

工艺参数对楔横轧二次楔轧制超大断面收缩率轴类件的影响

娄依志 张康生 杨翠萍 胡正寰

北京科技大学机械工程学院, 北京 100083

摘要 为考察楔横轧二次楔轧制在超大断面收缩率情况下的成形规律, 在 H630 轧机上进行了不同工艺条件下的超大断面收缩率轧制实验, 得到各工艺参数对轧制质量的影响规律, 发现在超大断面收缩率情况下二次楔的工艺参数对内部缺陷和拉断加工界限有决定性影响. 结果表明, 只要参数得当, 二次楔轧制可以获得合格的大断面收缩率轴类件.

关键词 楔横轧; 二次楔入; 工艺参数; 大断面收缩率

分类号 TG 335.19

Effect of process parameters on axial parts with super large area reduction during twice cross wedge rolling

LOU Yizhi, ZHANG Kangsheng, YANG Cuiping, HU Zhenghuan

School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT In order to find out the forming rules for axial parts with super large area reduction during twice cross wedge rolling, the extreme rolling experiment under different process conditions was done on an H630 rolling mill. The effect rules of process parameters on the rolling quality were achieved. It is shown that process parameters have determinant effect on the internal defect and tension fracture of the parts with super large area reduction. If the parameters are proper, the qualified axial parts with large area reduction can be produced.

KEY WORDS cross wedge rolling; twice wedge; process parameter; large area reduction

楔横轧工艺特点决定了其常规的一次楔轧制最大断面收缩率一般不能大于 75%, 超过这个限制会出现已成形成部分轴向拉伸甚至拉断等问题. 当断面收缩率大于 75% 时, 大多采用二次楔轧制^[1-2]. 楔横轧二次楔轧制, 是指断面收缩率在 75% 以上, 在轧辊旋转一周中对轧件上同一截面先后进行两次轧制. 通常情况下, 75% 作为楔横轧单次楔轧制的最大断面收缩率, 则楔横轧二次楔轧制的最大收缩率为 93.75%.

当断面收缩率为超大值时, 容易出现拉断等情

况, 而二次楔轧制相比于单次轧制更容易出现中心疏松^[3-10]. 因此本文进行了楔横轧二次楔轧制超大断面收缩率实验研究, 即总断面收缩率为 93.75%; 根据断面收缩率的分配一次楔和二次楔的断面收缩率也都为最大断面收缩率, 为 75%. 通过实验研究轧制过程中是否拉断, 并且把没有拉断的轧件从中间锯断, 对轧件进行磨光处理, 通过金相显微镜放大, 测量其最大中心孔洞. 对所得到的数据进行处理, 研究一次楔成形角 α_1 , 二次楔成形角 α_2 , 一次楔展宽角 β_1 和二次楔展宽角 β_2 对轧制内部质量的影响.

1 实验描述

该实验在 H630 楔横轧轧机上进行, 实验所用模具基圆直径为 584 mm, 坯料直径为 40 mm, 一次楔轧制后的直径为 20 mm, 二次楔轧制后的轧件直径为 10 mm. 轧件的轧后长度(二次楔模具展宽长度)统一为 100 mm, 轧件材料为 45[#] 钢. 一般情况

收稿日期: 2007-02-25 修回日期: 2007-04-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 50575023; No. 50435010); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (No. 20050008024); 国家科技支撑计划资助项目 (No. 2006BAF04B03)

作者简介: 娄依志 (1979-), 男, 博士研究生; 张康生 (1952-), 男, 研究员, 博士生导师, E-mail: zhang-ks@me.ustb.edu.cn

下楔横轧轧制的成形角在 $18\sim 34^\circ$ 之间, 展宽角在 $4\sim 12^\circ$ 之间. 本次实验的具体参数安排如表 1 所示. 轧件的温度主要通过远红外测温仪进行监控, 轧件的出炉温度为 $1\ 100^\circ\text{C}$ 左右. 同时为了对照, 本次实

验还进行了单次楔轧制, 实验所用模具基圆直径也为 584 mm , 坯料直径为 40 mm , 轧制后的直径为 20 mm , 单次楔轧制的参数安排如表 2 所示, 坯料的出炉温度也控制在 $1\ 100^\circ\text{C}$ 左右.

表 1 二次楔轧制实验模具的工艺参数

Table 1 Process parameters for the twice cross wedge rolling die

一次楔展宽角, $\beta_1/(\circ)$	二次楔展宽角, $\beta_2/(\circ)$	一次楔成形角, $\alpha_1/(\circ)$	二次楔成形角, $\alpha_2/(\circ)$	一次楔断面收 缩率, $\psi_1/\%$	二次楔断面收 缩率, $\psi_2/\%$	总断面收缩 率, $\psi/\%$
6, 9	6, 9	20, 30	20, 30	75	75	93.75

表 2 单次楔实验模具的工艺参数

Table 2 Process parameters for the once cross wedge rolling die

单次楔展宽角, $\beta_1/(\circ)$	单次楔成形角, $\alpha_1/(\circ)$	单次楔断面收缩 率, $\psi_1/\%$
6, 9	20, 30	75

下放大 100 倍, 查找其最大孔洞, 显微镜下的中心孔洞照片如图 3 所示. 通过带有刻度的十字目镜测量其大小, 本文中的孔洞大小为孔洞的最长边长度加上垂直于最长边线段长度, 然后除以 2 得到的值. 各组数值取平均, 得到单次楔轧后直径为 20 mm 的试件的最大孔洞大小(如表 3 所示); 二次楔轧制大断面收缩率的试件孔洞大小(如表 4 所示).

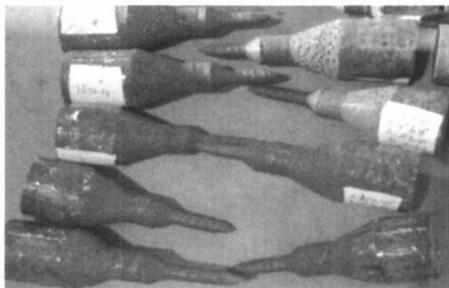


图 1 拉断轧件

Fig. 1 Tension fracture of rolled pieces

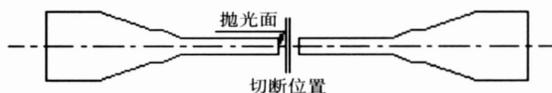


图 2 切断位置示意图

Fig. 2 Sketch of cutting position

在表 1 中,

$$\begin{cases} \psi_1 = (1 - d_1^2/d_0^2) \times 100\% \\ \psi_2 = (1 - d_2^2/d_1^2) \times 100\% \\ \psi = (1 - d_1^2/d_0^2) \times 100\% = \\ [1 - (1 - \psi_1)(1 - \psi_2)] \times 100\% \end{cases} \quad (1)$$

式中, ψ 为总断面收缩率, %; d_0 为轧件轧前直径, mm; d_1 为轧件一次轧制后直径, mm; d_2 为轧件二次轧制后直径, mm.

2 结果与分析

本次实验共进行了 20 组工况轧制, 每个工况轧制 4 根零件, 得到有效轧件 80 根, 其中有 3 组工况共 12 根轧件出现从中间拉断状况(如图 1). 然后把没拉断的 17 组工况共 68 根轧件通过锯床从中间锯断, 切断位置如图 2 所示. 依次通过 100[#]、200[#] 和 400[#] 的砂纸把轧件的中间端面磨光, 在金相显微镜

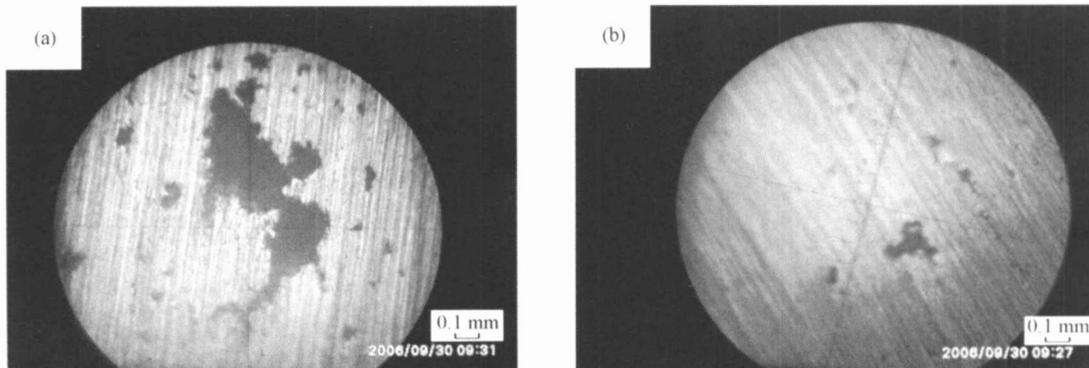


图 3 最大孔洞的金相显微照片. (a) $\alpha_1 = \alpha_2 = 20^\circ$, $\beta_1 = \beta_2 = 6^\circ$; (b) $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $\beta_1 = 6^\circ$, $\beta_2 = 9^\circ$

Fig. 3 Micrographs of the maximal cavity: (a) $\alpha_1 = \alpha_2 = 20^\circ$, $\beta_1 = \beta_2 = 6^\circ$; (b) $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $\beta_1 = \beta_2 = 6^\circ$

2.1 单次轧制情况分析

从表 3 中可以看出,工艺参数对单次楔的影响不显著,基本上没有一定的规律可循,这是在超大断面收缩率的情况下出现的特殊情况.实验同时,还对原坯料的内部疏松状况进行了分析.通过对五个坯料的抽样检查,发现其中有四个坯料中也存在缺陷,平均孔洞大小为 0.0522 mm .故很难说在超大断面收缩率的情况下单次楔轧制的孔洞是楔横轧轧制造成的,还是原始坯料中就有的.一般认为当单次楔轧制断面收缩率较大的轴类零件时,不容易形

成孔洞.同时通过对表 3 和表 4,可以发现二次楔轧制条件下比单次楔更容易形成中心孔腔.

表 3 单次楔轧制后直径为 20 mm 试件的最大孔洞大小

Table 3 Maximal cavity size of the sample of 20 mm in diameter after single cross wedge rolling

$\beta_1/(\circ)$	最大孔洞大小/ t_m	
	$\alpha_1=20^\circ$	$\alpha_1=30^\circ$
6	115.00	83.75
9	83.33	98.75

表 4 二次楔轧制超大断面收缩率试件的最大孔洞大小

Table 4 Maximal cavity size of the sample with limiting area reduction after twice cross wedge rolling

$\beta_1/(\circ)$	$\beta_2/(\circ)$	最大孔洞大小/ t_m			
		$\alpha_1=20^\circ, \alpha_2=20^\circ$	$\alpha_1=20^\circ, \alpha_2=30^\circ$	$\alpha_1=30^\circ, \alpha_2=20^\circ$	$\alpha_1=30^\circ, \alpha_2=30^\circ$
6	6	33.625	拉断	28.25	10.5
6	9	40.26	4.5	8.625	7.75
9	6	117.875	拉断	45.25	拉断
9	9	85.5	5.15	9.75	4.25

2.2 拉断情况分析

本次轧制实验中,共有三组轧件都是在进行了二次楔轧制后拉断.实验发现工艺参数对拉断有着重要影响:当一次楔成形角为 20° 和 30° ,都有可能出现拉断;而二次楔成形角都为 30° ,出现拉断.通过分析可以发现一次楔的大小对拉断的影响不大,而二次楔的成形角对其影响很大,一般是二次楔成形角越大,越容易出现拉断情况.这是由于成形角的增加,轴向流动的金属量增加,作用于接触面上的正压力的轴向分力增加,所以当二次楔的成形角较大时,易出现拉断.

实验发现当一次楔和二次楔的展宽角较小时,很容易出现拉断,但二次楔的影响比一次楔的影响要明显.这是因为随着展宽角增大,轧件沿径向方向发生塑性变形的肩部面积减少,金属的轴向流动趋势减小,轧件沿径向方向发生的塑性变形的轴部接触面积增大,与金属流动方向相反的摩擦力增大,轴向力减少,所以展宽角较小时,很容易出现拉断.

一般是二次楔的工艺参数比一次楔更具有决定性作用.当二次楔成形角较大,二次展宽角较小时,轧件越容易拉断.这是因为当轧件一次楔轧制完成后,轧件的直径为 20 mm ,而二次楔轧制后的直径为 10 mm ,而进行二次楔轧制的轧件进行了很大的塑性变形,其塑性已经下降,所以二次楔轧制的成形角和展宽的大小比一次楔的成形角和展宽角更容易影响超大断面收缩率下的拉断情况.

2.3 成形角对楔横轧二次楔轧制大断面收缩率试件的最大孔洞的影响

从表 4 可以发现,成形角的大小对楔横轧二次楔轧制大断面收缩率轴类的中心孔洞存在着重要影响,并且存在着一定的规律.

当二次楔成形角为 20° 时,随着一次楔成形角的增大,轧件的最大中心孔洞也随着减少,并且影响比较显著.当二次楔成形角为 30° 时,很容易出现拉断的情况;在没有出现拉断的情况下,一次楔成形角对中心孔洞大小影响不明显,这是由于断面收缩率达到最大,一次楔轧制后中心孔洞基本上不大,而选取二次楔成形角为 30° 时,也不容易形成孔洞,同时选取大的成形角时,孔洞也没有增大的趋势.

从表 4 可以看出,当一次楔为 20° 时,在不拉断的情况下,随着二次楔成形角增大,中心最大孔洞减少,影响比较明显.当一次楔为 30° 时,在不拉断的情况下,随着二次楔成形角的增大,中心最大孔洞减少,但影响不是很显著,这是由于在超大断面收缩率下一次楔成形角较大时,基本上不会形成孔洞,而二次楔轧制时又处于拉断与不拉断的临界状态,故当不拉断时,一般不会再扩展中心孔洞.

2.4 展宽角对二次楔轧制大断面收缩率试件的最大孔洞影响

分析表 4,展宽角大小对楔横轧二次楔轧制大断面收缩率轴类的中心孔洞的大小有着举足轻重的作用.

当一次楔成形角和二次楔成形角都为 20° , 随着一次楔展宽角的增大, 轧件的中心孔洞随着增大, 并且影响很明显. 当一次楔成形角为 20° 或者 30° , 二次楔成形角为 30° 时, 在不拉断的情况下, 一次楔展宽角对中心孔洞的大小影响不明显; 在超大断面收缩率的情况下, 成形角对中心孔洞的影响至关重要. 当一次楔成形角为 30° 和二次楔成形角为 20° , 随着一次楔展宽角的增大, 轧件的中心孔洞随着增大; 并且当二次楔展宽角比较小时影响明显, 二次楔展宽角比较大时影响不明显.

从表中可以看出, 当一次楔成形角为 20° 或 30° 而二次楔成形角为 20° 时, 随着二次楔展宽角的增大, 轧件的中心孔洞随着减少, 并且影响很明显; 当二次楔成形角为 30° 时, 只有一组工况没有出现拉断.

3 结论

(1) 通过对实验得出的数据分析后发现, 当总断面收缩率为超大断面收缩率时, 工艺参数对楔横轧二次楔轧制有很大的影响. 只要参数得当, 二次楔轧制可以获得合格的大断面收缩率轴类件; 但是如果工艺参数控制不好, 很容易出现拉断, 或者轧件中心容易出现较大的孔洞.

(2) 在超大断面收缩率条件下, 工艺参数对单次楔轧制轧件的内部孔洞的影响不显著.

(3) 二次楔的工艺参数比一次楔的工艺参数更容易影响轧制的拉断情况. 当二次楔的成形角较大时, 容易出现拉断; 同时当二次楔的展宽角较小时, 也容易出现拉断.

(4) 一次楔成形角和二次楔成形角都对内部孔洞有着较大影响; 随着成形角的增大, 中心孔洞减少.

(5) 一次楔展宽角和二次楔展宽角对内部孔洞的影响不一致: 随着一次楔展宽角增大, 最大中心孔洞增大; 随着二次楔展宽角增大, 最大中心孔洞减少.

(6) 为了保证楔横轧轧件的内部质量, 同时又

不出现拉断情况, 建议设计模具时, 一次楔应该选择比较大的成形角和比较小的展宽角, 而二次楔应该选择比较小的成形角和比较大的展宽角.

参 考 文 献

- [1] Pan B G. *Research on Porosity Mechanism of Parts by Cross Wedge Rolling* [Dissertation]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 1983:30
(潘必刚. 楔横轧轧件疏松机理研究[学位论文]. 北京: 北京科技大学, 1983:30)
- [2] Wang M L. *Force parameters research by examination in second wedge of cross wedge rolling* [Dissertation]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2007: 15
(王明龙. 楔横轧二次楔入轧制力能参数实验研究[学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2007:15)
- [3] Choi S. Cold rolling technique for eliminating cuffing process in manufacturing precise product using non-heat-treated micro alloys // *The Fifth Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing*. Beijing, 2005
- [4] Pater Z. Theoretical and experimental analysis of cross wedge rolling process. *Int J Mach Tools Manuf*, 2000, 40: 49
- [5] Yang C P, Zhang K S, Liu J P, et al. Internal defects in rolled pieces during three-roll cross wedge rolling. *J Univ Sci Technol Beijing*, 2006, 28(5): 464
(杨翠萍, 张康生, 刘晋平, 等. 三辊楔横轧应力应变场对内部缺陷的影响. 北京科技大学学报, 2006, 28(5): 464)
- [6] Yang C P, Hu Z H, Zhang K S, et al. Study on axial deformation of workpiece in cross wedge rolling. *Chin J Mech Eng*, 2004, 40(9): 80
(杨翠萍, 胡正寰, 张康生, 等. 楔横轧轴件轴向变形研究. 机械工程学报, 2004, 40(9): 80)
- [7] Qiang L, Michael L. On the critical interfacial friction of a two-roll CWR process. *J Mater Process Technol*, 2005, 60: 245
- [8] Pater Z. Determination of rolling radius and loads in cross-wedge rolling. *J Metall*, 1999, 28: 117
- [9] Dong Y M. Analysis of stress in cross wedge rolling with application to failure. *Inter J Mech Sci*, 2000, 42: 1233
- [10] Liu G H, Ren G S, Xu C G, et al. Research on mechanism of interior hollow defect during the deformation of cross wedge rolling. *Chin J Mech Eng*, 2004, 40(2): 150
(刘桂华, 任广升, 徐春国, 等. 楔横轧变形过程中内部缺陷产生机理的模拟研究. 机械工程学报, 2004, 40(2): 150)