

Б. А. НИКОЛАЕВ

УПРУГО-ПЛАСТИЧНО-ВЯЗКИЕ СВОЙСТВА ХЛЕБНОГО ТЕСТА

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 4 IV 1953)

Пищевые полупродукты и изделия в виде различного рода теста, паст и других твердо-жидких тел характеризуются по своей структуре и механическим свойствам, определяемым их упругостью, вязкостью, эластичностью.

В целях эффективного проведения процессов механической обработки замешивания, деления, раскатки, передачи по трубам и спускам, формовки, штампования, резки, образования пористых качественных структур изделий (типа хлебного мякиша), необходимо контролировать и регулировать их упруго-вязкие и пластичные свойства в направлении, обеспечивающем постоянное высокое качество изделия.

Проведенные за последние годы в СССР работы в области упруго-пластично-вязких свойств структурированных дисперсных систем, а также растворов высокополимеров⁽¹⁻⁴⁾ дали нам возможность провести соответствующие исследования для теста из муки хлебных злаков. Сухое вещество этого теста состоит в основном из крахмала (около 70%) и нерастворимых в воде растительных белков — клейковины (около 15%). Данные высокополимерные соединения, как известно, значительно отличаются между собой по гидратационной способности и структурно-механическим свойствам. Представляло поэтому интерес проследить не только свойства теста, но и двух указанных важнейших его составляющих.

Для этой цели из теста отмывались гидратированные белки клейковины, а удаляемый при этом крахмал собирался, центрифугировался и в виде пасты также подвергался испытанию. В качестве метода исследования было принято определение деформации сдвига (течения) структурированной системы (теста, клейковины, крахмальной пасты) в плоском зазоре на наклонной плоскости, предложенное Д. М. Толстым⁽⁴⁾, в несколько измененном виде. Основные характеристики упруго-пластично-вязких свойств теста соответствуют системе этих характеристик, предложенной П. А. Ребиндером⁽¹⁾.

Наши определения проводились при общей длительности пребывания под нагрузкой и наблюдения после разгрузки системы 6 мин. в термостате при 30° и увлажнении воздуха термостата до насыщения во избежание подсыхания торцевых поверхностей пластины теста. Средние скорости деформирования после нагрузки были порядка 1 мм/мин.

Применяя напряжения, отличающиеся друг от друга в 2—3 раза, удалось обнаружить достаточно постоянные (инвариантные) величины как мгновенных деформаций (ϵ_0), так и деформаций, развивающихся во времени ($\epsilon_{3 \text{ мин}}$, $\epsilon_{30 \text{ сек}}$). При дальнейшем повышении напряжений наблюдается увеличение деформаций с отклонением от закона пропорциональности. Это показывает, что кривая сдвига и течения теста в координатах деформация — напряжение имеет выпуклость в направлении оси напряжений (см. рис. 1).

Специфической особенностью свойств теста является изменение упруго-вязких характеристик во времени после замешивания: в результате физико-химических, биохимических и коллоидно-химических процессов,

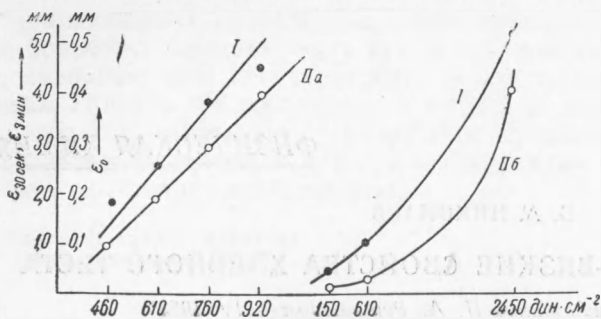


Рис. 1. I — мгновенные деформации ϵ_0 ; II — деформации, развивавшиеся во времени: а — $\epsilon_{3 \text{ мин}}$, б — $\epsilon_{30 \text{ сек}}$

протекающих в изготовленном тесте, величины этих характеристик уменьшаются. Особенно велика скорость их изменения в первые минуты после замешивания. Эта способность теста к «разжижению» во времени более резко выражена в тесте без дрожжей. Она колеблется в значительной степени в зависимости от свойств муки. Таким образом, при исследовании упруго-пластично-вязких свойств их измерение необходимо производить через определенный срок после замешивания. Вместе с тем измерениями установлено наличие упрочнения теста и его упомянутых основных компонентов в процессе сдвига и течения при испытании.

Доказательством этого явления служит постепенное уменьшение скорости деформации во времени. При малых нагрузках она быстро приближается к нулю, однако при разгрузке системы почти не наблюдается упругого последствия.

«Разжижение» теста и его упрочнение могут быть выражены соответствующими коэффициентами и, таким образом, служить характеристиками специфических свойств муки. Упрочнение теста наблюдается и при слабой обработке теста в производственных условиях; более интенсивная обработка, наоборот, ослабляет его структуру. В результате этого изменяется также структура мякиша и объемный выход хлеба.

В табл. 1 (№№ 1 и 2) сопоставлены данные для двух хлебов из одной и той же муки. Тесто хлеба № 2 интенсивно обрабатывалось в месилке, в результате уменьшилась вязкость теста, увеличилась структура его пористости. Следовательно, тесто, дающее изделия хорошего качества, должно обладать определенными характеристиками упруго-пластично-вязких свойств (E , η , λ , θ), близкими к тем, которыми обладало тесто хлеба № 2.

Эти упруго-пластично-вязкие характеристики, как и следовало ожидать, понижаются с увеличением влагосодержания теста. На рис. 3 кривыми 1, 2, 3 представлены деформации сдвига ϵ во времени τ теста из пшеничной муки без дрожжей с различной влажностью. Основные характеристики этого теста приведены в табл. 1 (№№ 3, 4, 5). Можно видеть, что при одинаковом примерно отклонении влажности (13—14%) от средней (46%) прочность теста, характеризующаяся величинами E и η , возрастает при снижении влажности значительно меньше, чем понижается при ее увеличении. Условная пластичность (величина остаточной де-

формации) увеличивается с увеличением влажности. Она колеблется в значительной степени в зависимости от свойств муки. Таким образом, при исследовании упруго-пластично-вязких свойств их измерение необходимо производить через определенный срок после замешивания. Вместе с тем измерениями установлено наличие упрочнения теста и его упомянутых основных компонентов в процессе сдвига и течения при испытании.

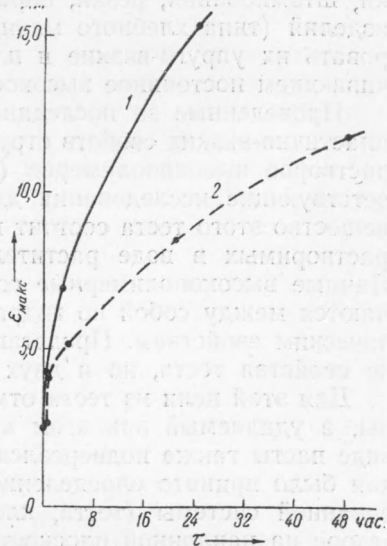


Рис. 2. 1 — тесто небродящее, 2 — тесто бродящее

объем хлеба и улучшилась структура его пористости. Следовательно, тесто, дающее изделия хорошего качества, должно обладать определенными характеристиками упруго-пластично-вязких свойств (E , η , λ , θ), близкими к тем, которыми обладало тесто хлеба № 2.

Основные характеристики упруго-пластично-вязких свойств хлебного теста

№ пп.	Вид теста, его сорт	Влажность в %	Продолжит. выдержки после замеса в час.	E , дин·см ⁻²	η , пуаз	τ_{11}/E_{11} , сек.	Условн. пластичность, %	Эластичность λ , %
1	Пшеничное, бродящее, 1-го сорта, контроль	46	3	$1,7 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^7$	122	60	75
2	То же, обмятое 10 мин. в месилке	46	3	$1,4 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^7$	92	81	82
3	Пшеничное, небродящее, 1-го сорта	33	3	$1,1 \cdot 10^5$	$8,5 \cdot 10^7$	80	57	66
4	То же	46	3	$2,5 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^7$	55	58	75
5	То же	60	3	$6,2 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^5$	61	56	87
6	Клейковина из муки 1-го сорта	62	0	$5,0 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^7$	24	25	89
7	Крахмальн. паста из муки 1-го сорта	40	0	$7,0 \cdot 10^5$	$6,0 \cdot 10^8$	880	72	40
8	Ржаное небродящее из обойной муки	54	3	$7,8 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^7$	25	89	88

формации, выраженная в процентах к достигнутой максимальной) при этом почти не изменяется. С увеличением влажности теста увеличивается его эластичность, а также способность к разжижению во времени и упругости в процессе деформирования.

На рис. 3 представлены также кривые сдвига отмытых из теста оводненной клейковины (5) и крахмальной пасты (4). Их характеристики также представлены в табл. 1. Они показывают, что клейковина является высокоэластичным телом, обладающим высокой упругостью и эластичностью. Паста крахмала, наоборот, имеет пониженную упругость и эластичность. Эти различия свойств клейковины и крахмальной пасты обусловлены соответствующим отличием размера и формы их частиц.

Кривые 1—5 рис. 3 показывают, что упругие и эластичные свойства теста следует отнести, в основном, за счет соответствующих свойств клейковины. Эти свойства проявляются при высоком влагосодержании теста. При низком влагосодержании тесто по характеру кривой походит на крахмальную пасту. Упругие свойства такого теста проявляются также и за счет увлаженного крахмала. Уменьшение его эластичности происходит вследствие его «отвердевания».

Сопоставляя в табл. 1 данные для теста влажностью 60% и клейковины примерной равной влагосодержания, видим, что по величине и модулю E и вязкости η клейковина дает эти характеристики почти в 100 раз больше. Это показывает, что волокна белков клейковины образуют как бы основу или «скелет» теста, его пространственную сетку, заполненную оводненными частицами крахмала, клетчатки и других составляющих теста.

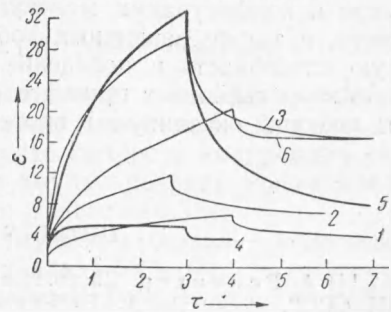


Рис. 3. 1 — влажность теста 33%, $P = 1656$ дин·см⁻²; 2 — влажность теста 46%, $P = 580,4$ дин·см⁻²; 3 — влажность теста 60%, $P = 29,4$ дин·см⁻²; 4 — крахмал, влажность 40%, $P = 1987$ дин·см⁻²; 5 — клейковина, влажность 61,8%, $P = 1241$ дин·см⁻²; 6 — ржаное тесто, влажность 54%, $P = 3140$ дин·см⁻²

Характерным отличием теста из ржаной муки (рис. 3, б) является невозможность отмывания из него белков клейковины. Сравнивая характеристики теста из ржаной обойной муки влажностью 54% с пшеничным тестом 46% влажности, видим, что тесто из ржаной муки обладает, несмотря на более высокое содержание влаги, значительно большим модулем и вязкостью. Характерным его отличием следует считать пониженную величину упругой деформации. Это указывает на меньшую длину молекул белка ржаной муки, которая, очевидно, и служит препятствием к отмыванию клейковинных белков.

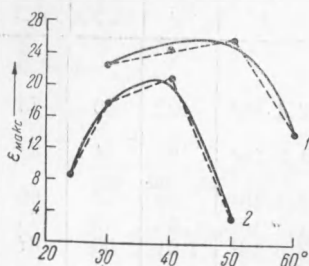


Рис. 4. 1 — пшеничное тесто, 2 — ржаное тесто

Изменение структурно-механических свойств теста может быть достигнуто изменением его температуры. На рис. 4 представлены кривые, построенные по максимально достигнутым деформациям пшеничного и ржаного теста, прогретого, соответственно, от 30 до 60° и от 24 до 50°.

Кривые одинаковы по характеру и показывают снижение деформации при достижении начала процесса клейстеризации муки, повышающего гидратационную способность теста. Кривые показывают, что начальной температурой клейстеризации крахмала пшеничной муки оказывается около 50° и ржаной муки около 40°.

Проведенное исследование упруго-пластично-вязких свойств теста показывает на большие перспективы, которые имеет использование методов их измерений в научных исследованиях, а также производственной работе ряда отраслей пищевой промышленности (таких, как мукомольная, хлебопекарная, макаронная, кондитерская и др.). Характеристики упруго-пластично-вязких свойств могут дать дополнительные сведения о размере и конфигурации молекул, уточнить роль и поведение ферментов теста, а также различных добавок к муке, определить ее гидратационную способность и поведение в производстве.

Автор выражает признательность П. А. Ребиндеру и Д. М. Толстому за помощь, оказанную в проведении данной работы.

Поступило
1 X 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Ребиндер, Сборн. Новые методы физ.-хим. иссл. поверхн. явлений, изд. АН СССР, 1950; П. А. Ребиндер, Е. Е. Сегалова, ДАН, 71, 85 (1950), Е. Е. Сегалова, П. А. Ребиндер, Колл. журн., 10, № 3, 223 (1948); Е. Е. Сегалова, П. А. Ребиндер и Л. Н. Сентюрихина, Колл. ж., № 6, 461 (1951).
² М. П. Воларович, Р. А. Бранопольская, Колл. журн., 10, № 6, 406 (1948).
³ А. А. Трапезников, Сборн. Новые методы физ.-хим. иссл. поверхн. явлений, изд. АН СССР, 1950. ⁴ Д. М. Толстой, Всесоюз. конф. по трению и износу в маш., 3, 155 (1949); Колл. журн., 10, № 2 (1948).