

## **Методика экспериментального определения величины хрупкости фигурных вафельных изделий**

Аспирант Попов В.С., к.т.н. Семилетенко Б.Г., к.т.н. Тимошенко Ю.А.

Быстрое и точное измерение структурной прочности (хрупкости) вафельных изделий (листовых, фигурных и др.) является важным моментом позволяющим определить и в дальнейшем скорректировать их качество.

Хрупкость вафли можно оценить с помощью величины относительной деформации ( $\varepsilon$ ), которая определяется в соответствии с законом Гука [1] следующим соотношением:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{пч}}{E}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{пч}$  — предел прочности, [Па]

$E$  — модуль Юнга, характеризующий жесткость материала, [Па]

Существует ряд статей, в которых описаны методики определения хрупкости вафельных изделий, однако, предложенные способы имеют некоторые недостатки. В работе Мазур О.И. [2] при определении хрупкости вафель с начинками уделяется внимание лишь определению величины предела прочности, а величины относительной деформации и модуля Юнга, также имеющие не менее важное значение, остаются без рассмотрения. Незнание  $E$  и  $\varepsilon$  не позволяет сделать правильный и однозначный вывод о структуре материала, поскольку одно и то же значение предела прочности может быть обусловлено как малым модулем Юнга и большой относительной деформацией (мягкие вафли), так и, наоборот, большим значением модуля Юнга и малой величиной относительной деформации (хрупкие вафли).

В работе Казонен Ю.А. [3] приведена методика определения хрупкости в соответствии с законом Гука. Но с точки зрения сопротивления материалов экспериментальная установка, приведенная в данной статье, имеет ряд недостатков. Здесь не учтено сопротивление прибора, к тому же вафли упираются на пластины и испытывают давление производимое плоскостью, из-за чего понижается точность измерений. Сама установка представляется не очень надежной и не удобной для частого использования.

Целью нашей работы явилось создание более совершенной, простой и точной методики, дающей более достоверные результаты и пригодной для применения в условиях реального производства.

В качестве объектов исследования использовали диетические сладкие фигурные вафельные изделия на пшеничной муке с различным содержанием сахарозаменителей (ксилита и изомальта) взятых в разных соотношениях.

Для определения хрупкости вафель из теста приготовленного по рецептуре выпекали листовые изделия из которых получали образцы шириной 20 мм, длиной 80 мм и толщиной 1,5 мм (форма балки).

Схема экспериментальной установки представлена на рис.1

Экспериментальная установка позволяет определить величину прогиба вафельного образца (у<sub>тах</sub>) в соответствии с установленной нагрузкой. Зная эти величины можно найти  $\sigma$ ,  $E$  и  $\epsilon$ .

Основные элементы установки представлены двумя жестко укрепленными опорными призмами-1 ребрами вверх, на которые кладется образец-2 таким образом, чтобы под ним оставалось пространство для прогиба. Расстояние между призмами строго фиксировано и составляет 60мм. На образец вафли строго посередине его длины давит третья призма-3 ребром вниз, которая укреплена на одном из концов штока-4 индикатора малых перемещений (ИМП)-5. Призма 3 установлена параллельно опорным призмам и подвижна на винте-6 для того, чтобы ложиться на образец по всей его ширине без зазоров. Сам ИМП имеет возможность перемещаться вверх-вниз во втулке-7 укрепленной на стойке-8 для более плотного прилегания призмы-3 к образцу вафли. Фиксация ИМП осуществляется стопорящим винтом-9. Давление на второй конец штока ИМП осуществляется грузом, который связан с равноплечим рычагом-10. Один конец рычага закреплен винтом к неподвижной стойке т. о., что он может поворачиваться, а на второй конец подвешена тарелка для груза-11. Сам рычаг строго посередине упирается уголком-12 на второй конец штока ИМП. Такая конструкция позволяет свободно располагать груз на тарелке и избежать перекосов в штоке ИМП. При подсчете вес груза умножается вдвое.

Применяемая нами конструкция позволяет нагружать образцы вафель сосредоточенной силой, действующей ребром призмы строго посередине и по всей ширине образца.

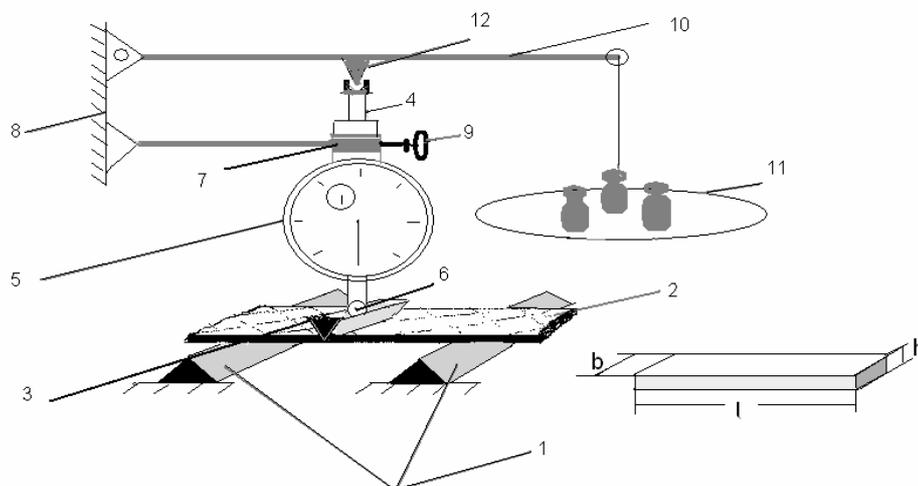


Рис.1 Схема экспериментальной установки по определению хрупкости вафель

При проведении исследований образцы нагружали статически с шагом 20 г. Прогиб образцов фиксировали индикатором малых перемещений.

Испытания каждого образца фигурных вафельных изделий проводили в 8 повторностях.

Перед началом исследования образцов, необходимо также вычислить величину сопротивления экспериментальной установки, которая возникает в пружине ИМП. Для этого прибор нагружают в холостую и строят зависимость: нагрузка – перемещение стрелки индикатора. Сопротивление пружины подчиняется линейной зависимости, которая хорошо описывается уравнением прямой:

$$F = a \Delta l + b \quad (2)$$

где,  $F$  – сила, с которой груз давит на тарелку-11;  $F = mg$  [Н],  
 $\Delta l$  – перемещение стрелки индикатора малых перемещений, [мм],  
 $a$  и  $b$  – коэффициенты прямой,  
 $m$  – масса груза, [г],  $g$  – ускорение свободного падения (9,81 м/с<sup>2</sup>).

Отсюда, в результате аналитического решения системы уравнений можно определить величину коэффициентов  $a$  и  $b$ , которые в дальнейшем вычитаются при определении истинной нагрузки действующей на образцы.

Расчет предела прочности осуществляется по формуле:

$$\sigma_{пч} = \frac{M_{изг.}}{W_{изг.}} \text{ [Па]} \quad (3)$$

Для данного случая, когда сила  $F$  приложена к середине пластины, изгибающий момент:

$$M_{изг.} = \frac{Fl}{4} \text{ [Н*м]} \quad (4)$$

где,  $l$  – длина вафельного образца между опорами, м.

Момент сопротивления изгибу для прямоугольного сечения с основанием  $b$  и высотой  $h$  составляет:

$$W_{изг.} = \frac{bh^2}{6} \text{ [м}^3\text{]} \quad (5)$$

$$\text{Отсюда, } \sigma = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (6)$$

Величину модуля упругости (Юнга) определяем из формулы:

$$E = \frac{Fl^3}{48Y_{у_{max}}} \text{ [Па]}, \quad (7)$$

$$Y = \frac{bh^3}{12} \text{ [м}^4\text{]} \quad (8)$$

где,  $u_{max}$  — прогиб образца под воздействием нагрузки, установленный ИМП, [мм],  $Y$  — момент инерции прямоугольника образца относительно его центральной оси.

Определение величины хрупкости проводилось на образцах диетических вафельных изделий, в которых сахара полностью заменялась одним или двумя сахарозаменителями в следующих соотношениях (% к массе муки): №1 – изомальт 30%; №2 – изомальт 25%, ксилит 5%; №3 – изомальт 20%,

ксилит 10%; №4 – изомальт 15%, ксилит 15%; №5 – изомальт 10%, ксилит 20%; №6 – изомальт 5%, ксилит 25%; №7 – ксилит 30% и №8 – контроль (сахароза 36,0%).

Результаты эксперимента приведены в таблице №1.

Таблица 1. Результаты эксперимента по определению хрупкости вафель с различной концентрацией сахарозаменителей.

Наименование показателя	Номера образцов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma_{пч}$ , МПа	2,16	2,14	2,1	2,06	1,98	1,86	1,62	2,14
E, МПа	1153	898	657	533	359	233	121	912
$\epsilon$ , %	0,19	0,24	0,32	0,39	0,55	0,8	1,34	0,23

Как видно из таблицы 1 с увеличением доли ксилита в общем объеме сахарозаменителей жесткость (E) образца снижалась, а относительное удлинение ( $\epsilon$ ) возрастало, вафли становятся мягкими, легко деформируемыми. С увеличением в образцах доли изомальта наблюдалась обратная картина. Вафельные изделия с концентрацией 25% изомальта и 5% ксилита по показателю хрупкости ближе всего приближаются к контролю.

Таким образом, данная методика позволяет достаточно определенно характеризовать структурно-механические свойства вафель. Она может быть применена на предприятиях вырабатывающих подобные изделия. Ее достоинства: простота, оперативность и дешевизна.

## Список литературы

1. Кинасошвили Р.С. Соппротивление материалов. Изд-во «Наука», 1975, стр 33.
2. Мазур О.И. Структурная прочность – объективный показатель качества вафель. // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1986 - №9, стр. 27-30
3. Казонен Ю.А., Красильников В.Н., Леонтьева Н.А. Разработка метода оценки структурной прочности вафельных листов //Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI в., СПб, 2003, -СПб:СПГУНПТ, 500-502