

УДК 621.97-231.32:621.96

Роганов Л. Л.  
Карнаух С. Г.  
Чоста Н. В.

## РАЗДЕЛЕНИЕ СОРТОВОГО ПРОКАТА БОЛЬШИХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ СПОСОБОМ ОТРЕЗКИ СДВИГОМ

Разделение сортового проката способом отрезки сдвигом применяется в серийном и массовом производстве. Данный способ обеспечивает наиболее высокую производительность, однако при этом требует значительных удельных нагрузок для осуществления рабочего цикла, вследствие чего увеличиваются габариты и металлоемкость конструкций, а значит и стоимость оборудования и оснастки. Особенно это проявляется при разделении проката больших сечений ( $d > 100$  мм).

В последние годы проведена большая работа по изучению и совершенствованию отрезки сдвигом сортового проката на территории стран СНГ (Мосстанкине, ЭНИКМАШе, МВТУ, Харьковском авиационном, Кишиневском политехническом институтах и т. д.) и за рубежом (Япония, Англия, Германия). В работах Мещерина В. Т., Соловцова С. С., Тимощенко В. А. разработаны основы теории отрезки сдвигом, определены оптимальные параметры процесса, предложены новые схемы разделения сортового проката, созданы различные конструкции ножниц и штампов [1, 2]. Однако в основном полученные результаты и рекомендации касаются разделения сортового проката размером поперечного сечения до 80 мм.

В Донбасской государственной машиностроительной академии под руководством проф. Роганова Л. Л. разработаны разнообразные виды клиношарнирных механизмов (КШМ). Разновидностью КШМ является КШМ с вогнутым клином (ВК), который по графику изменения силы деформирования максимально приближается к типовому графику сил, характерного для разделительных процессов. КШМ имеет следующие преимущества по сравнению с механизмами, применяемыми в традиционных машинах ОМД: большая поверхность, воспринимающая технологическую силу; небольшая высота его звеньев по направлению действия рабочей силы, что приводит к уменьшению их упругой деформации и, соответственно, уменьшению величины накапливаемой энергии упругой деформации в механизме; высокая жесткость; переменность соотношения между приводной и рабочей силами; возможность обеспечения приводной силы от общепринятых механизмов [3].

Таким образом, применение КШМ с ВК обеспечивает возможность разделения сортового проката способом отрезки сдвигом и его целесообразно применять именно для разделения проката больших поперечных сечений.

Целью работы является исследование технологических параметров при отрезке проката больших поперечных сечений сдвигом, а также разработка методики расчета рациональных конструктивных параметров КШМ с ВК.

Если в общем случае сила отрезки проката рассчитывается следующим образом:

$$F = KA\tau_c,$$

где  $K$  – коэффициент затупления кромок ножей;

$A$  – площадь поперечного сечения заготовки в момент скола;

$\tau_c$  – касательное напряжение среза.

Для оценки влияния формы и ориентации в пространстве сечения проката на силу отрезки, необходимо определить площадь  $A$  для различных форм поперечного сечения заготовки: прямоугольника, квадрата, круга, а также квадрата, поставленного на ребро.

В общем случае величина рабочего хода ножа связана с толщиной заготовки  $S$  соотношением:

$$h_b = CS,$$

где  $C$  – коэффициент пропорциональности.

Тогда сила отрезки составит:

– для прямоугольного сечения со сторонами  $L$  и  $S$  (рис. 1, а):

$$F = KLS(1-C)\tau_c; \quad (1)$$

– для квадрата со стороной  $a$  (см. рис. 1,б):

$$F = Ka^2(1-C)\tau_c. \quad (2)$$

Для квадрата, поставленного на ребро (см. рис. 1,г):

$$A = \left(a - \frac{h_b}{\sqrt{2}}\right)^2.$$

Если  $S = a\sqrt{2}$ , то  $h_b = CS = Ca\sqrt{2}$ .

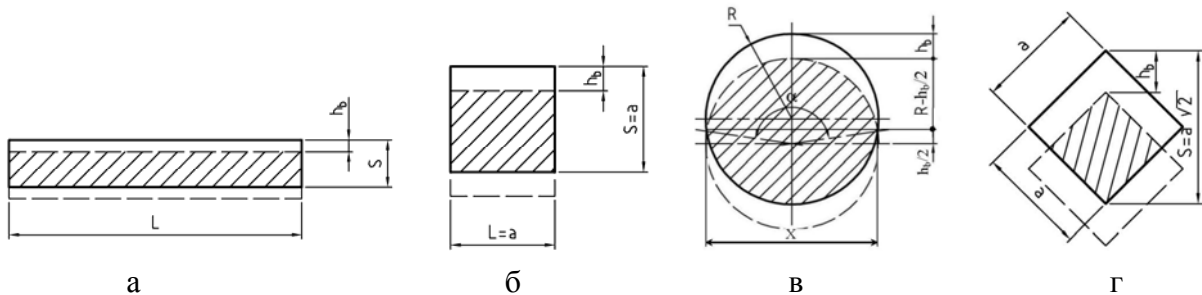


Рис. 1. Сечения сортового проката

Тогда:

$$A = (a - Ca)^2 = a^2(1-C)^2; \\ F = Ka^2(1-C)^2\tau_c. \quad (3)$$

Для круга радиусом  $R$  площадь  $A$  равна удвоенной площади сегмента с центральным углом  $\alpha = 2 \arccos \frac{h_b}{2R}$ , высотой  $h = R - \frac{h_b}{2}$ , длиной  $X = 2\sqrt{R^2 - (0,5h_b)^2}$  (см. рис. 1, в):

$$A = 2 \cdot \frac{1}{2} [Rl - X(R-h)],$$

где  $l$  – длина дуги, ограниченной центральным углом  $\alpha$ , определяемая как:

$$l = \frac{\pi R \alpha}{180^\circ}.$$

Тогда:

$$A = \frac{\pi}{90^\circ} R^2 \arccos \frac{h_b}{2R} - h_b \sqrt{R^2 - \frac{h_b^2}{4}}; \\ F = K \left[ \frac{\pi}{90^\circ} R^2 \arccos \frac{h_b}{2R} - h_b \sqrt{R^2 - \frac{h_b^2}{4}} \right] \tau_c. \quad (4)$$

При  $h_b = CS = 2CR$ :

$$A = R^2 \left[ \frac{\pi}{90^\circ} \arccos C - 2C\sqrt{1-C^2} \right];$$

$$F = KR^2 \left[ \frac{\pi}{90^0} \arccos C - 2C\sqrt{1-C^2} \right] \tau_c. \quad (5)$$

Если площадь круга равна площади квадрата, то  $a^2 = \pi R^2$ . Откуда:

$$R = \frac{a}{\sqrt{\pi}}.$$

Тогда:

$$A = \frac{a^2}{90^0} \arccos \frac{h_b \sqrt{\pi}}{2a} - h_b \sqrt{\frac{a^2}{\pi} - \frac{h_b^2}{4}}.$$

Сравнение формул (1)–(5) показывает, что сила отрезки зависит не только от площади и формы поперечного сечения прутка, но и от ориентации его в пространстве: для квадрата, поставленного на ребро, сила отрезки меньше, чем для квадрата, поставленного на грань в  $(1-C)$  раз. Сравним величину площади  $A$  для квадрата со стороной  $a$  и круга радиуса  $R$ , имеющих равные площади.

Пусть  $a = 100$  мм,  $C = 0,2$ .

Тогда для квадрата, поставленного на грань:

$$A = a^2(1-C) = 0,1^2(1-0,2) = 0,008 \text{ м}^2.$$

Для квадрата, поставленного на ребро:

$$A = a^2(1-C)^2 = 0,1^2(1-0,2)^2 = 0,0064 \text{ м}^2.$$

Для круга радиусом  $R = \frac{a}{\sqrt{\pi}} = \frac{0,1}{\sqrt{\pi}} = 0,056$  м, при условии, что площадь круга равна площади квадрата со стороной  $a = 100$  мм:

$$A = 0,056^2 \left[ \frac{\pi}{90^0} \arccos 0,2 - 2 \cdot 0,2 \sqrt{1-0,2^2} \right] = 0,0075 \text{ м}^2.$$

Если площадь прямоугольного сечения равна площади квадрата со стороной  $a$  и высота  $S = 0,01$  м, то:

$$L = \frac{a^2}{S} = \frac{0,1^2}{0,01} = 1 \text{ м};$$

$$A = LS(1-C) = 1 \cdot 0,01(1-0,2) = 0,008 \text{ м}^2.$$

Таким образом, при одинаковой площади поперечного сечения проката наименьшую площадь поперечного сечения в момент скола и, следовательно, силу отрезки при прочих равных параметрах имеет квадрат, поставленный на ребро. Незначительно больше площадь  $A$  у круга. Искомые площади  $A$  для квадрата, поставленного на грань и листа прямоугольной формы одинаковы.

Для каждого из приведенных случаев определим силу отрезки, приняв в качестве материала заготовок сталь марки 45. Экспериментально установлено, что для прутков из стали марки 45:  $h_b = 0,1 \cdot S$ , то есть  $C = 0,1$  [1].

Для пластической деформации касательные напряжения сдвига  $\tau_C = 0,58 \cdot \sigma_T$ . Поправочный коэффициент, учитывающий увеличение силы отрезки от затупления кромок ножа  $K = 1,2$ .

Результаты расчета площади поперечного сечения заготовки  $A_0$ , площади в момент скола  $A$  и силы отрезки  $F$  для различных форм поперечного сечения проката приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета параметров клиношарнирного механизма

Параметры	$A_0, \text{мм}^2$	$A, \text{мм}^2$	$h_B, \text{мм}$	$F, \text{кН}$	$F_{\Gamma}, \text{кН}$	$R, \text{мм}$	$h_{\Gamma}, \text{мм}$	$\varphi^0$
Прямоугольник $L \times S = 1000 \times 10$	10000	9000	1,0	2255	805	97	14	$8^0 18'$
Прямоугольник $L \times S = 2000 \times 5$	10000	9000	0,5	2255	805	49	7	$8^0 12'$
Квадрат, поставленный на грань $a = 100 \text{ мм}$	10000	9000	10,0	2255	805	970	139	$8^0 14'$
Квадрат, поставленный на ребро $a = 100 \text{ мм}$	10000	8100	14,1	2030	725	1368	196	$8^0 14'$
Круг $R = 56 \text{ мм}$	10000	8732	5,6	2189	781	543	78	$8^0 16'$

С целью определения рациональных параметров КШМ с ВК проведены теоретические расчеты с использованием математической модели [4] (см. табл. 1). При заданном вертикальном ходе ползуна  $h_B$ , который принимается равным величине внедрения ножа  $h_b$ , максимальный выигрыш в силе достигается при наибольшем радиусе клина, который соответствует принятой величине хода ползуна. Для всех рассматриваемых случаев принимаем величину выигрыша в силе постоянной:

$$F_B/F_{\Gamma} = 2,8,$$

где  $F_B$  – вертикальная технологическая сила на ползуне;

$F_{\Gamma}$  – горизонтальная приводная сила на клине.

С использованием математической модели [5] определим радиус клина:

$$R = h_B / \left( 1 - \cos \left[ \arctg \frac{F_{\Gamma}}{F_B} - \rho - \psi \right] \right). \quad (6)$$

Если принять, что углы трения в кинематических парах КШМ  $\rho \cong \psi$ , то при коэффициенте трения  $f = 0,1$   $\rho = \psi = \arctg 0,1 = 5^0 43'$ .

При этом величина горизонтального хода клина, обеспечивающего заданное перемещение  $h_B$  при известном радиусе  $R$  и угол поворота шарнира  $\varphi$ :

$$h_{\Gamma} = \sqrt{R^2 - (R - h_B)^2};$$

$$\varphi = \arcsin(h_{\Gamma}/R).$$

Разработаны программные средства по автоматизированному проектированию геометрических и силовых параметров клиношарнирного механизма с вогнутым клином для отрезки сортового проката больших сечений различной формы, что позволяет выбрать рациональные параметры оборудования. Укрупненная блок-схема алгоритма решения этой задачи представлена на рис. 2.

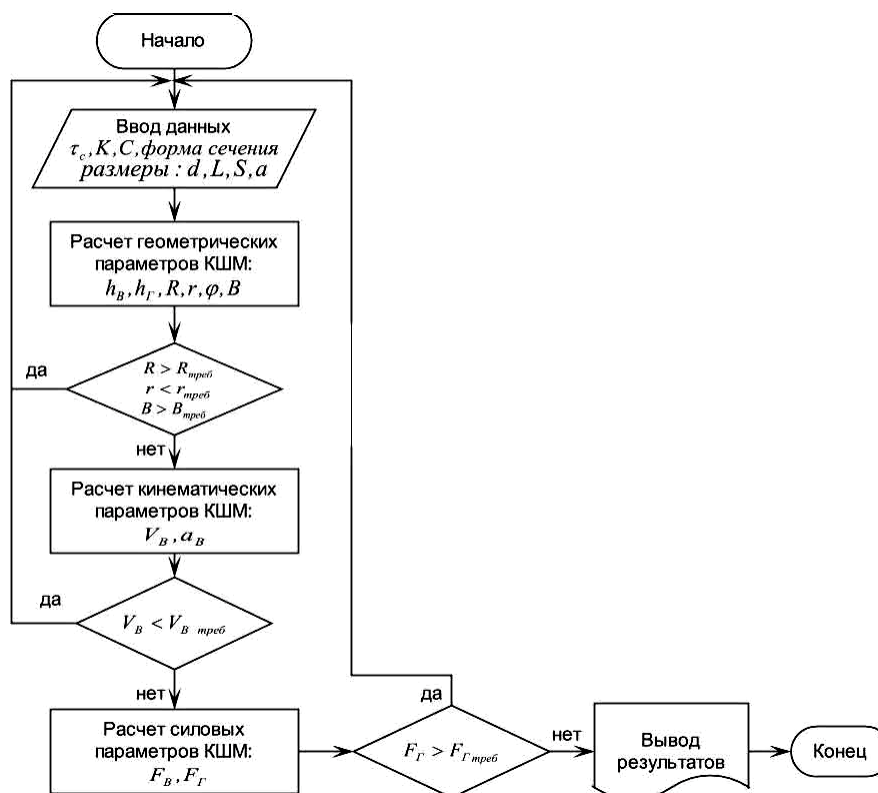


Рис. 2. Укрупненная блок-схема алгоритма по автоматизированному проектированию геометрических и силовых параметров КШМ с ВК для отрезки сортового проката больших сечений

## ВЫВОДЫ

Предложены рекомендации по выбору рационального расположения разделяемого проката относительно направления силы отрезки, в зависимости от его формы, с целью снижения энергосиловых параметров процесса разделения. Разработаны программные средства по автоматизированному проектированию геометрических и силовых параметров клиношарнирного механизма с вогнутым клином для отрезки сортового проката больших сечений различной формы, что позволяет выбрать рациональные параметры оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соловцов С. С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах / С. С. Соловцов. – М. : Машиностроение, 1985. – 176 с.
2. Соловцов С. С. Производство точных заготовок отрезкой и вырубкой / С. С. Соловцов // Кузнечно-штамповочное производство. – 2005. – № 9. – С. 22–24.
3. Чоста Н. В. Совершенствование клиношарнирных механизмов прессов для разделительных процессов обработки давлением : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Чоста Н. В. – Краматорск, 2009. – 188 с.
4. Роганов Л. Л. Теоретический анализ возможностей клиношарнирного механизма с вогнутым клином / Л. Л. Роганов, Е. А. Корнева, Н. В. Чоста // Сб. научн. статей. – Краматорск : ДГМА, 1996. – Вып. 3. – С. 122–131.
5. Владимиров Э. А. Анализ методов силового расчета клиношарнирных механизмов / Э. А. Владимиров, В. Е. Шоленинов, Н. В. Чоста // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2000. – С. 424–426.

Роганов Л. Л. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТО ДГМА;  
 Карнаух С. Г. – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой ОПМ ДГМА;  
 Чоста Н. В. – канд. техн. наук, доц. ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: sergey.karnauh@dgma.donetsk.ua