

В.Я. Груданов, А.Б. Торган, П.В. Станкевич

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ ТЕСТА НА ПРОЧНОСТЬ, ЖЕСТКОСТЬ И ПРОГИБ КРУГЛЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация: В статье показано новое направление в конструировании матриц для производства макаронных изделий. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что круглые составные матрицы, состоящие из двух частей, имеют повышенную прочность корпуса при значительно меньшем прогибе рабочей поверхности, при этом цилиндрическая жесткость корпуса матрицы остается неизменной. Составные матрицы целесообразно использовать в прессах технологических линий зарубежных фирм, в которых эксплуатируются матрицы с наружным диаметром 520 и 610 мм и толщиной соответственно 110 и 140 мм – для таких матриц вопросы прочности и прогиба корпуса (выпучивание) особенно актуальны. Экспериментально получены новые формулы для определения максимальных моментов и величины прогиба корпуса составных матриц.

Ключевые слова: матрица, давление теста, скорость выпрессовывания теста, модуль упругости, коэффициент Пуассона, напряженное состояние, деформация перфорированных пластин, теория упругости, прогиб кольцевой пластины, максимальные моменты и напряжения, золотое сечение, составная матрица

V.J. Grudanov, A.B. Torgan, P.V. Stankevich

The Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

INFLUENCE OF THE STRENGTH OF THE TEST OF THE PRODUCTION OF PASTA

Abstract: The article shows a new direction in the design of matrices for the production of pasta. It is theoretically justified and experimentally confirmed that round composite matrix consisting of two parts, have increased body strength with a significantly smaller deflection of the working surface, while the cylindrical rigidity of the matrix body remains unchanged. Composite matrices should be used in presses of technological lines of foreign companies, in which matrices with an outer diameter of 520 and 610 mm and a thickness of 110 and 140 mm, respectively, are used – for such matrices the issues of strength and deflection of the hull (buckling) are particularly relevant. Experimentally obtained new formulas for determining the maximum moments and magnitude of the deflection of the hull of composite matrices.

Keywords: matrix, dough pressure, dough pressing speed, elastic modulus, Poisson's ratio, stress state, deformation of perforated plates, theory of elasticity, wells, ring plate deflection, maximum moments and stresses, golden section, composite matrix

Введение. В технологических машинах и аппаратах пищевых производств находят широкое применение перфорированные барабаны и тарелки жидкостных сепараторов, сетчатые обечайки шнековых прессов для сжатия жидкой фазы из обрабатываемого сырья, штампованные решета, перфорированные металлические ленты транспортеров, ножевые решетки режущих механизмов волчков, матрицы макаронных прессов и т.д., при этом перфорированные детали можно разделить на перфорированные пластины и перфорированные цилиндры.

В свою очередь, учитывая специфику расчета, целесообразно разделить перфорированные пластины на пластины, нагруженные силами, действующими в их плоскости, и пластины, нагруженные силами, действующими перпендикулярно их плоскости – матрицы макаронных прессов.

Наличие у перфорированных матриц большого числа отверстий, которые могут иметь различное расположение и форму делает затруднительным получение точных решений, так называемых периодических задач теории упругости, при этом одним из возложенных приемов расчета густо перфорированных пластин является способ приведения, согласно которому имеет место замена расчета перфорированной пластины расчетом некоторой эквивалентной ей по показателю жесткости сплошной пластины с введением в расчет приведенных значений модуля упругости и коэффициента Пуассона.

Известно много научных работ по исследованию напряженного состояния и деформации перфорированных пластин и оболочек, в которых излагаются основные методы решения периодических и двоякопериодических задач теории упругости. Наряду с точными методами нашли развитие также инженерные методы расчета, основанные на применении различных упрощающих моделей и на использовании результатов экспериментов, о чем в дальнейшем мы остановимся более подробно [1–4].

Предварительные сведения. Матрицы круглые сплошные и составные. В СССР наибольшее распространение получили матрицы с наружным диаметром $D_n \approx 300$ мм при толщине $H = 55$ мм и ромбическим расположением колодцев. По данным Б.М. Сергеева, такие матрицы выдерживают внутреннее давление теста $P = 15$ МН/м² при максимальном прогибе кольцевой пластины, опертой по внешнему краю, равной 0,00525 м [3].

Однако, как показывает мировая практика, в макаронных прессах ведущих европейских фирм Италии, Швейцарии и Франции используются круглые матрицы с концентрическим расположением колодцев при наружном диаметре $D = 520$ мм и толщине $H = 110$ мм (Landucci, Италия).

Фирма «NiccolaiTrafile.r.b.» выпускает матрицы с наружным диаметром $D = 610$ мм при толщине $H = 140$ мм.

В целом, матрицы зарубежного производства работают хорошо, но и они имеют весьма существенные конструктивные недостатки. Такие матрицы имеют явно завышенную толщину корпуса (110 и 140 мм), при этом и в таких устройствах наблюдается прогиб рабочей поверхности и неравномерная скорость выпрессовывания теста, особенно на периферийных участках корпуса при значительных его температурных деформациях, что приводит к снижению качества отформованных полуфабрикатов и увеличению их отходов при отрезании [1, 4–7].

Рассмотрим деформацию корпуса матрицы в двух вариантах:

- ♦ корпус матрицы сплошной;
- ♦ корпус матрицы составной.

На рис. 1 показана схема деформации корпуса сплошной матрицы с шарнирным закреплением по наружному контуру.

Круглый корпус матрицы равномерно нагружен по всей площади давлением $p = 15$ МПа. Радиус корпуса $R = 260$ мм. Корпус выполнен из стали 20 ($\mu = 0,3$; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа). Температура нагрева корпуса матрицы не превышает 120 °С. Корпус свободно опирается по контуру. Толщина корпуса матрицы $h = 110$ мм. Предел прочности стали 20 равен $\sigma = 420$ МПа. Коэффициент, зависящий от способа крепления корпуса, $K = 0,38$. Коэффициент запаса прочности $n_b = 3,5$ (справочные данные).

Необходимо определить максимальные значения моментов напряжения и прогиба центра корпуса матрицы.

Допускаемое напряжение будет равно: $[\sigma] = 420 \cdot 10^6 / 3,5 = 120 \cdot 10^6$ МПа.

Максимальные моменты и напряжения будут иметь место в центре корпуса матрицы. Рассчитаем их по формулам [1, 2, 3]:

$$M_m = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot p R^2 \cdot (3 + \mu) =$$

$$= 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 0,260^2 \cdot (3 + 0,3) = 210000 \text{ Н м/м.}$$

$$\sigma_m = 6 \cdot M_m / h^2 = 6 \cdot 210000 / 0,11^2 = 104 \cdot 10^6 \text{ МПа} (120 \cdot 10^6 \text{ МПа}).$$

Условие выдержано.

Жесткость корпуса матрицы определим по выражению:

$$D = (Eh^3 / 12) / (1 - \mu^2) = (2 \cdot 10^{11} \cdot 0,110^3 / 12) (1 - 0,3^2) = 24 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

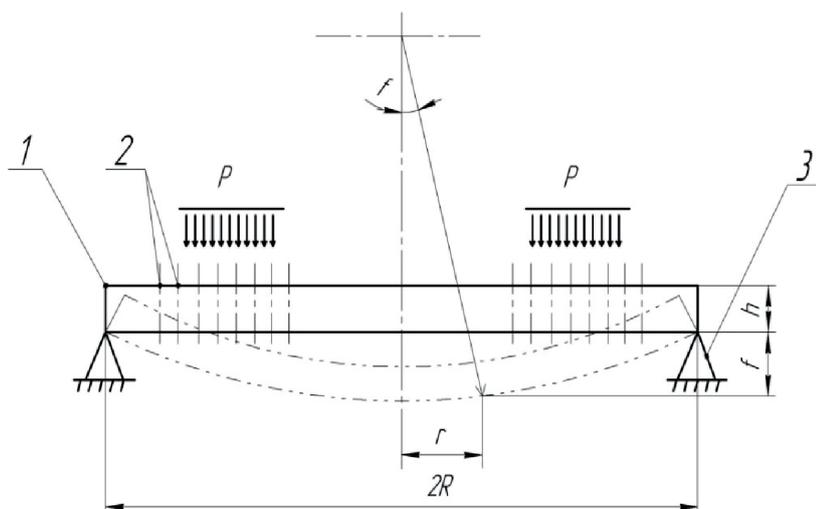


Рис. 1. Схема деформаций корпуса сплошной матрицы с шарнирным закреплением по наружному контуру: 1 – корпус матрицы; 2 – формующие отверстия; 3 – опора; φ – угол поворота к оси симметрии матрицы; f – прогиб центра матрицы; h – высота (толщина) корпуса матрицы; P – давление
 Fig. 1. The deformation scheme of the body of a solid matrix with hinged fastening on the outer contour: 1 – body of matrix; 2 – moulding openings; 3 – support; φ – angle of rotation to the axis of symmetry the matrix; f – deflection of the center of the matrix; h – height (thickness) of the matrix housing; P – pressure

Прогиб корпуса матрицы в центре рассчитаем по формуле:

$$f_1 = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot \rho R^4 / D = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 0,260^4 (5 + 0,3) / (24 \cdot 10^8 (1 + 0,3)) = 0,00441 = 4,4 \text{ мм.}$$

Из расчетов видно, что прогиб корпуса сплошной матрицы составляет примерно 4,4 мм.

Однако, прогиб рабочей поверхности матрицы может быть значительно уменьшен при условии, что ее корпус выполнен составным – из двух частей: большей, сделанной в виде кольца и меньшей, изготовленной в виде центрального диска-вкладыша, установленного внутри кольца со сквозным ступенчатым зазором.

На рис. 2 представлена схема деформации корпуса составной матрицы с шарнирным закреплением по наружному контуру.

Определяем максимальные значения моментов напряжения и прогиба центра корпуса матрицы при тех же исходных данных.

Максимальные моменты и напряжения будут иметь место в центре корпуса матрицы:

$$M_{r0} = 52284,4 \text{ Н} \times \text{м} / \text{м.}$$

$$\sigma_{r0} = 6 \cdot M_{r0} / h^2 = 6 \cdot 52284,4 / 0,11^2 = 26 \cdot 10^6 \text{ МПа} (120 \cdot 10^6 \text{ МПа}).$$

Тогда $f_{r0} = 26 \cdot 10^6 \text{ МПа} < 120 \cdot 10^6 \text{ МПа}$.

Условие выдержано.

Жесткость корпуса матрицы определим по выражению:

$$D = 24 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Прогиб корпуса матрицы в центре:

$$f_2 = 0,00242 = 2,4 \text{ мм.}$$

Из расчетов видно, что прогиб корпуса составной матрицы составляет примерно 2,4 мм, что почти в два раза меньше прогиба корпуса сплошной матрицы, при этом максимальные моменты и напряжения в составных матрицах значительно снижены, однако жесткость составной матрицы не изменилась, т.к. эта величина зависит от толщины корпуса h , а она в обоих вариантах одинаковая.

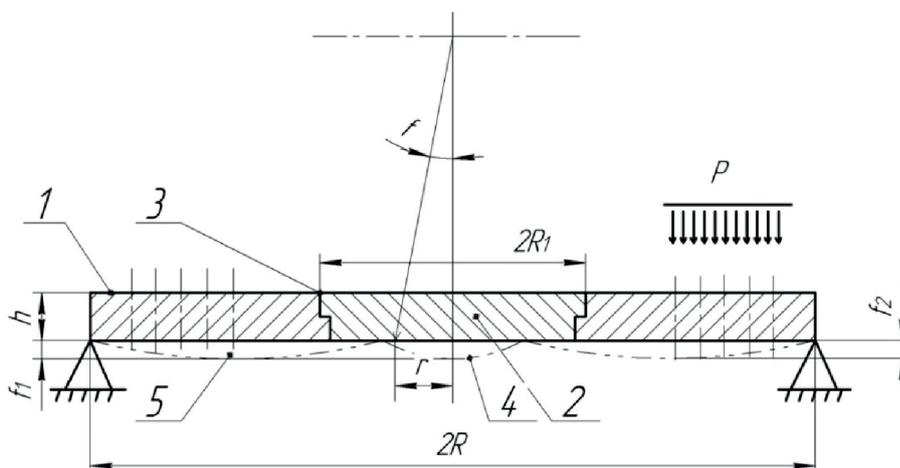


Рис. 2. Схема деформаций корпуса составной матрицы с шарнирным закреплением по наружному контуру: 1 – большая часть корпуса матрицы; 2 – меньшая (центральная) часть корпуса матрицы; 3 – сквозной ступенчатый зазор; 4 – центр матрицы; 5 – формующие отверстия; φ – угол поворота к оси симметрии матрицы; r – текущее значение радиуса; R – радиус корпуса матрицы; R_1 – радиус центральной части корпуса матрицы; f_1 – величина прогиба центральной части матрицы; f_2 – величина прогиба большей (кольцевой) части матрицы; h – высота (толщина) корпуса матрицы; P – давление

Fig. 2. The deformation scheme of the body of a composite matrix with hinged fastening on the outer contour: 1 – most part of the matrix housing; 2 – smaller part of the matrix housing (central part); 3 – through step gap; 4 – center of the matrix; 5 – moulding openings; φ – angle of rotation of the axis of symmetry; r – current value of radius; R – radius of the body matrix; R_1 – radius of the center part of matrix body; f_1 – the deflection of the central part of the matrix; f_2 – the deflection most (ring) part of the matrix; h – height (thickness) of the matrix body; P – pressure

Вышеописанные теоретические расчеты и положения послужили основой для дальнейшей экспериментальной работы, направленной на создание новой конструкции составной матрицы для макаронных прессов.

Цель представленных ниже исследований – установить влияние внутреннего давления теста на прочность, жесткость и прогиб круглых матриц для производства макаронных изделий и определить максимальные моменты и величины прогиба центра корпуса составных матриц с учетом количества сквозных ступенчатых зазоров.

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 3 представлена принципиально-конструктивная схема составной круглой матрицы [10, 11, 12], являющаяся результатом разработки новых технических решений, предложенных нами с целью совершенствования матриц макаронных прессов.

Матрица для производства макаронных изделий содержит цилиндрический корпус 1, основание 2, колодцы 3, расположенные внутри колодцев вкладыши 4 со сквозными формующими отверстиями 5.

Рабочая поверхность корпуса разделена на ряд условных колец 6. Колодцы 3 расположены в условных кольцах 6 на концентрических окружностях 7. Основание 2 установлено относительно корпуса 1 матрицы с зазором 8 и имеет центральное отверстие 9. R_k – радиус корпуса матрицы; $R_n^н$ – центральный радиус n -го условного кольца 6; $R_n^н$ – наружный радиус n -го условного кольца 6; $R_n^в$ – внутренний радиус n -го условного кольца 6; Z_n – количество колодцев 3 в n -ом условном кольце 6; ϑ – ширина зазора 8; h – высота (толщина) матрицы.

Таким образом, корпус матрицы выполнен составным и разделенным на две неравные части по внутреннему радиусу $R_n^в$ последнего условного кольца, считая от радиуса корпуса матрицы.

Колодцы 3 по площади матрицы расположены в условных кольцах 6 на концентрических окружностях 7, при этом наружные радиусы условных колец определяются по формуле:

$$R_n^н = / (0,786)^n = R_k, \tag{1}$$

где $R_n^н$ – наружный радиус n -го условного кольца; R_k – радиус корпуса матрицы; 0,786 – коэффициент пропорциональности.

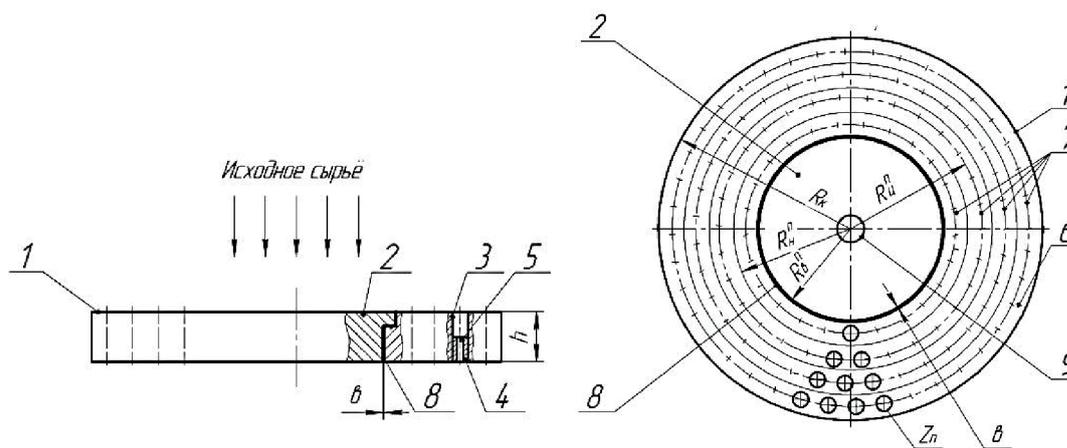


Рис. 3. Принципиально-конструктивная схема составной матрицы для производства макаронных изделий: 1 – корпус матрицы; 2 – основание; 3 – колодцы; 4 – вкладыши; 5 – формующие отверстия; 6 – кольца условные; 7 – окружности цилиндрические; 8 – зазор; 9 – отверстие центральное; 10 – выступ; R_k – радиус корпуса матрицы; R_n^o – центральный радиус n -го условного кольца; R_n^i – наружный радиус n -го условного кольца; R_n^e – внутренний радиус n -го условного кольца; b – ширина зазора; Z_n – количество колодцев; h – высота (толщина) матрицы

Fig. 3. Conceptual design scheme of pasta macaroni products: 1 – matrix housing; 2 – base; 3 – wells; 4 – inserts; 5 – moulding openings; 6 – conditional rings; 7 – cylindrical circles; 8 – gap; 9 – central hole; 10 – projection; R_k – radius of the matrix housing; R_n^o – central radius n -th conditional ring; R_n^i – outer radius n -th conditional number; R_n^e – inner radius n -th conditional number; b – gap width; Z_n – number of wells; h height (thickness) of the matrix

Количество колодцев на concentрической окружности каждого условного кольца определяется по формуле:

$$Z_{n+1} = \left[\frac{Z_n}{1,618} \right], \quad (2)$$

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

Основание 2 установлено относительно корпуса 1 со ступенчатым зазором 8 шириной b по всей высоте (толщине) матрицы. Стрелками показано направление движения исходного сырья. На рис. 4 изображен дополнительный вариант установки основания 2 относительно корпуса 1 со ступенчатым зазором 8 шириной b через кольцевой выступ 10 (в увеличенном масштабе).

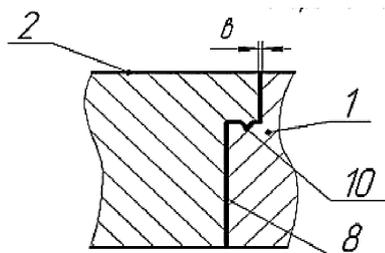


Рис. 4. Вариант установки основания в корпусе матрицы: 1 – корпус матрицы; 2 – основание; 8 – зазор; 10 – выступ; b – ширина температурного зазора

Fig. 4. The installation of the base in the matrix housing: 1 – matrix housing; 2 – base; 8 – gap; 10 – protrusion; b – temperature gap

Под матрицей устанавливается вращающийся нож для отрезания отформованных изделий (не показан).

Вкладыши 4 установлены в колодцах 3 методом запрессовки. Центральное отверстие 9 обеспечивает соосность при установке матрицы и рабочего вала шнека (не показан).

Устройство работает следующим образом.

В шнековой камере пресса тесто подвергается интенсивному механическому воздействию со стороны винтовой лопасти шнека, постепенно уплотняется, освобождается от включений воздуха, становится плотной, упруго-пластичной и вязкой массой. Уплотненное макаронное тесто с помощью шнека, преодолевая сопротивление матрицы, продавливается сквозь формирующие отверстия 5 вкладышей 4, установленные в колодцах 3 корпуса 1, при этом использование в конструкции формул (1) и (2) позволяет получить одинаковую пропускную способность матрицы по всей рабочей поверхности (по всем условным кольцам).

В процессе формования макаронных изделий корпус матрицы интенсивно нагревается, в результате чего, согласно теории линейного расширения металлов, возникают температурные деформации, причем максимальные – в центральной части матрицы на осях симметрии круглого основания 2. Так как основание 2 выполнено в виде круга и установлено в центре матрицы, то при нагреве оно будет равномерно удлиняться (расширяться) во все стороны благодаря наличию зазора δ . Снятию максимальных температурных деформаций будет способствовать и центральное отверстие 9.

Одновременно температурным деформациям подвергается и большая часть матрицы – периферийная кольцеобразная рабочая поверхность, которая также имеет возможность линейного расширения благодаря зазору δ .

В результате такого взаимного перемещения двух составных частей корпуса рабочая поверхность матрицы будет иметь минимальное коробление торцевой (рабочей) поверхности, что и обуславливает равномерное отрезание отформованных изделий вращающимся (подрезным) ножом.

Таким образом, зазор δ позволяет компенсировать температурные деформации и получить минимальное коробление рабочей поверхности матрицы и в этом случае, вращающийся подрезной нож (не показан) будет отрезать отформованные изделия одинаковой длины.

На рис. 5 представлена трехмерная модель составной матрицы в разобранном виде.

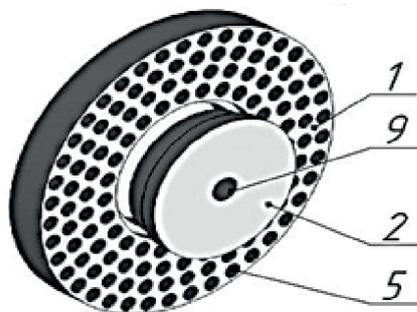


Рис. 5. Трехмерная модель составной матрицы: 1 – корпус матрицы (большая часть); 2 – основание матрицы (меньшая часть); 9 – центральное отверстие; 3 – колодцы
 Fig.5. 3D model of the composite matrix: 1 – matrix body (most part); 2 – matrix base (smaller part); 9 – center hole; 3 – wells

С целью подтверждения изложенных теоретических расчетов и установления влияния внутреннего давления на прочность, жесткость и прогиб круглых составных матриц новой конструкции был разработан, изготовлен и наложен специальный лабораторный экспериментальный стенд [6, 7, 8, 9]. На рис. 6 представлена схема экспериментального стенда для исследования прогиб круглых пластин, нагруженных равномерно распределенным давлением P . Для измерения прогиба пластины использовались индикаторы часового типа ИЧ.10МН, расположенные снизу под пластиной согласно точкам замера $1_x, 2_x, 3_x, 4_x$ и 5_x . На рис. 7 показан общий вид изготовленного экспериментального стенда. Опыты проводились на пластинах сплошных и составных толщиной 2, 3 и 4 мм при наружном диаметре $D = 300$ мм и нагрузке 5, 10, 15, 20 и 25 кг.

На рис. 8 представлена экспериментальная зависимость прогиба пластины толщиной 2 мм в двух вариантах: сплошная и составная.

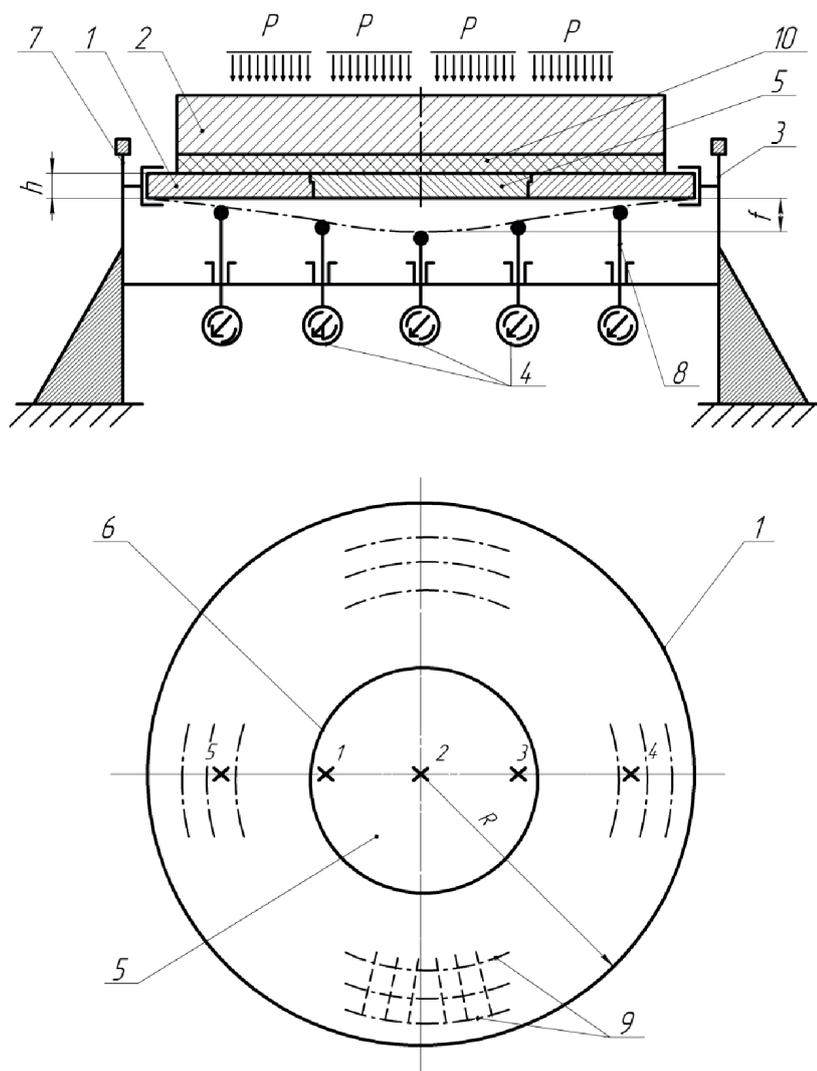


Рис. 6. Схема экспериментального стенда для исследования прогиба круглых пластин, нагруженных равномерно распределенным давлением: 1 – пластина (кольцевая часть); 2 – нагрузка; 3 – стойка; 4 – датчик уровня ИЧ-10МН; 5 – центральная часть пластины; 6 – зазор ступенчатый сквозной; 7 – опора; 8 – удлинительные стержни; 9 – отверстия; 10 – демпферное устройство; P – давление; h – толщина пластины; f – величина прогиба; $1_x, 2_x, 3_x, 4_x$ и 5_x – точки замера прогиба пластины; R – радиус пластины

Fig. 6. Plan of the experimental stand for the round plate deflection study, laden with uniformly distributed pressure: 1 – plate (ring part); 2 – load; 3 – stand; 4 – ICh-10MN level sensor; 5 – the central part of the plate; 6 – gap step through; 7 – support; 8 – extension rods; 9 – holes; 10 – damping device; P – pressure; $1_x, 2_x, 3_x, 4_x$ and 5_x – the measurement points of the plate deflection; R plate radius

Из рис. 8 видно, что прогиб сплошной пластины имеет линейный характер и описывается уравнением:

$$f = 0,53P - 0,2,$$

а прогиб составной пластины определяется по формуле:

$$f = 0,064P.$$

При максимальной нагрузке прогиб сплошной пластины доходит до 2,5 мм, а составной – 0,25 мм. Отсюда следует, что наличие зазора в составной пластине имеет явный положительный эффект и приводит к уменьшению величины прогиба – почти в 10 раз.

Аналогичная картина имеет место и при испытании пластин толщиной 3 мм (рис. 9)

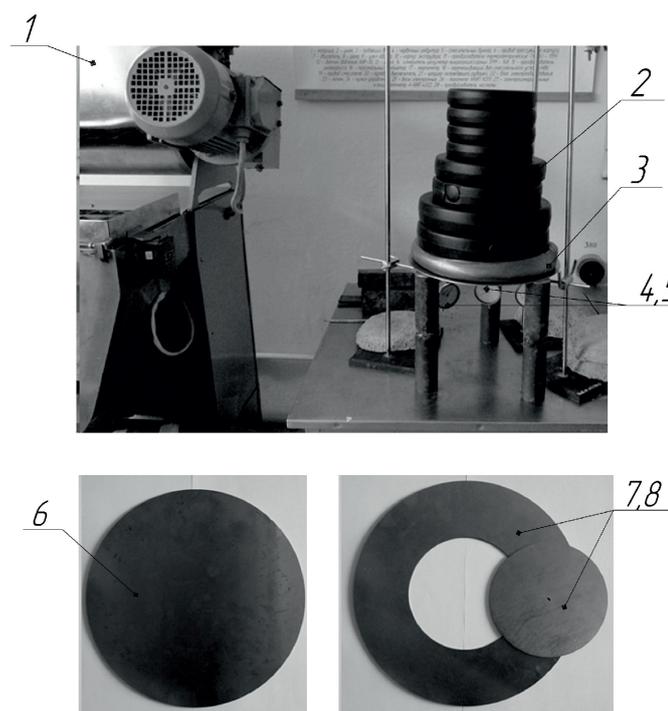


Рис. 7. 1 – пресс-автомат МИТ-2 ТУ РБ 200167377.002-2001; 2 – равномерно распределенное давление; 3 – демпферная прокладка; 4, 5 – индикаторы часового типа ИЧ-10МН; 6 – пластина сплошная; 7, 8 – пластина составная (кольцевая часть, центральный вкладыш)

Fig. 7. General view of the laboratory experimental stand: 1 – press-automatic MIT-2 TU RB 200167377.002-2001; 2 – evenly distributed pressure; 3 – damper gasket; 4, 5 – clockwork indicators ICh-10MN; 6 – continuous plate; 7, 8 – composite plate (ring part, central liner)

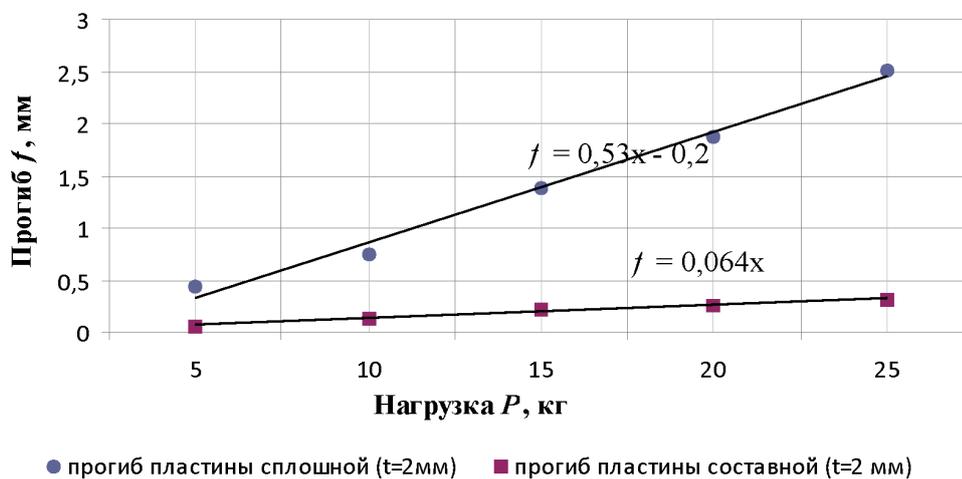


Рис. 8. Экспериментальная зависимость прогиба пластины толщиной 2 мм от величины давления P
Fig. 8. Experimental dependence of the deflection of a plate 2 mm thick on the pressure P

Анализ графиков на рис. 9 показывает, что с увеличением толщины прогиб в пластинах уменьшается до 2 мм в сплошной и до 0,2 мм – в составной и описывается соответственно уравнениями:

$$f = 0,422P - 0,252,$$

$$f = 0,052P + 0,014.$$

Испытания пластин толщиной 4 мм выявили аналогичную зависимость (рис. 10).

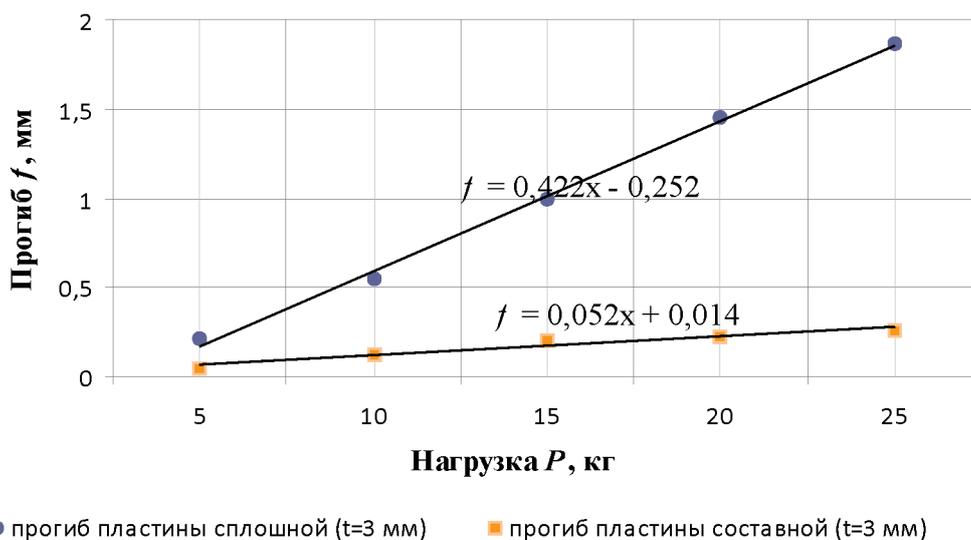


Рис. 9. Экспериментальная зависимость прогиба пластины толщиной 3 мм от величины давления P
Fig. 9. Experimental dependence of the plate deflection with a thickness of 3 mm on the pressure P

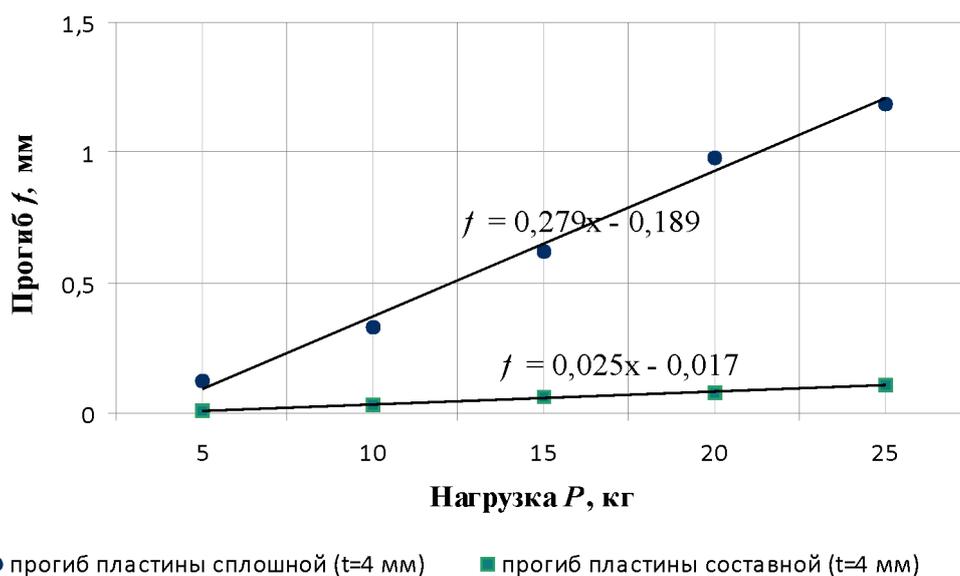


Рис. 10. Экспериментальная зависимость прогиба пластины толщиной 4 мм от нагрузки P

Fig. 10. Experimental dependence of the plate deflection 4 mm thick from the load P

Из графиков на рис. 10 следует, что прогиб сплошной пластины при максимальной нагрузке доходит до 1,3 мм, а прогиб составной пластины составляет всего $\approx 0,13$ мм и подчиняется уравнениям:

$$f = 0,279P - 0,189,$$

$$f = 0,025P + 0,017.$$

В целом, графики на рис. 8,9 и 10 в принципе подтверждают теоретические предпосылки, изложены выше.

С учетом полученных экспериментальных данных, их анализ, систематизация и обобщения получены формулы для определения максимальных моментов M_{ro} и величины прогиба f в центре корпуса составных матриц в зависимости от нагрузки P и радиуса R .

$$M_{ro} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot P \frac{R^2}{n} (3 + \mu), \text{ Нм}, \quad (3)$$

где P – давление, МПа; R – радиус матрицы, м; n – число составных частей.

$$f = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot P \frac{R^4}{Dn}, \text{ мм}, \quad (4)$$

где D – цилиндрическая жесткость корпуса матрицы, которая определяется по уравнению:

$$D = (Eh^3/12)/(1-\mu^2) \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Здесь необходимо отметить, что цилиндрическая жесткость корпуса матрицы остается неизменной как для сплошных матриц, так и для составных.

Для практических расчетов можно принять $n = 2$ или 3 , при этом отметим, что количество составных частей определяется числом сквозных ступенчатых зазоров: при одном зазоре $n = 2$, при двух зазорах $n = 3$.

Новые технические решения по составным круглым матрицам были использованы при разработке конструкторской документации, по которой был изготовлен опытный образец круглой составной матрицы для пресс-автомата МИТ-2 ТУ 200167377.002-2001.

На рис. 11 представлен общий вид опытного образца составной матрицы от заводской матрицы опытный образец отличается следующим:

- ♦ формующие механизмы (колодцы) расположены по концентрической окружности, что увеличивает количество колодцев;
- ♦ матрица состоит из двух частей: большей, кольцевой и меньшей, выполненной в виде диска;
- ♦ меньшая часть матрицы (диск) установлена внутри большей со сквозным ступенчатым зазором.

Лабораторные испытания опытного образца матрицы на пресс-автомате МИТ-2 показали высокое качество полуфабрикатов, отсутствие протекания (выдавливание) теста, отсутствие какого-либо прогиба рабочей поверхности матрицы и увеличение производительности пресса за счет большого количества колодцев – формующих механизмов.

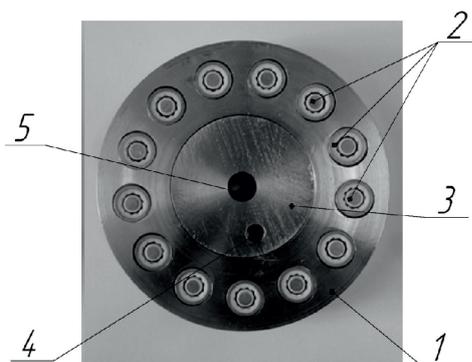


Рис. 11. Общий вид матрицы составной: 1 – большая (кольцевая) часть матрицы; 2 – формующие механизмы; 3 – меньшая (центральная) часть матрицы; 4 – гнездо для датчика температуры; 5 – отверстие под вал шнека
 Fig. 11. General view of the composite matrix: 1 – a large (ring) part of the matrix; 2 – forming mechanisms; 3 – a smaller (central) part of the matrix; 4 – socket for temperature sensor; 5 – hole for the screw shaft

Закключение. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что круглые составные матрицы имеют меньший прогиб рабочей поверхности и повышенную прочность корпуса. Кроме того, наличие зазора обуславливает одновременно компенсацию температурных деформаций рабочей поверхности матрицы в горизонтальной плоскости.

Новые составные конструкции матриц целесообразно использовать в прессах технологических линий зарубежных фирм (Италия, Швейцария, Австрия, Франция и др.), в которых эксплуатируют-

ся матрицы с наружным диаметром 520 и 610 мм и толщиной соответственно 110 и 140 мм – для таких матриц вопросы прочности и прогиба рабочей поверхности особенно актуальны.

Расположение колодцев (формирующих механизмов) по concentрическим окружностям по формулам (1) и (2) с использованием рядов предпочтительных чисел и коэффициента пропорциональности в виде значения золотого сечения (пропорции) позволяют получить одинаковую пропускную способность теста по всем рядам колодцев, включая периферийные, что и приводит к выравниванию скорости выпрессовывания, повышению качества отформованных изделий и снижению отходов при их отрезании. Конструкции составных матриц защищены патентами на изобретение РБ № 7401 2013 и 2014, что свидетельствует о технической новизне устройства.

Получены новые формулы (3) и (4) для определения максимальных моментов и величины прогиба центра корпуса составных матриц с учетом количества сквозных ступенчатых зазоров.

Список использованных источников

1. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / под ред. А.Я. Соколова. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 742 с.
2. Гуськов, К.П. Перфорированные пластины в макаронном производстве / К.П. Гуськов, Б.М. Азаров. – М.: ЦИНТИПИЩЕПРОМ, 1965. – 48 с.
3. Чернов, М.С. Оборудование макаронной промышленности за рубежом / М.С. Чернов. – М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1978. – 232 с.
4. Смоленцев, Ю.А. Расчет перфорированных тонкостенных цилиндров и пластин / Ю.А. Смоленцев // Химическое машиностроение. – 1963. – № 4 – С. 23-28.
5. Григолюк, Э.И. Перфорированные пластины и оболочки и связанные с ними проблемы / Э.И. Григолюк, Л.А. Фильштинский // Упругость и пластичность. – 1967. – № 2 – С. 7-163.
6. Смоленцев, Ю.А. Экспериментальное определение коэффициента ослабления растягиваемых перфорированных пластин / Ю.А. Смоленцев // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1966. – № 6 – С. 12–13.
7. Мельников, Н.П. Конструктивные формы и методы расчета ядерных реакторов / Н.П. Мельников. – М.: Госатомиздат, 1963. – 519 с.
8. Гоголев, А.Я. Экспериментальное определение коэффициента ослабления трубных решеток / А.Я. Гоголев // Энергомашиностроение. – 1962. – № 10 – С. 38–39
9. Пономарев, С.Д. Расчет на прочность в машиностроении / С.Д. Пономарев. – М.: Машгиз, Т. 1, 1956. – С. 884.
10. Матрица для производства макаронных изделий: пат. 7401 Респ. Беларусь : МПК А21С11/16 (2005) / В.Я. Груданов, В.Я. Смагин, А.А. Выскварко ; дата публ. 30.03.2003.
11. Матрица для производства макаронных изделий: пат. 17855 Респ. Беларусь : МПК А21С11/16 (2006) / В.Я. Груданов, В.М. Поздняков, А.А. Бренч, П.В. Станкевич; дата публ. 26.09.2013.
12. Матрица для производства макаронных изделий: пат. 18195 Респ. Беларусь : МПК А21С11/16 (2006) / В.Я. Груданов, В.М. Поздняков, А.А. Бренч, П.В. Станкевич; дата публ. 29.01.2014.

References

1. Osnovy raschota i konstruirovaniy machin i apparatov pishchevykh proizvodstv [Basis of calculation and constructing machines and apparatus of food production], edited by A.Ya. Sokolov. Moscow: food industry publish house, 1960, 742 p.
2. Guskov, K.P. Perforirovanye plastiny v makaronnom proizvodctve [Perforated plates in pasta production]. Moscow: CINTYfoodindust, 1965, 48 p.
3. Chernov, M.S. Oborudovanyi makaronoy promychlenosti za rubejom [The equipment for pasta industrial abroad]. Moscow: CINTYfoodindust, 1978. 232 p.
4. Smolencev, U.A. Raschot perforirovannykh tonkostenykh zilindrov i plastin [Calculation of perforated thin-walled cylinders and plates]. Chemical Engineering, 1963.no. 4.pp. 23-28.
5. Grigoluk, E.I. Perforirovanye plastiny i obolochki i svyazanye s nimi problem [Perforated plates and shell, related concerns]. Turgidity and plasticity, 1967. no. 2. pp. 7-163.

6. Smolencev, U.A. Eksperimentalnoe opredelenie koefizienta oslablenia rastyagivaemykh perforirovanykh plastin [Experimental definition of rate of weakness spreading perforated plates]. Chemical and oil machine-building, 1966.no. 6. pp. 12-13.
7. Melnikov, N.P. Konstruktivnie formi i metody raschota yadernich reaktorov [Constructive forms and methods for calculating the nuclear reactor]. Moscow: Publicatomichouse, 1963. 519 p.
8. Gogolev, A.Ya. Eksperimentalnoe opredelenie koefizienta oslablenia trubnich rechotok [Experimental definition of rate of weakness pipe grills]. Power-plant, 1962.no. 10. pp. 38–39.
9. Ponomarev, S.D. Raschot na prochnost v machinoctroeniyi [Strength analysis in mechanical-engineering]. Moscow: Mashgiz, 1956. vol. 1. 884 p.
10. Matrica dlya proizvodstva makaronnykh izdeliy [The matrix for the production of pasta]: US Pat. 7401 Rep. Belarus: IPC A21S11 / 16 / (2005) / V.J.Grudanov, V.Y.Smagin, A. Vyskvarko; publ date. 30.03.2003.
11. Matrica dlya proizvodstva makaronnykh izdeliy [The matrix for the production of pasta]: US Pat. 17855 Rep. Belarus: IPC A21S11 / 16 / (2006) / V.Ya.Grudanov, V.M.Pozdnyakov, A.A. Brench., P.V.Stankevich; publ date. 26.09.2013.
12. Matrica dlya proizvodstva makaronnykh izdeliy [The matrix for the production of pasta]: US Pat. 18195 Rep. Belarus: IPC A21S11 / 16 / (2006) / V.Ya.Grudanov, V.M.Pozdnyakov, A.A. Brench., P.V.Stankevich; publ date. 29.01.2014.

Информация об авторах

Груданов Владимир Яковлевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции. Белорусский государственный аграрный технический университет (пр-т Независимости, 99, 220124, Минск, Республика Беларусь).

Торган Анна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции. Белорусский государственный аграрный технический университет (пр-т Независимости, 99, 220124, Минск, Республика Беларусь). E-mail: anechkat@tut.by

Станкевич Павел Витальевич – аспирант кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции. Белорусский государственный аграрный технический университет (пр-т Независимости, 99, 220124, Минск, Республика Беларусь). E-mail: Boginy@tut.by

Information about authors

Grudanov Vladimir Y. – D. Sc. (Engineering), Professor, Professor of Technology and Logistics Processes, Processing of Agricultural Products. Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

Torhan Anna B. – Ph.D, (Engineering), Assistant Professor of Technology and Logistics Processes, Processing of Agricultural Products. Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anechkat@tut.by

Stankevich Pavel V. – graduate student of the department of technologies and technical support of the processing of agricultural products. Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Boginy@tut.by