

单螺杆挤压机对农产品加工因素的优化

朱 曾^①

(江苏理工大学)

提 要 在农产品和食品挤压机加工过程中,由于各种因素的变化,对产品的膨化质量有很大影响。通过挤压机螺杆与螺套之间的间隙、螺杆转速和物料含水率的变化,对产品的膨化指数,挤压机的生产率 and 功耗进行测定,分析在不同工况下挤压的工作情况以及产品特性。试验结果表明,影响试验指标的主要因素是螺杆与螺套之间的间隙,试验因素主次排列为间隙,含水率和转速,其较优组合为螺杆螺套之间的间隙 0.75 mm,螺杆转速 300 r/min,物料含水率 18%。

关键词 挤压膨化 加工因素 优化

Optimization of Processing Factors of Agricultural Product with Single-screw Extruder

Zhu Zeng

(Jiangsu University of Science and Technology)

Abstract In agricultural product and food extruding process, changes of various factors such as clearance between the screw and its sleeve, rotation speed of the screw and moisture content of materials have great effect on expansion quality. The expansion index of product, the productivity and power consumption of the extruder were measured. Performance of the extruder and the feature of the product under various working conditions are analyzed. The experiment results show that the most important factor affecting expansion index is the clearance between the screw and its sleeve, and the important order of factors is the clearance, moisture content of materials and rotation speed of the screw. The optimized combination of factors is the clearance 0.75 mm, the rotation speed 300 rpm and moisture content 18%.

Key words Extruded expansion Processing factor Optimization

1 引 言

单螺杆挤压机结构简单,操作方便,可以膨化出多种产品,所以,在农产品和食品加工行业中得到广泛的应用。在挤压加工过程中,物料从喂料斗进入模腔,由螺杆推动向前输送时,受到挤压、混合、压缩和剪切。由于推动力、摩擦力和剪切力的机械作用,受压变热,达到高温、高压状态,熟化成为改性的糊状物。当物料从前面的模孔挤出后,由于温度和压力突然降

收稿日期:1995—03—20

① 朱曾,工程师,镇江市 江苏理工大学汽车系模具研究所,212013

至常温、常压状态,致使物料内水分急剧汽化蒸发,体积迅速膨胀,成为膨化物。

在挤压加工过程中,影响产品质量的主要因素有:

1) 压力 是个变量,受到螺杆、螺套的几何尺寸、物料的特性、水分以及螺杆的转速和模腔内温度等许多因素的影响,它是膨化质量的关键。螺杆螺套之间间隙的变化,近似地说明模腔内压力的变化。要保证产品的质量,首先必须确定适中的间隙,过大或者过小对加工和产品质量均不利。通常,单螺杆挤压机工作时模孔的出口压力为 0.5~0.6 MPa。

2) 温度 对物料的熟化起了相当重要的作用,而挤压机螺杆、螺套之间的间隙直接影响模腔内的温度。温度过高,膨化物焦化;温度过低,糊化不够,膨化物夹生。在物料为玉米粒,挤压加工时,模腔内温度一般在 125℃~135℃。

3) 含水率 对挤压机的工作性能和产品的特性有着显著的影响。进机的物料含水率高,则产品的含水率也高,要使产品含水率达到安全贮藏的要求,需要对产品进行烘干。进机物料含水率低,挤压过程为干挤压,能耗较大。

4) 螺杆转速 决定生产率的大小,由于对物料剪切作用的变化,直接影响产品质量。

上述各因素对膨化质量的影响,很难用理论分析的方法来决定它们的主次和优劣。因此,本文采用正交设计的试验方法,找出主要因素,以及较优组合,寻求提高产品质量,降低功耗的途径,为挤压机的改进和新产品的开发提供一定的依据。

2 试验设计

试验在台湾产 GR019 单螺杆挤压机上进行。螺杆、螺套均为等螺距,螺套为锥螺纹,螺杆、螺套之间间隙不可调节,在生产中,一旦磨损严重,影响产品质量,就必须重新更换工作部件。由于单螺杆挤压机上没有压力显示装置,压力测定有一定的困难,所以作者通过改变螺杆、螺套之间间隙来改变模腔内的压力。温度的高低主要取决于间隙和物料的含水率,因此,本文将间隙和含水率作为试验因素来考虑。

试验用的农产品为 50%玉米和 50%大米混合物,玉米平均粒径为 50 目,大米为整粒,模头型孔为 $\varnothing 3.5$ mm。送料电机可变频调速,本试验把速度固定在 30 r/min,带动螺杆转动的主电机 15 kW,可变频调速。主轴的转速采用转速表测定,功率消耗采用电功率表测定,物料含水率用湿度仪测定。

表 1 单螺杆挤压机试验方案与试验结果

试验号	A	B	C	试验结果			
	单边间隙/mm	转速/r·min ⁻¹	含水率(%)	膨化指数	生产率	功耗/×100	综合加权
	1	2	3	SEI	/kg·h ⁻¹	kW·kg ⁻¹	评分
1	1(0.50)	1(250)	1(14)	4.61	42.9	24.92	293.395
2	1(0.50)	2(300)	2(18)	4.78	44.4	21.72	312.429
3	1(0.50)	3(350)	3(22)	3.80	37.8	19.79	256.351
4	2(0.75)	1(250)	2(18)	5.36	39.2	21.47	300.353
5	2(0.75)	2(300)	3(22)	4.82	43.8	13.01	328.554
6	2(0.75)	3(350)	1(14)	4.96	44.4	20.35	326.329
7	3(1.15)	1(250)	3(22)	3.89	44.1	17.76	296.328
8	3(1.15)	2(300)	1(14)	4.06	43.8	22.22	289.734
9	3(1.15)	3(350)	2(18)	4.81	43.92	20.49	313.232

选择螺杆、螺套之间间隙(A),螺杆转速(B),物料含水率(C)为正交试验的三因素,试验指标为膨化指数、生产率和功耗,每个因素有3个水平,采用 $L_9(3^3)$ 正交试验表,因素和水平安排如表1所示。

3 试验结果与分析

试验结果中的主要指标列入表1中,为了便于分析,本试验的三个试验指标先按单项指标分析,结果列入表2中,并作直观图1。

3.1 膨化指数

膨化指数是指未经干燥的挤出物直径与模孔直径之比。膨化指数的大小是挤出物膨胀能力的具体体现。膨化指数越大,挤出物膨胀能力越强。影响膨胀能力的加工变量很多,如进料速度,螺杆结果,转速,模具尺寸,物料的粒度和含水率等。

表2 单螺杆挤压机膨化性能多指标试验结果

指标	A 间隙	B 转速	C 含水率	
膨化指数	K_1	13.19	13.74	13.63
	K_2	14.03	12.67	14.83
	K_3	12.76	13.57	11.52
生产率	K'_1	125.1	126.2	131.1
	K'_2	127.4	132	127.52
	K'_3	131.82	126.12	125.7
功耗	K''_1	66.43	64.1	67.49
	K''_2	54.78	56.95	63.63
	K''_3	60.47	60.63	50.56
膨化指数	\bar{K}_1	4.40	4.58	4.54
	\bar{K}_2	4.68	4.22	4.94
	\bar{K}_3	4.25	4.52	3.84
生产率	\bar{K}'_1	41.7	42.07	43.7
	\bar{K}'_2	42.47	44	42.51
	\bar{K}'_3	43.94	42.04	41.9
功耗	\bar{K}''_1	22.14	21.37	22.50
	\bar{K}''_2	18.26	18.98	21.21
	\bar{K}''_3	20.16	20.21	16.85

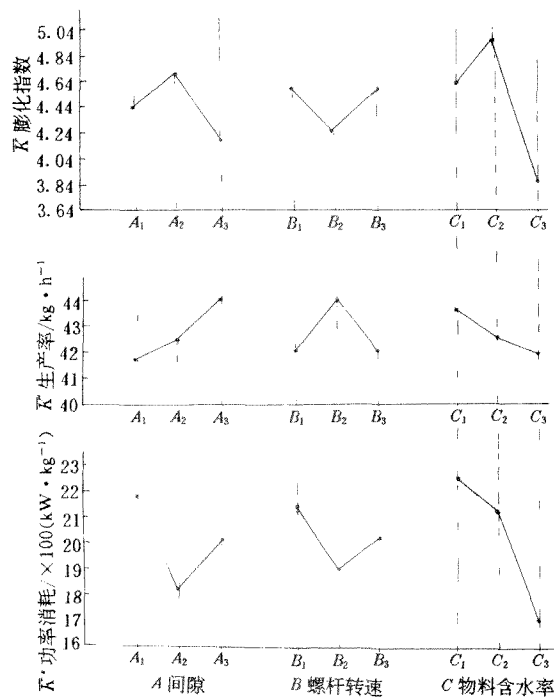


图1 试验因素与各项试验指标关系图

感官指标、理化指标和卫生指标是评定产品质量的重要指标。理化指标和卫生指标一经确定,通常就用膨化指数和口感来直观地评定产品质量。膨化指数越大,口感越酥松(入口即化),膨化质量越好。从表2和图1中可以看出含水率对膨化指数的影响比较显著。当含水率在14%~18%时,它随着含水率的增加而增大,产品有较大的膨胀和较小的收缩,在18%时为最大,超过18%又随着含水率的增加而急剧减小,挤出物的冷缩变得十分明显。通过对膨化物口感的评定,含水率为14%的物料膨化后,外形肥胖,泡孔细小均匀,口感香酥。含水率超过18%时,膨化物香酥程度逐渐变差,泡孔变大,而在22%时,由于系统被稀释,引起摩

擦力急剧降低,温度下降,物料的熟化程度很差,没有充分的蒸煮,所以膨化物基本上是生的,不能直接食用。试验表明,含水率降低,引起输入比能的增加,导致淀粉熟化程度提高,造成挤出机内容物表观粘度降低,从而使挤出物膨胀程度大幅度提高。

其次是螺杆、螺套的间隙对膨化指数的影响。在间隙较小时,输入比能增加,淀粉的熟化程度提高。当间隙为 0.75 mm 时,膨化指数最高,在 0.5 mm 时,膨化指数并不高。这说明此时模腔内的压力变化对膨化指数并无明显的提高。而在间隙为 1.15 mm 时,由于模腔内压力减小,所以膨化指数减小。通过对该机的生产考核,发现间隙在 1.25 mm~1.35 mm 时,由于压力急剧下降,膨化指数过低,产品质量变差,生产率下降。

3.2 生产率

从表 2 和图 1 中可以看出转速对生产率的影响较为显著,提高输入比能可以提高淀粉颗粒的变性和扩散程度,但转速过高温上升,物料在模腔内熟化的时间减少,产品质量受到影响,同时带来了生产不稳定。本次试验由于固定了送料速度,所以各因素对生产率影响的显著性没有充分区分开来,有一定的局限性。

从试验中可以看出物料含水率对生产率的影响比较明显,尽管在试验中有个别异常点,但从整个试验结果来看,并不影响总的趋势。物料含水率在 14% 时,生产率较高,随着含水率的增加,生产率反而下降,这主要是由于物料湿度变大,颗粒之间内摩擦系数增大而相互粘结,使下料速度减慢,其次,湿度增大,单位重量的体积变大,进入模腔物料总量减少。

3.3 功率消耗

从表 2 和图 1 还可以看出,物料的含水率对功耗的影响比较显著。在含水率较小时,每公斤物料消耗的功率增大,而在含水率较大时,功耗减小。通常物料湿度小时,流动性好,进入模腔内的量增大,故对物料的推进、挤压、剪切所消耗的功率增大。湿度大时,物料的流动性差,进入模腔内的量减少,所以功耗降低。

从间隙对功耗的影响可以看出,间隙适中时,功耗较低。间隙较小时,摩擦力、挤压力、剪切力增大,所以不但功耗增大,而且模具的磨损加快。

3.4 加工因素对限流段的影响

物料在挤压机的各个阶段呈现出不同状态。通常螺杆中物料所处的状态分成三个阶段:第一阶段是输送阶段,这段与普通输送相同,物料无显著变化。第二阶段为挤压阶段,物料受挤压、破碎受热。第三阶段为限流段,物料溶融熟化,呈粘性流动状态。螺杆、螺套的间隙,主轴的转速,以及物料的含水率对这三个阶段的变化影响极大。物料经过这三个阶段时,形成不同形状和性质的物料带,物料带的变化反映了质量的变化,这里选择了膨化质量好的 6 号试验,较好的 2 号试验和较差的 7 号试验,把它们在三个阶段的分布情况作一个比较。从拆模后检查物料在螺杆上各种状态,测得在输送段、挤压段和限流段的长度分布如图 2 所示。由图 2 可以看出,在间隙适中,物料含水率较低,主轴转速较高时,限流段的糊化区较长(约 40 mm)。在这个区段模腔内的温度约 135 °C,出口端压力约 0.6 MPa,物料经过充分糊化,所以产品质量好。

在间隙较大时,挤压段较长,糊化区很短,虽然调整了物料的含水率和主轴转速,但模腔内的压力并不高,出口端压力约 0.4 MPa,模腔内温度约 70 °C~80 °C。由于物料得不到高温、高压,不能充分糊化,所以,膨化出的产品细长而僵硬。

从物料在三个阶段的分布对产品质量的影响可以看出,糊化区越长,膨化质量越好。通过有效的选择间隙、含水率和转速来控制糊化区,就可以得到理想的产品。

为了进一步分析各因素交互作用对膨化质量的影响,将膨化指数、生产率作为主要指标,给予较大的权重,而将功耗作为次要指标,给予较小的权重,各项试验指标的加权分值确定如下:膨化指数加权 40 分,生产率加权 35 分,功耗加权 25 分。将各项指标值进行综合加权计算,结果见表 1。根据计算获得的加权分值再进行同类单项指标的分析计算,见表 3。

表 3 综合加权试验结果

K 值	A	B	C
	间隙	转速	含水率
K_1	862.175	890.076	909.458
K_2	955.236	930.717	926.014
K_3	899.94	895.912	881.233
\bar{K}_1	287.392	296.692	303.153
\bar{K}_2	318.412	310.239	308.671
\bar{K}_3	299.98	298.637	293.744
R	31.02	13.547	14.927
分析			
较优水平	A_2	B_2	C_2
主次因素	A, C, B		

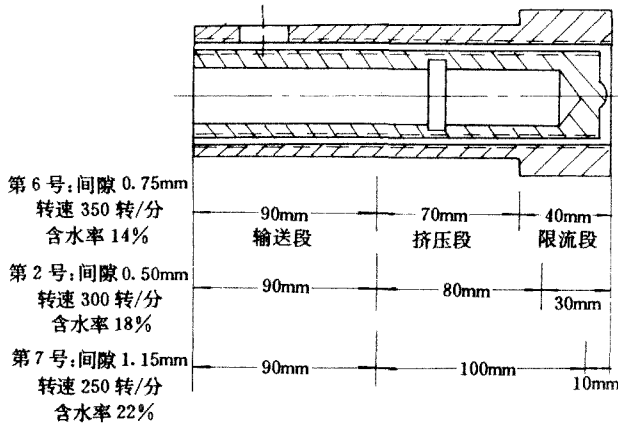


图 2 加工因素对限流段的影响

用极差法分析试验数据。由表 3 看出: 间隙对膨化的综合性能影响显著, 试验因素的主次排列为间隙、含水率和转速。从提高膨化质量、生产率和降低功耗综合衡量, 较优水平组合为 $A_2 B_2 C_2$, 即间隙 0.75 mm、转速 300 转/分、含水率 18%, 这一结论与生产实际基本吻合。

4 结 论

1) 单螺杆挤压机, 螺杆与螺套的间隙对产品质量影响是主要的, 其次是物料的含水率和螺杆的转速。试验表明, 间隙过大过小对产品质量和生产均不利, 必须选择适中的间隙。

2) 物料的含水率对加工特性和产品质量均有较大的影响, 在该试验条件下, 含水率在 14%~18% 之间时, 加工出的产品色、香、味均能满足生产要求, 而含水率在 22% 时, 加工出的产品不能食用。

3) 适当提高螺杆转速, 有利于提高淀粉颗粒的变性和扩散程度。

参 考 文 献

- 程凌敏等. 食品加工机械. 北京: 食品工业出版社, 1988. 134~137
- 郑福庭. 膨化技术发展现状. 见: 农业工程中的力学问题研讨会论文集. 北京: 科学出版社, 1994. 146~149
- 李桂珍. 螺旋式食品挤出机螺杆磨损机理及设计计算. 食品与机械, 1994(4): 14~15
- 亦 军. 试验设计的技术与方法. 上海交通大学出版社, 1987