

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.06.017

基于 ANSYS 的木塑挤出 3D 成型研究

唐跃, 白浩

(青岛科技大学机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:针对目前3D成型技术原材料单一以及木塑挤出成型的局限性,提出了一种木塑挤出3D成型方法。建立了三维成型平台与挤出部分的匹配关系;探究了在成型层厚度为0.5 mm,挤出速度匹配范围在12.74~63.69 mm/s的条件下,动模板移动速度范围为20~100 mm/s。通过分析聚丙烯基木塑复合材料成型温度场和应力场模拟得出:随着动模板移动速度提高,应力波动减小,成型过程中的最大应力值和最大变形量增大。研究表明,动模板移动速度是木塑挤出3D成型的一个重要因素。在实际生产中,为保证成型效率和质量,可以适当提高动模板移动速度,同时也要按照匹配关系提高挤出速度。

关键词:挤出成型;木塑复合材料;生死单元;3D成型;动模板移动速度

中图分类号:TB115.1 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2017)06-0077-05

3D Extrusion of WPC Molding Based on ANSYS

TANG Yue, BAI Hao

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao, Shandong 266061, China)

Abstract: In view of the limitation of 3D molding technology, raw material and wood plastic extrusion molding, a 3D molding method for wood plastic extrusion was put forward. The matching relationship between the three dimensional forming platform and extrusion part was established. With 0.5 mm thickness of the molding layer and under 12.74 ~ 63.69 mm/s range of the extrusion speed, the speed range of the moving plate was 20 ~ 100 mm/s. Through the analysis of polypropylene wood plastic composite material forming temperature field and stress field simulation, the stress fluctuation decreased with the speed of the moving template increasing, and the maximum stress and the maximum deformation increased during the forming process. The research shows that the moving speed of the moving plate is an important factor in wood plastic extrusion molding with 3D. In actual production, in order to ensure the molding efficiency and quality, the moving speed of the moving plate can be increased appropriately, and the extrusion speed should be improved according to the matching relation.

Keywords: extrusion molding; WPC (wood plastic composites); unit of life and death; 3D molding; moving speed of moving plate

熔融沉积技术作为最主流的3D成型技术^[1-4]之一,具有材料利用率高、材料成本低、工艺简洁等优点,但其成型材料主要为丝状的热塑性材料,使得材料的使用范围较窄。木塑复合材料比普通塑料具有更好的拉伸强度、弹性模量、硬度、弯曲性能和耐蠕变性能,比木材具有更好的尺寸稳定性、耐水性、可维护性和加工性能,环保性较好,成本低廉^[5-6]。传统的木塑复合材料加工以挤出加工为主,制品为片状、管状等形状的型

材,难以成型结构复杂的制品。基于以上成型方法的不足,笔者将木塑挤出与熔融沉积技术相结合,提出一种木塑挤出3D成型方法,分析木塑挤出3D成型的可行性。

1 数值建模

1.1 设备及成型原理

木塑挤出3D成型设备由挤出部分和成型平台两部分组成,如图1所示。喷头安装在单螺杆挤出机上,

收稿日期:2017-05-15;修回日期:2017-09-06

第一作者简介:唐跃(1958),女,山东青岛人,博士,青岛科技大学硕士研究生导师,主要研究方向为高分子材料加工机械。E-mail:qdkdtyty@126.com

木塑材料在挤出机中变成熔融状态物料,通过螺杆的转速来控制流量,依靠喷头的挤出速度,按照设定的移动路径堆积在可以三维移动的成型平台上,成型出特定形状的制品。在成型过程中,动模板移动速度与挤出参数存在严格的匹配关系:如果动模板移动速度比挤出速度快,则材料填充不足,出现断丝现象,难以成型;相反,扫描速度比挤出速度慢,熔丝堆积在喷头上,使成型面材料分布不均匀,表面会有疙瘩,影响造型质量。

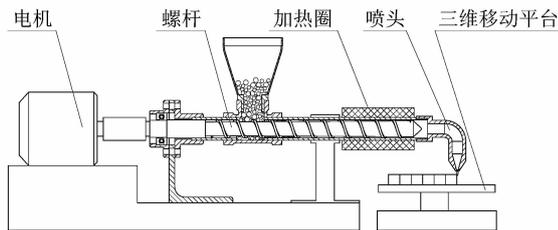


图1 木塑挤出3D成型装置
Figure 1 3D forming mechanism of wood plastic extrusion

由于在单位时间内挤出物料的体积与成型物料成型体积是相等的^[6],则有
物料挤出流量

$$Q = V_1 \times A \tag{1}$$

式中: V_1 为挤出机挤出速度,mm/s; A 为喷头出口面积,mm²。

物料单位时间内成型体积

$$V = V_2 \times d \times h \tag{2}$$

式中: V_2 为动模板移动速度,mm/s; d 为喷头直径,mm; h 为层厚度,mm。

动模板移动速度与挤出参数

$$V_2 = \frac{V_1 \times A}{d \times h} \tag{3}$$

从式(3)可以看出,在挤出喷头和层厚度确定的条件下,动模板移动速度和挤出速度存在匹配关系,并且随着挤出速度的增大,动模板移动速度呈正比例关系增大。

1.2 单元尺寸

将成型物料划分成若干个尺寸为 $L \times W \times H$ 的小单元,单元之间的串联看作挤出物料连续成型,按照成型的顺序,逐个激活单元,更加逼近真实的成型情况。假设喷头直径为 1.0 mm,即单元的宽度 W 为 1.0 mm,单元长度 L 为 1.0 mm,厚度 H 为 0.5 mm。单元的尺寸为 1.0 mm × 1.0 mm × 0.5 mm,成型物料的尺寸

为 10.0 mm × 10.0 mm × 2.0 mm,成型 4 层,共 400 个单元。单元激活时间为 0.05,0.02,0.01 s,代表动模板移动速度为 20,50,100 mm/s。表 1 所示为不同动模板移动速度匹配的挤出参数。

表1 不同动模板移动速度下的挤出参数表
Table 1 Extrusion parameter list under different speed of dynamic template

动模板移动速度 $V_2 / (\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	挤出速度 $V_1 /$ $(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	喷头直径 d / mm	喷头出口面积 A / mm^2	层厚 $h /$ mm
20	12.74	1.0	0.785	0.5
50	31.85	1.0	0.785	0.5
100	63.69	1.0	0.785	0.5

2 有限元分析

为了更好地了解成型过程中动模板移动速度对温度场、应力场的影响,利用 ANSYS 中的生死单元技术^[7]来模拟成型过程,并对数据进行分析。

2.1 假设条件

为了模拟更真实的成型过程,根据木塑挤出 3D 成型的工艺特点,进行以下假设:①木塑材料以丝状连续挤出,挤出的过程看成是一个个长方体单元形成过程;②木塑挤出 3D 成型设备设置不同的动模板移动速度 20,50,100 mm/s,根据移动速度,按照特定的移动,逐个激活单元,加载热载荷;③先进行成型过程的瞬态传热,再将温度分析结果与应力场耦合,得出热应力与热应变;④每个单元的初始温度为材料从喷嘴中挤出时的温度,生成部分与空气之间对流换热,相邻的已激活的单元之间发生热传导,成型过程中热辐射影响很小,忽略不计;⑤在熔融沉积成型过程中,材料存在着相变,因此应考虑相变潜热;⑥挤出温度设为 185 ℃,环境温度设为 25 ℃;⑦模型底面采用完全约束。

2.2 有限元模型

2.2.1 材料的性能参数

模拟选择聚丙烯(PP)木塑复合材料,复合材料中木粉和聚丙烯的配比不同,材料特性也不一样。表 2 所示为试验中测得的聚丙烯木塑复合材料的性能参数表。

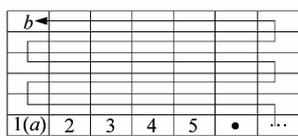
2.2.2 设置特征点

设置第 1 层第 1 个单元的底层节点和最后一个单元的底层节点为特征点,分别标注为 a, b 点,有限元模型图如图 2 所示。

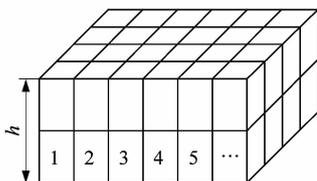
表 2 聚丙烯(PP)木塑复合材料的性能参数表

Table 2 Performance parameters table of PP wood plastic composite material

密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	导热系数/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	弹性模量/ GPa
920	0.23	0.96
比热容/ ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$)	热膨胀系数 \times $10^{-5}/\text{K}^{-1}$	泊松比
1 881	6	0.41



(a) 第 1 层



(b) 整体图

图 2 模型图

Figure 2 Figure of model

3 成型分析

温度的变化导致制品内应力分布不均,制品收缩不均匀导致的翘曲变形是影响制品的质量关键因素,而在成型过程中,动模板的移动速度对温度的变化具有重要影响。笔者通过改变动模板移动速度得到温度场和应力场的变化规律,找到与挤出速度相匹配的动模板移动速度的范围,进而探究在速度变化过程中的应力变化情况。

3.1 温度场分析

3.1.1 特征点温度变化

通过分析动模板移动速度为 20 mm/s 特征点 *a*, *b* 两点的温度变化曲线,来判断利用生死单元技术模拟成型过程的可行性。

由图 3 可知, $t = 0 \text{ s}$ 时,喷头在 *a* 点上方,此时 *a* 点温度与挤出温度一致为 180 °C,而 *b* 点由于还未激活,所以温度保持在成型室温度 25 °C。*a*, *b* 两点的温度-时间曲线均显示在成型第 1、2、3、4 层 *a*, *b* 点的上方时,出现 4 次波峰。由于存在热传导,使得 *a*, *b* 点的温度再一次升高,但是木塑复合材料的热传导系数太小,故波峰温度均明显低于前一次;成型第 4 层时,对特征点的温度已基本没有影响,所以波峰不明显,这与实际成型情况相符。

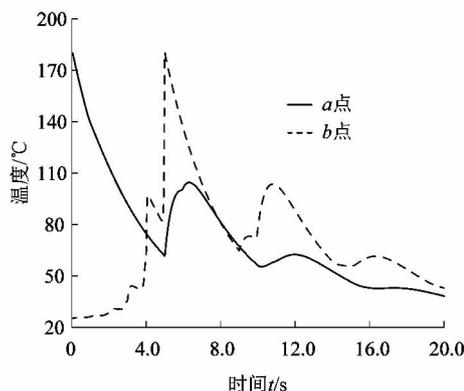


图 3 特征点 *a*, *b* 的温度-时间曲线图

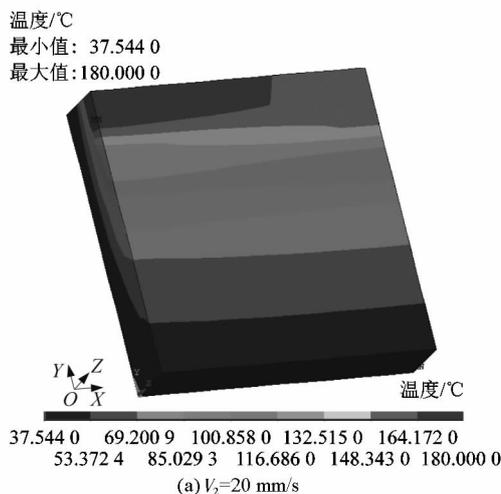
Figure 3 Temperature-time curve of feature point *a* and *b*

3.1.2 不同动模板移动速度的温度分布

熔融沉积成型过程中各节点的温度随时间变化的分布规律与扫描速度有一定的关系^[8]。图 4 所示为不同动模板移动速度时的温度云图。

利用图 4 成型所示模型的温度场分布情况来估计合适的动模板移动速度范围。由图 4 可以看出,动模板移动速度为 20, 50, 100 mm/s 所对应的底层温度为 37.5, 59.2, 72.7 °C,聚丙烯木塑复合材料的软化温度在 80 ~ 100 °C 之间。动模板移动速度为 100 mm/s 时,最低温度接近木塑复合材料的软化点,如果速度高于 100 mm/s,可能会导致底层的物料塌陷。所以动模板移动速度应控制在 20 ~ 100 mm/s 之间。

从温度场分布来看,随着动模板移动速度的加快,模型的最低温度升高,使得整体的温差减小,温度分布相对均匀,进而使得层间的熔接性更好,减小层间剥离和翘曲变形。



(a) $V_2 = 20 \text{ mm/s}$

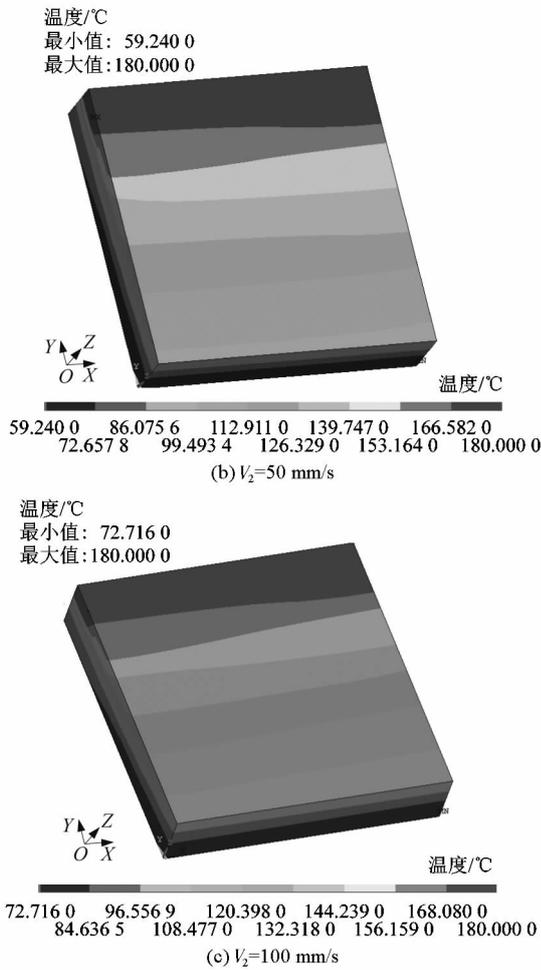


图4 不同动模板移动速度的温度云图
Figure 4 Cloud nephogram of temperature under different speed of dynamic template

3.2 应力场分析

3.2.1 应力分布云图分析

以动模板移动速度为 20 mm/s 为例,分别模拟等效应力和切应力的分布情况,如图 5 和图 6 所示。

由图 5 可知,成型场应力集中发生在角点处,主要受到拉应力影响。应力过大会导致角点翘起,这与实际情况相符。由图 6 可知,切应力 τ_{xy} 分布很不均匀,而 τ_{xz}, τ_{yz} 相对均匀,导致不均匀收缩主要发生在 XOY 平面。这是因为已成型部分再沉积一层时,该层在成型过程中产生收缩,成型制件将产生翘曲。在这个过程中产生层间应力,所以样件整体表现为沿 Z 方向的翘曲变形,导致层与层之间的融接性不好,甚至层间剥离。

3.2.2 特征点 b 的应力

由图 7 可知,随着动模板移动速度的提高,高应力区波动逐渐减小。由相关文献可知,高应力波动使样件底面与成型基板、成型层之间剥离,产生翘曲变形,

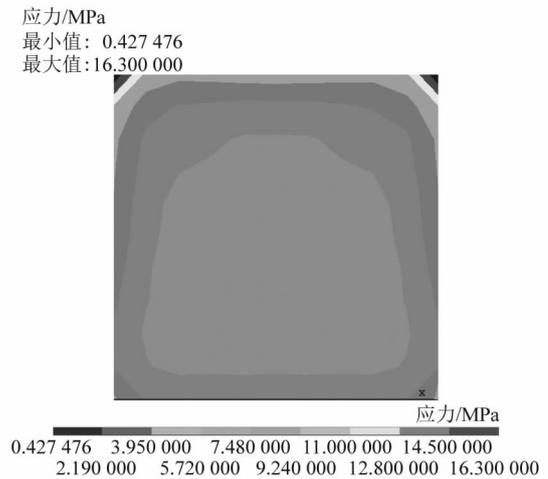


图5 等效应力云图

Figure 5 Cloud nephogram of von mises stress

降低应力波动对于提高底面粘结性能、减小翘曲变形具有重要意义。所以在应力值允许的条件下,适当提高动模板移动速度,能更好地减少底面剥离和翘曲变形。

3.2.3 最大应力和最大变形

由表 3 可知,层厚为 0.5 mm 时,动模板移动速度从 20 mm/s 提高到 100 mm/s,应力值从 16.3 MPa 增加到 23.2 MPa,再减小到 22.1 MPa,变形量一直增大。这是因为随着移动速度提高,成型效率提高,成型精度降低,使得制品品质降低,表现为最大应力值和变形量增大。当动模板移动速度为 100 mm/s,高速移动导致高应力波动减小,使得最大应力有微弱的减小,这与图 7 内容相符。所以提高动模板移动速度,可以提高效率,但是要考虑角点处的变形量是否在制品的精度允许范围内。

表 3 不同移动速度下的最大应力和最大变形
Table 3 Maximum stress and deformation under different speed

层厚/ mm	动模板移动速度/ (mm · s ⁻¹)	挤出速度/ (mm · s ⁻¹)	最大应力/ MPa	最大变形/ μm
0.5	20	12.74	16.3	38.9
0.5	50	31.85	23.2	44.1
0.5	100	63.69	22.1	45.1

4 结语

1) 笔者建立一种挤出 3D 成型匹配关系,为实际成型过程提供一种理论支持,在成型制品尺寸一定的情况下,动模板移动速度与挤出速度建立匹配关系,保证成型的可行性。

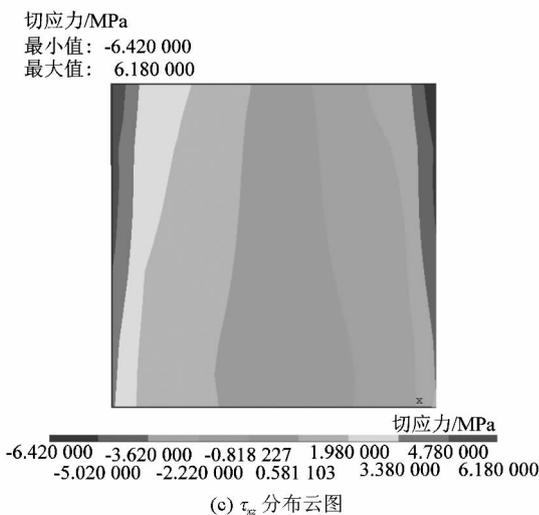
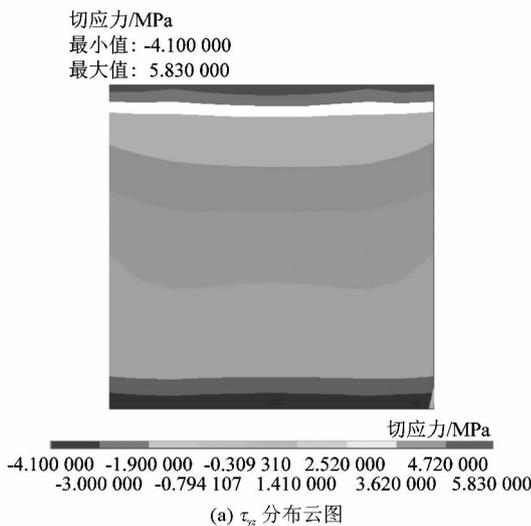
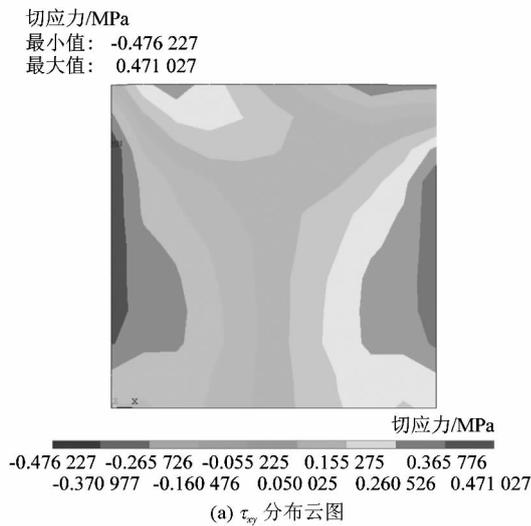


图6 切应力云图

Figure 6 Cloud nephogram of shear stress

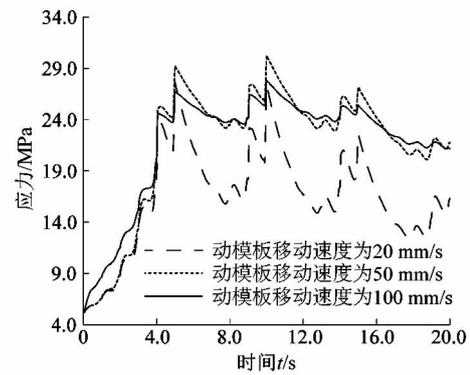


Figure 7 Stress curve under different speed of dynamic template

2) 揭示了聚丙烯木塑复合材料挤出3D成型过程温度场、应力场分布以及演变规律。应力的变化是由于温度的变化引起的,而动模板移动速度是导致温度变化的一个重要因素。通过温度场模拟层厚度为0.5 mm时,得到动模板移动速度可调范围在20~100 mm/s之间,挤出速度匹配范围在12.74~63.69 mm/s。

3) 随着动模板移动速度提高,应力波动减小,降低了层间剥离的可能性,但最大应力值和最大变形量增大。在实际操作中,为保证成型效率和质量,在应力值和变形量的允许的范围可以适当提高动模板移动速度,同时也要按照匹配关系提高挤出速度,增加挤出量。

参考文献:

[1] 李涤尘,田小永,王永信,等. 增材制造技术的发展[J]. 电加工与模具,2012(增刊1):20-22.

[2] 李坚,许民,包文慧. 影响未来的颠覆性技术:多元材料混合智造的3D打印[J]. 东北林业大学学报,2015,40(6):1-2.

[3] 李昕. 3D打印技术及其应用综述[J]. 凿岩机械气动工具,2014(4):36-41.

[4] 李星云,李众立,李理. 熔融沉积成型工艺的精度分析与研究[J]. 制造技术与机床,2014(9):152-156.

[5] 陈兴华. 木塑复合材料挤出成型研究进展[J]. 应用化工,2011,40(6):1092-1094.

[6] 赵来康,郭洪暄. 塑木复合材料的技术进步及应用[J]. 企业技术开发,2013,32(9):22-23.

[7] 何新英,潘夕琪,刘晓红. FDM工艺中的尺寸补偿[J]. 机械与电子,2006,24(4):70-72.

[8] 张建伟,白海波,李昕. ANSYS14.0超级学习手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2013.

[9] 张晓萍,颜永年,袁晓蒙. 熔融堆积成形过程温度场的模拟研究[J]. 中国机械工程,2000,11(10):1101-1104.