轧宏观规律仿真研究[J]. 热加工工艺,2014,19(43):143-146.

作者信息

基金项目:江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2016030-17);国家自然科学基金项目(51601079)

通讯作者:卢雅琳(1967-),女,陕西扶风人,博士,教授。主要研究方向:铸造、半固态成形技术。电话:0519-86953281, E-mail: luyalin@163.com