

В.А.Носков, К.В.Баюл

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ФОРМУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ БРИКЕТИРОВАНИЯ В ВАЛКАХ

Приведены расчетная схема и аналитические выражения для определения энергосиловых параметров брикетирования мелкофракционных шихт в валковых прессах. Выполнен анализ расчетных данных энергосиловых параметров брикетирования мелкофракционных шихт в формующих элементах с различной конфигурацией.

**Современное состояние вопроса.** В процессах брикетирования мелкофракционных отходов горно–металлургического комплекса наиболее часто в качестве прессового оборудования используют валковые прессы. Современный уровень развития технологий брикетирования требует совершенствования конструктивных и технологических параметров данных машин. Важным этапом при проектировании валковых прессов является выполнение расчета их энергосиловых параметров.

В ранее выполненной работе [1] приведены результаты теоретического исследования процесса уплотнения мелкофракционных шихт в очаге деформации валкового пресса. Получены аналитические выражения, позволяющие выполнить расчет напряженно–деформированного состояния и изменения плотности шихты в очаге деформации. Результаты этих исследований являются основой для выполнения прочностных расчетов, определения энергосиловых параметров и мощности привода, разработки конфигурации формующих элементов при проектировании новых конструкций валковых прессов, обеспечивающих заданные технологические параметры брикетирования.

Для определения конструктивного решения узлов и элементов пресса наиболее важными являются такие показатели как момент прессования  $M_{пр}$  и распорное усилие  $P$ . Значение распорного усилия является основополагающим фактором при расчете прочностных параметров и конструктивном решении несущих элементов пресса. Величина суммарного крутящего момента от сил прессования и потребляемая мощность оказывают существенное влияние на конструктивное исполнение привода.

**Целью данной работы** является совершенствование метода расчета энергосиловых параметров валковых прессов с учетом влияния геометрии формующих элементов.

**Изложение основных материалов исследования.** Для решения поставленной задачи рассмотрим расчетную схему для определения энергосиловых параметров, представленную на рис.1. Принятая расчетная схема предусматривает условное представление очага деформации как совокупности криволинейных полос  $ANB$ . Обоснование и описание основных положений, касающихся принятой расчетной схемы, приведены в работе [1].

На схеме приведен случай деформирования шихты в валках с зубчато-желобчатой конфигурацией формирующих элементов. При такой конфигурации брикет формируется в пространстве между ячейками, разделенными между собой выступами в виде зубьев, на одном валке и поверхностью в виде кольцевого желоба на другом валке, при их встречном вращении.

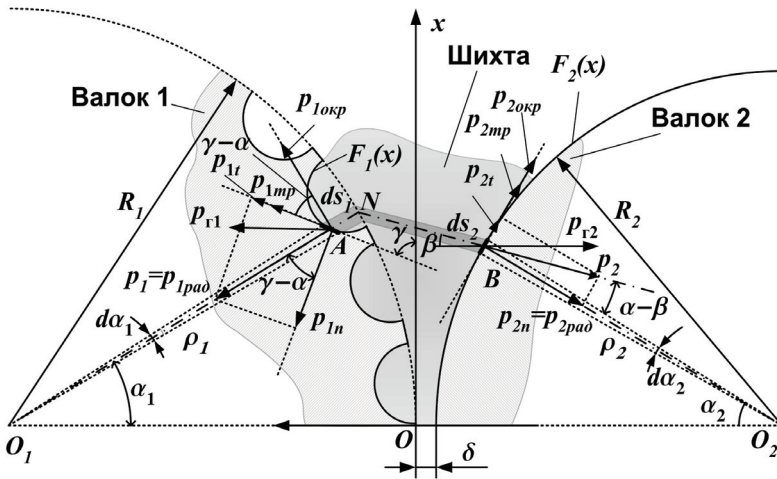


Рис. 1 Расчетная схема определения энергосиловых параметров брикетирования

В случае, когда калибровка валков симметрична, то есть формирующие элементы обоих валков имеют одинаковую конфигурацию, в виде полуформ, расчетная схема несколько изменится, но принцип ее построения и решение задачи останутся аналогичными.

Валки пресса вращаются с одинаковыми угловыми скоростями, т.е.  $\omega_1 = \omega_2 \equiv \omega$ . В силу конфигурации формирующих элементов радиусы  $R_1$  и  $R_2$  не равны. Таким образом, из расчетной схемы следует, что частицы шихты, заключенные внутри рассматриваемой полосы, за единицу времени перемещаются на различные расстояния вдоль дуги прессования. В любой из полос, на которые разбит очаг деформации, должно соблюдаться условие неразрывности деформации, а во всей зоне уплотнения материала в валковом прессе – условие постоянства расхода масс.

Для соблюдения данных условий необходимо, чтобы в процессе уплотнения слои шихты, заключенные в полосе и расположенные вдоль линий  $AN$  и  $NB$ , пересекали линию центров валков, находясь в горизонтальном положении. Данное условие будет выполнено, если принять, что величина угла прессования для обоих валков будет одинакова, то есть

$\alpha_1 = \alpha_2 \equiv \alpha$ . В этом случае, как видно из рис.1, возникает наклон (обозначенный углом  $\beta$ ) участка  $ANB$  полосы относительно линии, соединяющей центры валков.

На площадках  $ds_1$  и  $ds_2$  в окрестностях точек  $A$  и  $B$  действуют напряжения (давление)  $p_1$  и  $p_2$ , вызванные силами прессования, абсолютные величины этих напряжений равны между собой из условия равновесия и определяются по методике описанной в работе [1]. Следует заметить, что величина площадок  $ds_1$  и  $ds_2$  определяется шириной полос, на которые разбит очаг деформации.

Нормальная и касательная составляющие давления прессования определяются согласно выражений:

$$p_{1n} = p_1 \cos(\gamma - \alpha_1), \quad p_{1t} = p_1 \sin(\gamma - \alpha_1),$$

где  $\gamma = \arctg(F_1'(x))$ ,  $F_1(x)$  – функция, описывающая контур зубчатого ряда в системе координат  $xOy$ .

Нормальная и касательная составляющие давления прессования, действующие на площадке  $ds_2$ , представлены выражениями:

$$p_{2n} = p_2 \cos(\alpha_2 - \beta), \quad p_{2t} = p_2 \sin(\alpha_2 - \beta),$$

где  $\beta = \arctg\left(\frac{(R_1 - R_2) \sin \alpha_2}{(R_1 + R_2)(1 - \cos \alpha_2) + \delta}\right)$ ,  $\delta$  – зазор между валками.

Помимо вышеуказанных, на рассматриваемых площадках действуют силы, вызванные трением шихты на контакте с рабочей поверхностью формирующего элемента, в результате чего возникают контактные напряжения:

$$p_{1mp} = f_1 p_{1n}, \quad p_{2mp} = p_{2n} f_1,$$

где  $f_1$  – коэффициент внешнего трения.

Определим величину распорного усилия для одного ряда формирующих элементов. Горизонтальная составляющая напряжений на элементарной площадке  $ds_1$ :

$$p_{r1} = p_1 (\cos \alpha_1 + f_1 \cos(\gamma - \alpha_1) \sin \gamma).$$

Распорное усилие, действующее на площадку  $ds_1$ :

$$dP_1 = p_{r1} ds_1,$$

учитывая, что  $\gamma = \arctg(F_1'(x)) = \arctg(F_1'(\alpha_1) \cos \alpha_1 - R_1)$ ,

где  $F_1'(\alpha)$  – функция, описывающая контур зубчатого ряда в системе координат  $\rho_1 O \alpha_1$ , запишем:

$$dP_1 = p_1 \cos \alpha_1 + f_1 \cos(\arctg(F_1'(\alpha_1) \cos \alpha_1 - R_1) - \alpha_1) \times \\ \times \sin(\arctg(F_1'(\alpha_1) \cos \alpha_1 - R_1)) ds_1$$

Из условий неразрывности деформаций в очаге деформации валкового пресса вытекает условие  $\alpha_1 = \alpha_2$ . Распорное усилие, приходящееся на один ряд формующих элементов:

$$P_1 = h_1 \sum dP_1,$$

где  $h_1$  – приведенная ширина формующего элемента.

Общее распорное усилие:

$$P = P_1 z,$$

$z$  – количество рядов формующих элементов.

Крутящие моменты на площадках  $ds_1$  и  $ds_2$  соответственно:

$$dM_1 = f_1 p_1 \cos(\arctg(F_1'(\alpha_1) \cos \alpha_1 - R_1) (F(\alpha_1))^2 da_1, \\ dM_2 = p_2 R_2^2 (f_1 \cos(\alpha_2 - \beta) + \sin(\alpha_2 - \beta)) da_2,$$

где  $da_1 = da_2$  из условий представления очага деформации в виде набора криволинейных полос равной ширины.

Крутящий момент от сил, действующих на один зубчатый ряд и желоб соответственно:

$$M_1 = h_1 \sum dM_1, \quad M_2 = h_1 \sum dM_2.$$

Общий крутящий момент:

$$M = (M_1 + M_2) z.$$

Ориентировочная мощность привода определяется выражением:

$$N = \frac{\pi \cdot n \cdot M}{120 \cdot \eta \cdot g \cdot 30},$$

где  $n$  – частота вращения валков пресса;  $\eta$  – общий КПД привода;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Производительность пресса определяется следующим выражением:

– для зубчато-желобчатой конфигурации формующих элементов

$$Q = V_{\text{бр}} \cdot K_y \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot z_{\text{я}} \cdot z_{\text{р}} \cdot n \cdot 60,$$

– для линзовидной конфигурации формующих элементов

$$Q = V_{\text{бр}} \cdot K_y \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot z_{\text{я}} \cdot n \cdot 60,$$

где  $V_{\text{бр}}$  – объем брикета;  $\rho_{\text{нас}}$  – насыпная плотность шихты;  $z_{\text{я}}$  – количество ячеек в одном ряду по длине окружности валка;  $z_{\text{р}}$  – количество рядов формующих элементов на поверхности валка;  $z_{\text{я}}$  – количество ячеек на поверхности валка;  $n$  – частота вращения валков.

На основе приведенных выше расчетных выражений определим энергосиловые параметры уплотнения шихт валками с формующими элементами, представленными на рис.2.

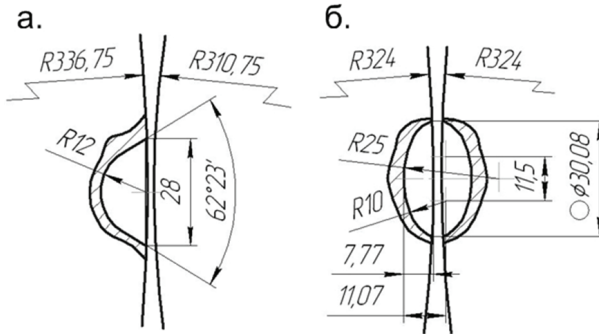


Рис. 2 Формующие элементы: а. – зубчато-желобчатый; б. – линзовидный

Геометрические параметры валков и формующих элементов соответствуют конструктивному исполнению валковых прессов конструкции ИЧМ. Расстояние между осями валков – 648мм, зазор – 0,5мм, количество рядов формующих элементов на каждом валке – 9. Приведенная ширина формующих элементов 21мм и 17мм. Объемы брикетов  $4,815\text{см}^3$  и  $6,608\text{см}^3$  соответственно, с учетом зазора между валками в 1мм. Для расчета приняты две шихты с различными физико-механическими свойствами 96,5% силикомарганца (фр. – 6мм) + 3,5% органического связующего и 90% коксовой мелочи (фр. – 3мм) + 10% лигносульфоната технического. Заданное средние значение коэффициента уплотнения  $K_u$  для брикетов из шихты 96,5% силикомарганца (фр. – 6мм) + 3,5% органического связующего равно 2,1, а среднее значение плотности –  $4,053\text{г/см}^3$  для обеих конфигураций формующих элементов. Аналогично для шихты 90% коксовой мелочи (фр. – 3мм) + 10% лигносульфоната технического коэффициент уплотнения равен 2,6, плотность –  $1,43\text{г/см}^3$  соответственно.

Результаты расчета энергосиловых параметров брикетирования и производительности пресса для принятых формующих элементов и шихт приведены в табл. 1 и 2.

Распорное усилие для обеих шихт имеет максимальное значение при использовании формующих элементов линзовидной конфигурации, для зубчато-желобчатых конфигураций этот параметр ниже на 30...40%. Величины крутящих моментов и мощности привода, для зубчато-желобчатой конфигурации формующих элементов выше на 35...40%, чем для линзовидной. Что касается параметров производительности прессов, то для линзовидных формующих элементов этот показатель на  $\approx 17\%$  выше, чем для зубчато-желобчатых.

Таблица.1. Энергосиловые параметры брикетирования шихты (90% коксовой мелочи +10% ЛСТ).

Параметры	Конфигурации формирующих элементов	
	Зубчато–желобчатая	Линзовидная
Распорное усилие $P$ , КН	244,37	380,7
Крутящий момент $M$ , Нм	60748	37425
Мощность привода при $9 \text{ мин}^{-1}$ $N$ , КВт	58,4	36
Производительность при $9 \text{ мин}^{-1}$ $Q$ , т/ч	3,48	4,2

Таблица.2. Энергосиловые параметры брикетирования шихты (96,5% силикомарганца +10% ОС).

Параметры	Конфигурации формирующих элементов	
	Зубчато–желобчатая	Линзовидная
Распорное усилие $P$ , КН	245,34	443,16
Крутящий момент $M$ , Нм	58188	38745
Мощность привода при $9 \text{ мин}^{-1}$ $N$ , КВт	55	37,25
Производительность при $9 \text{ мин}^{-1}$ $Q$ , т/ч	9,86	12

Для оценки влияния конфигурации формирующих элементов на энергосиловые параметры брикетирования в качестве примера на рис.3 приведены характерные картины распределения силовых факторов вдоль дуги прессования для двух конфигураций формирующих элементов.

Различие в величинах распорных усилий, моментов прессования и мощности привода для различных конфигураций формирующих элементов обусловлено влиянием геометрии последних на радиальные  $P_{1\text{рад}}$ ,  $P_{2\text{рад}}$  и окружные  $P_{1\text{окр}}$ ,  $P_{2\text{окр}}$  составляющие сил прессования. В исследованиях [2] приведены сведения, указывающие на то, что захват прессуемого материала для зубчатого ряда формирующих элементов и линзовидных формирующих элементов обусловлен условиями внутреннего трения, а для желоба – внешнего. Данное явление оказывает влияние на напряженно–деформированное состояние шихты в очаге деформации и энергосиловые параметры процесса брикетирования. Это подтверждается расчетными данными, приведенными в настоящей работе.

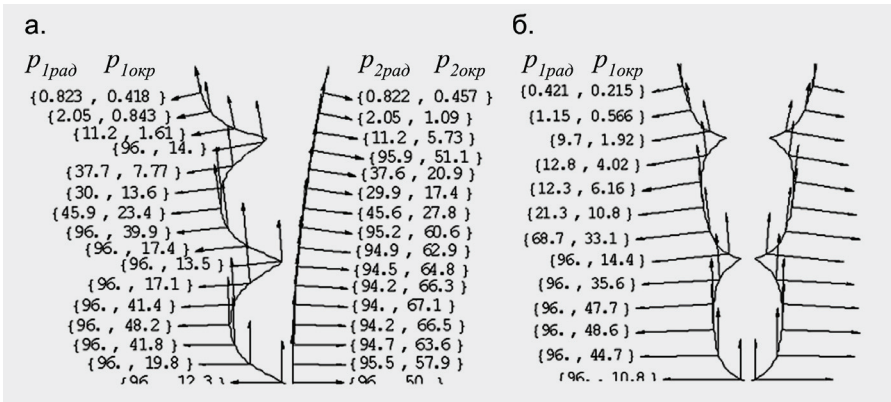


Рис. 3 Распределение радиальных  $P_{1rad}$ ,  $P_{2rad}$  и окружных  $P_{1окр}$ ,  $P_{2окр}$  составляющих сил прессования для: а.) зубчато-желобчатой и б.) линзовидной конфигураций формирующих элементов

Конфигурация формирующего элемента определяет соотношения между составляющими давления прессования. Для зубчато-желобчатой конфигурации формирующих элементов характерны большие значения окружной составляющей  $P_{2окр}$  давления прессования на желобе, что приводит к росту общего крутящего момента. При этом уменьшение величины  $P_{1окр}$  у вершин зубьев снижает величину горизонтальной проекции давления прессования, соответственно снижается и величина распорного усилия. Для линзовидной конфигурации формирующих элементов характерно увеличение горизонтальных проекций  $p_{1Г}$  и  $p_{2Г}$  давления прессования, что приводит к росту распорного усилия.

**Заключение.** Таким образом, для условий прессования любой заданной шихты, при условии получения брикетов с одинаковыми значениями среднего по брикету коэффициента уплотнения и плотности, значение суммарного крутящего момента от сил прессования будет выше при зубчато-желобчатой конфигурации формирующих элементов. При этом значение суммарного распорного усилия для линзовидных формирующих элементов будет выше.

На величину энергосиловых параметров оказывают влияние также глубина и размер формирующего элемента. Оценка данного влияния является предметом дальнейших исследований.

Изменяя конфигурацию и геометрические параметры формирующих элементов, можно обеспечить уменьшение величины распорного усилия и крутящего момента, что улучшает условия эксплуатации пресса, снижает возможность его поломок.

В заключение следует отметить, что в результате выполненной работы изучены особенности аналитического определения энергосиловых параметров брикетирования мелкофракционных шихт в валковых прессах. При этом учтены ранее не принимаемые в рассмотрение при определении энергосиловых параметров касательные  $p_{1t}$ ,  $p_{2t}$  и вызванные силами трения  $p_{1mp}$ ,  $p_{2mp}$  составляющие давления прессования. Полученные в работе аналитические выражения позволяют расчетными методами с учетом влияния конфигурации формирующих элементов определить энергосиловые параметры брикетирования мелкофракционных шихтовых материалов в валковых прессах, на основе чего осуществить выбор конструктивного исполнения узлов и элементов валкового пресса.

1. Носков В.А., Баюл К.В., Харун И.В. Исследование уплотнения и напряженно-деформированного состояния мелкофракционных шихт в валковом прессе // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2006. – №4. – С.142–146.
2. Носков В.А. Определение силовых параметров процесса брикетирования сыпучих шихт в валковых прессах // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб.научн.тр. Выпуск 3. К.: Наукова думка, 1999. – С.349–356.*

*Статья рекомендована к печати канд.техн.наук И.Ю.Приходько*