

Н.С. Мартыненко, А.С. Романов, В.Ю. Богер, М.А. Беккер

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИБОРОМ «СТРУКТУРОМЕТР 1» ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ПРИ ВЫПЕЧКЕ МЯКИША СДОБНЫХ БУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Проведено определение физико-механических свойств мякиша заготовок сдобных булочных изделий, выпекавшихся при различных температурных режимах. Проконтролирована температура центра выпекающейся заготовки и построены графики изменения температуры в процессе выпечки при различных температурах среды пекарной камеры. Сопоставлены результаты органолептической оценки физико-механических свойств мякиша, прогретого в ходе выпечки до различных температур, с результатами определения этих же свойств на приборе «Структурометр 1». В итоге сделан вывод о возможности использования прибора «Структурометр 1» для определения физико-механических свойств формирующегося при выпечке мякиша, а также для установления стадии завершения этого процесса. Показано, что признаком завершения процесса формирования выпекающегося мякиша может служить стабилизация величины соотношения упругой и пластической его деформаций.

Выпечка, мякиш, пропеченность, температура, физико-механические свойства, деформация, структурометр.

Введение

Выпечка является важным этапом технологического процесса производства хлебобулочных изделий. При выпечке в тестовой заготовке под воздействием тепла и влаги протекает целый комплекс физических, коллоидных, микробиологических и биохимических процессов. Эти процессы вызывают глубокие изменения в выпекаемой тестовой заготовке и приводят к превращению теста в готовое изделие. О завершении процесса превращения тестовой заготовки в результате выпечки в готовое изделие принято судить преимущественно по таким органолептически определяемым показателям, как окраска и толщина корок, а также эластичность, сухость мякиша и отсутствие комкуемости при его разжевывании. При этом сама по себе окраска корки и ее интенсивность не могут служить критериями завершения процесса выпечки, так как в значительной мере зависят от рецептуры изделия, хлебопекарных свойств муки, а также температуры среды пекарной камеры. Последнее обусловлено тем, что температура среды пекарной камеры предопределяет температуру поверхностного слоя выпекающейся заготовки (ВЗ), а отсюда – и интенсивность процессов, вызывающих изменение окраски. Главным критерием достаточности выпечки является пропеченность мякиша, которую оценивают в настоящее время практически только органолептически – по степени эластичности и сухости мякиша, а также отсутствию заминаемости и комкуемости при разжевывании. Единственным объективным ориентиром завершения процесса превращения теста в пропеченный мякиш считается достижение центром ВЗ температуры 92–98 °С.

Целью данной работы являлось определение физико-механических показателей формирующегося при выпечке мякиша с помощью прибора «Структурометр 1» для выяснения возможности их использования в качестве объективных признаков пропеченности мякиша.

Материалы и методы

Исследования проводили на примере сдобных булочных изделий округлой формы массой 0,08 кг. Тесто готовили на большой густой опаре с использованием тестомесильной машины периодического действия PASGUINI (Италия). Выброженное тесто разделяли вручную, формируя округлые заготовки, которые подвергали расстойке в расстойной камере UNOX (Италия) в течение 55–60 мин. По окончании расстойки тестовые заготовки выпекали в конвекционной печи UNOX (Италия) при различных температурных режимах. Необходимую температуру выпечки задавали с помощью соответствующей установки терморегулятора печи. Для контроля изменения температуры выпекающейся заготовки производили замеры температуры центральной части заготовок непосредственно перед посадкой в печь и затем через каждую минуту от начала выпечки до момента ее завершения включительно. Физико-механические свойства формирующегося мякиша оценивали после полного остывания прогретых проб. О завершении процесса остывания судили по достижении центром пробы температуры окружающей среды. Одну часть остывших проб использовали для органолептической оценки состояния мякиша, другую – для определения структурно-механических свойств на приборе «Структурометр 1». Органолептически оценивали степень эластичности, сухости, заминаемости мякиша, а также его комкуемости при разжевывании. С помощью структурометра определяли общую деформацию сжатия, пластическую деформацию, а по их разности – величину упругой деформации по аналогии с широко применявшимся ранее в научных исследованиях методом определения физико-механических показателей мякиша хлеба на приборе «Пенетрометр АП-4/1» (ГДР). Прибор «Структурометр 1» выпускается научно-производственной фирмой «Радиус» (Зеленоград) и предназначен для определения реологических и прочностных характеристик пищевых объектов

(сырья, полуфабрикатов и готовой продукции). Для измерения вышеуказанных показателей физико-механических свойств мякиша использовали полусферическое тело погружения. Пробу размещали на поверхности рабочего столика прибора таким образом, чтобы центр тела погружения располагался над центром среза мякиша. Специальным устройством прибора столик с размещенной на нем пробой поднимали до соприкосновения поверхности мякиша с телом погружения. После этого переходили к процессу измерения в режиме, который устанавливался на стадии подготовки прибора к работе. В данных исследованиях использовали режим № 1 «Определение упругих и пластических деформаций». Ведущую роль при выборе режима отвели уровню усилия, до которого нагружалась испытуемая проба. Ориентируясь на соответствующий режим работы прибора «Пенетромтр АП-4/1», уровень усилия при исследованиях с помощью структурометра приняли равным 3 Н. Процесс деформирования мякиша начинался с перемещения столика вверх с постоянной скоростью. По достижении минимального заданного уровня деформирующего усилия (0,01 Н) начинался отсчет перемещения. По достижении максимального заданного значения усилия (3 Н) столик автоматически останавливался, значение перемещения запоминалось прибором и столик начинал обратное движение (вниз) до достижения исходного минимального уровня деформирующегося усилия (0,01 Н). На индикаторе прибора появлялись два значения. Первое соответствовало величине общей деформации сжатия, второе – величине пластической деформации.

Результаты и их обсуждение

Задачей первой части работы было построение кривых изменения температуры центра заготовок в процессе выпечки. Для этого провели серию выпечек при различных температурах среды пекарной камеры – от 170 до 230 °С с интервалом 10 °С. Указанный интервал был выбран на основе рекомендаций отраслевых технологических инструкций в отношении температурных режимов выпечки сдобных булочных изделий [1]. Контроль температуры центра выпекающейся заготовки проводили ежесекундно вплоть до завершения процесса выпечки. Процесс выпечки считали завершенным после прекращения роста температуры центра выпекающейся заготовки. По полученным экспериментальным данным построили графики зависимости температуры центра ВЗ от продолжительности выпечки.

Анализируя построенные графики (рис. 1), обратили внимание на следующее. На кривых изменения температуры центральной части выпекающейся заготовки при всех рассмотренных режимах выпечки можно выделить три периода. Начальный период выпечки характеризовался нарастающей или постоянной скоростью прогрева, в

следующем за ним периоде скорость прогрева начинала замедляться, достигая в конечном итоге (в третьем периоде) ноля при температуре 97 °С.

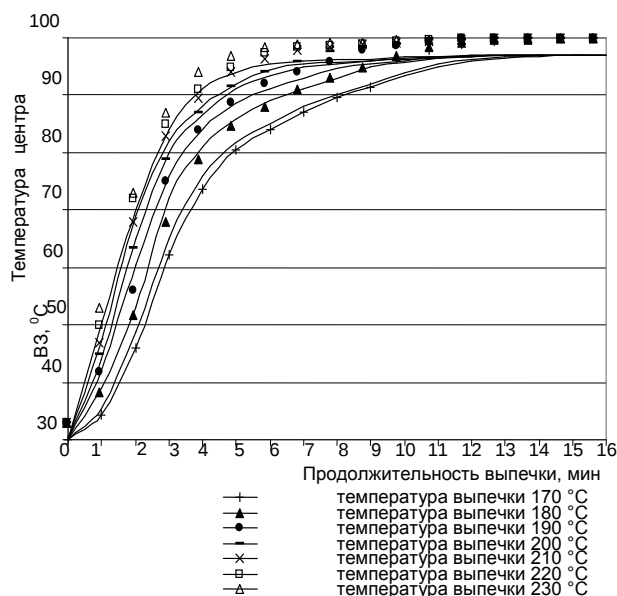


Рис. 1. Изменение температуры центра заготовки в процессе ее выпечки

Судя по данным рис. 1 и учитывая современные представления о происходящих при выпечке процессах, можно с достаточной степенью уверенности предположить, что характер изменения температуры центра выпекающейся заготовки в начальном периоде выпечки обусловлен теплопроводностью теста, а также температурой поверхности ВЗ, напрямую связанной с температурой среды пекарной камеры. Замедление же скорости нарастания температуры центра выпекающейся заготовки во втором периоде обусловлено эндотермическим эффектом начавшегося процесса клейстеризации крахмала. Стабилизация температуры центра выпекающейся заготовки в третьем периоде выпечки может быть связана с началом процесса кипения воды, а также расходом части подводимого тепла на «атаку» молекулами воды центральных участков полисахаридных цепей частично клейстеризованных крахмальных зерен.

Сравнительный анализ кривых изменения температуры центров заготовок, выпекавшихся при различных температурах среды пекарной камеры, показал, что скорость нарастания температуры центра ВЗ зависит от температурного режима выпечки. Так, если в первом периоде выпечки скорость нарастания температуры оказывалась тем выше, чем более высокой была температура среды пекарной камеры, то во втором периоде наблюдалась обратная зависимость – более высокой

температуре среды пекарной камеры соответствовала более низкая скорость приближения температуры центра ВЗ к ее максимальному уровню, т.е. 97 °С. Так, в начальный период выпечки скорость нарастания температуры центра ВЗ при температуре среды пекарной камеры 170 °С составляла 2 градуса в минуту, а при температуре среды пекарной камеры 230 °С – 20 градусов в минуту, т.е. была в 10 раз большей. По достижении центром ВЗ температуры 96 °С скорость дальнейшего ее нарастания в случае выпечки при температуре 170 °С составляла 0,5 градуса в минуту, а при температуре 230 °С – 0,1 градуса в минуту, т.е. стала в 5 раз меньшей.

Контроль температуры центра заготовок продолжили и во второй части работы, основной задачей которой стало определение физико-механических свойств формирующегося при выпечке мякиша с помощью прибора «Структурометр 1». Первый отбор проб выпекающихся тестовых заготовок для определения физико-механических свойств мякиша проводили через 4 мин от начала выпечки. Такой выбор был обусловлен тем, что при всех принятых режимах выпечки (согласно данным рис. 1) температура центра мякиша к этому времени значительно превышала температурную границу перехода теста в мякиш (69 °С). Последующие отборы проб ВЗ проводили через каждые 2 мин вплоть до завершения процесса выпечки. Исследования начали с определения физико-механических свойств центра мякиша заготовок, выпекавшихся при минимальной температуре среды пекарной камеры, т.е. 170 °С. Измерение физико-механических свойств мякиша на структурометре проводили в шести повторностях, т.е. у шести одинаковых проб. Кроме того, физико-механические свойства мякиша исследуемых проб оценивали органолептически. Результаты замеров на структурометре подвергли математической обработке с использованием методов математической статистики, задавшись доверительной вероятностью 0,95. Полученные величины общей ($\Delta N_{\text{общ}}$), пластической ($\Delta N_{\text{пл}}$) и упругой ($\Delta N_{\text{упр}}$) деформаций представлены в табл. 1.

Как видно из данных этой таблицы, величина общей деформации сжатия мякиша не претерпевала существенных изменений по мере увеличения продолжительности выпечки. Это вполне объяснимый результат, так как величина общей деформации сжатия мякиша в значительной мере зависит от его разрыхленности (пористости), которая, в свою очередь, зависит от объема выпекающейся заготовки. К моменту начала замеров, судя по температуре центра мякиша (73,5–91 °С), рост объема заготовки, приходящийся на начальный период выпечки, в основном уже завершился. Следовательно, дальнейшая выпечка протекала при практически неизменном объеме, а значит и при неизменной пористости мякиша. По всей вероятности, именно по этой причине величина

общей деформации сжатия допекающегося мякиша существенных изменений не претерпевала.

Таблица 1

Результаты определения физико-механических свойств мякиша заготовок, выпекавшихся при температуре 170 °С

Продолжительность выпечки, мин	Показатели физико-механических свойств мякиша, ед. прибора		
	$\Delta N_{\text{общ}}$	$\Delta N_{\text{пл}}$	$\Delta N_{\text{упр}}$
4	15,2±1,6	11,1±1,3	4,1±0,3
6	15,6±1,0	9,30±0,9	6,3±0,1
8	15,9±1,2	8,9±1,0	7,0±0,2
10	15,7±0,3	8,1±0,3	7,6±0,1
12	15,8±0,2	7,8±0,1	8,0±0,1
14	15,9±0,3	7,5±0,2	8,4±0,1
16	15,8±0,5	7,5±0,3	8,3±0,2

Величины пластической и упругой деформации с увеличением времени выпечки обнаружили определенные тенденции к изменению: пластичность – к снижению, а упругость – к возрастанию. Отмеченные изменения могут являться признаками продолжения процесса формирования выпекающегося мякиша. При органолептической оценке соответствующих проб по мере продолжительности выпечки отмечалось повышение эластичности, сухости мякиша, а также снижение его заминаемости и комкуемости при разжевывании. По всей вероятности, это происходило за счет продолжения процесса клейстеризации крахмала, выражающегося в проникновении молекул воды в центральные области крахмальных зерен.

Таблица 2

Результаты определения физико-механических свойств мякиша заготовок, выпекавшихся при температуре 200 °С

Продолжительность выпечки, мин	Показатели физико-механических свойств мякиша, ед. прибора		
	$\Delta N_{\text{общ}}$	$\Delta N_{\text{пл}}$	$\Delta N_{\text{упр}}$
4	11,4±1,3	7,7±1,0	3,7±0,3
6	12,1±1,0	6,6±0,7	5,5±0,3
8	11,2±1,1	5,8±0,5	5,4±0,6
10	11,2±0,8	5,5±0,4	5,7±0,4
12	10,3±2,0	4,9±1,0	5,4±1,0
14	11,0±1,0	5,2±0,5	5,8±0,5
16	11,8±0,5	5,6±0,2	6,2±0,3

Аналогичные вышеприведенным итоги были получены и при всех других режимах выпечек, что, в частности, проиллюстрировано табл. 2 и 3. В этих таблицах представлены результаты определения физико-механических свойств мякиша проб, выпекавшихся при средней и максимальной температуре среды пекарной камеры принятого в данной работе интервала.

Таблица 3

Результаты определения физико-механических свойств мякиша заготовок, выпекавшихся при температуре 230 °С

Продолжительность выпечки, мин	Показатели физико-механических свойств мякиша, ед. прибора		
	$\Delta N_{\text{общ}}$	$\Delta N_{\text{пл}}$	$\Delta N_{\text{упр}}$
4	13,4±2,1	8,3±1,5	5,1±0,6
6	13,6±2,0	7,3±1,0	6,3±1,0
8	12,7±0,4	6,2±0,2	6,5±0,2
10	12,7±1,0	6,3±0,5	6,4±0,5
12	12,4±0,3	5,9±0,2	6,5±0,1
14	11,6±0,2	5,5±0,1	6,1±0,1
16	11,4±0,2	5,4±0,1	6,0±0,1

Учитывая полученные результаты, произвели расчеты относительных величин показателей физико-механических свойств мякиша, а именно: отношения величины упругой деформации к пластической ($\Delta N_{\text{упр}}/\Delta N_{\text{пл}}$), упругой к общей

($\Delta N_{\text{упр}}/\Delta N_{\text{общ}}$) и пластической к общей ($\Delta N_{\text{пл}}/\Delta N_{\text{общ}}$). Расчеты были произведены по всем вариантам проведенных опытов. Обобщенные результаты определений абсолютных величин физико-механических свойств мякиша на структуромере, а также результаты расчётов указанных выше относительных величин приведены в табл. 4. В этой же таблице обобщены результаты органолептической оценки физико-механических свойств мякиша, полученные при анализе всех отобранных проб.

Из данных этой таблицы видно, что при большом разбросе результатов параллельных определений абсолютных величин общей, пластической и упругой деформаций их относительные величины при этом обнаружили высокий уровень сходимости. Тенденция роста упругой и снижения пластической деформации в процессе выпечки при переходе от абсолютных к относительным величинам не только сохранилась, но стала еще более очевидной. Здесь следует отметить, однако, что последнее утверждение осталось справедливым только в отношении первых двенадцати минут выпечки, т.е. до момента достижения центром ВЗ максимальной температуры прогрева 96,8–97,0 °С. Несмотря на сохранение значительных колебаний абсолютных величин физико-механических свойств мякиша при продолжении прогрева от 12 до 16 мин, их относительные величины в этом периоде выпечки оставались неизменными. Неизменной оставалась и температура центра мякиша.

Таблица 4

Изменение физико-механических свойств мякиша выпекающейся заготовки при различных режимах выпечки

Продолжительность выпечки, мин	Температура центра мякиша ВЗ, °С	Физико-механические свойства мякиша по результатам определений на структуромере						Результаты органолептической оценки	
		абсолютные величины, ед. прибора			относительные величины			физико-механические свойства	разжевываемость
		$\Delta N_{\text{общ}}$	$\Delta N_{\text{пл}}$	$\Delta N_{\text{упр}}$	$\frac{\Delta N_{\text{упр}}}{\Delta N_{\text{пл}}}$	$\frac{\Delta N_{\text{упр}}}{\Delta N_{\text{общ}}}$	$\frac{\Delta N_{\text{пл}}}{\Delta N_{\text{общ}}}$		
4–8	73,5–91,0	13,6±3,5	8,3±1,6	5,3±1,9	0,64±0,14	0,39±0,05	0,61±0,05	Сильно заминается, влажный на ощупь, липкий мякиш	Сильно комкуется, очень грубый
6–10	91,5–95,7	13,5±1,9	7,1±0,8	6,4±1,1	0,90±0,10	0,47±0,04	0,51±0,01	Уплотненный, неэластичный, заминающийся	Комкуется, несколько грубый
8–12	96–96,6	13,0±2,6	6,4±1,3	6,6±1,3	1,05±0,02	0,51±0,01	0,48±0,01	Достаточно эластичный, нежный, с признаками легкой заминаемости	Слегка комкуется, несколько грубоватый
12–16	96,8–97,0	12,2±3,9	5,8±1,9	6,4±2,0	1,10±0,01	0,52±0,01	0,47±0,01	Очень эластичный, легко принимает первоначальную форму	Хорошо разжевывается, не комкуется, нежное ощущение во рту

При сопоставлении величин температуры центра прогревающегося мякиша, относительных величин деформационных характеристик физико-механических свойств мякиша и результатов органолептической оценки этих свойств становится очевидным следующее. Начальный период формирования мякиша в процессе выпечки исследованных заготовок совпадал с периодом роста температуры центра заготовок до 95,7 °С. Этот период формирования выпекающегося мякиша характеризовался ростом соотношения его упругой и пластической деформаций с $0,64 \pm 0,14$ до $0,90 \pm 0,10$. По результатам органолептической оценки физико-механических свойств мякиша в этот же период отмечалось снижение уровня отрицательных характеристик – степени его липкости, заминаемости и комкуемости. По достижении центром выпекающейся заготовки температуры 96,0–96,6 °С упомянутые выше отрицательные органолептические характеристики мякиша снижались до незначительного уровня. При этом соотношение упругой и пластической деформаций мякиша возрастало до величины $1,05 \pm 0,02$.

Полностью исчезали отрицательные характеристики физико-механических свойств мякиша, т.е. мякиш достигал полной пропеченности, по достижении им температуры 96,8–97,0 °С.

Соотношение упругой и пластической деформаций мякиша при этом составляло $1,10 \pm 0,01$. Важно отметить, что продолжение прогрева объектов исследования после достижения их центром температуры 96,8–97 °С не отражалось ни на результатах органолептической оценки физико-механических свойств мякиша, ни на величине соотношения его упругой и пластической деформаций. Последняя оставалась на уровне $1,10 \pm 0,01$. Анализ изменений в эти же периоды выпечки соотношений упругой и общей, а также пластической и общей деформаций мякиша подтвердил отмеченные выше закономерности. Как видно из данных табл. 4, процесс роста температуры выпекающегося мякиша характеризовался ростом доли его упругой деформации в составе определявшейся общей ее величины и соответствующим снижением доли пластической деформации.

Все это позволяет считать возможным использование прибора «Структурометр 1» для определения физико-механических свойств формирующегося при выпечке мякиша и установления стадии завершения этого процесса. Признаком завершения процесса формирования выпекающегося мякиша может служить стабилизация величины соотношения упругой и пластической его деформаций.

Список литературы

1. Сборник технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий / ВНИИХП, НПО «Хлебпром». – М.: Прейскурантиздат, 1989. – 494 с.

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел./факс: (3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

N.S. Martynenko, A.S. Romanov, V.U. Boger, M.A. Bekker

The Use of the Device «Structurometer 1» for Testing Physico-mechanical Properties of the Crumb Formed during Bun Baking

Testing of physico-mechanical crumb properties of bun dough pieces baked at different temperatures has been carried out. The temperature in the centre of the dough pieces being baked has been controlled. Temperature change graphs of baking at different temperatures of a baking chamber have been designed. The organoleptic estimation results of physico-mechanical properties of the crumb heated during baking under different temperatures have been compared with the ones registered by the device called «Structurometer 1». From the results the possibility of using this device for testing physico-mechanical properties of the crumb formed has been concluded. The device can also be applied for defining the crumb baking final phase. Stabilization of the elastic and plastic deformation relationship value has been shown as the factor of the crumb formation final phase.

Baking, crumb, temperature, physico-mechanical properties, deformation, structurometer.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

