

Информационные технологии проектирования смесительно-бродильно-формовочной машины

Александр Кравченко, Евгений Штефан, Юлия Теличкун, Владимир Теличкун

Information technologies of designing mixing-fermentation-forming machine. On the basis of research process dough producing we proposed construction of machine, which allows combining the processes of continuous intensive mixing of dough, fermentation and formation purveyances of dough directly on the baking plate. The presented method of determining the design parameters of the machine, which takes into account technological parameters of working bodies and rheological and structural and mechanical properties of wheat dough. This makes it possible effectively calculations perform when choosing the design of rational technological parameters.

Key words: Information technologies of designing, mathematical modeling, mixing, wheat yeast dough

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы остается актуальной проблема по разработке и внедрению новых технологий, интенсификации процессов, повышения производительности и рентабельности производства и улучшения качества готовой продукции. Одним из эффективных методов ускорения процесса созревания теста и улучшения качества хлебобулочных изделий является усиленная механическая обработка теста во время замешивания, что позволяет повлиять на его структуру и физико-химические показатели.

Для облегчения анализа закономерностей процесса замешивания и выявления рациональных параметров его обеспечения принята трех стадийная модель замешивания теста [1].

На основе исследований процесса замешивания [2,3] предложена конструкция смесительно-бродильно-формовочной машины, которая позволяет совместить процессы непрерывного интенсивного замеса теста, брожения и формирования экструдированием разрыхленных тестовых заготовок непосредственно на под хлебопекарной печи (рис.1).

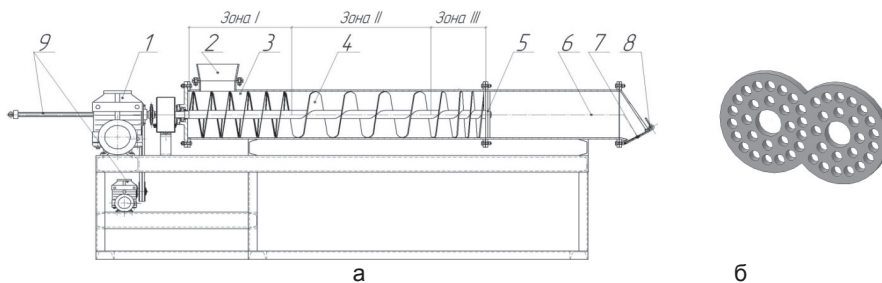


Рис.1. Схема смесительно-бродильно-формовочной машины:

а - общий вид машины: привод - 1, приемная воронка - 2, камера смешивания - 3, рабочий орган - 4, технологическая решетка - 5, камера брожения - 6, формирующая матрица - 7, шибер - 8, механизм выгрузки - 9.
б - технологическая решетка

Для замешивания установлены шнековые рабочие органы, конструкция которых предусматривает обеспечение трехстадийного замешивания теста, а именно: смешивание компонентов осуществляется спиральным рабочим органом, собственно замес происходит с минимальными затратами энергии, для этого

используем шнек с большим шагом, и на стадии пластификации теста - обработка шнековыми рабочими органами с переменным шагом. Кроме того, за счет установки на выходе из камеры смешивания, технологической решетки происходит дополнительная пластификация и интенсификация обработки тестовой массы.

Под действием давления нагнетания происходит экструзия теста сквозь отверстия решетки. От конструктивных параметров решетки, (диаметра и длины отверстий) зависит равномерное распределение компонентов и мелкопористая структура. Эти параметры являются определяющими для расчета давления, которое обеспечивает рациональный режим прохождения полуфабриката сквозь отверстия решетки, и расчета конструктивных параметров шнекового рабочего органа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика исследований основана на информационных технологиях проектирования (ИТП) процессов упруго-вязко-пластического деформирования тиксотропных дисперсных материалов с использованием современных компьютерных технологий [4]. ИТП позволяют рассматривать технологический процесс замешивания теста в виде многокомпонентной системы взаимосвязанных объектов исследования: тестовой массы, элементов технологического оборудования и др.

В рамках ИТП машин и аппаратов пищевых производств разработана схема (рис.2) определения влияния конструктивных параметров решетки и давления нагнетания, необходимого для экструдирования теста и интенсификации процесса замеса.



Рис. 2. Схема определения рациональных конструктивно-технологических параметров формовочной решетки.

Для определения рациональных параметров процесса экструдирования разработана методика, которая учитывает все основные конструктивно-технологические параметры, а именно: диаметр и длину отверстий решетки; структурно-механические характеристики сырья.

Аналитическая модель [6] как составная часть математической модели процесса замеса теста представляет собой краевую задачу механики дисперсных сред [7], которая описывает поведение тестовой массы в реальных пространственно-временных условиях.

Алгоритмическая модель основана на поэтапном рассмотрении движения тела в неподвижной системе отсчета. Для решения сформулированной краевой задачи использованы проекционно-сеточные методы в форме метода конечных элементов (МКЭ) по пространственным переменным и конечных разностей (МКР) с временного аргумента [7].

Разработанные алгоритмы реализованы в виде цифровой модели (программного вычислительного комплекса) PLAST-002, который предназначен для моделирования неравновесных процессов деформирования дисперсных материалов при известном законе нагрузки в режиме упруго-вязко-пластического поведения твердой фазы.

Для исследования основных закономерностей процесса экструзии создана конечно-элементная модель (рис.3.). За счет осевой симметрии процесса экструдирования теста расчетная схема представляет собой половину меридиального сечения заготовки.

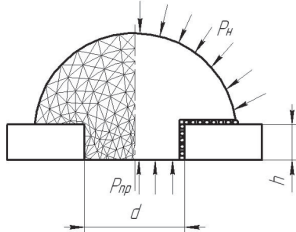


Рис.3. Расчетная и конечно-элементная модели экструзии теста сквозь отверстия решетки

На узловые точки пристенных элементов наложены граничные условия – на вертикальных и горизонтальной поверхностях заданные ограничения в перемещениях в направлении x и y (соответственно $U_x = 0, U_y = 0$), также задано давление нагнетания P_n , которое действует на поверхность нагрузки и противодействие $P_{пр}$.

Для решения поставленной задачи предложено провести трехфакторный эксперимент и разработать модель зависимости распределения осевого напряжения, возникающего в тесте, от давления нагнетания и геометрических размеров отверстия решетки:

$$Gz = f(P, d, h)$$

где Gz - распределение осевого напряжения, МПа; P - давление нагнетания, МПа; d - диаметр, м; h – длина отверстия, м.

Таблица 1. Интервалы варьирования трехфакторного эксперимента

| Фактор | Единицы измерения | 0-уровень | Шаг | Верхний уровень «+» | Нижний уровень «-» |
|-----------|-------------------|-----------|-------|---------------------|--------------------|
| $X_1 (P)$ | МПа | 0,3 | 0,1 | 0,4 | 0,2 |
| $X_2 (d)$ | м | 0,006 | 0,002 | 0,008 | 0,004 |
| $X_3 (h)$ | м | 0,005 | 0,002 | 0,007 | 0,003 |

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты вычислительных экспериментов представлены на рис. 4, на котором приведена информация о численных значения полученных величин, минимальное и максимальное значения координат точек, ограничивающих данный рисунок. Напротив каждой изолинии указано диапазон измеряемой величины, который ей соответствует.

Отрицательные значения перемещений означают, что происходит смещение теста в направлении, противоположном положительному направлению координатной оси. В начале расчета большие значения перемещений наблюдаются в верхней части. Это объясняется сжимаемостью теста в зоне его нагрузки, тогда как в нижних слоях этот процесс только начинается.

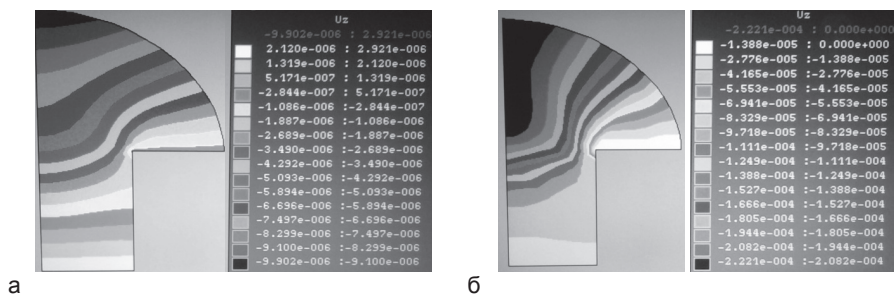


Рис.4. Распределение в объеме материала осевых перемещений:

a - начало расчета;

б - конец расчета; d = 0.003 м, h = 0,004 м

Поскольку третья стадия процесса замешивания сопровождается структурными изменениями крахмальных частиц и созданием клейковинной решетки, которая охватывает крахмальные зерна, а спиралевидные молекулы полипептидов раскалываются и разрыхляют структуру белков, создавая клейковинную пленку. Такие полимерные пленки создают газодерживающий скелет теста. Создание клейковинных пленок происходит вместе с разрушением молекул клейковины. Поэтому целесообразным является определение распределения напряжений возникающих в тестовой массе, приводящих к разрушению молекул.

Из рисунка 5 видно, что распределение осевых напряжений наблюдается на входе в отверстие решетки, на выходе они выравниваются, происходит релаксация тестовой массы и формируется структура пористости.

В результате обработки данных экспериментов получено уравнение регрессии, описывающее зависимость распределения осевого напряжения, возникающего в тесте, от давления и геометрических размеров отверстия решетки:

$$Gz = 120 + 14500Pd + 2500Ph + 1175000dh - 185P - 12475d - 16650h$$

где Gz - распределение осевого напряжения, МПа; P – давление МПа, d - диаметр, м; h - толщина, м.

На основе экспериментальных данных получен график зависимости распределения давления P от толщины решетки h при разном диаметре (рис.6).

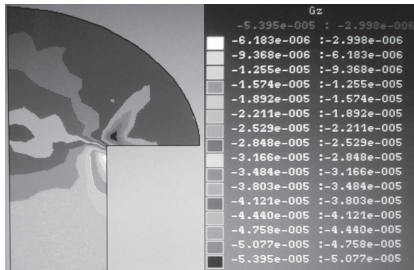


Рис.5. Распределение в объеме материала осевых напряжений, в фиксированный момент времени процесса экструзии теста в отверстии решетки. $d = 0,003$ м, $h = 0,004$ м

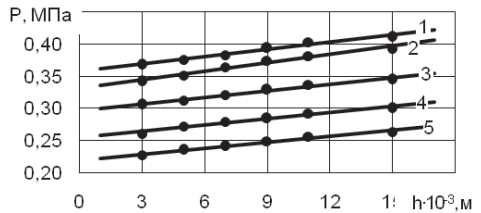


Рис.6. Зависимость распределения давления от толщины решетки при разном диаметре отверстия 1 - 0,004; 2 - 0,006; 3 - 0,008; 4 - 0,010; 5 - 0,012; м.

Полученная зависимость описывается уравнением:

$$P = 5 \cdot h - 155 \cdot d \cdot h - 18 \cdot d + 0.43$$

где P - давление, МПа; d - диаметр отверстия, м; h - длина отверстия, м.

Полученная зависимость давления нагнетания теста P от геометрических размеров отверстий, позволяет получить расчетную величину давления, обеспечивает заданные параметры качества теста.

ВЫВОДЫ

Предложенная ИТП оборудования для замеса пшеничного дрожжевого теста позволяет эффективно выполнять проектировочные расчеты при выборе рациональных конструктивно-технологических параметров. Внедрение представленных методологических разработок позволяет значительно ускорить, удешевить процесс создания надежного и экономичного технологического оборудования, в том числе машин и агрегатов для замешивания и формирования дрожжевого теста.

Таким образом, результаты проведенных вычислительных экспериментов позволили: исследовать кинетику движения теста в отверстии решетки; давление на решетку со стороны сырья; распределение давления в объеме материала, распределения эквивалентных напряжений. Определены рациональные геометрические параметры формирующих элементов что которая способствует интенсификации процесса замеса теста

Полученные результаты целесообразно использовать в качестве рекомендаций при организации технологического процесса замешивания теста и конструировании оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лісовенко О.Т., Руденко-Грицюк О. А., Литовченко І. М. (2000), Технологічне обладнання хлібопекарних і макаронних виробництв, Наукова Думка, Київ.
- [2] А. Кравченко, В. Рачок, Ю. Теличкун, В. Теличкун (2013), Интенсификация процесса замешивания дрожжевого теста, Русенски университет «Ангел Кънчев». Научни трудове, Том 52, Серия 10.2, с. 135 – 138.
- [3] O. Kravchenko, Yu. Telychkun, V. Telychkun (2014), Perfection of equipment for improvement of dough semi finished, Ukrainian Journal of Food Science, 2(1), pp. 80 – 88.
- [4] Штефан Є.В. (2000), Моделювання поведінки дисперсних систем у нерівноважних процесах харчових виробництв, Наукові праці УДУХТ, 8, С. 63-66.

[5] Е. В. Штефан, С. И. Блаженко (2003), Построение аналитической модели процессов деформирования дисперсных материалов, Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование: междунар. периодич. сб. науч. тр., Вып. 13, С. 26—33.

[6] Нигматулин Р.И. (1970), Методы механики сплошной среды для описания многофазных смесей, ПММ, Т. 34, № 6., с. 1097—1112.

[7] Штефан Е.В. (2009), Математическое моделирование процессов механической обработки дисперсных материалов, Вісник Нац. унт-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія», НТУ «ХПІ», 25, с. 23—28.

Для контактов:

аспирант Александр Иванович Кравченко;
доцент, кандидат технических наук, Юлия Станиславовна Теличкун;
профессор кандидат технических наук Владимир Иванович Теличкун
Кафедра "Машины и аппараты пищевых и фармацевтических производств",
Национальный университет пищевых технологий, e-mail: safonov@i.ua
профессор, доктор технических наук Евгений Васильевич Штефан
Кафедра "Машиностроения, стандартизации и сертификации оборудования",
Национальный университет пищевых технологий, e-mail: EShtefan@ukr.net

Доклад был рецензирован