

Определение величины энергии затрачиваемой на разрушение структуры пшеничной опары

Юрий Доломакин, Игорь Литовченко

Determination of the amount of energy expended in the destruction of the structure of wheat sourdough: *In the work studied the rheological properties of liquid wheat sourdough. Curves flow modes even increase and decrease in shear rate. The values of specific power expended on the destruction of the structure of liquid sponge. The findings will help in the future to carry out engineering calculations for the design of equipment for the preparation of liquid wheat sourdough, namely the selection of the motor to drive the machine.*

Keywords: *rheology, viscometer, flow curve, shear stress, wheat sourdough, power density*

ВВЕДЕНИЕ

При выработке массовых сортов хлеба из пшеничной муки рекомендуется готовить тесто на жидких соленых опарах. Жидкие опары хорошо консервируются до температуры 10...14 °С. Черствение изделий приготовленных на жидких опарах замедляется. Вкус хлебобулочных изделий приготовленных на таких опарах имеет более выраженные оттенки.

Знание структурно-механических свойств жидкой опары является важным для эффективного и энергосберегающего осуществления технологических операций по её приготовлению.

Создание современного оборудования невозможно без точного знания реологических свойств опары, их зависимости от многочисленных факторов, основные из которых качество и сорт муки, влажность, температура и интенсивность механической обработки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований была жидкая пшеничная опара влажностью 65...70 %. Мука пшеничная высшего сорта, влажность муки составила $13,8 \pm 0,2$ %, содержание клейковины 29 %.

Для определения вязкости и упругости жидкой опары мы использовали методы абсолютной реометрии, поэтому результат измерений выражен в абсолютных физических единицах.

В наших исследованиях мы пользовались реометром с контролируемой скоростью сдвига (CR-реометр), а именно ротационным вискозиметром «Rheotest 2». Этот прибор имеет геометрию измерительной системы Серле [1], то есть неподвижный внешний цилиндр и подвижный внутренний.

Перед началом опыта порцию жидкой опары объемом 30 мл помещали в наружный цилиндр (при этом внутренний цилиндр закреплён на ведущем валу) и устанавливали его в рабочее положение. При этом происходит заполнение опарой кольцевого зазора. После установки цилиндров проводили термостатирование материала и коаксиальных цилиндров до температуры 27 °С, для чего в конструкции прибора предусмотрен ультратермостат, сосуд которого надевается поверх наружного цилиндра и крепится при помощи специального замка. Термостатирование проводили не менее 20 мин, что позволяло равномерно прогреть не только исследуемый материал, но и рабочие цилиндры.

После термостатирования начинаем снимать показания, для чего устанавливали рукоятку переключения скоростей на первую скорость, выбирая жёсткость измерительной пружины, переводя переключатель на отметку I или II. После включения прибора внутренний цилиндр начинает вращение. Вращение на данной скорости проводили до стабилизации положения показаний вторичного

прибора, измеряющего угол α относительного поворота рабочих цилиндров. Показания прибора фиксировали, далее последовательно включали скорости сдвига (их 12) и по описанной методике получали соответствующие данные, которые также записывали в таблицу.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Напряжения сдвига рассчитывали по формуле τ , Па:

$$\tau = Z \times \alpha \quad (1)$$

где Z – константа внутреннего цилиндра (в нашем случае для средних значений напряжений была выбрана система измерений S/S_2 , для которой $Z = 6,37$ Па); α – относительный угол вращения пропорциональный измеряемому крутящему моменту динамометра.

Кривые течения строились при увеличении, а потом уменьшении в обратном направлении скорости сдвига. Когда во второй части эксперимента скорость сдвига постоянно снижается, напряжение возрастает в гораздо меньшей степени, чем она падала ранее. Для одной и той же величины скорости сдвига теперь имеются две различные точки. Эти два различных значения напряжения обусловлены разной сдвиговой предысторией образца, которая в начальный момент была гораздо короче. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения напряжений сдвига пшеничной опары

Скорость сдвига $\dot{\gamma}$, с^{-1}	Напряжение сдвига τ , Па (скорость сдвига увеличивается)	Напряжение сдвига τ , Па (структура опары разрушена)
0,5	1,2	0,637
0,9	3,18	1,27
1	6,37	2,55
1,5	7,96	3,185
1,8	9,55	3,82
2,7	14,01	5,73
3	16,56	6,37
4,5	19,75	10,83
5,4	22,93	12,74
8,1	31,21	15,92
9	32,49	16,56
13,5	42,68	28,03
16,2	49,69	33,12
24,3	64,97	47,14
27	71,98	52,87
40,5	98,74	75,8
48,6	114,68	89,18
72,9	156,07	127,4
81	166,26	137,59
121,5	225,5	194,92
145,8	260,5	229,96
218,7	350,4	317,23
243	377,7	350,98
437,4	509	508,96

Были построены кривые течения (рис. 1) для жидкой опары влажностью 67 %, при постоянной температуре 27 °С. Полученная в режиме равномерного

возрастания скорости сдвига кривая, описывается степенной функцией (верхняя кривая):

$$\tau_1 = 8,34\dot{\gamma}^{0,684}, \quad (2)$$

Вторая кривая построена так же но в режиме снижения скорости сдвига (нижняя кривая), для неё:

$$\tau_2 = 4,4\dot{\gamma}^{0,787}. \quad (3)$$

Описанные уравнения течения характеризуют равновесное состояние течения при наличии некоторой равновесной структуры.

Представленная графическая форма (рис. 1), говорит о том что нижняя кривая течения не совпадает с верхней кривой. Они образуют так называемую «петлю гистерезиса», площадь которой S может использоваться в качестве количественной характеристики рассматриваемого эффекта, именуемого тиксотропией. Отклонение течения от равновесного состояния приводит к отклонению кривой течения от теоретической кривой данного реологического уравнения и гистерезису кривых течения. Эта площадь имеет размерность энергии, отнесенной к объему образца, подвергнутого сдвигу, и определяет величину энергии, необходимую для разрушения тиксотропной структуры.

Так же анализ кривых приводит к выводу о том, что исследуемый продукт не обладает пределом текучести, что относит пшеничную опару к псевдопластичным жидкостям [2, 3].

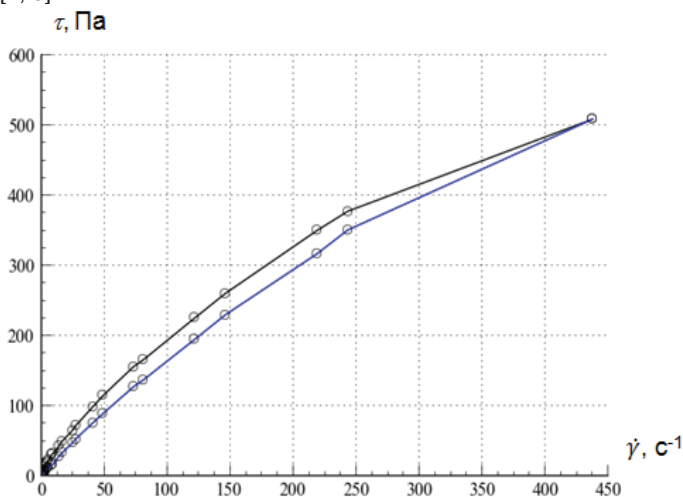


Рис. 1 Кривые течения пшеничной опары, образующие петлю гистерезиса

Для количественной оценки степени устойчивости мы определяли площадь, образуемую кривой (петлей) гистерезиса. Расчет площади произведен с помощью программы CurveExpert Pro, как определенный интеграл разности двух функций (2) и (3):

$$S = \int_{\dot{\gamma}_1}^{\dot{\gamma}_2} (\tau_1 - \tau_2) d\dot{\gamma} = 162490 - 152835 = 9655 \text{ Па}\cdot\text{с} \quad (4)$$

Пределы интегрирования $\dot{\gamma}_1 = 0 \text{ с}^{-1}$, $\dot{\gamma}_2 = 480 \text{ с}^{-1}$.

Площадь реограммы между кривой $\dot{\gamma}(\tau)$ и осью ординат представляет собой (в соответствующем масштабе) удельную мощность (на единицу объема, в Вт/м³), в нашем случае $N_{уд1} = 162490 \text{ Вт/м}^3$ для неразрушенной структуры и $N_{уд1} = 152835$

Вт/м³ для разрушенной. Она складывается из мощности ньютоновского течения и мощности, требующейся при этом же градиенте скорости для достижения данной степени разрушения структуры. Мощность, пропорциональная площади между двумя кривыми, образующими петли гистерезиса, характеризуют степень приближения структуры к равновесному состоянию [4].

Площадь, занимаемая кривой гистерезиса, характеризует, по нашему мнению, степень устойчивости структуры опары к механическому воздействию, оказываемому на пшеничную опару. Чем меньше данная площадь, тем слабее силы взаимодействия между молекулами жидкой опары (время релаксации – время восстановления начальных значений показателей, характеризующих структуру, минимальны), и наоборот.

ВЫВОДЫ

Механическое воздействие проявляющееся в относительном движении слоев структурированной среды, приводит к разрушению связей в структуре, снижению сил трения и сцепления и в свою очередь объясняет снижение напряжения сдвига при построении кривой течения в условиях уменьшения скорости сдвига.

Особенностью многих псевдопластичных структурированных дисперсных систем коагуляционного типа является наличие петель гистерезиса (рис. 1) при нагрузке и разгрузке.

Площадь, занимаемая кривой гистерезиса, характеризует степень устойчивости структуры опары к механическому воздействию, оказываемому на продукт. Чем меньше данная площадь, тем слабее силы взаимодействия между молекулами продукта, и наоборот.

Полученный результат позволит в дальнейшем повысить точность определения энергетических показателей процесса приготовления жидких опар.

Полученная информация о разрушении тиксотропной структуры жидкой опары может быть важна при определении подходящего двигателя для проектируемого смесителя.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии, КолосС, Москва, 2003.

[2] Зимон А.Д., Евтушенко А.М., Крашенинникова И.Г. Физическая и коллоидная химия, МГУТУ, Москва, 2004.

[3] Mewis J., Norman J. Colloidal Suspension Rheology, Cambridge University Press, 2013.

[4] Пирогов А.Н. Реологические свойства сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств, КТИПП, Кемерово, 2008.

Контакты:

Доц. к.т.н. Литовченко Игорь Николаевич, Кафедра «Машины и аппараты пищевых и фармацевтических производств», Национальный университет пищевых технологий, Украина, г. Киев, тел.: +380442879481, e-mail: postman3000@yandex.ru

Ассистент Доломакин Юрий Юрьевич, Кафедра «Машины и аппараты пищевых и фармацевтических производств», Национальный университет пищевых технологий, Украина, г. Киев, тел.: +380672611567, e-mail: dyu76@mail.ru

Доклад рецензирован.