

秸秆碎料凸向模压成型流变特性的试验研究³

杨中平 阎晓莉 朱新华 高梦祥
(西北农林科技大学)

摘要: 采用模拟压缩的方法, 研究了低密度秸秆碎料凸向模压成型的流变特性及主要影响因素。结果表明, 凸向模压成型时物料充填具有不均匀性和压缩时序性。物料流变以纵向为主, 横向流变使充填趋于均匀。横向位移受物料形态影响最大, 其次是装料高度和斜面倾角。

关键词: 秸秆碎料; 模压成型; 流变特性

秸秆原料大多具有堆积密度小, 可压缩性大等特性。利用这种特性, 采用模压成型技术可以生产具有复杂形状包装制品。该类制品具有原料来源充足、成型工艺简单、生产过程能耗小、无污染、产品废弃后易于自然降解等特点, 是一种较理想的环保包装材料, 可替代部分塑料和纸浆制品, 广泛用于食品、农产品和小型工业品的包装^[1]。

模压成型是关键工艺, 主要特点为异形面模压。成型方法有凸向成型和凹向成型两种(以凸模或凹模做为下模)。为简化工艺, 一般采用平面辅料。这样料层在不同高度的平面及斜面上其厚度呈不均匀分布和物料在不同区域的压缩时序性, 将引起其内应力在形成时间和大小上的差异, 从而导致物料的流变^[2]。试验发现这种流变对成型物性能和质量影响很大, 如果流动合理, 将有助于减轻物料充填不均的问题, 否则会加剧其差异, 严重时会引起局部断裂。目前对这种流变的机理和特性还了解很少。弄清碎料在模压过程中的流变特性, 对秸秆模压成型材料开发具有重要意义。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

采用玉米秸秆分离取得的髓, 该原料主要由薄壁细胞和纤维管束组成, 具有密度小、颗粒大、多为多面体、内摩擦力大等特点, 适用于大深厚比产品的模压成型。原料粉碎成粗、细两种碎料, 堆积密度分别为 0.028 、 $0.041 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, 尺寸分布(质量比, 含水

率 12%) 如表 1。

表 1 试验原料粒度分布

Tab 1 Experimental particle size distribution

原料种类	+ 5	+ 3	+ 2	+ 1	+ 0.5 - 0.5	
粗料%	10.6	27.4	33.8	5.6	17.3	5.3
细料%	0.6	24.9	40.9	4.4	21.3	7.9

注: + 代表筛上, - 代表筛下。

1.2 试验装置

模压成型过程中影响物料流变的因素及作用机理较为复杂。本试验采用模拟压缩的方法, 研制了流变压缩试验装置(图 1), 压缩模具由 3 段平面和 2 段斜面组成,

以凸模为下模, 两侧端面安装带有刻度的有机玻璃挡板。成型时可以直观显示不同层面物料在模压过程中的流变状态, 并进行标记。

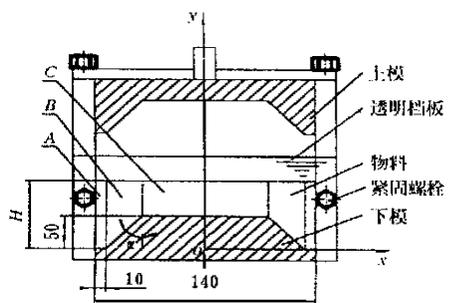


图 1 试验装置

Fig 1 Experimental equipment

1.3 试验方法

影响物料流变的主要因素有原料的形态与含水率、斜面倾角、压缩速度、加料高度等。由初步试验知, 在含水率为 12% 时, 压缩速度对物料流变影响不大, 故试验选取原料形态、斜面倾角、加料高度为试验因素, 重点考察其对物料流变及充填均匀性的影响。原料形态取粗料和细料 2 个水平, 斜面倾角 A

收稿日期: 2000207214

3 国家农业综合开发项目

杨中平, 副教授, 陕西杨凌 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 712100

取 20°、30°、40° 共 3 个水平, 加料高度 H 取 70、90、110 mm 3 个水平, 进行正交试验。

物料的流变由分层布置在靠近有机玻璃处的大小和特性与物料相仿的彩色毛线团制成的模拟物料反映。由试验知物料的界壁影响可以忽略。以凸模下表面为横轴 x , 中心对称轴向上方向为纵轴 y 的正向, 模拟物料试点分布函数为

$$H - y_{ij} = 10 \text{ mm}; y_{ij} - y_{i(j-1)} = 20 \text{ mm};$$

$$x_{ij} - x_{i(j-1)} = 10 \text{ mm}$$

模压开始后, 每合模 10 mm, 记录各试点位置 (x_{ij}, y_{ij}) 一次, 直到各试点相对位置变化接近一致为止, 试验过程压力为 0~0.5 MPa。

2 试验结果分析与讨论

2.1 凸向模压成型特点分析

凸向模压成型特点之一是物料铺装呈不均匀分布, 这种不均匀程度可用充填均匀性系数 S 表示

$$S = \frac{V_1}{V_2}$$

式中 V_1 ——理想充填体积; V_2 ——实际充填体积。

表 2 充填均匀性系数 S

Tab 2 Filling homogeneity factor S

因素	各区充填均匀性系数 S			
	$S_1(A \text{ 区})$	$S_2(B \text{ 区})$	$S_3(C \text{ 区})$	
$H = 70 \text{ mm}$	20°	3.12	0.69	0.89
	30°	2.64	0.85	0.75
	40°	2.22	0.92	0.63
$H = 90 \text{ mm}$	20°	2.52	0.62	1.12
	30°	2.21	0.80	0.98
	40°	1.93	0.90	0.86
$H = 110 \text{ mm}$	20°	2.24	0.59	1.22
	30°	2.01	0.78	1.09
	40°	1.77	0.89	0.97

在试验条件下, 计算得主要区域的 S_i 如表 2。由表 2 知, A 区充填均匀性最差, 铺料过多; B 区充填不足; C 区充填均匀性较好, 这与试验结果有良好的一致性。特点之二是压缩的时序性, 合模时 A 区物料首先被压缩, B 区次之, C 区则相对滞后, 并且对 B 区的压缩是在斜面上逐渐扩展的。这种充填不均匀性和压缩时序性的相互作用, 将导致物料在不同区域中内应力在形成时间和大小上的差异而引起流变。

2.2 物料的总流变特性

物料在 B 区及 A 、 B 、 C 区的交界面处运动及受

力状况较复杂, 试验重点考察了上述区域的流变情况及对充填均匀性的影响。

1) 物料在纵向的流变

在 A 、 C 区, 物料在压缩时, 其流变基本沿纵向进行, 在 B 区流变也以纵向为主。试验发现物料的纵向压缩具有时序性。以第 4 组试验 (粗料, $H = 90 \text{ mm}$, $A = 20^\circ$) 为例, A 区各层流变如图 2 所示。由图可见, 第 1 次压缩时, 在第 1、2、3、4 层的压缩量 (图中曲线上连续两次压缩对应值之差) 分别为 5, 3, 1.5, 0 mm, 第 2 次为 6, 5, 3.5, 1.5 mm, …… 第 7 次为 9, 9, 8, 4 mm。显然上层物料

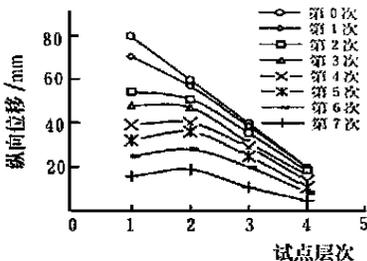


图 2 各层物料在纵向的流变
Fig 2 Each layer's longitudinal rheology during the compressing

2) 物料在横向的流变

物料的横向流变总体上使其充填趋于均匀。在 A 区, 物料铺装富余最多, 因此明显地表现出向 B 区的流变。这种流变在压缩应变增加至 0.31~0.4 时出现, 产生于中、上层物料处, 反映了在该区域物料的内应力首先增大, 但横向位移量不大, 约为 1~2.5 mm。经计算, 其体积流动量为 14%~20%。部分物料流出后, S_1 降至 1.57~2.92, 但充填不均匀的状况总体改善不大。从试验结果看, 物料的压缩主要发生在第一阶段^[3]。

在 B 区, 物料从 A 区与 B 区交界面开始, 沿斜面逐渐压缩, 由于区内斜面上也呈不均匀充填, 故压缩时内应力变化也不一致。在靠近 A 区处, 内应力首先形成且最大, 之后由外向里扩展, 表现出在横向的压缩时序性。物料在内应力差的作用下, 在中、下部表现出向 C 区方向的横向移动, 平均为 1~3 mm。虽然这种流动大多并未超出 B 、 C 两区的交界面, 但对区内充填均匀性有一定改善。从 A 区流入部分物料使 S_2 改善为 0.64~0.93, C 区物料横向流变不明显, 平均位移量小于 1.5 mm。

2.3 倾角对物料流变的影响

斜面倾角是异形面压缩中产生充填不均匀和纵向压缩时序性的主要原因。倾角增大, 物料充填不均匀程度减小, 反之则增大。试验发现, 倾角对纵向流变影响不大, 对横向流变的影响如图 3 所示。由图可

见, 在 A 区, 横向位移量先随倾角的增大而增大, 在 30° 左右时达到最大, 而后则迅速减小, 对应的体积流动量分别为 14%、14.8% 和 8.7%。在 B 区, 物料的横向位移随倾角增大而减小, 当倾角大于 30° 时下降迅速, 但位移量较小, 最大不超过 1.2 mm。

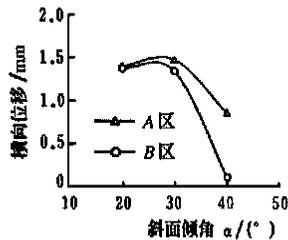


图 3 倾角对物料横向流变的影响

Fig. 3 Relationship between slant angle and rheology

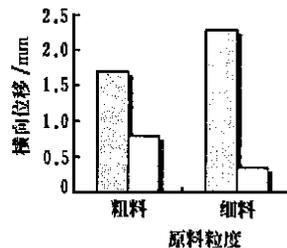


图 4 粒度对横向流变的影响

Fig. 4 Relationship between particle size and displacement

2.4 物料粒度对流变的影响

原料粒度对流变的影响如图 4 所示。在 A 区, 粗料压缩时向 B 区的平均位移量为 0.8 mm, 体积流动量为 8%, 而细料平均位移量为 1.7 mm, 体积流动量为 17%。在 B 区中、下部, 粗料在横向的平均位移量为 0.36 mm, 而细料为 2.3 mm。表明在异型面压缩时, 减小物料粒度, 有利于充填均匀。

2.5 装料高度对流变的影响

装料高度 H 对流变的影响如图 5 所示。由图可见, 增加装料高度, 物料向 B 区的横向位移呈增加趋势。对应地, 体积流动量也呈增大趋势, 分别为 4%、12% 和 21%。在 B 区中、下部, 物料的横向位移也随装料高度的增加而加大, 分别为 0.3, 1.0, 2.85 mm。这是由于当 H 增加时, 物料在上、下层内应力的差异也随之增大的缘故。

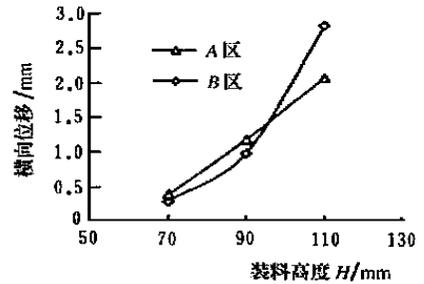


图 5 装料高度对横向流变的影响

Fig. 5 Relationship between loading height and rheology

3 结论

1) 对凸向模压成型的原料铺装, A 区均匀性最差, 充填过多; B 区充填不足; C 区相对较好。成型过程中, 物料流变以纵向为主, 上层物料首先压缩, 然后逐渐向下层物料扩展。

2) 物料横向流变趋势是使其分布趋于均匀。横向位移受其形态影响最大, 其次是装料高度和斜面倾角。减小物料粒度、提高装料高度和加大斜面倾角, 都有利于增加横向位移。

3) 试验条件下, 物料横向位移较小, 对应的体积流动对改善充填均匀性的贡献率不到 12%, 成型物密度基本仍按自然充填状态分布, 因此成型物在斜面上缺料最为严重。

[参 考 文 献]

[1] 杨中平: 玉米秸秆工业化综合利用技术的试验研究 农业工程学报, 1996, 12(4): 185~ 188
 [2] 孙 骊: 农产品物理特性及测定 第 1 版 西安: 陕西科学技术出版社, 1998 3: 96~ 102
 [3] 郭康权: 粉粒体技术基础 第一版 西安: 西北大学出版社, 1995 5: 123~ 125

Experimental Study on Rheological Behavior of Corn stalk Fragment Convex Molding

Yang Zhongping Yan Xiaoli Zhu Xinhua Gao Mengxiang

(Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100)

Abstract: Simulation compress is used to study rheological behavior and major affecting factors of low density cornstalk fragment convex molding. Results showed that material filling has inhomogeneity and time sequence, material rheological direction is mainly on longitude, and lateral rheology makes filling tend to homogeneous. The main effect affected by material feature is lateral displacement, then the loading height and slant angle.

Key words: cornstalk fragment; molding; rheological behavior