DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2021.01.034

基于 Fluent 异型模杯模具的设计

花维维,倪俊芳
(苏州大学 机电工程学院,江苏 苏州 215021)

摘　要:针对双子弹模压机异型模杯成型时出现的黄变、破损等问题,构建 UG 异型模,采用 Fluent 进行热流耦合数值模拟,编写 UDF 程序控制涡旋风入口条件,采用正交试验法进行极差分析,得出最佳异型模模具的参数。通过实测异型模具表面温度,并与数值模拟数据对比。结果表明:双子弹模压机可达到高表面质量的异型模杯成型要求,符合实际生产的模具需求。

关键词:热模压;热流耦合;模具设计;UDF 编程;数值模拟
中图分类号:TH122;TP391.9　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1671-5276(2021)01-0132-04

Design Based on Fluent Shaped Mold Cup Mould

HUA Weiwei, NI Junfang
(School of Mechanical and Electrical Engineering, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract: As to the problem of yellowing and breakage during the molding of the double-die molding machine, the UG shaped mold was firstly constructed, and thermal flow coupling numerical simulation was carried out by Fluent afterwards. Then the UDF program was adopted to control the vortex wind inlet condition. By orthogonal test method, range analysis was performed to abtain the parameters of the best profiled mold. Besides, the surface temperature distribution of the mold was measured. The results show that the twin-shot molding machine can meet the molding requirements of the high-surface quality profiled cup, with which the actual production requirements of the mold is in line.

Keywords: hot molding; heat flow coupling; mold design; UDF programming; numerical simulation

0　引言

传统模压设备由凹模和凸模组成模具,需要保证凸模和凹模表面的高精度要求。双子弹模压机主要用于模压女性模杯。双子弹模压机只有凸模和模型腔,故只需要保证凸模的精度。国内外对于女性模杯模压有广泛研究,并且取得一定进展。WU L 等通过 3D Solid 164 元素以及模具之间的自动表面到表面接触来建模[1],基于有限元分析,使用传统模具开发也能保证效率和表面质量。潘思晨通过三维数字参数化建模实现模杯个性定制化的功能[2]。由于女性个体模杯的差异性,而且对双子弹模压机的异型模杯模具成型研究甚少,因此需要对双子弹模压机异型模具设计提出新的要求。本文将通过 UG 建模,运用 Fluent 仿真模拟实际加工情况,采用正交试验设计和实验对比,加工出适用于双子弹模压机的最优异型模杯模具,并实验验证了其可行性。

1　热力学条件及热力学基础

双子弹模压机在模压成型过程中,存在热对流和热辐射两种热传递方式。由于双子弹模压机模腔壁面恒温,假设流体是不可压缩牛顿流体,采用微元法进行离散。因模腔内存在涡旋热流,且与时间、温度有关,可表示为:

$$T = f(x,y,z,\tau) \tag{1}$$

式中:T 为温度;x、y、z 为空间坐标;τ 为时间。

式(1)是三维瞬态温度场,如果温度值恒定,本双子弹模压机模压过程模型是恒温模式,所以有:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = 0 \tag{2}$$

对于各相同性材料有傅里叶导热定律:

$$q = -\lambda\left(\boldsymbol{i}\frac{\partial T}{\partial x} + \boldsymbol{j}\frac{\partial T}{\partial y} + \boldsymbol{k}\frac{\partial T}{\partial z}\right) \tag{3}$$

式中:λ 表示各向同性材料的导热系数;后面 3 项依次代表 x、y、z 3 个方向上的热流密度。

双子弹模压机在模压过程[3]中遵守能量守恒定律,故有:

$$\rho_{c_p}\frac{\partial t}{\partial \tau} = \left[\frac{\partial}{\partial}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial z}\right)\right] + \phi_c \tag{4}$$

式中:$\rho_{c_p}\frac{\partial t}{\partial \tau}$ 为热能的增加;$\left[\frac{\partial}{\partial}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial z}\right)\right]$ 为双子弹进出的净热量;ϕ_c 为内热源。

双子弹模压机的边界条件设置如下:

1) 第一类边界条件。边界上的温度与时间的关系:

基金项目:中国纺织工业联合会科技指导性项目(2018085)
第一作者简介:花维维(1995—),男,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为机电一体化。

$$T_w = f(x,y,z,\tau) \quad (5)$$

本双子弹模压机模压模具表面和材料接触面的温度连续,则为:$T_w|_1 = T_w|_2$

2) 第二类边界条件。已知边界上的热流密度及其时间的关系:

$$q_w = f(x,y,z,\tau) \quad (6)$$

双子弹模压机布料表面的涡旋热流密度是连续的,其边界条件为:$q_w|_1 = q_w|_2$

3) 第三类边界条件。给出表面传热系数 α 及周围流体温度 T_f:

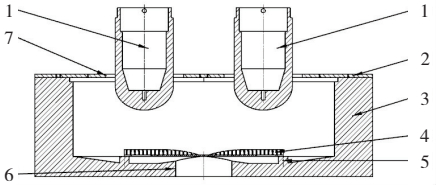
$$-\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right) = \alpha(T_w - T_f) \quad (7)$$

双子弹模压机模型腔空气在布料的表面温度是连续的,表示为:$-\lambda\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)\Big|_1 = h(T_w - T_f)\ |_2$。

热流耦合数值求解方法是将整体模型进行离散化、整体求解[4],把不同区域内的传热过程进行统一换热过程求解。这样缩减不同区域之间的迭代过程,使得计算时间显著缩短。

2　模压过程及异型模杯模具正交试验设计

双子弹模压机的结构如图 1 所示。在模压过程中,3D 直立棉布料放置在模型腔拼接盖板 2 上,模型腔 3 经电阻丝加热,待加热完成,异型模模具 1 通过气缸的收缩实现上、下模压动作,通过代模型腔拼接盖板 2 上的两个通孔进行向下模压,同时周向涡旋热风口 6 吹风,经过孔板 4 使得风均匀吹拂在模压织物表面,从而在温度场作用下模杯成型。



1—子弹头异型模模具;2—模型腔拼接盖板;
3—高温模杯成型腔;4—孔板;5—孔板安装支柱;
6—涡旋热风入口;7—出风口。

图 1　双子弹模压机结构图

运用 UG NX 对异型模杯模具进行建模。由于女性模杯空间是不规则的,而椭球体是抽象为女性模杯的最佳空间模型。运用椭球体作为模杯的基本造型。模具表面椭球体初步由 x、y、z 三轴的坐标来确定其空间大小,模杯异型模模具采用椭球体为基底,采用椭圆线条缝合曲面进行建模。

异型模模具的空间尺寸以及空间曲面曲率都是由 x、y、z 三轴方向尺寸来控制的。采用水平因素表 1 进行正交试验[5],得到最优的模具尺寸;采用 $L_{16}(4^5)$ 的正交试验表进行建模;再运用 Fluent 对这 16 组模型仿真分析,监测模具表面温度变化,得到相应的数据。

对模头表面采取 6 个点的温度进行测定,首先选定这 6 个点的 x、y 坐标为点 1(75,-25)、点 2(75,-18)、点 3(75,-4.5)、点 4(105,-25)、点 5(105,-18)、点 6(105,-4.5),以上点的 z 坐标可以通过椭球空间方程进行求解。

表 1　模具水平因素　　单位:mm

水平因素	x 方向半轴尺寸	y 方向半轴尺寸	z 方向半轴尺寸
1	42.5	29.0	34.5
2	43.0	29.5	35.0
3	43.5	30.0	35.5
4	44.0	30.5	36.0

各因素以 0.5 mm 为水平差异[6]的原因是:1)实际模具加工方法是采用数控加工中心自动化编程加工方法,目前加工中心的普遍精度在 0.008 mm,该水平差异设计能满足实际生产需求;2)考虑到现在模具对模杯模压精度需求不高,模具是用来模压 3D 直立棉这类较软的材料,对于模杯的精度影响可能不是很大,所以采用较大的水平差异。

由极差分析得到椭球的 x、y、z 三轴的轴半径分别为 44 mm、29 mm、36 mm,这也是最符合在总温较大的同时模具表面温差又是最小的要求。

3　有限元分析

3.1　流体模型建模

得到最优的模具参数后,运用 Fluent 对模杯模具的表面温度分析时,需要对试验设备模型腔内的流体模型进行 1∶1 建模,如图 2 所示。

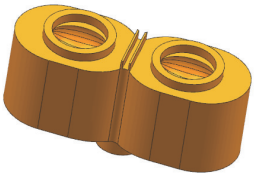


图 2　模型腔内空气流体模型

3.2　网格划分

在 ICEM-CFD 中选用 4 面体网格。对空气流体模型进行网格划分如图 3 所示。此模型是双子弹模压机模型腔流体域的 1/4,命名边界名称并进行网格划分。控制网格的大小,生成网格,检查质量。只有少数网格质量在 0.2~0.3之间,大部分的网格质量处于 0.3 以上即可。网格数量 60 万个,符合要求,划分结果如图 4 所示。

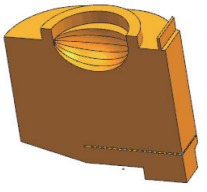


图 3　空气流体模型

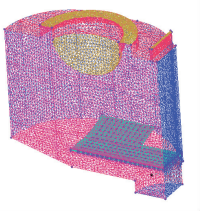


图 4　网格划分结果

3.3　边界条件设置

1）入口边界条件设置

模型腔内存在热流耦合现象涡旋风[7],对入口条件设置采用 udf 编程[8],入口风的温度为 90 ℃,径向速度 0.2 m/s,轴向速度 0.4 m/s,周向速度设置如下:

```
#include "udf. h"
DEFINE_PROFILE(inlet_x_velocity, thread, position)
{
  real x[ND_ND]; //存储坐标表示向量
real xc,y;
face_t f;
begin_f_loop(f,thread)
{
  F_CENTROID(x, f, thread);
xc=x[0];
y=x[1];
if (0.076>=pow((xc*xc+y*y)/(0.076*0.076),0.5)>=0)
F_PROFILE(f,thread,position)=0.4/atan(0.076)*atan(pow((xc*xc+y*y)/(0.076*0.076),0.5)); //在半径 76 mm 的圆之内每一点周向速度的分布情况
else F_PROFILE(f, thread, position)=0;//其余位置半径大于 76 mm 的时候周向速度分布情况
}
  end_f_loop(f, thread)
}
```

2）Fluent 仿真结果

模具材质为铝,模型腔内壁温度设为 180 ℃,模压时间设置为 40 s。由于双子弹模压机的模型腔不是封闭的,采用 dom 辐射模型[9]。求解得到最后的仿真结果如图 5 所示。

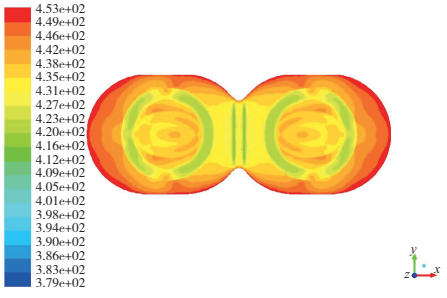


图 5　模具温度云图分布

4　实验与仿真对比

将加工好的凸模(图 6),进行模压实验,记录模具上 6 个点的实时温度变化(图 7),利用 AT4516 温度测试仪对模具表面 6 个点的实时温度进行测试,得到 3 组数据,取其平均值进行对比,其实验平台如图 8 所示。

实验过程中温度误差在允许范围之内,与实际温度相差无几且稳定在 434.15 K 左右。控制波动在 3 K 之内,利于 3D 直立棉材质的异型模杯成型。模具表面温度分布均匀,温度极差控制在 5 K 之内。由表 2 的数据对比得到,温度之差保持在 5 K 之内,差值百分比在±3%以内,满足温度值差在 3 K 的业内要求,模具表面温度达到预期的要求,可以进行生产加工。

图 6　模具实物加工图

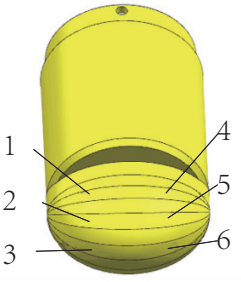


图 7　模杯三维建模图

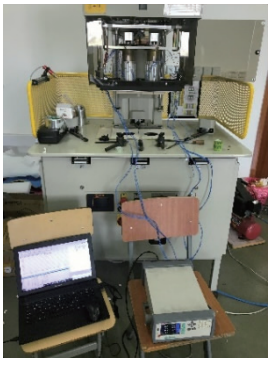


图 8　实验平台搭建

表 2　数值模拟仿真数据与实验数据对比

测温点	数值模拟数据/K	实验数据平均值/K	差值百分比/%
1	435.01	433.67	0.31
2	437.77	434.08	0.84
3	435.07	441.60	1.50
4	437.31	438.01	−0.16
5	436.95	438.19	−2.84
6	434.94	439.90	−1.14

5　结语

在异型模模具的设计中,控制异型模具 x、y、z 方向尺寸的影响因素,采用正交试验进行有限元分析,并进行温度场和流场的耦合仿真,得到其表面温度分布状况,获得异型模模具最优尺寸,并且通过实验平台测定模具表面的 6 点温度数据,与模拟数据进行对比实验,验证了设计的可行性,符合企业实际生产的需求。

参考文献:

[1] WU L, YICK K, YIP J, et al. Numerical simulation of foam cup molding process for mold head design[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2017, 29(4): 504-513.

[2] 潘思晨. 基于三维人体测量和曲面造型技术的模杯文胸设计与研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2017.

[3] 陆曙光. 基于 FLUENT 的动力机械三维流场模拟及结构改进[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.

[4] 于荣鹏, 倪俊芳, 张娟. 无纺织物热模压加热系统受热变形及其结构优化[J]. 现代纺织技术, 2017, 25(2): 63-66.

[5] 孙亮, 倪俊芳. 基于变温模具的无纺织物热模压成型[J]. 现代纺织技术, 2017, 25(5): 23-27.

[6] 张亮, 冯志华, 刘帅, 等. 喷气织机辅助喷嘴喷孔结构优化设计[J]. 纺织学报, 2016, 37(6): 112-117, 123.

[7] 郑振荣, 韩晨晨, 冯晶晶, 等. 碳纤维织物在热流冲击下的热传递数值模拟[J]. 纺织学报, 2019, 40(6): 43-49.

[8] 郭磊. 对 FLUENT 辐射模型的数值计算与分析[J]. 制冷与空调, 2014, 28(3): 358-360.

[9] 汪建, 杨帅, 吴大转, 等. 基于三维 CFD 方法的管路瞬变流特性研究[J]. 流体机械, 2019, 47(4): 6-13.

收稿日期:2019-11-20

(上接第 131 页)

在针对敏感参数 A、C、E、F 的优化中,总行程减小至与优化前几乎相同,而有效行程则进一步显著增加,最终相比于优化前增加了 124.5 mm,提升了 39%。

表 6　四步优化结果对比

项目	优化前	AFG	CE	BD	ACEF
有效行程	318.60	392.70	401.00	401.77	443.08
总行程	1 246.70	1 283.80	1 379.40	1 362.90	1 246.49
Ax	-125	-125	-125	-125	-125
Ay	216.00	237.60	237.60	237.60	261.36
Bx	1 226	1 226	1 226	1 226	1 226
By	1 163	1 163	1 163	1 163	1 163
Cx	1 550	1 550	1 550	1 550	1 550
Cy	600	600	660	660	594
Dx	1 856	1 856	1 856	1 856	1 856
Dy	-246.0	-246.0	-246.0	-221.4	-246.0
Ex	176.00	176.00	158.4	158.40	174.24
Ey	-737.0	-737.0	-737.0	-737.0	-663.3
Fx	-564.00	-507.60	-507.60	-507.60	-456.84
Fy	-846.0	-930.6	-930.6	-930.6	-930.6
Gy	-2 017	-2 017	-2 017	-2 017	-2 017

4　结语

本文针对压力机的八连杆机构进行了杆长尺寸优化设计,获得了满足总行程、有效工作行程及有效工作行程内相应速度要求的机构尺寸。

优化后,相应关节的位置坐标为:$O(0,0)$、$A(-125, 261.36)$、$B(1226,1163)$、$C(1550,594)$、$D(1856,-246)$、$E(174.24,-663.7)$、$F(-456.84,-930.6)$、$G(0,-2017)$。八连杆机构各杆长度参数圆整为:$OA=290$ mm, $AB=1\,625$ mm, $BC=655$ mm, $CD=895$ mm, $DE=1\,735$ mm, $AE=975$ mm, $AF=1\,150$ mm, $FG=1\,240$ mm; $\angle EAF=33°$, $\angle BCD=170°$。优化前、后杆系总长及滑块总行程基本不变,但有效行程增大了 39%。

参考文献:

[1] 高霞. 八连杆压力机的增力比与结构参数关系[J]. 机械设计与研究, 2013, 29(5): 118-122.

[2] 袁良照, 翟华, 张兰军, 等. 基于 NSGA-Ⅱ算法的八连杆机械压力机杆系设计[J]. 重型机械, 2017(2): 54-59.

[3] 姚菁琳, 郑翔, 张新国. 八连杆压力机传动系统的设计及优化[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2014, 17(1): 46-49, 59.

[4] 李启鹏, 刘万俊, 仝崇楼, 等. 基于 SlidWorks 运动仿真的平面八连杆机构优化设计[J]. 机械传动, 2009, 33(1): 63-64, 67.

[5] 余发国, 王园. 一种八连杆机械压力机连杆的优化设计[J]. 锻压技术, 2013, 38(5): 138-141.

[6] 白育全. 基于 ADAMS 的八连杆冲压机构的优化设计与仿真分析[D]. 延吉: 延边大学, 2015.

[7] 程超, 丁武学, 孙宇. 八连杆压力机传动机构的优化设计[J]. 锻压技术, 2017, 42(8): 88-92.

[8] 伊启平, 黄秀琴. 基于 ADAMS 八连杆冲压机构的参数化设计与优化[J]. 常州工学院学报, 2018, 31(1): 27-31.

[9] 范云霄, 牟波, 管聪聪. 基于 ADAMS 的八连杆压力机的优化设计[J]. 机械制造与自动化, 2014, 43(2): 105-107.

[10] 焦晓娟, 张湝渭, 彭斌彬. RecurDyn 多体系统优化仿真技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.

[11] 陈小岗, 许兆棠, 吴海兵, 等. 并联机床拟合求差补偿方法研究[J]. 机械设计与制造, 2015(12): 80-83.

收稿日期:2019-09-16