

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВСПЕНИВАНИЯ БИОПОЛИМЕРА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

О.И.Пермяшкина, В.А.Куничан, М.В.Обрезкова

Исследован процесс вспенивания биополимера, экструдированного при различных условиях (температуре и влажности). Предложен способ расчета коэффициента вспенивания.

Одним из способов получения вспененных полимеров является экструзия. Для получения изделия нужного профиля и структуры разогретый пластифицированный материал, содержащий растворитель, продавливают через фильеру. При выходе продукта из формирующего устройства давление снижается до атмосферного. Растворитель из состояния перегретой жидкости мгновенно превращается в пар, образуя поры в продукте. Резкое понижение температуры в результате испарения обеспечивает затвердевание полимера и фиксирует альвеолярную структуру [1-5].

Для характеристики структуры вспененного полимера можно использовать коэффициент вспенивания:

$$K = \frac{V_{np}}{V_c} \quad (1)$$

где V_c – объем навески исходного материала до вспенивания;

V_{np} – объем вспененного продукта, полученного из навески исходного материала.

Объем навески исходного материала можно определить как сумму объемов образующих его фаз (твердой V_m и жидкой $V_{ж}$).

$$V_c = V_m + V_{ж} \quad (2)$$

К моменту выхода материала из формирующего устройства вся влага в сырье находится в жидком состоянии (т.е. объем пара равен нулю). В процессе вспенивания часть жидкости переходит в пар. В идеальном случае весь пар идет на образование пористой структуры, тогда:

$$V_{np} = V_m + V_{ж}^k + V_n \quad (3)$$

где $V_{ж}^k$ – объем растворителя, оставшийся в жидком состоянии к моменту прекращения вспенивания;

V_n – объем пара, занимаемый испарившимся растворителем при температуре равной температуре кипения растворителя при атмосферном давлении.

Объемы составляющих фаз материала к моменту завершения вспенивания можно рассчитать по формулам:

$$V_m = \frac{m_m}{\rho_m} \quad (4)$$

$$V_{ж}^k = \frac{m_{ж}^k}{\rho_{ж}^k} \quad (5)$$

$$V_n = \frac{m_n}{\rho_n} \quad (6)$$

где m_m , $m_{ж}$, m_n – масса твердой, жидкой фазы и пара соответственно;

ρ_m , $\rho_{ж}$ – плотность твердой и жидкой фазы соответственно;

ρ_n – плотность пара при температуре кипения растворителя при атмосферном давлении.

В реальных условиях экструдирование полимера сопровождается потерями пара в окружающую среду за счет прорыва стенок пузырьков, расположенных в верхнем слое продукта, и испарения с поверхности. Следовательно, формула определения объема вспененного продукта должна быть скорректирована:

$$V_{np} = V_m + V_{ж}^k + V_n - V_{nn} \quad (7)$$

где V_{nn} – объем потерянного пара.

Для определения объема потерянного пара можно использовать формулу:

$$V_{nn} = \frac{m_{nn}}{\rho_n} \quad (8)$$

где m_{nn} – масса потерянного навеской пара в окружающую среду при вспенивании.

Для определения массы пара, который образуется при кипении растворителя, необходимо составить тепловой баланс для полимера на выходе из экструдера. Исходя из допущения об адиабатическом характере процесса вспенивания, изменение энтальпии системы равно нулю:

$$\Delta i = 0 \quad (9)$$

То есть запас тепла, которым обладает вспениваемое сырье, равен запасу тепла вспененного продукта:

$$m_m \cdot c_m \cdot t^H + m_{ж}^H \cdot c_{ж} \cdot t^H = m_m \cdot c_m \cdot t^K + m_{ж}^K \cdot c_{ж} \cdot t^K + m_n \cdot i_n \quad (10)$$

где m_m , $m_{ж}$, m_n - масса твердой фазы, жидкости и пара соответственно;

c_m , $c_{ж}$ - теплоемкость твердой фазы и жидкости соответственно;

i - энтальпия пара.

t^H , t^K - температура системы в начальный и конечный момент вспенивания соответственно.

Тогда масса пара, участвующего в порообразовании равна:

$$m_n = \frac{(m_m \cdot c_m) \cdot (t^K - t^H) + m_{ж}^K \cdot c_{ж} - m_{ж}^H \cdot c_{ж}}{i_n} \quad (11)$$

Для исследования процесса вспенивания полимера методом экструзии был использован крахмалосодержащий биополимер - крупа кукурузная №5 (показатели качества ГОСТ 6002), в котором растворителем-порообразователем является вода. Эксперименты проводили на промышленном двухшнековом экструдере Штак-50. Требуемое значение температуры материала обеспечивали встроенные электронагреватели. Для определения температуры пластичного материала использовался датчик ТПС-100, смонтированный в корпус фильеры на минимальном расстоянии от потока биополимера. Процесс проводился при различных значениях влажности (15 - 19 %) и температуры (110 - 130°C) продукта.

В процессе экструдирования производили отбор проб вспененного продукта с целью определения фактического коэффициента вспенивания.

Количество потерянного навеской пара в окружающую среду при вспенивании можно определить исходя из разности влажностей исходного материала и вспененного продукта.

Результаты обработки экспериментальных данных для выбранного диапазона параметров процесса экструзии представлены на рис. 1-4.

На рис.1 представлена зависимость коэффициента вспенивания от температуры материала и его влажности. Из графика следует, что коэффициент вспенивания закономерно увеличивается с ростом температуры.

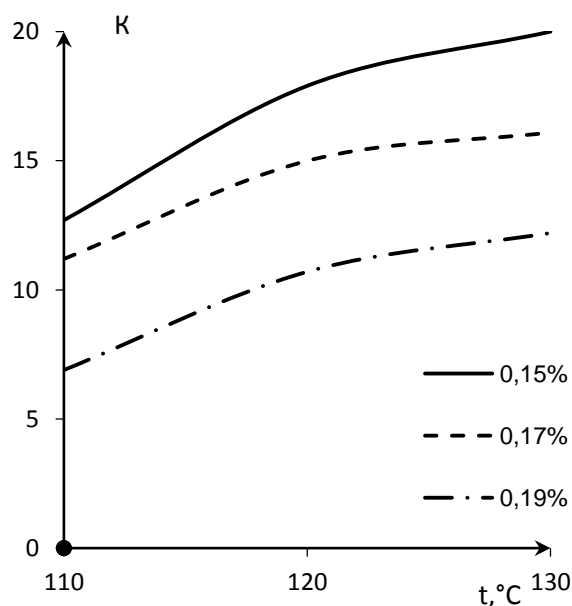


Рис.1. Зависимость коэффициента вспенивания от температуры и влажности

Коэффициент вспенивания полимера при постоянной температуре снижается при увеличении влажности материала, хотя с точки зрения термодинамики должен увеличиваться. Для выявления причин была изучена структура вспененного биополимера, полученного при различной начальной влажности материала. В периферических частях крупных пузырьков нет, имеющиеся пузырьки деформированные. На поверхности продукта видны сквозные отверстия и трещины. Данные наблюдения позволяют сделать вывод, что при вспенивании полимера из материала с большей исходной влажностью, имеют место большие потери пара в окружающую среду, что снижает эффективность порообразования.

Для оценки влияния потерь пара на коэффициент вспенивания было произведено сравнение коэффициентов вспенивания экспериментального $K_э$ и расчетного $K_р$ с учетом потерь пара (рис. 2-4). Потери пара в окружающую среду вспененным полимером определяли по разности влажности исходного материала и готового продукта. Видно, что расхождение между графиками незначительно (не более 10%). Следовательно, объем вспененного изделия, полученного методом экструзии, с большой точностью можно определять через объем образовавшегося пара с учетом потерь.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВСПЕНИВАНИЯ БИОПОЛИМЕРА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

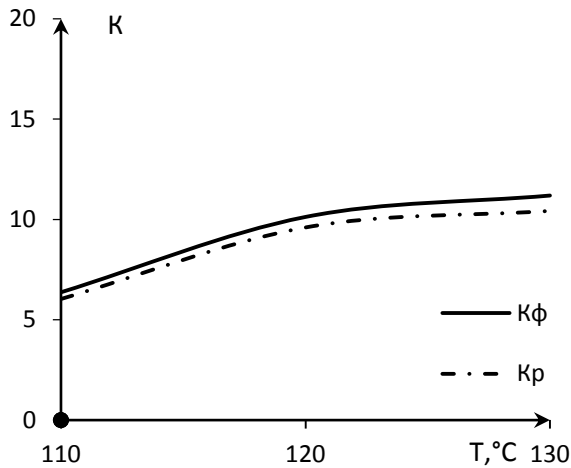


Рис. 2. Коэффициент вспенивания при влажности 19%

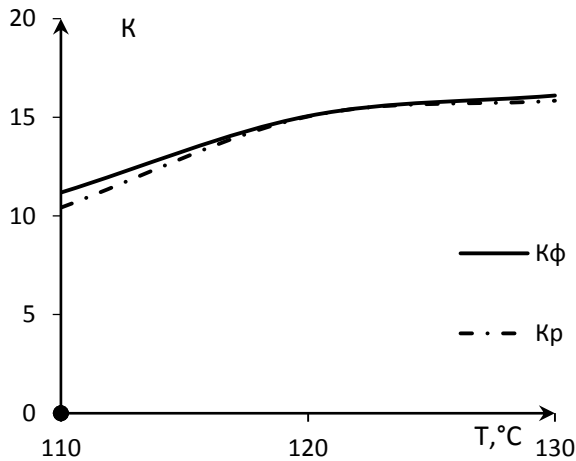


Рис. 3. Коэффициент вспенивания при влажности 17%

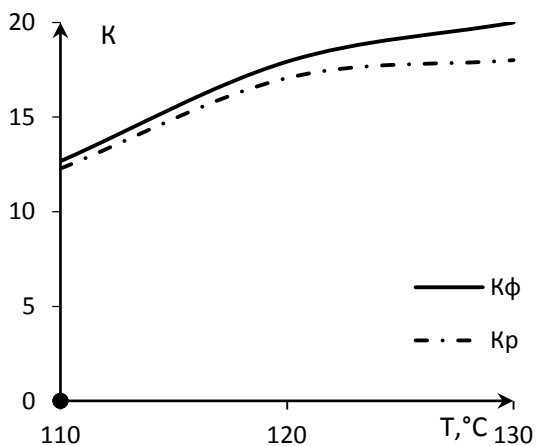


Рис. 4. Коэффициент вспенивания при влажности 15%

На основании аналитических и экспериментальных исследований процесса вспенивания полимера, полученного методом экструзии при различных параметрах технологического процесса (используемых в реальных производственных режимах), можно сделать следующие выводы:

1. Процесс формирования пористого изделия при экструдировании полимера, содержащего растворитель, можно рассматривать как процесс пенообразования за счет превращения растворителя в пар.

2. При вспенивании биополимера, содержащего порообразователь воду, в диапазоне температур 110-130°C и начальной влажности материала 15-19% отмечается снижение коэффициента вспенивания с увеличением исходной влажности.

3. Снижение коэффициента вспенивания при данных условиях связано с потерями пара в окружающую среду, что необходимо учитывать при расчете коэффициента.

Для разработки методики расчета потерь пара вспененного полимера в процессе экструзии имеющихся в литературе данных недостаточно, в связи с чем необходимы дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брехов А.Ф., Магомедов Г.О., Колодежнов В.Н. Математическая модель начальной стадии процесса образования пористой макроструктуры полуфабриката экструзионных круп // Пищевая технология. – 2003. - №4. - С. 63-65.
2. Гамаюнов Н.И. Изменение структуры коллоидных капиллярно-пористых тел в процессе тепло-массопереноса // ИФЖ. - 1996. - Т. 69. - № 6. - С. 954 ... 957.
3. Кошевой Е.П. и др. Теоретическое рассмотрение деформирования материала на выходе из экструдера. // Пищевая технология. - 2004. - № 5-6. С.86-88.
4. Краус С.В. и др. Влияние параметров экструдирования крупяного сырья на качество продукта // Хлебопродукты. - 1988. - №9. - С.47 ... 49.
5. Остриков А.Н., Абрамов О.В., Рудометкин А.С. Экструзия в пищевых технологиях. - С.-П.- ГИОРД, 2004. - 272с.