

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСКАЛЫВАНИЯ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ ЦЕНТРАЛЬНЫМ СТЕСНЕННЫМ УДАРОМ

Стальная дробь широко используется во множестве сфер народного хозяйства в качестве эффективного абразивного материала. В зависимости от метода изготовления, она представляет собой либо металлические сферические шарики (литая дробь), либо неправильные многогранники с острыми или закругленными краями (колотая дробь). Изготовление и основные характеристики дроби регламентирует ГОСТ 11964–81. Дробеструйная обработка удаляет грязь, ржавчину, окалину, оксидную пленку перед сваркой, остатки ранее нанесенного лака, придает изделию матовости и позволяет надежно уплотнить его поверхность.

Существует много разнообразных абразивов, однако на литейном предприятии чаще всего используется именно стальная колотая остроугольная дробь.

Для приготовления колотой дроби в промышленности обычно применяется раскалывание сферических частиц ударным воздействием шаров в трубной мельнице. При этом существенным недостатком являются необоснованно высокие затраты энергии в связи с невозможностью организации прямого удара из-за сферической формы контактирующих между собой мелющих тел и частиц дроби, а также большой выход брака из-за переизмельчения готового продукта [1].

При свободном ударе, как например, в центробежно-ударных измельчителях, дробимое тело не ограничивается в движении после соударения с ударным элементом. В таком случае одна часть кинетической энергии удара направляется на деформацию и разрушение материала, а большая ее часть передается телу и обеспечивает его дальнейшее движение после ударного контакта [2].

Проведенный анализ существующих способов и устройств для дробления и измельчения материалов показывает, что наиболее перспективным вариантом создания разрушающих усилий для раскалывания стальной сферической дроби является организация условий прямого стесненного удара, при котором при относительно малых скоростях падения мелющих тел накопленная ими потенциальная энергия максимально переходит в работу разрушения [2].

В этой связи наиболее рациональным является разработка и создание роторно-ударного измельчителя, обеспечивающего подъем и падение мелющих тел в виде массивных грузов с прямыми рабочими поверхностями или же с формой поверхности близкой к рабочей поверхности наковальни, что по сути, обеспечивает такое же воздействие на дробь, как и молот по наковальне [3].

Разрушение дроби в предложенной конструкции происходит преимущественно за счет стесненного удара при незначительном истирающем воздействии. При стесненном ударе происходит деформация соударяющихся тел, на площадке контакта возникают нормальные напряжения, вычисляемые по закономерностям задачи Герца об упругом контакте сферических тел [2]:

$$\sigma_n = 0,628 \frac{\sqrt[5]{V^2 m_y \Theta^4 R_{np}^3}}{\sqrt[3]{N_{dp}}}, \quad R_{np} = \frac{r + R_1}{r R_1}, \quad (1)$$

где  $V$  — скорость соударения;

$m_y$  — масса ударного элемента;

$r$  — радиус дробимого тела;

$R_1$  — радиус кривизны рабочей поверхности ударного элемента;  
 $R_{np}$  — приведенный радиус кривизны контактной поверхности тел при ударе;  
 $N_{op}$  — число частиц дробимого материала, обладающих идентичной структурой и физико-механическими свойствами.

Анализ кинематики и динамики системы ротор-шток-ударники на примере расчетной схемы участка ротора ударного измельчителя, представленной на рисунке 1 рассматривается при вращательном движении ротора и сложном (вращательно-поступательном движении ударника относительно направляющих ротора). При разработке конструкции и кинематической схемы измельчителя наиболее существенным фактором являлась простота изготовления и общая надёжность работы машины в целом [4].

Во время относительного движения ударника по направляющим вала ротора на него оказывают действие следующие силы и реакции: сила кинетического трения скольжения штока о направляющие ротора  $F_{mp}$ , сила нормальной реакции от веса ударных элементов со штоком  $N$ , центробежные силы ударных элементов  $F_{ц1}$  и  $F_{ц2}$ , а также силы тяжести ударников со штоками  $F_m$ .

Для обоснования параметров ударного органа и его динамики составлено дифференциальное уравнение движения молота в рабочем пространстве ротора 0:

$$-\ddot{r}(t) + \omega^2 (r_p - R_m + 2r(t)) + 2g (\cos(\alpha_0 - \omega t)(1 - \sin(\alpha_0 - \omega t))) = 0, \quad (2)$$

где  $\ddot{r}(t)$  — текущее положение ударного органа в полярной системе координат  $O r \gamma$ ;

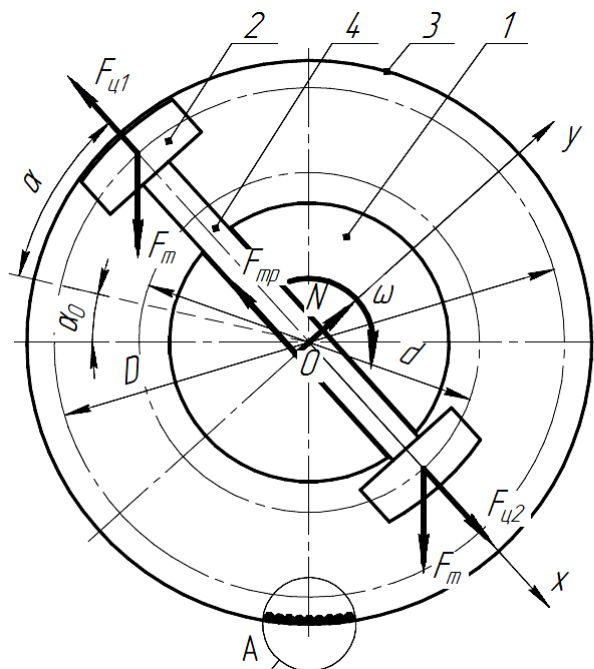
$\gamma = \omega t$  — угловое положение молота во вращающемся роторе,

$\omega$  — угловая скорость ротора;

$r_p$  — внешний радиус ротора;

$R_m$  — радиус центра тяжести ударной части молота в крайнем положении;

$\alpha_0$  — угол поворота ротора, при котором начинается движение молота вдоль отверстия в роторе (зависит от коэффициента трения материалов ножки молота и ротора).



1 — ротор; 2 — молот; 3 — рабочая поверхность корпуса мельницы; 4 — шток молота

Рисунок 1 — Расчетная схема для определения основных параметров движения ударных элементов роторной мельницы

Уравнение (2) является расчетным. Это нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка решается численными методами с помощью пакета MathCad. Начальные и граничные условия для решения данного уравнения определяются размерами ротора, при котором обеспечивается указанная высота падения ударного органа 1 м при производительности процесса 1 тонна в час.

Представленный процесс раскалывания стальной колотой дроби центральным стесненным ударом позволит снизить энергозатраты, увеличить выход готового продукта, и тем самым достичь повышения эффективности процесса разрушения и значительно повысить производительность самой дробильной установки.

### Список литературы

1. Павлиненко, О. И. Повышение эффективности приготовления стальной дроби / О. И. Павлиненко, Э. П. Левченко, К. Д. Семенюк // Инновационные перспективы Донбасса : материалы 3-й международной научно-практической конференции. Т. 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. — Донецк : ДонНТУ, 2017. — С. 78–81.
2. Анализ параметров процесса раскалывания стальной сферической дроби стесненным центральным ударом / О. И. Павлиненко, Э. П. Левченко, Д. А. Власенко, А. П. Жильцов // Черные металлы. — М. : Руда и Металлы, 2020. — № 8 (1064). — С. 29–33.
3. Павлиненко, О. И. Приготовление остроугольной стальной дроби методом разрушения «молот по наковальне» / О. И. Павлиненко, Э. П. Левченко // Сборник научных трудов III Всеросс. (с международным участием) науч.-практ. конф., 21–23 октября 2020 г., г. Липецк. — Липецк : Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2020. — С. 134–139.
4. Павлиненко, О. И. Анализ динамики движения рабочих органов ударной роторной машины для производства стальной колотой дроби / О. И. Павлиненко, Э. П. Левченко, Д. А. Власенко // Материалы XIX Республиканской научно-технической студенческой конференции, посвященной 100-летию ДонНТУ, 24–26 ноября 2020 г., г. Донецк. — Донецк : ДонНТУ, 2020. — С. 3–7.
5. Павлиненко, О. И. Процесс разрушения стальной дроби центральным стесненным ударом / О. И. Павлиненко, Д. А. Власенко, Э. П. Левченко // Инновационные перспективы Донбасса : материалы 5-й международной научно-практической конференции. Т. 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. — Донецк : ДонНТУ, 2019. — С. 104–108.