Краткое сообщение

УДК 621.926.323

DOI 10.17073/0368-0797-2021-12-909-911

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА УПОРОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ВАЛКЕ ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

А. Г. Никитин, Ю. А. Епифанцев, К. С. Медведева

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. В металлургической промышленности примерно 40 % энергии, затрачиваемой на подготовку руды для дальнейшего передела, приходится на процессы дробления, которые осуществляются на дробильных машинах. Известный энергоэффективный способ дробления в одновалковой дробильной машине с гладкими валками обладает существенным недостатком (малой производительностью), обусловленным ограниченной степенью дробления. С целью увеличения производительности одновалковые дробильные машины оснащаются упорами на валке, которые обеспечивают принудительную подачу разрушаемого материала в зону дробления. На валке следует устанавливать максимально возможное количество упоров, при этом должно выполняться условие гарантированной подачи куска дробимого материала в зону разрушения. Разработанная математическая модель позволяет рассчитать максимально возможное количество упоров, обеспечивающее гарантированный захват исходного куска в зону разрушения.

Ключевые слова: металлургическое оборудование, одновалковая дробильная машина, кусок, сложное напряженное состояние, валок, упор, дробление

Для цитирования: Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Медведева К.С. Математическая модель определения количества упоров, расположенных на валке одновалковой дробильной машины // Известия вузов. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 12. С. 909–911.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-12-909-911>

Short report

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE NUMBER OF STOP BLOCKS ON THE ROLL OF A SINGLE-ROLL CRUSHING MACHINE

A. G. Nikitin, Yu. A. Epifantsev, K. S. Medvedeva

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

Abstract. The well-known energy-efficient method of crushing in a single-roll crushing machine with smooth rolls, in which a complex stress state is created in the destroyed piece, has a significant disadvantage – low productivity due to a limited degree of crushing. In order to increase productivity, single-roll crushing machines are equipped with stop blocks on the roll, which ensure the forced supply of the destroyed material to the crushing zone. The maximum possible number of stop blocks should be installed on the roll, and the condition of guaranteed feeding of the piece into the fracture zone must be met. The developed mathematical model allows one to calculate the maximum possible number of stop blocks, which ensures guaranteed nipping of the original piece into the destruction zone.

Keywords: metallurgical equipment, single-roll crusher, piece, complex stress state, roll, stop block, crushing

For citation: Nikitin A.G., Epifantsev Yu.A., Medvedeva K.S. Mathematical model for determining the number of stop blocks on the roll of a single-roll crushing machine. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021, vol. 64, no. 12, pp. 909–911. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-12-909-911>

В металлургической промышленности примерно 40 % энергии, затрачиваемой на подготовку руды для дальнейшего передела, приходится на процессы дробления, которые осуществляются на дробильных ма-

шинах, в том числе на валковых [1 – 5]. Известный энергоэффективный способ дробления материалов в одновалковой дробильной машине с гладкими валками обладает существенным недостатком – малой про-

изводительностью, обусловленной ограниченной степенью дробления [6].

В Сибирском государственном университете разработана и запатентована конструкция одновалковой дробилки с принудительной подачей разрушаемого материала в зону дробления, в которой захват дробимого куска происходит за счет упора, расположенного на валке (см. рисунок). При этом соблюдается условие формирования в измельчаемом куске сложного напряженного состояния [7].

С целью увеличения производительности одновалковой дробилки с упором на валке следует устанавливать максимально возможное количество упоров, так как производительность дробилки определяется количеством разрушенных исходных кусков дробимого материала за один оборот валка. Количество упоров на валке ограничено двумя факторами: размером исходных кусков и скоростью вращения валка.

Расчет ведется с предположением, что куски дробимого материала максимально допустимого размера d подаются из питателя один за другим без зазора. Расстояние между рабочей поверхностью последующего упора и задней поверхностью предыдущего упора должно быть больше размера дробимого куска d , чтобы этот кусок касался образующей поверхности валка. Однако в процессе поворота валка кусок дробимого материала должен коснуться образующей поверхности.

Время, за которое кусок дробимого материала из питателя достигает образующей поверхности валка [8], определяется по формуле $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ (где $h = d$ – высота, с которой падает кусок дробимого материала до обра-

зующей поверхности валка; g – ускорение свободного падения).

За это время валок должен повернуться на угол $\varphi = \omega t$ (где $\omega = \frac{\pi n}{30}$ – угловая скорость вращения валка) и пройти расстояние ΔS , необходимое для того, чтобы кусок дробимого материала из питателя достиг образующей поверхности валка до встречи с рабочей поверхностью последующего упора. Это расстояние определяется по формуле

$$\Delta S = D \cos\left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right) = D \cos\left(\frac{\pi - \omega t}{2}\right) = D \cos\left(\frac{\pi - \frac{\pi n}{30} \sqrt{\frac{2d}{g}}}{2}\right), \quad (1)$$

где D – диаметр валка.

Очевидно, что расстояние ΔS больше размера дробимого исходного куска, поэтому расчет количества упоров ведется по значению

$$k = \frac{\pi D}{\Delta S + b}, \quad (2)$$

где b – ширина упора.

Например, рассмотрим дробилку со следующими характеристиками: $D = 1000$ мм; $d = 100$ мм; $b = 30$ мм; $n = 60$ об/мин. Эти характеристики обеспечивают линейную скорость валка 3,14 м/с, рекомендуемую для устойчивой работы валковой дробилки [9]. В этом случае количество упоров, вычисленное по формуле (2), равно 6,73 и после округления в меньшую сторону (причем округление всегда ведется в меньшую сторону для гарантированного попадания куска в зазор между упорами) принимается равным 6.

Из совместного анализа уравнений (1) и (2) следует, что увеличение диаметра и числа оборотов валка не приводит к росту производительности, так как их увеличение приводит также к увеличению линейной скорости, что отрицательно сказывается на устойчивости работы дробилки. Увеличение диаметра и числа оборотов валка также не приводит к увеличению расстояния между упорами (при увеличении расстояния между упорами уменьшается количество упоров, которые можно установить на валке). Параметры дробилки следует устанавливать в каждом конкретном случае в зависимости от требований к фракционному составу готового продукта [10].

Выводы

С целью увеличения производительности одновалковые дробильные машины оснащаются упорами на валке, которые обеспечивают принудительную подачу разрушаемого материала в зону дробления. На валке

Схема расчета количества упоров на валке

Scheme for calculating the number of stop blocks on the roll

следует устанавливать максимально возможное количество упоров. Разработанная математическая модель позволяет рассчитать максимально возможное коли-

чество упоров, обеспечивающее гарантированный захват исходного куска дробимого материала в зону разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Austin L.G., Van Orden D., Pérez J.W. A preliminary analysis of smooth roll crushers // *International Journal of Mineral Processing*. 1980. Vol. 6. No. 4. P. 321–336.
[https://doi.org/10.1016/0301-7516\(80\)90028-9](https://doi.org/10.1016/0301-7516(80)90028-9)
2. Egbe E.A.P., Olugboji O.A. Design, fabrication and testing of a double roll crusher // *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 2016. Vol. 35. No. 11. P. 511–515.
<https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V35P303>
3. Zhao L.L., Wang Z.B., Zang F. Multi-object optimization design for differential and grading toothed roll crusher using a genetic algorithm // *Journal of China University of Mining and Technology*. 2008. Vol. 18. No. 2. P. 316–320.
[https://doi.org/10.1016/S1006-1266\(08\)60067-X](https://doi.org/10.1016/S1006-1266(08)60067-X)
4. Rogers R.S.C. Closed form analytical solutions for models of closed circuit roll crushers // *Powder Technology*. 1982. Vol. 32. No. 1. P. 125–127. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(82\)85013-4](https://doi.org/10.1016/0032-5910(82)85013-4)
5. Масленников В.А. Дробилки, разрушающие материал сжатием // *Известия вузов. Горный журнал*. 1996. № 10–11. С. 124–138.
6. Сахаров Д.Ф. Анализ процесса дробления хрупких материалов в одновалковой дробилке с целью повышения энергоэффективности: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: Новокузнецк, 2011. 17 с.
7. Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Медведова К.С., Герике П.Б. Силовой анализ процесса разрушения хрупких материалов в одновалковой дробильной машине с упором на валке // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2019. Т. 62. № 4. С. 303–307.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-4-303-307>
8. Meriam J.L., Kraige L.G. *Engineering Mechanics*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012. 550 p.
9. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 1. М.: Машиностроение, 1987. 440 с.
10. Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Медведова К.С., Герике П.Б., Фастыковский А.Р. Экспериментальное исследование фракционного состава кусков хрупкого материала при дроблении в одновалковой дробилке с упором на валке // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2020. Т. 63. № 7. С. 554–559.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2020-7-554-559>
1. Austin L.G., Van Orden D., Pérez J.W. A preliminary analysis of smooth roll crushers. *International Journal of Mineral Processing*. 1980, vol. 6, no. 4, pp. 321–336.
[https://doi.org/10.1016/0301-7516\(80\)90028-9](https://doi.org/10.1016/0301-7516(80)90028-9)
2. Egbe E.A.P., Olugboji O.A. Design, fabrication and testing of a double roll crusher. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 2016, vol. 35, no. 11, pp. 511–515.
<https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V35P303>
3. Zhao L.L., Wang Z.B., Zang F. Multi-object optimization design for differential and grading toothed roll crusher using a genetic algorithm. *Journal of China University of Mining and Technology*. 2008, vol. 18, no. 2, pp. 316–320.
[https://doi.org/10.1016/S1006-1266\(08\)60067-X](https://doi.org/10.1016/S1006-1266(08)60067-X)
4. Rogers R.S.C. Closed form analytical solutions for models of closed circuit roll crushers. *Powder Technology*. 1982, vol. 32, no. 1, pp. 125–127. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(82\)85013-4](https://doi.org/10.1016/0032-5910(82)85013-4)
5. Maslennikov V.A. Compression crushers. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 1996, no. 10–11, pp. 124–138. (In Russ.).
6. Sakharov D.F. *Analysis of the process of crushing brittle materials in a single-roll crusher in order to increase energy efficiency: Extended Abstract of Cand. Sci. Diss.* Novokuznetsk, 2011, 17 p. (In Russ.).
7. Nikitin A.G., Epifantsev Yu.A., Medvedeva K.S., Gerike P.B. Power analysis of the process of brittle materials destruction in universal crushing machine with roll locker. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2019, vol. 62, no. 4, pp. 303–307. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-4-303-307>
8. Meriam J.L., Kraige L.G. *Engineering Mechanics*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012, 550 p.
9. Tselikov A.I. *Machines and Units of Metallurgical Plants. Vol. 1*. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 440 p. (In Russ.).
10. Nikitin A.G., Epifantsev Yu.A., Medvedeva K.S., Gerike P.B., Fastyskovskii A.R. Experimental study of fractional composition of pieces of brittle material during crushing in a single-roll crusher with block stop on the roll. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2020, vol. 63, no. 7, pp. 554–559. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2020-7-554-559>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Григорьевич Никитин, д.т.н., профессор кафедры механики и машиностроения, Сибирский государственный индустриальный университет
ORCID: 0000-0001-9198-6386
E-mail: nikitin1601@yandex.ru

Епифанцев Юрий Андреевич, к.т.н., доцент кафедры механики и машиностроения, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: epifantsev42@mail.ru

Медведова Ксения Сергеевна, к.т.н., доцент кафедры механики и машиностроения, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: ksuwinchester@mail.ru

Aleksandr G. Nikitin, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair of Mechanics and Mechanical Engineering, Siberian State Industrial University
ORCID: 0000-0001-9198-6386
E-mail: nikitin1601@yandex.ru

Yurii A. Epifantsev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of Mechanics and Mechanical Engineering, Siberian State Industrial University
E-mail: epifantsev42@mail.ru

Kseniya S. Medvedeva, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of Mechanics and Mechanical Engineering, Siberian State Industrial University
E-mail: ksuwinchester@mail.ru

Поступила в редакцию 06.03.2021
После доработки 10.04.2021
Принята к публикации 13.04.2021

Received 06.03.2021
Revised 10.04.2021
Accepted 13.04.2021