

Izvestija vysšich učebnych zavedenij
Gornyj žurnal
(1970) 2, S. 153 - 156

Karmazin, V.I., Prof., Ivanov, A.A., Prof., Gorobec, V.I., Ing., Gorobec, L.Ž., Ing.; (Artem-Institut für Bergbau in Dneprpetrovsk);

UNTERSUCHUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS FÜR DIE ZERKLEINERUNG VON EISEN- QUARZIT DES EISENERZBECKENS KRIWOI ROG DURCH SCHLAG UND ABRIEB

In der Zerkleinerungspraxis wird der direkte Aufprall der Teilchen, bei dem ihre räumliche Zertrümmerung (Volumenzertrümmerung) mit dem Verlust der Gesamtform stattfindet und das Feingut aus dem Innern der Teilchen gewonnen wird, für den elementaren Akt der Schlagzertrümmerung gehalten. Eine Verbindung schiefer Schläge, die zur Abspaltung von Kanten und scharfen Ecken führen, und des Abriebverschleißes durch die Einwirkung zahlreicher punktförmiger Kräfte auf die Teilchenoberfläche beim gegenseitigen Zusammenprall charakterisiert den Abriebmechanismus. Die Rolle des Abriebs ist bei geraden Schlägen der Teilchen entweder verschwindend klein, oder der Abrieb spielt praktisch überhaupt keine Rolle.

Die Zerkleinerung in Strahlmühlen erfolgt durch eine Verbindung von Schlag und Abrieb; es wird dabei eine hohe Dispersität des Guts (bis zu $1 \mu\text{m}$) erreicht [1]. Die Untersuchungen zeigen, daß der Abriebeffekt sich beim Übergang von Trommel-Kugelmühlen zu Erz-Flintsteinmühlen und von der Vibrationszerkleinerung mit Metallkörpern zum autogenen Mahlen (Selbstzerkleinerung) erhöht [2, 3].

Offensichtlich besitzt jede Zerkleinerungsmethode ein bestimmtes Optimum, bei dem die für die Bildung einer neuen Oberflächeneinheit aufzuwendende Energie minimal ist. Dieses Optimum muß von der Größe der zu zerkleinernden Teilchen abhängen. Vom praktischen Gesichtspunkt aus ist eine Optimierung der Abhängigkeit des Energieaufwands von der Größe der erzeugten Oberfläche bei verschiedenen Zertrümmerungsmethoden und von den Ausgangsgrößen der Teilchen von Interesse.

Die Zerkleinerung durch Schlag erfolgte auf einem Fallwerk durch einmaligen Schlag einer fallenden Last. Die Fallhöhe und das Lastgewicht

wurden so reguliert, daß die Aufprallgeschwindigkeit 25, 50, 100, 150 m/sec betrug. Der Einfluß der Teilchengröße wurde für folgende Kornklassen untersucht: 3 - 6; 2 - 3; 1 - 2; 0,5 - 1,0 mm. Der Abrieb des Materials wurde in einer vertikalen Labor-Pulverisiermühle mit einem Volumen von $V = 1400 \text{ cm}^3$ durchgeführt; die Teilchen wurden dabei in den Schwebezustand versetzt und in einem Luftstrom - der bei Rotation eines Laufrads erzeugt wird, bewegt; durch die Reibung beim gegenseitigen Zusammenprall wurden die Teilchen zerkleinert. Die Korngröße variierte zwischen 0,074 und 2,5 mm; die Drehzahl des Laufrads wurde auf $n = 8000 \text{ U/min}$ festgesetzt, die Abriebsdauer betrug $t = 5 \text{ sec}$, die Teilchenkonzentration war optimal und betrug $k = 0,1 \text{ g/cm}^3$ des Mahlvolumens.

Das Mahlgut wurde einer Siebanalyse unterzogen und nach den Siebungswerten wurde die spezifische Teilchenoberfläche berechnet:

, (1)

wobei δ - die Erzdichte ist, g/cm^3 ;

γ_i - die Ausbeute einer engen $\langle ? \rangle$ Kornklasse, Einheitsanteile;

d_i - die durchschnittliche Größe der i-ten Klasse, cm.

Die durchschnittliche Teilchengröße einer engen $\langle ? \rangle$ Klasse wurde nach der Formel des arithmetischen Mittels berechnet. Für eine Kornfraktion von $-0,074 \text{ mm}$ wurde der durchschnittliche Durchmesser nach der Formel

(2)

berechnet,

wobei d - der Korndurchmesser ist;

y - die kumulative Gewichtsausbeute der Teilchen minus d ;

A - der konstante Koeffizient, der von der Stoffgröße abhängt,

; $\langle a \rangle$

d_{max} - der maximale Teilchendurchmesser \langle Durchmesser eines maximalen Teilchens \rangle ;

k - die Kennziffer ist, die die Richtung und den Biegegrad der Kornverteilungskennlinie bestimmt [4].

In Zeichnung 1 sind die experimentellen Werte angeführt, dargestellt im dreidimensionalen Raum. Jedes Ergebnis der Schlagzertrümmerung ist das Mittel aus 10 parallelen Ermittlungen; beim Abrieb - aus 3 - 5 Ermittlungen. Zur Feststellung der Größe der Aufprallgeschwindigkeit und Teilchengröße, bei denen die Optimum-Bedingung (minimaler Energieaufwand des Vorgangs bei maximaler neu entstandener Teilchenoberfläche) gewährleistet ist, wurde eine Analyse der graphischen Abhängigkeiten durchgeführt (Zeichnung 1). Die optimalen Bedingungen beider Zertrümmerungsmethoden werden verglichen und bestimmt, welche Methode für Eisenquarzite mit Größenvariation vorteilhafter ist.

Eine Verallgemeinerung ergab, daß die Schlagzertrümmerung bei einer Größe von weniger als 0,2 mm nicht-effektiv wird (Zeichnung 2). Mit einer Zunahme der Teilchengröße von 0,25 auf 4 mm ist es für eine Schlagzertrümmerung mit großer Effektivität notwendig, die Aufprallgeschwindigkeit von 25 auf 150 m/sec zu erhöhen. Eine Abweichung von der optimalen Geschwindigkeitsgröße ruft eine Verminderung des Mahlwirkungsgrads hervor. Der Bereich C wird Zwischenbereich genannt, weil die Schlagzertrümmerung von Teilchen mit 0,25 - 2,5 mm Größe mit der hohen Geschwindigkeit von 100 - 150 m/sec begleitet wird von einem erhöhten Verbrauch an Oberflächen-Energie bei einer etwas größeren erzeugten Oberfläche im Vergleich zum Abrieb. In diesem Fall hängt die Wahl der Methode von den Arbeitsbedingungen ab. Der Bereich B charakterisiert die besten Zerkleinerungsbedingungen durch Abrieb. Wie man sieht, ist es zweckmäßig, diese Methode bei der Zerkleinerung von Teilchen von weniger als 0,2 mm anzuwenden, und je kleiner ihre Abmessungen sind, um so effektiver ist der Abrieb im Vergleich zur Schlagzertrümmerung von Eisenquarziten (Zeichnung 1). Somit ist eine der Möglichkeiten zur Intensivierung der Fein- und Feinstzerkleinerungsverfahren eine Vervollkommnung der Mühlenkonstruktionen, um in ihnen eine Oberflächenzertrümmerung der Teilchen - Abrieb - zu erhalten. Nach diesem Prinzip wurde eine konische Gasstrahlmühle geschaffen.

Der konstruktionsmäßige Unterschied der neuen Mühle läuft darauf hinaus,

daß die Gegenstrom-Mahlkammer durch eine konische ersetzt wird. In Tabelle 1 sind der Zerkleinerungsbetrieb, die Produktivität und der spezifische Verbrauch dargestellt. Der spezifische Elektroenergieverbrauch ist bedingt durch die für das Gebläse erforderliche Leistung.

Die Vorteile der Mühle sind folgende:

die Teilchengeschwindigkeit bleibt über die Kammerhöhe konstant und es findet keine Minderung der Mahlwirkung durch eine Reduzierung der Teilchengeschwindigkeit statt;

die Zeit für die Energieübergabe vom Gas an die Teilchen während eines Zyklus wird erhöht, was zu einer Reduzierung des spezifischen Energieverbrauchs beiträgt.

Vergleicht man die Versuchsergebnisse der Gasstrahl-Zerkleinerung oxidierter Eisenquarzite mit 3 - 0 mm Größe in einer Gegenstrom-Gasstrahlmühle und in der Versuchs-Gasstrahlmühle, kann man sagen, daß die Anwendung der Abriebzertrümmerung der Teilchen in Konus<Glocken->mühlen ihre Produktivität in Abhängigkeit vom Zerkleinerungsbetrieb um 30 - 80 % erhöht. Der spezifische energetische Aufwand und der Kerosinverbrauch für 1 t Fertigprodukt nehmen um das 1,3 - 2-fache ab. Der Gehalt der Klasse -0,074 mm im Mahlgut betrug dabei 99 - 99,8 % . -

Erläuterungen der Zeichnungen und der Tabelle

Zeichnung 1

Vergleich der spezifischen Oberfläche $lg S$, des Oberflächen-Energieverbrauchs E und des durchschnittlichen Durchmessers d der durch Schlag und Abrieb zu zerkleinernden Teilchen:

_____ Abrieb; Schlagzertrümmerung bei den jeweiligen Geschwindigkeiten, m/sec, ----- 25; ----- 50; ----- 100; _____ 150.

Zeichnung 2

Änderung des Bereichs mit minimalem Oberflächen-Energieverbrauch bei der Zerkleinerung durch Schlag und Abrieb mit einem Anwachsen der durchschnittlichen Größe der Ausgangsteilchen:

- A - Bereich mit minimalem Energieverbrauch bei Schlagzertrümmerung;
- B - Bereich mit minimalem Energieverbrauch bei Abrieb;
- C - Zwischenbereich.

Tabelle 1

Technische Daten einer Gasstrahlmühle mit konischer Mahlkammer

$t, ^\circ C$	$P, MN/m^2$	$G_{topl.} \text{ kg/h}$ <Brennstoff>	$Q, t/h$	$E_{ud}, kWh/t$ <spez.>	$G_{ud}, kg/t K$ <spez.> <u>rosin</u>
---------------	-------------	--	----------	----------------------------	--

Literatur

1. Akunov, V.I. Strujnye mel'nicy <Strahlmühlen>. Izd. "Mašinostroenie", 1967
2. Karmazin, V.I.
Denisenko, A.I. Samoizmel'čenie krivorožskich magnetitovyh rogovikov <Autogenes Vermahlen <Selbstzerkleinerung> der Magnetit-Hornfelsen bei Kriwoi Rog>. Gornyj žurnal, No 10, 1963
3. Karmazin, V.I.,
Poturaev, V.N.,
Gorobec, L.Ž.,
Gorobec, V.I. Issledovanie vibracionnogo samoizmel'čeniya magnetitovogo kvarcita Krivbassa. Sb. "Obogaščenje poleznych iskopaemych" <Untersuchung der <Vibrations-Selbstzerkleinerung> autogenen Vibrationszerkleinerung des Magnetit - Quarzits des Eisenerzbeckens Kriwoi Rog. Sammelband "Aufbereitung von Bodenschätzen">. Izd. "Technika", vyp. 2, 1967
4. Andreev, S.E.,
Tovarov, V.V.
Perov, V.A. Zakonomernosti izmel'čeniya i isčislenie charakteristik granulometričeskogo sostava <Gesetzmäßigkeiten für die Zerkleinerung und die Berechnung der Charakteristiken der Kornzusammensetzung>. Metallurgizdat, 1959

Empfohlen vom Lehrstuhl
für die Aufbereitung von
Bodenschätzen des
Artem-Instituts für Bergbau
in Dnepropetrovsk

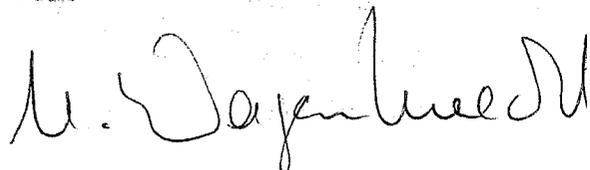
Eingegangen in der Redaktion
am 21. Mai 1969

Anmerkung des Übersetzers

Bei den Termini in < > handelt es sich um die wörtliche Übersetzung.

Stuttgart, den 27.1.1971

i.A.



(Monika Wagenknecht)
Dipl.-Übersetzerin

УДК 622.73

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КРИВБАССА
УДАРОМ И ИСТИРАНИЕМ**

*Проф. В. И. КАРМАЗИН, проф. А. А. ИВАНОВ, инж. В. И. ГОРОБЕЦ,
инж. Л. Ж. ГОРОБЕЦ*

Днепропетровский ордена Трудового Красного Знамени горный институт имени Артема

В практике измельчения элементарным актом ударного разрушения считают прямое столкновение частиц, при котором происходит их объемное разрушение с потерей общей формы и тонкий продукт получается из глубины частиц. Сочетание косых ударов, приводящих к скалыванию граней и острых углов, и абразивного износа от воздействия на поверхность частиц многочисленных точечных сил при взаимных столкновениях характеризует механизм истирания. Роль истирания при прямолинейных ударах частиц может быть либо ничтожно малой, либо истирание практически вообще не будет играть никакой роли.

Измельчение в струйных мельницах осуществляется сочетанием удара и истирания, и при этом достигается высокая дисперсность продукта (до 1 мк) [1]. Исследования показывают, что эффект истирания увеличивается при переходе от барабанно-шаровых мельниц к рудногалечным и от вибрационного измельчения металлическими телами к самоизмельчению [2, 3].

Очевидно, каждому методу измельчения свойственен определенный оптимум, при котором энергия, затрачиваемая на образование единицы новой поверхности, минимальна. Этот оптимум должен зависеть от размеров измельчаемых частиц. С практической точки зрения представляет интерес оптимизация зависимости энергозатрат от величины образованной поверхности при различных методах разрушения и исходной крупности частиц.

Измельчение ударом производилось на вертикальном копре однократным ударом падающего груза. Высота падения и вес груза регулировались таким образом, чтобы скорость соударения составляла 25, 50, 100, 150 м/сек. Влияние размера частиц исследовалось для следующих классов крупности: 3—6; 2—3; 1—2; 0,5—1,0 мм. Истирание материала осуществлялось в лабораторном вертикальном истирателе объемом $V=1400 \text{ см}^3$, где частицы приводились во взвешенное состояние, перемещались в воздушном потоке, создаваемом при вращении импеллера, и измельчались от трения при взаимных столкновениях. Крупность частиц изменялась от 0,074 до 2,5 мм, число оборотов импеллера принималось $n=8000 \text{ об/мин}$, время истирания $\tau=5 \text{ сек}$, концентрация частиц была оптимальной и составляла $k=0,1 \text{ г/см}^3$ помольного объема.

Измельченный материал подвергался ситовому анализу, и по данным рассева рассчитывалась удельная поверхность частиц:

$$S = \frac{6}{\delta} \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i}{d_i}, \quad (1)$$

где δ — плотность руды, $г/см^3$;

γ_i — выход узкого класса крупности, доли единицы;

d_i — средний размер i -го класса, $см$.

Средний размер частиц узкого класса рассчитывался по формуле среднего арифметического. Для фракции крупностью $—0,074$ мм средний диаметр вычислялся по формуле

$$y = Ad^k, \quad (2)$$

где d — диаметр зерна;

y — кумулятивный весовой выход частиц минус d ;

A — постоянный коэффициент, зависящий от крупности материала,

$$A = \frac{100}{d_{\max}^k};$$

d_{\max} — диаметр максимальной частицы;

k — показатель, определяющий направление и степень изгиба характеристики распределения частиц по крупности [4].

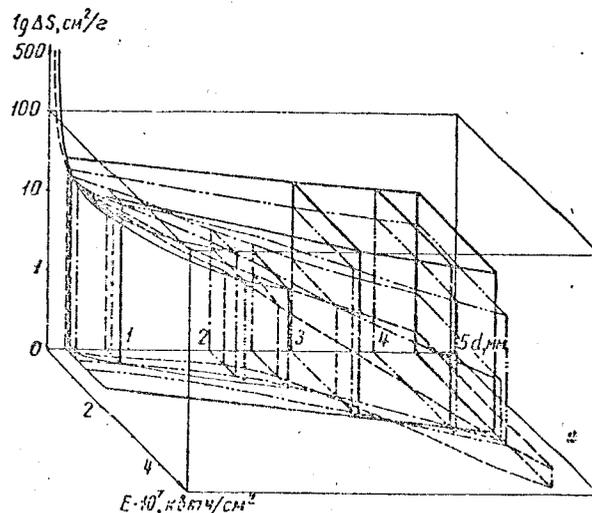


Рис. 1. Сопоставление удельной поверхности $lg \Delta S$, поверхностной энергоёмкости E и среднего диаметра d , измельчаемых ударом и истиранием частиц:

— истирание; ударное разрушение соответственно при скоростях соударения, $м/сек$ — 25; — 50; — 100; — 150.

На рис. 1 приведены данные экспериментов, представленные в трехмерном пространстве. Каждый результат ударного разрушения есть среднее из 10 параллельных определений, истирания — из 3—5 определений. Для установления величины скорости соударения и крупности частиц, при которых обеспечивается условие оптимума (минимальная энергоёмкость процесса при максимальной вновь образованной поверхности частиц), производился анализ графических зависимостей (рис. 1). Оптимальные условия обоих способов разрушения сравнивались, и определялось, какой способ более выгоден для железистых кварцитов с изменением крупности.

Обобщение показало, что ударное разрушение становится неэффективным при крупности менее $0,2$ мм (рис. 2). С увеличением размера частиц от $0,25$ до 4 мм для разрушения ударом с высокой эффективностью необходимо увеличивать скорость соударения от 25 до 150 $м/сек$. Отклонение от оптимальной величины скорости вызовет снижение эффективности измельчения. Область B названа промежуточной по той причине, что разрушение частиц размером $0,25—2,5$ мм ударом с высокой скоростью $100—150$ $м/сек$ сопровождается

повышенной поверхностной энергоёмкостью при несколько большей образованной поверхности в сравнении с истиранием. В этом случае выбор метода зависит от рабочих условий. Область *Б* характеризует наилучшие условия измельчения посредством истирания. Как видно, целесообразно при-

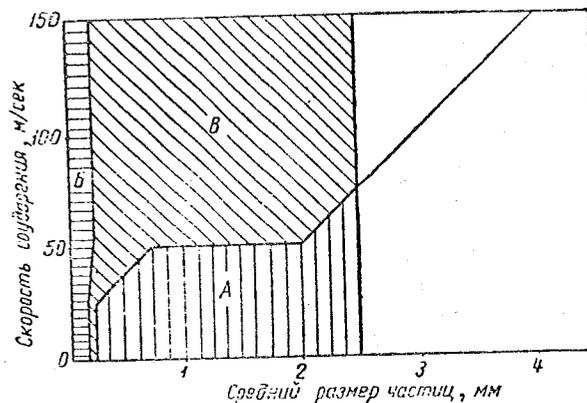


Рис. 2. Изменение области минимальной поверхностной энергоёмкости измельчения ударом и истиранием с возрастанием среднего размера исходных частиц:

А — область минимальной энергоёмкости ударного разрушения; *Б* — область минимальной энергоёмкости истирания; *В* — промежуточная область.

менять этот метод при измельчении частиц менее 0,2 мм и чем меньше их размер, тем эффективнее истирание в сравнении с ударным разрушением железистых кварцитов (рис. 1). Таким образом, одним из путей интенсификации процессов тонкого и сверхтонкого измельчения является совершенствование конструкций мельниц для создания в них поверхностного разрушения частиц — истирания. На таком принципе была создана коническая газоструйная мельница.

Конструктивное отличие новой мельницы сводится к замене противоточной помольной камеры конической. В табл. 1 представлен режим измельчения, производительность и удельный расход. Удельный расход электроэнергии обусловлен потребляемой мощностью воздуходувной машины.

Таблица 1

Технические показатели газоструйной мельницы с конической помольной камерой

$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мг/м}^3$	$G_{\text{топл.}}, \text{кг/ч}$	$Q, \text{т/ч}$	$E_{\text{уд.}}, \text{квт-ч/т}$	$G_{\text{уд.}}, \text{кг/т керосина}$
400	0,22	9,8	0,16	154,5	61,2
600	0,2	10,0	0,18	95,0	55,5

Преимущества мельницы состоят в следующем:

скорость частиц по высоте камеры остается постоянной и не происходит снижения эффекта измельчения от уменьшения скорости частиц; увеличивается время передачи энергии от газа к частицам в течение одного цикла, что способствует снижению удельного расхода энергии.

Сравнивая результаты испытаний газоструйного измельчения окисленных железистых кварцитов крупностью 3—0 мм в противоточной и испытываемой газоструйных мельницах, можно сказать, что использование истирающего раз-

рушения частиц в конической мельнице повышает ее производительность на 30—80% в зависимости от режима измельчения. Удельные энергетические затраты и расход керосина на 1 т готового продукта снижаются в 1,3—2 раза. Содержание класса — 0,074 мм в измельченном продукте при этом составило 99—99,8%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акунов В. И. Струйные мельницы. Изд. «Машиностроение», 1967.
2. Кармазин В. И., Денисенко А. И. Самоизмельчение криворожских магнетитовых роговиков. Горный журнал, № 10, 1963.
3. Кармазин В. И., Потураев В. Н., Горобец Л. Ж., Горобец В. И. Исследование вибрационного самоизмельчения магнетитового кварцита Кривбасса. Сб. «Обогащение полезных ископаемых». Изд. «Техника», вып. 2, 1967.
4. Андреев С. Е., Товаров В. В., Перов В. А. Закономерности измельчения и исчисление характеристик гранулометрического состава. Металлургиздат, 1959.

Рекомендована кафедрой
обогащения полезных ископаемых ДГИ

Поступила в редакцию
21 мая 1969 г.