

УДК 621.774.36

**В.Ф.Балакин, С.Л.Стасевский, В.Д.Добряк, Ю.Д.Угрюмов****СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ ЗА СЧЕТ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЗОРОМ МЕЖДУ ГИЛЬЗОЙ И ДОРНОМ***Национальная металлургическая академия Украины  
Укрспромез, г.Днепропетровск*

Выполнен анализ влияния зазора между гильзой и дорном на процесс горячей пилигримовой прокатки труб. Предложена методика определения усилия обжатия участка гильзы на дорне с целью увеличения сцепления между ними в начальный период прокатки для выбора гидравлического пресса. Разработаны предложения и предложены устройства для увеличения сцепления гильзы с дорном в начальный период пилигримовой прокатки.

**Ключевые слова:** пилигримовая прокатка, гильза, дорн, зазор, методика определения усилия обжатия гильзы

**Современное состояние вопроса.**

Установившийся процесс прокатки на одноклетьевом пилигримовом стане производится с постоянной угловой скоростью валков. Максимальная угловая скорость валков рассчитывается исходя из максимально допустимого ускорения торможения подвижных масс стана при подходе их к валкам, при котором не происходит сползание гильзы с дорна. Величина указанного ускорения определяется силой сцепления горячей гильзы с дорном. Обычно в расчетах принимается наименьшая сила сцепления, которая имеет место в период затравочного режима.

Затравка является весьма ответственной операцией, требующей от оператора стана определенных навыков и умения выбрать оптимальный режим прокатки для каждой гильзы исходя из состояния ее переднего конца перед затравкой. Поэтому, чем ниже обороты валков, тем меньше вероятность ошибки оператора в выборе величины подачи при затравке и поломке деталей главной линии стана.

Наличие зазора между гильзой и дорном необходимо для стабильной зарядки дорна в гильзу и для предотвращения перегрева дорна. С другой стороны наличие этого зазора в значительной степени ухудшает условия пилигримовой прокатки и снижает ее эффективность, оказывает влияние на выбор скоростного режима пилигримовой прокатки, уменьшает подачу гильзы в валки стана. Кроме того, наличие зазора между гильзой и дорном повышает разностенность труб, особенно в конце процесса прокатки из-за смещения оси дорна относительно оси гильзы и увеличения неравномерности обжатия гильзы в поперечном сечении [1].

Гильза в основной (средней) части 2 (кроме концевых участков) имеет постоянный внутренний диаметр  $d_r$ , который составляет:

$$d_r = d_g + \Delta,$$

где  $\Delta$  – зазор между дорном и гильзой (Рис.1). На заднем конце гильзы длиной  $l$  ее внутренний диаметр  $dr_3$  после косовалкового прошивного стана (или элонгатора) меньше внутреннего диаметра гильзы в основной части на 8-12 мм. Тогда  $dr_1 = dg + \Delta dr_3$ , где  $\Delta dr_3$  – уменьшение внутреннего диаметра гильзы на заднем конце по сравнению с внутренним диаметром основной части гильзы.

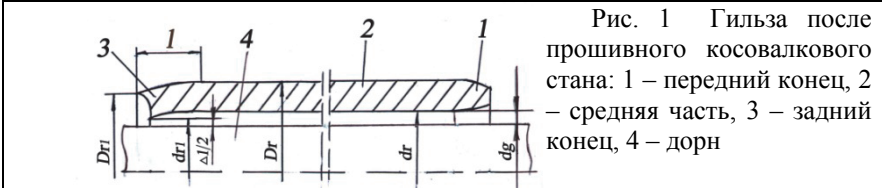


Рис. 1 Гильза после прошивного косовалкового стана: 1 – передний конец, 2 – средняя часть, 3 – задний конец, 4 – дорн

Условием для обеспечения стабильности зарядки дорна в гильзу является  $dr - dr_1 = 0$ , т.е.  $dr = dr_1$ . Однако, более благоприятные условия для зарядки дорна в гильзу имеют место при  $dr_1 - dr > 0$ , т.е.  $dr_1 > dr$ . Известно, что на некоторых пильгерстанах за рубежом разворачивают гильзу перед зарядкой в нее дорна таким образом, чтобы зарядка осуществлялась со стороны переднего конца гильзы, у которого  $dr_1 > dr$ .

Следует также отметить, что за счет нестабильности геометрических размеров гильзы по ее длине, уменьшения наружного и внутреннего диаметров на заднем конце гильзы, наличия кривизны и овальности поперечного сечения на практике приходится увеличивать величину расчетного зазора между гильзой и дорном до 20-30 мм, причем с увеличением диаметра гильзы величина зазора увеличивается. Особенно сильно величина зазора сказывается в период захвата гильзы валками, а после затравки процесс пильгерования стабилизируется и при правильной настройке стана происходит практически автоматически, что создает условия для увеличения числа оборотов валков.

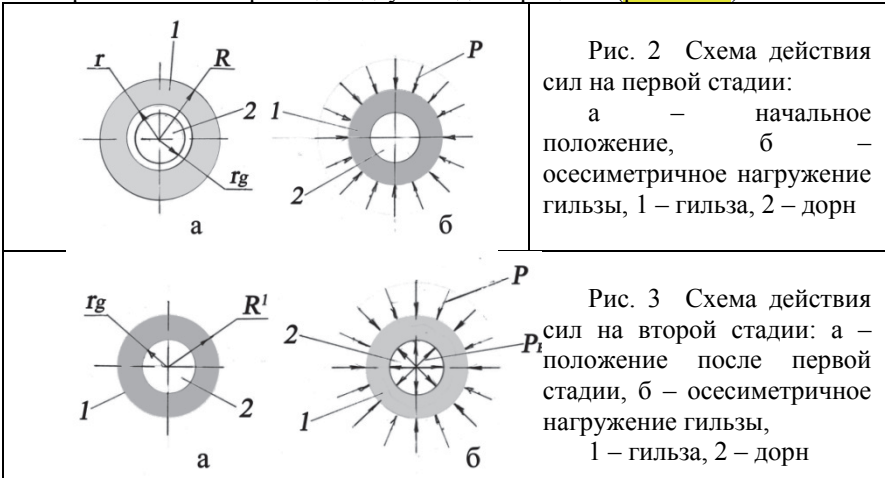
Как правило, зазор между гильзой и дорном устраняется за счет обжатия заднего конца гильзы на дорне на участке внестановой зарядки, что увеличивает силу сцепления гильзы с дорном, необходимую в начальный период затравочного режима для повышения производительности пилигримового стана при прочих равных условиях. Поэтому установление оптимальной величины зазора между гильзой и дорном является актуальной задачей, решение которой определяет производительность и эффективность процесса пильгерования.

**Целью настоящего исследования** является повышение эффективности процесса пильгерования и разработка способов предварительного обжатия гильзы на дорне.

#### **Изложение основных материалов исследования.**

Для увеличения сцепления между гильзой и дорном в начальный период пилигримовой прокатки предложена технология обжатия (редуцирования) заднего конца гильзы на дорне бойками гидравлического

пресса. Для реализации предложенной технологии необходимо выбрать тип и **усилие** пресса на основе определения сил, приложенных к гильзе со стороны каждого бойка пресса. Обжатие заднего конца гильзы на дорне может быть осуществлено на двух- и четырехбойковых ковочных гидравлических прессах. Как более общий рассматривается вариант обжатия гильзы на дорне в четырехбойковом ковочном прессе, что приближает схему напряженного состояния к осесимметричной. Рассмотрим силы, приложенные к гильзе со стороны каждого бойка четырехбойкового пресса для двух стадий процесса (**рис. 2 и 3**).



Для получения формул, определяющих силу деформации гильзы со стороны бойка, воспользуемся основным положением теории малых упругопластических деформаций, которое гласит, что если процесс нагружения развивается непрерывно и монотонно, т.е. пропорционально одному параметру, то направления главных осей девиаторов деформаций и напряжений совпадают и остаются неизменными как при упругой, так и при пластической деформации [2,с.79]. Такое положение с погрешностью до 1 % справедливо для относительной деформации до 10 % [2,с.81]. В нашем случае относительная деформация стенки гильзы априори меньше 10 %. Поэтому считаем обоснованным применение к решению поставленной нами задачи формул Ламэ для расчета толстостенных цилиндров в упругой области [3,с.471].

Рассмотрим первую стадию обжатия гильзы отдельным бойком, например, верхним (**рис.4а**). В пределах угла  $\varphi_{(\epsilon)}$  принимаем осесимметричное поле напряжений в стенке гильзы, для которого в пределах малых деформаций ( $\epsilon \leq 10\%$ ) справедливы формулы Ламэ [3,с.475], применяемые к толстостенным цилиндрам, нагруженным наружным и внутренним давлениями.

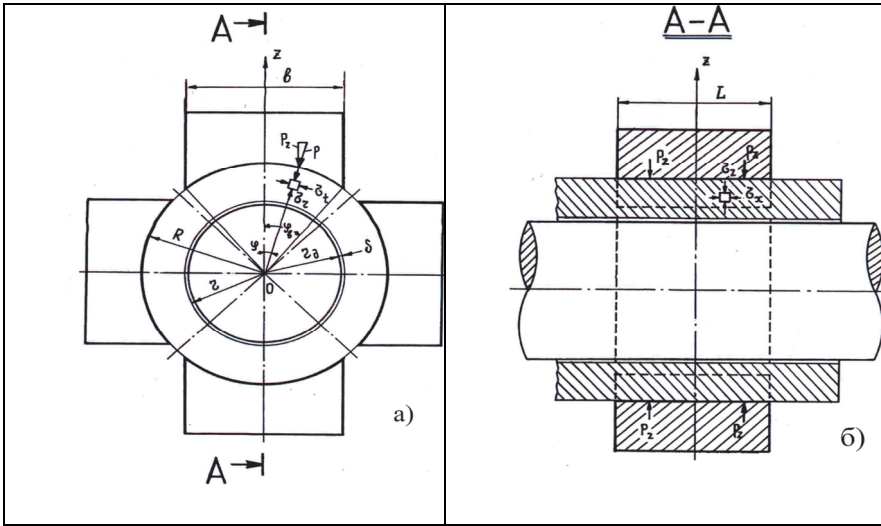


Рис. 4 Схема обжатия гильзы на дорне четырьмя бойками: а – общий вид, б – сечение А-А

В нашем случае при отсутствии внутреннего давления (в первой стадии) эти формулы принимаем вид (1) и (2):

$$\sigma_r = - \frac{\rho R^2}{R^2 - r^2} \times \left( 1 + \frac{r^2}{r_T^2} \right) - \text{радиальное напряжение,} \quad (1)$$

где  $r_T$  – текущее значение радиуса в пределах  $r < r_T < R$ .

$R$  и  $r$  – наружный и внутренний радиусы гильзы соответственно.

При  $r_T = r$  получаем  $\sigma_r = 0$ ; при  $r_T = R$  имеем  $\sigma_r = -\rho$

$$\sigma_t = - \frac{\rho R^2}{R^2 - r^2} \times \left( 1 + \frac{r^2}{r_T^2} \right) - \text{тангенциальное напряжение,} \quad (2)$$

При  $r_T = r$  получаем  $\sigma_t = - \frac{2\rho R^2}{R^2 - r^2}$ ,

$$\text{а при } r_T = R \text{ имеем } \sigma_t = -\rho \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2}.$$

Знак «-» перед выражениями означает напряжение сжатия.

Сумма  $(\sigma_r + \sigma_t)$  не зависит от  $r_T$ . Отсюда следует, что относительная деформация вдоль оси  $X$  гильзы принята одинаковой, следовательно, в случае плоских сечений, и напряжение  $\sigma_x$  вдоль этой оси также одинаковы. В отсутствие осевого подпора и осевое растяжение от внешней силы можно считать, что напряжение  $\sigma_x$  вдоль оси гильзы значительно меньше  $\sigma_r$  и  $\sigma_t$ . Поэтому пластическая деформация определяется именно этими напряжениями. В данном случае имеем механическую схему деформации 6+III по классификации Тарновского И.Я. и др. [2, с.182]. Тогда главные напряжения будут:

$$\sigma_1 = \sigma_t; \sigma_2 = \sigma_r; \sigma_3 = \sigma_x \quad (3)$$

Как известно, условие текучести через главные напряжения по Мизесу записывается следующим образом [4, с. 30]:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_s, \quad (4)$$

где  $\sigma_s$  – сопротивление деформации стали (в нашем случае – предел текучести).

Подставляя параметры (3) в выражение (4), получаем:

$$\sigma_t - \sigma_r = 1,15 \sigma_s \quad (5)$$

На контактной поверхности бойка и гильзы начало пластической деформации произойдет, когда:

$$\sigma_t - \sigma_r = -\rho \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \rho = 1,15 \sigma_s \quad (6)$$

$$\text{Откуда: } \rho = \frac{1,15}{1 - \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2}} \times \sigma_s \quad (7)$$

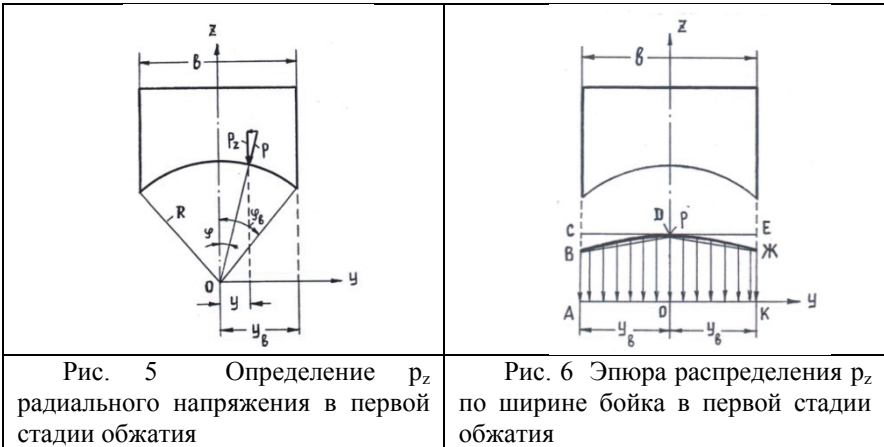
На внутренней поверхности гильзы пластическая деформация появится значительно раньше, чем на наружной, поэтому здесь не рассматривается. Чтобы найти величину силы, действующей со стороны бойка на гильзу, нужно знать распределение вертикальной составляющей  $\rho_z$  радиального напряжения  $\rho$  в пределах изменения угла ( $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ ) или координаты ( $0 \leq Y \leq Y_0$ ). Из рис. 5 получаем выражение:

$$\rho_z = \frac{\rho}{R} \sqrt{R^2 - y^2} \quad (8)$$

На рис. 6 показана эпюра распределения напряжения  $\rho_z$  по ширине бойка согласно формуле (8). Граничные значения кривой ВДЖ в точках В и Ж:

$$\rho_z = \rho \sqrt{1 - \frac{e^2}{4R^2}},$$

где  $e$  – ширина бойка. Максимум кривой в точке D, где  $\rho_z = \rho$ .



Площадь фигуры АВДЖК под кривой эквивалентна силе бойка, приходящейся на единицу его длины (вдоль оси X). Верхняя оценка этой площади – площадь прямоугольника АСЕК:

$$F_{АСЕК} = P_{верх}^I = \rho \times e \quad (9)$$

Нижняя оценка – это суммарная площадь двух трапеций: АВДО и ОДЖК:

$$F_{ABDO} + F_{ODJK} = P_{ниж.}^I = \frac{\rho}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{e^2}{4R^2}} \right) \times e \quad (10)$$

Таким образом, выражения (9) и (10) позволяют определить граничные значения силы в первой стадии обжатия гильзы в расчете на единицу длины бойка.

Вторую стадию обжатия гильзы рассматриваем как сжатие полосы между двумя криволинейными плитами, при котором справедливо

утверждение о том, что в любой момент статической деформации вертикальная сила (вдоль оси Z) на контакте бойка с гильзой равна вертикальной силе на контакте гильзы и дорна. Из рис.7 получаем выражение, аналогичное (8):

$$\rho_{вн}^z = \frac{\rho_{вн}}{r_{\partial}} \sqrt{r_{\partial}^2 - y^2} \quad (11)$$

где  $\rho_{вн}$  – радиальное напряжение на поверхности контакта гильзы и дорна;  $r_{\partial}$  – радиус сечения дорна.

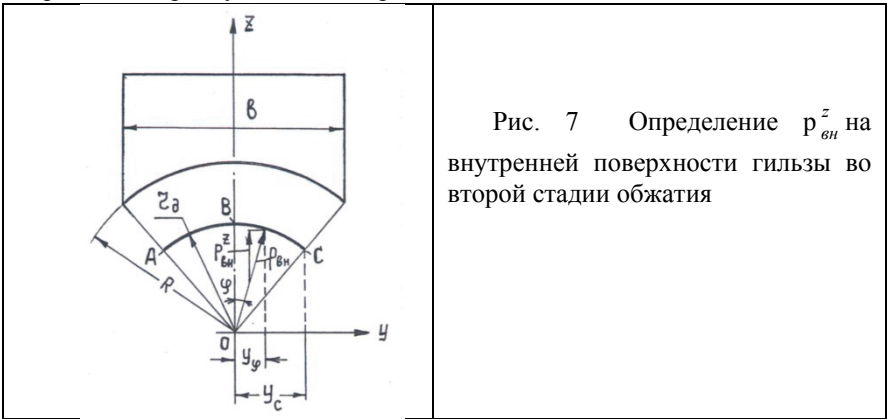


Рис. 7 Определение  $\rho_{вн}^z$  на внутренней поверхности гильзы во второй стадии обжатия

Граничные значения удельного давления в точках А и С равны:

$$\rho_{вн}^z = \rho_{вн} \sqrt{1 - \frac{\delta^2}{4R^2}} \quad (12)$$

Тогда верхняя оценка силы, приходящейся на единицу длины бойка во второй стадии:

$$P_{верх.}^{II} = \rho_{вн} \times \delta \times \frac{r_{\partial}}{R} \quad (13)$$

Нижняя оценка силы в той же стадии:

$$P_{ниж.}^{II} = \rho_{вн} \times \frac{\delta}{2} \times \frac{r_{\partial}}{R} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{\delta^2}{4R^2}} \right) \quad (14)$$

По формулам (13) и (14) определяются верхнее и нижнее значения силы бойка во второй стадии обжатия, когда предварительно известно

радиальное удельное давление  $\rho_{вн}$  на контактной поверхности гильзы и дорна.

По данным работы [1, с. 148] допустимые ускорения торможения  $\alpha_{\max}$  подвижных масс (включая гильзу) подающего аппарата имеют разные значения в разные периоды прокатки гильзы. Сразу после затравки гильзы эти значения минимальны. После прокатки половины длины гильзы допустимые ускорения торможения увеличиваются в  $1,6 \div 2$  раза. В конце прокатки гильзы эти значения максимальны: в  $2,4 \div 3$  раза больше, чем в первый период. Из этого следует, что в первую очередь нужно повысить допустимое ускорение торможения в первый период прокатки. Поэтому место обжатого участка гильзы должно находиться на второй половине гильзы, т.е. на половине гильзы, обращенной к дорновому замку.

Дополнительная сила сцепления гильзы с дорном, возникающая вследствие обжатия ее четырехбойковым прессом, определяется выражением:

$$P_{\text{доп.}} = m_2 \times (\alpha_{\max}^I - \alpha_{\max}) \quad (15)$$

где  $\alpha_{\max}^I$  – допустимое ускорение торможения гильзы, обжатой бойками;  $m_2$  – масса гильзы;  $\alpha_{\max}$  – допустимое ускорение торможения гильзы, не обжатой бойками.

Эта сила обусловлена контактными напряжениями трения на поверхностях соприкосновения гильзы с дорном, поэтому можно написать:

$$P_{\text{доп.}} = F_{\text{об}} \times \rho_{\text{вн}} \times f \quad (16)$$

Из равенства правых частей выражений (15) и (16) получаем:

$$\rho_{\text{вн}} = \frac{m_2 (\alpha_{\max}^I - \alpha_{\max})}{F_{\text{об}} \times f}, \quad (17)$$

где  $F_{\text{об}}$  – суммарная для четырех бойков площадь контакта гильзы с дорном;  $f$  – коэффициент трения на контактных поверхностях.

Суммарная площадь контакта гильзы с дорном, согласно рис. 4 и 7, определяется выражением:

$$F_{\text{об}} = 8 r_D \times L \times \arcsin \frac{\epsilon}{2R}, \quad (18)$$

где  $L$  – длина бойка в направлении оси X (см. рис. 4б).



Пример расчета.

Выполним количественную оценку силы обжатия гильзы на конкретном примере. Для прокатки труб диаметром 377 мм используются гильзы с наружным диаметром 505 мм и внутренним диаметром 389 мм. Примем две марки стали: углеродистую 45 и высоколегированную X18H12M2T. Определяем пределы текучести этих сталей при статическом нагружении и температуре 1150 °С [5]:

$\sigma_s = 28$  МПа для стали 45;  $\sigma_s = 33$  МПа для стали X18H12M2T.

Первая стадия обжатия гильзы

По формуле (7) определяем радиальное напряжение на контактной поверхности гильзы и бойка:

$$\rho = \frac{1,15 \times 28}{1 - \frac{(252,5)^2 + (194,5)^2}{(252,5)^2 - (194,5)^2}} = -11,03 \text{ МПа для стали 45;}$$

$$\rho = \frac{1,15 \times 33}{1 - \frac{(252,5)^2 + (194,5)^2}{(252,5)^2 - (194,5)^2}} = -16,96 \text{ МПа для стали X18H12M2T.}$$

Принимаем ширину бойка  $\epsilon=345$  мм. По формуле (9) находим верхнюю оценку силы, приходящейся на единицу длины бойка.

$$P_{\text{верх}}^I = 11,03 \times 0,345 = 3805,35 \text{ кН/м для стали 45;}$$

$$P_{\text{верх}}^I = 16,96 \times 0,345 = 5851,2 \text{ кН/м для стали X18H12M2T.}$$

По формуле (10) находим нижнюю оценку той же силы:

$$P_{\text{ниж.}}^I = \frac{11,03}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{(0,345)^2}{4 \times \left(\frac{0,505}{2}\right)^2}} \right] \times 0,345 = 3073,8 \text{ кН/м для стали 45;}$$

$$P_{\text{ниж.}}^I = \frac{16,96}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{(0,345)^2}{4 \times \left(\frac{0,505}{2}\right)^2}} \right] \times 0,345 = 5061,3 \text{ кН/м для стали}$$

X18H12M2T.

Среднее значение силы бойка, приходящееся на единицу его длины:

$$P_{\text{ср}}^I = \frac{3073,8 + 3805,35}{2} = 3440 \text{ кН/м для стали 45;}$$

$$P_{cp} = \frac{5061,3 + 5851,2}{2} = 5456 \text{ кН/м для стали X18H12M2T.}$$

Придавая различные значения длине бойка  $L$  при постоянной ширине, определим ряд значений силы бойка по формуле  $P^I = P^I \times L$ . Полученные значения силы сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Сила бойка в первой стадии обжатия гильзы, кН

Сталь	Длина бойка $L$ , м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
45	344	688	1032	1376
X18H12M2 Т	545,6	1091,2	1636,8	2182,4

#### Вторая стадия обжатия гильзы

Допустим, поставлена задача увеличить допустимое ускорение торможения подвижных частей подающего аппарата с гильзой от  $\alpha_{\text{макс}} = 40 \text{ м/с}^2$  до  $\alpha_{\text{макс}}^I = 60 \text{ м/с}^2$ . По выражению (17) с подстановкой в него (18) определяем требуемое контактное напряжение между гильзой и дорном:

$$\rho_{\text{ви}} = \frac{2707 (60 - 40)}{8 \times 0,182 L \times \arcsin \frac{0,345}{2 \times 0,2525} \times 0,3} = 165262,5 \times \frac{1}{L} \quad (19)$$

здесь  $m_c = 2707 \frac{H \cdot c^2}{m}$  - масса гильзы;  $f = 0,3$  - коэффициент

трения между гильзой и дорном;  $r_d = 0,182$  - радиус сечения дорна.

Придавая те же значения длине бойка, по выражению (19) получим соответствующие значения удельного давления на контакте дорна и гильзы, (см. табл. 2). Далее по формулам (13) и (14) находим верхнюю и нижнюю оценки

$$\text{силы, а затем среднюю силу } P_{cp}^{II} = \frac{P_{\text{верх}}^{II} + P_{\text{ниж}}^{II}}{2}.$$

Таблица 2 Удельное давление на контактной поверхности дорна с гильзой и дополнительная сила бойка во второй стадии обжатия

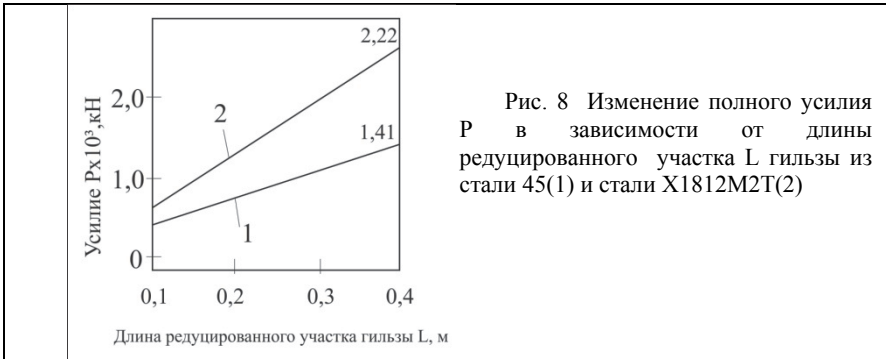
Параметр	Длина бойка $L$ , м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
$P_{\text{вн}}^{II}$ , МПа	1,65	0,83	0,55	0,41
$P_{ch}^{II}$ , кН	38,2	38,5	38,2	38

По данным табл. 2 можно сделать вывод о независимости силы бойка во второй стадии обжатия от длины бойка и марки материала гильзы. Сравнение данных табл. 1 и 2 показывает, что сила бойка во второй стадии обжатия составляет небольшую добавку к силе в первой стадии, принимая наибольшее значение при коротком бойке и наименьшее значение при длинном бойке.

Учитывая непрерывность нагружения бойка при переходе от первой стадии обжатия ко второй, следует для выбора усилия прессы суммировать силы двух стадий, а изменением длины бойка можно изменять силу обжатия гильзы, приближая ее к тоннажу прессы. Суммарная сила бойка на первой и второй стадиях обжатия приведена в табл. 3 и на рис.8

Таблица 3 Суммарная сила Р бойка на первой и второй стадиях обжатия, кН

Сталь	Длина бойка L, м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
45	426	726	1070	1414
X18N12M12T	583	1129	1674	2220



Для реализации предложенной технологии разработана концепция четырехбойкового ковочного прессы, у которого два боковых (горизонтальных) бойка являются ведущими [6]. При этом вертикальные бойки получают движение и силу от боковых траверс через наклонные контактные поверхности. В результате этого сила каждого приводного цилиндра в 1,3 раза меньше, чем при схеме с приводным верхним бойком и неподвижным нижним бойком. Так, для нашего случая необходимая сила гидроцилиндра каждого бокового (горизонтального) бойка равна 2,2 Р. Для получения максимальной расчетной силы Р (при L = 0,4 м и материала гильзы X18N12M2T) нужен горизонтальный гидравлический цилиндр развивающий силу  $R_{пр} = 2,2 \cdot 2220 = 4884$  кН (488 тс) или округленно 5000 кН (500 тс). Для создания такого усилия при давлении рабочей жидкости 20 МПа диаметр плунжера рабочего гидроцилиндра должен быть 630 мм.

Преимуществом способа подготовки заднего конца гильзы на участке внестановой зарядки путем его обжатия на дорне в четырехбойковом прессе является возможность создания натяга между гильзой и дорном даже при небольших обжатиях по диаметру гильзы. Вместе с тем, использование четырехбойкового прессы для обжатия заднего конца гильзы на дорне, увеличивает продолжительность передачи гильзы к пильгерстану на действующих станах. Поэтому такая технология целесообразна при проектировании новых пилигримовых агрегатов.

Нами разработана концепция двухбойкового гидравлического пресса и технология обжатия заднего конца гильзы на дорне на участке внестановой зарядки пилигримового стана ТПА 5-12 ПАО «Интерпайп НТЗ». Предложено два варианта технологии подготовки задних концов гильз для увеличения сцепления между гильзой и дорном перед пилигримовой прокаткой.

Согласно первого варианта задний конец гильзы обжимается бойками гидравлического пресса с размещенными в них под углом  $\varphi = 90^\circ$  криволинейными вставками 5 (рис.11). Расстояние от заднего торца гильзы 6 до обжимаемого участка составляет  $l$ . При этом длина обжимаемого участка соответствует ширине  $B$  вставки 5 и составляет  $B = (0,3 - 0,5) D_r$ , а  $l = (0,1 - 0,2) D_r$ , где  $D_r$  диаметр гильзы.

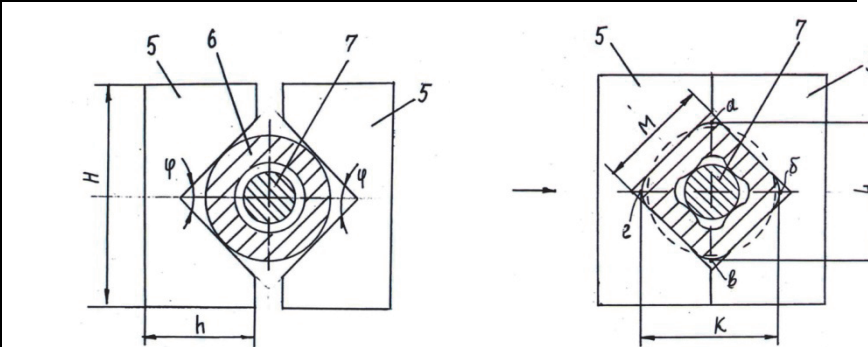


Рис. 11 Общий вид очага деформации перед обжатием

Рис. 12 Профиль обжатой гильзы

В результате обжатия заднего конца гильзы вследствие принятой геометрии криволинейных вставок 5 бойков происходит перераспределение макропотоков деформируемого металла с более равномерной схемой четырехстороннего обжатия гильзы. Как показано на рис.12 наружный контур обжатого сечения гильзы имеет форму четырехугольника с криволинейными переходами от одной стороны к другой, что определяется формой вставок 5 и уширением металла в сводные зоны. После кантовки гильзы на угол  $45^\circ$ , когда точка  $a$  сечения гильзы (рис. 12) переместится в точку  $a_1$  (рис. 13) при рабочем ходе пресса вставки 5 бойков 4 обжимают гильзу на дорне таким образом, что полученное в результате повторного обжатия сечение имеет форму шестигранника с двумя скругленными вершинами по разъему вставок 5, что обусловлено преимущественным течением металла в этом направлении.

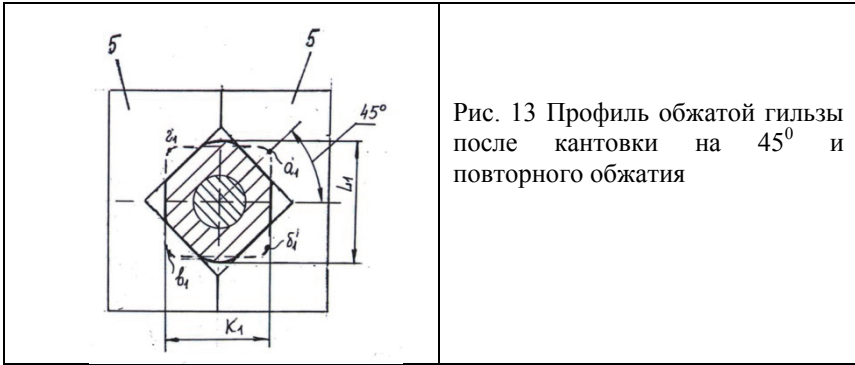


Рис. 13 Профиль обжатой гильзы после кантовки на  $45^{\circ}$  и повторного обжатия

Согласно второму варианту технологии обжатия заднего конца гильзы на дорне эта деформация осуществляется с измененной калибровкой вставок, на которых выполнены выпуклости (рис.14). В результате относительно равномерной схемы четырехстороннего обжатия гильзы выпуклостями 3, вставка 2 схема поперечного очага деформации имеет вид, приведенный на рис.15. При этом на наружной поверхности гильзы имеют место вмятины, размеры которых определяются радиусом  $R$  выпуклостей 3 и величиной внедрения (обжатия) гильзы. По разьему вставка 2 имеет место увеличение диаметра гильзы до размера  $L$ . Принятая схема обжатия гильзы обеспечивает устранение зазора между гильзой и дорном, а определенная величина обжатия гарантирует создание необходимого давления металла гильзы на дорн, что является предпосылкой надежного сцепления между ними.

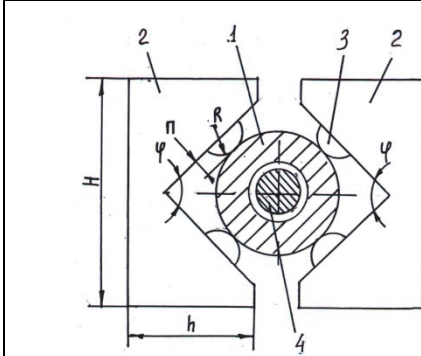


Рис. 14 Общий вид вставок с выпуклостями

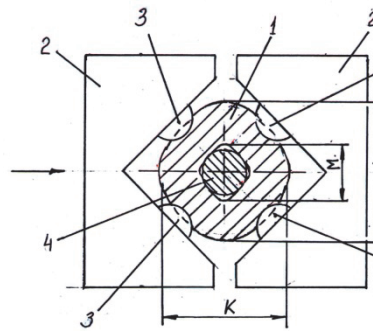


Рис. 15 Профиль обжатой гильзы

Создание сцепления гильзы с дорном предложенным способом позволяет увеличить число оборотов валков пилигримового стана (при одновременном синхронном увеличении числа двойных ходов плунжера падающего аппарата с гильзой и дорном). Это позволит увеличить скоростной режим прокатки с числа оборотов валков  $n=64$  об/мин до

$n_1=70$  об/мин с самого начала процесса прокатки, что снизит машинное время прокатки и соответственно повысит производительность пилигримового стана и всего трубопрокатного агрегата.

### Выводы

1. Теоретически определены усилия радиального обжатия гильзы на дорне для увеличения сцепления между ними. Теоретическая модель построена для случая редуцирования заднего конца гильзы на дорне в четырехбойковом прессе с целью выбора усилия гидравлического пресса.

2. Разработана концепция горизонтального двухбойкового гидравлического пресса и технология обжатия заднего конца гильзы на дорне профильными бойками для увеличения сцепления гильзы с дорном в начальный период пилигримовой прокатки и повышения тем самым числа оборотов валков и производительности стана.

3. Расчеты показали, что определяющей для выбора усилия пресса служит первая стадия обжатия гильзы, в зоне которой устраняется радиальный зазор между гильзой и дорном. Для выбора усилия пресса силу, рассчитанную для первой стадии обжатия, следует увеличить на  $7\div 11\%$  при коротком бойке или на  $2-3\%$  при длинном бойке.

4. Следует учитывать теплообмен между дорном и гильзой в месте обжатия, который, с одной стороны, способствует подогреву дорна и его расширению, а с другой стороны – охлаждению гильзы и уменьшению ее диаметра. Поэтому можно ожидать надежного «схватывания» дорна и гильзы в месте обжатия.

1. *Оборудование цехов с пилигримовыми трубопрокатными установками* / С.Н.Кожевников, А.В.Праздников, А.М.Иоффе и др. Под ред. С.Н. Кожевникова. – М.: Металлургия, 1974. – 254 с.
2. *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.
3. *Сопrotивление материалов: Учебник для вузов* / Г.С.Писаренко, В.А.Агарев, А.П.Квитка и др. – К.: Вища школа, 1986. – 776 с.
4. *Целиков А.И.* Теория расчета усилий в прокатных станах. – М.: Металлургиздат, 1962. – 494 с.
5. *Зюзин В.И., Бровман М.Я., Мельников А.Ф.* Сопrotивление деформации сталей при горячей прокатке. – М.: Металлургия, 1964. – 268 с.
6. *Пат. UA 92316 U Україна*, МПК В21j 13/00. Чотирибойковий кувальний пристрій / Стасевський С.Л., Добряк В.Д., Угрюмов Ю.Д., Балакін В.Ф.; заявник та патентовласник Державне підприємство «Український інститут по проектуванню металургійних заводів». - № V201402654; заявл. 17.03.2014 р., опубл. 11.08.2014 р., Бюл. № 15.

*Статья рекомендована к печати  
докт.техн.наук И.Ю.Приходько*

*В.А.Балакін, С.Л.Стасевський, В.Д.Добряк, Ю.Д.Угрюмов*

**Удосконалення гарячої пілігримового прокатування труб за рахунок управління зазором між гільзою і дорном**

Виконано аналіз впливу зазору між гільзою і дорном на процес гарячого пілігримового прокатування труб. Запропоновано методику визначення зусилля обтиску ділянки гільзи на дорні з метою збільшення зчеплення між ними в початковий період прокатування для вибору гідравлічного преса. Розроблено пропозиції та запропоновано пристрої для збільшення зчеплення гільзи з дорном в початковий період пілігримового прокатування.

**Ключові слова:** пілігримове прокатування, гільза, дорн, зазор, методика визначення зусилля обтиску гільзи

*V.A.Balakin, S.L. Stasevsky, V.D.Dobrijak, Y.D.Ugriumov*

**Improved hot pilger tube rolling by controlling the clearance between the sleeve and the dorn**

The analysis of the impact of the gap between the sleeve and mandrel in the process of hot rolling tube Pilger. The method of determining the force compression sleeve portion on the mandrel in order to increase adhesion between them rolling in the initial period for selecting a hydraulic press. Proposals and an apparatus for increasing the coupling sleeve with the mandrel in the initial period of pilger rolling.

**Keywords:** Pilger rolling, the sleeve, the mandrel, a gap technique for determining the efforts sleeve crimping