

УДК 664.69

В. Я. ГРУДАНОВ, А. А. БРЕНЧ, Л. Т. ТКАЧЕВА, А. Б. ТОРГАН

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТРИЦ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Белорусский государственный аграрный технический университет

(Поступило в редакцию 25.07.2008)

Введение. Важной задачей, стоящей перед перерабатывающей промышленностью, является более полное и надлежащее обеспечение населения качественными продуктами питания, укрепление продовольственной безопасности страны, создание и внедрение современных и высокоэффективных видов технологического оборудования, которое на основании использования прогрессивных технологий и материалов значительно повысит производительность и улучшит качество готовой продукции. Одними из основных видов технологических процессов обработки различных пищевых и непищевых материалов являются прессование и формование. Данные процессы достаточно широко применяются в различных отраслях агропромышленного комплекса, в строительстве, машиностроении, химической и холодильной промышленности, медицинской, фармацевтической и других отраслях. Анализ литературных данных по теории и практике прессования и формования материалов показывает, что до настоящего времени не разработана общая теория, объясняющая качественные и количественные закономерности этих процессов. Создание такой теории затруднено разнообразием материалов, поэтому в настоящее время преобладает эмпирический подход. Особенно актуально создание такой теории для производства изделий из материалов растительного происхождения, что и представлено в данной работе на примере прессования и формования тестовых заготовок при производстве макаронных изделий.

Для производства макаронных изделий использовались различные виды прессов: вальцовые, пневматические, шнековые. Последние оказались наиболее приспособленными для данного производства и поэтому в настоящее время внедрены во всех странах мира. Однако шнековые прессы имеют ряд недостатков, существенно ухудшающих их работу.

Одной из главных проблем, которую не могут решить ученые на протяжении многих лет, является неравномерность выпрессовывания теста по площади матрицы, что ведет к увеличению гидравлического сопротивления. Неравномерность скорости выпрессовывания тестовых жгутов из отверстий матрицы и гидравлического сопротивления приводит к снижению производительности прессы. [1, 2]

Современный макаронный пресс состоит из двух основных элементов: тестосмесителя и пресующего устройства. В тестосмесителе происходит предварительное смешивание муки и жидких компонентов до образования теста в виде мелких крошек и небольших крупинок. Полученное в смесительной камере тесто поступает в шнековый канал, где под воздействием винтовой лопасти уплотняется, пластифицируется и приобретает пластично-вязкую структуру. Далее тесто продавливается через формующие отверстия матрицы. При прессовании теста через круглые матрицы отмечается несколько кольцевых зон с различными скоростями выхода теста из отверстий. Наибольшая скорость выпрессовывания наблюдается в центре матрицы и в ее периферийных областях. Высокая скорость прессования в центре обусловлена законом течения вязкой пластичной массы в канале круглого сечения (предматричная камера). Увеличение же скорости прессования у внутренних стенок предматричной камеры объясняется тем, что тесто в данном слое имеет более высокую температуру за счет трения о поверхность и механического воздействия шнека. Разогретое тесто обладает меньшей вязкостью и поэтому течет с большей скоростью. Кроме указан-

ных причин существенное влияние на эффективность процесса прессования оказывает и тот фактор, что пропускная способность матрицы неравномерна по всей площади рабочей поверхности.

Следует отметить, что попытки выравнивания скоростей выпрессовывания теста предпринимались неоднократно [3]. Так, известно конусно-цилиндрическое устройство, которое устанавливается в предматричную камеру пресса соосно с матрицей и на некотором расстоянии от нее. При прессовании устройство резко изменяет условия течения теста. Тестовая масса направляется в зазор между нижней плоскостью этого устройства и поверхностью матрицы, и по мере продвижения к центру матрицы ее скорость постепенно выравнивается. Однако добиться полного выравнивания скоростей выпрессовывания с помощью данного устройства можно только в случае равномерного распределения формующих отверстий по всей поверхности матрицы.

Существует также способ выравнивания скоростей, основанный на выравнивании сопротивлений на участках, где тесто проходит разную длину. Общими недостатками данных решений являются усложнение конструкции пресса, увеличение сопротивления на пути движения теста к матрице, что повышает затраты энергии на прессование. Технологически проблема выравнивания скоростей частично может быть решена за счет понижения влажности теста (при твердом замесе скорость прессования в центре уменьшается, а по периферии увеличивается), однако это потребовало бы дополнительных затрат энергии. Вместе с тем ни один из перечисленных способов не решает до конца проблему выравнивания скоростей.

Расчетная модель геометрических параметров матриц макаронных прессов. Цель данной работы – совершенствование процесса формования макаронных изделий на основе разработки новой конструкции матрицы с оптимальными геометрическими параметрами.

В связи с данным направлением работы и для устранения недостатков имеющихся конструкций предлагается оригинальная методика расчета геометрических параметров макаронных матриц, которая основана на свойствах ряда чисел Фибоначчи и «золотой» пропорции. Для решения этой задачи используем свойства чисел, известных в литературе под названием ряда Фибоначчи: 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; 34; ... [4, 5]. Как видно из этого ряда, каждое последующее число, начиная с третьего, равно сумме двух предыдущих.

В общем виде эта закономерность может быть выражена следующим образом:

$$a_{n+2} = a_{n+1} + a_n \text{ при } n \geq 1 \quad (a_1 = a_2 = 1). \quad (1)$$

Уравнение (1) представляет собой разностное уравнение второго порядка. Его общее решение имеет вид

$$a_n = Aq_1^{n-1} + Bq_2^{n-1}, \quad (2)$$

где $q_1 = (1 + \sqrt{5})/2$; $q_2 = (1 - \sqrt{5})/2$; A и B – произвольные постоянные.

Так как $a_1 = a_2 = 1$, то $A = (\sqrt{5} + 1)/2\sqrt{5}$; $B = (\sqrt{5} - 1)/2\sqrt{5}$. Тогда

$$a_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[\left(\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^n - \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^n \right] \text{ при } n \geq 1. \quad (3)$$

По определению золотого сечения (золотой пропорции) получается

$$\alpha = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} - \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}. \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что отношение двух соседних чисел ряда Фибоначчи в пределе составляет $\alpha = (1 + \sqrt{5})/2 \cong 1,6180$. Легко проверить, что начиная с пятого члена ряда Фибоначчи, это отношение достаточно близко к золотому сечению: $8/5 = 1,60000$; $13/8 = 1,62500$; $21/13 = 1,61538$; $34/21 = 1,61904$; $55/34 = 1,61765$.

При этом оценка погрешности имеет вид

$$\left| \frac{a_{n+1}}{a_n} - \alpha \right| \leq \frac{1}{\alpha^n a_n}.$$

Из нее вытекает, что отношение a_{n+1}/a_n монотонно и достаточно быстро сходится к числу α с ростом n , так как $1/\alpha^{n+1}a_n < 1/\alpha^n a_n$. Следовательно, с достаточной точностью можно считать, что $\alpha \cong a_{n+1}/a_n, n \geq 5$.

Наиболее важной частью прессов являются их матрицы. Они выполняются или в форме круглого плоского диска, или в виде вытянутого прямоугольника в зависимости от способа разделки макаронных изделий. Макаронная матрица представляет собой металлический диск с колодцами (отверстиями), в которые устанавливаются перфорированные фторопластовые вставки. Конфигурация отверстий вставок определяет окончательную форму изделий.

В соответствии с предлагаемой методикой колодцы в корпусе матрицы должны быть расположены на центральных радиусах концентрических условных колец. При этом одной из важнейших характеристик матриц является пропускная способность, определяемая как отношение живого сечения к площади рабочей поверхности матрицы:

$$k = \sum f_o / F, \quad (5)$$

где k – коэффициент пропускной способности; f_o – площадь колодцев матрицы; F – рабочая поверхность матрицы.

Матрица для производства макаронных изделий (рис. 1) состоит из цилиндрического корпуса 1 с колодцами 2, внутри установлены вкладыши 3 со сквозными формующими отверстиями 4, сгруппированными в гнезда 5. Колодцы 2 по площади матрицы расположены на центральных радиусах b условных колец 7, наружные радиусы которых определяются по формуле

$$R_n = (0,786)^n R_k, \quad (6)$$

где R_n – наружный радиус n -го кольца; R_k – радиус корпуса 1 матрицы; n – порядковый номер условного кольца, считая от радиуса корпуса матрицы; 0,786 – коэффициент пропорциональности ($1/\sqrt{\Phi} = 0,786$). Количество колодцев на каждом радиусе каждого условного кольца вычисляется по уравнению

$$Z_{n+1} = \left[\frac{Z_n}{1,618} \right], \quad (7)$$

где Z_n – количество колодцев на n -м условном кольце; Z_{n+1} – количество колодцев на $(n+1)$ -м условном кольце; 1,618 – коэффициент пропорциональности, а квадратные скобки обозначают целую часть числа.

Расположение колодцев на центральных радиусах условных колец обеспечивает равномерное распределение массы теста на единицу площади рабочей поверхности условного кольца. Выполнение условия $R_n = (0,786)^n R_k$ обеспечивает пропорциональное изменение площадей условных колец, а выполнение условия $Z_{n+1} = [Z_n/1,618]$ – пропорциональное изменение количества формующих отверстий.

Во внутренней части матрицы диаметр отверстий в ступенях (рис. 2) определяется по формуле

$$d_n = (1,125)^{n-1} d_{ш}, \quad (8)$$

где d_n – диаметр отверстий в n -й ступени; $d_{ш}$ – диаметр отверстий формующей щели; n – количество ступеней, считая от формующей щели; 1,125 – коэффициент пропорциональности, а высота отверстий в ступенях (рис. 2) вычисляется по уравнению

$$H_n = (1,125)^{n-1} H_{ш}, \quad (9)$$

где H_n – высота отверстий в n -й ступени; $H_{ш}$ – высота отверстий формующей щели.

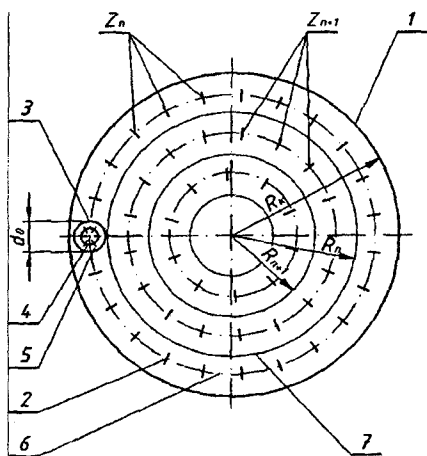


Рис. 1. Принципиальная схема новой конструкции матрицы: 1 – корпус; 2 – колодцы; 3 – вкладыши; 4 – отверстия формующие; 5 – гнездо; 6 – центральный радиус условного кольца; 7 – кольцо условное

Соблюдение указанных расчетных зависимостей при конструировании матрицы позволит получить одинаковую пропускную способность каждого условного кольца по всей рабочей поверхности матрицы и равенство гидравлических сопротивлений во всех ступенях по ходу движения теста, что будет способствовать стабилизации его движения через матрицу и повышению качества формования и производительности матрицы, а, следовательно, и эффективности работы пресса в целом.

Для подтверждения вышеизложенного можно привести конкретный пример.

Н а ч а л ь н ы е у с л о в и я: D_k – диаметр корпуса матрицы, $D_k = 350$ мм ($R_k = 175$ мм); r_0 – радиус кольца, $r_0 = 9$ мм; Z_1 – количество колодцев на первом от оси корпуса матрицы условном кольце, $Z_1 = 34$; $d_{ш}$ – диаметр отверстий формирующей щели, $d_{ш} = 5,5$ мм; $H_{ш}$ – высота отверстий формирующей щели, $H_{ш} = 7$ мм.

Р е ш е н и е. Рабочая поверхность матрицы условно делится на четыре кольца ($n = 4$).

1.1. Определяются наружные радиусы условных колец

$R_1 = (0,786)R_k = 0,786 \cdot 175 = 137,55$ мм, $R_2 = (0,786)^2 R_k = 108,114$ мм, $R_3 = (0,786)^3 R_k = 84,978$ мм, $R_4 = (0,786)^4 R_k = 66,793$ мм.

1.2. Определяется количество колодцев на каждом центральном радиусе каждого условного кольца

$$Z_1 = 34, Z_2 = \left[\frac{Z_1}{1,618} \right] = 21,$$

$$Z_3 = \left[\frac{Z_2}{1,618} \right] = 13, Z_4 = \left[\frac{Z_3}{1,618} \right] = 8.$$

1.3. Определяется пропускная способность каждого условного кольца по формуле

$$K_n = \frac{f_0 Z_{n+1}}{\pi (R_n^2 - R_{n+1}^2)} = \frac{\pi r_0^2 Z_{n+1}}{\pi (R_n^2 - R_{n+1}^2)},$$

где f_0 – площадь колодца матрицы, мм²; Z_{n+1} – количество колодцев на $(n+1)$ -м условном кольце; R_n – наружный радиус $(n+1)$ -го условного кольца; R_{n+1} – внутренний радиус $(n+1)$ -го условного кольца; r_0 – радиус кольца, мм;

$$K_1 = \frac{\pi r_0^2 Z_1}{\pi (R_k^2 - R_1^2)} = \frac{34 \cdot 3,14 \cdot 81}{(175)^2 - (137,55)^2} = 0,7387,$$

$$K_2 = \frac{\pi r_0^2 Z_2}{\pi (R_1^2 - R_2^2)} = \frac{21 \cdot 3,14 \cdot 81}{(137,55)^2 - (108,12)^2} = 0,7386,$$

$$K_3 = \frac{\pi r_0^2 Z_3}{\pi (R_2^2 - R_3^2)} = \frac{13 \cdot 3,14 \cdot 81}{(108,12)^2 - (84,97)^2} = 0,7397,$$

$$K_4 = \frac{\pi r_0^2 Z_4}{\pi (R_3^2 - R_4^2)} = \frac{8 \cdot 3,14 \cdot 81}{(84,97)^2 - (66,79)^2} = 0,7375.$$

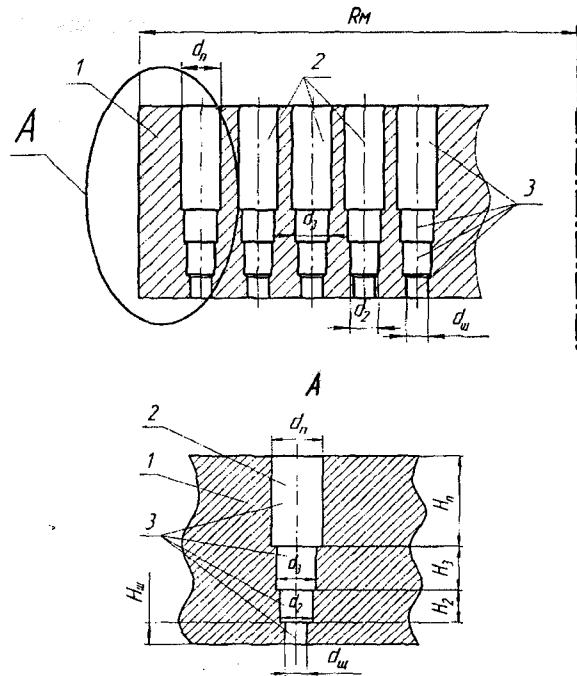


Рис. 2. Принципиальная схема внутренней части новой конструкции матрицы: 1 – плоский перфорированный диск; 2 – отверстие перфорации; 3 – ступени перфорации

1.4. Определяется диаметр отверстия в каждой ступени, начиная от выходной формующей щели, по формуле

$$d_n = (1,125)^{n-1} d_{\text{ш}},$$

$$d_1 = 1,125^0 d_{\text{ш}} = 1,125^0 \cdot 5,5 = 5,5 \text{ мм}, \quad d_2 = 1,125 d_{\text{ш}} = 1,125 \cdot 5,5 = 6 \text{ мм},$$

$$d_3 = 1,125^2 d_{\text{ш}} = 1,125^2 \cdot 5,5 = 7 \text{ мм}, \quad d_4 = 1,125^3 d_{\text{ш}} = 1,125^3 \cdot 5,5 = 8 \text{ мм}.$$

1.5. Определяется высота формующих отверстий в ступенях по формуле

$$H_n = (1,125)^{n-1} H_{\text{ш}},$$

$$H_1 = 1,125^0 H_{\text{ш}} = 1,125^0 \cdot 7 = 7 \text{ мм}, \quad H_2 = 1,125 H_{\text{ш}} = 1,125 \cdot 7 = 8 \text{ мм},$$

$$H_3 = 1,125^2 H_{\text{ш}} = 1,125^2 \cdot 7 = 9 \text{ мм}, \quad H_4 = 1,125^3 H_{\text{ш}} = 1,125^3 \cdot 7 = 10 \text{ мм}.$$

1.6. Определяется линейное гидравлическое сопротивление в каждой ступени по уравнению

$$\Delta P_n = \lambda_n \frac{H_n W^2}{2d_n g},$$

где $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$ – коэффициент гидравлического трения; $W_1 = W_2 = W_3$ – скорость теста; g – ускорение свободного падения;

$$\Delta P_1 = \frac{H_1}{d_1} = \frac{7}{5,5} = 1,3, \quad \Delta P_2 = \frac{H_2}{d_2} = \frac{8}{6} = 1,3,$$

$$\Delta P_3 = \frac{H_3}{d_3} = \frac{9}{7} = 1,3, \quad \Delta P_4 = \frac{H_4}{d_4} = \frac{10}{8} = 1,3.$$

Из расчетов следует, что $K_1 = K_2 = K_3 = K_4$ (пропускная способность всех условных колец одинаковая), т. е. происходит увеличение площади живого сечения условных колец пропорционально росту общей площади рабочей поверхности матрицы. Равно и гидравлическое сопротивление во всех ступенях по ходу движения теста $\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_3 = \Delta P_4$, что позволяет выровнять скорости прессования по высоте матрицы. Следовательно, движение потока теста стабилизируется по всей площади матрицы, и, как следствие, имеют место увеличение производительности матрицы и улучшение качества формования.

Заключение. Проведен анализ конструктивных особенностей рабочих органов шнековых пресов, рассмотрены недостатки существующих конструкций и способы их устранения. Разработана оригинальная методика для определения геометрических параметров перфорированных матриц для прессования макаронных изделий. На основе законов золотой пропорции предложена новая конструкция матрицы с оптимальными геометрическими параметрами. Она позволяет получить одинаковую пропускную способность каждого условного кольца по всей рабочей поверхности и равенство гидравлического сопротивления во всех ступенях матрицы по ходу движения теста, повышая качество формования.

Литература

1. Г р у д а н о в В. Я. Совершенствование конструкций машин и аппаратов пищевых производств: Учеб. пособие для вузов. Мн., 1996.
2. Н а з а р о в Н. И. и др. Интенсификация процессов макаронного производства: Обзорная информация. М., 1978.
3. Б е р м а н Г. К. и др. Основные направления совершенствования формующего оборудования в производстве макаронных изделий: Обзор. М., 1977.
4. В а с ю т и н с к и й Н. А. Золотая пропорция. М., 1990.
5. В о р о б ь е в Н. Н. Числа Фибоначчи. М., 1969.

V. Ya. GRUDANOV, A. A. BRENCH, L. T. TKACHYOVA, A. B. TORHAN

OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF MATRIX FOR PASTA FORMING

Summary

The principles for geometrical parameters definition of perforated matrix of pasta presses have been developed. On the basis of «gold» proportion laws the new matrix construction has been offered. This construction allows to obtain the identical passing ability of each conventional unit and to raise the forming quality and press productivity.