ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ УДАРНОЙ НАГРУЗКИ НА ОКАТЫШИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА*

А. С. ТИМОФЕЕВА, канд. техн. наук, профессор кафедры металлургии и металловедения, *iked@yandex.ru*;

А. А. КОЖУХОВ, д-р техн. наук, доцент кафедры металлургии и металловедения;

В. В. ФЕДИНА, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и металловедения;

К. А. ЕЛИСЕЕВА, магистрант кафедры металлургии и металловедения
(Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Россия, г. Старый Оскол)

Аннотация. Несмотря на важность уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду пыли, образующейся при транспортировке железорудных окатышей, и сокращения потерь при их истирании, влияние гранулометрического состава окатышей на их разупрочнение при транспортировке исследовано недостаточно.

При определении предельной ударной нагрузки на окатыши использованы неофлюсованные окатыши разного гранулометрического состава с обжиговой машины реального производства пяти фракций: 8, 10, 12, 14 и 16 мм. При проведении данного эксперимента приняты допущения, что все окатыши имеют форму шара и одинаковый химический состав; окатыши всех фракций имеют одинаковую плотность; окатыш начинает двигаться с нулевой скоростью. В экспериментах окатыши падали с высоты 1 м на твердую поверхность (дно короба).

В результате исследований установлена зависимость числа претерпевающих окатышами ударов до полного разрушения от их гранулометрического состава. Выявлено, что наибольшее число ударов (170) выдерживает окатыш диам. 10 мм, а наименьшее — окатыш диам. 8 мм. Поэтому окатыши диам. 10 мм можно использовать при транспортировке на дальние расстояния, а окатыши диам. 8 мм по возможности следует сократить в общей массе окатышей, так как они начнут истираться первыми уже при 45 ударах.

Ключевые слова: неофлюсованные окатыши; гранулометрический состав; разрушение окатышей; предельная нагрузка окатышей.

Ссылка для цитирования. Тимофеева А.С., Кожухов А.А., Федина В.В., Елисеева К.А. Определение предельной ударной нагрузки на окатыши в зависимости от их гранулометрического состава // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 11. С. 38–41.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-38-41

В данной работе рассматривались окатыши, полученные из магнетитового концентрата, и влияние гранулометрического состава окатышей на их разупрочнение при транспортировке. Это важный вопрос, так как в процессе транспортировки и перегрузок может происходить разрушение окатыша и его истирание. Образующаяся пыль попадает в окружающее пространство, кроме того, теряется часть драгоценного материала, который должен идти на металлургический передел. Исследований по данному вопросу недостаточно.

Для исследования были взяты неофлюсованные окатыши разного гранулометрического состава с обжиговой машины реального производства пяти фракций: 8, 10, 12, 14 и 16 мм.

При проведении данного эксперимента принимались следующие допущения [1]:

- окатыш имеет форму шара;
- окатыши всех фракций имеют одинаковую плотность;
- окатыши имеют один химический состав;
- считается, что окатыш начинает двигаться с нулевой скоростью.

В экспериментах окатыши падали с высоты 1 м на твердую поверхность (дно короба). Применяя законы физики, рассмотрим силу, с которой окатыш ударяется о твердую поверхность, возникающую аналогично при пересыпке окатышей. Сила, с которой окатыш будет ударяться при падении, может быть определена из закона сохранения импульса, по формуле [2]:

$$m\Delta\vec{W} = \vec{F}\Delta t, \quad (1)$$

где m — масса окатыша; $\Delta\vec{W}$ — изменение скорости до удара и после; $\vec{F}$ — сила взаимодействия между окатышем и плоскостью.

Сила со стороны окатыша на плоскость равна по величине силе и противоположна по направлению со стороны плоскости на окатыш (по закону Ньютона):

$$|\vec{F}_{\text{ок}}| = |\vec{F}_{\text{пл}}|. \quad (2)$$

Перед ударом окатыш будет иметь скорость, которую можно определить из равноускоренного движения, считая, что окатыш начинает падать с нулевой скоростью.

* Исследование выполнено в рамках государственного задания 11.1298.2017/ПЧ.

Тогда

$$W = \sqrt{2gH}, \quad (3)$$

где H — высота, с которой падает окатыш, равная 1 м; g — ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Считая, что удар абсолютно упругий и поверхность расположена неподвижно относительно вертикальной оси, можно применить уравнение (1).

Массу окатыша можно выразить через объем и плотность:

$$m = \frac{1}{6} \pi d_{\text{ок}}^3 \rho_o, \quad (4)$$

где $d_{\text{ок}}$ — средний диаметр окатыша, измеряемый штангенциркулем; ρ_o — объемная плотность окатышей.

Зная время взаимодействия окатыша и скорость, с которой он отскакивает от плоскости, можно найти силу по формуле

$$F = \frac{1}{6} \pi d_{\text{ок}}^3 \rho_o \frac{W_1 - W}{\Delta t}. \quad (5)$$

Скорость отскока окатыша определяется из формулы (3), следовательно получим:

$$W_1 = \sqrt{2H_1g}, \quad (6)$$

где W_1 — скорость отскока; H_1 — высота, на которую поднимаются окатыши при отскоке (из эксперимента).

Тогда, подставляя в формулу (5), получим:

$$F_1 = \frac{1}{6} \pi d_{\text{ок}}^3 \rho_o \frac{\sqrt{2gH} - \sqrt{2H_1g}}{\Delta t}. \quad (7)$$

Для окатышей различного диаметра силы будут различными, так как $d_{\text{ок}}$, H_1 и Δt различны.

Для того чтобы определить высоту отскока окатыша при ударе о твердую металлическую поверхность, проводился следующий эксперимент.

Из каждой фракции 8, 10, 12, 14 и 16 мм брались по 10 окатышей ровной формы шара. Каждый окатыш сбрасывался с 1 м на твердую металлическую поверхность, сбоку была закреплена сетка 1×1 см. Падение окатыша фиксировалось на камеру Baumer с частотой 200 кадров в секунду. Далее в программе Vegas Pro 11 была проведена раскадровка видео на определенные кадры, в которых просматривалась высота отскока (см. рисунок). Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Кадры падения окатыша с высоты 1 м и отскока

Pictures of a falling pellet from 1 m height and kickback

ТАБЛИЦА 1. ЗНАЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЫСОТЫ ОТСКОКА И ВРЕМЕНИ СОУДАРЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ

TABLE 1. VALUES OF EXPERIMENT DATA ON THE KICKBACK HEIGHT DETERMINING AND TIME OF PELLETS COLLISION

Параметр	Фракция, мм				
	8	10	12	14	16
H_1 , мм	90	12	13	14	20
$\Delta t \times 10^{-5}$, с	0,406	0,457	0,445	0,592	0,658
F_1 , кгс	47,041	103,83	183,3	217,77	284,8

Для каждой фракции предел прочности различный. Будем считать, что на окатыш со стороны подставки во время удара действует сила, равная пределу прочности, выраженному через взаимосвязь с числом ударов, и определим, через сколько ударов окатыш разрушится. Подставляя в формулу (7) вместо F различные зависимости напряжений, возникающих в окатыше при ударах, через полиномы для каждой фракции, полученные ранее экспериментально, выразим, какое максимальное число ударов может выдержать окатыш определенной фракции. Для каждой фракции предельная нагрузка в зависимости от числа ударов определяется своим полиномом [3].

Для 8 мм:

$$F = -0,3488n^2 + 17,573n + 55,453, R^2 = 0,908.$$

Для 10 мм:

$$F = 0,0995n^2 + 3,6143n - 4,2495, R^2 = 0,894.$$

Для 12 мм:

$$F = 0,0844n^2 + 9,8829n + 31,972, R^2 = 0,834.$$

Для 14 мм:

$$F = -0,1048n^2 + 8,9443n + 83,364, R^2 = 0,76.$$

Для 16 мм:

$$F = -0,2087n^2 + 13,544n + 6,2468, R^2 = 0,958.$$

Решая каждое уравнение относительно числа ударов, получили для каждой фракции определенное число ударов, которое окатыш может выдержать (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. ПОЛУЧЕННОЕ ЧИСЛО УДАРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

TABLE 2. OBTAINED NUMBER OF STRIKES DEPENDING ON GRANULOMETRIC COMPOSITION

Фракция, мм				
8	10	12	14	16
45	170	57	78	152

С чем же связано такое распределение предельных нагрузок для различного гранулометрического состава окатышей? Для этого были произведены расчеты нагрузок не на окатыш, а на единицу площади поперечного сечения окатышей. Для этого брали окатыши каждой фракции по 100 шт. и проверяли прочность окатышей через каждый удар с одного до двадцати. Затем, зная поперечное сечение каждого окатыша, находили нагрузку, приходящуюся на 1 мм² сечения окатыша. Это было сделано с окатышами каждой исследуемой фракции. Результаты представлены для начального варианта окатышей, без удара, а затем через каждые 5 ударов в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ (кгс/мм²), ВЫДЕРЖИВАЕМЫЕ ОКАТЫШАМИ РАЗНЫХ ФРАКЦИЙ

TABLE 3. COMPARATIVE LOADS (kgf/mm²), BEARED BY PELLETS OF DIFFERENT FRACTIONS

Число ударов	Фракция, мм				
	8	10	12	14	16
0	7,71	5,57	3,38	2,56	2,04
5	6,6	4,72	3,31	2,27	1,99
10	4,38	4,25	2,99	2,25	1,83
15	3,99	4,19	2,73	2,22	1,81
20	2,49	3,42	2,49	1,85	1,81

Расчетные данные дают возможность получить сравнительные нагрузки для окатышей всех исследуемых фракций. Из данных табл. 3 следует, что самая большая удельная нагрузка на 1 мм² приходится на окатыши фракции 8 мм, поэтому целый окатыш имеет меньшую прочность.

Самая же маленькая нагрузка, приходящаяся на 1 мм², наблюдается в окатышах фракции 16 мм, что обеспечивает целому окатышу этой фракции большую прочность при ударе. При этом не следует забывать, что в расчетах принят однородный окислительный обжиг для всех размеров окатышей. При наличии внутренних трещин результаты воздействия ударных нагрузок могут быть другими.

Воздействия ударных нагрузок на окатыши практически начинаются на выходе из обжиговой машины при падении в бункер охлаждения, где средняя высота может составлять 2 м, затем при складировании в штабель посредством укладчика окатыши падают примерно с высоты 1–2 м. При погрузке в вагоны и последующей разгрузке у потребителя число падений окатыша может изменяться от 4 до 10 раз, высота падений также может изменяться от 1 до 10 м. Таким образом, окатыши при транспортировке испытывают значительные ударные нагрузки.

Вывод

Из исследования следует, что в зависимости от гранулометрического состава число ударов до полного разрушения окатышей разное.

Наибольшее число ударов выдерживают окатыши фракции 10 мм, это, по всей вероятности, связано с хорошим упрочняющим обжигом и не-

малым сечением окатышей данной фракции, а наименьшее — фракции 8 мм. Исходя из приведенных выше расчетов следует, что долю окатышей размером менее 8 мм следует сократить ориентировочно на 4 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ибатулин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев: монография. — Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2008. — 387 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: учебное пособие для вузов. 11-е изд., стер. — М.: Академия, 2006. — 560 с.
3. Тимофеева А.С., Кожухов А.А., Федина В.В., Захарова К.А. Исследование разупрочнения обожженных окатышей в зависимости от их гранулометрического состава // Сборник материалов V региональной межвузовской научно-практич. конф. “Творчество молодых — родному региону”, г. Выкса, 20 апреля 2018 г. С. 152–154.

DETERMINATION OF THE PEAK IMPACT LOAD OF PELLETS DEPENDING ON THEIR GRANULOMETRIC COMPOSITION

A. S. TIMOFEEVA, PhD (Tech), Professor, Dpt Metallurgy and Metal science, uked@yandex.ru;

A. A. KOZHUKHOV, HD (Tech), Associate Professor, Dpt Metallurgy and Metal science;

V. V. FEDINA, PhD (Tech), Associate Professor, Dpt Metallurgy and Metal science;

K. A. ELISEEVA, undergraduate, Dpt Metallurgy and Metal science.

(Sary Oskol Technological Institute after A.A. Ugarov (branch) National Research Technological University “MISiS”, Russia, Sary Oskol)

Abstract. Despite the importance of negative impact decrease on the environment by dust, formed at iron ore pellets transporting, and reduction losses at their abrasion, influence of pellets granulometric composition on their softening during their transporting studied not enough.

To determine the pellets peak impact load non-fluxed pellets of different granulometric composition and five fractions 8, 10, 12, 14 and 16 mm were used taken from sinter machine of real production. For this experiment assumptions were made that all the pellets have a ball form and the same chemical composition, pellets of all fractions have the same density, a pellet starts to move with a zero velocity. In the experiments the pellets were falling from 1 m height on a hard surface (box bottom).

As a result of experiments dependence of the number of strikes undergone by the pellets till complete destruction on their granulometric composition was determined. It was revealed that the biggest number of strikes (170) a pellet of 10 mm diameter can withstand, and the smallest one – a pellet of 8 mm diameter. Therefore 10 mm pellets can be used for long distance transporting, but 8 mm pellets should be decreased if possible in general volume of pellets, since they will be the first to begin the abrasion after 45 strikes.

Key words: non-fluxed pellets; granulometric composition; pellets destruction; peak load of pellets.

For citation: Timofeeva A.S., Kozhukhov A.A., Fedina V.V., Eliseeva K.A. Determination of the peak impact load of pellets depending on their granulometric composition. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii* = *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 11, pp. 38–41. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-8-41

REFERENCES

1. Ibatulin I.D. *Kinetika ustalostnoi povrezhdaemosti i razrusheniya poverkhnostnykh sloev* [Cynetics of fatigue failure and destruction of surface layers]. Samara: Samarskii gos. tekhn. universitet, 2008, 387 p. (In Russ.).
2. Trofimova T.I. *Kurs fiziki* [A course of physics]. Moscow: Akademiya, 2006, 560 p. (In Russ.).
3. Timofeeva A.S., Kozhukhov A.A., Fedina V.V., Zakharova K.A. Study of roasted pellets weakening depending on their grane-size distribution size distribution. In: *Sbornik materialov V regionalnoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Tvorchestvo molodykh – rodnomu regionu”*, g. Vyksa, 20 aprelya 2018 g. [Collection of materials of the V Regional Interuniversity Scientific and Practical Conference “Creativity of the young – native region”, Vyksa, April 20, 2018]. Pp. 152–154.