

Теплопоглощение при выпечке бисквита

Е. Г. ВОНДАРЕНКО, А. И. ДОРОХОВИЧ, А. А. МИХЕЛЕВ
Киевский технологический институт пищевой промышленности

При создании новых конструкций печей для выпечки бисквита необходимо правильно уязать их тепловой режим с кинетикой процесса.

Бисквит имеет свои характерные особенности, и выпечка его отличается от выпечки хлеба, печенья, приликов.

Изучением кинетики теплопоглощения бисквита до настоящего времени не занимались.

Ранее проведенные нами работы показали, что наилучшим режимом при постоянной температуре среды пекарной камеры $t_{\text{ср.печ}}$ является тот, при котором она равна 170°C .

Исследования по теплопоглощению были проведены в лабораторной печи с радиационно-конвективным обогревом и автоматическим регулируемым $t_{\text{ср.печ}}$, которая на протяжении процесса выпечки поддерживалась равной 170°C .

Для определения тепла, затраченного на нагрев теста — бисквита, в него закладывалось 12 медьконстантановых термопар диаметром 0,15 мм. Температура в различных точках образца регистрировалась при помощи автоматического самонишущего потенциометра ЭПП-09.

Тесто массой 210 г разливали в формы размером $100 \times 150 \times 60$ мм.

На рис. 1 представлены температурные кривые, получаемые при выпечке бисквита.

Расход тепла на прогрев заготовки $Q_{\text{пр}}$

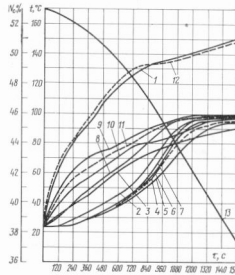


Рис. 1. Изменение температуры теста — бисквита в процессе выпечки:

1 — верхняя поверхность; 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 — слои на высоте соответственно 10 мм, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115 и 2 мм от нижней поверхности; 12 — нижняя поверхность; 12 — кривая выноса пара.

рассчитывался по экспериментальным кривым, характеризующим распределение температуры по сечению образца в различные моменты выпечки. При построении температурного поля была использована разработанная нами методика с учетом полойности реста заготовки¹.

Для определения тепла, затраченного на испарение влаги при выпечке, регистрировалась убыль массы с помощью автоматического весового устройства. Кривая скорости влагоотдачи дана на рис. 1.

При расчете расхода тепла были сделаны следующие допуски: образцы рассматривались в виде отдельных слоев, которые последовательно проходят стадии теста (до 80°C) — мякиши (от 80 до 98°C) — корки (от 98°C и выше); плотности тестовой заготовки в процессе прогресса изменялась пропорционально ее объему.

На рис. 2 представлена кривая изменения плотности тестовой заготовки в процессе выпечки, рассчитанная по формуле

$$\rho = \frac{g}{V},$$

где g — масса заготовки, г;
 V — объем заготовки, см³.

Масса заготовки в процессе выпечки регистрировалась с помощью фотогравов, объем определяли по изменению ее высоты.

Расход тепла на выпечку в отдельные моменты времени от τ_n до τ_{n+1} определяли уравнением

$$Q_{n+1}^{вип} = Q_{n+1}^{тест} + Q_{n+1}^{мяк} + Q_{n+1}^{корк}, \quad (1)$$

где $Q_{n+1}^{вип}$ — $q(\tau_n, \tau_{n+1})$ — расход тепла на выпечку, кДж/кг·гор. биесн;
 $Q_{n+1}^{тест}$, $Q_{n+1}^{мяк}$, $Q_{n+1}^{корк}$ — расход тепла на нагрев теста, мякиша, корки.

¹ Бодларевко Е. Г., Дорочович А. Н., Михалас А. А. Построение и исследование температурных полей при выпечке бисквита. — «Хлебобулочная и кондитерская промышленность», 1975, № 7, с. 19.

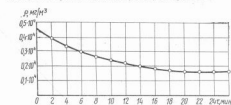


Рис. 2. Изменение плотности теста — бисквита.

$Q_{n+1}^{вип}$ — расход тепла на испарение влаги и на нагрев пара до температуры комковости корки.

Расход тепла на нагрев каждого слоя находили по формуле

$$Q_c = C_c g_c \Delta t, \quad (2)$$

где g_c — масса соответствующего слоя, кг;
 C_c — теплоемкость слоя, кДж/(кг·К);
 Δt — среднее приращение температуры слоя за 120 с, которое определялась планиметрированием соответствующих температурных полей.

Массу слоя определяли по формуле

$$g_c = \rho_c V_c, \quad (3)$$

где ρ_c — плотность слоя, кг/м³;
 V_c — объем слоя в каждый момент времени, м³.

Для определения теплоемкости теста, мякиша, корки авторами проведены специальные исследования.

Расход тепла на испарение исчисляли по формуле

$$Q_{вип} = \Delta W + C_{п,н} (t_n - 98) \Delta W, \quad (4)$$

где t — температура испарения при фронте температуры соответствующего слоя образующейся корки, кДж/кг;
 ΔW — потеря массы через каждые 120 с выпечки, кг;
 $C_{п,н}$ — теплоемкость перегретого пара, кДж/(кг·К).

Уравнение (1) можно представить в следующем виде:

$$Q_{n+1}^{вип} = g_{n+1}^тест C_{т+M} + g_{n+1}^мяк C_{м+M} + g_{n+1}^корк C_{к+M} + \Delta W + C_{п,н} (t_n - 98) \Delta W. \quad (5)$$

По этому уравнению произведен расчет тепла на выпечку бисквита. На основании расчетов построены кривые на рис. 3.

Анализируя количество тепла, затраченное на испарение, видим, что в первом периоде выпечки, составляющем 50—55% к общей ее продолжительности, $Q^{вип}$ резко растет. Во втором периоде расход тепла на испарение поддерживается практически постоянным.

Расход тепла на прогрев заготовок имеет максимальное значение через 4 мин после начала выпечки. Затем идет его уменьшение. Минимальный расход $Q^{вип}$ наблюдается через 18 мин от начала выпечки. Затем до 22-й минуты $Q^{вип}$ плавно увеличивается, после чего до конца выпечки остается практически постоянным. Такой характер кривой $Q^{вип}$ с определенными перегибами можно объяснить дополнительными затратами тепла на физико-химические и другие эндотермические процессы, происходящие при выпечке: на клейстеризацию крахмала, денатурацию белков и увеличение объема заготовок.

Температура коагуляции белка принята 61°C, желтка — 65°C. Однако, как указывают

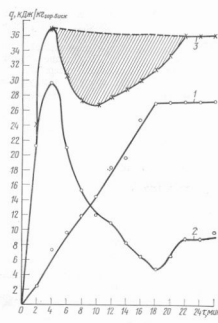


Рис. 3. График количества тепла, затраченного: 1 — на испарение влаги; 2 — на прогрев бисквита; 3 — на его запекание.

А. Л. Романов и А. Н. Романова, яичный белок уплотняется в гель при температуре, близкой к 52°C , а при 65°C теряет текучесть, при 70°C масса еще гелеобразна и нежна и только при более высокой температуре она уплотняется. Желток свертывается при более высокой температуре, чем белок. Добавление сахара задерживает коагуляцию.

В зависимости от расположения слоев процесс денатурации яичных продуктов в бисквите происходит в разное время. В боковых и нижних слоях, которые подвергаются более быстрому прогреву, денатурация наступает быстрее.

Судя по среднемассовой температуре образца, которая определялась по формуле

$$t_{\text{ср.м}} = \frac{m_{\text{б}}^{\text{б}} t_{\text{б}} + m_{\text{с}}^{\text{с}} t_{\text{с}} + m_{\text{д}}^{\text{д}} t_{\text{д}}}{m_{\text{б}}^{\text{б}} + m_{\text{с}}^{\text{с}} + m_{\text{д}}^{\text{д}}}, \quad (6)$$

к 10-й минуте выпечки можно считать, что денатурация белков в общем завершена. $t_{\text{ср.м}}$ к этому моменту достигает 75°C . Клейстеризация крахмала сопровождается также эндотермическим эффектом, что было отмечено в работах А. С. Гивизбурга, В. И. Назарова, Я. Г. Островского, А. Кюнтцель, К. До-

нер. При недостаточном количестве воды она протекает в интервале от 50 до 90°C .

Температура клейстеризации зависит также от количества сахара, на что указывал А. Т. Лисовенко. При небольшом количестве сахара она снижается, при большом — увеличивается. В рецептуру бисквитов входит 26—27% сахара; такая большая доза несомненно сквашивается на температуре клейстеризации крахмала.

Судя по среднемассовой температуре, клейстеризация крахмала заканчивается на 18—19-й минуте, $t_{\text{ср.м}} = 90^{\circ}\text{C}$. Принимая за основу данные Я. Г. Островского — затраты тепла на клейстеризацию крахмала составляет 23 кДж/кг, получаем, что в процессе выпечки 1 кг бисквита на клейстеризацию крахмала затрачивается 6—6,5 кДж.

Проведенные нами расчеты показали, что $q_{\text{исп}}^{\text{в}} = 243$ кДж/кг горячего бисквита, $q_{\text{пр}}^{\text{в}} = 166$ кДж/кг. Количество тепла, затраченное на испарение влаги и прогрев заготовки, составляет 409 кДж/кг.

Правильность полученных результатов была подтверждена нами при исследовании кинетики теплотоголожения бисквита с помощью слоистых датчиков, разработанных на кафедре теоретической и общей теплотехники КТИИП. Для определения общего количества подведенного тепла слоистые датчики размещали по центру верхней, боковой и нижней поверхностей. Как показали результаты исследований, количество тепла, воспринятое через верхнюю поверхность изделия, составляет 150—152 кДж/кг; через боковую — 134—151, нижнюю — 180—216 кДж/кг. Всего при выпечке 1 кг бисквита было поглощено 464—485 кДж.

Слоистые датчики регистрируют общее количество тепла, идущее на прогрев заготовки, испарение влаги и эндотермические процессы. Как показали наши расчеты, на прогрев заготовки идет 166 кДж/кг горячего бисквита, или 36%; на испарение — 243 кДж/кг, или 52%. Следовательно, 12% расходуется на клейстеризацию крахмала, денатурацию белков, увеличение объема заготовки и другие неучтенные эндотермические процессы. На рис. 3 это количество обозначено заштрихованной площадью.

Для правильной организации теплового режима с учетом технологических требований в начале процесса выпечки следует уменьшать подвод тепла сверху, чтобы не образовалась грубая корочка, и увеличить подачу тепла снизу, что будет способствовать лучшему росту заготовки, образованию равномерной пористости бисквита, а затем для интенсификации выпечки следует увеличить подачу тепла сверху.

Проведенные исследования дают возможность правильно подойти к разработке рационального режима выпечки. При обосновании режима надо учитывать необходимость обеспечить максимальный объем бисквитного полуфабриката при равномерном распределении плотности мякни по высоте и равномерно окрашенной гладкой поверхности изделий с тонкой коркой. Необходимо получить эластичный мякни с мелкой, тонкостенной и равномерно распределенной структурой пористости и хорошо пропеченный при наименьшей продолжительности процесса. При рациональном режиме должны быть снижены потери от упека, что увеличит выход продукции и уменьшит расход тепла.