

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## INDUSTRIAL TESTS OF ROLLERS PRODUCED FROM ELECTROSLAG REMELTING INGOTS ON COLD ROLLING SHEET MILLS

**Belevskiy Leonid Sergeevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8 (3519) 29-84-38. E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

**Ismagilov Ramil Rafkatovich** – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, a leading expert on rollers and bearings of Equipment Division, OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works», Russia. Phone: 8 (3519) 24-75-20. E-mail: valki@mmk.ru.

## References

**Abstract.** The results of tests of rollers produced from electroslag remelting ingots on cold rolling sheet mills have been presented. The durability of cast rolls with 2,5-3,5% chromium content exceeds the durability of forging rollers with 1,5-2,5% chromium content in 1,42-1,64 times.

**Keywords:** rollers, cold rolling, electroslag remelting, durability.

1. Belevskiy L.S., Ismagilov R.R. The experience of manufacture of cast steel work rolls of cold rolling mill from ingot by electroslag remelting. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 3(43), pp. 78-81.
2. Korolev A.A. *Konstruktsiya i raschet mashin i mekhanizmov prokatnykh stanov* [The design and calculation of machinery and mechanisms of mills]. Moscow: Metallurgy, 1985, 373 p.

УДК 621.926.22

Кольга А.Д., Айбашев Д.М.

## ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ НАГРУЗОК В ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛКАХ

**Аннотация.** Приведены исследования взаимодействия кусков породы с выступами дробящих плит щековых дробилок. В результате теоретических исследований, подтвержденных экспериментальными данными, было определено, что тенденцией снижения нагрузок, необходимых для разрушения кусков породы, является уменьшение контактной площади кусков породы с выступами дробящих плит.

**Ключевые слова:** выступы дробящих плит, контактная площадь, нагрузка, разрушение, напряжение, деформация.

По мере развития горной, строительной, химической промышленности все большую актуальность приобретает проблема повышения эффективности дезинтеграции твердых материалов и, прежде всего, минерального сырья в виде горных пород. Это вызывает, в свою очередь, необходимость совершенствования дробильных машин и изыскания принципиально новых конструктивных решений, повышающих технико-экономические показатели.

Современное повышение эффективности производства в настоящее время решается комплексно и базируется на энергоресурсосберегающих технологиях в рамках разработки и внедрения высокопроизводительных машин.

Щековые дробилки широко применяются во многих отраслях промышленности для дробления различных по прочности и хрупкости материалов. Однако они обладают высокой энергоемкостью, повышенной изнашиваемостью дробящих плит и рядом других недостатков.

Дробящие плиты – основные рабочие органы щековых дробилок, являются сменными быстроизнашивающимися элементами. Конструкция плит и износоустойчивость материала, из которого они изготовлены, оказывают большое влияние на такие технико-экономические показатели процесса дробления, как:

- производительность;
- удельный расход энергии;
- фракционный состав;
- форма зерен дробленого продукта.

Как известно, щековые дробилки работают по принципу раздавливания материала дробящими плитами, сопровождающегося раскалыванием кусков породы на несколько частей под действием напряжений сжатия [ $\sigma_{сж}$ ] [1].

Проблеме снижения нагрузок, необходимых для разрушения кусков породы и повышения эффективности дробления, посвящены работы многих исследователей. Предложено много конструктивных решений. Это разные по форме и высоте рифления дробящие плиты, ступенчатое и плавное уменьшение высоты рифлений от входного отверстия к выходному и др. [1]. Данные работы можно назвать попытками частичной замены самого энергоёмкого вида разрушения на менее энергоёмкие, т.е. замены напряжений сжатия  $\sigma_{сж}$  на напряжения растяжения  $\sigma_r$ .

Результаты исследований показывают, что для разрушения кусков породы при концентрации усилий на меньшей площади, соответствующей выступам дробящих плит, разрушение происходит при значительно меньших усилиях. Это объясняется тем, что процесс разрушения кусков породы в результате напряжений сжатия (раздавливание) частично заменяется такими видами разрушения, как излом в результате изгиба [2] и раскалывание в результате расклинивания.

Уменьшение контактной площади выступов дробящих плит с куском породы играет важную роль в процессе дробления в щековых дробилках.

Именно этим можно объяснить тот факт, что подавляющее количество современных щековых дробил-

лок комплектуется дробящими плитами с треугольными выступами (рифление параллельными выступами), несмотря даже на то, что они подвержены более интенсивному изнашиванию.

Однако основным недостатком существующих конструкций рифлений дробящих плит является ограниченность замены напряжений сжатия  $\sigma_{сж}$  на напряжение растяжения  $\sigma_r$ .

Выступы, контактируя с куском породы при сжимающей силе, равной нулю  $P = 0$ , с точки зрения теории упругости, образуют контакт в точке при условии, что кусок породы имеет форму шара. В реальных условиях куски в форме шара крайне редки, в основном они неправильной формы. Это наводит на мысль, что в большинстве случаев есть возможность контакта по линии с некоторой длиной. С увеличением сжимающей силы дробящих плит  $P > 0$  первоначальное линейное касание переходит на соприкосновение по некоторой площадке с границей, близкой к прямоугольной узкой площади. В камере дробления давление, создаваемое выступами дробящих плит на поверхности куска породы, распределяется по всей контактной площади каждого выступа и определяется по следующей зависимости:

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

где  $P$  – приложенная нагрузка выступов дробящих плит на кусок породы, Н;  $F$  – контактная площадь выступов дробящих плит с куском породы, м<sup>2</sup>.

Предполагая, что для разрушения кусков породы предельное напряжение  $[\sigma_{сж}] = const$ , его значение может быть достигнуто либо увеличением приложенной силы  $P$ , либо уменьшением контактной площади  $F$ .

Рассмотрим схему нагружения куска породы в камере дробления.

При отсутствии нагрузки кусок породы имеет линейное касание с выступами дробящих плит. Взаимодействие куска породы с выступами заменим удобным для практических расчетов случаем: примем форму куска цилиндрической 1 (рис. 1) с диаметром  $D$  и длиной  $l$ , который сжимается выступом (стальной пластиной) 2 силой  $P$ . В качестве образцов для проведения экспериментов применялись керны горных пород  $\phi 0,050 - 0,070$  м.

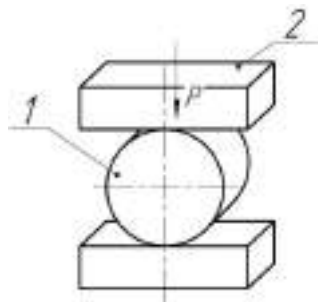


Рис. 1. Схема нагружения образца

При воздействии нагрузки соприкасающиеся тела деформируются. В месте линии касания образуется контактная площадь  $F_n$  в форме узкого прямоугольника. Площадь контакта  $F_n$  определяется произведением сторон этого прямоугольника:

$$F_n = b \cdot l, \quad (2)$$

где  $b$  – ширина контактной площадки;  $l$  – длина контактной площадки (длина цилиндра).

Ширина контактной площадки  $b$  определяется по уравнению [3, 4]

$$b = 2 \cdot \sqrt{PR \left( \frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2} \right)}, \quad (3)$$

где  $P$  – нагрузка стальной пластины на придавливаемый образец;  $R$  – радиус образца (керна);  $\nu_1$  – коэффициент Пуассона образца;  $\nu_2$  – коэффициент Пуассона стальной пластины;  $E_1$  – модуль упругости образца;  $E_2$  – модуль упругости стальной пластины.

Подставляя (3) в уравнение (2), получим:

$$F_n = 2l \cdot \sqrt{PR \left( \frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2} \right)}. \quad (4)$$

Образцы (керны) размерами  $D = 0,0578$  м,  $l = 0,0578$  м при таком характере приложения нагрузки раскалываются вдоль по линии контакта. Предельные нагрузки раскалывания находятся в пределах от 86000 до 126000 Н.

Как видно, предельные нагрузки разрушения кусков породы при линейном касании довольно значительны. Это связано с распределением давления по всей контактной площади. Кроме того, значительная часть энергии пропорционально контактной площади расходуется на деформирование куска породы.

В этом случае наилучшим способом концентрации давления на поверхности куска породы является выполнение выступов в виде конуса. Однако условия дробления кусков породы в щековых дробилках обуславливают несимметричность прилагаемых нагрузок оси конуса, что может привести к поломке его вершины.

Одним из способов эффективной концентрации давления может стать выполнение выступов дробящих плит сферической формы.

Рассмотрим разрушение куска породы под действием стального шара. Пусть кусок породы имеет форму цилиндра 1 (рис. 2) такую же, как было принято выше и с теми же размерами с диаметром  $D$  и длиной  $l$ , который сжимается стальным шаром 2 силой  $P$ .

При отсутствии нагрузки шар и кусок породы имеют взаимное касание в точке. Под действием нагрузки в месте точечного касания образуется контактная площадь  $F_s$  в форме эллипса. Контактная

площадь  $F_3$  определяется как площадь эллипса:

$$F_3 = \pi ab, \tag{5}$$

где  $a$  – большая полуось эллипса;  $b$  – малая полуось эллипса.

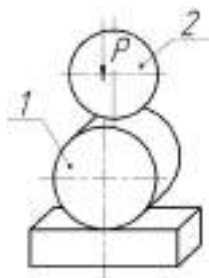


Рис. 2. Схема нагружения образца

Полуоси эллипса  $a$ ,  $b$  определяются по уравнениям [5]\*:

$$a = 2,078 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \left( \frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2} \right) R_1 R_2}{2R_1 + R_2}}; \tag{6}$$

$$b = 1,383 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \left( \frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2} \right) R_1 R_2}{2R_1 + R_2}},$$

где  $P$  – нагрузка стального шара на придавливаемый образец;  $R_1$  – радиус образца (керна);  $R_2$  – радиус шара;  $\nu_1$  – коэффициент Пуассона образца;  $\nu_2$  – коэффициент Пуассона стального шара;  $E_1$  – модуль упругости образца;  $E_2$  – модуль упругости стального шара.

Образцы при таком характере приложения нагрузки раскалываются так же, вдоль по длине цилиндра. Результаты экспериментов приложены на рис. 3.

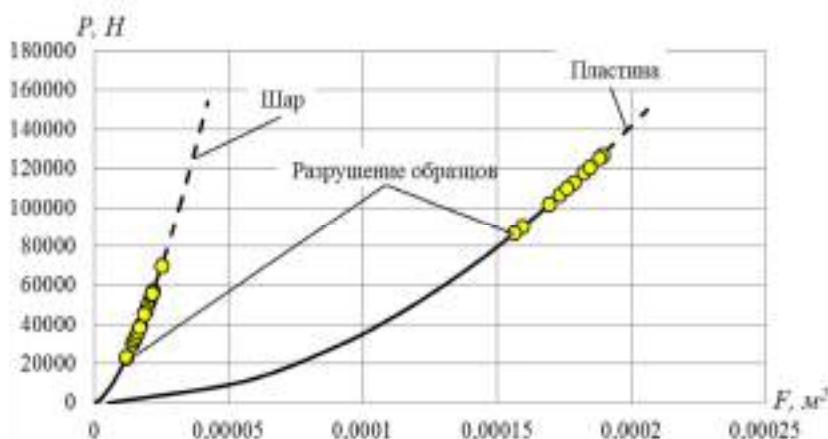


Рис. 3. Зависимость контактной площади от приложенной нагрузки

\* Данные уравнения вычислены для частного случая, когда радиус цилиндра  $R_1 = 0,0289$  м и радиус шара  $R_2 = 0,0285$  м.

Из графика (см. рис. 3) видно, что нагрузки, требуемые для разрушения кусков породы, создаваемые при точечном касании, значительно ниже, чем при линейном касании.

Снижение нагрузок, требуемых для разрушения кусков, связано с уменьшением контактной площади выступов дробящих плит с куском породы. При этом разрушение куска породы происходит в результате его расклинивания внедряющимся в него шаром и последующего его разрыва, при котором в материале появляются напряжения растяжения  $[\sigma_p]$  [6]. Пределы прочности на растяжение  $[\sigma_p]$  большинства горных пород многократно ниже, чем на сжатие  $[\sigma_{сж}]$  [7].

Однако уменьшение контактной площади выступов дробящих плит с куском породы (точечное касание) ведет к увеличению хода подвижной щеки дробилки, так как часть хода подвижной щеки кроме деформирования куска породы идет на внедрение выступа в кусок породы. Это может привести к ухудшению процесса дробления. В связи с этим при определении величины хода подвижной щеки дробилки необходимо учитывать этот факт.

Таким образом, в процессе дробления в щековых дробилках тенденцией снижения нагрузок, необходимых для разрушения кусков породы, является замена напряжений сжатия  $[\sigma_{сж}]$  на напряжения растяжения  $[\sigma_p]$  за счет уменьшения контактной площади выступов дробящих плит с куском породы, которое может быть достигнуто благодаря выполнению выступов на поверхности дробящих плит в виде полусфер.

Список литературы

1. Клушанцев Б. В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
2. Влияние размеров и формы рифлений дробящих плит на процесс дробления щековых дробилок // Кольга А.Д., Айбашев Д.М., Горячих В.Д. Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012. Т.1. С. 80-83.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: пер. с англ. / Под ред. Г.С. Шапиро. 2-е изд. М.: Наука, 1979. 560 с.
4. Менькова Н. М. Применение контактной задачи теории упругости в прикладной механике. М., 2012.
5. Айбашев Д.М., Кольга А.Д., Столповских И.Н. Махамбетов Д.К. Напряженно-деформированное состояние контакта дробящих плит с рифлением щековой дробилки с куском породы // Вестник КазНТУ (Казахский национальный технический университет). 2013. № 5(99). С. 40-48.
6. Олевский В. А. Конструкции, расчеты и эксплуатация дробилок. М., 1958. 459 с.
7. Распределение и корреляция физических свойств горных пород // Протодаьяконов М.М., Тедер Р.И., Ильницкая Е.И. и др. М.: Недра, 1981. 192 с.

Сведения об авторах

**Кольга Анатолий Дмитриевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой горных машины и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519) 29-85-45. E-mail: kad-55@magtu.ru.

**Айбашев Дилмурод Маматхалилович** – целевой аспирант Кызыл-Кийского института природопользования и геотехнологии Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, г. Кызыл-Кия, Кыргызстан. Тел.: 8(3519) 29-85-45. E-mail: aibashevdm@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PERFORMANCE CAPABILITIES TO REDUCE LOADS IN THE JAW CRUSHERS

**Kolga Anatoliy Dmitrievich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-45. E-mail: kad-55@magtu.ru.

**Aibashev Dilmurod Mamathalilovich** – Postgraduate Student in the target direction of Kyzyl-Kiya institute of natural resources and geotechnology, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyzyl-Kiya, Kyrgyzstan. Phone: 8 (3519) 29-85-45. E-mail: aibashevdm@rambler.ru.

**Abstract.** Rock pieces interactions with the ledges of jaw crusher grinding plates were investigated.

As a result of theoretical studies confirmed by the experimental data, it was defined that the tendency of load reducing needed for rock fragments breaking is the reduction of rock pieces contact area with protrusions of rock crushing plates.

**Keywords:** ledge of the crusher plates, contact area, loading, destruction, pressure, deformation.

References

1. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muzeimnek J.A. *Drobilki. Konstruktsiya, raschet, osobennosti ekspluatatsii* [The crushers. Construction, calculation, application features]. Moscow: Mashinostroenie, 1990. 320 p.
2. Kolga A.D., Aibashev D.M., Goryachih V.D. The influence of the size and shape of scribes crushing plates on the process of crushing jaw crusher. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya: materialy 70-y mezhdregion. naych.-tekh. konf.* [Actual problems of modern science, technology and education. Materials of interregional scientific-technical conference]. Magnitogorsk, 2012, vol. 1, pp. 80-83.
3. Timoshenko S.P., Goodier. J. *Teoriya uprugosti* [Theory of Elasticity]. Ed. Shapiro. Moscow: Nauka, 1979, 560 p.
4. Menkova N.M. *Primenenie kontaktnoy zadachi teorii uprugosti v prikladnoy mehanike. Obschij obzor* [The use of the contact problem of the theory of elasticity in applied mechanics. General overview]. Moscow, 2012.
5. Aibashev D.M., Kol'ga A.D., Stolpovskih I.N. Makhambetov D.K. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie kontakta drobyaschih плит s rifleniem schekevoy drobilki s kuskom porody [The stress-strain state of the contact plates with ribs crushing jaw crusher with a piece of rock]. *Vestnic KazNTU (Kazakh National Technical University)*, 2013, no. 5 (99), pp. 40-48.
6. Olevskiy V.A. *Konstruktsii, raschety i ekspluatatsiya drobilok*. [The construction, calculations and operation of crushers]. Moscow, 1958, 459 p.
7. Protodiakonov M.M., Téder R.I., Il'nitskaya E.I. and others. *Raspredelenie i korrelyatsiya fizicheskikh svoystv gornyh porod* [The distribution and correlation of physical properties of the rocks]. Moscow: Nedra, 1981, 192 p.