

Левченко О.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ АГЛОМЕРАТА В ОДНОВАЛКОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ДРОБИЛКЕ

Розглянуті питання стосовно фізичного моделювання процесу дроблення агломерату та наведено результати досліджень моделі одновалкової зубчастої дробарки.

Ключові слова: одновалкова зубчаста дробарка, агломераційний спік, фізична модель, критерії подоби, експериментальні дослідження.

Рассмотрены вопросы, касающиеся физического моделирования процесса дробления агломерационного спека и приведены результаты исследования физической модели одновалковой зубчатой дробилки.

Ключевые слова: одновалковая зубчатая дробилка, агломерационный спек, физическая модель, критерии подобия, экспериментальные исследования.

В настоящее время одновалковые дробилки для агломерата нашли широкое применение на большинстве металлургических предприятий. Однако, их конструкция имеет ряд серьезных недостатков, что негативно отражается на качестве дробления, в частности, в готовый агломерат после дробилки поступает значительное количество крупных кусков (до 25 %), негативно влияющих на процесс работы доменных печей. Также остаются еще достаточно высокими энергозатраты на дробление агломерационного пирога. Вопросам повышения эффективности работы таких машин внимания фактически не уделяется за исключением [1], где достигается лишь увеличение долговечности работы одновалковой зубчатой дробилки.

На сам процесс разрушения аглоспека значительное влияние оказывают условия наложения нагрузки, причем целесообразным является применение методов излома по сравнению с раздавливанием и срезом [2, 3].

В предложенном ранее принципиально новом решении основным видом нагружения разрушающего материала является именно излом, что теоретически позволяет снизить энергозатраты на дробление до 30 % [4]. Такой вариант разрушения аглопирога в изучаемой конструкции дробилки ранее не применялся. Вопрос подачи агломерата на дробление "горячей" стороной практически не рассматривался, за исключением работы [5].

Задачей публикации является выявление зависимостей, описывающих особенности процесса дробления на основе лабораторных исследований физической модели одновалковой зубчатой дробилки.

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях была разработана и изготовлена в масштабе 1:10 физическая модель одновалковой зубчатой дробилки, применяемой в реальном производстве, но с учетом принципиально нового решения [4]. При этом использовались основные положения теории подобия [6-8]. Теория подобия определяет признаки наличия подобия между процессами (явлениями) и обозначает границы области, в пределах которой распространение данных моделирования на аналогичные реальные процессы (явления) может считаться корректным [7-9]. При этом, полное подобие двух процессов существует при обеспечении геометрического, кинематического и динамического подобия.

Две системы геометрически подобны, если соотношения между их соответствующими линейными размерами постоянны [7-9]:

$$\frac{H_n}{H_m} = \frac{D_n}{D_m} = \frac{d_n}{d_m} = \frac{l_n}{l_m} = m = const, \quad (1)$$

где $H_m D_m d_m l_m$ – размеры модели;

$H_n D_n d_n l_n$ – соответствующие размеры натуры;

m – линейный масштаб, показывающий во сколько раз размеры модели уменьшены по сравнению с размерами натуры.

У геометрически подобных систем должны быть постоянными соотношения площадей и объемов [9]:

$$\frac{S_n}{S_m} = m^2 = const \quad \text{и} \quad \frac{V_n}{V_m} = m^3 = const, \quad (2)$$

где S_n, V_n, S_m, V_m – соответственно площади и объемы натуры и модели.

Кинематическое подобие подразумевает подобие полей скоростей натуры и модели, когда соотношение скоростей v_n и v_m в сходных точках натуры и модели одинаковы [9]:

$$\frac{v_n}{v_m} = m_v = const \quad \text{и} \quad \frac{a_n}{a_m} = m_a = const, \quad (3)$$

где v_n и v_m – соответственно скорости натуры и модели;
 a_n и a_m – соответственно ускорения натуры и модели.

Отношения между геометрическими и кинематическими параметрами натуры и модели (табл. 1) определялись на основе соответствующих критериев механического подобия (1), (2), (3).

Таблица 1 - Результаты расчета параметров модели

Параметр	Обозначение		Значения		Формула
	Натура	Модель	Натура	Модель	
Высота рабочей камеры, м	H_n	H_m	0,950	0,095	$\frac{H_n}{H_m} = 10$
Ширина рабочей камеры, м	B_n	B_m	2,500	0,250	$\frac{B_n}{B_m} = 10$
Длина рабочей камеры, м	L_n	L_m	2,800	0,280	$\frac{L_n}{L_m} = 10$
Длина аглопирога	l_n	l_m	1,000	0,100	$\frac{l_n}{l_m} = 10$
Ширина аглопирога	b_n	b_m	2,000	0,200	$\frac{b_n}{b_m} = 10$
Диаметр звездочки, м	D_n	D_m	1,300	0,130	$\frac{D_n}{D_m} = 10$
Диаметр вала ротора, м	d_n	d_m	0,350	0,035	$\frac{d_n}{d_m} = 10$
Площадь рабочей камеры, м^2	S_n	S_m	7,000	0,070	$\frac{S_n}{S_m} = 100$
Объем рабочей камеры, м^3	V_n	V_m	6,650	0,0065	$\frac{V_n}{V_m} = 1000$
Скорость на конце зуба звездочки, м/с	v_n	v_m	0,14	0,044	$\frac{v_n}{v_m} = 3,16$
Сила, действующая на спек со стороны звездочки, Н	F_n	F_m	26425	26,43	$\frac{F_n}{F_m} = 1000$
Ускорение на конце зуба звездочки, $\text{м}/\text{с}^2$	a_n	a_m	0,029	0,029	$\frac{a_n}{a_m} = 1$

При изготовления физической модели (рис. 1) был применен промышленный асинхронный электродвигатель 4А80В6У3 мощностью 1,1 кВт с синхронной частотой вращения 750 об/мин, соединенный муфтой с быстроходным валом червячного одноступенчатого редуктора с передаточным числом 112.

Эксперименты проводились по методике однофакторного пассивного эксперимента. Критерием оценки эффективности вариантов элементов конструкции дробилки являлись удельный расход энергии на дробление, крупность готового продукта и крутящий момент в период разрушения материала.

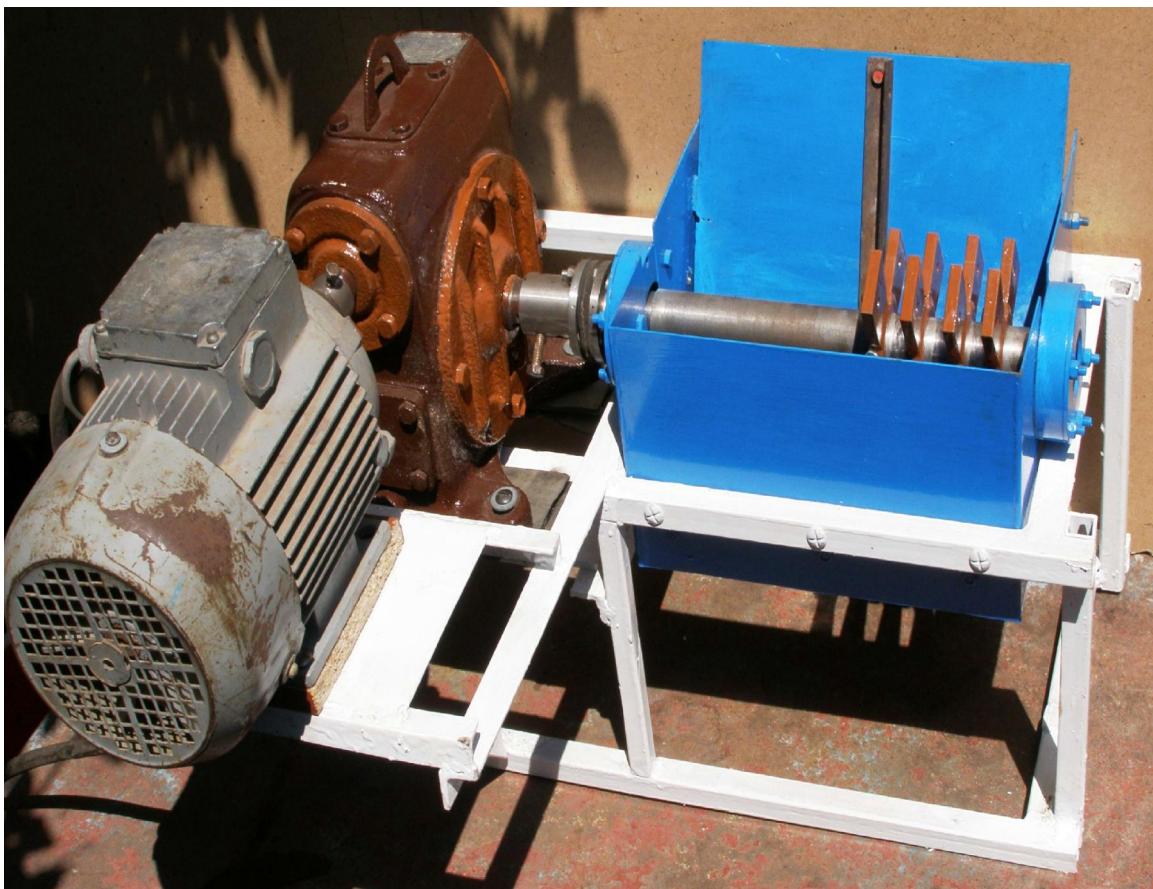


Рисунок 1 - Физическая модель одновалковой зубчатой дробилки

Сравнивались удельный расход электроэнергии на дробление (кВт/кг), крупность готового продукта при расположении верхней поверхности колосников в одной плоскости и с перепадом высот через колосник, а также значения крутящего момента при различных вариантах конструктивного исполнения рабочей зоны дробления.

Сначала изучалось в процессе дробления влияние на значение силы тока и удельные затраты электроэнергии расположения колосников, при котором их верхняя поверхность располагалась в одной плоскости ($\Delta=0$) (рис. 2). При этом проводилось дробление плиток одинаковых размеров (100x100 мм), разной толщины (10, 20, 30 мм, соответственно).

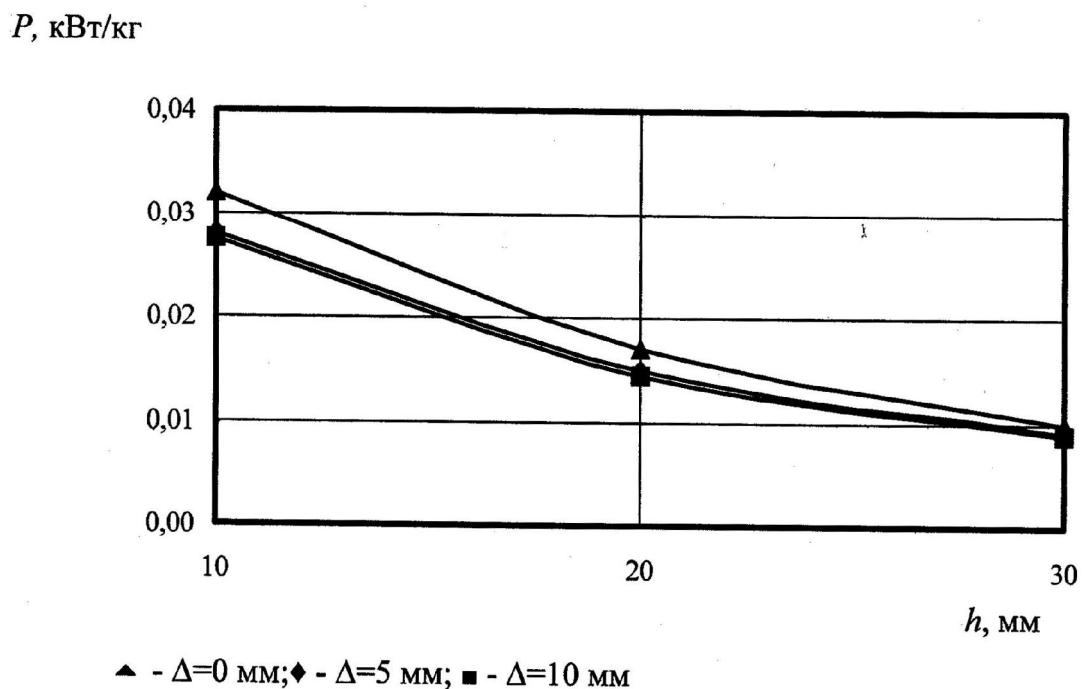


Рисунок 2 - Зависимость удельного расхода электроэнергии

В дальнейшем исследовалось влияние смещения верхней плоскости колосников на 5 и 10 мм, на которые поступает материал, на удельные затраты электроэнергии при дроблении плиток таких же размеров и толщин, как и в предыдущих опытах, что приведено на рисунке 3.

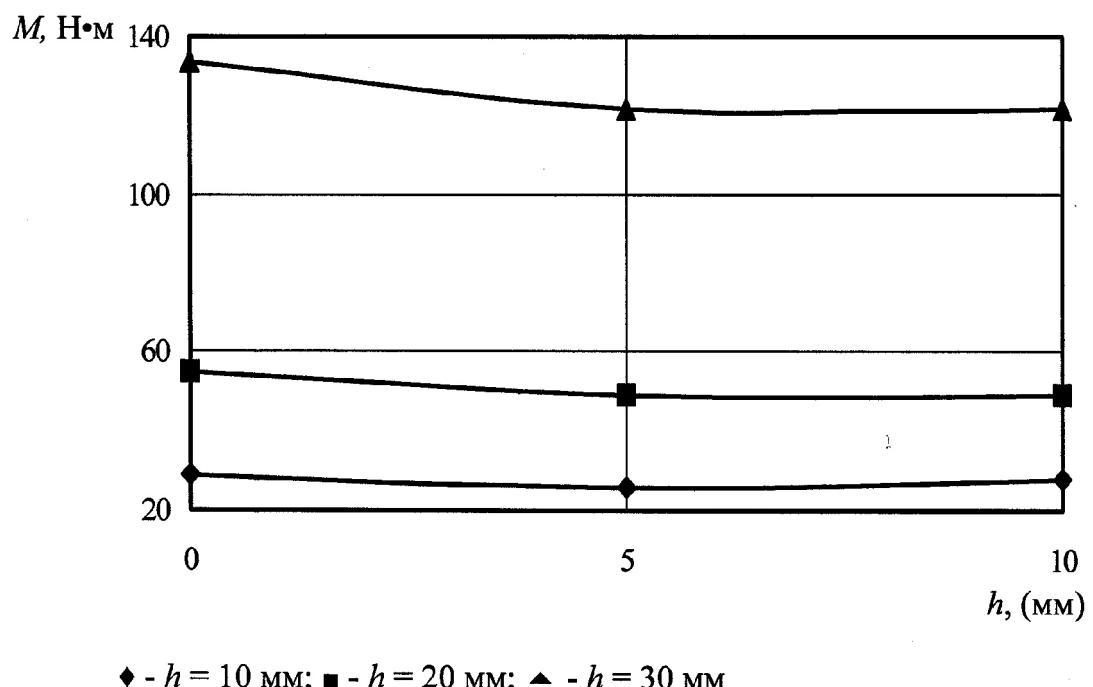


Рисунок 3 - Зависимость крутящего момента от смещения верхних плоскостей колосников при толщине плитки

Отсюда видно, что при перепаде плоскостей верхних поверхностей колосников удельные энергозатраты меньше на 9-12 %, чем при расположении верхних поверхностей колосников в одной плоскости (рис. 2). Величина перепада плоскостей существенной роли не играет, что характеризуется накладкой линий на графике (рис. 2) практически одна на другую. Это говорит о том, что существует минимальная величина такого перепада, когда материал разрушается с меньшими усилиями и для каждого материала, в том числе и для агломерата, спеченного при различных условиях своя.

Из графической зависимости на рисунке 2 следует, что удельные затраты электроэнергии на дробление с увеличением толщины плиток от 10 до 20 мм снижаются на 47%, а с увеличением толщины от 20 до 30 мм на 42%, что связано с незначительным повышением расхода энергии на дробление с увеличением толщины плиток по сравнению с большим увеличением массы.

С помощью динамометра измерялось значение крутящего момента для разных толщин плиток и смещения верхних плоскостей колосников, что показано графически на рисунке 3 и в таблице 2.

Таблица 2 – Крутящий момент при разрушении материала

Крутящий момент при разрушении, M_{kp} , Н•м			
Высота плитки, h , мм	Перепад верхних плоскостей колосников, мм		
	5	10	0
10	26	28	29
20	49	49	55
30	122	122	134

Для всех результатов дробления, согласно таблице 2, определялась крупность готового продукта путем рассева, что показано в таблице 3. При этом выходы классов -0,5 мм; +0,5-6 мм; +6 мм можно считать соответственно аналогами выходам классов -5 мм; +5-6 мм; + 6 мм для агломерата, так как все размерные параметры дробилки и дробимого продукта соответствуют реальным параметрам одновалковой зубчатой дробилки в масштабе 1:10.

В результате физического моделирования найдено качественное и количественное подтверждение правильности принятого технического решения. Выигрыш в удельных затратах зависит от механической прочности материала, подвергаемого дроблению. При лучших прочностных характеристиках эффект снижения энергозатрат выше.

Таблица 3 – Крупность готового продукта

Высота плитки, <i>h</i> , мм	Перепада верхних плоскостей колосников, мм								
	5			10			0		
	Выход классов, %								
	-0,5	+0,5-0	+0	-0,5	+0,5-0	+0	-0,5	+0,5-0	+0
10	12,8	53,9	33,3	12,3	54,6	33,1	13,6	42,2	43,2
20	15,6	38,7	41,9	15,3	42,9	41,8	17,2	39,6	44,2
30	18,8	31,4	49,8	19,0	31,3	49,7	20,7	28,2	51,1

Удельные затраты электроэнергии на дробление с увеличением толщины слоя дробимого материала в пределах с 10 до 20 мм и с 20 до 30 мм снижаются соответственно на 47% и 42 %, что связано с незначительным повышением расхода энергии на дробление при приращении толщины плиток по сравнению с большим увеличением их массы.

При перепаде плоскостей верхних поверхностей колосников удельные энергозатраты меньше на 9-12 %, чем при расположении верхних поверхностей колосников в одной плоскости. Существует минимальное значение такого перепада, которое обеспечивает снижение энергетических затрат для любого материала, включая и агломерат.

Измерения крутящего момента при дроблении подтверждают наличие минимального значения перепада плоскостей верхних поверхностей колосников, превышение которого не целесообразно. С увеличением толщины материала значение момента возрастает почти в два раза, а при расположении колосников с перепадом их верхних плоскостей на 5 мм примерно на 9% ниже, чем при обычном расположении колосников.

Наилучшие результаты по улучшению качества дробления соответствуют наименьшим высотам спекания, а перепад высот колосников, обеспечивающий процесс излома при разрушении пирога, снижает количество крупных кусков (>6) на 3-13 % и мелких частиц ($<0,5$) на 9 – 6 % соответственно при высотах плиток 30-10 мм.

С целью дальнейшего выяснения закономерностей процесса дробления, происходящего при смешении колосников друг от относительно друга необходимо в дальнейшем сравнить полученные результаты с результатами измерения крутящего момента на основе исследований на специализированном лабораторном стенде, что планируется в дальнейшем.

Библиографический список

1. Пат. 2231387 Российской Федерации, МПК⁷ В 02 С 4/08. Одновалковая зубчатая дробилка / Макаров К.К., Невраев В.П., Баринов С.И.; заявитель и патентодатель открытое акционерное общество "Северсталь". – № 2002123018/03; заявл. 27.08.2002; опубл. 27.06.02, Бюл. № 18 (III). – 3 с.: ил.
2. Деклараційний патент на корисну модель 9843 Україна, МПК⁷ В 02 С 4/10. Спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці / Алтухов В.М., Левченко О.О.; заявитель і патентовласник Донбас. держ. техн. ун-т. – № и200503314; заявл. 11.04.05; опубл. 17.10.05, Бюл. № 10. – 3 с.: іл.
3. Деклараційний патент на корисну модель 9865 Україна, МПК⁷ В 02 С 4/10. Спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці / Левченко О.О., Трінєєв Є.Т., Алтухов В.М., Левченко Е.П.; заявитель і патентовласник Донбас. держ. техн. ун-т. – № и200503379; заявл. 11.04.05; опубл. 17.10.05, Бюл. № 10. – 3 с.: іл.
4. Левченко О.О. Підвищення ефективності дроблення агломерату шляхом удосконалення конструктивних параметрів одновалкової зубчастої дробарки: автореф. дис. канд. техн. наук 05.05.08 / Левченко Оксана Олександрівна; Донб. держ. техн. ун-т. – Донецьк, 2009. – 20 с.
5. Борискин И.К. Интенсивная механическая обработка агломерата. Теория, оборудование, технология / И.К. Борискин, Г.А. Арыков, А.Н. Пыриков. – М.: МИСИС, 1998. – 248 с.
6. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 432 с.
7. Алабужев П.М. Теория подобия и размерностей. Моделирование. / П.М. Алабужев. – М.: Высш. шк., 1968. – 204 с.
8. Веников В.А. Теория подобия и моделирования применительно к задачам теплоэнергетики. / В.А. Веников. – М.: Высш. шк., 1968. – 488 с.
9. С.П. Еронько. Расчет и конструирование оборудования для внепечной обработки и разливки стали./ Еронько С.П., Быковских С.В., Ошовская Е.В.-К.: - Техника, 2007. – 344 с.

Рекомендовано к печати проф. Ульянищким В.Н.