

图10 地板纵梁后段工艺简图

	LH(左)			RH(右)		
	总点数	93	93	93	总点数	93
NG点数	0	0	0	NG点数	0	0
OK点数	93	93	93	OK点数	93	93
合格率	100%	100%	100%	合格率	100%	100%

图11 出件情况和左/右地板纵梁合格率

弧形,可有效控制制件侧壁的回弹。

2.3 地板横梁工艺优化

选取轿车公司某车型地板横梁零件,如图12所示。材料为抗拉强度为780MPa的高强钢,此零件两侧端部翘起,冲压易开裂,单侧弧形翻边结构,冲压易起皱,零件整体回弹难控制。

产品设计前期零件图示区域圆弧比较小,工艺评审期间分析,零件起皱、回弹严重,建议放大弧形圆角到R350mm以上,详见图13。避免零件特征过渡急剧而引起的冲压缺陷。

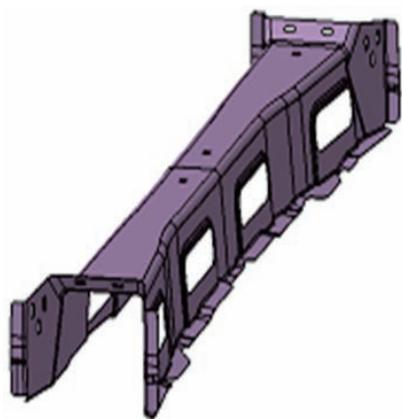


图12 地板横梁产品形状示意

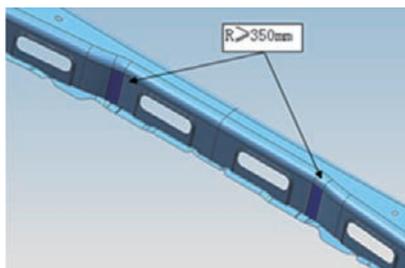


图13 地板横梁产品起皱区域示意

根据产品形状限制,工艺排布(详见图14)把端头复杂形状分解为两次较简单的成形,先浅成形零件端

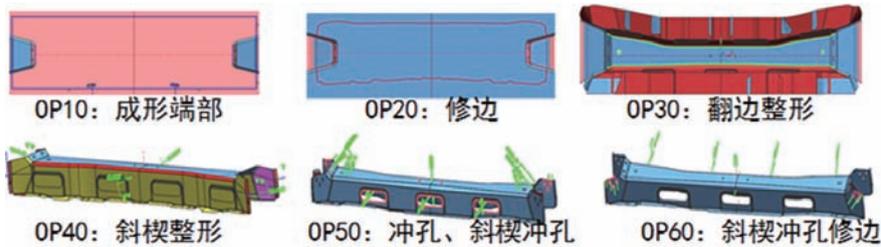


图14 地板横梁工序排布简图

总点数	195	195	195
NG点数	15	11	14
OK点数	180	184	181
合格率	92.3%	94.4%	92.8%

图15 出件情况和地板横梁合格率

头上部,然后整体竖直翻边整形。由于成形后回弹量很大,通过增加斜楔整形实现控制回弹。

修边整形后,取左右各3个样件进行尺寸检测,详见图15。平均合格率93.2%,尺寸合格率达到90%以上,这说明通过增加斜楔整形,可有效控制制件侧壁的回弹。

2.4 前纵梁工艺优化

选取轿车公司某车型前纵梁零件,详见图16。材料为抗拉强度为780MPa的高强钢,此零件在冲压工艺前期分析后,拉伸工序成形性良好,没有出现起皱、开裂、成形不充分等情况,在进行模拟修边后进行了回弹分析,在图示位置出现了回弹。为了控制回弹,在试制模具DL图设计时增加了筋的深度。

针对地板前纵梁零件,研究不同材料牌号材料的回弹规律,试验参数如表2所示。选取780MPa拉伸工序件验证增加侧壁筋高度对控制制件回弹的有效性,模具共分为4序,分别为OP10: 拉伸、OP20: 修边冲孔侧修边、OP30: 冲孔侧修边、OP40: 侧整形。

图17为不同牌号材料的拉伸工序

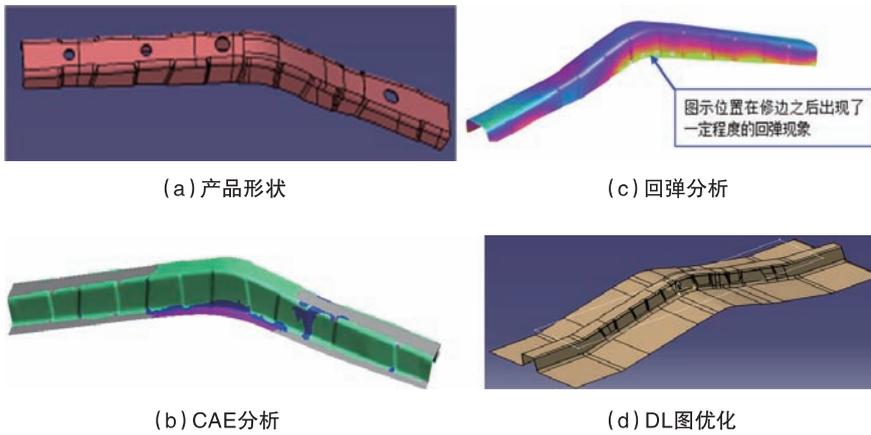


图16 地板纵梁优化过程示意

表2 试验参数

材料牌号 (t=1.4mm)	试验条件
780YD+Z	拉延筋高度 h=5mm 凸模圆角半径R=8mm 压边力F=5MPa
590YD+Z	
st07Z	

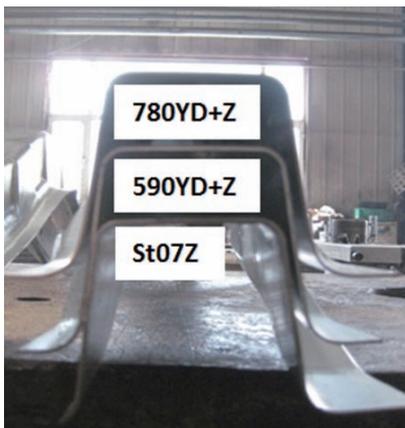


图17 不同牌号材料拉延工序回弹对比

件,随着材料抗拉强度的增加,制件侧壁的回弹增加。当材料级别上升至780MPa时,制件侧壁发生了小量的挠曲回弹。将780YD+Z生产的工序件放

在根据凸模数模制作的激光切割胎具上进行比较,回弹量很小,单边不超过0.5mm。

修边后成品件贴模性较好,这说明在制件侧壁加筋和适当增加筋的深度,可有效控制制件侧壁的回弹。取3个样件进行尺寸检测,平均尺寸合格率分别为93.2%,尺寸合格率达到90%以上,详见图18。**T**

3 小结

本文通过高强钢梁类件回弹特性评估和预测、高强钢梁类件工艺开发及优化两个方面阐述了同步工程四年对高强钢回弹的认知,希望抛砖引玉,



总点数	89	89	89
NG点数	5	6	7
OK点数	84	83	82
合格率	94.3%	93.2%	92.1%

图18 出件情况和前纵梁合格率

对高强钢零件回弹问题的解决有一定帮助。并希望以上工艺能在典型高强钢零件,如纵梁、防撞梁,B柱子加强板、后边梁上得到推广和完善。

参考文献

- [1] Yuichi Azuma. 高强度钢汽车轻量化技术[M]. 汽车用钕微合金化钢板. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [2] Antonio Fuganti. 新一代高强钢在未来汽车上的应用[M]. 汽车用钕微合金化钢板. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [3] Thomas G A, Speer J G, Matlock D K. Quenched and partitioned microstructures produced via Gleeble simulations of hot- strip mill cooling practices[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2011, 42(12):3652-3659.
- [4] Mahesh C, Somani L, Karjalainen L P, et al. Evaluation of the behavior and properties of a high- Si steel processed using direct quenching and partitioning[J]. Mater. Sci. Forum, 2012, 706-709, 2824-2829.
- [5] Zhou S, Zhang K, Chen N, et al. Investigation of high strength hot- rolled plates by quenching-partitioning-tempering process suitable for engineering[J]. ISIJ International, 2011, 51(10):1688-1695.

作者信息

高硕遥: 一汽轿车股份有限公司、冲压工艺员、中级工程师、吉林省长春市高新区蔚山路4888号一汽轿车技术部、130012、18686649203、gaoshuoyao@fawcar.com.cn

2219铝合金环锻件轧制成形数值模拟与分析

周 刚¹, 卢雅琳^{*1,2}, 王 健¹, 封爱成¹, 张 憬¹

1. 江苏理工学院材料工程学院, 江苏常州, 213001

2. 江苏省高性能材料绿色成形技术与装备重点建设实验室, 江苏常州, 213001

摘 要: 利用数值模拟软件DEFORM-3D对2219铝合金环锻件轧制成形的过程进行模拟与分析, 研究了变形温度对环锻件成形过程的影响, 模拟结果表明: 420℃为较优的变形温度, 且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。并将最优工艺参数用于试生产对比验证, 成形后的环锻件达到产品性能标准。

关键词: 2219铝合金环件; 数值模拟; 轧制成形; 变形温度

Numerical Simulation and Analysis of Rolling Forming 2219 Aluminum Alloy Rings

ZHOU Gang¹, LU Yalin^{*1,2}, WANG Jian¹, FENG Aicheng¹, ZHANG Jing¹

1. Jiangsu University of Technology, Changzhou, 213001

2. Key construction laboratory of green forming and equipment from Jiangsu Province, Changzhou, 213001

Abstract: The finite element simulation software DEFORM-3D was used to simulate and analyze forged ring rolling process of 2219 aluminum, and researched the the influence of deformation temperature and the regular of parameter changs during forming of 2219 aluminum alloy rings. The simulation results indicate that the optimum deformation temperature is 420℃, and the equivalent strain gradually increasing, the strain of outer layer is always superior to inner layer, and intermediate layer is minimum. The total flow velocity of the outer layer is greater than that of the inner layer. However, the velocity change of the outer layer is smaller than that of the inner layer. The Metal damage value gradually increasing, and the most serious parts of metal damage are concentrated in the upper and lower ends. The overall temperature of the ring increases periodically with the wave type. Results were verified by actual trial test, which indicates that the properties of forged ring are consistent with product performance standards.

Keywords: 2219 aluminum alloy rings; Numerical simulation; Rolling forming; Deformation temperature

环锻件轧制是利用主动旋转的驱动辊和随动旋转的芯辊对环形工件局部连续加压, 使工件在回转过程中主要产生径向(厚度)压缩和周向伸长,

从而获得坯壁厚减小以及直径增大的连续局部塑性成形技术^[1]。环锻件轧制具有产品精度高、组织性能好、工艺柔性高等优点, 已经成为轴承

环、齿轮环、法兰环、火车车轮等各种无缝中小型环形零件的先进成形技术和主要加工方法。利用实际生产进行2219铝合金轧制工艺的优化试验, 不

仅生产周期长,还浪费了大量能源资源,且成形件质量受人为因素影响较大。轧制过程中变形、传热和微观组织演变之间存在着复杂的交互作用,仅从现场和试验中得到的规律和理论很难覆盖所有方面,而且耗费巨大。因此,在2219铝合金环锻件实际成形前对轧制过程进行数值模拟,对各种热力条件下微观组织和力学性能的变化规律进行详细地分析研究,再根据产品组织和性能的要求不断优化工艺参数和技术方案是获得质量合格产品的重要路径。

在轧制过程中合金同时发生宏观变形和微观组织的变化,成形后产品的性能主要由变形时微观组织的变化决定,而微观组织的变化又与热轧过程中的温度、应变及应变率等工艺参数密切相关^[2]。目前,有许多文献对轧制过程中各工艺参数进行了有限元方法模拟^[3-7]。兰箭^[3]等认为轧制速率对环件轧制的成形性能有较大影响,较大的轧制速率有利于环件轮廓填充。王光艳等^[4]认为环件的塑性变形程度增大,即等效应变增大,虽然环件的力学性能得到提高,但变形的不均匀性也会增加。龚小涛等^[5]认为环件外径进给量始终大于内径,且两者之间差值越来越小。康煜华等^[6]分析了压下率、轧制速度以及接触传热系数等参数对温度和流动应力变化规律的影响,并与某铝厂热轧板带生产过程中不同压下率下的力能参数变化进行了对比,计算结果表明模拟值与实测值吻合较好,误差低于15%。韩星会^[7]等通过数值模拟,揭示了该内台阶锥形环件轧制缺陷形成机制,并对预轧制环件进行了设计;通过热轧实验对数值模拟结果进行

了验证。本文基于Deform-3D平台,通过对自由锻扩孔后的环坯进行轧制成形数值模拟研究,主要分析变形温度对轧制成形过程的影响,并研究其影响规律。

1 2219铝合金环锻件轧制成形数值模拟模型的建立

1.1 初始工艺参数的选取

变形过程中涉及的主要工艺参数包括:变形温度、变形速度以及润滑条件等,选择合理的工艺参数对成形后工件的性能十分重要^[8]。在一火轧制成形时,环坯加热温度直接影响环轧时的始锻温度,始锻温度高,合金塑性好,变形抗力小,但温度过高,容易发生过热、过烧现象;环轧温度过

$$\text{咬入条件: } V \leq V_{\max} = \frac{2\beta^2 n_1 R_1^2}{R(1 + \frac{R_1}{R_2})^2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R} - \frac{R_1}{r} \right) \quad (1)$$

$$\text{锻透条件: } V \geq V_{\min} = 6.55 \times 10^{-3} n_1 \frac{R_1^2}{R} \left(\frac{R}{R_1} - \frac{r}{R_1} \right)^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R} - \frac{R_1}{r} \right) \quad (2)$$

式中 β 为摩擦角, $\beta = \arctan \mu$, μ 为摩擦系数, r 、 R 、 R_1 、 R_2 分别为毛坯内、外半径,驱动辊半径及芯辊半径, n_1 为驱动辊转速。根据式(1)与(2)计算可得芯辊进给速度为 $0.186 \text{ mm/s} \leq v \leq 8.319 \text{ mm/s}$ 。结合实际设备情况,取 0.4 mm/s 作为本文轧制成形时的芯辊径向进给速度。

1.2 数值模拟模型的建立

轧制成形用环坯材料模型采用软件库2219铝合金刚塑性材料本构关系,所用模具材料为5CrNiMo,其中环坯设为塑性体,轧辊设为刚性体;材料在成形过程中的流动应力采用刚粘塑性流动模型;金属损伤值采用Cockcroft&Latham断裂准则;锻造过

低,变形抗力会增大,金属流动性受影响,端面易产生宽展变形^[7],模具寿命也降低,且动态再结晶发生的不充分。根据环件实际生产状况和生产时坯料转移时对空气的传热,轧辊与环坯的接触传热和塑性变形热^[6],本文分别取 380°C 、 400°C 、 420°C 、 440°C 作为轧制成形时的变形温度。

在轧制成形过程中,芯辊进给速度越快,材料变形流动速度越快,材料变形热效应和流动的惯性也越突出,虽有利于成形,生产效率高,但也受到生产设备的限制。假定成形时芯辊匀速径向进给,则能使环坯咬入成形孔型又能使其被锻透,从而保证环轧成形平稳顺利进行的径向进给速度范围是^[1]:

程属于热力耦合过程,满足传热边界条件;环件与轧辊之间采用干式热剪切摩擦模型,本文摩擦系数取0.7,并设为固定值。

本文利用UG8.0软件对环坯、芯辊、驱动辊和锥辊进行三维造型,并在DEFORM-3D软件中建立轧制成形的热力耦合有限元分析模型,如图1所示。为便于模型能真实可靠性的试验验证,根据实际生产设备和生产工艺参数确定相关模型参数:主辊(驱动辊)直径($2 \times R_1$)为 1000 mm ,芯辊直径($2 \times R_2$)为 250 mm ,导向辊直径($2 \times R_3$)为 250 mm ,锥辊锥角为 32.5° ,环坯尺寸为 $\phi 620/\phi 350 \times 200 \text{ mm}$,环锻件尺寸