

УДК 62-133.2+669

Власенко Д.А.,
к.т.н. Левченко Э.П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КУСКОВОЙ ИЗВЕСТИ В ДРОБИЛКАХ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ПОДВЕСА БИЛ

Методом сравнительного анализа затрат кинетической энергии исследованы энергозатраты на дробление кусковой извести в молотковых дробилках с жестким и шарнирным подвесом бил к ротору. В результате теоретического анализа выявлено преимущество жесткого крепления бил.

Ключевые слова: роторная дробилка, молотковая дробилка, била, энергия удара, шарнирный подвес, жесткий подвес.

Проблемы повышения качества материалов в агломерации методами диспергирования исходных компонентов сырья в различных дробильно-измельчительных машинах, для образования рационального фракционного состава, считаются главенствующими в связи с непосредственным оказанием влияния на технологические особенности процесса агломерации, а также и на потребительские свойства готового агломерата, используемого в доменном производстве для выпуска чугуна [1].

На сегодняшний день в металлургической отрасли для производства железорудного сырья, при дроблении флюсов, в том числе и известняка, в агломерационном производстве широко применяют молотковые дробилки, разрушающие материал за счет накопленной кинетической энергии вращающегося ротора передающейся ударным способом материалу посредством молотков, свободно подвешенных на роторе с помощью шарниров [2]. Такое шарнирное крепление позволяет повысить надежность работы дробилок и избежать поломок их несущих деталей при попадании не дробимых предметов за счет отклонения молотков при взаимодействии с ними. Однако, вследствие нежесткого крепления молотков, происходит нерациональная потеря энергии на их отклонение от радиального положения, вызванного действием центробежных сил, расходуе-

мых на восстановление устойчивого динамического положения молотков при их отклонении от этого положения. Кроме того, обобщенный ударный импульс всей системы вращающихся элементов рассеивается в шарнирах, полезная работа разрушения переходит во вредные силы сопротивления, вызванные трением в шарнирах подвески дробящих элементов.

При таком конструктивном подходе электродвигатель дробилки потребляет большую электроэнергию для восстановления отклонения молотков от радиального положения. И чем на больший угол отклоняются молотки, тем выше затраты энергии и степень ее нерационального использования. Помимо этого, в значительной степени ухудшаются условия измельчения кускового известняка, так как не вся энергия молотков переходит в энергию разрушения материала при их взаимном соударении из-за отсутствия жесткости всей ударной системы и ее независимой подвески на роторе, кроме того, часть энергии поглощается упругими взаимодействиями отдельных деталей. Это в значительной мере понижает общий коэффициент полезного действия дробильной машины.

С учетом вышеизложенных недостатков в дробильно-измельчительной технике существует класс машин с жестким подвесом бил к ротору, именуемых роторными дробилками [2]. Одним из их положитель-

ных качеств, по сравнению с молотковыми дробилками, является более высокий коэффициент полезного действия. Это достигается тем, что передача ударного воздействия бил на разрушаемый материал осуществляется всей кинетической энергией вращающегося ротора, ввиду его большого момента инерции, за счет очень малого числа кинематических пар при отсутствии шарнирных подвесов бил, как в молотковых дробилках. Эффективность процесса дробления существенно возрастает.

Массовому распространению роторных дробилок мешает повышенная вероятность поломки рабочих органов при их контакте с не дробимыми предметами, так как жесткие била лишены возможности отклонения при ударе с ними, как, например, это осуществляется в молотковых дробилках с шарнирным подвесом молотков. Из-за этого концентрация воздействия разрушающих усилий, передающихся на била, мгновенно возрастает и приводит к резкому, иной раз к мгновенному понижению ресурсной работоспособности.

Целью данных исследований является выявление влияния способов подвеса бил (молотков) к ротору на эффективность процесса измельчения с точки зрения экономии кинетической энергии вращающихся масс.

Изучение влияния качества извести и ее содержания в аглошихте на процессы окомкования и спекания, проведенное Днепропетровским металлургическим институтом (ДМетИ) совместно с Новокриворожским горно-обогатительным комбинатом (НКГОК), выявило влияние крупности на процесс спекания агломерата [3].

На НКГОКе исследовано влияние извести, обожженной в циклонной печи (крупность 3-0 мм) и извести, получаемой в кольцевой печи ПОР (крупность 3-12 мм) на показатели спекания агломерата. Доказано, что при одинаковой степени обжига известь, полученная в циклонной печи, обеспечивает увеличение на 6-7 % скорости спекания агломерата и повыше-

ние на 6-7 % выхода класса плюс 5 мм после испытания агломерата в барабане Рубина. А также уменьшение на 7-8 % выхода класса минус 0,5 мм, что обусловлено не только меньшей крупностью извести циклонной печи, но и большей ее активностью по сравнению с известью, полученной в печи ПОР.

Установлена высокая степень влияния на эффективность дробления кусковой извести перед вводом ее в аглошихту [4]. При этом выявлено, что существует определенная «критическая» величина удельной поверхности извести, превышение которой приводит к резкому замедлению улучшения показателей процесса окомкования аглошихты. Эта величина тем больше, чем меньше крупность железорудных компонентов шихты. Например, для концентрата с удельной поверхностью 750 и 1500 см²/г резкое снижение влияния крупности извести происходит в интервале ее удельной поверхности 4000-12000 и 12000-20 000 см²/г соответственно [5].

Добавка 3 % извести в шихту, состоящую из 100 % концентрата, приводит к повышению вертикальной скорости спекания на 37 %. Выход годного агломерата возрастает на 64 %. При этом, добавка 2 % СаО в шихту, содержащую 30 % концентрата, повышает производительность на 25 %, а при 20 % концентрата в шихте такой же расход извести увеличивает производительность процесса лишь на 15,7 % [7]. Отсюда следует, что оптимальный расход извести в шихту тем выше, чем больше содержание в шихте тонких фракций. Количество извести, расходуемое в шихту, определяется и крупностью самой извести. Для достижения оптимальной производительности аглопроцесса при содержании 40 % мелкой железной руды и высокой дисперсности вводимой извести (90 % класса минус 0,074 мм) оказывается достаточным ее содержание в шихте не более 1 % [8].

В производственных условиях аглофабрики металлургического комбината «Запорожсталь» (60 % концентрата в железо-

рудной части шихты и крупности извести 3-12 мм) наибольшая производительность агломашин достигается при содержании 5,7 % извести в шихте [8]. Дальнейшее повышение расхода извести приводит к ухудшению показателей спекания из-за переокомкования шихты. Сопоставление полученных значений оптимального содержания извести в шихте с ее крупностью показывает, что, чем мельче известь, тем ниже уровень ее оптимального расхода.

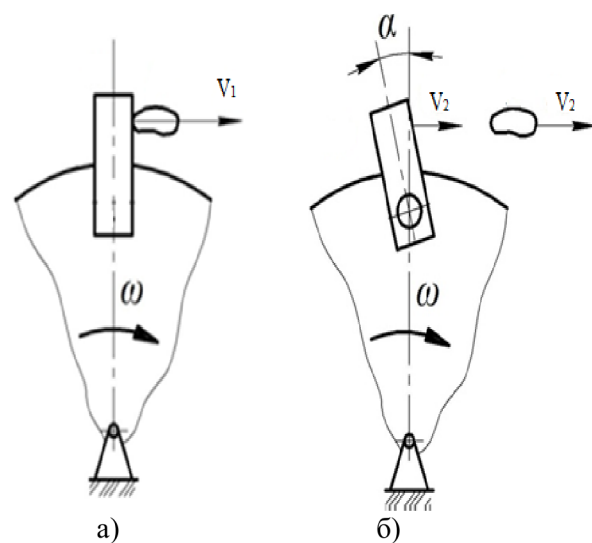
Помимо показателей активности материала важнейшим фактором, определяющим технологическую ценность негашеной извести, является тонкость ее помола. Однако показатели удельной поверхности порошка, по которым принято оценивать качество продукта, дают далеко неполное представление о его реологическом потенциале при взаимодействии с другими веществами. Ударное измельчение не имеет подобных недостатков. Быстрый удар на скоростях >50 м/с дает наивысший выход частиц требуемого размера – до 90 % при полном отсутствии остатка на сите № 008. Это значит, что мельницы быстрого удара, в принципе, более эффективны для помола такого материала, как негашеная известь. Расход энергии в динамических измельчителях, по сравнению с традиционно используемыми шаровыми мельницами, в несколько раз меньше, а благодаря более равномерному зерновому составу, технологические характеристики получаемого продукта выше [9].

Таким образом, условия наложения ударной нагрузки при дроблении извести может привести к существенному экономическому эффекту, достигаемому как за счет улучшения качества готового агломерата, так и повышения производительности процесса агломерации, что является технически достижимым при более мелком гранулометрическом составе при определенных условиях технологии дробления. Однако, существенного внимания для совершенствования конструкций дробилок для этого в настоящее время практически не уделяется.

При подаче извести в дробилку ударно-

го типа, с шарнирным подвесом бил, в молотковой дробилке некоторое количество энергии расходуется на отклонение молотков от радиального своего положения, в результате чего снижается эффективность процесса дробления и коэффициент полезного действия машины. Это обусловлено тем, что импульс от удара по материалу передается молотку и кинетическая энергия, направленная на разрушение частично уходит на преодоление сил инерции молотков и преодоление сил трения в шарнирах их креплений к ротору. В роторных дробилках с жестким креплением бил такое явление отсутствует. Поэтому, рациональным является рассмотрение процессов, влияющих на перераспределение энергии в этих двух типах машин в сравнительном анализе.

Рассмотрим действие одиночных ударов молотков дробилки в момент взаимодействия рабочих органов с частицей известняка, когда противодействием молоткам является инерция кусков. При этом делается допущение, что между сырьем и молотком возникает совершенно неупругий, прямой центральный удар. Кинематические схемы такого процесса представлены на рисунке 1.



1 – жесткая подвеска; 2 – шарнирная подвеска

Рисунок 1 – Виды подвески бил к ротору

МЕХАНИКА

При ударе шарнирно закрепленный молоток массой m_6 о кусок материала массой m_m отклоняется на некоторый угол α , при этом скорость снижается с V_1 до V_2 , тогда кинетическая энергия молотка определится по формуле [10]:
до удара:

$$A_1 = \frac{m_6 \cdot V_1^2}{2} \quad (1)$$

после удара:

$$A_2 = \frac{m_6 \cdot V_2^2}{2}, \quad (2)$$

где m_6 – масса ударного элемента (била); V_1 – скорость била в момент удара; V_2 – скорость била после удара.

Согласно закону сохранения импульса [10]:

$$m_6(V_1 - V_2) = m_m \cdot V_2, \quad (3)$$

где m_m – масса куска материала в момент удара.

$$m_6 \cdot V_1 = m_m \cdot V_2 + m_6 \cdot V_2 = V_2(m_m + m_6). \quad (4)$$

Откуда определяем скорость молотка после удара

$$V_2 = \frac{m_6 \cdot V_1}{m_m + m_6}. \quad (5)$$

Кинетическая энергия молотка после удара определяется так:
при шарнирной подвеске молотка

$$A_k = \frac{m \cdot V_k^2}{2} = \frac{m^3 \cdot V_0^2}{2(\mu + m)^2}, \quad (6)$$

при жесткой фиксации молотка

$$A_0 = A_k = \frac{m \cdot V_k^2}{2}. \quad (7)$$

Для наглядного сравнения энергозатрат, при жесткой и шарнирной подвеске бил ротора, приведена зависимость кинетической энергии молотка от величины фракции кусков извести представленная в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость кинетической энергии молотка при соударении с материалом

Фракция материала, мм									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Вес куска материала, Н									
	0,09	0,29	0,69	1,35	2,33	3,7	5,52	7,86	10,79
Кинетическая энергия молотка после соударения с материалом, $\times 10^5$ Дж									
При шарнирном креплении	2,905	2,9	2,89	2,87	2,84	2,8	2,75	2,69	2,6
При жестком креплении	2,91								
Потеря энергии молотка, %	0,05	0,3	0,7	1,37	2,41	3,78	5,5	7,6	10,6

При наибольшей крупности известняка происходит максимальная потеря кинетической энергии молотков во время их соударения с частицами и составляет 10,6%. Из анализа полученной зависимости следует, что роторные дробильно-измельчительные машины ударного действия с жестким креплением бил ротора, с точки зрения энергосбережения, являются более предпочтительными, чем молотковые машины с шарнирным креплением молотков. Причем, с увеличением фракционного состава материала, подаваемого на дробление, кинетическая энергия молотка, передаваемая кускам сырья, резко падает.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Энергия удара шарнирно подвешенного молотка, в молотковой дробилке, существенно снижается при увеличении размера куска дробимого материала, а при жестком креплении она остается постоян-

ной. Таким образом, эффективность в начальной стадии дробления, от использования роторной дробилки, при жесткой фиксации бил будет неизменной.

2. Роторные дробилки с жесткой заделкой бил гораздо эффективнее, чем молотковые дробилки, однако их недостатком является вероятность выхода из строя рабочих органов при попадании не дробимых предметов.

3. Перспективным направлением дробления и измельчения, с точки зрения повышения качества известняка, является синтез новых конструкций дробилок, совмещающих в себе комбинацию жесткого крепления бил в процессе дробления материала при возможности их предохранении от разрушения, например, как в молотковых дробилках, за счет потери жесткости бил в момент контакта с недробимыми телами.

Библиографический список

1. Еронько С. П. Моделирование процесса измельчения материала на одновалковой зубчатой дробилке / С. П. Еронько, Р. А. Удинцов, О. А. Левченко // *Металлургические процессы и оборудование*, 2012. — №1. — С. 17–23.

2. Блохин В. С. Основные параметры технологических машин для дезинтеграции твердых материалов. Ч. 1 : учеб. пособ. / В. С. Блохин, В. И. Большаков, Н. Г. Малич. — Днепропетровск : ИМА-пресс, 2006. — 404 с.

3. Савельев С. Г. Применение в агломерационной шихте извести разной степени обжига / С. Г. Савельев, Р. Д. Каменев, О. Г. Феродов и [др.] // *Изв. вуз. Черная металлургия*, 1980. — № 3. — С. 24–26.

4. Большак В. В. Влияние извести различного качества на процесс производства агломерата / В. В. Большак, Г. С. Васильев, Е. И. Сулеменко // *Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции «Проблемы производства и использования извести в черной металлургии»*. — Днепропетровск, 1979. — С. 63–64.

5. Применение извести при окусковании железорудного сырья [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://calcite-.com/publ/stat i/primenenie izvesti pri okuskovanii zhelezorudnogo syrja/ 2-1-0-20>.

6. Filloi A. Effekto de la adicon de cal en la sinterizacion de concentrados y mineralis de hierro de granulometria tina / A. Filloi. — *Revue de Metallurgie CENIM*, 1979. — № 3. — P. 189–192.

7. Didier A. Addition de chaux a l'agglomeration sur grille / A. Didier, J.L. Gerbe, F. Temoi. — *Revue de Metallurgie*, 1980. — № 8–9. — P. 665–674.

8. Масауси О. Спекание мелкой руды с добавлением негашеной извести / О. Масауси. — *Тэцу то хаханэ*, 1980. — Т. 66. — № 11. — С. 673.

9. Липилин А. Б. Ударный помол как действенное средство снижения себестоимости производства негашеной извести / А. Б. Липилин, М. В. Векслер, Н. В. Коренюгина. — *Электронный ресурс*. — Режим доступа <http://www.tpribor.ru/izvest.html>

10. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики : учеб. для вузов / С. М. Тарг. — 10-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1986. — 416 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ЛГУ им. Даля Харламовым Ю.А., к.т.н., проф. ДонГТУ Ульяницким В.Н.

Статья поступила в редакцию 10.11.15.

Власенко Д.А., к.т.н. Левченко Е.П. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**ОСОБЛИВОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ШМАТКОВОГО ВАПНЯКУ У ДРОБАРКАХ
УДАРНОЇ ДІЇ ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ПІДВІСУ БИЛ**

Методом порівняльного аналізу витрат кінетичної енергії досліджено енерговитрати на дроблення шматкового вапняку у молоткових дробарках з жорстким та шарнірним підвісом бил до ротору. В результаті теоретичного аналізу виявлено переваги жорсткого кріплення бил.

Ключові слова: роторна дробарка, молоткова дробарка, біла, енергія удару, шарнірний підвіс, жорсткий підвіс.

PhD Student Vlasenko D.A., PhD in Engineering Levchenko E.P. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**GRINDING PECULIARITIES OF LUMP LIME IN IMPACT CRUSHER UNDER
DIFFERENT TYPES OF BEATER RODS SUSPENSION**

Power consumption for lump lime grinding in hammer grinder with hard and hinged suspension of beater rods to rotor were examined using comparative analysis of kinetic energy consumption. As a result of theoretical analysis the advantage of hard fixing a beater rod was found out.

Key words: impactor, hammer grinder, beater rods, impact energy, hinged suspension, hard suspension.