

基于气压驱动的蜡模 3D 打印成形精度研究

莫海军 梁道明 林晨彬
(华南理工大学机械与汽车工程学院)

摘 要 快速模具制造可打印熔模铸造用的蜡模。对基于气压驱动的蜡模 3D 打印技术进行研究,采用单参数对比法,运用 FLUENT 软件对不同喷嘴直径、收缩角以及口模长度等喷嘴结构参数进行了数值模拟。以尺寸偏差作为线宽精度评价指标,采用正交试验法,对喷嘴结构参数进行成形线宽精度试验,得出优化的参数组合。并运用方差分析和多元非线性回归分析,研究喷嘴直径与收缩角、口模长度之间的相互耦合作用对打印线宽精度产生的影响。结果表明,蜡模打印线宽精度在喷嘴直径、收缩角和口模长度等因素的共同作用下的最优参数是喷嘴直径为 0.6 mm、收缩角为 80°、口模长度为 1.0 mm。

关键词 气压驱动;熔模铸造;结构参数;线宽精度;耦合作用

中图分类号 TG249.5 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.02.008 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



3D Printing Accuracy of Wax Mold Based on Pneumatic Drive
Mo Haijun, Liang Daoming, Lin Chenbin

(School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology)

Abstract: Rapid mold manufacturing can be utilized to print wax pattern for investment casting. 3D printing technology of wax pattern driven by air pressure was investigated, and the nozzle structural parameters including nozzle diameter, shrinkage angle and die length were numerically simulated and analyzed by single parameter comparison method and FLUENT. Taking the size deviation as the evaluation index of linewidth accuracy, the forming linewidth accuracy experiment of nozzle structural parameters was carried out by orthogonal experimental method to obtain a optimized parameter combination. Variance and multiple nonlinear regression analysis were adopted to investigate the influence of the coupling among nozzle diameter, shrinkage angle and die length on the printing linewidth accuracy. The results indicate that the optimum parameters of wax pattern printing linewidth accuracy under the synergy of nozzle diameter, shrinkage angle and die length are presented as follows: nozzle diameter of 0.6 mm, shrinkage angle of 80°, and die length of 1.0 mm.

Key Words: Pneumatic Drive, Investment Casting, Structural Parameters, Linewidth Accuracy, Coupling

快速模具铸造是将快速成形技术与传统铸造技术互相结合的一项技术,可实现蜡模的增材制造,不仅减少了蜡模的金属型制作,还大大地降低铸造成本及缩短零件的研发周期^[1,2]。气压驱动的蜡模 3D 打印是将铸造蜡加热并通过喷嘴挤出成形,而喷嘴结构参数如喷嘴直径、收缩角及口模长度以及加热温度、气压等对挤出蜡丝线宽精度有着决定性的影响^[3]。因此,对喷嘴结构进行研究就显得尤为必要。邹全乐等^[4]对喷嘴结构参数出口圆柱长度、收缩角及喷嘴直径对打印件的精度交互影响作用进行了研究。汪铁丰^[5]通过定义评价指标,构建优化模型目标函数,并基于正交试验进行结构分析,获得打印喷头优化设计的最佳参数。李吉康^[6]根据

故障观察指出热传递结构形成了喷嘴的堵塞,同时提出解决办法。BINDER S 等^[7]对在喷射打印中气溶胶上的斯托克斯力和萨夫曼力进行数值模拟,构建了预测成形线宽的分析模型。ECKSTEIN R 等^[8]通过研究打印速度对成形线宽以及线条均匀性的影响,发现在流量一定的情况下,随着打印速度的增加挤出线宽逐渐减小。

本研究以铸造蜡为原料,基于气压驱动的蜡模 3D 打印进行研究。首先采用单参数对比法,运用 FLUENT 软件对不同出口直径、收缩角以及口模长度等参数的喷嘴结构进行了模拟分析,确定出合理的参数范围。然后采用正交试验法对喷嘴结构参数进行成形线宽精度试验,得出优化的参数组合。最后采用方差分析

收稿日期:2022-05-19;修改稿收到日期:2022-06-20
基金项目:广东省科技创新专项资金资助项目(2019G011)
第一作者简介:莫海军,男,1966 年出生,副教授,广州(510640), E-mail: mohj@scut.edu.cn
引用格式:莫海军,梁道明,林晨彬. 基于气压驱动的蜡模 3D 打印成形精度研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43(2): 185-190.
MO H J, LIANG D M, LIN C B. 3D printing accuracy of wax mold based on pneumatic drive[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(2): 185-190.

和多元非线性回归分析,研究喷嘴直径、收缩角及口模长度之间的相互耦合作用对打印线宽精度产生的影响,得出最优参数组合,提高制件的打印品质。

1 喷嘴流场特性数值模拟分析

1.1 喷嘴流道结构

喷嘴内部流道为阶梯递减结构,见图 1。其中, H 为流道长度; d 为喷嘴直径; θ 为收缩角; L 为口模长度。以喷嘴直径、收缩角及口模长度为优化研究对象。

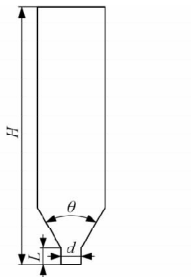
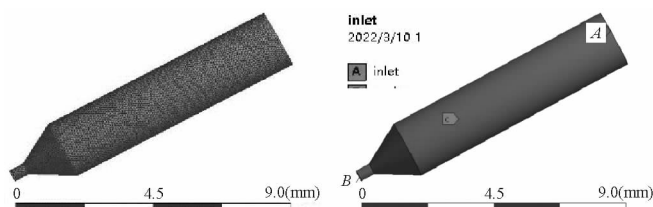


图 1 喷嘴内部结构示意图

Fig.1 Internal structure diagram of nozzle

1.2 网格划分

用三维软件 Creo 建立流体模型,并导入到 ANSYS-Fluent-Geometry 中,将其设为流体域,在 Mesh 模块中进行网格划分。其中流体的网格节点数为 92 169,网格单元数为 356 168。两端分别定义为流体的入口 inlet 和出口 outlet,表面定义为壁面 wall,见图 2。



(a) 有限元网格

(b) 流体边界条件定义

图 2 喷嘴流道前处理

Fig.2 Nozzle runner pretreatment

1.3 材料与边界条件设置

1.3.1 材料的参数设置

喷嘴的材料设置为铜,流体材料定义为铸造蜡,其液态比热容约为 $2\,800\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,导热系数为 $0.335\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,密度为 $900\text{ kg}/\text{m}^3$,熔融温度范围为 $52\sim 57\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.3.2 边界条件的设置

将划分网格后的流体模型导入到 Fluent 模块中,在 Y 方向设置重力加速度为 $-9.81\text{ m}/\text{s}^2$,采用稳态流动并打开能量方程,粘性模型设置为层流;设定环境温度为 $27\text{ }^\circ\text{C}$,入口压力为 0.06 MPa ,入口温度设为 $53\text{ }^\circ\text{C}$,出口压力为标准大气压,传热系数为 $20\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{ }^\circ\text{C})$ 。

1.4 喷嘴流道参数仿真分析

在收缩角为 60° 、口模长度为 0.5 mm 情况下,得到不同直径下流道轴向速度分布、压力分布以及出口壁面剪切力变化,见图 3。

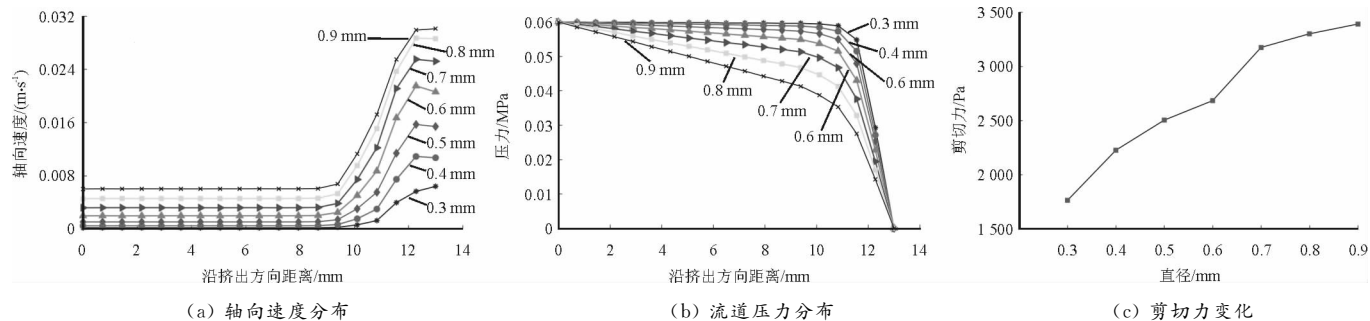


图 3 不同喷嘴直径下流体参数变化

Fig.3 Variation of fluid parameters under different nozzle diameters

从图 3a 看出,随着喷嘴直径增加,流体轴向速度逐渐增大,流体在进入收缩角位置以后,速度增加较快。若出口速度过低,易造成打印材料断丝,增加打印耗时;若出口速度过快,易在打印平台堆积多余材料,喷头也会产生比较大的振动,降低打印精度。因此,为了保证整体打印过程中的稳定性,应使出口速度处于较小值。从图 3b 看出,喷嘴直径越大,流道内压力下降越快,导致流体竖直向下运动的动力压差过低,不利于出料和成形。从图 3c 看出,随着喷嘴直径增加,剪切力呈波动上

升趋势,剪切力变化会造成剪切变稀以及变形流动现象,并且剪切力过大易造成从喷嘴流道内壁面至轴心产生流速梯度,进而影响流动稳定性,因此应选择剪切力较小的喷嘴直径^[9]。综上分析,选定喷嘴直径为 $0.4\sim 0.6\text{ mm}$ 。

在喷嘴直径为 0.6 mm 、口模长度为 0.5 mm 时,可以得到不同收缩角的流道轴向速度分布、流道压力分布以及出口壁面剪切力变化,见图 4。从图 4a 可知,随着收缩角的增加,流体速度整体变化不大,收缩角为 100°

时出口速度最大;从图 4b 看出,收缩角的变化对流道挤出压力无明显影响,均在进入出口圆柱处位置时压力迅速降低;从图 4c 看出,随着收缩角增加,壁面出口剪切

力呈上升趋势,收缩角大于 100°后,剪切力变化较为平稳,剪切力数值较大。综上分析,选定收缩角为 60°~80°。

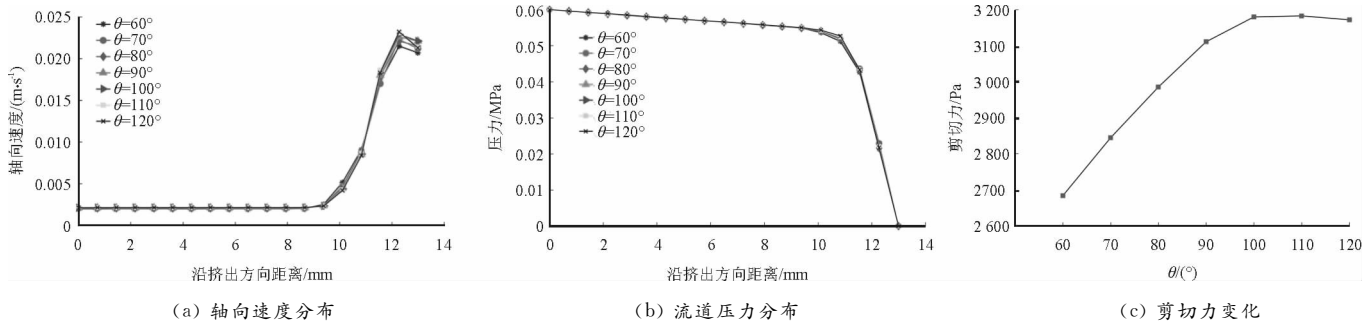


图 4 不同收缩角下流体参数变化
Fig.4 Variation of fluid parameters under different shrinkage angle

在喷嘴直径为 0.5 mm、收缩角为 60°时,不同口模长度的流道轴向速度分布、流道压力分布、以及出口壁面剪切力变化见图 5。由图 5a 可知,随着口模长度增加,流体出口速度依次降低,最大速度为 26.4 mm/s,最

低速度为 15.3 mm/s;从图 5b 看出,随着口模长度增加,在进入收缩角位置以前流道内压力越来越大,但在口模处压力越来越小,有利于流体挤出稳定和成形;从图 5c 看出,随着口模长度增加,流道出口壁面剪切力

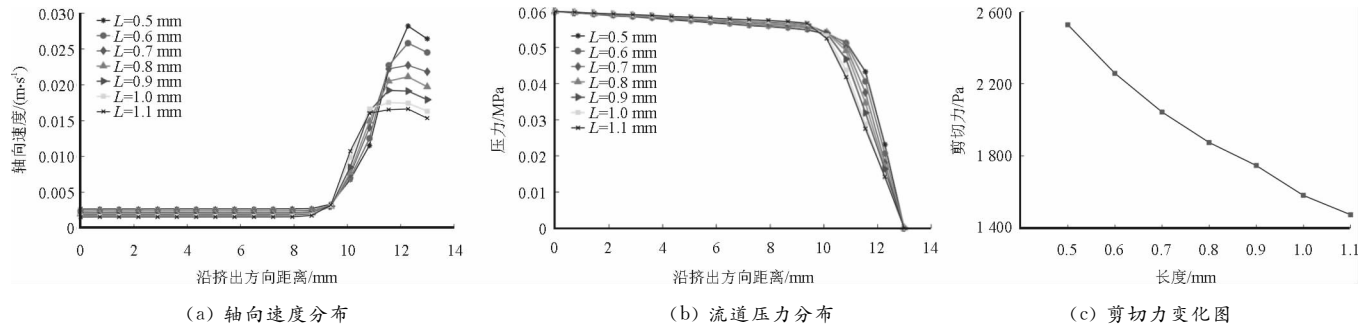


图 5 不同口模长度下流体参数变化
Fig.5 Variation of fluid parameters under different die lengths

呈稳步下降趋势。因而选定口模长度为 0.8~1.0 mm。
由以上仿真分析结果,初步选定喷嘴流道的结构参数,为进一步提高蜡模打印精度的喷嘴最佳结构参数,运用正交法及方差分析法对不同的喷嘴结构参数组合进行实际挤出试验,记录数据并进行优化分析。

2 喷嘴结构参数对成形线宽影响及优化

2.1 气压驱动蜡模打印系统

使用的气压驱动蜡模打印装置见图 6。三维运动平台型号为创想三维 ENDER-3,打印尺寸为 220 mm×220 mm×250 mm,重复定位精度为 0.01 mm。使用加热装置将铸造蜡加热至熔融状态,压力控制装置产生稳定气压将铸造蜡溶液从喷嘴挤出。蜡模 3D 打印系统主要包括挤出装置、压力控制装置和温度控制装置、三维运动平台。压力控制装置通过调节电磁阀开关和调压阀来控制气压的通断和大小,进而产生较为稳定的气压。温度控制装置用于控制加热温度,其内部安装有传感器,能动态监控并显示温度。

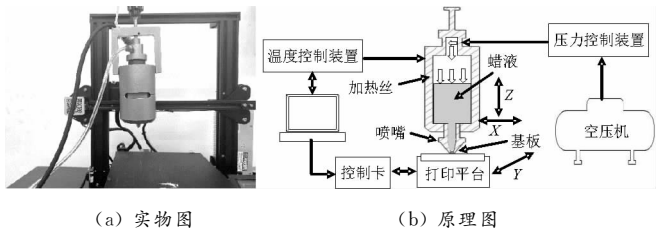


图 6 气压驱动蜡模打印装置
Fig.6 Printing device of air pressure driven wax pattern

2.2 线条宽度测量方法

在实际打印中,线条边缘易形成凹凸不平结构,为降低边界识别过程中的主观性,SALARY R 等^[10]通过图像识别的方法来确定线条边界。运用 Halcon 软件来识别线条边界,并计算宽度。图 7 为获取的线条边界原图和经 Halcon 处理后的线条边界图,其中图 7b 的深色双短线即为线条边界。为获得合理的线宽值,采用下式进行计算^[11]:

$$\bar{w} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} w_i \tag{1}$$

对每一组数据,选取 4 根不同的打印线条进行测量,并且每根线段测量 3 个点,共测量 12 个点,将测量值按照式(1)计算平均值作为该组数据打印线条宽度最终测量值。此方法能够最大限度降低由人工测量所造成的视觉误差和随机误差,结果更加精确。

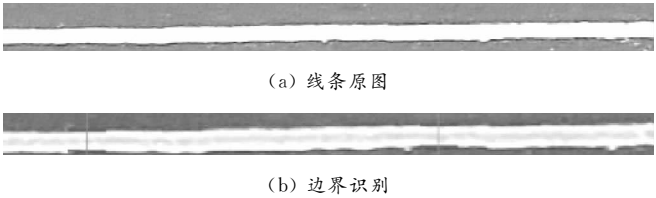


图 7 线条原图及处理后边界示意图

Fig.7 Line original drawing and boundary diagram after treatment

2.3 试验设计

2.3.1 试验方法及结果

通过流场分析可知,喷头结构参数对流道内流场的稳定性具有较大影响,因此分别对喷嘴直径、收缩角、口模长度 3 个因素进行正交分析,以得到优化组合方案,每个因素取 3 个水平,其值根据有限元仿真结果得知。同时为了降低试验量,每组试验均使用相同的工艺条件,各参数取值见表 1。

表 1 各参数水平值

Tab.1 Level values of each parameter

水平	A(喷嘴直径)/mm	B(收缩角)/°	C(口模长度)/mm
1	0.4	60	0.8
2	0.5	70	0.9
3	0.6	80	1.0

所用精密铸造蜡在加热处于熔融状态时会发生膨胀现象,冷却后会收缩,其实际线条宽度并不与喷嘴直径相等。根据文献[12,13],以线条宽度尺寸偏差绝对值 e 作为优化目标,计算公式为:

$$e = |\bar{w} - d| \tag{2}$$

式中, $\bar{w}$ 为线宽测量值,mm; d 为喷嘴直径,mm。

根据实际情况,共有 3 个结构参数因素,因此可以选用三因素三水平的正交表 $L_9(3^3)$,组合情况及试验结果极差分析见表 2。9 组结构参数下的部分线条形貌见图 8。

表 2 中 K_i 为各结构参数第 i 水平所对应的尺寸偏差的和, $\bar{K}_i$ 为相对应的平均值,极差为每列中平均值最大值与最小值的差值。从表 2 结果看出,喷嘴直径的改变对线宽精度的影响最大,口模长度次之,收缩角最小,这与流道内流场的仿真分析结果相符合。为了更加直观、具体的表明指标受因素水平变化的影响程度,图 9 为因素指标图。因为要求指标值越小越好,可以看出,喷嘴结构参数的优组合为 $A_3B_2C_3$ 。

表 2 正交试验方案及分析结果

Tab.2 Combination and analysis results of orthogonal experiment

序号	A	B	C	e
1	0.4	60	0.8	0.11
2	0.4	70	0.9	0.08
3	0.4	80	1.0	0.10
4	0.5	60	0.9	0.09
5	0.5	70	1.0	0.06
6	0.5	80	0.8	0.08
7	0.6	60	1.0	0.04
8	0.6	70	0.8	0.05
9	0.6	80	0.9	0.06
K_1	0.31	0.24	0.26	
K_2	0.23	0.19	0.23	
K_3	0.13	0.24	0.18	
$\bar{K}_1$	0.10	0.08	0.09	
$\bar{K}_2$	0.08	0.06	0.08	
$\bar{K}_3$	0.04	0.08	0.06	
极差	0.06	0.02	0.03	
因素顺序	$A > C > B$			

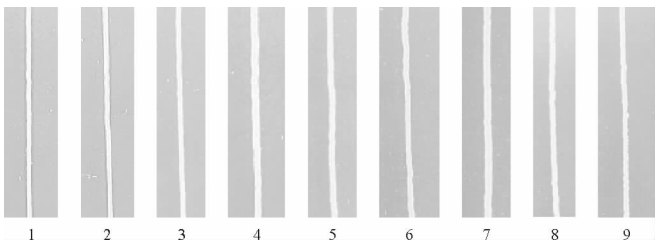


图 8 不同结构参数下的线条形貌

Fig.8 Line morphologies with different structural parameters

(1)喷嘴直径 从图 9 可知,喷嘴直径越大,其尺寸偏差越小。原因为喷嘴直径越大,流道内壁相对光滑,过流量较大,流体出口速度越高,会降低流体与空气的热量交换,待流体沉积在基板时其温度梯度相对较小,进而会降低因温度变化而导致的膨胀程度和变形程度,打印线宽尺寸偏差 e 越来越小,精度越来越高。

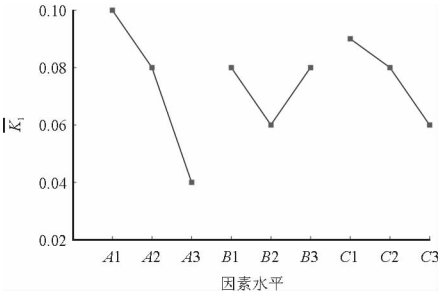


图 9 因素指标图

Fig.9 Factor index chart

(2)收缩角 从图 9 可知,收缩角水平的改变对线宽精度影响较小,在收缩角为 70° 时尺寸偏差 e 最小。对于不同的收缩角,流体在喷嘴出口的速度无显著差别,然而收缩角过大或过小都会增加流体在喷嘴流道内停留的时间,进而增加其因冷却而造成的变形。

(3)口模长度 从图 9 可知,线宽尺寸偏差平均值

随口模长度的增加而降低,原因为口模长度越大流体在口摸处的速度梯度越小,流体流动更为稳定,掩盖了因温度降低而造成的尺寸偏差幅度,使线条宽度更加接近喷嘴直径,打印精度更高。

2.3.2 方差分析

利用 Spss 处理表 2 数据,得方差分析见表 3,可得到 3 个因素对线宽尺寸偏差影响的多元非线性回归方程为:

$$e = 20.874 - 131.195d - 1.364\theta + 130.879L + 3.777d\theta - 377.415dL - 3.754\theta L + 187.374d^2 + 0.019\theta^2 + 188.541L^2 \quad (3)$$

表 3 方差分析结果

Tab.3 Variance analysis results					
偏差来源	平方和	自由度	方差	F 值	P 值
Model	0.066 43	18	0.004 731	27.417	<0.000 1
d	0.041 09	2	0.020 807	153.58	<0.000 1
θ	0.002 43	2	0.0013 91	7.583	0.034 2
L	0.017 32	2	0.009 267	65.583	65.583
dθ	0.002 73	4	0.001 761	4.542	0.033 5
dL	0.002 18	4	0.001 959	4.292	0.038 7
θL	0.001 30	4	0.001 301	1.167	0.394 3
随机误差	0.001 81	8	0.001 203		
失拟项	0.031 91	8	0.001 905	3.157	0.701 5
总计	0.167 20	34	0.043 325		
$R^2=0.984$		$A_{dj}R^2=0.948$			

从表 3 可知,该模型的检验值 $F=27.417$,显著性概率 $P<0.000\ 1$,由此说明此模型极为显著 ($P<0.01$);失拟项的检验值 $F=3.157$, $P=0.701\ 5$,可知所构建的回归模型有效 ($P>0.05$);该模型的 $R^2=0.984$,说明模型的预测能力较好(其值越接近于 1,则预测能力越好),修正后的 $R^2=0.948$,说明该回归模型可以解释试验数据 94.8% 的响应值变化,则说明回归模型拟合度非常好^[14]。

从表 3 还可以得知,喷嘴直径、口模长度对线宽尺寸偏差 e 的影响极为显著 ($P<0.01$);收缩角,及交互效应 $d\theta$ 、 dL 对线宽尺寸偏差 e 的影响显著 ($P<0.05$);交互效应 θL 对线宽尺寸偏差 e 的影响不显著 ($P>0.05$)。

因交互效应 $d\theta$ 、 dL 对线宽尺寸偏差 e 的影响显著,为更深入研究交互效应的影响机制,采用 SPSS 软件对已有试验数据和关系式进行非线性回归分析,在口模长度为 0.9 mm 时得到线宽尺寸偏差同时关于喷嘴直径、收缩角的耦合函数关系式为:

$$e = -0.002\ 64 + 0.023\ 45d + 0.005\ 84\theta + 0.000\ 052d\theta - 0.252d^2 - 0.000\ 058\theta^2 \quad (4)$$

标准差为 3.098。

同理,在收缩角为 70°时可得到线宽尺寸偏差同时

关于喷嘴直径、出口圆柱长度的耦合函数关系式为:

$$e = -0.004 + 0.033d + 0.467L - 0.000\ 01dL - 0.333d^2 - 0.333L^2 \quad (5)$$

标准差为 7.069。

式(4)和式(5)分别对应的曲面见图 10。可以看出,尺寸偏差 e 关于 $d\theta$ 和 dL 的耦合关系不完全相似,若在喷嘴直径为 0.5 mm 与收缩角为 70°、口模长度为 0.9 mm 处分别作剖面图,则交线对应数据与正交试验结果接近,验证了曲面的有效性^[15]。由此可知,交互作用的因素优化参数是喷嘴直径为 0.55~0.60 mm、收缩角为 75°~80°、口模长度为 0.95~1.0 mm。

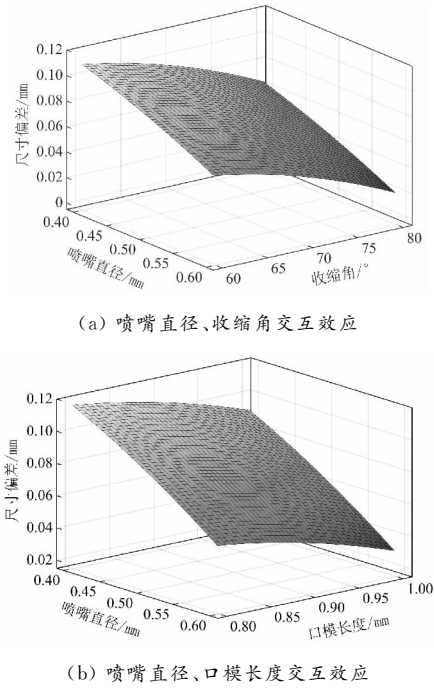


图 10 喷嘴直径与收缩角及口模长度对线宽尺寸偏差的影响
Fig.10 Influence of nozzle diameter, shrinkage angle and die length on linewidth size deviation

根据上述分析,各因素均取当前范围内的最大值,即喷嘴直径为 0.6 mm、收缩角为 80°、口模长度为 1.0 mm,在此结构参数条件下进行打印测量试验,得到此喷嘴结构参数条件下的线宽尺寸偏差为 0.023 8 mm。又根据正交表得到的喷嘴结构参数的优组合为 $A_3B_2C_3$, 同样进行打印试验,得到此喷嘴结构参数条件下的线宽尺寸偏差为 0.030 5 mm。因此,蜡模打印线宽精度的最优结构参数:喷嘴直径为 0.6 mm、收缩角为 80°、口模长度为 1.0 mm,此条件下的打印线宽尺寸偏差最小为 0.023 8 mm。

3 打印验证

由于得到的最优水平组合未出现在正交表中,所以为检验结果的准确性进行了打印,结果见图 11,分别为

线条、平面、内部填充及三维实体打印。可以看出,线条宽度均匀,无明显弯折;平面内部填充紧密,无明显缺

失;内部填充紧实,线条连续有序;边缘线条分层明显。由此可见,此参数组合的喷嘴可大大提高蜡模打印品

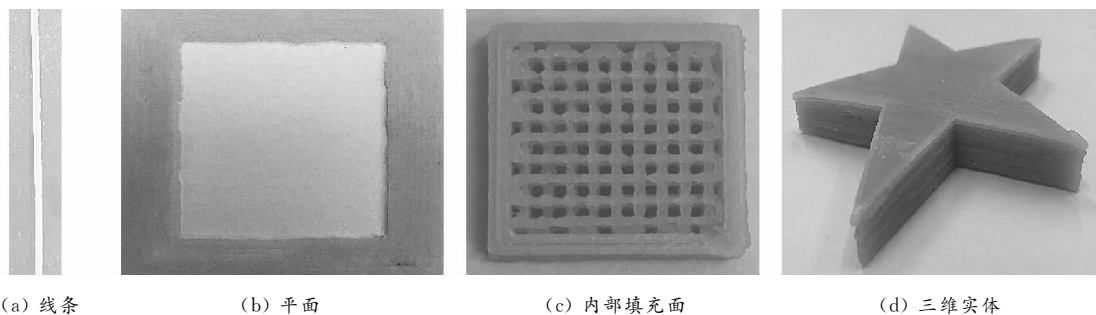


图 11 打印样品

Fig.11 Printed specimens

质。

4 结 论

(1) 蜡模 3D 打印喷嘴直径、收缩角和口模长度对喷嘴内部流场产生不同程度的影响。喷嘴直径越大,流体出口速度越大,流道内压力降低越快,出口剪切力也越来越大;收缩角越大,流体出口速度变化不大,流道内压力几乎不受影响,出口剪切力也越来越大;口模长度越大,流体出口速度越小,压力降低越快,出口剪切力越小。

(2) 蜡模 3D 打印喷嘴直径、收缩角和口模长度对打印线宽精度的影响显著,同时喷嘴直径和收缩角、喷嘴直径和口模长度两者交互作用的影响显著,收缩角和口模长度的交互作用影响不显著,三者对线宽精度影响程度大小顺序为:喷嘴直径>口模长度>收缩角。因此,协同控制喷嘴直径与收缩角、口模长度对提高蜡模线宽精度很重要。

(3) 经打印试验,蜡模打印线宽精度在喷嘴直径、收缩角和口模长度等因素的共同作用下的最优参数:喷嘴直径为 0.6 mm、收缩角为 80°、口模长度为 1.0 mm,此条件下的打印线宽尺寸偏差最小为 0.023 8 mm。

参 考 文 献

- [1] 宋学文,刘洁,徐文博.基于 SLA 的复杂零件低压熔模快速铸造工艺[J].特种铸造及有色合金, 2019, 39(3): 300-303.
- [2] 谭培松.复杂薄壁叶轮熔模铸造工艺的探讨[J].特种铸造及有色合金, 2020, 40(8): 864-866.
- [3] 郑凯特,刘先锋,伊春明,等.气压驱动石蜡熔融沉积成型工艺研究及优化[J].计量与测试技术, 2017, 44(11): 60-63.
- [4] 邹全乐,徐幼平,郑春山,等.基于田口方法的钻割一体化喷头结构参数优化[J].煤矿机械, 2012, 33(10): 17-19.
- [5] 汪铁丰.3D 打印设备散热片结构热分析与优化设计[D].广西柳州: 广西科技大学, 2015.
- [6] 李吉康.熔融沉积式 3D 打印机喷头结构及常见问题分析[J].南方农机, 2018, 49(13): 181.
- [7] BINDER S, GLATTHAAR M, EDDA R. Analytical investigation of

aerosol jet printing[J]. Aerosol Science & Technology, 2014, 48(9): 924-929.

- [8] ECKSTEIN R, HERNANDEZ S G, LEMMER U, et al. Aerosoljet printed top grids for organic optoelectronic devices[J]. Organic Electronics, 2014, 15(9): 2 135-2 140.
- [9] 李瑞超.螺旋挤出式 3D 打印装置的设计及关键技术研究[D].陕西汉中: 陕西理工大学, 2020.
- [10] SALARY R, LOMBARDI J P, SAMIE T M, et al. Computational fluid dynamics modeling and online monitoring of aerosol jet printing process[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2017, 139(2): 021 015.
- [11] 古乔榆.蜡模 3D 打印机的设计与试验研究[D].山东青岛: 中国石油大学(华东), 2019.
- [12] NORIEGA A, BLANCO D, ALVAREZ B J, et al. Dimensional accuracy improvement of FDM square cross-section parts using artificial neural networks and an optimization algorithm [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 69: 2 301-2 313.
- [13] REBONG R E, STEWART K T, UTREJA A, et al. Accuracy of three-dimensional dental resin models created by fused deposition modeling, stereolithography, and polyjet prototype technologies: A comparative study[J]. Angle Orthodontist, 2018, 88(3): 363-369.
- [14] 王燕兰,任翀,张巍,等.响应曲面法 FDM 碳纤维增强 ABS 制件精度研究[J].现代制造工程, 2021(2): 16-20, 42.
- [15] 陈松茂,陈宇林.熔融沉积工艺填充速度与分层厚度、喷头温度的相互耦合作用[J].华南理工大学学报(自然科学版), 2020, 48(10): 88-95.

(编辑:刘卫)

订 正

《特种铸造及有色合金》2023 年第 43 卷第 1 期发表的“逆向工程技术在汽车悬架三角臂铸件设计中的应用”一文, DOI 号错误, 应为 10.15980/j.tzzz.2023.01.008, 特此订正!

《特种铸造及有色合金》杂志社
2023 年 2 月 15 日