

# Эволюция технологического свойства частиц золота при раскрытии Осипов Д. А.

Осипов Дьбулустан Акимович / Osipov Djulustan Akimovich – младший научный сотрудник,  
лаборатория обогащения полезных ископаемых,  
Институт Горного дела Севера  
Сибирское отделение  
Российская академия наук им. Н. В. Черского, г. Якутск

**Аннотация:** в данной статье приведены результаты исследований детализации процесса деформации частиц золота в центробежной мельнице встречного удара. Экспериментальным путем изучен процесс раскрытия рудного золота в различных мельницах. Где, в зависимости от способа помола, происходит деформация полезного компонента. Данное явление значительно влияет на дальнейшие технологические процессы обогащения. Раскрытые частицы золота в центробежных мельницах имеют высокую степень извлечения, т.к. основным технологическим свойством золота при их извлечении гравитационным способом является гидравлическая крупность. Экспериментальные данные позволили построить математическую модель, где определено время эволюции технологического свойства частиц золота в процессе раскрытия.

**Ключевые слова:** измельчение, раскрытие, дробление, золото, мельница.

Для раскрытия частиц золота из рудной массы в основном используются шаровые мельницы, где при раскрытии происходит деформация полезного компонента [1]. Вместе с тем, при измельчении золотоносной руды с целью раскрытия золота в центробежной мельнице встречного удара происходит деформация частиц полезного компонента. Где гидравлическая крупность повышается в три раза [2].

Объясняется этот процесс следующим. При изотропном воздействии на частицу деформированию подвергаются лишь те участки поверхности, которые имеют наименьший радиус кривизны. Поэтому деформация начинается с краю. Из-за изотропности пучка песчинок, плоские участки пластины, т.е. поверхности с бесконечным радиусом кривизны, остаются не деформированными. При расчетах поток частиц на плоские части не учитывается.

При изотропной бомбардировке деформации подвергается только край диска. При этом участок деформируемой поверхности увеличивается. Увеличивается и объем ограничиваемый этой поверхностью. Таким образом, деформируемая часть диска увеличивается, а плоская часть диска уменьшается. С учетом, того что объем деформируемой части (край диска) принимает наименьшую ограничивающую поверхность при изотропном воздействии, деформируемую область можно аппроксимировать формой динамически изменяющегося тора. В этом процессе поверхность тора вначале увеличивается, а его линейный размер уменьшается. Средняя часть диска сохраняет плоскую форму (рис. 4).

Объем полученной фигуры равен сумме объемов тора  $V_t$  и плоской части в середине  $V_p$ :

$$V_0 = V_t + V_p \quad (1)$$

Объем тора равен:

$$V_t = 2\pi^2 R r^2 \quad (2)$$

где  $r$  – радиус кривизны края тора,  $R$  – расстояние от центра тора до центра кривизны края.

Объем средней плоской части вычисляется интегрированием.

$$\begin{aligned} V_p &= \pi \int_0^{r_0} [R - \sqrt{r^2 - x^2}]^2 dx = \\ &= \pi \left\{ \int_0^{r_0} R^2 dx - 2R \int_0^{r_0} \sqrt{r^2 - x^2} dx + \int_0^{r_0} r^2 dx - \int_0^{r_0} x^2 dx \right\} = \\ &= 2\pi \left[ R^2 r_0 - R r^2 \left( \arcsin \left( \frac{r_0}{r} \right) + \frac{r_0}{r} \sqrt{1 - \left( \frac{r_0}{r} \right)^2} \right) + r^2 r_0 - \frac{1}{3} r_0^3 \right] \quad (3) \end{aligned}$$

Приравняв полученный объем фигуры (1), (2), (3) первоначальному объему диска получаем квадратное уравнение относительно  $R(r)$

$$R^2 r_0 + R \left[ \pi r^2 - r^2 \left( \arcsin \left( \frac{r_0}{r} \right) + \frac{r_0}{r} \sqrt{1 - \left( \frac{r_0}{r} \right)^2} \right) \right] = r_0 \left[ R_0^2 + \frac{\pi}{2} R_0 r_0 + \frac{2}{3} r_0^2 \right] - r^2 r_0 + \frac{1}{3} r_0^3 \quad (12)$$

Решением этого квадратного уравнения является

$$R(r) = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (4)$$

где  $a = r_0$ ,

$$b = \pi r^2 - r^2 \left( \arcsin \left( \frac{r_0}{r} \right) + \frac{r_0}{r} \sqrt{1 - \left( \frac{r_0}{r} \right)^2} \right),$$

$$c = r^2 r_0 - \frac{1}{3} r_0^3 - r_0 \left[ R_0^2 + \frac{\pi}{2} R_0 r_0 + \frac{2}{3} r_0^2 \right].$$

Формула (4) позволяет найти производную  $\frac{dR}{dr}$  в зависимости от  $r$ . Подставляя выше указанные значения получаем обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка относительно  $r(t)$ , которое решается методом Рунге-Кутты. Таким образом, получаем эволюцию поверхности диска при изотропной бомбардировке:

$$S(t) = 4\pi R(t)r(t) \quad (5)$$

Расчеты показывают, что при первоначальной толщине диска 1 мм, радиусе 10,5 мм, максимальная деформируемая площадь достигается при толщине тора 2,82 мм и радиусе диска 7,937 мм.

На рис. 1 представлен график зависимости  $S(t)$ , согласно (5), при  $r_0 = 10^{-4}$  м,  $R_0 = 10^{-2}$  м,  $j_0 = 10^7$  1/м<sup>3</sup>,  $m = 10^{-4}$  кг,  $v_0 = 3$  м/с,  $\alpha_1 = -8 \cdot 10^5$  Дж/м<sup>2</sup>,  $\alpha_2 = 2 \cdot 10^5$  Дж/м<sup>2</sup>. Как видно из графика, тело достигает максимальной деформируемой поверхности достаточно быстро, далее следует медленное уменьшение площади этой поверхности, которая монотонно должна стремиться к форме шара.

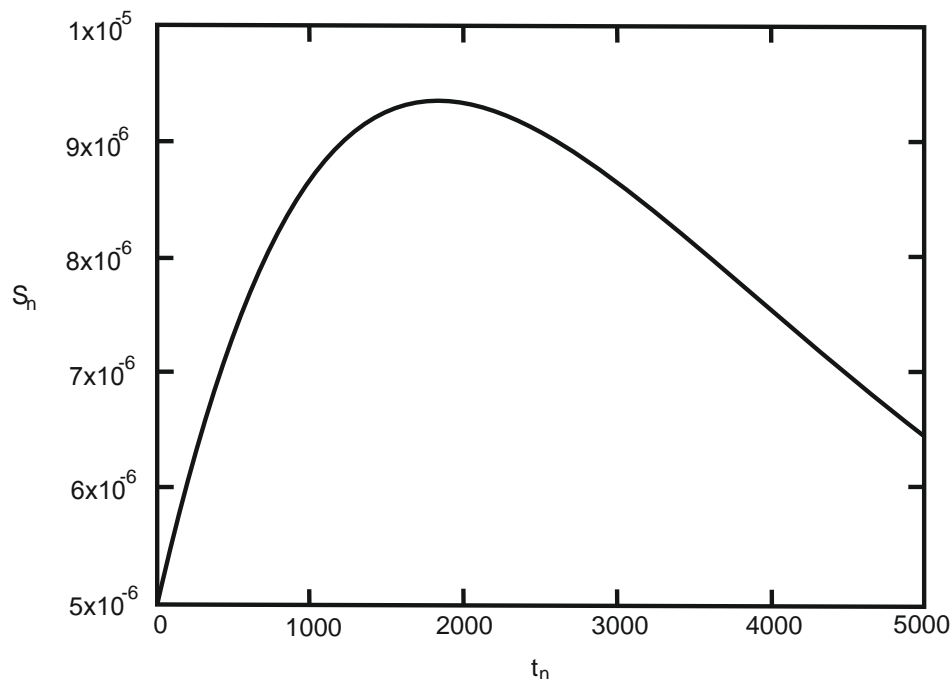


Рис. 1 График зависимости площади деформируемой поверхности от времени при изотропной бомбардировке

Объем тора, или область ограниченная деформируемой поверхностью монотонно увеличивается (рис. 2). Из рисунка видно, что объем стремится к первоначальному объему диска.

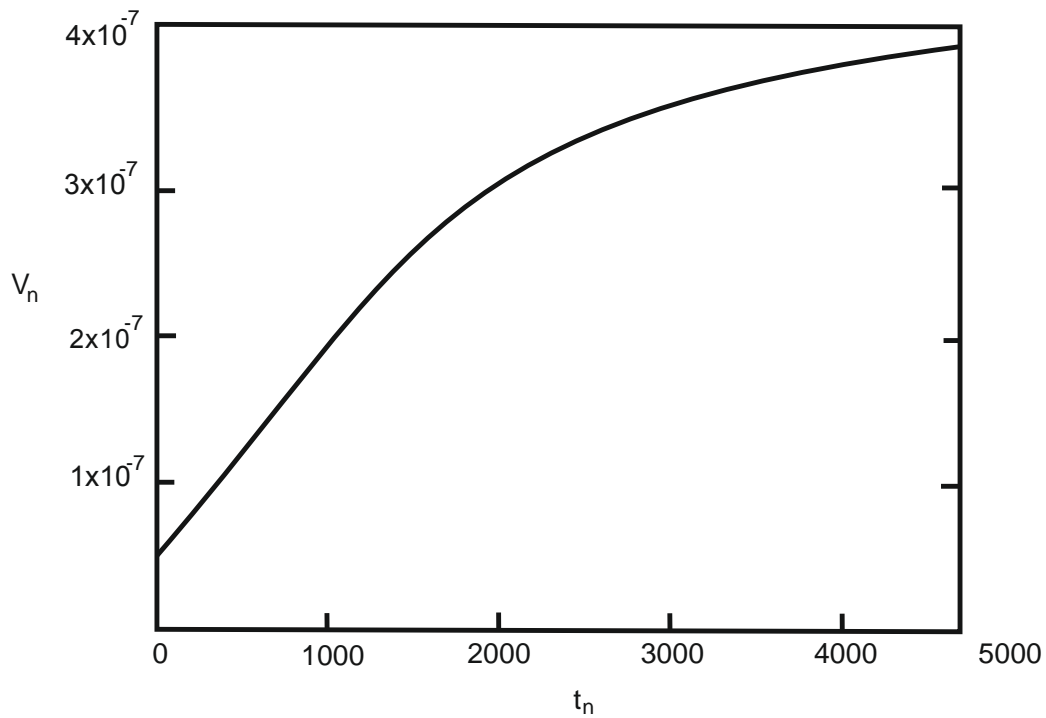


Рис. 2. Эволюция объема деформируемой части тела

В заключение отметим, что разработанная математическая модель может быть использована для расчета оптимального времени образования торовидной формы плоского куска золота при обогащении.

#### *Литература*

1. Осипов Д. А., Филиппов В. Е., Матвеев А. И. Экспериментальное изучение деформации ковких частиц в центробежной мельнице ЦМВУ-800. // Горный информационно-аналитический бюллетень. № 10. М: МГТУ, 2012. С. 233-237.
2. Осипов Д. А., Яковлев Б. В., Филиппов В. Е. Моделирование деформации частиц золота в центробежной мельнице ЦМВУ-800. // Сб. материалов Конгресса обогатителей стран СНГ, 2015. Т. 1.