

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.04.006

工艺参数对铝型材挤压模具模芯变形的影响研究

高亚云, 倪正顺, 黄庄泉, 邹立军, 宋 焘

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 针对空心铝型材挤压过程中产生的模芯变形问题, 设计正交试验分析不同挤压工艺参数对模芯变形的影响规律, 采用有限元分析软件 HyperXtrude 进行数值模拟计算。结果表明: 模具预热温度对模芯变形影响最大, 挤压速度次之, 坯料预热温度影响最小。该结果能为铝型材挤压工艺参数优化提供参考。

关键词: 铝型材; 挤压模具; 模芯变形

中图分类号: TG376.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)04-0026-04

Study on the Impact of Process Parameters on the Mold Core Deformation of Aluminum Extrusion Die

Gao Yayun, Ni Zhengshun, Huang Zhuangquan, Zou Lijun, Song Tao

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Designs an orthogonal experiment to analyze the effect of process parameters on the mold core deformation in the hollow aluminum extrusion process, and makes numerically simulation with the finite element software HyperXtrude. The results indicate that the effect of die preheating temperature on the mold core deformation is largest and the extrusion speed is the second, while the billet preheating temperature is smallest. The results provide a reference for the aluminum extrusion process parameter optimization.

Keywords: aluminum profile; extrusion die; mold core deformation

0 引言

近年来, 空心铝型材的应用越来越广泛, 对其精度的要求也越来越高。在铝型材挤压生产中, 挤压模具是保证产品质量、生产效率和交货周期的基本工具, 也是决定产品成本的重要因素^[1]。空心铝型材的生产, 目前广泛采用平面分流组合模。模具中模芯的平衡稳定性, 直接影响型材内部轮廓尺寸及壁厚的精度, 而且影响模具的寿命, 因此模芯的稳定性分析显得尤为重要^[2-3]。

目前, 国内外学者针对挤压模具结构参数对模芯变形影响的研究较多。例如: 孙伟等^[4]通过对 6061 铝合金管材进行有限元分析, 获得了工作带长度对

模芯稳定性的影响规律; Lee J. M. 等^[5]以口琴管型材为例, 研究了焊合室形状对模芯变形的影响。而针对挤压工艺参数对模芯变形影响的研究相对较少, 不能为生产实践提供有效的理论指导。

挤压速度、模具预热温度、坯料预热温度等工艺参数, 关系到坯料流动速度的大小及其均衡性。上模分流桥在各股坯料流不均衡的作用力下, 可能会产生弯曲、塌陷等变形, 从而导致模芯发生变形^[6]; 而各股坯料流对模芯作用力的不平衡, 也会直接导致模芯变形现象的发生。

基于上述原因, 本文利用基于任意拉格朗日-欧拉算法的有限元分析软件 HyperXtrude, 以某一带

收稿日期: 2015-05-06

作者简介: 高亚云(1990-), 男, 湖南涟源人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为塑性成型理论及应用,

E-mail: 363155879@qq.com

悬臂的空心铝型材为研究对象,对不同挤压工艺参数对铝型材挤压过程中模芯变形的影响进行研究。获取各个工艺参数对模芯变形的影响规律,并辨析出影响模芯变形的主次因素。

1 研究方案

在挤压过程中,影响模芯变形的工艺参数种类较多,而每种参数又有多种取值,如果对各工艺参数的各个取值都进行试验,试验量非常大。为了在减少试验次数的情况下,选择最佳的工艺参数或工艺配方,本文采用正交试验法进行研究^[7-8]。

以模芯工作带最大变形量为目标,选取挤压速度、模具预热温度、坯料预热温度3个工艺参数作为因子,每个因子分别取3个水平。各因子分别用字母A, B, C表示,因子的水平分别用数字1, 2, 3表示,如表1所示。3因子3水平的正交试验L9(3³)^[9]如表2所示。

表1 正交试验因子及因子水平

Table 1 Factors and factor level of orthogonal experiment

因子	因子水平		
	1	2	3
A: 挤压速度 / (mm · s ⁻¹)	4	5	6
B: 模具预热温度 / °C	450	470	490
C: 坯料预热温度 / °C	440	460	480

表2 正交试验表

Table 2 Orthogonal experiment table

试验序号	因子水平		
	A(挤压速度)	B(模具预热温度)	C(坯料预热温度)
a	1	1	1
b	1	2	2
c	1	3	3
d	2	1	2
e	2	2	3
f	2	3	1
g	3	1	3
h	3	2	1
i	3	3	2

2 有限元模型的建立与求解

以某带悬臂的空心铝型材为例,其截面如图1所示,壁厚为2.8 mm,截面面积为528.36 mm²。先根据型材尺寸进行模具设计;然后在Pro/E中建立三维模型;再导入HyperXtrude软件中建立有限元模型,如图2所示。图2a为上模的有限元模型,其外径为180 mm,高度为65 mm,模芯伸出上模31 mm,一共设计4个分流孔。图2b为下模的有限元模型,其高度同样为65 mm,下模焊合室高度为20 mm。工件材料选用AA6063铝合金,模具材料选用H13模具钢。

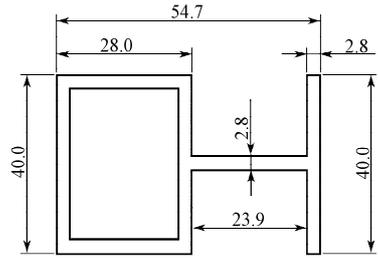


图1 型材截面图

Fig. 1 The profile section

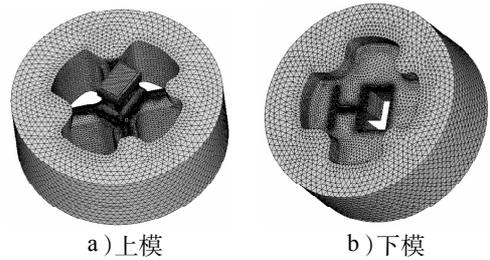
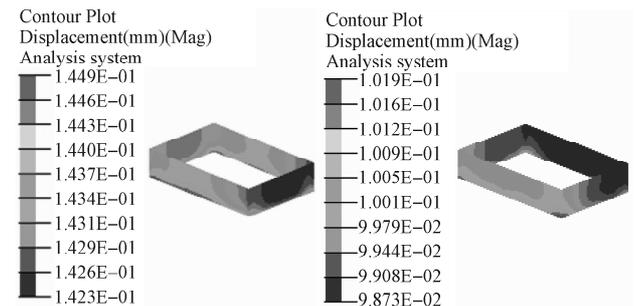


图2 有限元模型

Fig. 2 Finite element model

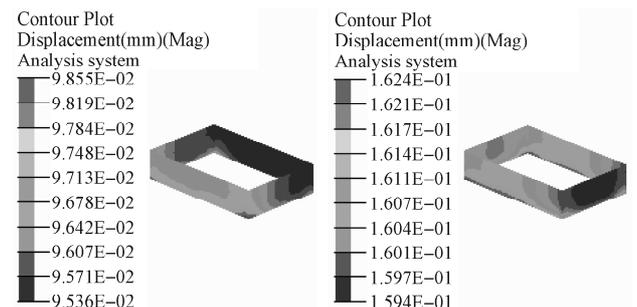
有限元模型建立之后,在HyperXtrude中加载边界条件并进行求解,将生成的h3d文件导入HyperView中查看计算结果。

模芯工作带直接影响挤出型材内表面的尺寸、精度,所以在挤压工艺设计时,模芯工作带可能出现的最大变形量是一个重要的参数。一般地,可取模芯工作带最大变形量作为模芯变形的极端值。故考察模芯工作带外表面的位移云图并进行分析,取其最大变形量作为模拟计算结果填入正交矩阵。9组试验方案的模芯工作带外表面位移云图如图3所示。



1) 试验 a

2) 试验 b



3) 试验 c

4) 试验 d

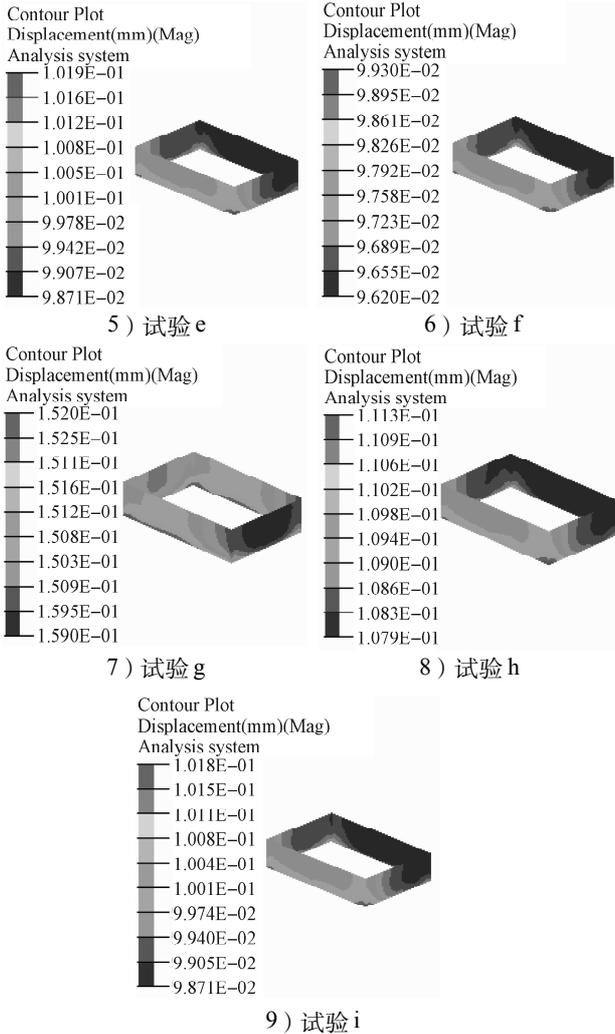


图3 模芯工作带位移云图

Fig. 3 Contour plot of mold core's bearing displacement

3 试验结果分析

3.1 数值模拟结果

通过有限元软件进行数值模拟计算，得到各组试验条件下产生的模芯最大变形量，见表3。

表3 数值模拟计算结果

Table 3 Numerical simulation results

试验序号	a	b	c	d	e
模芯最大变形量/mm	0.145	0.102	0.099	0.162	0.102
试验序号	f	g	h	i	
模芯最大变形量/mm	0.099	0.152	0.111	0.102	

3.2 数据处理分析

对各组试验的模芯最大变形量数据进行进一步处理分析，如表4所示，可计算出各因子在3个水平效应的综合值，分别用I, II, III表示。I_{mn}, II_{mn}, III_{mn}为第m(m为A, B, C)个因子该列上所有水平为n(n为1, 2, 3)时的模芯最大变形量之和。

例如：先考虑因子A，即挤压速度对模芯最大变

形量的影响。如果仅用不同挤压速度下得出的数据不能进行比较，因为除挤压速度外还有其他因子造成数据差异。从整体上看，挤压速度为4 mm/s时，3种模具预热温度和3种坯料预热温度全遇到了；5 mm/s和6 mm/s时也是如此。这样，对于每种挤压速度下的3个数据的综合值来说，模具预热温度与坯料预热温度处于完全平等状态，这时的挤压速度就具有可比性。算出3种挤压速度下，3次试验的模芯最大变形量之和：

挤压速度为水平1(4 mm/s)时，

$$I_{A1}=0.145+0.102+0.099=0.346;$$

挤压速度为水平2(5 mm/s)时，

$$II_{A2}=0.162+0.102+0.099=0.363;$$

挤压速度为水平3(6 mm/s)时，

$$III_{A3}=0.152+0.111+0.102=0.365.$$

将上面所得3个数据分别记录在表4的I, II, III的3行中。再将上面3个数据分别除以水平的重复次数3，得到其平均值K₁, K₂, K₃，分别表示4, 5, 6 mm/s时综合平均意义下的模芯最大变形量，并记录在表4对应的行中。用R表示K₁, K₂, K₃中最大值与最小值之差，称为极差，它表明该因子对结果的影响幅度。

同样地，为了比较模具预热温度、坯料预热温度对模芯最大变形量的影响，先算出该因子同一水平下的数据之和I_{B1}, II_{B2}, III_{B3}与I_{C1}, II_{C2}, III_{C3}；再计算其平均值和极差，均记录在表4中。

表4 试验数据分析处理结果

Table 4 Test data analysis and processing results

数据类型	因子水平		
	A	B	C
I	0.346	0.459	0.355
II	0.363	0.315	0.366
III	0.365	0.300	0.353
K ₁	0.115	0.153	0.118
K ₂	0.121	0.105	0.122
K ₃	0.122	0.100	0.118
R	0.007	0.053	0.004
因子主次	B>A>C		

根据表4中各因子K₁, K₂, K₃的值得出各工艺参数对模芯变形的影响趋势，如图4所示。

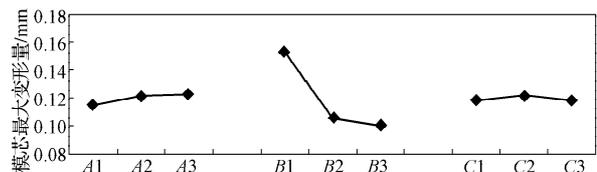


图4 各工艺参数对模芯变形的影响

Fig. 4 Effect of process parameters on the mold core deformation

从表4中可以看出影响模芯变形的主次因子，其

中模具预热温度对模芯变形的影响最大,其次是挤压速度,坯料预热温度的影响最小。

由表4和图4可以看出各因子对模芯变形影响的规律:

1)随着挤压速度从4 mm/s增加到5 mm/s,模芯变形量从0.115 mm增加到0.121 mm增加了0.006 mm;而当挤压速度从5 mm/s增加到6 mm/s时,模芯变形量仅增加0.001 mm。这是因为,一方面挤压速度加快,导致了材料变形抗力的提升^[10];另一方面挤压速度加快后,使得塑性变形热和摩擦热增大,从而使材料温度逐渐升高,有利于材料的流动,使材料的变形抗力呈减小趋势。在整个挤压过程中前者占主导作用,因此模具所受最大应力逐渐增大,但其增大的幅度呈逐渐减小趋势。

2)随着模具预热温度的提升,模芯变形量一开始显著减小,随后又趋向平缓。这是由于,模具温度升高以后使材料软化,流动性加强,大大降低了其变形抗力。这样,一方面使材料对模芯直接作用力减小,从而导致模芯变形量的减小;另一方面,模具温度升高,降低模腔表面附近材料的变形抗力,使金属变形相对容易,模具表面所受的正压力减小,从而减小上模的塌陷,有利于模芯变形量的减小。

3)坯料预热温度的改变对模芯变形的影响相对较小。

综合上述分析,最佳条件组合为A1B3C3,即第c组试验。由图3可以看出,该组试验的模芯最大变形量是各组试验中的最小值0.098 55 mm。这也证明了正交试验的可行性。

4 结论

通过研究挤压工艺参数对模芯变形的影响,可得出如下结论:

1)模具预热温度对模芯变形影响最大,挤压速度次之,坯料预热温度的影响最小。

2)挤压速度对模芯变形的影响是,随着挤压速度的增大,模芯变形量增大。其增大幅度逐渐减小。

3)模具预热温度对模芯变形的影响是,随着模具预热温度的升高,模芯变形量减小。其减小的幅度逐渐减小。

参考文献:

[1] 刘静安,邵连芬.国内外铝挤压工模具技术的发展概况与创新亮点[J].铝加工,2008(6):19-23.

Liu Jing'an, Shao Lianfeng. Development and Innovation of Internal and External Aluminum Extrusion Tool and Die[J]. Aluminium Fabrication, 2008(6): 19-23.

[2] 陈晓光.铝合金热挤压模具失效分析[J].铝加工,2001,24(5):13-15.
Chen Xiaoguang. Fail Analysis for Aluminum Alloy Heat Extrusion Die[J]. Aluminum Fabrication, 2001, 24(5): 13-15.

[3] 田晓风,郑奔非,谢水生,等.空心型材挤压模具模芯变形的有限元分析[J].稀有金属,2002,26(5):360-363.
Tian Xiaofeng, Zheng Qifei, Xie Shuisheng, et al. Finite Element Analysis of Die Mandrel Deflection in Hollow Extrusion[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2002, 26(5): 360-363.

[4] 孙伟,邓小民.工作带长度对分流模模芯稳定性的影响研究[J].有色金属加工,2013,42(5):52-54.
Sun Wei, Deng Xiaomin. Effect of Bearing Length on Porthole Die Mandrel Stability[J]. Nonferrous Metals Processing, 2013, 42(5): 52-54.

[5] Lee J M, Kim B M, Kang C G. Effects of Chamber Shapes of Porthole Die on Elastic Deformation and Extrusion Process in Condenser Tube Extrusion[J]. Materials and Design, 2005, 26(4): 327-336.

[6] 蒋焱,陈国学,吴森.空心铝型材挤压过程计算机仿真系统[J].塑性工程学报,2005,12(2):73-77.
Jiang Tao, Chen Guoxue, Wu Sen. The Development of a Computer Simulation System for Hollow Aluminum Profile Extrusion Dies[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2005, 12(2): 73-77.

[7] 孙国栋,刘长华.薄壁塑件注射工艺参数的Taguchi方法优化[J].模具工业,2010,36(8):51-53,58.
Sun Guodong, Liu Changhua. Taguchi Method-Based Optimization of Injection Parameters of Plastic Thin-Walled Part[J]. Die & Mould Industry, 2010, 36(8): 51-53, 58.

[8] 方开泰,马长兴.正交与均匀试验设计[M].北京:科学出版社,2001:52.
Fang Kaitai, Ma Changxing. Orthogonal and Uniform Test Design[M]. Beijing: Science Press, 2001: 52.

[9] 李云雁,胡传荣.试验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2008:226.
Li Yunya, Hu Chuanrong. Experimental Design and Data Processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 226.

[10] 陈浩.空心铝合金型材挤压过程数值模拟及模具优化方法研究[D].济南:山东大学,2012.
Chen Hao. Research on Numerical Simulation of Extrusion Process and Die Optimization Method for Hollow Aluminum Profiles[D]. Jinan: Shandong University, 2012.

(责任编辑:邓光辉)