不锈钢管坯热扩孔用剪切环形状研究*

程逸明[1],拓雷锋[1,2],周根树[2],康喜唐[1],楚志兵[3],李　强[1]
1.山西太钢不锈钢钢管有限公司制造与技术部(山西太原　030003)
2.西安交通大学金属材料强度重点实验室(陕西西安　710049)
3.太原科技大学材料科学与工程学院(山西太原　030003)

【摘要】采用有限元模拟和实际生产试验相结合的研究方法对60MN热挤压生产线的热扩孔变形工艺进行了研究,重点对热扩孔工艺中的剪切环能否顺利剪断扩孔后的余料进行分析。设计了3种不同形状的剪切环并对热扩孔过程进行了模拟分析,模拟结果认为J3剪切环有利于热扩孔余料的剪断并且承受轴向和径向载荷最小,对改进热扩孔生产工艺具有指导意义。

关键词:扩孔;剪切环;不锈钢管;有限元
中图分类号:TG385.2　　**文献标识码**:B
DOI:10.12147/j.cnki.1671-3508.2019.10.010

Research on the Shape of Shearing Ring Used in Thermal Expansion Process of Stainless Steel Tube

【**Abstract**】Finite element simulation and actual production test are used to study the thermal expansion during deformation process of the 60MN hot extrusion production line. Whether the accumulation metal can be cut by shearing ring successfully in the thermal expansion process is analyzed importantly. Three different kinds of shearing rings are designed and the corresponding expansion progresses are simulated. The simulation results show that the J3 shear ring is beneficial to cut accumulation metal, the axial and radial loads are smallest. It is significant to improve the thermal expansion process.

Key words: expansion; shearing ring; stainless tube; finite elements

1　引言

不锈钢管坯热扩孔作为不锈钢管热挤压生产线上的一道中间变形工艺[1],如图1所示,热扩孔效果对后续挤压出产品的质量有较大的影响,而剪切环作为热扩孔工艺中的易耗工模具之一[2],起到了分割热扩孔余料(简称扩余)与热扩孔后管坯的作用,设计不合理会造成扩孔余料与扩孔后的管坯不分离,因此对热扩孔工艺中剪切环形状的优化设计显得必要。江鸿等人采用DEFORM软件模拟分析了Inconel 690合金管坯的热扩孔过程进行了模拟[3],分析了不同温度下的扩孔载荷曲线,并未涉及到剪切环形状的研究。本文将采用有限元模拟方法分析不同剪切环形状设计对扩余和扩孔后管坯分离效果的影响,并提出较为合理的剪切环形状设计。

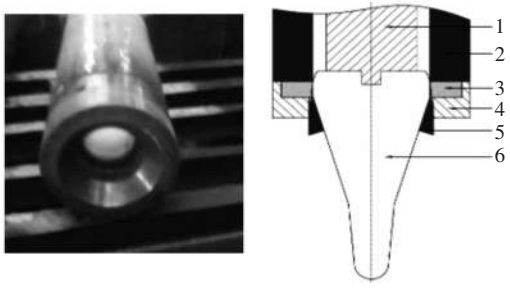


图1　扩孔余料与扩孔后管坯分割不断
1.扩孔针 2.管坯 3.剪切环 4.剪切环支座 5.扩孔余料 6.扩孔锥

* **基金项目**:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(51305228)。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 试验方法

2.1 扩孔模型及边界条件

由于热扩孔是轴对称模型，选择DEFORM-2D二维软件进行有限元模拟。采用CAXA建立热扩孔模型，如图2所示，模型主要由扩孔锥、扩孔筒、管坯、剪切环和剪切环支座（起到支撑剪切环的作用）组成，其中热扩孔用管坯选择不锈钢316L并定义温度1,180℃[4-5]，其他工模具采用采用H13热作模具钢制造[6]，扩孔成形中不发生变形，设定为刚体。扩孔筒内孔尺寸为ϕ290mm，管坯尺寸为：外径ϕ290×内径ϕ60×长600mm，扩孔锥工作带直径为ϕ165mm，剪切环工作带直径为ϕ165.5mm，加载方式选择Y向施加扩孔速度100mm/s，摩擦类型选择剪切摩擦并定义摩擦系数0.025[7]。

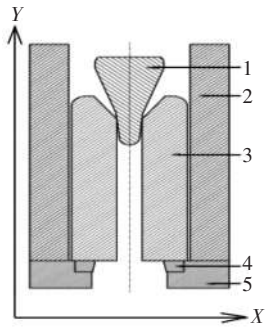


图2 扩孔模型

1.扩孔锥 2.扩孔筒 3.管坯 4.剪切环 5.剪切环支座

2.2 剪切环形状优化设计

为分析不同剪切环设计时金属流出特点对扩余分离的影响，本文设计了J1、J2和J3 3种剪切环形状，形状和尺寸如表1所示。J1是原始设计，剪切工作带和出口均为直线型，工作带和出口的衔接处有有2mm×35°过渡倒角，如图3a所示。J2是对剪切环形状进行了初步优化，剪切工作带为直线型，出口为15°斜角，工作带和出口衔接处无斜角过渡，如图3b所示。J3是对剪切环形状进行了更进一步优化，剪切工作带为直线型，出口为10°斜角，过渡处有2mm×35°倒角，如图3c所示。

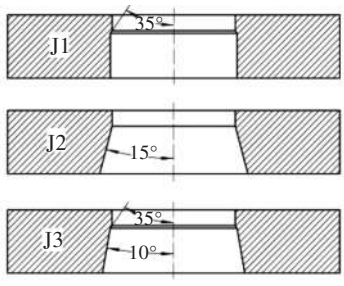


图3 剪切环形状

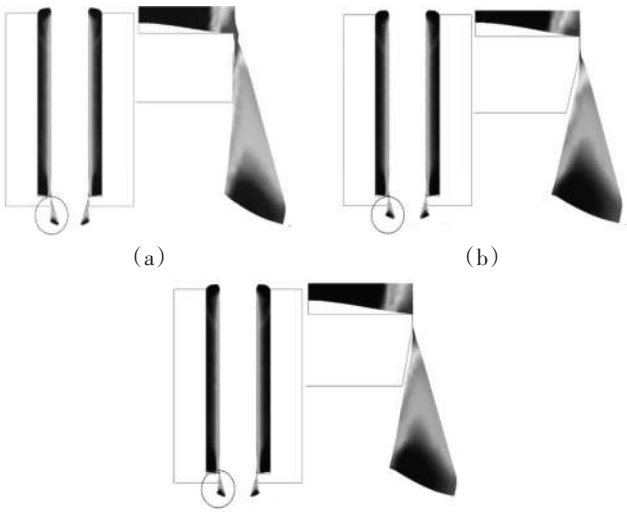
表1 剪切环优化设计

名称	形状	工作带长/mm	过渡倒角°	出口角
J1	直线型有过渡	10	2mm×35	0
J2	斜线型无过渡	10	无	10°
J3	斜线型有过渡	10	2mm×35	10°

3 结果讨论

3.1 应变分布

图4为J1、J2和J3共3种不同设计下的热扩孔变形应变分布图和扩孔余料与剪切环间隙区域的放大图。采用J1剪切环设计时，扩孔后的余料容易在剪切环的出口区域出现憋死现象，不利于扩孔锥的脱离和扩余的分离，如图4a所示。而采用J2和J3剪切环设计则对扩孔锥脱离和扩余的分离有利，如图4b和4c所示。结合扩孔载荷的分析结果，J2剪切环设计时下模承受的轴向（Y向）和径向（X向）载荷均最大，J2剪切环设计在频繁使用后容易在工作带区域出现磨损，导致扩孔锥和剪切环工作带之间的间隙区域金属过厚如图5所示，不利于扩余的剪切，J3剪切环设计时轴向（Y向）和径向（X向）载荷最小，减轻剪切环工作带出的磨损，有利于提高剪切环使用寿命。



（a） （b）

（c）

图4 模拟结果

a——J1 b——J2 c——J3

图5 扩孔锥与剪切环之间的间隙金属过厚

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.2 扩孔载荷分析

图6和图7为扩孔上、下模的*X*向和*Y*向载荷曲线，表2为扩孔上、下模的*X*向和*Y*向载荷最大值。图6a和图6b所示，上模*X*方向J1、J2和J3的最大载荷值分别为13.7MN、13.7MN、13.5MN，下模*X*方向J1、J2和J3的最大载荷值分别为−36.3MN、−37.2MN、−35.7MN。如图7a和图7b所示，上模*Y*方向J1、J2和J3的最大载荷值分别为−3.75MN、−3.88MN、−3.73MN，下模*Y*方向J1、J2和J3的最大载荷值分别为3.75MN、3.88MN、3.73MN。采用J3剪切环形状设计时，上下模受到的载荷值最小，其次为J1，最大为J2。即采用J3设计有利于减小工模具受力。

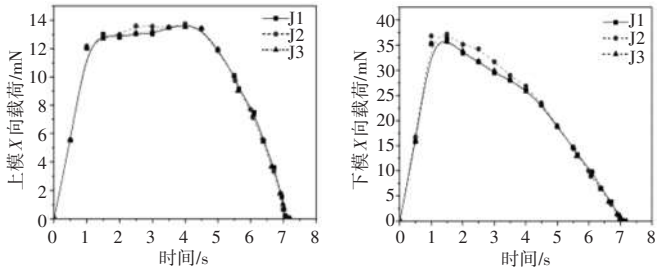


图6 不同剪切环设计下的*X*向载荷曲线

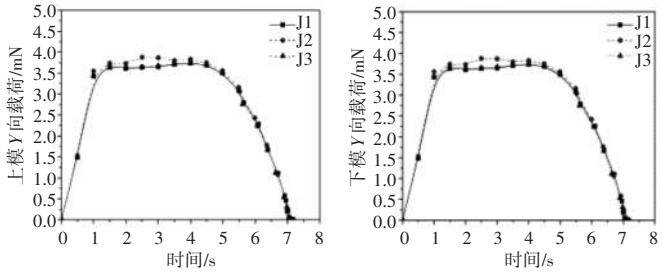


图7 不同剪切环设计下的*Y*向载荷曲线

表2 最大载荷值

类型	*X*向载荷F_{max}/MN		*Y*向载荷F_{max}/MN	
	上模	下模	上模	下模
J1	13.7	−36.3	−3.75	3.75
J2	13.7	−37.2	−3.88	3.88
J3	13.5	−35.7	−3.73	3.73

3.3 生产试验

图8分别为采用J1和J3形状设计的剪切环及使用效果。从图中可以看出，采用J2形状设计的剪切环（见图8a）时扩孔锥与扩孔余料存在不能分离现象（见图8b）。采用J3形状设计的剪切环（见图8c）时可以实现扩孔锥与扩孔余料分离（见图8d），扩孔锥与扩余不分离的现象得到改善。

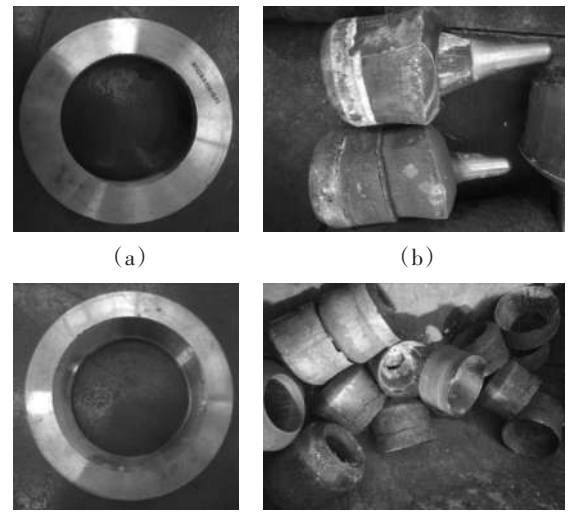


图8 剪切环优化前后的扩孔效果

4 结论

采用J3斜线有过渡的剪切环设计时，下模剪切环在轴向（*Y*向）和径向（*X*向）受到的载荷最小，有利于剪切环工作带的使用寿命；采用J2和J3剪切环设计时有利于扩孔锥的脱离和扩余的分离，实际热扩孔生产试验进一步验证了采用J3剪切环的使用效果。

参 考 文 献

[1] 李志勇，拓雷锋，张文魁等. UNS N06625镍基合金管坯热扩孔工艺研究[J]. 热加工工艺，2018，(47)：137~140

[2] 雷波，苏承龙. 加尾垫挤压生产不锈管的工艺完善[J]. 特钢技术，2005，(3)：13~16

[3] 江鸿，周淑容，雷君相，宋杰，范永革. 工艺参数对高温合金Inconel 690管坯扩孔热成形影响的有限元模拟[J]. 塑性工程学报，2017，(5)：59~66

[4] 陈良超，杨剑锋，刘文彬等. 316L不锈钢蒸汽管失效原因分析[J]. 热加工工艺，2017，(46)：252~256

[5] 于志强，宋丛飞，拓雷锋等. 316L方圆管热挤压工艺数值模拟[J]. 热加工工艺，2015，(44)：126~129

[6] 张青青. H13热作模具钢的热处理的工艺研究[J]. 铸造技术，2015，(1)：105~107

[7] 刘长勇，张人佶，颜永年等. 玻璃润滑热挤压工艺的润滑行为分析[J]. 机械工程学报，2011，47(20)：127~134

第一作者简介：程逸明，男，1984年生，硕士，工程师，从事工作：不锈钢制造技术研究。

（收稿日期：2019-07-31）

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net