

## Процессы Измельчения Материалов

*Нематов Эркинжон Хамроевич;*

*Каландаров Наврузбек Олимбаевич*

*Ташкентский государственный технический университет  
имени Ислама Каримова*

**Аннотация:** В данной статье представлены процессы измельчения сырья и их классификация по видам и степени измельчения, а также расчетные формулы основных теорем и правил повышения эффективности процесса измельчения. Также дана информация о способах резания и их расчете в процессе измельчения.

**Ключевой слова:** измельчения, закона Гука, гипотезу Кика, гипотезы Ритингера, уравнения Бонда, виды резания

**Измельчение**-процесс деления материалов на части путем их раздавливания, раскалывания, истирания, удара, резания и распиливания. При этом преодолеваются силы молекулярного притяжения в измельчаемом материале и образуются новые поверхности. Схемы способов измельчения приведены на рис.1.

Процессы измельчения разделяются на дробление (крупное, среднее и мелкое), резание, распиливание и т. д.

При раздавливании материал помещают между нажимной и опорной плитами. На нажимную плиту действует сила  $F$ , под действием которой внутреннее напряжение в материале постепенно возрастает. Когда внутреннее напряжение превысит предел прочности сжатия материала, он разрушается. При разрушении образуются куски различного размера и формы. Этот процесс происходит в валковых дробилках, бегунах (рис.1, а).

Раскалывание возникает в результате контакта материала с клинообразным рабочим органом, когда на материал воздействует концентрированная сила  $F$  (рис.1, б).

Разламывание осуществляется путем воздействия на материал, находящийся между двумя опорами, изгибающих сил  $F$  (рис.1, в). Для резания (рис.1, г) применяют ножи различной конструкции. Для распиливания туш используют пилы и фрезы. Распиливание осуществляется вследствие нажима пилы в плоскости измельчения  $F$  (рис. 1, д).

Истирание предназначено для тонкого помола материала. При перемещении опорной и нажимной плит в противоположных направлениях возникает сила  $F$ , воздействующая на измельчаемый материал (рис.1, е).

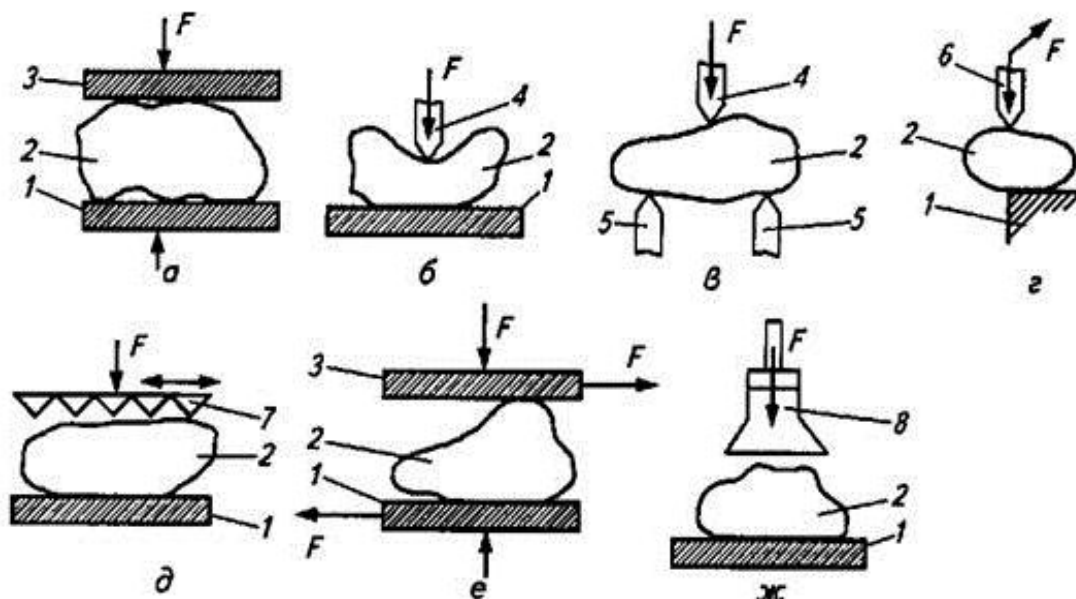


Рис. 1. Способы измельчения.

*а-раздавливание, б-раскалывание, в-размывание, г-резание, д-распиливание, е-истирание, ж-измельчение ударом, 1-опорная плита, 2-материал, 3-нажимная плита, 4-клинообразный рабочий орган, 5-опоры, 6-нож, 7-пила, 8-ударный инструмент*

Измельчение материала ударом осуществляют в дробилках или ударным инструментом, например топором (рис.1, ж). Различают свободный удар твердым ударным инструментом и стесненный удар - при взаимодействии измельчающего материала с поверхностью опорной плиты, как это происходит в молотковых дробилках, дезинтеграторах.

Для измельчения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции используют дробилки, мясорубки, терки, ножи, фрезы, пилы и протирочные машины.

Классификация - процесс разделения однородного материала по величине, форме и качеству. По технологическим требованиям часто требуется использовать классификацию при переработке материалов, размеры, форма и качество которых должны находиться в строго определенных пределах. Например, при инспекции и консервировании фруктов и овощей их классифицируют по перечисленным признакам.

Процесс проводят в дробилках и мельницах, начиная с измельчения глыб и кончая коллоидным измельчением. Размер частиц после коллоидного измельчения составляет до 1 мкм.

Процесс измельчения характеризуется степенью измельчения, т.е. отношением среднего размера куска  $i$  до измельчения  $d_n$  к среднему размеру куска после измельчения  $d_k$ .

$$i = \frac{d_n}{d_k}$$

Обычно куски измельчаемого материала и куски или частицы, получаемые в результате измельчения, не имеют правильной формы. На практике размеры кусков ( $d_n$  и  $d_k$ ) характеризуются размером отверстий сит, через которые просеивают сыпучий материал до и после измельчения.

Для достижения высоких степеней измельчения процесс проводят в несколько стадий на последовательно установленных машинах.

Вид измельчения	$d_n$ , мм	$d_k$ , мм
Крупное	1500÷2000	250÷
Среднее	200÷25	25÷5
Мелкое	25÷5	5÷1
Тонкое	5÷1	1÷0,075
Коллоидное	0,2÷0,1	до $10^{-4}$

Крупное и среднее измельчение проводят сухим способом, а мелкое и тонкое мокрым способом, обычно в воде. При мокром измельчении частицы продукта получаются более равномерными по величине. При этом резко уменьшается образование пыли и упрощается выгрузка готового продукта.

В зависимости от начальных и конечных размеров наибольших кусков и частиц материала измельчение подразделяется на следующие виды:

Выбор метода измельчения зависит от крупности и прочности кусков измельчаемых материалов.

Прочные и хрупкие материалы измельчаются раздавливанием и ударом, прочные и вязкие - раздавливанием, вязкие материалы средней прочности - истиранием, ударом и раскалыванием.

Измельчение может проводиться в один или несколько приемов, в открытых или замкнутых циклах.

При измельчении в открытом цикле куски материала проходят через измельчающую машину один раз. Если в исходном материале имеется примесь мелочи, то ее предварительно отсеивают. В открытом цикле, как правило, проводят крупное и среднее дробление.

При измельчении в замкнутом цикле после измельчающей машины устанавливают классифицирующее устройство, с помощью которого куски, размеры которых превышают установленный конечный размер, вновь транспортируются в измельчающую машину на повторное дробление.

Процессы измельчения связаны с затратой большого количества энергии. Расход энергии на измельчение может быть определен на основании существующих теорий измельчения.

Поверхностная теория исходит из того, что при измельчении работа расходуется на преодоление сил молекулярного притяжения по поверхностям разрушения материала. Из этой теории следует, что работа, необходимая для измельчения, пропорциональна вновь образующейся поверхности измельчаемого материала.

Объемная теория исходит из того, что при измельчении работа расходуется на деформации материала до достижения предельной разрушающей деформации. Отсюда следует, что работа, необходимая для измельчения, пропорциональна уменьшению объема кусков материала перед их разрушением.

Полная работа внешних сил выражается уравнением Ребиндера

$$A = A_d + A_n = K_1 \cdot \Delta V + K_2 \cdot \Delta F$$

где,  $A_d$  работа, затрачиваемая на деформацию объема разрушаемого куска (Дж),  $A_n$  работа, затрачиваемая на образование новой поверхности (Дж),  $K_1$  коэффициент пропорциональности, равный работе деформирования единицы объема тела,  $\Delta V$  изменение

объема разрушаемого тела,  $K_2$  коэффициент пропорциональности, равный работе, затрачиваемой на образование единицы новой поверхности,  $\Delta F$  приращение вновь образованной поверхности.

На основании закона Гука работа деформации материала при сжатии,  $H \cdot m$ ,

$$A_d = \frac{\sigma^2 \cdot \Delta V}{2E}$$

$$A_d = \frac{\sigma^2 \cdot \Delta V}{2E} + K_2 \cdot \Delta F$$

где,  $\Delta V$  уменьшение объема кусков материала в результате их деформации перед разрушением ( $m^3$ ),  $E$  модуль упругости материала ( $H/m^3$ ),  $\sigma$  разрушающее напряжение сжатия ( $H/m$ ).

В случае крупного дробления с малой степенью измельчения можно пренебречь работой, затрачиваемой на образование новой поверхности, и, учитывая, что  $\Delta V = D^3$ , получим

$$A = K_1 \cdot \Delta V = K_1' \cdot D^3$$

где,  $D$  характерный размер куска.

Уравнение (5) выражает гипотезу Кика - Кирпичева: работа дробления пропорциональна объему дробимого куска.

Для дробления с большой степенью измельчения можно пренебречь работой, затрачиваемой на деформирование объема куска. Тогда, учитывая, что  $\Delta V = D^3$ .

Это уравнение является выражением гипотезы Риттингера, согласно которой работа дробления пропорциональна величине вновь образованной при дроблении поверхности. В случае, когда нельзя пренебречь слагаемыми в уравнении (2) получаем уравнение

$$A = K_3 \sqrt{D^3 \cdot D^2} = K_3 \cdot D^{2.5}$$

Которое называется уравнением Бонда: работа дробления пропорциональна среднегеометрическому из объема и площади поверхности куска.

$$A = K_1 \cdot \Delta F = K_2' \cdot D^2$$

Резание можно разделить на собственно резание и рубку. При рубке резец перемещается только в перпендикулярном направлении к материалу, а при резании он движется как в перпендикулярном, так и в параллельном направлении к кромке материала. При рубке резец или клин проникает в толщу, например, мяса и уплотняет его верхний слой. При рубке поверхность получается не гладкой, не имеющей определенной формы. Рубку применяют, когда к поверхности среза не предъявляют специальных требований.

Для резания пластических материалов применяют струну. Полная работа, затрачиваемая на резание,  $D_{ж}$ ,

$$A_{полн} = A_{сжс} - A_n$$

где,  $A_{сжс}$  работа, затрачиваемая на сжатие продукта ( $D_{ж}$ ),  $A_n$  полезная работа резания ( $D_{ж}$ ).

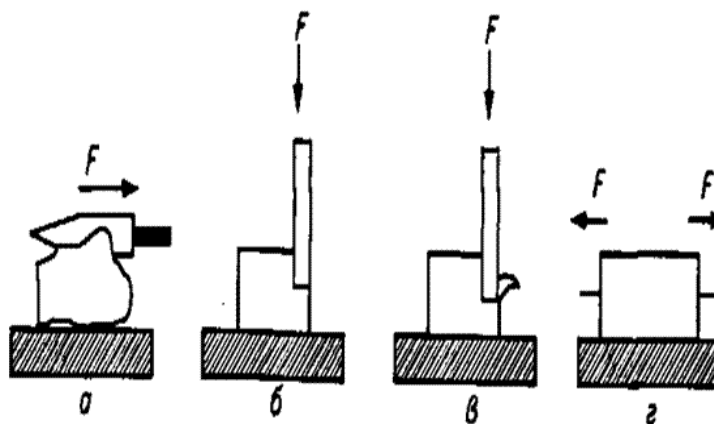


Рис. 3. Виды резания

*а-ножым, б-пуансоным, в-резцым, г-струний*

Резание можно рассматривать как процесс, состоящий из двух последовательных стадий: сначала лезвие ножа сжимает материал, а затем перерезает его, образуя ровную поверхность среза.

Работа, затрачиваемая на сжатие, выражается уравнением, предложенным акад. В. Л. Горячкиным,

$$A_{сж} = \frac{\mathcal{E} \cdot h_{сж}}{h}$$

где,  $\mathcal{E}$  условный модуль сжатия материала лезвием ножа (Дж),  $h_{сж}$  высота того слоя материала (м),  $h$  первоначальная высота материала (м).

$$A_n = F_{рез}(h - h_{сж})$$

где,  $F_{рез}$  усилие резания.

Условный модуль сжатия материала лезвием ножа определяют экспериментальным путем. Его величина зависит от свойств материала, вида ножа, состояния лезвия, усилия резания и других факторов. Лезвие режущего инструмента характеризуется режущей способностью, которая в процессе эксплуатации уменьшается. Из-за перечисленных причин полную работу резания определить расчетным путем достаточно трудно.

Технологическим свойством материала при резании является его податливость резанию. Величина, обратная податливости, определяет способность материала сопротивляться резанию.

Коэффициент полезной работы лезвия представляет собой отношение полезной работы к полной:

$$K_L = \frac{A_n}{A_{полн}}$$

Способность лезвия разделять материал на части является его режущей способностью, которая зависит от усилия резания: чем усилие резания меньше, тем режущая способность лезвия больше. Однако режущая способность лезвия уменьшается по мере его износа. Важным технологическим параметром лезвия является скорость резания, под которой понимают скорость перемещения лезвия в направлении резания. С увеличением скорости резания усилие резания уменьшается. Естественно, что при резании мягких продуктов уменьшается усилие резания, увеличиваются скорость резания и срок эксплуатации лезвия.

В пищевой промышленности применяют режущие инструменты разнообразных форм: прямоугольные, дисковые, ленточные, серповидные и др. Режущие инструменты могут совершать вращательное, возвратно-поступательное, колебательное движение, но могут быть и неподвижными, в то время как изрезаемый материал находится в движении в машине.

#### Литература.

1. Вашкевич В.В., Горнец О.Б., Ильичев Г.Н. Технология и технология производства муки. – Барнаул: 2000.
2. Демский А.Б., Веденьев В.Ф. Оборудование для производства муки, крупы, комбикормов. Справочник. – М.: ДеЛи принт, 2005.
3. Nematov E., Kalandarov N., Sadillaeva S. MILL SYSTEM ROTARY ROLLER CYLINDERS. *Academicia Globe: Inderscience Research*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/UYMBD> Volume 3. Issue 3, Mar, 2022. P. 177-181.
4. Nematov E., Kalandarov N., Sadillaeva S. Requirements for the Use of Rotary Shafts Used on Roller Looms. <https://www.geniusjournals.org/index.php/esh/article/view/822> Eurasian Scientific Herald. Volume 6. March, 2022. P.70-72
5. Садыков, И. Ш. (2023). Динамика Изменений Микроэлементарного Состава Эритроцитов Крови У Спортсменов С Различной Физической Нагрузкой. *Research Journal of Trauma and Disability Studies*, 2(2), 113-119.
6. Авизов, С. Р., Садыков, И. Ш., & Саломов, Б. Х. (2023). ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ HLORELLA VULGARIS В РАЦИОНЕ ПИТАНИЯ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ И ПРОФИЛАКТИКИ СПРОТСМЕНОВ С ТРАВМАМИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 15, 252-257.
7. Садыков, И. Ш., & Камалова, Ф. Р. (2021). ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ ОТРАВЛЕННЫХ БИДЕРОНОМ. *Актуальные вопросы и перспективы развития науки, техники и технологии*, 11.