

УДК 678.029:678.053:678.027.2

Доброносов Ю. К.
Грибков Э. П.
Селедцов А. С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАЛЬЦЕВАНИЯ УГОЛЬНОЙ КРОШКИ

Процесс брикетирования угольной пыли в настоящее время весьма актуален, так как позволяет снизить производственные отходы и повысить коэффициент выхода годного при производстве угля. При этом наибольшее распространение получили двухвалковые прессы, которые превосходят штемпельные и кольцевые прессовые системы по следующим показателям – сниженные эксплуатационные расходы и меньшие габариты [1–3].

Опыт конструирования и изготовления двухвалковых прессов касается стационарных агрегатов, имеющих диаметр валков до 1400 мм с приводом мощностью до 600 кВт. Масса таких агрегатов достигает порядка 80 т. Данное прессовое оборудование входит в состав технологических комплексов, расположенных вблизи крупных предприятий, обеспечивая переработку отходов угольного производства в количестве до 600 тыс. т в год [4].

В последние годы заметна тенденция развития малых заводов и фабрик, на которых отходы производства из-за отсутствия мест хранения сжигаются, что приводит к выбросу в атмосферу вредных продуктов сгорания, а так же к потерям материальных ресурсов, связанных с затратами на сжигание сырья и на утилизацию продуктов переработки угольной пыли. Исследования показали, что экономически не целесообразно строить централизованные участки для переработки горючих твердых отходов мини-производств, находящихся на значительном расстоянии от этих производств из-за высоких транспортных расходов. Одним из решений данной проблемы может быть использование систем прессования небольшой производительности, которые могут быть легко транспортированы к месту переработки накопившихся материалов.

Целью работы является уточнение методов расчета и исходных данных на проектирование технологий и оборудования при прессовании отходов угольного производства.

Прессформовочная машина гусеничного типа, конструкция которой изображена на рис. 1. Основными элементами этой машины является гусеница (1) с приводными и натяжными звездочками, гладкие валки (2), установленные на некотором расстоянии над ней, и вальцовый пресс (3) со смонтированным перед ним направляющим столом (4), опирающимся на гусеницу. Гусеница выполнена с бортами и вместе с прессующими валками (2) образует узел наложения давления на уголь, а вальцовый пресс предназначен для производства пластических угольных формовок. Гусеница опирается на ролики (5). Для уборки просыпавшегося мимо неё угля смонтирован шнековый конвейер (6). Все узлы машины помещены в теплоизолированном корпусе (7). Для подачи угля в машину и вывода из неё получающихся формовок имеются загрузочная (8) и разгрузочная (9) воронки. Недостатком данной машины является невозможность более широкого изменения обжатий за счет того, что гусеница не выдерживает нагружений и быстро выходит из строя [7].

Для решения проблем, возникающих при вальцевании на прессформовочной машине гусеничного типа было предложено использование установки [8] по вальцеванию угля вертикального типа (рис. 2). Устройство для получения пластических угольных формовок состоит из загрузочной воронки 1, горелок промежуточного подогрева 2, прессующих валков 3, удерживающих проводок 4, вальцового пресса 5, что состоит из гладкого валка, бандажу, на котором расположенные в шахматном порядке ячейки, и разгрузочной воронки 6.

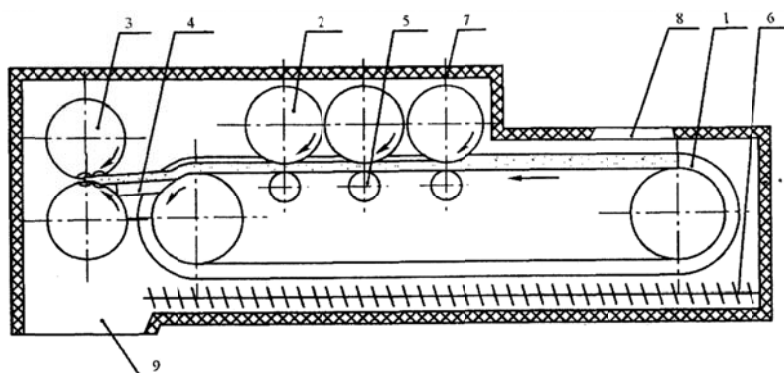


Рис. 1. Прессформовочная машина гусеничного типа:

1 – гусеница; 2 – прессующий валок; 3 – вальцовый пресс; 4 – направляющий стол; 5 – ролик; 6 – шнековый конвейер; 7 – корпус; 8 – загрузочная воронка; 9 – разгрузочная воронка

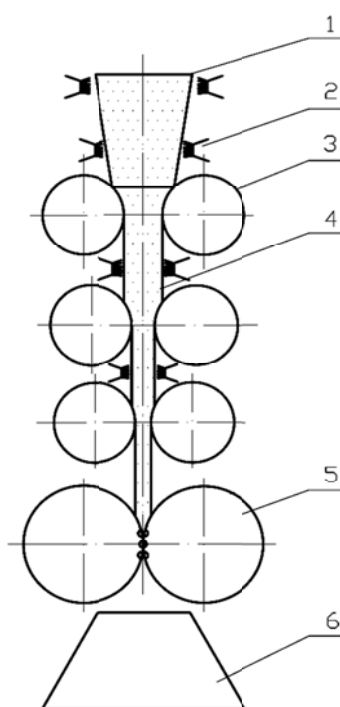


Рис. 2. Прессформовочная машина:

1 – загрузочная воронка; 2 – горелки промежуточного подогрева; 3 – прессующие валки; 4 – удерживающие проводки; 5 – ролик; 6 – разгрузочная воронка

В качестве исходных данных при расчетах использовалась методика для прокатки порошковых материалов.

Расчет очага производили при помощи итерационной процедуры – для этого осуществляется разбиение зоны уплотнения очага деформации (рис. 3) на конечное множество (K_R) элементарных объемов и, выразив исходя из характера принятых допущений геометрические характеристики, а также напряжения σ_x , τ_x и p_x в конечно-разностной форме, рассмотрим условие статического равновесия выделенного i -го элементарного объема:

$$\begin{aligned} \Sigma F_x = \sigma_{x1}h_{x1} - \sigma_{x2}h_{x2} - (p_{x1} - p_{x2})\Delta x [\sin \alpha_{x1} / \cos \alpha_{x1} + \sin \alpha_{x2} / \cos \alpha_{x2}] / 2 + \\ + (p_{x1}f_{x11} + p_{x2}f_{x12})\Delta x / 2 + (p_{x1}f_{x21} + p_{x2}f_{x22})\Delta x / 2 = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Delta x = 1/K_R$ – шаг разбиения зоны уплотнения;

h_{x1}, h_{x2} – толщина прокатываемой композиции в начальном и конечном сечениях;
 $\sigma_{x1}, p_{x1}, \sigma_{x2}, p_{x2}$ – нормальные и нормальные контактные напряжения, имеющие место, соответственно, для начального и конечного сечений данного элементарного объема.

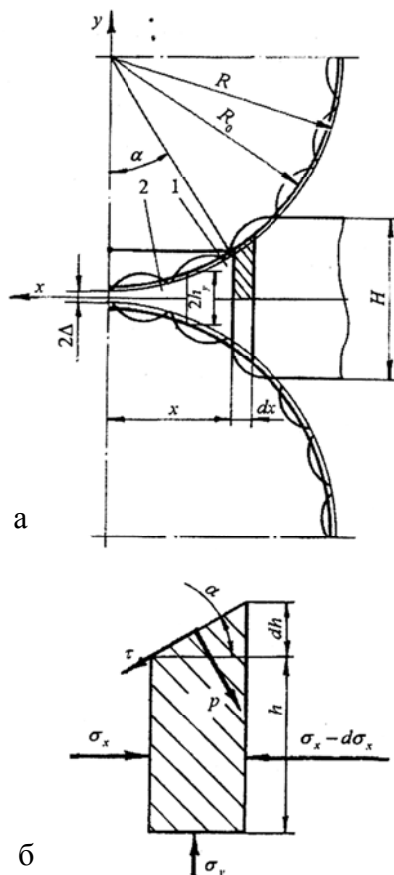


Рис. 3. Расчетная схема вальцового пресса:

а – общая схема; б – схема нагружения бесконечно малого элемента в зоне отставания

Помимо условия статического равновесия (1) нормальные σ_x и нормальные контактные p_x напряжения функционально связаны между собой еще и условием пластичности, аналитическое описание которого с учетом допущения о плоскодеформированном состоянии порошковой среды имеет следующий вид [9]:

$$p_x^2 - 2(1 - 2\alpha_x)/(1 + 4\alpha_x)p_x\sigma_x + \sigma_x^2 = 4(1 + \alpha_x)/(1 + 4\alpha_x)\beta_x\sigma_{sx}^2/3, \quad (2)$$

где α_x, β_x – текущие по длине очага деформации значения коэффициентов, учитывающих специфику деформации именно порошковой среды;

σ_{sx} – текущее значение предела текучести твердой фазы порошковой композиции данного состава.

Текущие значения коэффициентов α_x и β_x , согласно рекомендациям работы [9] могут быть определены как:

$$\alpha_x = a(1 - \gamma_x)^m; \quad \beta_x = \gamma_x^{2n}, \quad (3)$$

где $\gamma_x = \rho_x/\rho_0$ – текущее по длине очага деформации значение относительной плотности;

ρ_x/ρ_0 – текущая плотность и плотность твердой фазы данного порошка;

a, m, n – постоянные для каждого конкретного состава значения коэффициентов, характеризующих интенсивность изменения α_x и β_x в зависимости от изменения показателя относительной плотности γ_x .

Выразив из уравнения (2) величину нормальных напряжений σ_x и подставив данное условие в выражение (1), получим:

$$\begin{aligned} \sigma_{x1}h_{x1} = & \frac{1-2\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} p_{x2}h_{x2} + p_{x1} \frac{h_{x1}-h_{x2}-(f_{x11}+f_{x21})\Delta x}{2} + \\ & + h_{x2} \sqrt{p_{x2}^2 \left[\left(\frac{1-2\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} \right)^2 - 1 \right] + \frac{4}{3} \frac{1+\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} \beta_{x2} \sigma_{sx2}^2 - p_{x2} \frac{h_{x1}-h_{x2}-(f_{x12}+f_{x22})\Delta x}{2}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Перегруппировав уравнение (4), возведя в квадрат левую и правую часть выражения и решив полученное квадратное уравнение, получим:

$$p_{x2} = \left(\sqrt{t_1^2 t_2^2 - (t_1^2 - t_3)(t_2^2 - t_4)} - t_1 t_2 \right) / (t_1^2 - t_3), \quad (5)$$

где $t_1 \dots t_4$ – вспомогательные коэффициенты, принятые для упрощения формы записи:

$$\begin{aligned} t_1 = & \frac{1-2\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} h_{x2} + \frac{h_{x1}-h_{x2}-(f_{x21}+f_{x22})\Delta x}{2}; \quad t_2 = p_{x1} \frac{h_{x1}-h_{x2}-(f_{x11}+f_{x21})\Delta x}{2} - \sigma_{x1}h_{x1}; \\ t_3 = & \left[\left(\frac{1-2\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} \right)^2 - 1 \right] h_{x2}^2; \quad t_4 = \frac{4}{3} \frac{1+\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} \beta_{x2} \sigma_{sx2}^2 h_{x2}^2. \end{aligned}$$

С учетом известных значений p_{x2} , исходя из условия пластичности (2) может быть определена и величина нормальных напряжений σ_{x2} :

$$\sigma_{x2} = \frac{1-2\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} p_{x2} \sqrt{p_{x2}^2 \left[\left(\frac{1-2\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} \right)^2 - 1 \right] + \frac{4}{3} \frac{1+\alpha_{x2}}{1+4\alpha_{x2}} \beta_{x2} \sigma_{sx2}^2}, \quad (6)$$

а вместе с этим может быть определено и текущее значение относительной плотности γ_{x2} , знание которого, на что уже было указано ранее, необходимо для корректного учета реального характера распределения коэффициентов α_x и β_x по длине очага деформации.

В качестве векторной направленности используемой рекуррентной схемы решения принимали направление, соответствующее направлению движения прокатываемой композиции, а в качестве условий связи при переходе от i -го к $(i+1)$ элементарному объему использовали следующие условия:

$$\begin{aligned} x_{1(i+1)} = x_{2i}; h_{x1(i+1)} = h_{x2i}; f_{x11(i+1)} = f_{x12i}; f_{x21(i+1)} = f_{x22i}; \\ \gamma_{x1(i+1)} = \gamma_{x2i}; p_{x1(i+1)} = p_{x2i}; \sigma_{x1(i+1)} = \sigma_{x2i}, \end{aligned} \quad (7)$$

где начальные условия, т. е. геометрические и силовые характеристики для первого элементарного объема, соответствовали:

$$\begin{aligned}
 x_{1|i=1} &= l_{nl}; h_{x1|i=1} = h_0; f_{x11|i=1} = f_{om1}; f_{x21|i=1} = f_{om2}; \gamma_{x1|i=1} = \\
 &= \rho_{ym} / \rho_0; \sigma_{x1|i=1} = 0; p_{x1|i=1} = 1.155 \sigma_{sx1|i=1} \sqrt{\frac{1 + \alpha_{x1|i=1}}{1 + 4\alpha_{x1|i=1}}} \beta_{x1|i=1},
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где ρ_{ym} – плотность утряски порошковой среды.

ВЫВОДЫ

Локальные и интегральные характеристики напряженно-деформированного состояния угольной крошки при их вальцевании зависят от целого ряда факторов, основными из которых являются исходные и результирующие характеристики данных фрагментов, радиусы рабочих валков, условия внешнего контактного трения, механические свойства деформируемых сред, степень кинематической асимметрии реализуемых процессов и так далее. Отмеченное делает актуальным постановку и решение задач по автоматизированному проектированию настройки и технологических режимов работы валцов с учетом конкретных условий их работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носков В. А. Валковый пресс для брикетирования мелкофракционных отходов производства и сырья / В. А. Носков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1999. – № 2–3. – С. 100–102.
2. Опытное-промышленное опробование брикетов из отсевов силикомарганца при выплавке среднеуглеродистого ферромарганца / В. А. Носков, Б. Н. Маймур, В. И. Петренко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. – № 1. – С. 144–146.
3. Опытное-промышленное опробование брикетов из отсевов ферросплавов на ОАО «НЗФ» / В. А. Носков, В. И. Большаков, Б. Н. Маймур и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – № 3. – С. 124–126.
4. Эйдельман Л. П. Оборудование и технология брикетирования в отечественной и зарубежной металлургии / Л. П. Эйдельман // *Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 1988. – Вып. 8. – С. 2–12.
5. Приходько Т. И. Свойства кварцитоугольных брикетов на сульфитном щелоке с различным основанием / Т. И. Приходько, В. Е. Потапенко // *Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 1981. – Вып. 16. – С. 54–55.
6. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 1. Машины и агрегаты доменных цехов / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребенник и др. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
7. Васильев В. С. Расчет параметров вальцовых прессов в процессе производства формованного кокса: монография. – Славянск: Печатный двор, 2008. – 165 с.
8. Пристрій для отримання пластичних вугільних формовок – Висновок про видачу деклараційного патенту на корисну модель за результатами формальної експертизи, від 14 квітня 2011 року / Сатонін А. В., Грибков Е. П., Федоринов М. В., Приймєнко С. Г., Селедцов А. С. – Реєстраційний номер заявки и 201014727, дата подання 08.12.2010, ДДМА.
9. Прогрессивные технологические процессы штамповки деталей из порошков и оборудование / Г. М. Волкогон, А. М. Дмитриев, Е. П. Добряков и др.; под общ. ред. А. М. Дмитриева, А. Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1991. – 320 с.

Добронос Ю. К. – канд. техн. наук, доц. кафедры АММ ДГМА;

Грибков Э. П. – канд. техн. наук, доц. кафедры АММ ДГМА;

Селедцов А. С. – ассистент кафедры АММ ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 21.01.2012 г.