

УДК 669.162.264.3/4:621.974.4 – 9

Добряк В. Д.  
Балакин В. Ф.  
Угрюмов Ю. Д.  
Угрюмов Д. Ю.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ЗАЦЕНТРОВКИ СЛИТКОВ

Выполнение центровочного отверстия в слитке, предназначенном для улучшения последующей прошивки на прошивном стане или стане-элонгаторе, можно рассматривать как ковочную операцию прошивки, которая характеризуется внедрением пуансона в торец цилиндрической заготовки. Так как операция зацентровки слитка производится в круглой матрице с небольшим радиальным зазором между слитком и матрицей ( $\delta \approx 10$  мм), будем рассматривать так называемую закрытую прошивку. Тарновский И. Я. и др. [1] выделяют три стадии закрытой прошивки. Первая стадия характеризуется заполнением пространства между заготовкой и матрицей осаживаемым металлом. Во второй стадии металл, вытесняемый из-под пуансона, течет в направлении оси слитка навстречу пуансону. Причем, объем металла, охваченный пластической деформацией под пуансоном, распространяется на определенную глубину и остается постоянным на протяжении всей этой стадии. Третья стадия начинается с момента вовлечения всего объема металла, находящегося под пуансоном, в пластическую деформацию. Вторая стадия, как показали исследования [1], характеризуется постоянством силы прошивки.

Целью данной работы является определение силы закрытой прошивки в конце первой стадии или в начале второй.

На рис. 1 показана форма оправки для изготовления центровочного отверстия в круглом слитке диаметром 390 мм, предназначенном для прокатки трубы диаметром 168 мм на пилигримовом стане, на рис. 2 – то же в слитке диаметром 476 мм для трубы диаметром 377 мм. Для упрощения расчетов преобразуем криволинейную поверхность оправки в соответственный конус. Для этого через точки *A* и *B* проведем образующие конуса касательно криволинейного конуса до пересечения с продолжениями образующих цилиндрической части оправок в точках *B* и *Г*. Штрихпунктирными линиями на рисунках показаны контуры соответственных конусов, внедрение которых рассмотрим с помощью известных методик. Согласно [2] плоская задача внедрения клина в жестко-пластическую среду в первом приближении может быть применена к осесимметричной задаче внедрения конуса. Внедрение клина в среду, ограниченную плоскостью, рассматривают как закрытую прошивку, так как окружающая пластическую область жесткая среда выполняет роль матрицы.

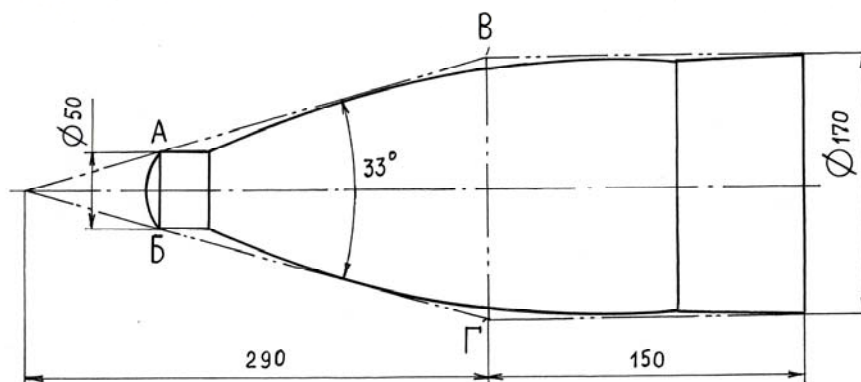


Рис. 1. Минимальная оправка для зацентровки слитков, предназначенных для изготовления труб диаметром 168 мм

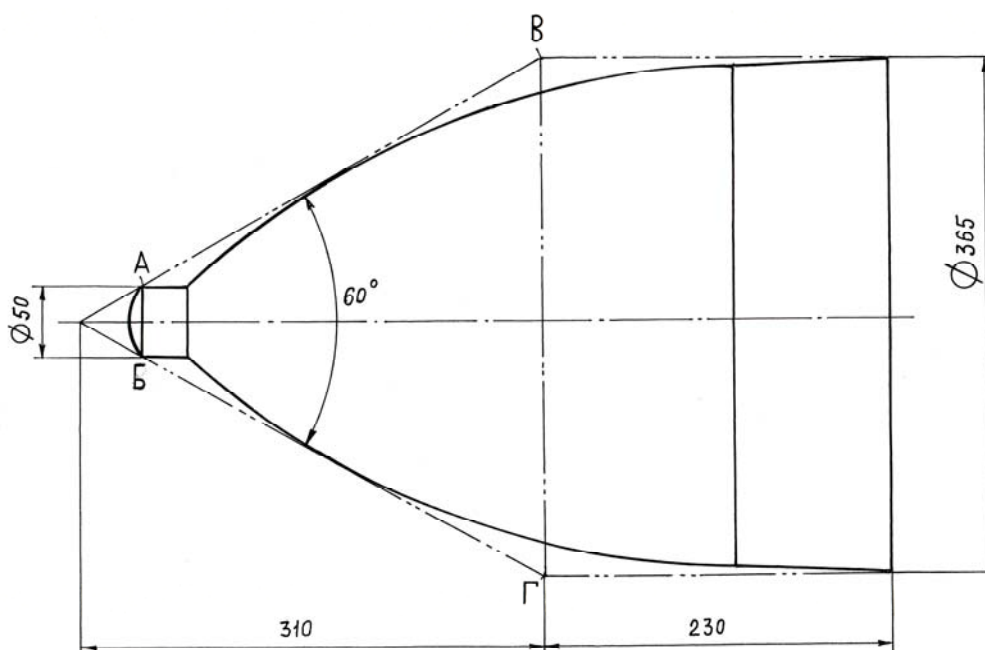


Рис. 2. Максимальная оправка для зацентровки слитков, предназначенных для изготовления труб диаметром 377 мм

Определение усилия внедрения инструмента предполагает знание удельного сопротивления деформации металла с учетом степени и скорости деформации, что для случая прошивки является весьма затруднительным [3]. Поэтому приближенно влияние степени и скорости деформации учитывают путем умножения  $\sigma_{ep}$  при температуре прошивки на поправочный коэффициент [4], равный для гидравлических прессов  $\kappa = 1 \dots 1,25$ . Применительно к условиям трубопрокатного цеха № 4 ОАО «Интерпайп НТЗ» принимаем  $\kappa = 1$ , так как прошивной пресс 20 МН этого цеха относится к тихоходным машинам.

Расчеты проведем для стали 40Х (ГОСТ 4543-71), для которой принимаем базовое значение  $\sigma_{ep} = 92$  МПа, а температурный коэффициент  $k_t = 0,5$  при температуре прошивки 1220 °С [5]. Следовательно, сопротивление деформации стали 40Х, используемое ниже в расчетах, составляет  $\sigma_s = 92 \cdot 0,5 = 46$  МПа.

*Определение усилия зацентровки по методике Качанова Л. М. [6].*

Качанов Л. М. решает плоскую задачу о внедрении твердого клина с углом раствора  $2\gamma$  в жестко-пластическую среду, ограниченную плоскостью (рис. 3). Сила  $P_1$  на единицу длины  $z$  клина выражается формулой:

$$P_1 = 2pl \cdot \sin \gamma, \quad (1)$$

где  $p = 2k(1 + \varphi)$  – нормальное напряжение на линии АВ;

$l = AB$  – длина боковой грани клина;

$k = \tau_s = 0,577\sigma_s$  – предел текучести металла на срез.

Угол  $\varphi$  определяется из уравнения:

$$2\gamma = \varphi + \arccos \operatorname{tg} \left( \frac{\pi - \varphi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (2)$$

Методом подбора по уравнению (2) находим значение  $\varphi = 6^\circ 30'$  для минимальной оправки (рис. 1) и  $\varphi = 17^\circ 30'$  для максимальной оправки (рис. 2).

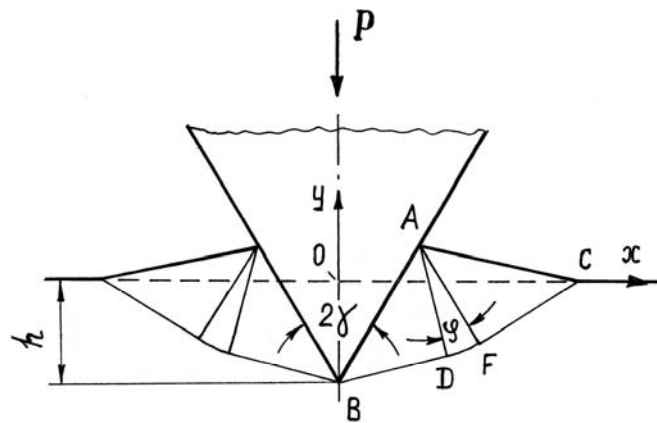


Рис. 3. Расчетная схема внедрения клина по Качанову Л. М. [6]

Далее находим нормальное напряжение на линии  $AB$ :

– для минимальной оправки  $p = 2k(1 + 0,1134) = 2,227k = 59$  МПа;

– для максимальной оправки  $p = 2k(1 + 0,3054) = 2,61k = 69,2$  МПа.

Длину  $l$  боковой грани клина находим из соотношения:

$$l \cdot \cos \gamma - h = l \cdot \sin(\gamma - \varphi). \quad (3)$$

Подставляя в выражение (3)  $h = 290$  мм;  $\gamma = 16^\circ 30'$ ;  $\varphi = 6^\circ 30'$  для минимальной оправки имеем  $l = 370$  мм. Подставляя  $h = 310$  мм;  $\gamma = 30^\circ$ ;  $\varphi = 17^\circ 30'$  для максимальной оправки получаем  $l = 477$  мм.

Следовательно, сила  $P_1$  на единицу длины клина будет:

– для минимальной оправки  $P_1 = 2 \cdot 59 \cdot 10^6 \cdot 0,37 \cdot 0,284 = 12,4 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ;

– для максимальной оправки  $P_1 = 2 \cdot 69,2 \cdot 10^6 \cdot 0,477 \cdot 0,5 = 33 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

Длина клина  $z$  может быть найдена из равенства площадей сечений клина и цилиндрической части оправки:

– для минимальной оправки  $170 \cdot z = 0,785 \cdot 170^2$ , откуда  $z = 133,5$  мм;

– для максимальной оправки  $365 \cdot z = 0,785 \cdot 365^2$ , откуда  $z = 286,5$  мм;

Таким образом, полная сила внедрения составит:

– для минимальной оправки  $P = P_1 \cdot z = 12,4 \cdot 10^6 \cdot 0,1335 = 1655$  кН;

– для максимальной оправки  $P = 33 \cdot 10^6 \cdot 0,2865 = 9454$  кН.

*Определение усилия зацентровки по методике Добряка В. Д. [7].*

В работе Добряка В. Д. использован упрощенный прием решения задачи внедрения клина в жестко-пластическую среду, основанный на одном из методов теории пластичности, известном как метод верхней оценки или метод Джонсона [2]. Согласно методу Джонсона принято поле линий скольжения, состоящее из прямых линий и дуг, между которыми материал движется как жесткое тело (рис. 4). Нормальные напряжения на боковых гранях клина определяются выражением:

$$p_{cp} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \left( 1 + 3 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + 2 \frac{\sin \frac{\alpha}{4}}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} \right). \quad (4)$$

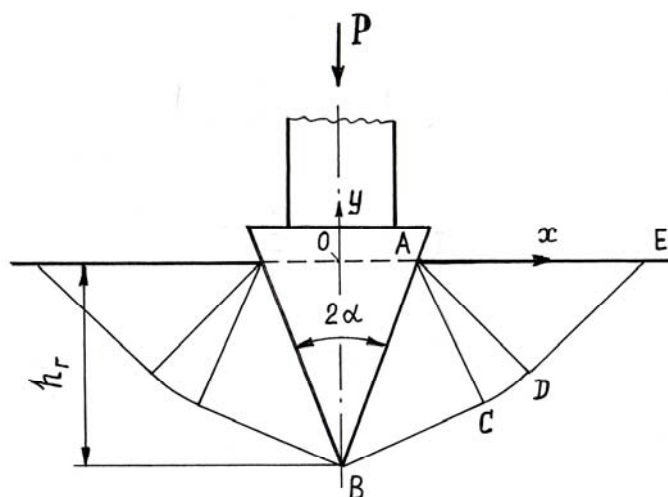


Рис. 4. Расчетная схема внедрения клина по Добряку В. Д. [7]

Полная сила внедрения складывается из двух составляющих:

$$P_{вн} = P_1 + P_2. \quad (5)$$

Первая составляющая обусловлена работой сил среза по линиям скольжения и определяется по формуле:

$$P_1 = 2p_{ср} \cdot h_r \cdot z \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

где  $h_r$  – глубина внедрения клина;

$z$  – размер клина в направлении оси  $z$ .

Вторая составляющая обусловлена работой сил среза по площадкам  $ABC$ ,  $ACD$  и  $ADE$  и находится из уравнения баланса мощностей в следующем виде:

$$P_2 = \frac{2}{\sqrt{2}} \tau_s \cdot h_r^2 \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} \left( 1 + \frac{\sin \alpha}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} \right). \quad (7)$$

Вычисленные по формулам (4–7) силы внедрения клина представлены в сводной табл. 1 (гр. 3).

Для сравнения сил внедрения клиновидного инструмента и цилиндрического пуансона с плоским торцом проведем расчет по методикам Сторожева М. В., Попова Е. А. [3] и Томсена Э., Янга Ч., Кобаяши Ш. [2].

Сторожев М. В., Попов Е. А. для условий открытой прошивки дают формулу, определяющую среднее удельное давление на торце цилиндрического пуансона:

$$p_{ср} = \sigma_s \left( 2 + 1,1 \ln \frac{D_{сл}}{D_n} \right), \quad (8)$$

где  $D_{сл}$  – диаметр слитка;  $D_n$  – диаметр пуансона.

Томсен Э., Янг Ч. и Кобаяши Ш. для закрытой прошивки слитка цилиндрическим пуансоном с плоским торцом получают следующее выражение для определения среднего давления на торец пуансона:

$$\frac{p_{ср}}{2\kappa} = 2\sqrt{\frac{1-r}{r}} + \frac{7}{8}\sqrt{\frac{r}{1-r}}, \quad (9)$$

где 
$$r = \frac{D_n}{D_{сл}}. \quad (10)$$

Результаты вычисления сил зацентровки слитков по вышеприведенным формулам также представлены в таблице (гр. 4, 5).

Таблица 1

Расчетные силы зацентровки слитков минимальной и максимальной оправками по различным методикам, кН

Методика	Качанова Л. М. [6]	Добряка В. Д. [7]	Сторожева М. В., Попова Е. А. [3]	Томсена Э., Янга Ч., Кобаяши Ш. [2]
1	2	3	4	5
Минимальная оправка (рис. 1)	1655	2684	3040	3655
Максимальная оправка (рис. 2)	9454	10363	11000	14830

### ВЫВОДЫ

Полученные значения усилия зацентровки слитков от минимального до максимального возможного показывают, что техническая характеристика прошивного прессы 20 МН трубопрокатного цеха № 4 ОАО «Интерпайп НТЗ» вполне обеспечивает зацентровку малых слитков на вспомогательных цилиндрах (6000 кН) и больших слитков – на главном и вспомогательных цилиндрах (18000 кН). Дополнительные цилиндры могут вообще не использоваться.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Теория обработки металлов давлением / И. Я. Тарновский, А. А. Поздеев, О. А. Ганаго и др. ; под ред. И. Я. Тарновского. – М. : Металлургиздат, 1963. – 672 с.
2. Томсен Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши. – М. : Машиностроение, 1969. – 503 с.
3. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Высшая школа, 1963. – 295 с.
4. Сторожев М. В. Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов / М. В. Сторожев, П. И. Середин, С. Б. Курсанов. – М. : Высшая школа, 1967. – 342 с.
5. Зюзин В. И. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке / В. И. Зюзин, М. Я. Бровман, А. Ф. Мельников. – М. : Металлургия, 1964. – 270 с.
6. Качанов Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. – М. : Наука, 1969. – 420 с.
7. Добряк В. Д. Инженерный метод определения параметров внедрения ударного инструмента в монолитную среду / В. Д. Добряк // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1992. – № 2. – С. 49–51.

Добряк В. Д. – канд. техн. наук, инженер ОАО «Интерпайп НТЗ»;

Балакин В. Ф. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой НМетАУ;

Угрюмов Ю. Д. – канд. техн. наук, вед. инженер ОАО «Интерпайп НТЗ»;

Угрюмов Д. Ю. – вед. инженер ОАО «Интерпайп НТЗ».

ОАО «Интерпайп НТЗ» – ОАО «Интерпайп Нижнеднепровский трубопрокатный завод», г. Днепропетровск.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: balakini@inbox.ru