

А.А. ХРУЦКИЙ, канд. техн. наук, доц., Криворожский технический университет
К.В. ФЕДОРЕНКО, инженер, КМФ НМетАУ, кафедра МОМЗ.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДВУХВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ С КАЧАЮЩИМСЯ ВАЛКОМ

Приведены результаты аналитических исследований и компьютерного моделирования двухвалковой дробилки с прямолинейным расхождением валков и с качающимся валком с точки зрения динамики работы.

Наведені результати аналітичних досліджень та комп'ютерного моделювання двовалкової дробарки з прямолінійним розходженням валков та з валком, який качається з точки зору динаміки роботи.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Кокс является главным видом топлива в доменных печах. Удельный расход кокса в отечественной металлургии составляет в среднем около 550 кг на 1 т чугуна. Это важный экономический показатель, так как стоимость кокса составляет 45-55 % себестоимости чугуна. Равномерный гранулометрический состав кокса фракции (25-60) мм при загрузки доменной печи позволяет сократить его расход и достичь значительного экономического эффекта. Были проведены экспериментальные и теоретические исследования, для определения наиболее эффективной схемы дробления и упрочнения кокса, после грохочения с отделением кусков от 80 до 150 мм. Наиболее приемлемыми с этой точки зрения являются двухвалковые дробилки.

В связи с этим возникает необходимость в определении рациональной схемы двухвалковой дробилки, позволяющей измельчать куски кокса в диапазоне от 80 до 150 мм, избегая при этом переизмельчения.

Анализ исследований и публикаций. Исходя из анализа известных компоновочных схем двухвалковых дробилок [1, 2, 3], следует отметить, что широко применяется схема дробилки с прямолинейным расхождением валков. Однако более перспективной следует считать схему двухвалковой дробилки с качающимся валком.

Постановка задачи. В свете выше изложенного необходимо провести аналитический анализ двухвалковой дробилки с прямолинейным расхождением валков и двухвалковой дробилки с качающимся валком с точки зрения динамики работы.

Изложения материала и результаты. В двухвалковой дробилке дробление производится путем захвата вращающимся навстречу друг другу валками крупных кусков кокса в полость между ними. Захваченные куски раздавливаются и раскалываются с частичным истиранием и выпадают под действием силы тяжести.

При попадании недробимых кусков валки расходятся пропуская недробимый кусок и возвращаются по действием пружин. В современных валко-

вых дробилках усилие при котором валки расходятся регулируются пружинами.

В случае дробилки с прямолинейным расхождением валков механическая система с двумя степенями свободы состоит из твердых тел, каждое из которых соединено линейно упругими пружинами с заземленным одним концом (рис. 1). Кинетическая энергия и обобщенные силы определяются из уравнения Лагранжа 2-го рода, решая которое, находим частоты колебаний системы.

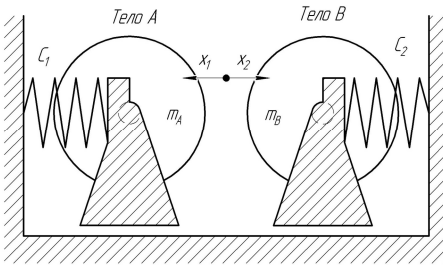


Рис. 1. Схема дробилки с прямолинейным расхождением валков

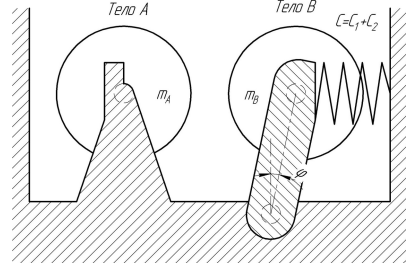


Рис. 2. Схема дробилки с качающимся валком

Кинетическая энергия системы, состоящая из суммы кинетических энергий двух тел:

$$T = T_A + T_B = \frac{m_A \cdot \dot{x}_1^2}{2} + \frac{m_B \cdot \dot{x}_2^2}{2} \quad (1)$$

где T_A , T_B - кинетическая энергия тел А и В соответственно; m_A , m_B - массы тел А и В; \dot{x}_1 , \dot{x}_2 - обобщенные скорости тел А и В.

Для того, чтобы вычислить обобщенную силу Q_1 , даем возможное перемещение (сжатие) dx_1 пружине 1, фиксируя пружину 2 и условия $c_1=c_2=c$.

Вспользуемся формулой $Q_1 = dA_1 / dx_1$, где $dA_1 = -F_{\text{упр1}} \cdot dx_1$. Так как $F_{\text{упр1}} = c \cdot x_1$, то $Q_1 = -c \cdot x_1$. Аналогично фиксируя пружину 1 и вычисляем $Q_2 = -c \cdot x_2$.

После вычисления производных, входящих в уравнение Лагранжа, оно принимает вид:

$$\begin{aligned} m_A \cdot \ddot{x}_1 &= -c \cdot x_1 \\ m_A \cdot \ddot{x}_1 &= -c \cdot x_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Предполагая, что каждая обобщенная координата меняется по закону гармонических колебаний, решение системы ищем в форме:

$$x_1 = A_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t + \beta_0); \quad x_2 = A_2 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t + \beta_0) \quad (3)$$

где A_1 , A_2 , ω_1 , β_0 - неизвестные постоянные.

После сокращения на $\sin(\omega_1 \cdot t + \beta_0)$ и исходя из условия существования нетривиального решения этой системы для A_1 и A_2 и когда $m_A = m_B = m$, получаем уравнение частот:

$$\omega_1^2 = \frac{c}{2 \cdot m} \quad (4)$$

В случае двухвалковой дробилки с качающимся валком механическая система с двумя степенями свободы состоит из твердых тел, одно из которых жестко закреплено а второе совершает колебания относительно не подвижной точки (рис. 2).

Кинетическая энергия и обобщенные силы так же определяются из уравнения Лагранжа 2-го рода, решая которое, находим частоты колебаний системы.

Кинетическая энергия системы, состоящую из суммы кинетических энергий двух тел:

$$T = T_A + T_B = 0 + \frac{m_B \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot R_B^2}{4} \quad (5)$$

где T_A , T_B - кинетическая энергия тел А и В соответственно; m_B - масса тела В; φ - обобщенная угловая скорость тела В; R_B - радиус вращения тела В.

Потенциальная энергия пружины, не имеющая предварительного напряжения, при условии $c_1 + c_2 = 2$, имеет вид:

$$\Pi = c \cdot (R_B \cdot \varphi)^2 \quad (6)$$

Обобщенные силы вычисляются по формуле:

$$Q_2 = -\frac{d\Pi}{d\varphi} = -2 \cdot c \cdot R_B \varphi \quad (7)$$

После вычисления производных и сокращения R_B и предполагая, что каждая обобщенная координата меняется по закону гармонических колебаний, решение системы ищем в форме:

$$\varphi = A_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t + \beta_0) \quad (8)$$

где A_2 , ω_2 , β_0 - неизвестные постоянные.

После сокращения на $\sin(\omega_1 \cdot t + \beta_0)$ и при условии $m_B = m/2$, уравнение принимает вид:

$$\omega_2^2 = \frac{8 \cdot c}{m} \quad (9)$$

После сравнения уравнений частоты колебаний (4) и (9) при одинаковых массах и жесткостях пружин (при одинаковых условиях) можно утверждать, что схема дробилки с качающимся валком более динамична.

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{8 \cdot c/m}{c/2 \cdot m} = 4 \quad (11)$$

Для подтверждения полученных результатов, было проведено математическое компьютерное моделирование прохождения недробимого куска через дробилку с использованием системы автоматизированного проектирования SolidWorks с модулем COSMOSMotion.

В ходе моделирования определялся относительный ход вала как отношение смещения вала по горизонтали к диаметру вала.

На рис. 3 представлены результаты моделирования.

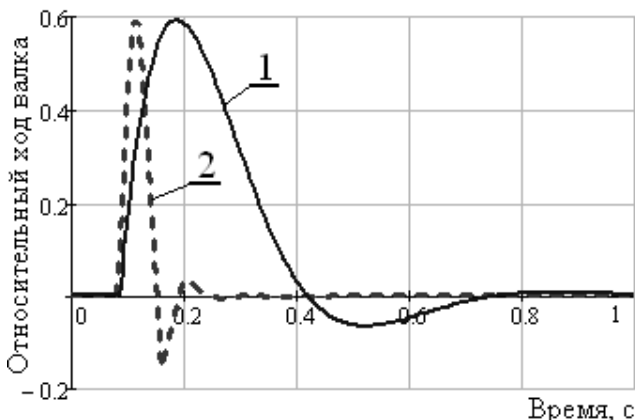


Рис. 3. Результаты моделирования: 1 - дробилка с прямолинейным расхождением валков; 2 - дробилка с качающимся валком.

Было установлено, что при попадании недробимого куска между валками, дробилка с качающимся валком реагирует в среднем 1,5-1,8 раза быстрее (рис. 3, кривая 2).

Во время испытаний двухвалковой дробилки с качающимся валком, которые проходили в условиях технологической цепи системы шихтоподачи доменного цеха Енакиевского металлургического завода, были подтверждены результаты аналитических исследований и компьютерного моделирования.

Выводы и направления дальнейших исследований. Как показали аналитические исследования схема дробилки с качающимся валком по сравнению с дробилкой с прямолинейным движением более динамична, что позволяет измельчать куски кокса в большем диапазоне и избежать при этом переизмельчения.

В дальнейшем планируется проведение исследований с целью определения рациональных значений геометрических параметров дробилки с качающимся валком и жесткости замыкающих пружин, а так же продолжение ее промышленных испытаний.

Список литературы

1. **Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А.** Дробилки. Конструкции, расчет, особенности эксплуатации. –М.: Машиностроение, 1990. -320 с.
2. **Олевский В.А.** Конструкция, расчеты и эксплуатация дробилок / В.А. Олевский. М.: Металлургиздат, 1958. -459 с.
3. **Финкель А. Ф., Ипатов П. П.** Технологическое оборудование заводов черной металлургии: Уч. для техн. -2-е изд., перер. и доп. –М: Металлургия, 1982. –438 с.