



УДК 621.774.3

PROBLEMS OF ROLLING THE PILGRIME HEAD AND WAYS OF THEIR SOLUTION.**Message 1****ПРОБЛЕМЫ РАСКАТКИ ПИЛИГРИМОВОЙ ГОЛОВКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ****Сообщение 1****Balakin V.F./Балакин В.Ф.***Doctor of Technical Sciences, Professor / д.т.н., профессор**National Metallurgical Academy of Ukraine**Національна металургічна академія України***Stasevsky S.L./Стасевский, С.Л.***Director / Директор**State Enterprise "Ukrqiprometz"**ГП «Укрqipромез»***Ugryumov Y.D./Угрюмов Ю.Д.***к.т.н.**State Enterprise "Ukrqiprometz"**ГП «Укрqipромез»*

Аннотация. Рассмотрены основные направления решения проблем раскатки пильгерголови на свободном участке дорна за счет: выбора рационального режима подачи, редуцирования заднего конца гильзы перед раскаткой головки для уменьшения смещения раската в первых циклах прокатки, корректировки скоростного режима прокатки, применения независимой от отката кантовки гильзы на 90°, совершенствования процесса снятия трубы с дорна после раскатки пильгерголови. При выборе рационального режима подачи необходимо учитывать смещение заднего торца раската в результате пластического течения металла по дорну в направлении вращения валков. При раскатке пильгерголови из труднодеформируемых марок стали целесообразно чередование циклов с подачей и без. Для уменьшения смещения раската по дорну в первых циклах предложено осуществлять редуцирование заднего конца гильзы. Предложено уменьшение смещения раската по дорну в первых циклах раскатки пильгерголови за счет снижения динамического воздействия валков путем снижения их угловой скорости, а для повышения ее стабильности постоянство угла кантовки 90°. Для повышения стабильности снятия трубы с дорна после раскатки пильгерголови предложено применение двойного шибера (верхнего и нижнего), увеличение толщины стенки на заднем конце раската и фиксация раската профильными матрицами. Предложенные технические решения позволят расширить технологические возможности использования раскатки пильгерголови для снижения расходных коэффициентов металла при получении толстостенных и тонкостенных труб. Результаты работы могут быть использованы при модернизации действующих пилигримовых станков.

Ключевые слова: труба, пилигримовый стан, пилигримовая головка, режим подачи, угол кантовки, скоростной режим, экономия металла, расходный коэффициент.

Основные направления решения проблем раскатки пилигримовой головки на свободном участке дорна

К основным направлениям совершенствования процесса раскатки пильгерголови на свободном участке дорна можно отнести следующие: выбор рационального режима подачи для повышения производительности при необходимом качестве труб и снижения тем самым потери металла в обрезь; редуцирование заднего конца гильзы перед раскаткой пильгерголови на



свободном участке дорна для уменьшения смещения раската при первых циклах прокатки; выбор скоростного режима раскатки пильгерголовки при установившемся и неустановившихся процессах пилигримовой прокатки для повышения ее эффективности; применение независимой от отката кантовки гильзы на угол 90° для повышения качества труб и снижения тем самым потерь металла в обрезь; совершенствование процесса снятия труб с дорна после прокатки пильгерголовки для возможности получения более тонкостенных труб без пильгерголовок.

1 Выбор режима подачи. Для выбора рациональных режимов подачи были проведены исследования на пилигримовом стане ТПА5-12" НТЗ.

Осуществляли раскатку пилигримовых головок валками после предварительного извлечения дорна из трубы на 1,5 м, что обеспечивает раскатку гильзы без подпора со стороны дорнового кольца.

При проведении экспериментальных прокаток труб с готовыми размерами 219×8 , 273×8 и 325×8 мм параметры прокатки составляли:

- для труб 219×8 мм: $m = 16,1$ мм; $\ell_r = 0,41$ м, $\mu_\Sigma = 11,5$; число оборотов валков $n = 66$ об/мин.
- для труб 273×8 мм: $m = 13,5$ мм; $\ell_r = 0,45$ м, $\mu_\Sigma = 12,2$; $n = 64$ об/мин.
- для труб 325×8 мм: $m = 13,4$ мм; $\ell_r = 0,462$ м, $\mu_\Sigma = 9,2$; $n = 60$ об/мин.

На пилигримовом стане ТПА5-12" НТЗ с гидравлическим механизмом подачи перемещение каретки подающего аппарата для раскатки пильгерголовки осуществляли с постоянной величиной подачи, равной ее величине в установившемся режиме. Так как при раскатке головки целесообразно осуществлять такой режим подачи, чтобы число циклов N было целое число, усовершенствовали методику расчета N следующим образом:

находим $N = \frac{\ell_r}{m}$, которое округляем в большую сторону до целого числа, а

затем по выражению $m = \frac{\ell_r}{N}$ пересчитываем подачу m .

Согласно новой технологии [1], предусматривается переменная величина подачи m_i в каждом цикле раскатки пильгерголовки, что позволит стабилизировать процесс за счет соблюдения условия $Vn = m_i \cdot Fr = \text{const}$, где Fr – поперечное сечение раската переменное в каждом цикле.

Ввиду отсутствия на подающем аппарате ТПА5-12" возможности изменять режим подачи по заданному закону (при условии $Vn = \text{const}$) смоделировали переменный режим подачи с помощью методики расчета режима подачи m_i в

каждом цикле раскатки, сумму подач $\sum_1^N m_i$, изменение длины ℓ_r по мере раскатки головки.

При прокатке с переменным режимом подачи ($mFr = \text{const}$) число циклов N равно числу подач m_i , сумма которых $\sum_1^N m_i = \ell_r$. После определения $\sum_1^N m_i$ и нахождения $\Delta l = \ell_r - \sum_1^N m_i$ остаточный единичный объем подачи делится на N и корректируется величина подач до тех пор, пока не будет соблюдаться условие



$$\sum_{i=1}^N m_i = l_r.$$

Выполнены расчеты параметров раскатки пилигримовых головок на трубах 219×8 мм после корректировки величин m_i следующим образом. Остаточная величина единичного объема подачи равная 69,1 мм, делится на число циклов раскатки $N = 9$, что равняется $69,1/9 = 7,678$ мм и на эту величину увеличивается m_i в каждом цикле. Это позволило обеспечить режим подачи с монотонно увеличивающейся m_i и сократить число циклов раскатки с 10 до 9.

На рис. 1 приведены графики изменения величины подач при раскатке пильгерголовики на трубах размером 219 × 8 мм при $m = \text{const}$ (линия 1) и при $V_n = \text{const}$ (линия 2). Как следует из графика (линия 2) величина подачи m_i увеличивается до десятого цикла (ав), а затем подает (вс), что приводит к нестабильности работы подающего аппарата.

Скорректированный режим подачи m_i (линия 3) приведен на рис. 1 при раскатке головок на трубах 219×8 мм. Такой режим подачи является наиболее целесообразным из-за монотонности возрастания подачи и минимизации числа циклов раскатки головки.

Раскатка пилигримовых головок валками на свободном участке дорна осуществлялась по двум вариантам: с переменной величиной подачи m_i в каждом цикле раскатки для соблюдения условия $V_n = \text{const}$ и с постоянной величиной подачи m , соответствующей величине подачи в установившемся режиме.

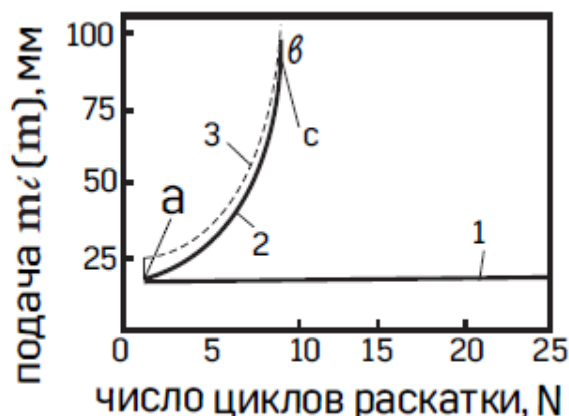


Рис. 1 Изменение величины подачи m при раскатке пильгерголовики (труба 219×8 мм):

1 – $m = 16,1$ мм, 2 – $V_n = \text{const}$, 3 – скорректированный режим подачи

Анализ двух технологий раскатки пилигримовой головки валками на свободном участке дорна показывает, что новая технология, обеспечивающая условие $V_n = \text{const}$ за счет переменной (возрастающей) величины подачи по мере раскатки головки, позволяет более чем в 2 раза снизить необходимое число циклов раскатки (рис. 2). При этом также достигается повышение стабильности процесса раскатки пилигримовых головок валками за счет стабилизации величины отката, и связанного с ним угла кантовки раската.

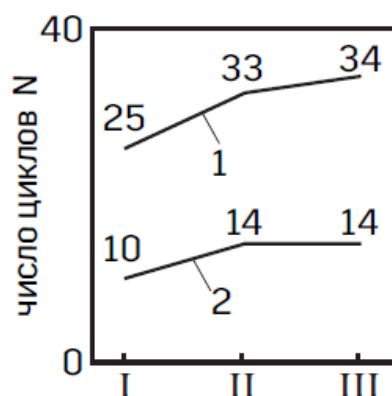


Рис. 2 Изменения N при раскатке пильгерголок с $m=\text{const}$ (1) и $Vn=\text{const}$ (2) для труб размерами 219×8 мм (I), 273×8 мм (II) и 325×8 мм (III)

Расчеты величины подач, как при $m=\text{const}$, так и при $Vn=\text{const}$ выполнены без учета смещения заднего торца раската в результате пластического течения металла по дорну в направлении вращения валков из-за отсутствия достоверных данных о величине этого смещения при различных параметрах прокатки.

В общем случае необходимо учитывать влияние этого смещения «С» на величину подачи m_i^c по выражению

$$m_i^c = m_i + c, \quad (1)$$

где m_i – величина подачи, рассчитана из условия $Vn = \text{const}$ или величина подачи в установившемся режиме.

Учет такого смещения позволит снизить общее число циклов раскатки пильгерголки. Так, при $l_r = 0,41$ м и $m = 16,1$ мм при $m_i = 16,1 + 10 = 26,1$ мм количество циклов раскатки $N \cong 16$. При $l_r = 0,41$ м и $Vn=\text{const}$ с учетом $c = 10$ мм, количество циклов раскатки уменьшается с 10 до 8.

Установлено, что при использовании существующего шиберного устройства для снятия трубы с дорна полная раскатка пилигримовых головок на тонкостенных трубах не возможна из-за продольного смятия заднего конца раската. При этом граница тонкостенности трубы для ее снятия с дорна определяется экспериментально.

Проведенные лабораторные исследования процесса раскатки пилигримовой головки на свинцовых трубах диаметром 54-55 мм и толщиной стенки 3,0-3,5 мм из гильз размером 80×15 мм на дорне диаметром 48 мм с суммарным коэффициентом вытяжки $\mu_\Sigma = 4,5-5,0$ и подачей 12-24 мм позволили установить следующие особенности деформации металла [1]. При раскатке головки валками с ручьями переменного профиля особое значение приобретают вопросы поперечного течения металла, характеризующиеся такими параметрами как овализация и уширение вследствие отсутствия подпора со стороны подающего аппарата, а также отсутствия заднего жесткого конца. При пилигримовой прокатке под уширением понимают разность между шириной пилигримовой головки в одном сечении и высотой ее в другом сечении, отстоящем от первого на величину линейного смещения, что связано с



кантовкой и особенностями обжатия по длине пильгерголови. Однако такой показатель может характеризовать лишь овализацию сечения раската [2].

Было установлено [1], что в первом цикле раскатки овализация весьма велика $D_{max}/D_{min}=1,40-1,47$ и может достигать критического значения, что делает невозможным осуществление второго цикла раскатки. Во втором цикле раскатки овализация, как правило, не превышает овалности калибра, а в последующих циклах постепенно снижается, приближаясь к единице. При проведении исследований было установлено, что для раскатки головки на трубах без нарушения сплошности металла необходимо чередовать циклы, сопровождаемые подачей металла с циклами обкатки уширившегося металла без подачи с кантовками между ними. С ростом отношения D/S прокатываемых труб увеличивается неравномерность деформации металла, что приводит к существенному ухудшению состояния раскатанной головки и к соответствующему увеличению обрези.

Рост овализации и уширения нежелательны не только по причине увеличения неравномерности деформации металла по ширине ручья вала, но также с точки зрения уменьшения отката подвижных частей, и связанного с этим уменьшением угла кантовки пилигримовой головки между циклами ее раскатки. С уменьшением угла кантовки по сравнению с 90° увеличивается уширение металла в выпусках валков, что повышает разностенность заднего конца трубы и также увеличивает его обреш.

Промышленные исследования [1, 3] были проведены на ТПА6-12" НТЗ при прокатке труб 299×12 мм из гильз размером 445×60 мм (сталь 20) на дорне диаметром 284 мм. Раскатка пильгерголови осуществлялась за 13-15 циклов с подачей 20-25 мм, соответствующей подаче в установившемся процессе. Торец гильзы при раскатке пильгерголови смещался по дорну в сторону дорнового замка на 400 мм. При этом значительное смещение торца гильзы имело место при двух первых ударах валков – до 250 мм, которое было вызвано скольжением гильзы по дорну от усилий со стороны валков в момент удара. Установлено, что в среднем при прокатке труб размером 299×12 мм торец гильзы смещался в направлении вращения валков относительно дорна на 10-12 мм за один удар валков.

В связи с вышеизложенным одним из основных факторов влияющих на стабильность процесса раскатки пилигримовой головки, ее качество и связанную с этим величину обрези, является режим подачи металла в валки в каждом цикле раскатки головки (при прочих равных условиях).

На рис. 3 приведено изменение величины подачи m_i при чередовании m_i из условия $V_n = \text{const}$ с обкаткой головки без подачи. Значение подачи: в точке А – $m_i = 24,5$ мм, в точке Б – $m_i = 100,6$ мм.

При раскатке головки с различными режимами подачи длительность процесса определяется числом циклов раскатки как с заданной подачей, так и без подачи при обкатке головки.

В этом случае число циклов раскатки головки N составляет:

$$N = N_1 + N_2, \quad (2)$$

где $N_1 + N_2$ – число циклов раскатки с подачей и без подачи соответственно.

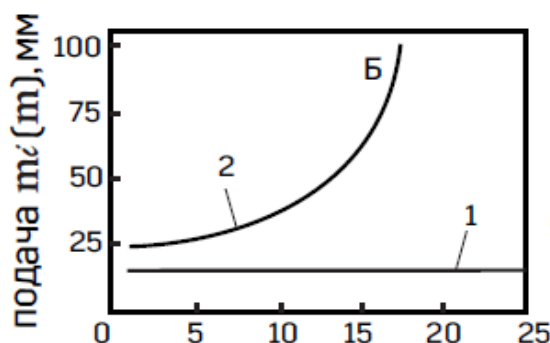


Рис. 3 Вариант режима подачи металла в валки при раскатке пильгерголовки.

Обозначения в тексте

Из рассматриваемых нами выше трех основных режимов подачи при раскатке пильгерголовки (труба 219×8 мм) с числом оборотов валков пильгерстана $n=60$ об/мин., максимальную длительность раскатки 25 с. имеет режим при $m=m_y=16,1$ мм (линия 1 на рис. 1), а минимальную длительность 9с. имеет режим при $V_n=\text{const}$ (линия 3 на рис. 1). В случае необходимости при раскатке пильгерголовки чередование подачи из условия $V_n=\text{const}$ и $m=0$ длительность раскатки составляет 17с. (линия 2 на рис. 3). Необходимо иметь в виду, что для осуществления режима подачи при условии $V_n=\text{const}$ подающий аппарат должен иметь механический дозатор подачи.

2 Редуцирование заднего конца гильзы.

При горячей пилигримовой прокатке труб между гильзой и дорном имеется зазор $\Delta = 12-25$ мм, наличие которого обусловлено с одной стороны, необходимостью свободной зарядки дорна в гильзу, геометрическая форма которой характеризуется изменением внутреннего диаметра по длине, кривизной и овальностью поперечного сечения, а с другой стороны – наличие этого зазора предотвращает чрезмерный перегрев дорна в результате длительного его контакта с горячей гильзой, что обеспечивает необходимую его стойкость (рис. 4а).

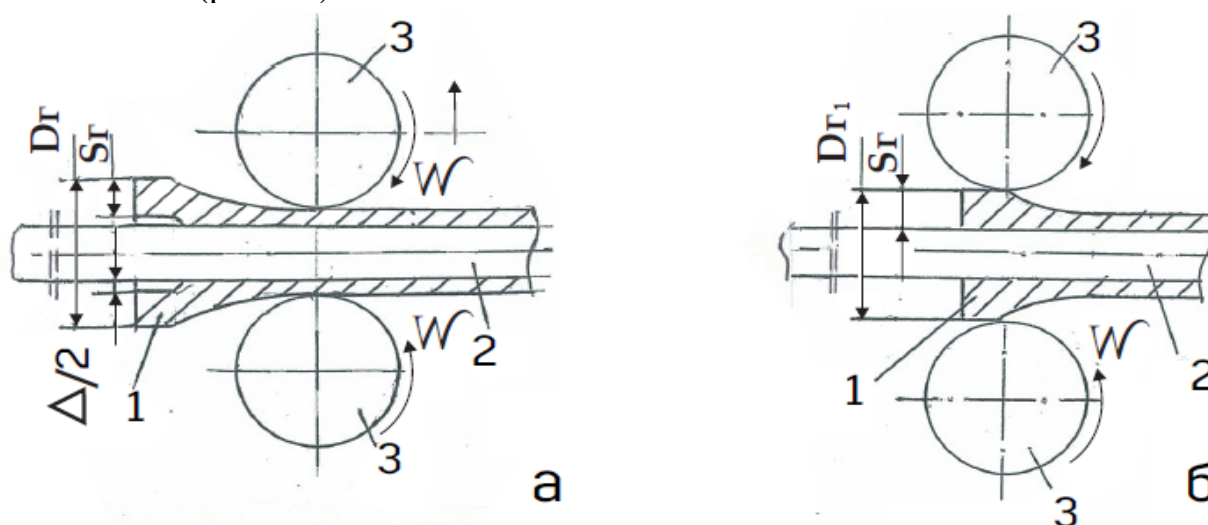


Рис. 4 Схемы прокатки до (а) и после (б) редуцирования заднего конца гильзы на свободном участке дорна:

1 – пильгерголовка, 2 – дорн, 3 – валки, 4 – дорновое кольцо



При прокатке труб в установившемся режиме на определенном участке дорна в районе пилигримовой головки сохраняется сцепление между трубой и дорном, так как труба оковывает дорн. Для обеспечения раскатки пилигримовой головки на свободном участке дорна последний предварительно извлекают из раската в результате чего нарушается сцепление между гильзой и дорном и это приводит к повышенному смещению раската по дорну в направлении вращения валков, что нарушает стабильность процесса раскатки. Повышение стабильности процесса раскатки пилигримовой головки после предварительного извлечения дорна из раската на -1,5 м достигается за счет дополнительной операции редуцирования заднего конца гильзы длиной 0,3-0,6 ее наружного диаметра с коэффициентом вытяжки 1,03-1,15 (рис. 4б).

Использование операции редуцирования заднего конца гильзы обеспечивает устранение отрицательного влияния зазора. В результате этого на участке редуцирования обеспечивается появление сил сцепления между гильзой и дорном за счет действия нормальных контактных напряжений. Сила сцепления при этом зависит также от площади контакта, определяемой диаметром дорна и длиной редуцированного участка гильзы, а также условиями трения (величиной коэффициента трения).

Выбор длины недоката заднего конца гильзы, подвергнутого редуцированию, обусловлен созданием необходимой площади контакта гильзы с дорном. Максимальная величина недоката ($0,6 D_r$) ограничена повышением машинного времени раскатки пилигримовой головки, а минимальная величина недоката ($0,3 D_r$) ограничена рациональной площадью контакта гильзы с дорном.

Выбор коэффициента вытяжки при редуцировании стыка гильз в пределах 1,03-1,15 обусловлен следующим. Минимальная величина коэффициента вытяжки ограничена степенью деформации по наружному диаметру гильзы $\mathcal{E}D_r = \frac{D - (d + 2S)}{D} \cdot r_1 \quad \%$, что обеспечивает устранение зазора Δ между гильзой и дорном ($\Delta = d_r - d_g$), где d_r – внутренний диаметр гильзы, d_g – диаметр дорна). При расчетах принимаются средние значения d_r и d_g . Максимальная величина коэффициента вытяжки ограничена максимальным зазором Δ между гильзой и дорном. При этом с увеличением зазора Δ величина коэффициента вытяжки при редуцировании увеличивается.

Для редуцирования на дорне недокатанного заднего конца гильзы с вытяжкой $\mu = 1,06 - 1,15$ увеличивают размер калибра d_{k2} подъемом верхнего валка до величины $d_{k2} = d_q + 2S_r$, где S_r – толщина стенки гильзы (рис. 4б).

При редуцировании заднего конца гильзы до наружного диаметра $D_{r1} = d_{k2}$ устраняется зазор Δ между гильзой и дорном, что увеличивает сцепление между ними и повышает стабильность последующей раскатки пилигримовой головки. Величина сил сцепления на участке редуцирования определяется нормальными контактными напряжениями между гильзой и дорном, площадью контактной поверхности зависящей от d_q и ℓ_n и условиями трения на контакте.

Для осуществления раскатки пилигримовой головки верхний валок опускают до образования калибра размером $d_{k3} = d_{k1} = d_q + 2S_n$. Величина



коэффициента вытяжки при раскатке заднего недокатанного участка гильзы длиной l_n составляет $\mu_3 = F_p/F_n$, где F_p – площадь поперечного сечения редуцированного участка гильзы; F_n – площадь поперечного сечения трубы на пилигримовом стане. Раскатку пилигримовой головки осуществляют до получения заданной толщины стенки трубы S_n и наружного диаметра D_n . Увеличение сцепления раската с дорном перед раскаткой пилигримовой головки без подпора заднего торца гильзы со стороны дорнового кольца повышает стабильность процесса за счет уменьшения смещения раската по дорну в сторону дорнового кольца особенно при первых циклах раскатки пилигримовой головки. Это позволяет уменьшить величину предварительного извлечения дорна из раската, что снижает вспомогательное время раскатки.

Из практики работы известно, что после прокатки трубы с толщиной стенки на заднем торце $S_n \geq 20$ мм можно стабильно извлечь дорн из трубы с помощью шибберного устройства.

3 Выбор скоростного режима в неустановившихся процессах пилигримовой прокатки.

Максимальная угловая скорость валков пилигримового стана рассчитывается исходя из минимально возможного времени перемещения гильзы с дорном воздушным цилиндром форголлера подающего аппарата к валкам (период наката) за время холостого хода последних. Время наката в основном зависит от величины максимального ускорения торможения подвижных масс (воздушного цилиндра, плунжера, дорна, гильзы) при накате их к валкам, при котором не происходит сползание гильзы с дорна. Имеющийся зазор между гильзой и дорном с одной стороны полезен, так как меньше перегревается дорн и облегчается его зарядка в гильзу, а с другой стороны этот зазор вреден, так как из-за недостаточных сил трения между гильзой и дорном в начале процесса прокатки ограничивается угловая скорость валков. Кроме того, этот зазор затрудняет затравочный процесс и уменьшает фактическую величину угла бойка, участвующую в деформации металла.

Проектной технологией на ТПА5-12" НТЗ предусматривалась максимальная угловая скорость валков, соответствующая 80 и более оборотов в минуту. Подающий аппарат в период наката гильзы к валкам должен быстро разгонять подвижные части, а также интенсивно тормозить их перед встречей с валками. Интенсивный разгон достигался за счет повышенного начального давления воздуха в воздушном цилиндре форголлера ($p_0 \geq 1$ МПа), а интенсивное торможение достигалось за счет закрытия обратных клапанов тормозной камеры и дросселирования жидкости из тормозной камеры. В процессе освоения пилигримовых станков ТПА5-12" НТЗ было установлено, что обратные клапаны ненадежны, а дроссельный клапан неэффективен. В результате эти клапаны были демонтированы и торможение подвижных частей стало осуществляться (в том числе до настоящего времени) только за счет гидравлического сопротивления истечению жидкости из тормозной камеры через открытые отверстия демонтированных клапанов и кольцевой зазор между шпинделем и тормозной втулкой. В результате эффективность торможения резко уменьшилась, что вызвало повышение скорости встречи гильзы с



валками с 0,3 м/с до 1,3-1,5 м/с с возрастанием динамических нагрузок на детали главной линии пилигримового стана и повышением аварийности с простоями оборудования.

Росту числа оборотов валков в настоящее время (максимальное значение соответствует 60 об/мин) препятствуют следующие основные факторы: рост амплитуды колебаний каретки подающего аппарата, увеличение динамических нагрузок на детали главной линии стана; отсутствие системы синхронизации работы подающего аппарата и валков стана и др.

Приведенный выше анализ скоростного режима относится в основном к установившемуся процессу пилигримовой прокатки. В то же время особенностью пилигримовой прокатки является наличие двух неустановившихся процессов: затравочного и докатки пилигримой головки.

Проведенными ранее исследованиям на ТПА5-12" институтом «Электротяжхимпроект», ДМеТи и ДГУ было установлено, что к концу затравки возрастал крутящий момент $M_{кр}$ достигая 517 кНм (труба 219×10 мм) и 617 кНм (труба 324×10 мм) по сравнению с установившимся процессом 310 кНм и 440 кНм соответственно. Таким образом, коэффициент перегрузки при затравке составляет 1,4-1,7. О росте технологического сопротивления по мере затравки свидетельствует и падение оборотов двигателя к концу затравочного процесса. Затем обороты восстанавливаются на заданном уровне и уменьшается величина $M_{кр}$. Таким образом, наибольшие нагрузки в главной линии стана возникают при затравочном процессе и для обеспечения безаварийной работы его необходимо производить на пониженных оборотах валков, величина которых определяется физическими возможностями оператора стана (при отсутствии системы автоматического управления скоростным режимом).

Неустановившийся режим докатки пилигримовой головки связан с необходимостью получения минимальных ее размеров, что требует от оператора стана значительного внимания и быстрой реакции при осуществлении обкатки головки валками и предотвращения попадания дорнового кольца в валки, что чревато аварийной ситуацией. Поэтому целесообразно снижать обороты валков в конце прокатки гильзы при образовании пилигримовой головки.

Для осуществления прокатки трубы с переменным числом оборотов валков в установившемся и неустановившихся процессах институтом «Электротяжхимпроект» (г. Днепропетровск) был в 1976 году выполнен проект реконструкции главных приводов пилигримовых станов ТПА5-12" НТЗ с заменой машинных преобразователей на тиристорные при сохранении прежних электродвигателей.

Проектом предусматривалась возможность прокатки труб в установившемся процессе с числом оборотов валков 90-100, с уменьшением их до 60 в неустановившихся процессах. При опытной прокатке труб с переменным числом оборотов валков была определена допустимая скорость набора оборотов Δn от затравочных до установившихся, при которой не происходит рассогласования работы воздушного цилиндра подающего



аппарата со скоростью вращения валков стана, составляющая 1,0-1,2 об/с. Время разгона двигателя стана зависит от установки токоограничения для предотвращения его перегрева. Установка тока может быть увеличена до уровня, который позволит контролировать нагрев двигателя с учетом паузы на смену гильзы (35 с.). Так, при увеличении скорости с 60 до 90 об/мин максимальное время разгона составляет 14 с. или 2 об/мин. за 1 с. Торможение двигателя может осуществляться очень быстро увеличением магнитного потока с контролем ЭДС двигателя практически за 1-2 с.

При осуществлении раскатки пилигримовой головки на свободном участке дорна имеет место неустановившийся процесс, который обусловлен уменьшением отката при величине подачи равной подаче в установившемся процессе. В этом случае необходимо уменьшать синхронное число оборотов валков стана для поддержания синхронизации работы системы: плунжер форголлера – валки стана. При увеличении подачи по мере раскатки головки с сохранением объема подачи V_n число оборотов валков необходимо также уменьшать для повышения стабильности процесса и облегчения условий работы оператора стана, особенно при применении различных режимов подачи.

На рис. 5 приведен график скоростного режима прокатки по длине трубы при используемом сейчас на ТПА5-12" НТЗ максимальном числе оборотов валков в установившемся процессе $n = 60$ об/мин ($\omega = 6,28 \text{ с}^{-1}$). На основании приведенного анализа особенностей прокатки в неустановившихся процессах предложен режим изменения угловой скорости валков с $4,0 \text{ с}^{-1}$ при затравке до $6,0 \text{ с}^{-1}$ при установившемся процессе и уменьшением ω до $4,0 \text{ с}^{-1}$ при докатке пилигримовой головки. На рис. 5 обозначены: τ_3 – время затравки, τ_y – время установившегося процесса, τ_r – время докатки головки, τ_{r1} – время раскатки головки на свободном участке дорна, τ_p и τ_n – время разгона и торможения соответственно.

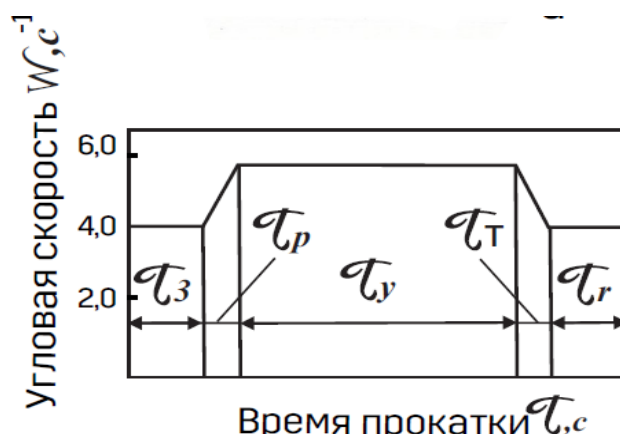


Рис. 5 Изменение угловой скорости валков ω при пилигримовой прокатке.

Обозначения в тексте

Угловая скорость и число оборотов валков связаны известным соотношением

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30}, \text{ с}^{-1},$$

где n – число оборотов валков в минуту.



Приближенная зависимость между ω и n : $\omega \cong 0,1 n, c^{-1}$.

Время установившегося процесса определяется зависимостью:

$$\tau_y = \frac{6 \times L_o}{n m \mu_\Sigma}, c,$$

где L_o – длина готовой трубы по вальцетабелю (обрезанной), мм; μ_Σ – суммарный коэффициент вытяжки на стане (по вальцетабелю); m – подача, мм; n – обороты валков в минуту; τ_3 составляет 5-13 с.; τ_p и τ_r – ориентировочно составляют 5-6 с и 1-2 с, а τ_r и τ_{r1} – 3-4 с. и 9-25 с. соответственно.

4 Применение независимой кантовки гильзы.

Процесс горячей прокатки на пилигримовом стане с валками, имеющими круглые (овальные) калибры, характеризуется наличием кантовки гильзы на угол $\sim 90^\circ$ в период наката подвижных частей к валкам. В подающих аппаратах, эксплуатируемых на пильгерстанах ТПА5-12" ПАО «Интерпайп НТЗ», конструкция механизма кантовки состоит из храпового устройства, дрели и дрельной гайки [4].

Угол поворота гильзы после каждого цикла (одного оборота) валков определяется шагом нарезки дрели и величиной возвратного хода поршня воздушного цилиндра подающего аппарата, которая в свою очередь определяется в основном длиной рабочей части калибра валков.

Величина угла кантовки φ определяется из выражения:

$$\varphi = 360 \frac{\ell}{S}, \text{ град}, \quad (3)$$

где ℓ – величина отката гильзы валками, мм; S – шаг нарезки дрели, мм.

При средней величине отката ℓ для ТПА5-12" НТЗ, равной 1100 мм, и шаге нарезки дрели $S = 4400$ мм, $\varphi = 90^\circ$.

Угол поворота гильзы φ относительно гайки храпового колеса механизма кантовки в конечном счете зависит только от длины отката ℓ . В свою очередь отклонение угла φ от 90° зависит от разброса длины отката ℓ . Изменение длины отката вроде бы на незначительную величину (до 10%) должно было бы соответствовать такому же изменению угла φ . Однако фактическое изменение угла кантовки φ значительно отличается, что связано с дополнительным вращением гильзы по инерции после начала торможения подвижных масс при их накате к валкам. В результате этого полный угол поворота гильзы за время ее наката к валкам составляет:

$$\varphi_n = \varphi_1 + \varphi_n \quad (4)$$

где φ_1 – угол поворота при осуществлении жесткой связи дрель-гайка, φ_n – угол поворота гильзы по инерции за время торможения.

Если $\varphi_1 = 90^\circ$, то $\varphi_n \approx 18-27^\circ$, тогда $\varphi_n = 100-117^\circ$.

Зависимость угла кантовки φ от величины отката ℓ подвижных масс особенно сказывается на осуществлении неустановившихся процессов пилигримовой прокатки и, прежде всего, на затравочном процессе (I), где угол φ изменяется от нуля до φ_n , равного углу кантовки в установившемся процессе: линия 1 на рис. 6.

Это ухудшает качество труб, увеличивает обрезь и повышает время затравочного процесса.



Использование предварительной подготовки переднего конца гильзы перед пилигримовой прокаткой обеспечивает улучшение условий кантовки (линия 2) и позволяет улучшить все показатели затравочного режима.

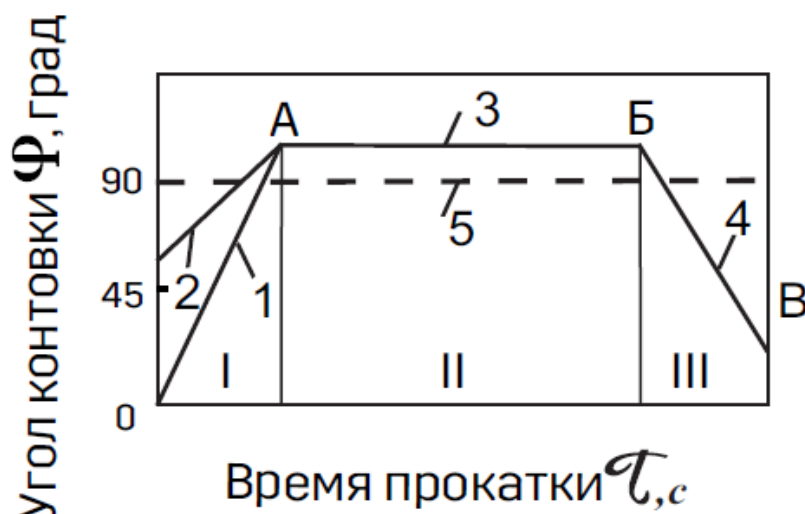


Рис. 6 Изменение угла кантовки φ при пилигримовой прокатке.

Обозначение в тексте

В установившемся процессе (II) пилигримовой прокатки, характеризующимся достаточно стабильным откатом и углом кантовки φ отклонение угла кантовки φ от 90° в результате перекантости, отмеченной выше, приводит к негативным явлениям. На рис. 6 линия 3 (АБ) характеризует среднее значение угла кантовки $\varphi_n > 90^\circ$ на величину перекантости $\Delta\varphi$ в установившемся режиме (II).

Общепринято, что оптимальным углом кантовки гильз при пилигримовой прокатке является угол 90° или весьма близкий к нему. Ясно также, что избежать некоторых колебаний угла вокруг 90° при используемом принципе устройства механизма кантовки подающего аппарата невозможно, т.к. при прокатке различных типоразмеров труб длина отката несколько колеблется. Однако совершенно очевидно, что средним углом кантовки при прокатке всего предусмотренного для стана сортамента должен быть именно угол 90° . Фактическое же положение сводится к тому, что гильза больше или меньше перекантывается при прокатке всех типоразмеров труб; угол кантовки колеблется в пределах примерно $108-117^\circ$, что приводит к нежелательным последствиям как с точки зрения качества труб, так и с точки зрения надежности и долговечности оборудования.

На рис. 7 показано положение перекантующей на некоторый угол гильзы при правильном взаимном положении валков и направлении равнодействующих сил давления металла на валки Р и их радиальных R и осевых Q составляющих.

Наличие осевых составляющих Q приводит к выработке торцов текстолитовых вкладышей подушек тем более интенсивной, чем больше угол перекантости. По мере увеличения выработки растет взаимное осевое смещение валков 2а (рис. 8).

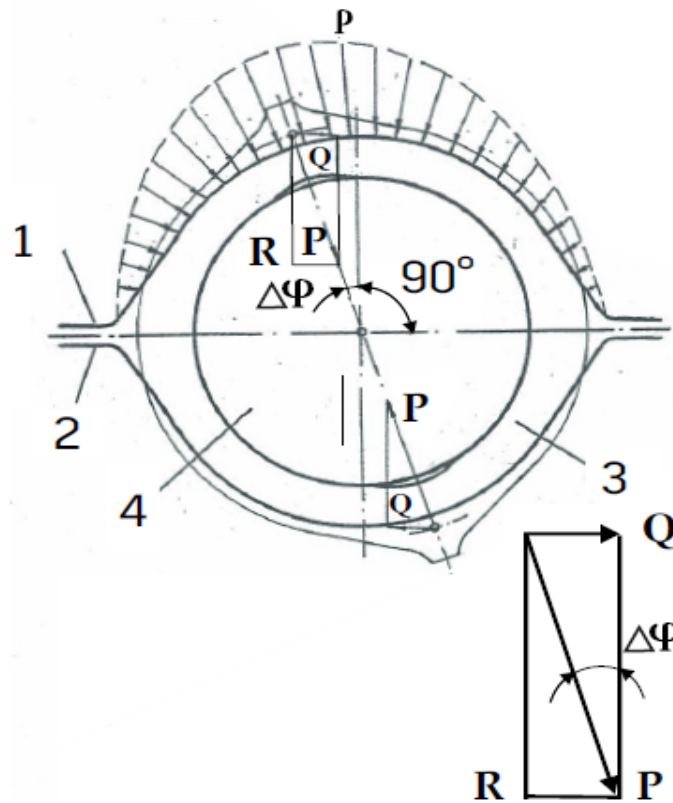


Рис. 7 Схемы сил, действующие на валки при перекантовке металла:
 1 и 2 – верхний и нижний валки соответственно, 3 – гильза, 4 – дорн

При этом ширина раската В по разьему калибра увеличивается на величину 2а и составляет В₁:

$$B_1 = B + 2a \tag{5}$$

Это, в свою очередь, искажает поперечное сечение трубы, увеличивая разностенность.

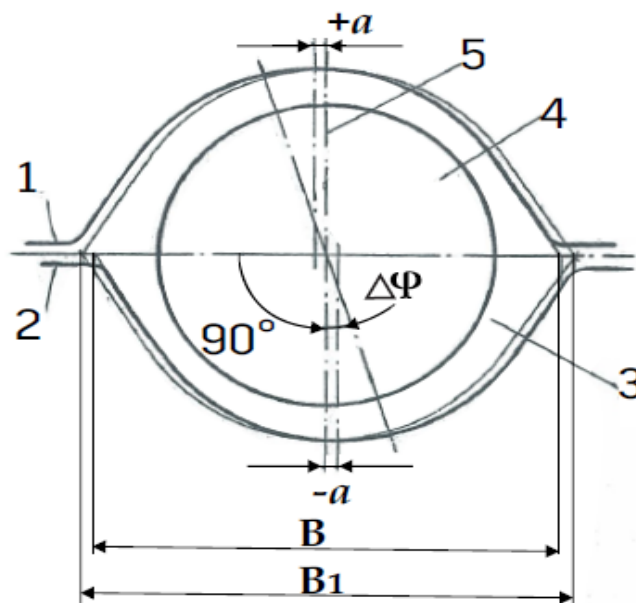


Рис. 8 Схема осевого смещения пильгервалков при перекантовке гильзы:
 1 и 2 – верхний и нижний валки соответственно, 3 – гильза, 4 – дорн,
 5 – основная ось симметрии очага деформации



Кроме того, значительные «усы», появляющиеся от переполнения калибра при разбросах и отклонении подачи в сторону максимума, в сочетании с перекантовкой, могут приводить к «закатам», т.е. также ухудшают качество труб. Желание избежать появления этого дефекта приводит к снижению величины подачи и, следовательно, уменьшению производительности. Значительные осевые смещения валков нарушают нормальные сочленения в шпиндельных шарнирах главного привода и приводят иногда к тяжелым авариям.

Проведенный анализ показал, что в установившемся режиме (II) перекантовка гильзы на $\Delta\varphi = 18-27^\circ$ оказывает негативное влияние на целый ряд показателей процесса пилигримовой прокатки.

В неустановившемся режиме (III) – раскатки пильгерголки на свободном участке дорна (рис. 6) зависимость угла кантовки гильзы φ от величины отката также негативно влияет на этот процесс, что связано с уменьшением отката ℓ по мере раскатки головки. Это объясняется уменьшением сечения головки задаваемого в валки в каждом цикле раскатки и соответствующем уменьшении участия бойка в деформации и откате раската. В результате наступает момент, когда боек валка перестает участвовать в откате раската и в соответствии с формулой (3) величина угла кантовки φ уменьшается. Это уменьшение отката ℓ и соответствующее ему уменьшение угла φ зависит не только от длины рабочей части калибра валков, но и от соотношения длин бойка и полирующего участка.

В общем случае величина отката подвижных масс валками определяется выражением:

$$\ell = \ell_{\delta} + \ell_n + \ell_{\text{пв}} + \ell_{\text{и}}, \quad (6)$$

где ℓ_{δ} – величина отката раската участком бойка; ℓ_n – величина отката раската полирующим участком; $\ell_{\text{пв}}$ – величина отката раската участком продольного выпуска; $\ell_{\text{и}}$ – величина отката по инерции.

Величину отката бойком ℓ_{δ} можно определить из выражения:

$$\ell_{\delta} = r_{\delta} \cdot \xi \cdot \Theta_{\delta} \cdot \omega_{\delta}, \quad (7)$$

где r_{δ} – радиус бойка по вершине калибра, мм; ξ – коэффициент использования бойка, определяемый по выражению $\xi = \Theta_{\delta} / \Theta_{\delta}^1$; Θ_{δ} – угол бойка, рад; Θ_{δ}^1 – фактически часть используемого угла бойка, рад; по мере раскатки пильгерголки величина угла Θ_{δ} уменьшается и коэффициент ξ снижается до нуля; ω_{δ} – коэффициент опережения на бойке, $\omega_{\delta} \cong 1,16$.

В связи с тем, что радиус бойка r_{δ} величина переменная, изменяющаяся от r_0 до r_n , он может быть определен по выражению:

$$r_{\delta} = r_0 + 0,75 (r_n - r_0), \quad (8)$$

где r_0 – радиус бойка в нулевой точке; r_n – радиус валка в полирующем участке.

$$\ell_{\delta} = [r_0 + 0,75 (r_n - r_0)] \Theta_{\delta} \times \omega_{\delta} \quad (9)$$

или

$$\ell_{\delta} = [(R_i - R_r) + 0,75 (R_r - R_k)] \Theta_{\delta} \times \omega_{\delta} \quad (10)$$

где R_r – радиус гильзы;

R_k – радиус калибра по готовой трубе.



В выражениях (9) и (10) для определения ℓ_6 по мере раскатки пильгерголовки на свободном участке дорна значения угла Θ_6 , и R_r – будут переменными, уменьшающимися по мере раскатки головки.

В результате того, что боек перестанет участвовать в деформации (при $\Theta_6 = 0$, $\ell_6 = 0$) откат будет совершаться только за счет участков полирующего и продольного выпуска.

Величину отката ℓ_n по инерции можно не учитывать, т.к. ее значение не превышает 45 мм [5].

Тогда угол кантовки φ будет зависеть от величины отката ($\ell_n + \ell_{nb}$).

Величины ℓ_n и ℓ_{nb} определяются из выражения:

$$\ell_n = r_n \cdot \Theta_n \cdot \omega_n \quad (11)$$

$$\ell_{nb} = r_{nb} \cdot \Theta_{nb} \cdot \omega_{nb} \quad (12)$$

где Θ_n и Θ_{nb} – углы полирующего и участка продольного выпуска соответственно, рад; r_{nb} – радиус валка на участке продольного выпуска; ω_n и ω_{nb} – коэффициент опережения на полирующем и участке продольного выпуска соответственно.

$$\text{Тогда} \quad \varphi = 360 \frac{\ell_n + \ell_{nb}}{S} \quad (13)$$

$$\text{Если принять} \quad \ell_{nb} = 0, \text{ то } \varphi = 360 \frac{\ell_n}{S} \quad (14)$$

Тенденция изменения угла кантовки φ (линия 4) при раскатке пильгерголовки (неустановившийся процесс III) приведена на рис. 6.

В точке «В» величина угла кантовки φ_b соответствует окончанию процесса раскатки и в следующем цикле $\varphi = 0$. При этом минимальное значение угла $\varphi_b \cong 30^\circ$. Далее процесс раскатки из-за отсутствия кантовки становится невозможным и его прекращают.

Приведенный анализ влияния угла кантовки на три процесса горячей пилигримовой прокатки труб показывает, что необходим переход к подающим аппаратам с механизмом кантовки независимым от величины отката подвижных масс (линия 5 на рис. 6). Существует много технических предложений по модернизации существующего механизма кантовки на подающих аппаратах ТПА5-12" НТЗ, однако практическое воплощение они нашли в аппаратах фирмы «МДМ» (ФРГ). Применение подающих аппаратов с независимой кантовкой от величины отката позволит существенно улучшить условия пилигримовой прокатки в трех основных режимах: установившемся и двух неустановившихся, что позволит улучшить все основные технико-экономические показатели.

5 Новые способы снятия трубы с дорна после раскатки пилигримовой головки.

После полной раскатки пильгерголовки на трубах с толщиной стенки $S < 20$ мм остается нерешенной проблема смены дорна с помощью существующего шиберного устройства (рис. 6).

В результате смятия заднего конца раската (образование «гармошки») процесс извлечения дорна становится невозможным, что приводит к дополнительному расходу металла и времени. Вместе с тем способ снятия



трубы с дорна после прокатки с помощью шибера устройства остается единственным и в настоящее время.

Для решения этой проблемы нами предложены следующие направления.

Первое направление [6] связано с изменением существующего способа смены дорна с помощью шибера устройства за счет фиксации трубы двумя шиберами симметрично расположенными относительно оси дорна (рис. 9 б).

При этом имеются определенные ограничения по толщине стенки труб на заднем конце, что определяется экспериментально.

Второе направление связано с неполной раскаткой заднего конца гильзы, а именно до толщины стенки на торце, обеспечивающем смену дорна с помощью существующего или нового способа (рис. 9 а).

Третье направление [7] связано с заменой способа смены дорна с помощью шибера устройства на принципиально новый способ, который заключается в том, что фиксацию заднего конца трубы осуществляют профилированными матрицами (рис. 9 в и г).

Для этого перед раскаткой пильгерголки принудительно подстуживают раскатанную часть трубы при помощи коллекторов с соплами, подающих водовоздушную смесь под давлением, для уменьшения зазора между трубой и дорном.

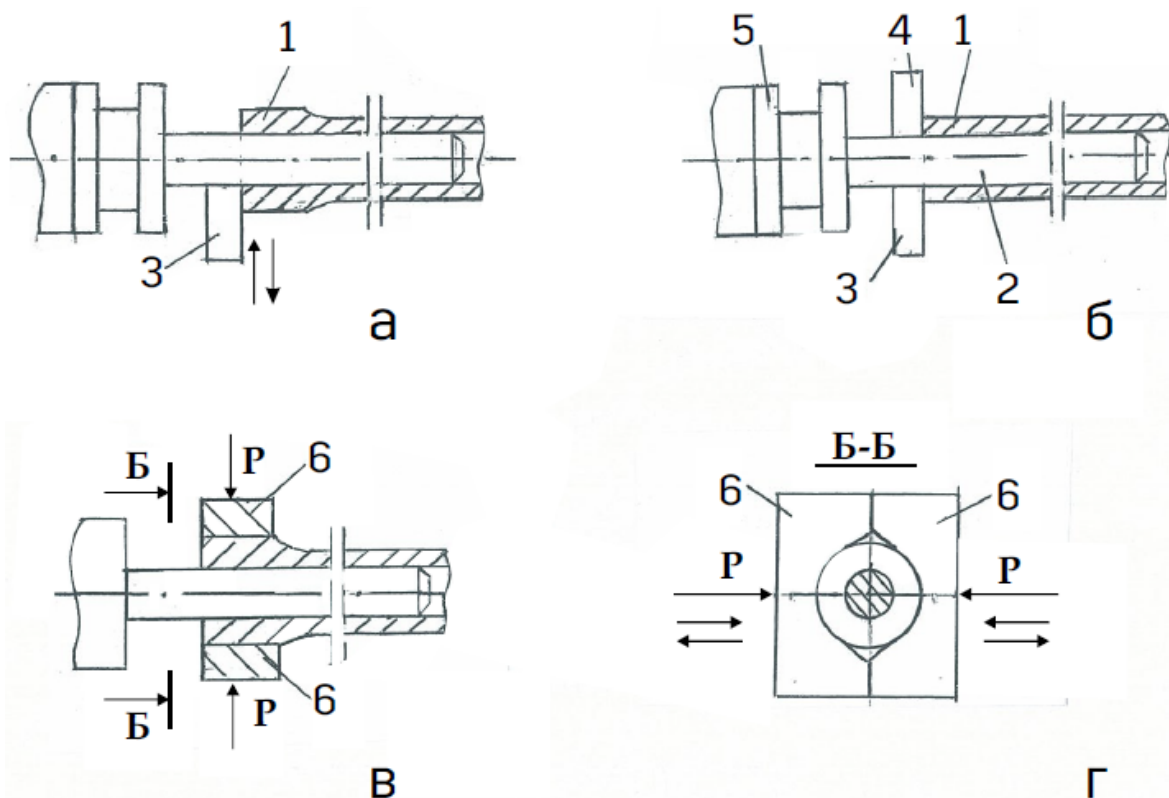


Рис. 9 Варианты (а, б, в) совершенствования процесса извлечения дорна из раската:

*1 – раскат, 2 – дорн, 3 и 4 – нижний и верхний шибера соответственно,
5 – дорновое кольцо, 6 – разъемные профилированные матрицы*

После раскатки пильгерголки принудительно подстуживают задний торец трубы на длине, равной одному-двум диаметрам, водовоздушной смесью



под давлением для повышения поперечной и продольной устойчивости профиля этого участка трубы. Одновременно фиксируют задний конец трубы обжатием матрицами и окончательно извлекают дорн из трубы подающим аппаратом.

Анализ предложенных направлений совершенствования процесса сжатия труб с дорна после раскатки пилигримовой головки показал, что первые два направления могут быть реализованы на действующих пилигримовых станах. При этом для реализации первого направления необходима модернизация шибера устройства с размещением верхнего шибера и привода его перемещения. Второе направление не требует модернизации оборудования стана и заключается в прокатке утолщенных задних концов труб, устойчивых к продольному смятию. При этом оба направления могут использоваться одновременно в случае необходимости для обеспечения надежности и стабильности смятия трубы с дорна. Третье направление может быть реализовано на выходной стороне пилигримового стана при ее модернизации.

Выводы

1 Проанализированы условия раскатки пильгерголки по двум режимам подачи: с $m = m_{уст} = const$ и с m_i при $V_n = const$, где $V_n = m_i \times F_i$. Установлено, что раскатка пильгерголки по второму режиму подачи снижает более чем в 2 раза число циклов раскатки N и соответственно ее длительность. При этом повышается стабильность раскатки головки за счет стабилизации величины отката и связанного с ним угла кантовки раската. Выбор рационального режима подачи требует учета смещения заднего торца раската в каждом цикле прокатки в результате пластического течения металла в направлении вращения валков. Возможен также вариант раскатки с подачей и без для труднодеформируемых марок сталей.

2 Для повышения стабильности процесса раскатки пильгерголки на свободном участке дорна предложено угловую скорость валков в этот период снижать с 60 об/мин. до 40 об/мин. (на ~30 %), что уменьшит энергию передаваемую валками головке в первых циклах раскатки и смещение металла по дорну.

3 Выполнен анализ изменения угла кантовки гильзы при прокатке в затравочном, установившемся и процессе раскатки пильгерголки при существующем механизме кантовки на подающем аппарате ТПА5-12" НТЗ и доказана необходимость обеспечения постоянства угла кантовки при пилигримовой прокатке, что требует модернизации подающих аппаратов.

4 Для совершенствования процесса при первых циклах раскатки пилигримовой головки предложено осуществлять дополнительную операцию редуцирования заднего конца гильзы длиной 0,3-0,6 ее наружного диаметра с коэффициентом вытяжки 1,03-1,15, что уменьшит необходимую длину предварительного извлечения дорна.

5 Для решения проблемы освобождение дорна при прокатке тонкостенных труб предложены новые способы: применение двойного шибера (верхнего и нижнего), увеличение толщины стенки пильгерголки на заднем конце для повышения ее продольной устойчивости и использование вместо шибера



устройства фиксации головки профильными матрицами.

6 Предложенные технологические решения могут быть использованы при модернизации и реконструкции действующих пилигримовых агрегатов.

Список литературы

1 Чернявский А.А. Экономия металла при производстве труб нефтяного сортамента / А.А. Чернявский, В.В. Березовский, Ю.Д. Угрюмов. М, Metallurgia, 1987 – 304с.

2 Пляцковский О.А. Уширение металла при горячей пилигримовой прокатке труб нефтяного сортамента / О.А. Пляцковский, А.А. Ильницкий, В.Д. Шевченко, Ю.С. Пикинер, А.А. Чернявский, Г.А. Соколовский. Metallurg, 1975, № 12, с. 30-32.

3 Данченко В.Н. Пилигримовая прокатка труб с раскаткой пильгерголки / В.Н. Данченко, А.А. Чернявский, В.А. Постный, В.В. Березовский, Е.Н. Панюшкин // Metallurgia и коксохимия, 1981, вып. 71, Киев, Техника, с.82-85.

4 Кожевников С.Н. Оборудование цехов с пилигримовыми трубопрокатными установками / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.М. Иоффе, Г.А. Бирик, В.Ф. Пешат. М.: Metallurgia, 1974. – 256с.

5 Балакин В.Ф. Исследование отката гильзы в процессе пилигримовой прокатки / В.Ф. Балакин, В.Д. Добряк, Ю.Д. Угрюмов // Metallургическая и горнорудная промышленность, 2018, № 5, с. 20-25.

6 Пат. UA 100527 U Україна, МПК В21В 21/00, В21В 25/06. Спосіб зміни дорна з дорновим кільцем для пілігримової прокатки труб / С.Л. Стасевський, Ю.Д. Угрюмов, В.Д. Добряк та ін. Заяв. 27.02.2015, опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.

7 Пат. UA 86284 U Україна, МПК В21В 21/00. Спосіб гарячої пілігримової прокатки труб / С.Л. Стасевський, Ю.Д. Угрюмов, В.Ф. Балакін та ін. Заяв. 17.06.2013, опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24.