

СИЛОВОЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ В ДРОБИЛЬНОЙ МАШИНЕ С ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЩЕКИ

А.Г. Никитин, д.т.н., доцент
С.А. Лактионов, к.ф.-м.н., доцент
А.В. Витушкин, старший преподаватель

Сибирский государственный индустриальный университет

Аннотация. Определены условия захвата куска разрушаемого материала в дробильной машине с поступательным движением щеки и внешние силовые факторы, действующие на него в процессе дробления. Определено, что при разной ориентации кубовидного куска относительно подвижной или неподвижной щеки в дробимом куске может возникать как плоское напряженное состояние, так и линейное.

Ключевые слова: дробильная машина, силовой анализ, мощность, условие захвата, напряженное состояние.

E-MAIL: nikitin1601@yandex.ru

Силы технологического сопротивления, возникающие в процессе эксплуатации машины, являются основной исходной величиной для расчета мощности привода машины и элементов конструкции на прочность. Поэтому силовой анализ рабочего процесса является неотъемлемым этапом проектирования любой машины, в том числе и дробильной.

В Сибирском государственном индустриальном университете спроектирована дробилка [1], обеспечивающая поступательное движение подвижной щеки только в одном направлении за счет применения двухкривошипного шарнирного четырехзвенника с общим синхронизированным приводом кривошипов (рис. 1). Такая кинематическая схема привода подвижной щеки применена впервые, поэтому для нее необходимо провести силовой анализ процесса дробления.

Поскольку длины кривошипов 3 равны между собой, траектория движения точек щеки является окружностью, радиус которой равен длине кривошипа. Для удобства силового анализа процесса измельчения в дробилке траектория движения точек щеки разбита на четверти. Из рис. 1 видно, что рабочий ход (ход сжатия) происходит при перемещении подвижной щеки I в сторону к неподвижной 2, т.е. в четверть II, щека движется вниз и навстречу неподвижной щеке.

В щековых дробилках процесс дробления обеспечивается наличием сил трения, действующих между поверхностями подвижной щеки, неподвижной щеки и куском дробимого материала. Так как форма куска дробимого материала не влияет на величину и направление сил, то для наглядности сечение куска принято квадратным, возможны два варианта опирания куска плоскостью (на подвижную щеку и на неподвижную), поэтому необходимо рассмотреть оба варианта.

При соприкосновении куска дробимого материала с подвижной щекой возникает сила нормального давления N_1 , направленная перпендикулярно от щеки (рис. 2). Соответственно, возникает сила трения куска о щеку $F_1 = f_1 N_1$, где f_1 – коэффициент трения между куском и подвижной щекой; эта сила направлена перпендикулярно линии действия нормальной силы в сторону движения щеки.

Для обеспечения захвата кусков материала необходимо, чтобы проекция на вертикальную ось втягивающей силы трения (без учета силы тяжести материала) $F_1 \cos \alpha = f_1 N_1 \cos \alpha$, где α – угол захвата, была больше проекции выталкивающей составляющей силы нормального давления $N_1 \sin \alpha$, т.е. должно соблю-

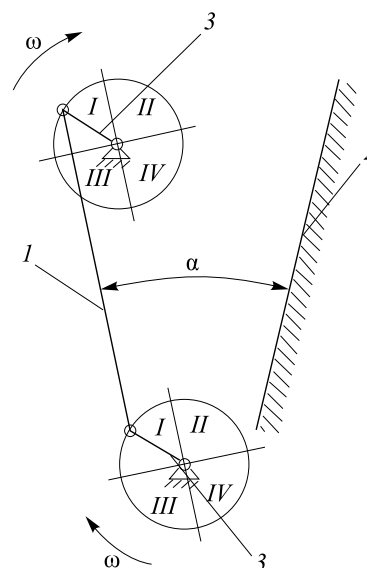


Рис. 1. Щековая дробилка с поступательным движением щеки:
 1 – подвижная щека; 2 – неподвижная щека; 3 – кривошипы

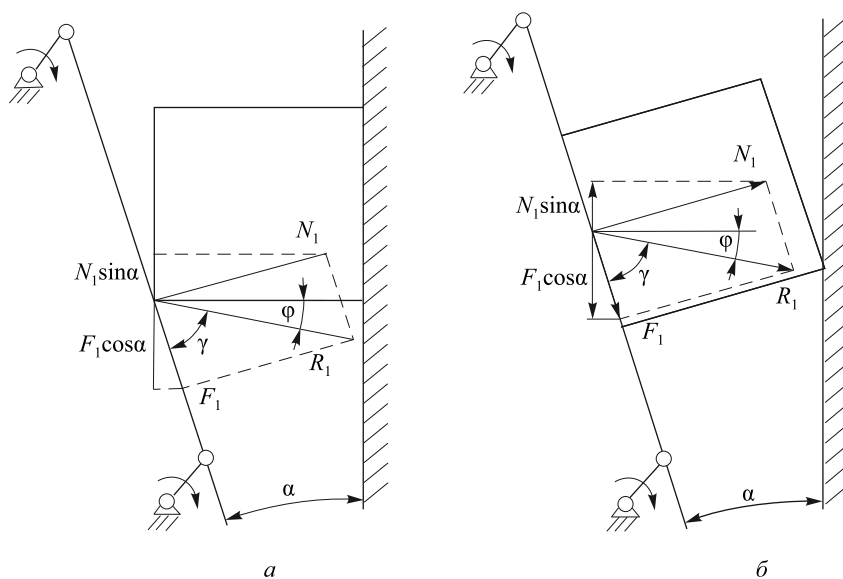


Рис. 2. Схема сил, действующих на дробимый кусок со стороны подвижной щеки; здесь и на рис. 3, 4: *а* – при опирании на неподвижную щеку; *б* – при опирании на подвижную щеку

даться следующее условие: $N_1 f_1 \cos \alpha > N_1 \sin \alpha$, тогда $f_1 = \operatorname{tg} \beta_1 > \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$, т.е. угол трения β_1 между куском дробимого материала и подвижной щекой должен быть больше, чем угол захвата α , в этом случае равнодействующая сил трения и нормального давления R будет отклонена вниз от горизонтали под углом φ (рис. 3).

Угол φ определяется следующим образом: $\varphi = \frac{\pi}{2} - \alpha - \gamma$,

где $\gamma = \operatorname{arctg} \frac{N_1}{F_1} = \operatorname{arctg} \frac{N_1}{N_1 f_1} = \operatorname{arctg} \frac{1}{f_1}$ – угол между направлением действия равнодействующей силы R и силой трения F_1 .

Под действием горизонтальной составляющей $R_r = R \cos \varphi$ равнодействующей силы R возникает нормальная сила N_2 , направленная по горизонтали от

неподвижной щеки, и соответственно сила трения $F_2 = f_2 R_r = f_2 R \cos \varphi$, направленная вертикально вверх и препятствующая движению куска дробимого материала в щель между подвижной и неподвижной щеками. Таким образом, для обеспечения захвата куска дробимого материала необходимо, чтобы вертикальная составляющая $R_v = R \sin \varphi$ равнодействующей силы R была больше силы трения F_2 , т.е. выполнялось условие: $R_v > F_2$; $R \sin \varphi > f_2 R \cos \varphi$, или, после преобразования $\operatorname{tg} \varphi > f_2 = \operatorname{tg} \beta_2$; $\varphi > \beta_2$, где β_2 – угол трения между дробимым материалом и неподвижной щекой.

Таким образом, на кусок дробимого материала в вертикальной плоскости действуют две параллельные силы: сила трения F_2 и вертикальная составляющая равнодействующей силы R_v , не равные по величине и направленные в противоположные стороны (рис. 4).

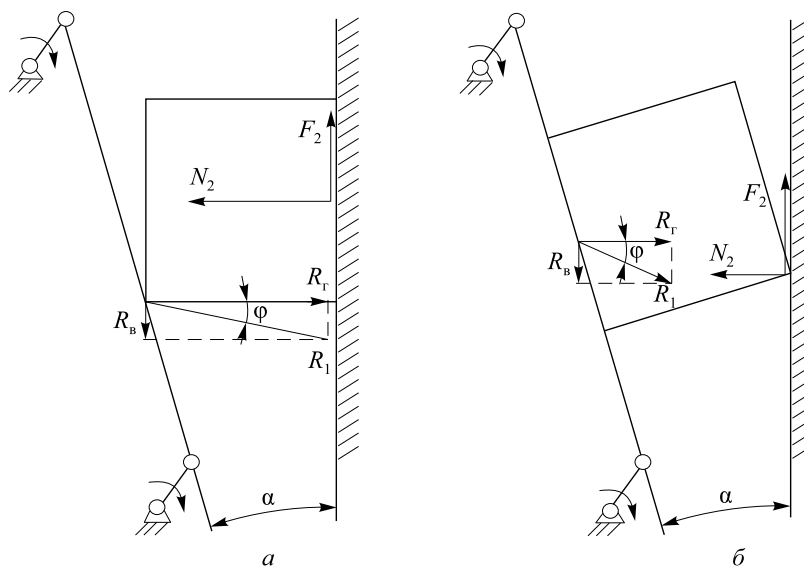


Рис. 3. Схема распределения сил, удовлетворяющая условию захвата разрушаемого куска

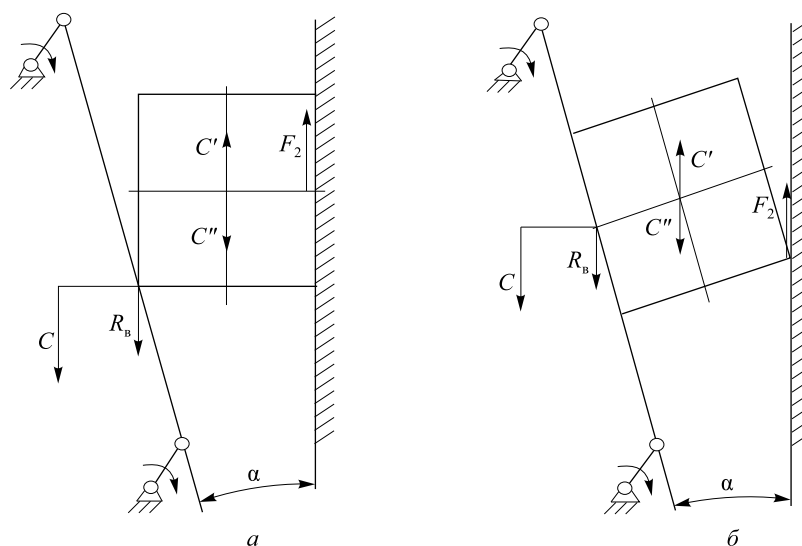


Рис. 4. Схема сил, действующих на дробимый кусок в вертикальной плоскости

Тогда по правилу сложения двух не равных по величине параллельных сил, направленных в противоположные стороны, их равнодействующая им параллельна, направлена в сторону большей силы и равна по величине их разности, а ее линия действия лежит за большей силой большей величины [2]. В рассматриваемом случае на кусок дробимого материала действует сила $C = R_b - F_2$. Для определения закона движения тела под действием силы C необходимо в центре тяжести сечения этого тела приложить две равные по величине между собой и равнодействующей силе C силы C' и C'' , направленные в противоположные стороны, при этом равновесие тела не изменится [2]. Тогда сила C'' будет стремиться затянуть кусок дробимого материала в щель между подвижной и неподвижной щеками, а пара сил C и C' создают крутящий момент, при действии которого куски дробимого материала подвергаются деформации кручения.

В горизонтальной плоскости (рис. 3) также действуют две параллельные силы, равные между собой по величине и направленные в противоположные стороны: горизонтальная составляющая равнодействующей силы R_r и нормальная составляющая N_2 . Эти силы создают момент пары сил, но в зависимости от вида опирания куска они действуют в разные стороны: при опирании куска на подвижную щеку направление не совпадает с направлением момента от вертикальных составляющих, а при опирании на неподвижную щеку – совпадают.

Таким образом, в процессе дробления на кусок действуют как сжимающие силы, так и крутящие моменты. В результате совместного действия сжимающих сил и крутящих моментов в дробимом куске создается плоское напряженное состояние. Однако возможен случай, когда момент пары сил, вызванный действием вертикальных составляющих сил, уравновешен моментом, вызванным действием горизонтальных составляющих

(при опирании куска на подвижную щеку), при этом в куске создается линейное напряженное состояние.

Как следует из проведенного силового анализа процесса разрушения хрупких материалов в дробильной машине с поступательным движением щеки, величина расходуемой энергии на дробление зависит, в том числе, и от положения куска в камере дробления, а именно от того, на какую щеку он опирается. При этом в дробимом куске, в случае его опирания на подвижную щеку, возможно создание линейного напряженного состояния сжатия. Известно, что при плоском напряженном состоянии в дробимом куске возникают напряжения, которые достигают предельного значения при меньшей силе дробления, чем при линейном напряженном состоянии [3], что приводит к снижению энергопотребления при разрушении материала в дробильных машинах.

Выводы. Определены условия захвата куска разрушаемого материала в дробильной машине с поступательным движением щеки и внешние силовые факторы, действующие на него в процессе дробления. Определено, что при разной ориентации кубовидного куска относительно подвижной или неподвижной щеки в дробимом куске может возникать как плоское напряженное состояние, так и линейное.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2453370 РФ. Щековая дробилка / А.Г. Никитин, В.И. Люленков, Д.Ф. Сахаров, А.В. Витушкин // Открытия. Изобретения. 2012. № 17.
2. Никитин Е.М. Теоретическая механика. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
3. Никитин А.Г., Сахаров Д.Ф. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 10. С. 41, 42.

© 2014 г. А.Г. Никитин, С.А. Лактионов,
А.В. Витушкин

Поступила 18 февраля 2014 г.

THE POWER ANALYSIS OF THE PROCESS OF CRUSHING MACHINE WITH TRANSLATIONAL MOTION OF THE JAW

A.G. Nikitin, Dr. Eng., Assist. Professor

S.A. Laktionov, Cand. Phys.-math. Sci., Assist. Professor

A.V. Vitushkin, Senior Lecturer

Siberian State Industrial University (Novokuznetsk, Kemerovo
region, Russia)

E-MAIL: nikitin1601@yandex.ru

Abstract. The article considers the claw conditions of a piece of crushable material in a crushing machine with a translational motion of the jaw and outer power factors having an effect on it when crushing. It has been determined that on the assumption of different focuses of a part of

a relatively moveable jaw both plane stress and linear stress conditions can occur in a crushed piece.

Keywords: crushing machine, power analysis, capacity, claw condition, stress state.

REFERENCES

1. Nikitin A.G., Lyulenkov V.I., Saharov D.F., Vitushkin A.V. *Schekovaya drobilka* (Jaw crusher). Patent RF № 2453370. Byul. Izobreteniya, № 17. 2012.
2. Nikitin E.M. *Teoreticheskaya mehanika* (Theoretical Mechanics). Moscow: Nauka, 1977. 416 p.
3. Nikitin A.G., Saharov D.F. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 2010. № 10. Pp. 41, 42.

Received February 18, 2014