

УДК 621.793.7.001.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ С ДИСКРЕТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРОБЛЕНИЯ ЗЕРНА***канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН**(Полоцкий государственный университет),**канд. техн. наук В.Н. ЛОПАТА, канд. техн. наук В.И. КАЛИНИЧЕНКО**(Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев),**А.В. ЛОПАТА (Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского),**канд. техн. наук, доц. Т.И. ИВЧЕНКО**(Херсонская государственная морская академия, Украина),**А.П. ГРИЩЕНКО**(Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев)*

Рассмотрено влияние рабочей поверхности дробящих элементов с покрытием дискретной структуры, имеющим рельеф в виде полусфер, расположенных на плоскости, на разрушение и измельчение зернового сырья при его свободном ударе. Показано, что рабочая поверхность таких дробящих элементов, не уступая плоскости при прямом ударе, может быть много эффективнее при измельчении зернового сырья, если увеличивать угол падения зерна. Приводятся теоретическое обоснование и результаты экспериментов при измельчении зерна пшеницы дробящими элементами с рабочей поверхностью с покрытиями дискретной структуры.

Ключевые слова: *покрытия дискретной структуры, измельчение, зерно, твердость, износостойкость, рабочая поверхность, рикошеты дробящих элементов.*

Введение. В перерабатывающей промышленности при измельчения зернового сырья в дробилках ударного действия происходит соударение свободно движущихся частиц с твердой поверхностью. При этом процесс измельчения во многом зависит от того, насколько эффективно используется энергия удара на разрушение. Наиболее целесообразен удар, близкий к прямому, т.е. когда вектор относительной скорости частицы направлен по нормали к дробящей поверхности.

В первом приближении эту задачу решают исходя из условий движения сырья при подаче его в рабочую зону и кинематики рабочих органов. Однако полностью реализовать условия прямого удара во всем микрообъеме рабочей зоны не удастся. Это связано с формой рабочих органов, которая меняется из-за изнашивания в процессе эксплуатации. Тем более не удастся предусмотреть последствия рикошетов и повторных ударов.

В этой связи представляет интерес возможность повышения эффективности разрушения зерна за счет использования регулярного рельефа рабочей поверхности в виде покрытий дискретной структуры. При этом повышение эффективности разрушения и измельчения зерна обеспечивается как за счет повышения износостойкости рабочих поверхностей дробящих элементов для переработки зерновых культур [1], так и оптимизацией геометрических параметров рельефа их поверхности.

Основная часть. Результаты экспериментов по измельчению зерна при ударе о плоскую поверхность показали, что эффективность его разрушения существенно зависит от угла падения. На рисунке 1 представлена такая зависимость для зерна пшеницы и кукурузы.

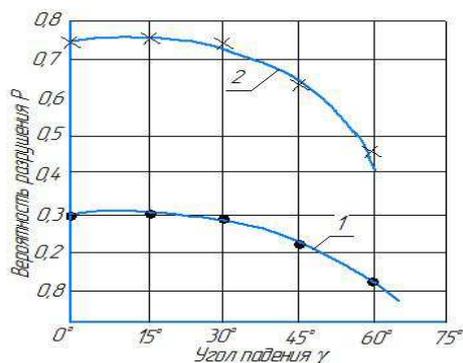
В качестве меры эффективности разрушения использована весовая доля раздробившихся зерен. В случае узкого исходного фракционного состава зерна, что и обеспечивалось в эксперименте, весовую долю можно трактовать как вероятность разрушения (Φ).

Скорость удара составляла 50 м/с для кукурузы и 60 м/с для пшеницы. Как видно из графиков, эффективность разрушения начинает падать при углах падения β , больших $\pi/4$. Если направление вектора скорости частицы при подлете к рабочей поверхности случайно, а скорее всего именно это и имеет место в дробилках, тем более после первого удара, то большая часть частиц находится не в оптимальных условиях соударения.

Рассмотрим возможность оптимизации этих условий за счет формирования регулярного рельефа на рабочих поверхностях. Положим, что частицы в дробилке образуют стационарное пуассоновское поле [2], т.е. обладают свойствами:

1) вероятность попадания некоторого числа точек в любую область пространства не зависит от того, сколько их попало в любую область, не пересекающуюся с данной;

2) вероятность попадания в элементарную область $\Delta X \cdot \Delta Y \cdot \Delta Z$ двух и более точек пренебрежимо мала по сравнению с попаданием одной точки.



1 – пшеница (скорость удара 60 м/с); 2 – кукуруза (скорость удара 50 м/с)

Рисунок 1. – Вероятность разрушения зерна в зависимости от угла падения на плоскость

Вектор скорости частиц (\vec{V}) – величина случайная по направлению с плотностью распределения $j(\vec{V})$. За время dt из частиц, имеющих величину скорости V , поверхности dS достигнут только те, которые находятся в объеме [3]:

$$dQ = V \cdot \cos \beta \cdot dS \cdot dt, \quad (1)$$

где β – угол между нормалью к поверхности dS и вектором скорости V .

Всего частиц, достигших поверхности в единицу времени, будет

$$N = \lambda \int_D V \cos \beta \cdot f(\vec{V}) \cdot d\vec{V} \cdot dS, \quad (2)$$

где λ – среднее число частиц в единице объема;
 D – область интегрирования по переменным.

Из них разрушатся

$$n = \lambda \int_D \psi(v, \beta, \rho, c) \cdot v \cdot \cos \beta \cdot f(\vec{V}) \cdot d\vec{V} \cdot dS, \quad (3)$$

где $\psi(v, \beta, \rho, c)$ – весовая функция, характеризующая эффективность разрушения частиц, которая в общем случае может зависеть от скорости удара v , локального угла падения β , радиуса кривизны ρ в точке удара, возможности повторного удара c в случае рикошета.

Таким образом, доля разрушения зерен в единицу времени в условиях стационарного поля частиц определяется из соотношения

$$P = \frac{n}{N}. \quad (4)$$

Выражение (4) может служить мерой эффективности заданного рельефа.

В условиях неопределенности функции $j(\vec{V})$ естественно считать ее равномерной по всем направлениям, что позволяет, в силу симметрии, предполагать эффективность использования в качестве элемента рельефа полусферу.

Для модельных исследований рассмотрим конструкцию поверхности с покрытием дискретной структуры, наносимым в виде отдельных участков (рисунок 2). Форма отдельного участка – полусфера. С целью повышения износостойкости материал полусферы должен иметь твердость, намного превышающую твердость основного материала. Сочетание вязкости основного материала и высокой твердости участков покрытия обеспечивает долговечность дробящих элементов.

Конструкция поверхности с дискретным покрытием в этом случае характеризуется радиусом полусфер R и шагом T (расстоянием между центрами оснований полусфер на плоскости).

В первом приближении эффективность такой поверхности будет равна

$$P = (1 - M) \cdot \Phi + MP_1, \quad (5)$$

где $M = \frac{\pi R^2}{T^2}$ – относительная часть плоскости, занятая основаниями полусфер;
 Φ – вероятность разрушения частицы на плоскости (определяется из эксперимента);
 P_1 – вероятность разрушения частиц на полусфере.

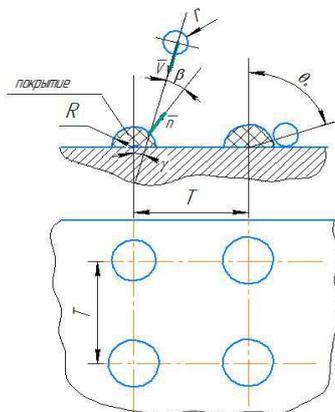


Рисунок 2. – Модель поверхности с дискретным покрытием

Выражение (4) в случае детерминированного потока частиц под углом γ к плоскости (см. рисунок 2) для полусферы принимает вид

$$P_1 = \frac{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\theta_0} \delta[\varphi + c(1 + \varphi)] \cdot (\sin \theta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \gamma + \cos \theta \cdot \cos \gamma) \sin \theta d\theta}{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\theta_0} \delta(\sin \theta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \gamma + \cos \theta \cdot \cos \gamma) \sin \theta d\theta}, \quad (6)$$

где θ, φ – широта и долгота сферической системы координат;
 θ_0 – верхний предел интегрирования по широте;
 δ – параметр, определяющий условие физического контакта при численном интегрировании ($\delta = 0$, если $\cos \beta < 0$, и δ , если $\cos \beta \geq 0$);
 c – коэффициент, учитывающий рикошеты и «остаточную» прочность частицы.

Предполагается, что все неразрушившиеся (рикошетировавшие) частицы, имеющие вектор скорости с направлением $\gamma_1 \geq \frac{\pi}{2}$, будут испытывать повторный удар и разрушаться с вероятностью c .

Экспериментальная оценка эффективности модельных поверхностей проводилась на установке, описанной в работе [4].

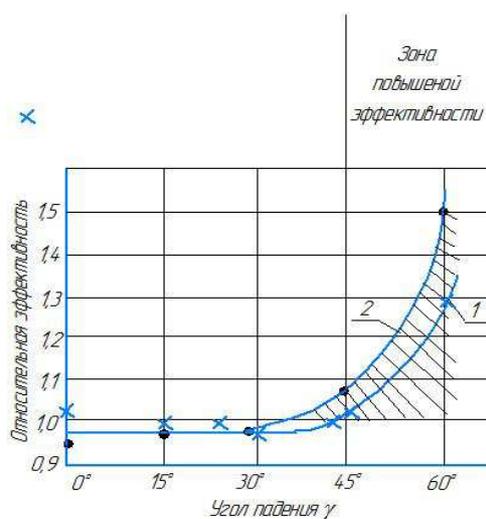
Для случая дробления пшеницы со средним радиусом $r = 2$ мм о модельную поверхность с параметрами $R = 2$ мм, $T = 8$ мм и $T = 6$ мм при различных углах падения результаты эксперимента показаны на рисунке 3. Данные представлены в относительных величинах (к плоскости).

На рисунке 4 наряду с экспериментальными точками на график нанесена теоретическая кривая, полученная расчетом по выражениям (5) и (6). Коэффициент c принимался равным 0,4, что в среднем соответствует экспериментальным данным по повторному дроблению. Как видно, теоретическая кривая не только качественно, но и количественно достаточно хорошо описывает результаты эксперимента.

Влияние конструктивных параметров дискретных покрытий на рабочих поверхностях дробящих элементов на эффективность измельчения видно из рисунка 5, где представлена экспериментальная зависимость вероятности разрушения при угле падения $\gamma = \frac{\pi}{3}$ от величины M – относительной части плоскости, занятой основаниями полусфер.

Кроме модельных поверхностей с геометрическими параметрами, указанными выше, здесь же приводятся данные по испытанию рельефа с $R = 8$ мм и $T = 12$ мм.

Из графиков следует, что по эффективности измельчения рельеф в виде полусфер, расположенных на плоскости, не уступает, а при углах падения потока к плоскости, больших $\frac{\pi}{6}$, и превосходит плоскую поверхность. Эффективность подобной поверхности тем больше, чем большая часть плоскости занята основаниями полусфер и чем больше угол падения потока.



1 – $K=2$ мм, $T=8$ мм; 2 – $P=2$ мм, $T=6$ мм

Рисунок 3. – Относительная эффективность модельных поверхностей в зависимости от угла падения (пшеница, скорость удара 60 м/с)

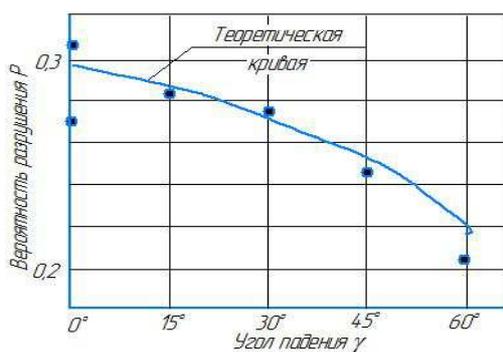


Рисунок 4. – Теоретическая и экспериментальная зависимость эффективности разрушения пшеницы при $V=60$ м/с на модельной поверхности $R=2$ мм, $T=6$ мм

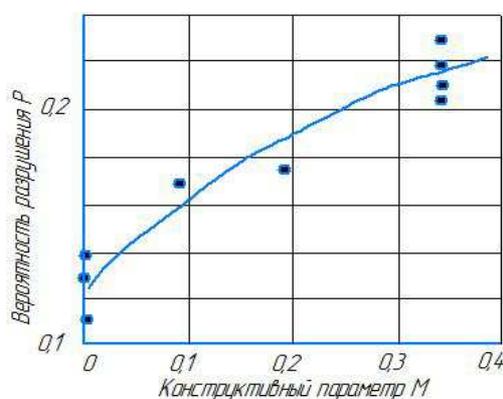


Рисунок 5. – Влияние конструктивного параметра M на эффективность разрушения пшеницы при $V=60$ м/с и угле падения $\gamma = \frac{\pi}{3}$

В общем случае можно поставить задачу по оптимизации рельефа рабочих поверхностей дробящих элементов по критерию вероятности разрушения частиц при заданных статистических характеристиках их поля скоростей и функции вероятности разрушения в соответствии с выражением (4).

Таким образом, рельефная поверхность рабочих поверхностей дробящих элементов в виде покрытий дискретной структуры повышает эффективность дробления зернового сырья.

Заключение. Показано, что рабочая поверхность дробящих элементов с покрытием дискретной структуры и с рельефом в виде полусфер может быть намного эффективнее при измельчении зернового сырья при увеличении угла падения зерна. При этом с целью повышения износостойкости рабочих поверхностей дробящих элементов материал дискретного покрытия должен иметь твердость, намного превышающую твердость основного материала. Сочетание вязкости основного материала и высокой твердости участков покрытия обеспечивает долговечность дробящих элементов. Повышение эффективности разрушения и измельчения зерна обеспечивается как за счет повышения износостойкости рабочих поверхностей дробящих элементов для переработки зерновых культур [1], так и оптимизацией геометрических параметров рельефа их поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фельдман, Я.С. Микроуглубления в поверхностном слое технических поверхностей и их исследование / Я.С. Фельдман. – Л. : ВИНТИ РАН, 1978. – 38 с.
2. Макаров, В.И. Расчетная зависимость интенсивности при эрозионном разрушении поверхностей трения. Теория и практика расчетов деталей машин на износ / В.И. Макаров. – М. : Наука, 1983. – С. 21–27.
3. Майер, Л. Статистическая механика : [пер. с англ.] / Л. Майер, М. Майер ; под ред. Д.Н. Зубарева. – М. : Мир, 1960. – 544 с.
4. Глебов, Л.А. Повышение эффективности измельчения компонентов комбикормов / Л.А. Глебов. – М. : ЦНИИТЭИ «Минзага СССР», 1984. – 44 с. – (Комбикормовая промышленность).

Поступила 8.07.2020

USE OF WORKING BODIES WITH DISCRETE COVERINGS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF GRAIN CRUSHING

A. DUDAN, V. LOPATA, V. KALINICHENKO, O. LOPATA, T. IVCHENKO, A. GRISHENKO

The article discusses the influence of the working surface of crushing elements with a coating of a discrete structure having a relief in the form of hemispheres located on a plane on the destruction and grinding of grain raw materials during its free impact. It is shown that the working surface of crushing elements coated with a discrete structure with a hemispherical relief, not yielding to a plane in a direct impact, can be much more effective in grinding grain raw materials if the angle of incidence of grain is increased. The theoretical justification and experimental results are given for grinding wheat grain by crushing elements with a working surface with discrete structure coatings.

Keywords: *discrete structure coatings, grinding, grain, hardness, wear resistance, ricochet working surface, crushing elements.*