

## ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ АЛМАЗОВ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ АК «АЛРОСА»

Федоров А. А. (ИТИ (ф) ЯГУ, г. Мирный, Россия)

*In the given work it is analysed set of all technological operations, with the purpose of revealing of the factors influencing damageability of diamonds. There was a task in view probability - damageability of diamonds in the centrifugal pump. We have considered a trajectory of movement of a particle in the centrifugal pump and have found out that a particle, namely diamond hits with tap in a point and the part of energy of impact leaves in diamond, for destruction.*

В настоящее время на обогатительных фабриках, добывающих алмазы, стоит остро вопрос об их сохранности в пределах переработки и обогащения, то есть предотвращение снижения качества ювелирных алмазов и переход их в разряд технических. Причина ухудшения качества алмазов является их разрушение под действием возникающих нагрузок, во время технологических операций. В тоже время на аналогичных предприятиях по добыче и переработке алмазосодержащего сырья в Канаде и Африке сохранность ювелирных алмазов составляет от 90% и более.

В данной работе проанализирована совокупность всех технологических операций, с целью выявления факторов, влияющих на повреждаемость алмазов. Процесс измельчения происходит в мельницах мокрого самоизмельчения (ММС), которые используются на всех алмазных обогатительных фабриках. Как показали исследования проводимые институтом «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ» [1] в ММС повреждение алмазов не превышает 0,1%, в то же время в цехе доводки установлено, что 15 – 20% алмазов подвергаются воздействию нагрузок и получают повреждения.

После процесса измельчения руда проходит процесс классификации в спиральных классификаторах или грохотах, которые имеют резиновую или полиуретановую футеровку. Установлено, что при разделении алмазосодержащего сырья по классам повреждаемость алмазов не наблюдается. Транспорт в большей части на обогатительной фабрике происходит гидравлическим способом, основным звеном которого являются насосы центробежного типа, мощность приводных электродвигателей которых изменяется от 100 кВт, а частота вращения от 800 об/мин.

В работе решается задача определения повреждаемости алмазов в центробежном насосе, в котором передача энергии потоку жидкости от приводного электродвигателя осуществляется при помощи колеса с профилированными лопатками. Это колесо называется рабочим, внутренняя полость которого образуется двумя фасонными дисками и несколькими лопатками. Работа центробежных сил в межлопастных каналах приводит к изменению энергии потока. Энергия возрастает в направлении движения от центра к периферии колеса» [2], то есть все частицы в рабочем колесе подчиняются уравнению Эйлера:

$$H_T = \frac{u_2 \cdot c_2 - u_1 \cdot c_1}{g},$$

где  $u_1$  и  $u_2$  – окружная скорость потока при входе в колесо и при выходе из колеса;  $c_1$  и  $c_2$  – абсолютная скорость потока при входе в колесо и при выходе из колеса;  $H_T$  – теоретический напор колеса центробежного насоса;  $g$  – ускорение свободного падения (рис. 1).

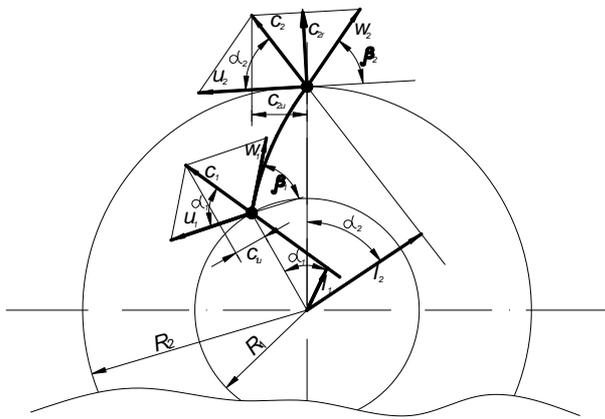


Рис. 1. Параллелограммы скоростей на входе и на выходе межлопастных каналов

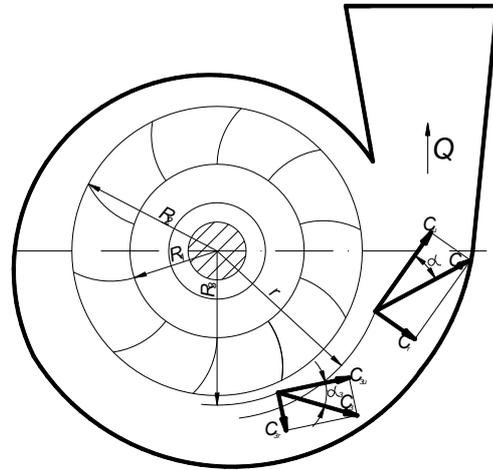


Рис. 2. Частица в отводе центробежного насоса

При выходе из колеса жидкость с частицами продолжает движения вдоль проточной полости, которую называют отводом. Рассмотрим работу отвода насоса, подающего несжимаемую жидкость. Частица в начале кольцевого отвода будет обладать абсолютной скоростью  $c_3$  и радиусом  $R_3$  в центре колеса, и в любой точке произвольного сечения отвода с абсолютной скоростью  $c$  и радиусом  $r$ . Установим зависимость между скоростями  $c$  и  $c_3$ . Окружную проекцию скорости можно определить по условию постоянства момента скорости  $rc_u = \text{const}$  (поскольку влияние сил трения о стенки не учитывается):

$$R_3 \cdot c_{3u} = r \cdot c_u;$$

$$c_u = c_{3u} \cdot \frac{R_3}{r}.$$

Запишем уравнение неразрывности потока при движении частицы по ободу центробежного колеса:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot R_3 \cdot b_3 \cdot \psi_3 \cdot c_{3r} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot b \cdot \psi \cdot c_r,$$

где  $b$  – ширина рабочего колеса на выходе, м;  $\psi$  – коэффициент заполнения сечения активным потоком, приняв для простоты  $\psi = 0,95$ , следовательно:

$$b_3 \cdot \mu_3 = b \cdot \mu \quad (b = \text{const}).$$

Отсюда находим:

$$c_r = c_{3r} \cdot \frac{R_3}{r},$$

то есть радиальные составляющие скорости находятся в таком же соотношении, как и тангенциальные составляющие (рис. 2.). Следовательно, параллелограммы скоростей при движении частицы в отводе подобны и будет существовать равенство  $\alpha = \alpha_3$ . Иными словами, линией потока является спираль с увеличивающимся радиусом  $r$ .

Поскольку проекции абсолютной скорости изменяются обратно пропорционально радиусу сечения:

$$c = c_3 \cdot \frac{R_3}{r}.$$

Для более точного определения траектории движения частицы в вязкой жидкости используя уравнение Архимеда для полярной системы координат [3] получим следующее уравнение:

$$r = s \cdot \varphi \cdot k_{вяз},$$

где  $r$  – полярный радиус, м;  $\varphi$  – полярный угол;  $s$  – единицы по оси  $X$ , значение  $s$  принимается как расстояние, между полярными углами  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_z$  (рис. 3.);  $k_{вяз}$  – поправочный коэффициент вязкости определяемый экспериментально и изменяющийся в пределах 1-1,8 т/м<sup>3</sup>. Для нашего случая устанавливаем  $k_{вяз} = 0,85$ , так как плотность среды 1,2 т/м<sup>3</sup>.

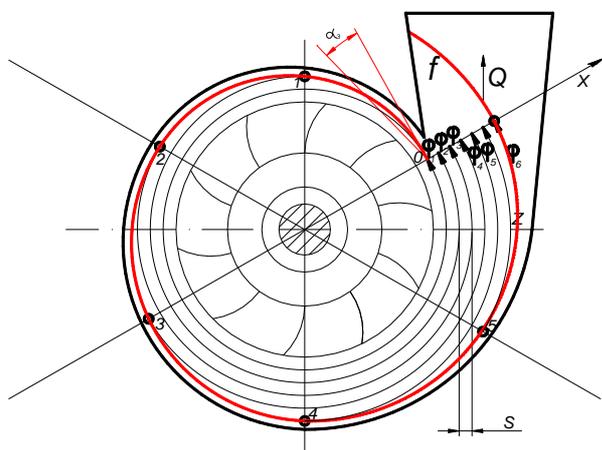


Рис. 3. Определение траектории движения частицы в спиральном отводе

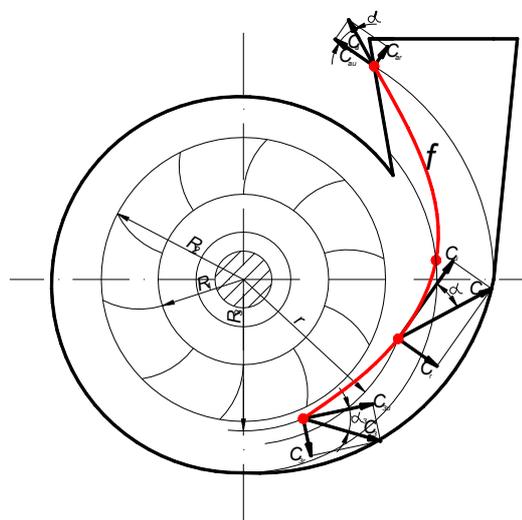


Рис. 4. Движения частицы в центробежном насосе

Зная угловую скорость, которую находим по формуле:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ рад/с},$$

где  $n$  – частота вращения колеса, об/мин.

Затем находим, за какой промежуток времени  $t$  частица проходит первый рад с отклонением  $s$  между полярными углами  $\varphi$  по оси  $X$  в полярной системе координат, при этом угол отклонения  $\alpha_2 = \alpha_3 = 15^\circ$ . Затем по кривым 0-1, 0-2, 0-3, ..., 0-z строим траекторию движения частицы  $f$  в кольцевом отводе и прямолинейном коническом диффузоре (рис. 4.).

Определяем, с какой силой кристалл алмаза ударяется о диффузор и достаточно ли напряжений для его разрушения. В момент удара на частицу будут действовать сила удара о диффузор  $P_{удар}$ , реакция  $R$  и сила трения  $F_{трени}$  (рис. 5.). Силы сжатия  $P_{сжат}$  и сдвига  $P_{сдвиг}$  находим из условия что:

$$P_{\text{удар}} = m \cdot a_a, \quad (1)$$

где  $m$  - масса частицы, кг;  $a$  – полное ускорение в момент удара, м/с<sup>2</sup>.

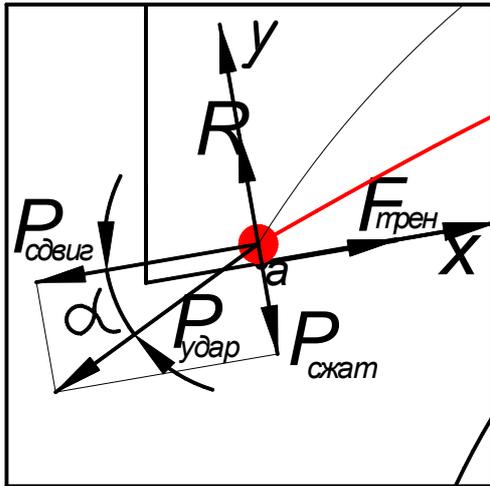


Рис. 5. Баланс сил в точке соударения частицы с диффузором

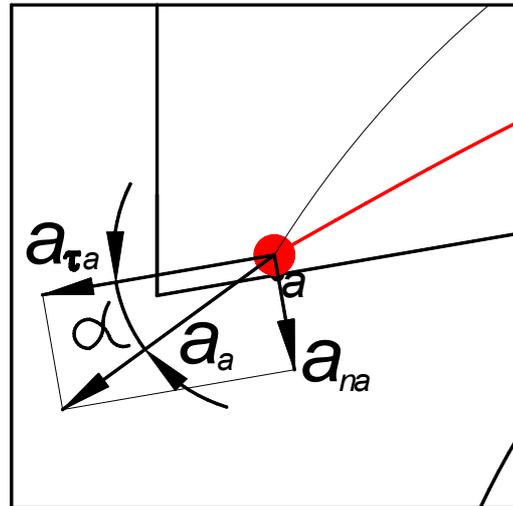


Рис. 6. Полная ускорение в точке соударения с диффузором

Полное ускорение (рис. 6.) находим по формуле:

$$a_a = \sqrt{a_{\tau a}^2 + a_{na}^2},$$

где  $a_{\tau}$  – тангенциальное ускорение;

$$a_{\tau a} = \frac{a_{na}}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где  $a_n$  – нормальное ускорение;

$$a_{na} = \frac{c_a^2}{R},$$

где  $c_a$  - абсолютная скорость в момент удара.

Определяем абсолютную скорость  $c_a$  частицы в момент удара. Решим эту задачу для грунтового центробежного насоса тяжелого типа ГрАТ – 1200, который используется на всех алмазных обогатительных фабриках АК «АЛРОСА». Исходя из параллелограмма скоростей (рис. 4.) абсолютная скорость может быть выражена с помощью радиальной составляющей  $c_{ar}$  и углом  $\alpha_a$  между абсолютной скоростью и касательной к окружности, то есть

$$c_a = \frac{c_{ar}}{\sin \alpha_2},$$

где  $\alpha_2 = 15^\circ$  угол частицы при выходе из колеса. Для нашего случая величина радиальной составляющей абсолютной скорости определяется из выражения:

$$c_{ar} = \frac{Q_T}{\pi \cdot D_a \cdot b_a \cdot \psi_a},$$

где  $Q_T$  – расход жидкости (для насоса ГрАТ – 1200  $Q_T = 1200 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,33 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $D_a$  – диаметр рабочего колеса (для насоса ГрАТ – 1200  $D_2 = 1,1 \text{ м}$ ),  $b_a$  – ширина рабочего колеса на выходе (для насоса ГрАТ – 1200  $b_a = 0,2 \text{ м}$ ) [4],  $\psi_a$  – коэффициент стеснения потока (для больших насосов  $\psi_a = 0,95$ ). Зная величины  $c_r$  и угол  $\alpha_a$  можем определить  $c_a = 1,96 \text{ м/с}$  и полное ускорение  $a_a = 26,987 \text{ м/с}^2$ . Определяем из (1) силу удара частицы о диффузор  $P_{\text{удар}} = 0,069 \text{ Н}$ .  $P_{\text{сжат}}$  частицы в момент удара о диффузор определим по формуле:  $P_{\text{сжат}} = P_{\text{удар}} \cdot \sin \alpha_2$ .

С помощью силы сжатия  $P_{\text{сжат}}$  определим напряжения  $\sigma$  в точке соударения частицы с диффузором по формуле:

$$\sigma = \frac{P_{\text{сжат}}}{F_a} \leq [\sigma]_p,$$

где  $F_a = 0,000081 \text{ м}^2$  – площадь взаимодействия частицы с диффузором;  $\sigma = 220,5 \text{ Па}$  является действующим напряжением частицы в момент удара; допустимое напряжение  $[\sigma]_p = 0,89 \text{ ГПа}$ . [5] при котором происходит разрушение кристалла алмаза. Следовательно, усилия на сжатие не достаточно для разрушения кристалла алмаза.

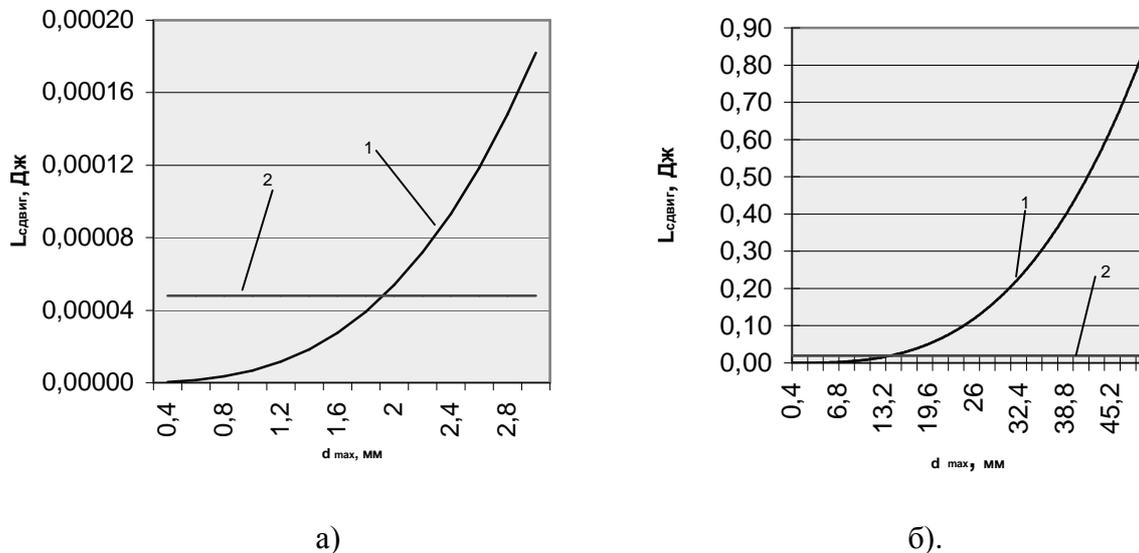


Рис. 7. Зависимость энергии взаимодействия кристалла алмаза с диффузором центробежного насоса от его крупности а) для россыпных месторождений, б) для коренных месторождений: 1 – для частиц различной крупности; 2 – допустимая энергия разрушения кристалла алмаза.

Таким образом, установлено, что усилие сдвига  $P_{\text{сдвиг}}$  практически полностью преобразуется в энергию сдвига вдоль кристаллической решетки. Энергию частицы определим по формуле:

$$L_{\text{сдвиг}} = \frac{m \cdot c_a^2}{2},$$

где  $m$  – масса частицы кг. Энергия частицы в момент удара будет равна  $L_{\text{сдвиг}} = 0,00492 \text{ Дж}$ . Считая, что энергия частицы целиком переходит в потенциальную энергию  $U_\delta$  ее деформации запишем условие  $L_{\text{сдвиг}} = U_\delta$ . Определим допустимую потенциальную энергию деформации  $U_\delta$  кристалла алмаза, необходимую для создания повреждений

(трещин) или полное его разрушение. Прочность кристалла алмаза обусловлена трещинами в направлении сдвига, которые возникают по линиям спайности вдоль кристаллической решетки, когда энергия сдвига у вершины трещины достигает критического значения. Согласно [6] следует, что энергия, необходимая для образования трещины по плоскостям спайности для кубооктаэдрической формы составляет  $U_0 = 48 \text{ Дж/м}^2$ . Энергия сдвига частицы зависит от массы частицы, а именно от крупности обогащаемого сырья. Известно [7], что при обогащении алмазосодержащих коренных руд на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» максимальная крупность кристаллов алмазов составляет 50 мм. Сопоставляя энергию, необходимую для образования трещины вдоль кристаллической решетки, и расчетные ее значения определим условие повреждаемости алмаза (рис. 7. а, б).

Таким образом, на примере центробежного насоса ГрАТ – 1200 было установлено:

1. При соударении с диффузором силы сжатия не достаточно для создания критического напряжения в точке удара.
2. Энергия взаимодействия кристаллов алмаза с диффузором центробежного насоса в 2 – 8 раз превышает энергию разрушения кристалла алмаза.

**Список литературы:** 1. Результаты комплексного опробования технологической схемы фабрики №15 на разных типах сырья и исследования сохранности алмазов в пределах обогащения фабрики №15 окрашенными алмазами-индикаторами. Информационная записка. – Иркутск, 2002. 2. В. М. Черкасский; Насосы, вентиляторы, компрессоры; Москва; Энергия; стр 48 -53. 3. В. И. Турк, А. В. Минаев, В. Я Карелин; Насосы и насосные станции; Москва; Стройиздат; 1976г; стр 84. 4. Энергетические насосы, Справочное пособие; под ред. В. В. Малюшенко, А. К. Михайлов; Москва; Энергоиздат; 1981 г; стр 214. 5. Физические свойства алмазов, справочник; под ред. Н. В. Новикова; Киев; Наукова Думка; 1987; 65 стр. 6. Природные алмазы России; под ред. В. Б. Кваскова; Москва; Полярон; 1997 г. стр. 104. 7. Фабрике № 12. Исследования и оценить пропускную способность мельниц при оптимальных параметрах измельчения. Информационная записка. – Иркутск, 2002 г. стр. 20 – 28.

Сдано в редакцию 04.05.07

## **ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ПРИ ИНФРАКРАСНОМ ОБЛУЧЕНИИ.**

**Филатов В.В., Плаксин Ю.М., Азизов Р.Р.** (МГУПП, г. Москва, Россия)

*On the basis of the decision of system of the differential equations describing internal heat carrying and weight carrying in the corresponding ideal body, as a result of mathematical modeling non-stationary fields of temperature and moisture content, we invented nomograms to definition of dependence of a dimensionless temperature complex depending on criterion of Fure and of Lykov, at constant criterion of Kirpichyov.*

Научно-обоснованный выбор режимных параметров процесса инфракрасной обработки продуктов требует анализа внутренних нестационарных полей температуры и влагосодержания при различных условиях облучения. Инженерные расчеты на основе первого закона термодинамики, в большинстве случаев используемого при расчетах инфракрасных установок, не позволяет решить вопрос оптимизации конкретного