

УДК 664.692.5

Поглощение ультразвука макаронным тестом при прессовании

Д-р техн. наук **Верболоз Е.И.**¹, *д-р техн. наук* **Вороненко Б.А.**²,
магистрант **Вербицкий В.Н.**³, *аспирант* **Кобыда Е.В.**⁴

¹elenaverboloz@mail.ru; ²voronenkoboris@mail.ru; ³vladverbak@mail.ru; ⁴elenakobyda@yandex.ru.

Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Рассмотрен процесс поглощения ультразвука макаронным тестом при упрочнении поверхности прядей выпрессованных изделий и при нагреве за счет межчастичного трения в объеме. Причем нельзя допустить клейстеризацию крахмала и денатурацию белков макаронного теста ни на поверхности, ни в объеме каждой пряди. Полученные формулы позволяют рассчитывать мощность ультразвукового воздействия, достаточную для получения макаронных изделий повышенного качества.

Ключевые слова: макаронное тесто, поглощение ультразвука, денатурация теста.

Ultrasound Absorption by pasta dough during pressing

D.Sc **Verboloz E.I.**, *D.Sc* **Voronenko B.A.**, **Verbitsky V.N.**, **Kobyda E.V.**

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Considered by the process of absorption of ultrasound lasagna dough when hardening the surface of hair product and vypressovannyh when heated by the friction of particle — particle size. With no glueying of starch and protein denaturatia macaroni dough on surface or volume of each strand. The formulas to calculate the power of ultrasound exposure sufficient to obtain a high quality pasta.

Keywords: pasta dough, ultrasound absorption, dough denaturation.

Макаронное тесто является биополимерной массой, модифицируемой и уплотняемой в матрице пресса в поле ультразвука [1-3]. В упрощенном виде тесто перед прессованием представляет пористую структуру, состоящую из частично разбухших клейковинных нитей, связанных крахмалом, пузырьков воздуха, других паров, и воды, как растворителя. Воздействие на тесто мощного ультразвука в процессе прессования уменьшает межчастичное трение и трение частиц теста о стенки шнековой трубы и матрицы, частично разрушает агломераты и крупные частицы, повышает поверхностную активность молекулярных связей и равномерность их распределения по объему. Это способствует повышению плотности спрессованного изделия, ускорению диффузионных процессов, ограничению разбухания макаронных прядей при выходе их из матрицы и сохранению образовавшейся наноструктуры.

В то же время при прессовании в присутствии знакопеременного давления ультразвука длиномерные молекулы становятся высокоподвижными и происходит интенсивное «разжижение» составляющих мучного теста. Оно приобретает более текучее состояние и легче уплотняется.

На макаронных фабриках задача модификации и уплотнения теста чаще решается применением прессов с высоким давлением и поэтому нарушается структура белковых и крахмальных цепей, что негативно влияет на пищевую ценность и другие качественные показатели изделий [9,13,14].

Наши исследования показали возможность уплотнения и значительной модификации макаронного теста при дозированной обработке ультразвуком [1,2]. Знакопеременная радиальная силовая составляющая акустического поля, перпендикулярная к пряди макарон, способствует «отжатию» поверхности формируемых изделий от стенок фильер и, совместно с постоянно действующей силой от шнека, позволяет транспортировать пряди без разрушения и налипания на выходе из фильер матрицы. Теоретически это позволяет уменьшить величину статической силы, необходимой для прессования, более чем в два раза. Наличие в макаронном тесте акустического поля увеличивает его пластичность и приводит к тому, что частицы муки, преодолевая силы упругости сжатого материала, осуществляют периодические трехмерные смещения. Равномерное уплотнение набухших и развернутых ранее в беспорядочные цепи глобул происходит в основном при продавливании через фильеры прядей макаронных изделий. Скорость введения теста в матрицу ограничивается температурой нагрева и допустимыми остаточными напряжениями, при которых макаронные изделия не разрушаются на выходе из матрицы и не изменяют размеры выше допустимых [3,4,6].

Техническая сложность заключалась в реализации процесса, а именно в наложении ультразвуковых колебаний на матрицу при заданных мощностных и геометрических ограничениях.

Конструкция колебательной системы (Рис.1.) состоит из электромеханического преобразователя 20000 Гц 1, рабочего инструмента 2 с крепежным пояском 3, и стягивающего стакана-хомута 4, который предназначен для монтажа ультразвуковой колебательной системы к корпусу гайки матрицы 5.



Рис.1. Конструкция ультразвуковой колебательной системы.

1 – электромеханический пьезоэлектрический преобразователь, 2 – рабочий инструмент с конической внутренней излучающей поверхностью, 3 – крепежный пояс, 4 – стягивающий стакан-хомут, 5 – корпус гайки матрицы (под хомутом).

Заданные геометрические ограничения звукопровода – входной диаметр к накидной гайке шнековой трубы, удерживающий матрицу пресс-формы 68 мм, а выходной преобразователя – 25 мм и полуволновая конструкция рабочего инструмента стали предпосылками возникновения нежелательных паразитных радиальных колебаний в звуковом диапазоне.

Для предотвращения деформирования матрицы при присоединении ультразвуковой колебательной системы была применена специальная акустическая развязка – стягивающий стакан-хомут. Монтаж ультразвуковой колебательной системы к накидной гайке осуществлялся через прокладки из капрона для исключения воздушных зазоров между корпусом гайки матрицы и стягивающим стаканом-хомутом.

Это позволило, во-первых, исключить потерю ультразвуковой энергии, вводимой в тесто и, во-вторых, исключить возникновение механических колебаний ультразвуковой и звуковой частоты на крепежных элементах колебательной системы и связанных с ними узлах шнекового устройства. Таким образом обеспечили хорошие условия передачи ультразвуковой энергии к матрице и собственно макаронному тесту. На рисунке 2 показано, что обработка теста ультразвуком производится только в вибрирующей от излучателя матрице 3 при прохождении макаронных прядей 5.

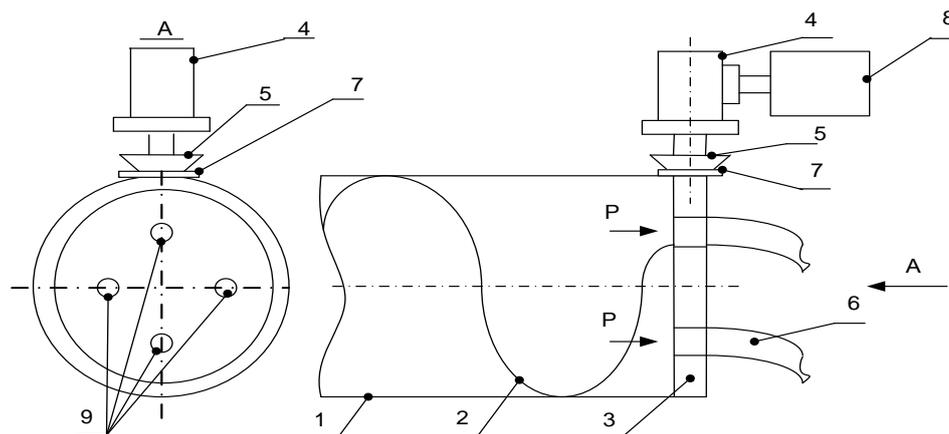


Рис.2. Схема прессования макаронных изделий с наложением ультразвука на матрицу.

1- шинковая труба, 2- шнек, 3- матрица, 4- магнестрикционный преобразователь, 5- ультразвуковой концентратор, 6- прессованные изделия, 7- фланец, 8 – ультразвуковой генератор, 9 – фильеры матрицы.

При этом возможны два вида поглощения энергии ультразвука тестом: при упрочнении поверхности прядей выпрессованных изделий и при нагреве в объеме. Причем нельзя допустить клейстеризацию крахмала и денатурацию белков макаронного теста ни на поверхности, ни в объеме каждой пряди. [10,11].

Этот процесс может происходить за счет возникновения дополнительного механического трения в фильерах ультразвуковой матрицы с поверхностью впрессовываемого теста. Среднюю силу нормального давления ультразвуковой матрицы на стенку всех прядей изделий F_N можно найти по формуле [6]:

$$F_N = p_{max} S \cos(2\pi f t), \quad (1)$$

где p_{max} – амплитуда давления ультразвука; t – время прохождения прядей путь δ в отверстиях матрицы; S – площадь контакта матрицы со всеми прядями макарон, f – частота ультразвука. Общая мощность поглощения ультразвука P_u всех прядей равна сумме (затрачиваемая на уплотнение поверхностного слоя перемещаемых набухших частиц и нагревание приконтактной поверхностной области прядей) q_1 и q_2 (вязкое трение в средней части каждой пряди при перестройке хаотичной структуры ингредиентов теста в упорядочено-вытянутую вдоль прядей макаронных изделий)

Мощность q_1 поглощения ультразвука [3] можно оценить по формуле:

$$q_1 = \frac{d}{dt} (\mu p_{max} S \delta \cos 2\pi f t), \quad (2)$$

Здесь δ – величина проскальзывания матрицы по поверхности образца (толщина матрицы); μ – коэффициент трения.

После дифференцирования по времени и усреднения выражение (2) можно привести к виду:

$$q_1 = \frac{2\pi\mu f p_{max} S \delta}{2} = \frac{\mu P_y \delta}{\xi_0}, \quad (3)$$

где P_y – мощность ультразвука, ξ_0 – амплитуда колебаний на границе с макарониной матрицы от ультразвука. Можно предположить, что $\delta / \xi_0 = \sin\varphi \approx \varphi$ – малому углу отклонения от вертикали к поверхности пряжи, выраженному в радианах, равно:

$$q_1 = \mu P_y \varphi, \quad (4)$$

Из-за распределения силы трения по всем отверстиям матрицы вся эта мощность, скорее всего, затрачивается на уплотнение поверхностного слоя перемещаемых набухших частиц, а также нагревание приконтактной поверхностной области прядей. Экспериментально определено, что это до 60% всей мощности P_y , приложенной к матрице.

Вторым видом поглощения является возникающее в результате ультразвукового воздействия вязкое трение набухших частиц в объеме каждой пряжи при перестройке хаотичной структуры ингредиентов теста в упорядочено-вытянутую вдоль прядей макаронных изделий. Мощность этого процесса можно оценить соотношением [3]:

$$q_2 = \frac{F_{вяз}}{t} = \frac{\pi f \eta S 2\pi f \xi_0}{2l} = \frac{\pi f \eta P_y}{p_{max} l}, \quad (5)$$

Где $F_{вяз} \approx \eta S \frac{V}{l}$ – сила вязкого трения (η – коэффициент вязкости теста,

V/l – градиент скорости колебаний молекул теста внутри прядей от вибраций, S – площадь контакта прядей с вибрирующей матрицей), l – толщина трубки стенки изделия, – глубина воздействия ультразвука.

Поскольку $V \approx V_{max}/2 = 2\pi f \xi_0/2$, где ξ_0 – амплитуда смещения молекул вследствие воздействия ультразвука, а мощность ультразвука можно оценить, как:

$$P_y = \frac{2\pi f p_{max} S f}{2}, \quad (6)$$

выражение (4) можно привести к виду:

$$q_2 = \frac{\pi f \eta S 2 \pi f \xi_0}{2l} = \frac{\pi f \eta P_y}{P_{max} l} \quad (7)$$

Из соотношений (5) и (3) следует, что слои теста с внешней стороны стенки макаронного изделия будут поглощать энергию в единицу времени, определяемую выражением:

$$Q_1 = q_1 + q_2 = q_1(1 + A_{\mu}), \quad (8)$$

где $A_{\mu\eta} = q_2/q_1$, а слои теста внутренней части макаронного изделия будут поглощать энергию в единицу времени (мощность):

$$Q_2 = q_2 = A_{\mu\eta} \cdot q_1, \quad (9)$$

Для того, чтобы тесто не сварилось, его нельзя нагревать выше температуры денатурации белка и клейстеризации крахмала, то есть при этом:

$$q_2 \Delta t \geq C_T \rho_T h_T \Delta T S, \quad (10)$$

Здесь C_T – удельная теплоемкость теста, ρ_T – его плотность, h_T – толщина макаронного изделия; $\Delta T = T - T_k$ – разность температуры сваривания теста и температуры в помещении производства, Δt – время обработки в фильтре матрицы, а S – площадь контакта фильтр матрицы с поверхностью прядей при прохождении через нее.

Производительность пресса напрямую зависит от времени нахождения теста в фильерах матрицы.

С учетом (3) и (7) рекомендуемое время нахождения теста в матрице с известной мощностью потока ультразвука, которую можем контролировать:

$$\Delta t = \frac{C_T \rho_T h_T \Delta T}{A_{\mu\eta} \mu \varphi I_v}, \quad (11)$$

Здесь I_v – мощность потока ультразвука, рекомендованная при обработке (из экспериментальных данных).

Как следует из приведенных соотношений, внутри теста при обработке ультразвуком имеет место существенная неоднородность распределения тепловой мощности, что подтверждается экспериментально: при увеличении мощности ультразвука выше некоторой пороговой наблюдалось заваривание поверхности образца.

Проведенные исследования показали, что применение высокочастотных (ультразвуковых) механических колебаний, накладываемых на прессующее устройство,

снижает процессы трения и способствует увеличению ресурса фильер матрицы, что согласуется с работами [3,4,10,14]. Известно, что в муке достаточно много абразивной минеральной пыли, в связи с чем даже высокопрочные импортные матрицы приобретают сверхнормативный износ через 500-2000 часов работы пресса в зависимости от производственных условий, качества сырья, соблюдения параметров ухода за оборудованием. Поэтому возможность снижения износа матриц привлекает своим несложным исполнением.

Незначительная часть мощности ультразвука также затрачивается на инактивацию микрофлоры теста. Обнаружено снижение количества патогенной микрофлоры на 35-40% и кислотности готовых изделий на 0,5-0,7⁰T. Известно, что длительное пребывание отформованных изделий при температуре более 30°C может стать причиной спонтанного кислотообразующего, а иногда и спиртового брожения, вызываемого микрофлорой, попадающей в тесто с мукой. Вследствие этого кислотность изделий повышается, ухудшая их вкус. [10,14].

Предложенная методика позволяет оценивать и рассчитывать мощность ультразвукового воздействия, достаточную для качественной обработки макаронного теста.

Список литературы

1. *Верболоз Е.И., Кобыда Е.В., Антуфьев В.Т., Корниенко Ю.И.* Заявка на изобретение «Макаронный пресс». Зарегистрированная в ВНИИГПЭ, г. Москва, № 2013119015 от 23.04.2013 г.
2. *Кобыда Е.В., Антуфьев В.Т., Верболоз Е.И.* Обоснование эффективности прессования макаронных изделий в поле ультразвука//[Электронный ресурс] Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств» - 2013.- Вып. 2.
3. *Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Хмелев С.С., Лебедев А.Н.* Ультразвуковой аппарат для интенсификации процесса прессования волокнистых материалов//Tenth international conference and seminar on micro/nanotechnologies and electron devices - Новосибирск: НГТУ, 2009.
4. *Киселева О.Ф., Панов А.К.* Особенности проектирования формирующего инструмента для изготовления полимерных изделий сложного профиля с использованием ультразвука//Сборник трудов научно-технической конференции.- 2001.- с. 172-175.
5. *Иванов В.С.* Сверхвысокочастотный пресс макаронных изделий//Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства». – 2012. – Вып. 14. – с.141-143

6. *Постников В.В., Камалова Н.С., Саушкин В.В.* Поглощение ультразвука биополимерными системами//Материалы Международной научно-технической конференции.-М.:МИРЭА,2012.-с.112-113.

7. *Ишков А.В., Панов Ю.Т.* Прочностные свойства высоконаполненных композитов на основе полипропилена и древесной муки при ультразвуковой обработке. Известия высших учебных заведений. Издание Ивановского государственного химико-технологического университета. Химическая технология неорганических и органических веществ, теоретические основы. 2011, Т. 54, №. 1 Стр. 108-110.

8. *Вахнина Т.Н.* Производство конструкционных древесно-полимерных композитов с добавкой измельченных бытовых полимерных отходов//Вахнина Т.Н., Константинова И.С. – Вестник Костромского государственного технологического университета. – Кострома: КГТУ, 2012. – № 2(29). – с. 80–83.

9. Производство макарон: проблемы и задачи//Ткачѳв А.В. Хлебопродукты. 2012. № 10. С. 16-17.

10. Стабилизация реологических свойств макаронных изделий после сушки//Артемяева Е.В., Черных В.Я., Зиневский А.И. Хлебопечение России. 2012. № 5. С. 28-29.

11. Исследование реакции Майяра в процессе высокотемпературной обработки макаронного теста в промышленных условиях//Кузьмина Т.Д. Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2001. № 2. С. 490.

12. Энергосберегающие технологии сушки макаронных изделий Чернов М. Хлебопродукты. 2010. № 4. С. 65-67.

13. Влияние некоторых функциональных добавок на качество и микроструктуру макаронных изделий из хлебопекарной муки, подвергнутых экструзионной варке. (Польша) Климова Е.В. Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2006. № 3. С. 732.

14. РЖ 06.08-19А.20К Технология макаронных изделий. Общие вопросы химии. Физическая химия (Строение молекул). 2006. № 8.