

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОЙ ПШЕНИЧНОЙ ОПАРЫ

Юрий Доломакин

*Национальный университет пищевых технологий, Украина, г. Киев*

## Investigation of Structural and Mechanical Characteristics of Liquid Wheat Sourdough

Yuriy Dolomakin

*National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine*

### Abstract

*Typical structural and mechanical properties of liquid wheat sourdough with a view to the design of modern equipment for their preparation. Point of structural and mechanical characteristics of the product confirms that it belongs to a structured system, and the value of the dynamic fluidity of its borders affects the nature of the product and the technological features of manufacture. The studies revealed that the structural and mechanical properties of sponge biodiversity and too dependent on the nature of its current and environmental parameters.*

**Keywords:** *rheology, viscometer, dynamic viscosity, shear stress, wheat sourdough, structural and mechanical characteristics*

### Введение

Условия технологической обработки представляют собой эффективное средство создания структур. Особое значение для формирования структуры имеют распределение напряжения, определяемое полями скоростей в технологическом оборудовании, и свойства материала. Распределение напряжения в процессе обработки пищевых продуктов зачастую бывает непостоянным, так как формирующиеся переходные структуры могут вызвать изменение режима и поля скоростей в технологическом оборудовании. Кроме того, переходные структуры и многофазная природа пищевых продуктов накладывают ограничения на расширение структур в процессе обработки. Таким образом, формирование структуры и условия обработки следует рассматривать как тесно связанные друг с другом факторы, со сложной и зачастую неизвестной взаимозависимостью [1].

В настоящее время при выборе технологического оборудования и его параметров не учитывается требуемая структура продукта, определяющая его поведение и качество. Нередко выбор оборудования обусловлен сложившимися традициями, доступностью оборудования или неполным представлением о происходящих процессах. Зависимость между формированием структуры и условиями технологической

обработки была предметом ряда исследований [2, 3].

Наиболее простой метод изучения структурно-механических свойств пищевых материалов заключается в построении реограмм кинетики деформации (*кривых течения*). По этим кривым можно найти семь не зависящих друг от друга деформационных характеристик материала: значения модулей мгновенной упругости и упругого последействия; вязкость релаксационного (течения) и упругого последействия; пределы упругости, текучести и прочности.

Во многих процессах продукт подвергается интенсивным механическим воздействиям (в мешалках и т. д.), и его структура частично или практически полностью разрушается. Поэтому при использовании результатов реологических исследований для практических расчётов следует хотя бы приближенно выбрать ту кривую течения, которая соответствует данной степени разрушения. В соответствии с этим при расчёте различных процессов необходимо использовать характеристики, определённые в соответствующем интервале напряжений и деформаций. Качественную оценку свойств продукта также необходимо проводить по наиболее существенным для данного процесса реологическим характеристикам [4].

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 опарах замедляется.

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

**Материалы и методы.** Материалом для исследований была жидкая пшеничная опара влажностью 65...70 %. Мука пшеничная высшего сорта, влажность муки составила  $13,8 \pm 0,2\%$ .

Для определения сдвиговых напряжений жидкой опары мы использовали методы абсолютной реометрии, так как результат таких измерений выражается 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 [5], то есть неподвижный внешний цилиндр и подвижный внутренний.

В опытах использовалось цилиндрическое устройство прибора. Пшеничная опара объемом 30 мл помещалась в кольцевую щель, образующуюся между двумя коаксиальными цилиндрами.

Наружный неподвижный цилиндр выполнен в качестве измерительной емкости. В него помещалась жидкая опара, а сам цилиндр устанавливался в емкость с термостатирующей жидкостью, подключаемую к жидкостному циркуляционному термостату. Таким образом, поддерживалась постоянная температура продукта 27 °С. Внутренний цилиндр, вращающийся с изменяемой скоростью, соединен через измерительный вал с цилиндрической винтовой пружиной, отклонение которой является мерой для вращающего момента, действующего на внутренний цилиндр. Отклонение пружины воспроизводится потенциометром, включенным в мостовую схему, причем изменение тока, протекающего по

диагонали мостовой схемы, является пропорциональным вращающему моменту  $M$  пружины.

Для получения достоверных данных эксперимент проводился в трех повторностях по представленной выше схеме.

### Результаты и обсуждения

**Результаты и обсуждения.** Напряжения сдвига рассчитывали по формуле  $\tau$ , 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);  $\alpha$  – относительный угол вращения, пропорциональный измеряемому крутящему моменту динамометра  $M$ , точность измерения этой величины для нашего прибора составляет  $\pm 3\%$ .

Результаты измерений представлены в таблице 1

Таблица 1.

Напряжения сдвига жидкой пшеничной опары

Скорость сдвига $\dot{\gamma}$ , с <sup>-1</sup>	Показания прибора, $\alpha$	Напряжение сдвига $\tau$ , Па
0,5	0,2	1,2
0,9	0,5	3,18
1	1,0	6,37
1,5	1,25	7,96
1,8	1,5	9,55
2,7	2,2	14,01
3	2,6	16,56
4,5	3,1	19,75
5,4	3,6	22,93
8,1	4,9	31,21
9	5,1	32,49
13,5	6,7	42,68
16,2	7,8	49,69
24,3	10,2	64,97
27	11,3	71,98
40,5	15,5	98,74
48,6	18,0	114,68
72,9	24,5	156,07
81	26,1	166,26
121,5	35,4	225,5
145,8	40,9	260,5
218,7	55,0	350,4
243	59,3	377,7
437,4	79,9	509

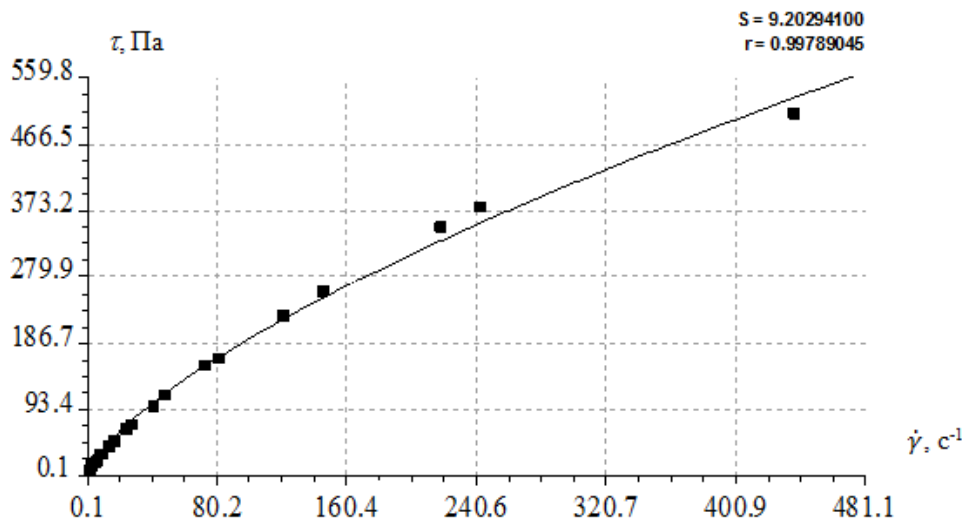


Рис. 1 Кривая течения жидкой опары

Измерение напряжений сдвига нашего образца требовало соблюдения следующих условий: ламинарное установившееся течение; отсутствие проскальзывания; гомогенность образца; отсутствие физических или химических изменений в нём и последнее условие отсутствие у образца упругости.

После расчета напряжений сдвига была построена кривая течения материала в координатах  $\tau - \dot{\gamma}$ . Данный график поможет определить к какому типу материалов относится пшеничная опара и спрогнозировать ее поведение при тех или иных нагрузках.

Полученная кривая течения для жидкой опары влажностью 67 % при температуре 27 °C изображена на (рис. 1). Наибольшее распространение в практике для такого характера кривой получило степенное уравнение. После аппроксимации результатов с помощью программы Curve Expert Pro, уравнение течения опары примет вид:

$$\tau = 8,34 \dot{\gamma}^{0,6836} \quad (2)$$

Показатель степени уравнения  $0,6836 < 1$ , это говорит о том что опара относится к структурированным псевдопластичным жидкостям [7].

Измерение напряжения сдвига прежде всего приводит к получению кривой вязкости.

Из основного закона вискозиметрии предложенного Ньютоном [6]:

$$\tau = \eta \dot{\gamma}, \quad (3)$$

определяем что вязкость это отношение:

$$\eta = \tau / \dot{\gamma} \quad (4)$$

где  $\dot{\gamma}$  – скорость сдвига, с<sup>-1</sup>

Из отношения (4) для графика изображенного на рис. 1 можно определить что вязкость в любой точке будет равна:

$$\eta_t = \tau_t / \dot{\gamma}_t = \text{tg } \alpha \quad (5)$$

Анализируя зависимость (5) делаем предположение что при низкой скорости сдвига влияние сдвиговой ориентации мало, и все молекулы или частицы в жидкой опаре совершают хаотическое броуновское движение.

При очень низких скоростях сдвига пшеничная опара ведет себя подобно ньютоновской жидкости с определенной вязкостью  $\eta_0$ , не зависящей от скорости сдвига, которую часто называют “вязкостью при нулевой скорости сдвига”. Когда скорость сдвига возрастает до такой степени, что вызванная ею ориентация молекул или частиц существенно превосходит дезориентирующее влияние броуновского движения, вязкость опары резко падает. При чрезвычайно высоких скоростях сдвига вязкость будет асимптотически приближаться к конечной постоянной величине  $\eta_\infty$ . Переход к еще более высоким скоростям сдвига уже не может привести к дальнейшему снижению вязкости, так как оптимальные условия совершенной ориентации частиц уже достигнуты [5].

Нужно отметить, что реологические свойства полуфабриката могут быть с успехом использованы для оценки проведения отдельных процессов. Технологические машины различных конструкций, предназначенные для осуществления одного и того же процесса, различаются степенью воздействия на перерабатываемую массу, что приводит к получению конечных продуктов, обладающих неодинаковыми структурно-механическими



свойствами, и получению готовой продукции разного качества. Исследование влияния отдельных машин на свойства полуфабрикатов позволяет выбирать наиболее целесообразные конструкции для выработки данного сорта хлеба и подбирать оптимальные режимы переработки.

### **Выводы**

Новые знания открывают пути для удовлетворения потребностей рынка при разработке новых продуктов с требуемыми свойствами. Тщательное проектирование технологического оборудования позволит расширить возможности создания структур с заданными свойствами.

Жидкая пшеничная опара для приготовления теста представляет собой сложную дисперсную систему. В интервале влажности 0,65...0,7 кг влаги на 1 кг опары не наблюдается статического предела текучести. Понижение влажности до 0,63 вызывает появление этого предела; опара обладает динамическим предельным напряжением сдвига, которое меняется от 3,5 до 6 Па.

Полученный результат позволит в дальнейшем повысить точность определения энергетических показателей процесса приготовления жидких пшеничных опар, а именно получение точных значений затрат энергии приводом смесительного оборудования.

### **Литература**

- [1] МакКенна Б.М. Структура и текстура пищевых продуктов, Профессия, Санкт-Петербург, 2008.
- [2] Wolf B., Scirocco R., Frith W.J., Norton I.T. Shear-induced anisotropic microstructures in phase-separated biopolymer mixtures, Food Hydrocolloids, 2000, 14, 217-225.
- [3] Wolf B., Frith W. J., Norton I.T. Influence of gelation on particle shape in sheared biopolymer blends, Journal of Rheology, 2001, 45, 1141-1157
- [4] Пирогов А.Н. Реологические свойства сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств, КТИПП, Кемерово, 2008.
- [5] Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии, КолосС, Москва, 2003.
- [6] Зимон А.Д., Евтушенко А.М., Крашенинникова И.Г. Физическая и коллоидная химия, МГУТУ, Москва, 2004.
- [7] Mewis J. Colloidal Suspension Rheology, Cambridge University Press, 2013.