

УДК 621.77

Рей Р. И.  
Абдулганиев М. А.**ЭНЕРГЕТИКА КРИВОШИПНЫХ СОРТОВЫХ НОЖНИЦ**

Исходным материалом штамповочных цехов являются прутки длиной до 6 м. Заготовки под штамповку на кривошипных горячештамповочных прессах и молотах имеют длину, не превышающую трех диаметров. Порезка прутков на мерные заготовки производится на кривошипных сортовых ножницах. Наибольшее распространение получили ножницы усилием 2,5–16 МН, на которых производят резку круглых прутков диаметром 85–235 мм при  $\sigma_B = 450 \text{ МПа}$ , при более высоком пределе прочности материала предельное значение диаметра прутка уменьшают пропорционально квадратному корню отношения предела прочности  $\sigma_B = 450 \text{ МПа}$  к пределу прочности материала прутка. В учебниках по кузнечно-штамповочному оборудованию [1–5], имеются главы посвященные энергетике кривошипных прессов, однако в них энергетика кривошипных сортовых ножниц не рассматривается.

Цель работы состоит в разработке аналитических зависимостей для расчета энергетических параметров кривошипных сортовых ножниц, выполнении расчета для пяти моделей ножниц и анализа полученных результатов.

Затраты энергии на рабочий ход сортовых ножниц предлагается рассчитывать по зависимости:

$$A = A_g + A_f + A_y, \quad (1)$$

где  $A_g$  – работа деформации среза определяется по зависимости

$$A_g = K_1 P_{max} \cdot K_2 D, \quad (2)$$

где  $K_1$  – коэффициент отношения среднего значения усилия к максимальному –  $P_{max}$ ,  $K_2$  – коэффициент, определяющий глубину проникновения ножа в заготовку.

Л. И. Живов [5] приводит графики усилий деформации для вырубки из листа, и резки прутков на мерные заготовки, которые настолько близко друг от друга, что можно воспользоваться отношением среднего и максимального усилий для вырубки  $K_1 = 0,72$ , которое приведено [8], Л. И. Живовым в справочнике «Ковка и штамповка».

Л. И. Живов [5], для резки прутков принимает  $K_2 = 0,25 - 0,35$ , причем меньшее значение задают для более твердых материалов.

В работе Я. М. Охрименко [7] приведена следующая информация: «Твердая сталь характеризуется относительно небольшой глубиной внедрения ножа в заготовку ( $\varepsilon = 0,12 - 0,15$ ) и большим сопротивлением срезу. Для мягкой стали характерны значительная глубина пластического внедрения ножа в заготовку ( $\varepsilon = 0,35 - 0,40$ ), но небольшое напряжение в момент скалывания, поэтому на резку мягкой и твердой стали затрачивается примерно одинаковое количество работы.» Для разделительных операций С. С. Соловцов [6] предлагает принимать  $\varepsilon = 0,4 - 0,7$ , в зависимости от свойств металла и скорости резки. Здесь  $\varepsilon = \Delta D / D$ ,  $D$  – диаметр заготовки.

Потери энергии на трение определяются по следующей зависимости:

$$A_f = \sum_{i=1}^n m_f P_i \Delta \alpha, \quad (3)$$

где  $m_f$  – приведенное плечо сил трения;

$$\Delta \alpha = (\alpha_n - \alpha_k) / n, \quad (4)$$

где  $\alpha_n, \alpha_k$  – угловые положения кривошипного вала в начале и в конце рабочего хода;  $n$  – число участков, на которые разбивается угол рабочего хода.

После подстановки (4) в (3) зависимость для определения потерь энергии на трение представится в виде:

$$A_f = m_f (\alpha_n - \alpha_k) \sum_{i=1}^n P_i / n, \quad (5)$$

в (5)  $\sum_{i=1}^n P_i / n = P_{cp}$ , среднему усилию за время рабочего хода, которое определяется с учетом упругой деформации прессы как

$$P_{cp} = (A_g + A_y) / (K_2 D + \Delta \ell), \quad (6)$$

где  $A_y$  – энергия упругой деформации ножниц, определяется по зависимости.

$$A_y = P_k^2 / (2C), \quad (7)$$

где  $P_k$  – усилие в конце рабочего хода (при срыве нагрузки), принимается в зависимости от максимального усилия реза, как и при вырубке листовых заготовок, согласно данным Л. И. Живова [8] формула (4),  $P_k = 0,85 P_{max}$ .

$C$  – коэффициент жесткости ножниц, принят согласно рекомендациям Е. Н. Ланского, [4] табл. 1;

$\Delta \ell$  – упругая деформация ножниц по закрытой высоте, определяется как

$$\Delta \ell = P_k / C. \quad (8)$$

Коэффициент полезного действия рабочего хода определяется по общепринятой методике

$$\eta = A_g / A_{p.x}. \quad (9)$$

Расчет энергетических параметров выполнялся для пяти моделей сортовых кривошипных ножниц. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры ножниц кривошипных сортовых для точной резки

| №             | 1      | 2      | 3     | 4     | 5     |
|---------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Модель        | H1830Б | H1834А | H1836 | H1838 | H1840 |
| $P_n$ , МН    | 1,0    | 2,5    | 4,0   | 6,3   | 10    |
| $n$ , ход/мин | 58     | 30     | 25    | 20    | 16    |
| $D$ , мм      | 56     | 85     | 110   | 140   | 170   |
| $S$ , мм      | 50     | 70     | 90    | 120   | 140   |
| $C$ , МН/м    | 500    | 1 000  | 1 500 | 2 000 | 2 500 |
| $\lambda$     | 0,140  | 0,150  | 0,160 | 0,170 | 0,175 |
| $m_f$ , мм    | 19     | 26     | 33    | 36    | 40    |
| $N$ , кВт     | 15,5   | 29,0   | 68,9  | 75,0  | 105,8 |

В табл. 1 Приведены следующие параметры ножниц:  $P_n$  – номинальное усилие;  $n$  – число ходов ползуна в минуту;  $D$  – максимальный диаметр прутка;  $S$  – максимальный ход ползуна;  $C$  – коэффициент технологической жесткости;  $\lambda$  – коэффициент кратности шатуна;  $m_f$  – приведенное плечо сил трения;  $N$  – мощность электродвигателя привода.

Расчет выполнялся при значениях коэффициентов:  $K_1 = 0,72$ ,  $K_2 = 0,5$ ; коэффициент трения  $\mu = 0,06$ . Коэффициент использования рабочих ходов  $\rho_n$  определялся при значениях КПД части привода от главного вала до вала электродвигателя равном  $\eta = 0,8$  по отношению:

$$\rho_H = N \cdot t_{\text{дв.х.}} \cdot \eta / A_{p.x}, \quad (10)$$

где  $t_{\text{дв.х.}}$  – время двойного хода ползуна,

$N$  – мощность электродвигателя.

Результаты расчета, выполненные для моделей ножниц по изложенной методике, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчета энергетических параметров ножниц сортовых

| №                    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| $S_H$ , мм           | 28   | 42   | 55   | 70   | 85   |
| $S_K$ , мм           | 13,2 | 19,5 | 24,7 | 31,2 | 39,1 |
| $\alpha_H$ , рад     | 1,60 | 1,69 | 1,71 | 1,66 | 1,69 |
| $\alpha_K$ , рад     | 0,77 | 1,05 | 1,03 | 0,99 | 1,01 |
| $\alpha_{p.x}$ , рад | 0,83 | 0,64 | 0,68 | 0,67 | 0,68 |
| $P_K$ , МН           | 0,85 | 2,1  | 3,4  | 5,4  | 8,5  |
| $A_g$ , кДж          | 12   | 46   | 95   | 190  | 367  |
| $A_f$ , кДж          | 12,4 | 27,6 | 62,8 | 106  | 189  |
| $A_y$ , кДж          | 0,7  | 1,4  | 3,9  | 7,2  | 14,6 |
| $A_{p.x}$ , кДж      | 25,2 | 75,0 | 162  | 303  | 571  |
| $\eta_{p.x}$         | 0,49 | 0,61 | 0,59 | 0,63 | 0,64 |
| $\rho_H$             | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,4  |

В табл. 2 представлено:  $S_H$ ,  $S_K$  – расстояние ползуна до крайнего нижнего положения в начале и в конце рабочего хода;  $\alpha_H$ ,  $\alpha_K$ ,  $\alpha_{p.x}$  – угол начала, конца и рабочего хода;  $P_K$  – усилие в момент срыва нагрузки (в конце рабочего хода);  $A_g$ ,  $A_f$ ,  $A_y$  – затраты энергии на пластическую деформацию, преодоление сил трения в главном исполнительном механизме, упругую деформацию ножниц по закрытой высоте;  $A_{p.x}$  – работа рабочего хода;  $\eta_{p.x}$  – коэффициент полезного действия рабочего хода;  $\rho_H$  – коэффициент использования рабочих ходов.

Анализ исходных данных и результатов расчета позволяет выяснить следующее. Кривошипные сортовые ножницы отличаются малой величиной хода ползуна, так ножницы с  $P_H = 10$  МН имеют ход ползуна 140 мм, при таком же номинальном усилии горячештамповочные прессы – 250 мм, однокривошипные закрытые – 400 м, обрезные – 500 мм, по этой причине углы начала рабочего хода составляют 90–100° и, как следствие, отношение потерь энергии на трение к полезной работе находится в пределах 0,5–0,7. Как положительное В. И. Власов [9] отмечает повышенную жесткость исполнительного механизма, включающего эксцентриковый вал с малым эксцентриситетом, короткий неразъемный шатун, что, в итоге, привело к низким потерям энергии на упругую деформацию ножниц по закрытой высоте, составляющим 4–6 % от величины полезной работы.

При включении ножниц в технологическую линию допустимое время технологического цикла, при котором электродвигатель привода будет работать без перегрузки, определяется следующим образом:

$$|T_{m.u}| \geq A_{p.x} / (\eta \cdot N), \quad (11)$$

и так как в большинстве случаев диаметр прутка разрезаемого на заготовки меньше предельного, указанного в технической характеристике ножниц, коэффициент использования рабочих ходов может оказаться близким или равным единице, т. е. ножницы могут работать и в автоматическом режиме.

## ВЫВОДЫ

1. Предложенные зависимости позволяют выполнять аналитический расчет затрат энергии на рабочий ход кривошипных сортовых ножниц.
2. Анализ составляющих энергетического баланса рабочего хода показывает относительно низкие затраты энергии на упругую деформацию и высокие потери энергии на трение в кинематических парах главного исполнительного механизма.
3. Для повышения энергетической эффективности ножниц необходимо улучшить условия смазки в сочленениях деталей главного исполнительного механизма, приблизив их к гидродинамическим.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abdulganiev M. The energy of sheet bending on a crank-type press / M. Abdulganiev, M. Ray // TEKA Kom. i. Energ. Roln. Ol PAN, 2012, Vol. 12. – № 4, P. 3 – 7.*
2. *Рей М. Р. Энергетика рабочего хода кривошипного горячештамповочного пресса / М. Р. Рей // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. пр. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2005. – С. 116–122.*
3. *Рей М. Р. Энергетика рабочего хода кривошипного горячештамповочного пресса на операциях выдавливания / М. Р. Рей // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: тем. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 432–435.*
4. *Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / А. Н. Банкетов, Н.С. Добринский [и др.]; под ред. А. Н. Банкетова, Е. Н. Ланского. – М. : Машиностроение, 1982. – 576 с.*
5. *Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков; под ред. Л. И. Живова – М. : изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.*
6. *Ковка и штамповка: справочник: в 4х т. Т.1 / под ред. Е. И. Семенов [и др.] Т. 4 – М. : Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.*
7. *Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства / Я. М. Охрименко – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с.*
8. *Ковка и штамповка: справочник: в 4-х т. Т.1 / под ред. Е. И. Семенов [и др.] Т.4 – М. : Машиностроение, 1985. – 568 с.*
9. *Кривошипные кузнечно-прессовые машины / В. И. Власов, А. Я. Борзыкин, И. К. Букин-Батырев [и др.]; под ред. В. И. Власова – М. : Машиностроение, 1982. – 424 с.*

## REFERENCES

1. *Abdulganiev M. The energy of sheet bending on a crank-type press / M. Abdulganiev, M. Ray // TEKA Kom. i. Energ. Roln. Ol PAN, 2012, Vol. 12. – № 4, P. 3 – 7.*
2. *Rej M. R. Jenergetika rabocheho hoda krivoshipnogo gorjacheshtampovochnogo pressa / M. R. Rej // Resursozberigajuchi tehnologii virobnictva ta obrobki tiskom materialiv u mashinobuduvanni: zb. nauk. pr. – Lugans'k : SNU im. V. Dalja, 2005. – S. 116–122.*
3. *Rej M. R. Jenergetika rabocheho hoda krivoshipnogo gorjacheshtampovochnogo pressa na operacijah vydavlivanija / M. R. Rej // Udoskonalennja procesiv ta obladnannja obrobki tiskom v metalurgii i mashinobuduvanni: tem. zb. nauk. pr. – Kramators'k : DDMA, 2006. – S. 432–435.*
4. *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie: uchebnik dlja vuzov / A. N. Banketov, N.S. Dobrinskij [i dr.]; pod red. A. N. Banketova, E. N. Lanskogo. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 576 s.*
5. *Zhivov L. I. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie: uchebnik dlja vuzov / L. I. Zhivov, A. G. Ovchinnikov, E. N. Skladchikov; pod red. L. I. Zhivova – M. : izd-vo MG TU im. N. Je. Baumana, 2006. – 560 s.*
6. *Kovka i shtampovka: spravocnik: v 4h t. T.1 / pod red. E. I. Semenov [i dr.] T. 4 – M. : Mashinostroenie, 1985–1987. – 544 s.*
7. *Ohrimenko Ja. M. Tehnologija kuznechno-shtampovochnogo proizvodstva / Ja. M. Ohrimenko – M. : Mashinostroenie, 1976. – 560 s.*
8. *Kovka i shtampovka: spravocnik: v 4-h t. T.1 / pod red. E. I. Semenov [i dr.] T.4 – M. : Mashinostroenie, 1985. – 568 s.*
9. *Krivoshipnye kuznechno-pressovye mashiny / V. I. Vlasov, A. Ja. Borzykin, I. K. Bukin-Batyrev [i dr.]; pod red. V. I. Vlasova – M. : Mashinostroenie, 1982. – 424 s.*

Рей Р. И. – д-р техн. наук, проф. КНУ им. М. Остроградского

Абдулганиев М. А. – аспирант ВНУ им. В. Даля

ВНУ им. В. Даля – Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск (Северодонецк);

КНУ им. М. Остроградского – Кременчужский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг.

E-mail: [reyantt@gmail.com](mailto:reyantt@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 10.03.2015 г.