

РОЗДІЛ «МАШИНОБУДУВАННЯ. МЕХАНІКА»

УДК 621. 941.014.8

ДАВИДЧИК А.Н., к.ф.-м.н., доцент

ЛЕВЧУК А.С., к.т.н., доцент

ЗАЦАРЕНКО В.И., ассистент

Днепродзержинский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДРОБИЛОК С НОЖОМ ПОЛУЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Введение. Утилизация металлической стружки, полимерных и древесных отходов связана с их дроблением до требуемой крупности. Эти рыхлые материалы могут эффективно измельчаться в дробилках, реализующих деформацию среза, т.к. при этом материал не наматывается на ротор, и крупность продукта определяется толщиной ножа, что ускоряет дробление. Особенно важно применение таких устройств для дробления стружки высоколегированных сталей и сплавов цветных металлов, являющихся ценным сырьем для металлургии, и вместе с тем, не поддающихся эффективному измельчению другими видами деформаций. Основу конструкции ножевой дробилки составляет расположенный в корпусе ряд пластинчатых неподвижных ножей, над которыми установлен вал с подвижными ножами; ножи взаимодействуют с зазором 0,10-0,15 мм. Чтобы избежать перегрузок привода, каждый подвижный нож должен захватывать ровно столько материала, сколько он может разрушить при движении относительно неподвижных ножей. Таким образом, необходима строгая дозировка поступающего материала, в связи с чем захватывающая способность устройства должна быть оптимальной или регулируемой.

Постановка задачи. Захватывающая способность регулируется различными способами [1, 2], но в основном она определяется формой подвижного ножа [1], который должен эффективно захватывать материал, а с другой стороны – исключать перегрузки привода при дроблении, т.е. нож должен обладать свойством саморегуляции захватывающей способности. Она зависит от удлинения ножа, расстояния от оси вращения до неподвижных ножей, способа установки ножей на валу и других факторов [1]. Повышение эффективности дробления возможно при установлении связи между конструктивными параметрами дробилок и результатами дробления. Целенаправленно изменяя эти параметры, можно определить их значения, соответствующие наилучшим результатам. Задача заключается в аналитическом задании рациональной формы ножа и в определении пределов изменения задающих параметров, т.е. удлинений ножа и расстояний от оси вращения вала до плоскости неподвижных ножей.

Результаты исследований. Анализ работы дробилок с вогнуто-зубчатыми ножами [1, 2] показывает, что захватывающая способность оптимизируется использованием ножа, заданного гладкой выпуклой направляющей кривой. Разработана дробилка для металлической стружки [3], содержащая бункер 1 (рис.1), корпус с перфорированным дном 2, установленные на осях 3 неподвижные ножи 4, над которыми на высоте h установлен вал 5 с неподвижными ножами 6, расположенными на валу с поворотом друг относительно друга на угол γ по винтовой линии.

Направляющая кривая ножа задана уравнением эллипса:

$$R = \pm \frac{R_0}{\sqrt{\cos^2 \varphi + \frac{1}{\lambda^2} \sin^2 \varphi}},$$

где R_0 – радиус основания ножа, сопряженного с эллиптической кривой, м;

φ – угол, соответствующий радиусу R кривой ($0 \leq \varphi \leq 180^\circ$), рад.;

λ – удлинение (отношение длин полуосей эллипса).

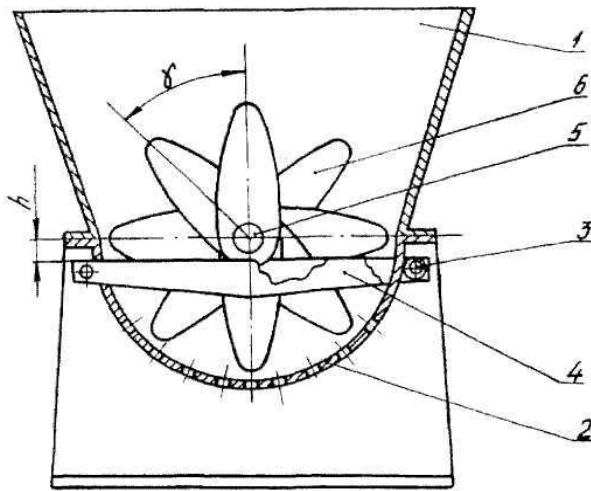


Рисунок 1 – Ножевая дробилка

Деформация среза начинается при определенном угле α , под которым касательная к направляющей кривой пересекает плоскость неподвижных ножей (для рыхлых материалов $\alpha \leq 23^\circ$). По мере вращения ножа вокруг оси на высоте h от плоскости неподвижных ножей угол $\alpha = 23^\circ$ достигается сначала на расстоянии l_1 от середины длины неподвижного ножа, а затем – на расстоянии l_2 от нее (рис.2). На участке $\Delta l = l_2 - l_1$, где $\alpha < 23^\circ$, идет эффективное резание, в то время как при $\alpha > 23^\circ$ (участки $0 < l < l_1$ и $l > l_2$) материал выталкивается из-под ножа. Важным преимуществом

является возможность выскальзывания материала на участке $\Delta l_B = R_n - l_2$ (R_n – длина большой полуоси ножа) с выходом на нулевую захватывающую способность в вершине ножа (эллиптическая кривая сопрягается с окружностью вращения ножа). Это разгружа-

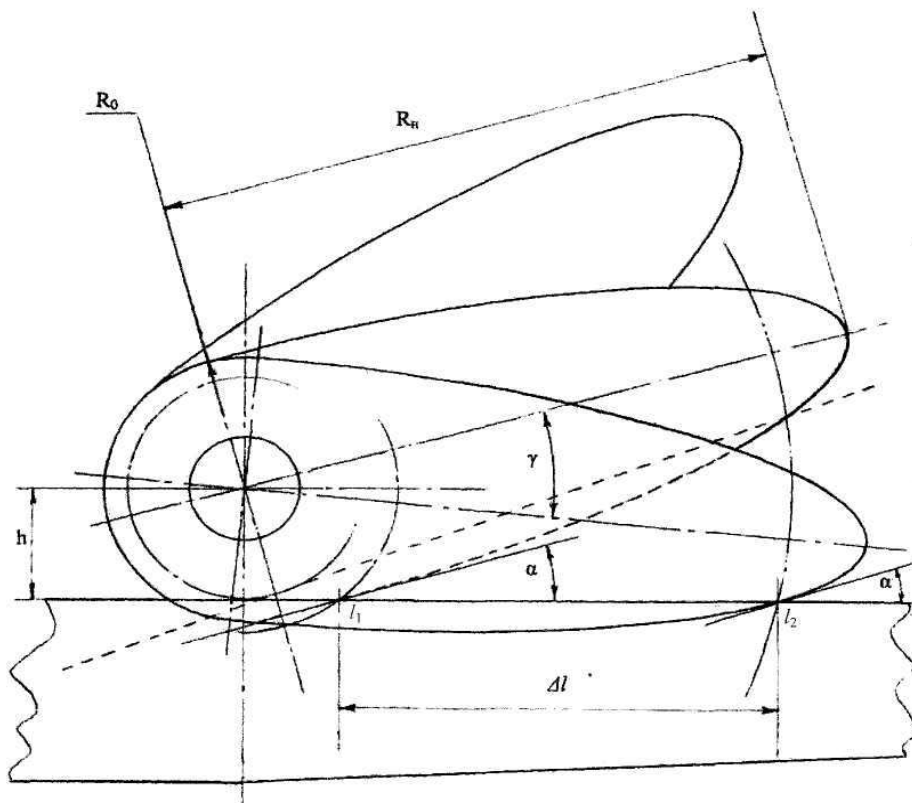


Рисунок 2 – Взаимодействие полуэллиптического ножа с плоскостью неподвижных ножей

ет вершину ножа и исключает заклинивание материала между ножом и стенкой бункера. Эллиптический нож создает как нормальное усилие среза, так и радиальное усилие разрыва вдоль плоскости неподвижных ножей с непрерывным переходом от выскальзывания к резанию и снова к выскальзыванию, чем достигается саморегуляция захватывающей способности. Снижаются скачки усилий на валу как при взаимодействии каждого неподвижного ножа с подвижными, так и при переходах от предыдущего подвижного ножа к следующему.

Нож выполняется полуэллиптическим, т.е. в любой момент половина ножей ротора находится под плоскостью неподвижных ножей. Поэтому материал может опускаться до самого вала, и каждый подвижный нож измельчает материал по всей своей длине, начиная от корневой части, что увеличивает производительность при снижении усилий разрушения. Эксцентричная форма ножей обеспечивает их поочередное контактирование с неподвижными ножами: в каждый момент плоскость неподвижных ножей пересекает только один подвижный нож по всей длине вала, что позволяет равномерно разрушать материал без перегрузок привода.

С увеличением высоты h (рис.2) возрастает длина участка эффективного резания Δl и повышается производительность, но до тех пор, пока не нарушена возможность выскальзывания материала на конечном участке $\Delta l_B \geq 0,1 R_n$. При меньших длинах этого участка существенно нарушается равномерность усилий как по длине каждого ножа, так и при переходах от одного ножа к другому по мере вращения. В свою очередь, высота h зависит от удлинения ножа λ . Поэтому определение оптимальных значений h и координат l_1 и l_2 для каждого удлинения позволяет установить приемлемый диапазон самих удлинений, а также угловой шаг γ (сначала из условия поочередного контактирования, т.е. одновременного нахождения на плоскости неподвижных ножей точки l_2 предыдущего ножа и точки l_1 следующего ножа, а затем – согласуя

эту величину γ с условием кратности $\gamma = \frac{360^\circ}{n}$, где n – число ножей на валу).

Экспериментально исследовались зависимости $l(h)$ в интервале удлинений $3,0 < \lambda < 5,0$. Расстояние l отсчитывалось от середины длины неподвижного ножа. Длина полуэллиптического ножа $R_n = 600$ мм, радиус вала $R_B = 50$ мм (нижний предел изменения высоты h). Верхний предел изменения h определялся радиусом окружности основания ножа R_0 , которое должно входить в паз между неподвижными ножами на величину $R_0 - h \geq 10$ мм. При повороте вала определялись расстояния l_1 и l_2 , соответствующие углу $\alpha = 23^\circ$, для различных высот h при каждом удлинении ножа λ . Результаты представлены зависимостями $l(h)$ на рис.3.

Для данного удлинения с уменьшением h расстояние l_1 увеличивается, а l_2 – уменьшается, т.е. Δl уменьшается, причем для малых удлинений ($\lambda < 0,4$) достигается минимум ($\Delta l = 0$) эффективного резания. Для удлинений $\lambda > 0,4$ получаются зависимости $l_1(h)$ для корневой части ножа и $l_2(h)$ – для концевой. С ростом удлинения λ длина участка резания Δl увеличивается для данных высот h . Однако при больших λ участок выскальзывания уменьшается и отодвигается к вершине ножа, причем скачок усилий на валу при переходе от резания к выскальзыванию и к вступлению в резание следующего ножа становится более резким, поэтому удлинения ножей должны быть ограничены. Крутизна зависимостей $l_1(h)$ и $l_2(h)$ увеличивается с ростом удлинений,

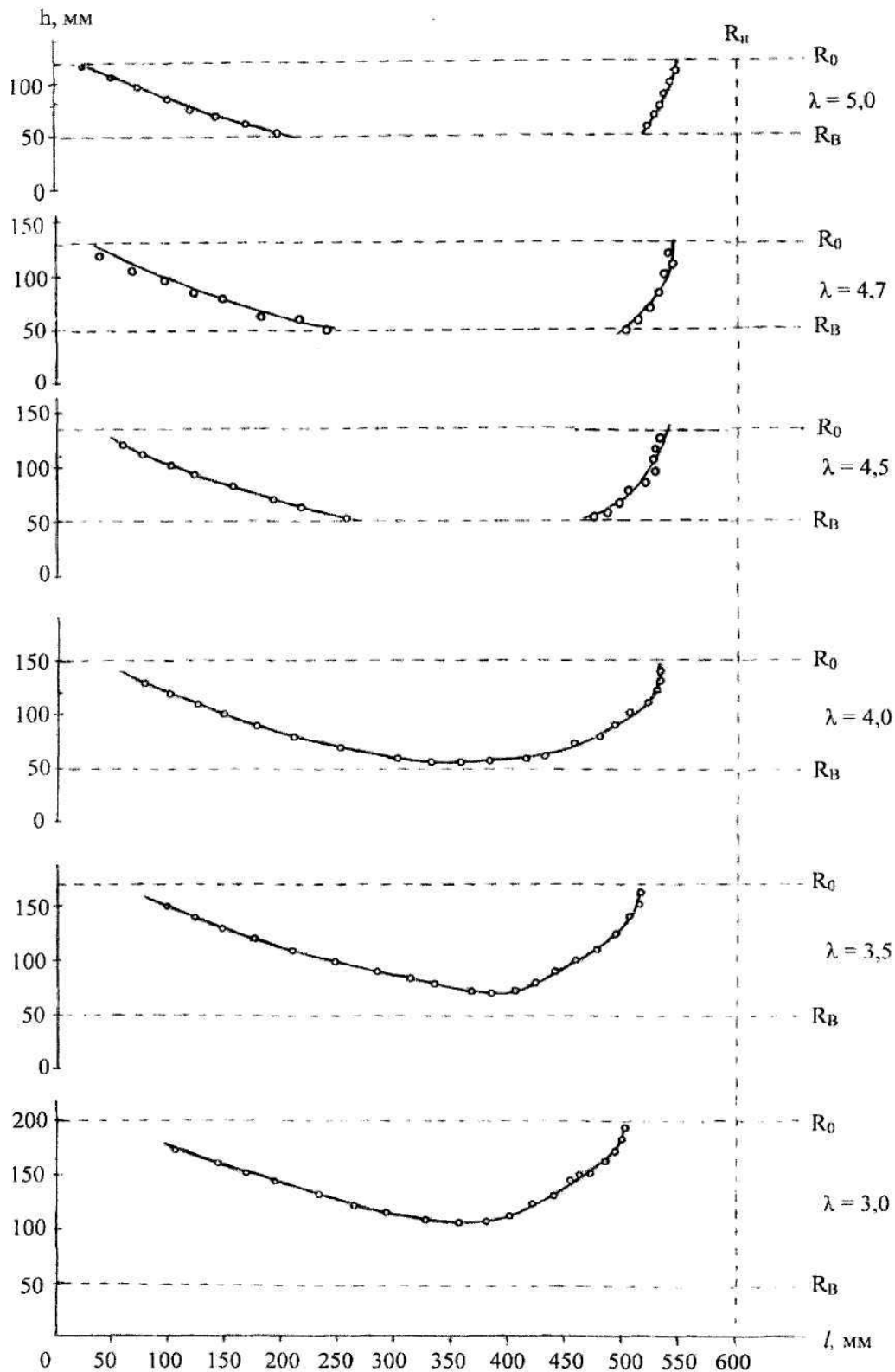


Рисунок 3 – Зависимости $l(h)$ для эллиптических ножей различных удлинений

т.е. чем больше удлинение, тем сильнее влияет изменение высоты h на длину Δl участка резания.

Оптимальные значения h и λ определялись по критериям $\frac{\Delta l}{R_n}$ и $\frac{\Delta l_B}{R_n}$. При

$\lambda = 3,0$ оптимальна большая высота $h = 0,9 R_0$, при которой расстояние l_1 минимально, а $\Delta l_B = 0,183 R_n$ – достаточно для выкальзывания. Достаточно и расстояние $R_0 - h = 20$ мм. Для $\lambda = 3,5$ оптимально значение $h = 0,874 R_0$, при котором не достигается крутой ход зависимости $l_2(h)$, а значение l_1 минимально, причем участок выкальзывания $\Delta l_B = 0,15 R_n$ – достаточен. С переходом к $\lambda \geq 4,0$ нужно уменьшать высоту h для увеличения участка выкальзывания (соответственно при $h = 0,8 R_0$ $\Delta l_B = 0,125 R_n$). Для $\lambda = 4,5-4,7$ оптимальны $h \sim 0,8 R_0$, при которых $\frac{\Delta l_B}{R_n} > 0,1$, хотя длина участка эффективного резания Δl начинает уменьшаться. Т.е.

при $\lambda > 4,7$ проявляется недостаток больших удлинений: для обеспечения выкальзывания необходимо уменьшение h до $0,75 - 0,66 R_0$, что приводит к увеличению длины l_1 и неблагоприятному смещению участка резания Δl к вершине ножа (при общем уменьшении Δl). Следовательно, при $\lambda < 5,0$ целесообразность эллиптической формы ножа утрачивается. Наибольший показатель эффективности резания $\frac{\Delta l}{R_n} \geq 0,7$

при необходимом $\frac{\Delta l_B}{R_n} \geq 0,1$ достигается при удлинениях $4,0 < \lambda < 4,7$, которые сле-

дует считать оптимальными для данного угла α при среднем $\frac{h}{R_0} \approx 0,8$.

Угловой шаг γ установки ножей на валу зависит от длины Δl (при необходимости поочередного контактирования ножей). Величина $\frac{\Delta l_B}{R_n}$ в диапазоне $4,0 \leq \lambda \leq 4,7$ изменяются незначительно, так что угол γ можно считать независимым от удлинения при $\Delta l \approx 0,7 R_n$. Действительно, полученные геометрическим построением угловые шаги γ для оптимальных $\frac{\Delta l_B}{R_n}$ в диапазоне $4,0 \leq \lambda \leq 4,7$ изменяются мало:

от $28,5^\circ$ до 25° . С другой стороны, оценить угол γ можно из условия квадратного сечения зоны дробления. Длина ротора (с учетом условия кратности)

$$L = 2R_n = d(2n + 1) = d \left(\frac{720^\circ}{\gamma} + 1 \right), \text{ где } d - \text{толщина ножа. Отсюда } \gamma = \frac{720^\circ \cdot d}{2R_n - d}.$$

Например, для $d = 40$ мм и $R_n = 600$ мм получается $\gamma = 24,8^\circ$, т.е. можно принять $\gamma = 24^\circ$ при $n = 15$ ножах на роторе, что согласуется со средним $\gamma = 26,67^\circ$ в диапазоне $4,0 < \lambda < 4,7$ при эллиптической форме ножа.

Выводы. Разработанная конструкция дробилки с полуэллиптическим ножом обеспечивает эффективное дробление рыхлых материалов, в том числе стальной стружки, за счет саморегуляции захватывающей способности ножей. Оптимальным является диапазон удлинений ножей $4,0 < \lambda < 4,7$ при расстоянии оси вала $h = 0,8 R_0$ от плоскости разрушения (R_0 – радиус основания ножа). Эллиптическая направляющая кривая ножа обеспечивает приемлемое согласование угловых шагов γ установки

ножей на валу, определенных в пределах указанных значений λ и h геометрически, со значениями углов γ , определенными из условия кратности этих углов 360° , при квадратном сечении зоны дробления, благодаря чему достигается поочередное контактирование ножей при указанных параметрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 32688А Україна, МПК В02С18/06. Прилад для роздрібнення матеріалів / Зацаренко В.С., Тихонов О.М., Левчук О.С. [та ін.]; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № 98010448; заявл. 27.01.98; опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.
2. Пат. 39436А Україна, МПК В02С18/14. Пристрій для роздрібнення матеріалів / Зацаренко В.С., Тихонов О.М., Стеблянюк П.О.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № 2000074584; заявл. 31.07.00; опубл. 15.06.01, Бюл. № 5.
3. Пат. 40158А Україна, МПК В02С 18/06. Пристрій для роздрібнення матеріалів / Зацаренко В.С., Тихонов О.М., Левчук О.С., Скляр В.М.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № 2000074312; заявл. 18.07.00; опубл. 16.07.01, Бюл. № 6.

Поступила в редколлегию 15.06.2015.

УДК 621.867.427

ЧАСОВ Д.П., ассистент

Днепродзержинский государственный технический университет

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ НАПОЛНЯЕМОСТИ ЖЕЛОБА ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЛОПАСТЯМИ

Введение. На современном этапе развития машиностроения важным фактором является использование отходов металлообработки ввиду высокой стоимости сырья, которое относится к невозобновляемым природным ресурсам. Ежегодное количество металлической стружки, образовавшейся на территории машиностроительных предприятий Украины, стремительно растет и уже достигает 3000 т/год. Данное количество является определяющим фактором для использования экологически и энергетически сберегающих технологий в машиностроительном производстве. Применение новых энергосберегающих методик и технологий не должно отражаться на снижении производительности модернизированных агрегатов и машин. Снижение энергоемкости при условии увеличения производительности возможно благодаря конструктивным модернизациям узлов и механизмов. Поэтому модернизация транспорта для удаления отходов машиностроительных предприятий является важным энергетическим и экологическим вопросом и приоритетной задачей промышленности Украины.

На территории Украины имеется небольшое количество авторов, чьи работы посвящены вопросу снижения энергоемкости при неизменной или увеличивающейся производительности. Наиболее известными авторами работ в этой области являются Б.М.Гевко, О.Л.Ляшук, И.Б.Гевко, Р.М.Рогатынский, В.С.Ловейкин, О.Р.Рогатынская, Дячун А.Е. [1, 2]. Однако вышеуказанные работы направлены на модернизацию привода, а не на конструктивные изменения в геометрии транспортирующих элементов. Также в трудах ранее упомянутых авторов не уделяется достойное внимание вспомогательным параметрам транспортирования: наполняемости шнека, геометрии и плотности транспортированного материала для машиностроительной промышленности.

Несмотря на существующие модернизации конвейерного транспорта, практически отсутствуют работы, посвященные описанию и расчетам эффективной наполняемо-