

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРЕХОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ИХ ОБРАБОТКИ

Н.Н. Курилович, В.А. Шуляк, А.В. Акулич, А.В. Буглак

Проведены исследования физико-механических свойств сырых, высушенных и обжаренных орехов. Определены модуль продольной упругости, разрушающие напряжения для орехов при различных видах их обработки. Установлено, что разрушение орехов носит хрупкий характер. Результаты экспериментальных исследований использованы при проектировании и внедрении измельчителя орехов «ИО-50». Найдено, что после измельчения обжаренного арахиса доля частиц размером от 2 до 8 мм составляет 84%, менее 2 мм – 16%. По сравнению с измельчением на мясорубках содержание частиц менее 2 мм снижено более чем в 2 раза.

Введение

В кондитерской промышленности в качестве основного сырья и добавок широко применяют обжаренные орехи в цельном, измельченном и перетертом в пасту виде. Из них изготавливают различные наполнители для конфет, пралине, марципан, которые получают из дробленых ядер обжаренных и сырых орехов. Используемые для производства ореховых конфет ядра миндаля, арахиса, кешью, фундука высококалорийны, содержат в своем составе ценные минеральные вещества, витамины, белки, жиры и углеводы, обуславливая их высокую пищевую ценность. При обжарке происходят химические преобразования состава ядер, вызывающие изменения вкуса, аромата, цвета и структуры. В результате термообработки содержание влаги в ядрах орехов уменьшается с 4–7 до 2,5–3,0%, что увеличивает их хрупкость [1].

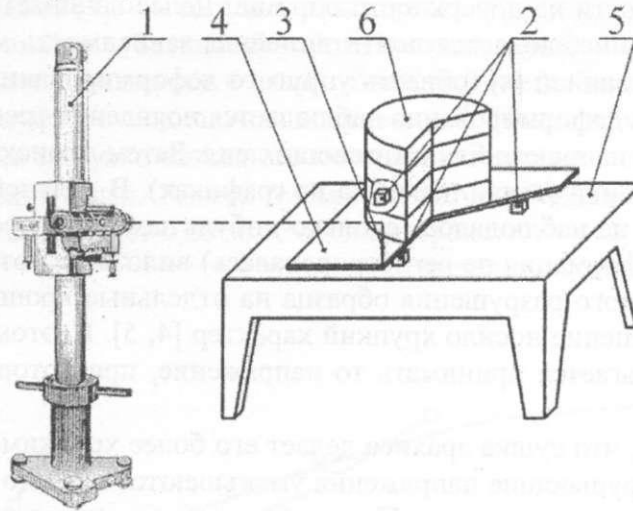
На малых перерабатывающих предприятиях в основном используются дробленые орехи. Измельчению подвергают обжаренные орехи ввиду того, что после дробления выделяется большое количество жира, которое приводит к комкованию и затрудняет процесс перемешивания при обжаривании. Продукт измельчения, как правило, разделяется на две фракции, размер кусочков от 0 до 2 мм (мучка) и от 2 до 8 мм. Зачастую из-за отсутствия специализированного оборудования измельчение проводят на мясорубках (сменные механизмы к универсальным кухонным машинам МС 2-70, МС 2-150, ММП-11-1 [2]), где продукт уплотняется, испытывая объемное деформирование, и подходит к режущим инструментам в виде сплошной плотной массы. При измельчении на таком оборудовании содержание мучки в готовом продукте порой превышает 35%. Мучка является условным отходом производства и отпускная цена ее меньше, поэтому одной из основных задач оборудования для измельчения орехов является получение наименьшего количества продукта размером частиц менее 2 мм. Для решения этой задачи необходимо выбрать рациональный способ измельчения орехов на основе их физико-механических характеристик, которые дадут достоверную информацию о характере и напряжениях разрушения. Результаты исследований могут быть использованы при разработке и проектировании оборудования для измельчения.

Результаты исследований и их обсуждение

Для исследования физико-механических свойств орехов использована экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1 [3]. Образцы 2 изготавливаются в виде куба. Далее на них укладывалась специальная пластина 4 с впаянной иглой 3. На эту пластину прикладывали статически грузы 6. О величине возникающей при нагружении деформации судили по перемещению конца иглы. Сжатие испытуемых образцов определяли по смещению иглы относительно первоначального положения с помощью оптического прибора "Катетометр В-630" 1, позволяющего проводить измерения с точностью 0,001 мм.

Применение прибора "Катетометр В-630" позволило получить точные эксперименталь-

ные данные, полностью исключив влияние различных факторов на деформацию образцов. По результатам опытов строили кривые деформирования в координатах напряжение – относительная деформация ($\sigma - \epsilon$).

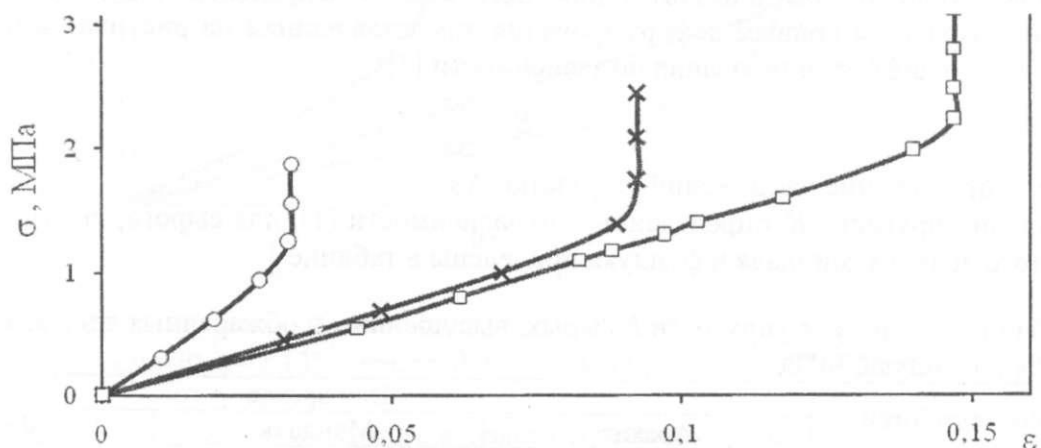


1 – катетометр В-630; 2 – образцы, подвергаемые линейному статическому сжатию;
3 – игла; 4 – опорная пластина; 5 – опорная плита; 6 – набор грузов

Рисунок 1 – Экспериментальная установка для измерения деформации при сжатии

В качестве исследуемых материалов выбраны ядра арахиса, миндаля и фундука, т.к. они наиболее широко используются в кондитерской промышленности. Для обеспечения воспроизводимости экспериментальных данных нагружению подвергались образцы постоянного поперечного сечения с размером сторон около 4 мм, нарезанные из ядер орехов сырых, высушенных и обжаренных. Обжарка осуществлялась посредством кондуктивного теплообмена, при температуре греющей поверхности 140–160°C. В процессе термообработки образцы интенсивно перемешивались для равномерного обжаривания. Обжарка прекращалась после достижения характерного окрашивания зерен в светло-коричневый цвет. Влажность образцов определялась на электронном анализаторе влажности Sartorius MA 45.

Кривые деформирования сырого, высушенного и обжаренного арахиса сорта «Вирджиния» представлены на рисунке 2.



—x— Обжаренный $u=2,13\%$ —o— Высушенный $u=2,75\%$ —□— Сырой $u=36\%$

Рисунок 2 – Кривые деформирования арахиса сорта «Вирджиния»

На всех кривых наблюдается некоторая общая закономерность, при этом условно можно выделить три стадии деформирования. В самом начале нагружения наблюдается некоторый нелинейный закон деформирования. Это можно объяснить тем, что в первую очередь разрушаются микронеровности на поверхности образца. Далее начинается равномерное деформирование образцов, где наблюдается почти линейная зависимость между напряжением (σ) и относительной деформацией (ϵ) (область упругого деформирования, подчиняющаяся закону Гука). В конце стадии деформирования наблюдается появление трещин в образцах. Рост этих трещин происходит в направлениях сжимающих сил. Затем происходит раскалывание образца на отдельные столбики (точки перегиба на графиках). В дальнейшем с повышением сжимающих напряжений не наблюдалось сколько-нибудь заметной продольной деформации образца (поперечная деформация не регистрировалась) вплоть до потери устойчивости отдельных столбиков и полного разрушения образца на отдельные крошки (верхняя точка на графиках), то есть разрушение носило хрупкий характер [4, 5]. Поэтому в этих условиях за предел прочности предлагается принимать то напряжение, при котором образцы теряют свою устойчивость.

Следует отметить, что сушка арахиса делает его более хрупким, что подтверждается данными работы [1]. Разрушающие напряжения уменьшаются с 3,3 до 1,9 МПа. Это можно объяснить потерей влаги в его структуре. После обжарки разрушающие напряжения возрастают, однако напряжения конца стадии деформирования у высушенного и обжаренного арахиса практически одинаковые и составляют порядка 1,3 МПа. После обжарки разрушающее напряжение составило 2,4 МПа.

Разрушение сырого миндаля носит хрупкий характер (рисунок 3), однако в данном случае практически отсутствует вертикальный участок кривой и разрушение происходит в конце действия упругих деформаций. Разрушающее напряжение составило порядка 1,9 МПа. После сушки миндаль становится более жестким и разрушающие напряжения возрастают до 2,7 МПа, появляется участок потери устойчивости. После обжарки разрушение миндаля носит пластичный характер. Это можно объяснить тем, что ядра миндаля содержат около 60% жира, который вследствие термообработки изменяет структуру ядер. Разрушающие напряжения обжаренного миндаля составляют 2 МПа.

Разрушение фундука (рисунок 4) также носит хрупкий характер, но в отличие от арахиса и миндаля сушка приводит к падению жесткости. Для сырого фундука разрушающие напряжения составляют 2,8 МПа, высушенного 1,8 МПа. Термообработка придает жесткость ядрам и увеличивает разрушающие напряжения до 2 МПа.

Одной из важнейших механических характеристик является величина модуля упругости E орехов в условиях статического одноосного сжатия. Определен модуль упругости E по экспериментальным кривым деформирования, представленным на рисунках 2 и 4, методом графического дифференцирования по зависимости [4]:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}, \quad (1)$$

где $\Delta\sigma$ – приращение напряжений на участке $\Delta\epsilon$.

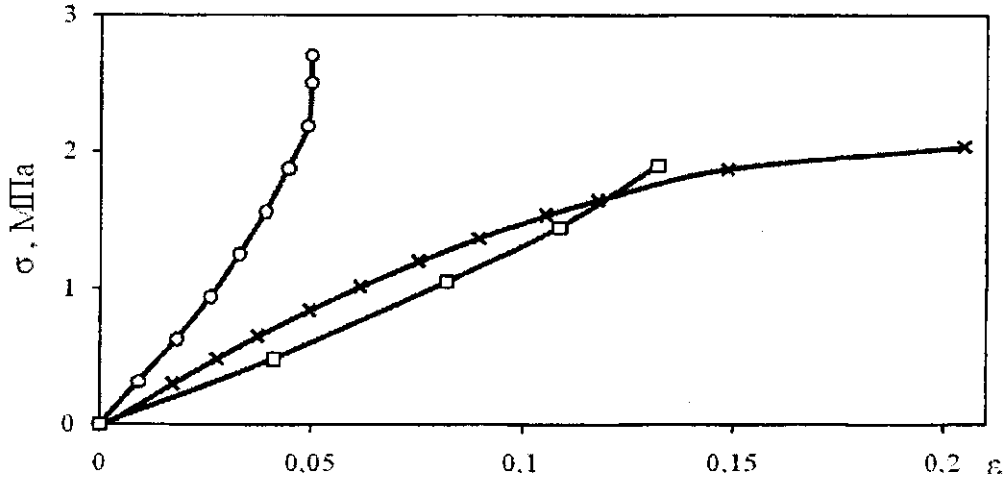
Модули упругости E , определенные по зависимости (1), для сырого, высушенного и обжаренного арахиса, миндаля и фундука приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Модули упругости E сырых, высушенных и обжаренных ядер арахиса, миндаля и фундука, МПа.

Способ обработки	Вид орехов		
	Арахис	Миндаль	Фундук
Сырой	14,1	14,3	18,5
Высушенный	38,8	44,5	10,3
Обжаренный	15,4	14,4	32,3

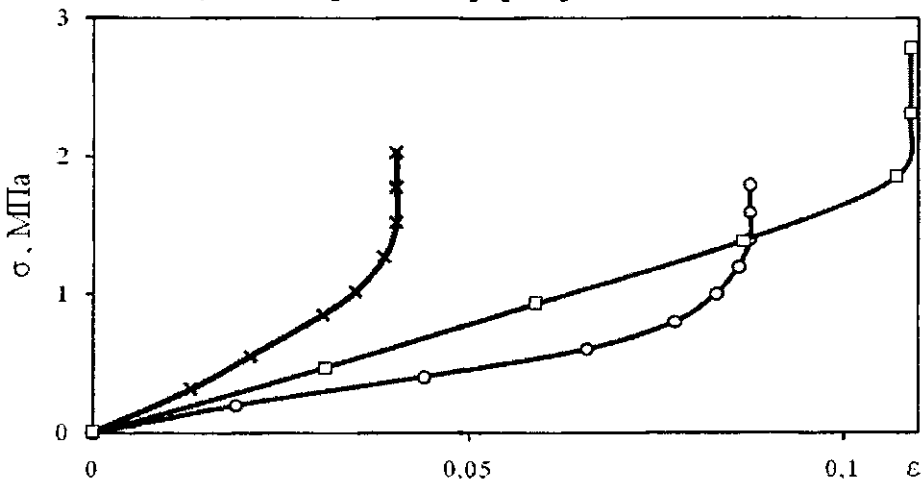
Эксперименты показали, что для всех видов орехов после обжарки разрушение носит хрупкий характер. Таким образом, можно сделать вывод, что измельчение орехов целесооб-

хрупкий характер. Таким образом, можно сделать вывод, что измельчение орехов целесообразнее проводить путем раскалывания [6]. Результаты исследований использованы при разработке и проектировании измельчителя орехов «ИО-50» (рисунок 5), где измельчение происходит путем раскалывания [7]. Он состоит из корпуса 1, с установленным в нем в подшипниковых опорах 2 барабанным зубчатым ротором 3, статорной гребенчатой пластины 4, установленной под наклоном и входящим в пазы зубчатого ротора. Корпус смонтирован на раме 5 и через упругую муфту 6 подключен к приводу 7. Непосредственно над дробилкой смонтирован бункер 8 для загрузки исходного материала. Зазор между гребенчатым ножом и зубчатым ротором регулируемый. Размер зубьев зубчатого барабана равен 4×4 мм. Зазор между зубьями и ножом составляет 0,25 мм с обеих сторон.



—x— Обжаренный $\mu=2,13\%$ —o— Высушенный $\mu=2,75\%$ —□— Сырой $\mu=36\%$

Рисунок 3 – Кривые деформирования миндаля



—x— Обжаренный $\mu=2,13\%$ —o— Высушенный $\mu=2,75\%$ —□— Сырой $\mu=36\%$

Рисунок 4 – Кривые деформирования фундука

На этой установке проведены эксперименты по измельчению обжаренного и высушенного арахиса с последующим ситовым анализом [8]. На рисунке 6 представлены дифференциальные и интегральные кривые распределения продуктов помола высушенного и обжаренного арахиса.

Анализ кривых на рисунке 6,а показывает, что после измельчения обжаренного арахиса

доля частиц размером от 2 до 8 мм составляет 84%, менее 2 мм – 16%, высушенного 81,4% и 18,6% соответственно. В сравнении с измельчением на мясорубках содержание мучки снижено в 2 раза. Из анализа зависимостей на рисунке 6,б следует, что после обжарки содержание частиц размером 1–2 мм падает с 18% до 13%, увеличивая тем самым долю частиц 2–3 мм и 3–4 мм, т.е. при измельчении высушенного арахиса мучки образуется больше. Мучка образуется в местах, где происходит срез и поверхностное деформирование ядер орехов, вследствие контакта с зубьями зубчатого ротора и гребенчатого ножа. Как показал эксперимент, арахис после обжарки стал более пластичным (рисунок 2), разрушающие напряжения и участок потери устойчивости у него выше, чем у высушенного арахиса. Этим и можно объяснить установленный факт.

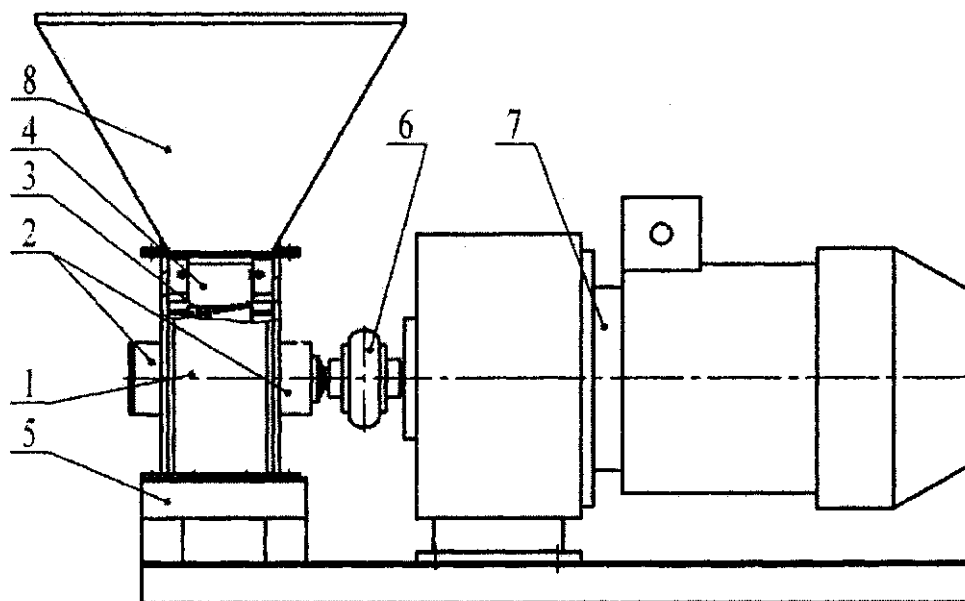


Рисунок 5 – Измельчитель орехов «ИО-50»

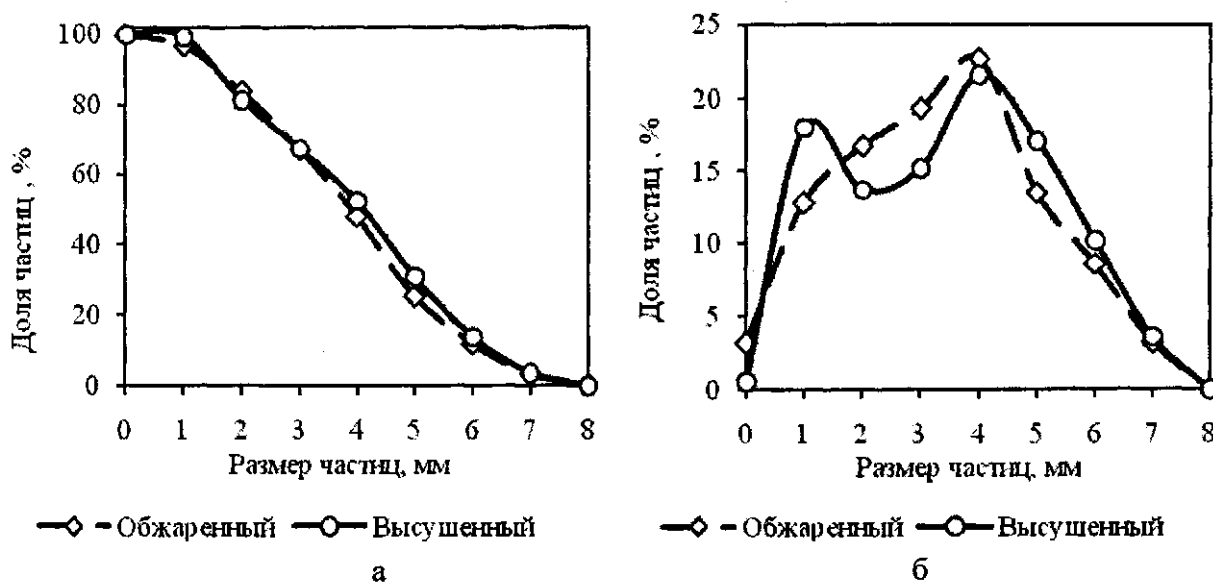


Рисунок 6 – Кривые распределения продуктов помола арахиса

Полученные данные могут быть использованы для определения рациональных режимов работы уже существующего оборудования для переработки орехов, а также при разработке, проектировании и внедрении нового промышленного оборудования для измельчения, шелушения, очистки, бланширования орехов. Измельчитель орехов «ИО-50» внедрен на кондитерской фабрике ПРТЧУП «НЕОФАРМ».

Заключение

Представлены экспериментальные результаты по физико-механическим свойствам сырого, высушенного, обжаренного арахиса, миндаля и фундука. Изучен механизм статического деформирования. Установлено, что разрушение образцов носит хрупкий характер. Для каждого материала определены разрушающие напряжения и модуль продольной упругости E . У обжаренного арахиса сорта «Вирджиния» разрушающее напряжение составило 2,4 МПа; $E=15,4$ МПа. Измельчение орехов целесообразнее проводить путем раскалывания.

Литература

1. Минифай, Б.У. Шоколад, конфеты, карамель и другие кондитерские изделия / Б.У. Минифай; перевод с англ. под общ. науч. ред. Т.В. Савенковой. – СПб.: Профессия, 2005. – 808 с.
2. Груданов, В.Я. Оборудование предприятий общественного питания. учебное пособие для проф.-технич. училищ. / В.Я. Груданов, И.Ю. Давидович; Под ред. д.т.н., проф. В.Я. Груданова. – Минск: Изд. центр БГУ, 2003. – 345 с.
3. Курилович, Н.Н. Физические свойства ушлотненного макаронного теста, изготовленного с использованием ржаной муки / Н.Н. Курилович, Е.Ф. Тихонович / Сборник научных трудов. К 30-летию Могилевского государственного университета продовольствия / Редкол. Т. С. Хасаншин и др. – Минск: Изд. центр БГУ, 2003. – С. 110–115.
4. Павлов, П.А. Механические состояния и прочность материалов: учеб. пособие / П.А. Павлов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979. – 176 с.
5. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. – М.: Издательство "Наука", Главная редакция физико-математической литературы, 1974. – 640 с.
6. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Изд. седьмое. / Касаткин А.Г. – Москва: «Химия», 1973. – 752 с.
7. Буглак А.В. Разработка и исследование дробилки для орехов / А.В. Буглак, В.А. Шуляк // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. V Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов 26-27 апреля 2006г., Могилев / УО «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: УО «МГУП», 2006. – С. 222.
8. Буглак А.В. Результаты экспериментальных исследований дробления жареного и сырого арахиса / А.В. Буглак, В.А. Шуляк // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. V Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов 26-27 апреля 2006г., Могилев / УО «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.].-Могилев: УО «МГУП», 2006. – С. 250.

Поступила в редакцию 3.12.2009