

СТАСЕВСКИЙ С.Л.*, директор
БАЛАКИН В.Ф., д.т.н, профессор
УГРЮМОВ Ю.Д.*, к.т.н., вед. инженер

*ГП «Укрگیпромез»

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

ПРОБЛЕМЫ СВОБОДНОЙ РАСКАТКИ ПИЛЬГЕРГОЛОВКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Введение. Производство горячекатаных труб на агрегатах с пилигримовыми станами используется в мире и в Украине для получения труб широкого размерного и марочного сортамента. [1]. Эти агрегаты характеризуются своей универсальностью для производства как больших, так и мелких партий труб, кроме того при получении толстостенных труб (до 150 мм) достаточно большой длины и наружного диаметра до 800 мм им нет альтернативы. Особенностью процесса горячей пилигримовой прокатки труб является наличие недоката заднего конца гильзы, образующего так называемую, пильгерголовку, что обусловлено наличием переднего подпора на гильзу со стороны дорновой головки подающего аппарата. Пильгерголовка относится к технологически неизбежным потерям металла на пилигримовом стане, особенно при прокатке тонкостенных ($D/S = 12,5 - 40$) и особо тонкостенных ($D/S = 12,5 > 40$) труб. При этом при прокатке толстостенных труб ($D/S = 6-12,5$) на практике применяются методы прокатки гильз встык, и свободная раскатка пильгерголовки, причем последний применяется достаточно ограничено и только как дополнение к методу прокатки встык последней гильзы в партии или при нарушениях этого процесса [2]. Оба эти метода были впервые освоены почти 50 лет назад на ТПА6-12 "Нижнеднепровского трубопрокатного завода. Более широкому использованию процесса свободной раскатки пильгерголовки препятствуют его серьезные недостатки. Наличие пильгерголовки является одним из главных факторов повышения расхода металла на пилигримовых агрегатах, что снижает их конкурентоспособность в сравнении с другими агрегатами при использовании в качестве исходной заготовки НЛЗ круглого поперечного сечения [3-5].

Постановка задачи. Целью статьи является усовершенствование метода свободной раскатки пильгерголовки для повышения его эффективности и расширения технологических возможностей.

Результаты работы. Анализ технической литературы и проведенные исследования процесса свободной раскатки пильгерголовки выявили его основные особенности:

- увеличивается время прокатки одной гильзы за счет выдвигания дорна раскатки пильгерголовки, что соответствует 20-30% машинного времени прокатки с соответствующим снижением производительности стана;
- имеет место уменьшение диаметра заднего конца трубы после раскатки пильгерголовки, а внутри трубы на заднем конце образуется кольцевая складка глубиной до 3 мм на расстоянии от торца до 300 мм и шириной до 50 мм, приводящая к дополнительной обрезки;
- после частичного извлечения дорна из раската нарушается сцепление между ними в результате чего возникают трудности при раскатке пильгерголовки и возможна подача значительного объема металла с перегрузкой стана;
- свободное перемещение дорнового кольца при раскатке пильгерголовки представляет большую опасность с точки зрения его захвата валками;

- отсутствие автоматизации процесса требует достаточно высокой квалификации вальцовщика, что, однако не исключает возможность аварийных ситуаций;

- в следствие уменьшающегося сечения раската, поступающего в валки, происходит уменьшение отката и связанного с ним угла кантовки, что сказывается на росте поперечной разностенности заднего конца трубы.

Проведенный анализ позволил сформулировать следующие основные проблемы этого процесса, подлежащие решению:

- нарушение сцепления раската с дорном в результате его предварительного извлечения на 1,2-1,5 м, что приводит к значительному смещению раската по дорну в направлении вращения валков в первых нескольких циклах (до 400 мм);

- отсутствует методика выбора рационального режима подачи с учетом основных особенностей этого процесса;

- отсутствует достаточно надежное решение для удержания дорнового кольца у дорновой головки;

- существующий метод снятия тонкостенной трубы с дорна приводит к смятию заднего конца трубы после раскатки пыльгерголки.

В работах [1, 6, 7] предложено осуществлять переменный режим подач m_x увеличивая ее пропорционально снижению площади поперечного сечения F_x раскатываемой пыльгерголки, при сохранении постоянства объема подачи V_n т.е. $V_n = m_x \cdot F_x = const$, что снижает машинное время. При этом увеличение подачи предполагается в течение 5-7 циклов с последующим ее постоянством. В настоящей работе усовершенствована методика определения подачи m_i , предусматривающая её увеличение в каждом цикле по формуле

$$m_i = m_x + S_x + \Delta m_x \quad (1)$$

где S_x – смещение торца раската в направлении вращения валков в каждом цикле (время одного оборота валков); Δm_x – увеличение подачи для сохранения её монотонности и получения целого числа циклов.

Это обеспечит изменение подачи в каждом цикле по заданной программе при осуществлении её точного дозирования на подающих аппаратах с механическим дозатором подачи. Усовершенствованная методика режима подачи является технологическим основанием для автоматизации процесса свободной раскатки пыльгерголки.

Одной из проблем этого процесса является значительное смещение раската по дорну в первых циклах обжатия головки пыльгервалками, что значительно усложняет управление процессом. Известно несколько решений этой проблемы за счет сохранения имеющегося сцепления раската с дорном путем удлинения дорна на величину L , необходимую для раскатки головки [1]. Одним из известных решений предлагается удлинение дорновой головки и хвостовика дорна на величину L и перестановку раската с дорном с помощью крана.

Вторым известным решением предлагается выдвигать хвостовик дорна из головки на величину L с помощью отдельного гидропривода. Известные решения не получили практического применения из-за их сложности. Нами предложено несколько технических решений для значительного снижения раската по дорну в первых циклах прокатки: редуцирование участка трубы, прилегающего к пыльгерголке; снижение числа оборотов валков при раскатке пыльгерголки; приложение заднего натяжения к раскату в первых циклах прокатки головки путем обжатия трубы в выводном желобе пыльгерстана профильными тормозными колодками. Расчеты показали, что снижение числа оборотов валков при раскатке головки с 68 до 34 об/мин уменьшает величину

смещения раската по дорну в направлении дорновой головки с 460 до 116 мм для труб 168×25 мм. Анализ предложенных методов показал, что снижение скорости валков при раскатке головки является более технологичным и может быть использовано на практике. Сохранение первоначального сцепления раската с дорном позволило бы уменьшить длину освобожденного участка L дорна до 500 мм.

Для улучшения управляемости процесса пилигримовой прокатки целесообразно осуществлять его с переменной скоростью, снижая число оборотов валков при неустановившихся процессах затравочном и свободной раскатки пильгерголки, кроме того, необходимо модернизировать эксплуатируемые в Украине подающие аппараты для осуществления кантовки на 90° независимо от величины отката гильзы.

Для раскатки пильгерголок на тонкостенных и особо тонкостенных трубах разработана новая технология, предусматривающая раскатку пильгерголки до толщины стенки на торце, обеспечивающей снятие трубы с дорна [4, 8]. При этом пильгерголку представляют состоящей из двух частей 1 и 2 (рис. 1), разделение которых происходит по поперечному сечению, где толщина стенки S_k , названная нами «критической», обеспечивает снятие трубы с дорна за счет жесткости сечения, определяемого диаметром D и толщиной стенки S . Согласно новой технологии часть 1 раскатывается, а часть 2 – остается нераскатанной и удаляется в обрезь. При этом раскатанная часть 1 увеличивает участок 3 черновой трубы на величину ΔL (рис. 1). Параметры частей 1 и 2 определяются формулами

$$l_r = l_{rk} + \Delta l_r, \quad (2)$$

$$\Delta l_r = l_r \frac{\mu_k - 1}{\mu_s - 1}, \quad (3)$$

где l_r – длина пильгерголки; l_{rk} и Δl_r – соответственно длины частей 1 и 2; μ_k и μ_s – коэффициенты вытяжек (отношение толщин стенок); $\mu_k = S_r / S_k$, $\mu_s = S_r / S_n$, S_r и S_n – соответственно толщины стенок гильзы и трубы, S_k – толщина стенки в «критическом» сечении.

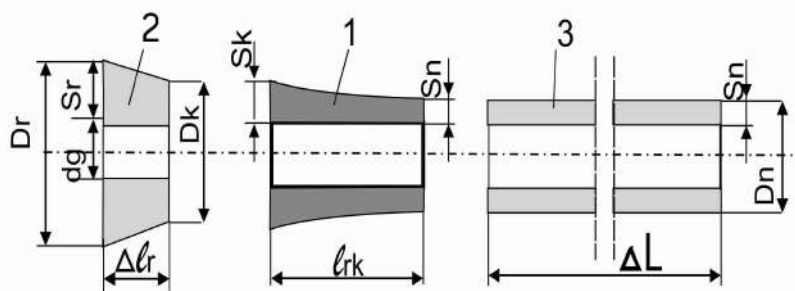


Рисунок 1 - Разделение на части 1 и 2 пильгерголки и участок 3 трубы длиной ΔL .

Увеличение длины черновой трубы, ΔL определяется по формуле

$$\Delta L = \frac{4V_2}{\pi(D_n^2 - d_g^2)}, \quad (4)$$

где V_2 – объем раскатанной части 2 пильгерголки; d_g – диаметр дорна, D_n – наружный диаметр трубы, $D_n = d_g + 2S_n$. При определении V_2 для упрощения задачи часть 2 головки представлена в виде усеченного конуса.

Число циклов раскатки n_n пильгерголовки с постоянной величиной подачи $m = m_u = const$ определяется по формуле

$$n = \frac{\Delta L_r}{m}, \quad (5)$$

а число циклов раскатки подачи, определяемой из условия $V_n = const$ по формуле

$$n = \frac{\Delta L_r}{m l_n \mu_k} \left(1 - \frac{1}{\mu_k} \right), \quad (6)$$

где $m = m_u$ (подача в установившемся режиме).

На рис. 2 приведена зависимость ΔL в функции S_k при прокатке труб 299x12мм. Изменение S_k в пределах 20-30 мм снижает ΔL , но обеспечивает снятие трубы с дорна после раскатки пильгерголовки, т.к. обеспечивается достаточная жесткость сечения.

На рис. 3 для того же размера труб приведено изменение числа циклов n в функции S_k и режимов подачи: 1 – $m = m_u$, 2 – $V_n = const$.

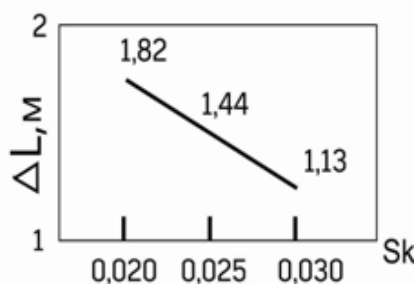


Рисунок 2 - Изменение ΔL в зависимости от S_k (м)

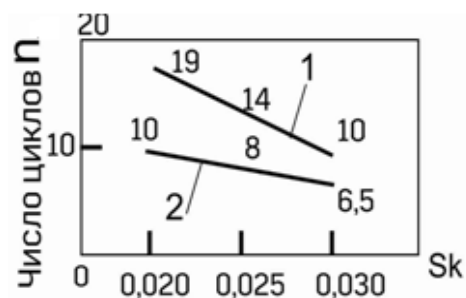


Рисунок 3 - Изменение n в зависимости от S_k (м) и режимов 1 и 2 подачи

Второй режим подачи почти в 2 раза уменьшает число циклов, но для этого необходим подающий аппарат с механическим дозатором подачи. С увеличением S_k число циклов n уменьшается на 47% в связи с уменьшением длины ΔL_r раскатываемой части пильгерголовки.

Для повышения надежности снятия трубы с дорна в работе предложены два новых способа, первый из которых отличается фиксацией раската одновременно нижним и верхним шиберами, при этом увеличивается площадь контакта двух шиберов с торцом раската почти в 2 раза, что уменьшает нормальные контактные напряжения при прочих равных условиях, а также обеспечивает приложение усилия подпора по оси раската [9]. Второй способ предусматривает смену дорна без шиберного устройства за счет удержания раската матрицами прессы на выходной стороне пильгерстана [10].

При раскатке пильгерголовки на свободном участке дорна существующее дорновое кольцо перемещается от дорновой головки к торцу раската, что предопределяет его возможность попадания в валки с созданием аварийной ситуации и поломкой оборудования. Для решения этой проблемы нами предложены два варианта новых дорновых колец. Согласно первому варианту на торце дорнового кольца со стороны дорновой головки размещены дискообразные постоянные магниты фирмы «Elesa+GANter» с силой сцепления 350Н. Расчеты показали, что для создания силы сцепления дорново-

го кольца с дорновой головкой больше чем сила инерции, достаточно 6 магнитов. Согласно второму варианту дорновое кольцо выполнено из двух половин, соединяемых между собой четырьмя болтами, а создание необходимого сцепления дорнового кольца с дорном осуществляется с помощью тарельчатых пружин по ГОСТ3057. При этом количество пружин в каждом из четырех мест соединения составляет 8 штук.

Выводы: 1. Существующий метод свободной раскатки пильгерголовики применим только для прокатки толстостенных труб ($D/S=6-12,5$) и, в основном, используется совместно с методом прокатки гильз встык.

2. В работе комплексно рассмотрены особенности и проблемы метода свободной раскатки пильгерголовики и предложены пути их решения.

3. Усовершенствована методика определения переменного режима подачи с учетом влияния смещения раската по дорну в направлении вращения валков и обеспечения целого числа циклов при изменении подачи по заданной программе, что может быть реализовано на подающем аппарате с механическим дозатором подачи.

4. Для реализации технологических возможностей пильгерстана предложена новая технология, предусматривающая раскатку пильгерголовики до такой толщины стенки на торце, которая обеспечивает снятие с дорна тонкостенных ($D/S=12,5-40$) и особо тонкостенных ($D/S>40$) труб.

5. Предложены новые решения для уменьшения смещения раската по дорну в первых циклах раскатки пильгерголовики, теоретическое исследование которых позволило рекомендовать метод снижения скорости при её раскатке по сравнению с установленным процессом на 40-50%, как наиболее простой и эффективный.

6. Предложены два новых метода снятия трубы с дорна после полной или частичной раскатки пильгерголовики, первый из которых отличается одновременным сведением верхнего и нижнего шиберов, а второй – удержанием раската матрицами пресса. Для удержания дорнового кольца у дорновой головки предложено два новых решения, согласно первому в кольцо вмонтированы постоянные магниты, согласно второму – обе половины кольца соединяются с использованием тарельчатых пружин, создающих необходимое сцепление с дорном.

7. Целесообразно продолжить исследования для сохранения сцепления между раскатом и дорном, в том числе за счет редуцирования участка раската перед пильгерголовицей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Экономия металла при производстве труб нефтяного сортамента / Чернявский А. А., Чернявский А. А., Березовский В. В., Угрюмов Ю. Д. Москва : Металлургия, 1987. 304 с.
2. Балакин В. Ф., Угрюмов Ю. Д., Угрюмов Д. Ю. Пути снижения массы пильгерголовики при горячей прокатке труб. *Теория и практика металлургии*. 2012. № 1-2. С. 32–36.
3. Сокуренок В. П., Гармашов Д. А., Стасевский С. Л., Угрюмов Ю. Д. Снижение расхода металла при горячей периодической прокатке труб за счет уменьшения массы пилигримовой головки. *Черная металлургия*. Москва, 2014. Вып. 2. С. 74-82.
4. Развитие методов снижения потерь металла в пилигримовую головку при горячей прокатке труб / В. Ф. Балакин и др. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 2. С. 52–59.
5. Угрюмов Ю. Д., Балакин В. Ф., Угрюмов Д. Ю., Семешкин В. И. Методы уменьшения массы пильгерголовики при горячей прокатке труб. *Черная металлургия*. Москва, 2011. № 10. С. 68–77.
6. Пилигримовая прокатка труб с раскаткой пильгерголовики / В. Н. Данченко и др. *Металлургия и коксохимия*. Киев, 1981. Вып. 71. С. 82-85.
7. Березовский В. В. Теоретические основы и пути реализации малоотходной техноло-

- гии пилигримовой прокатки качественных труб из металла непрерывной разливки : дис. на соискание учен. степ. д-ра техн. наук в форме научн. Доклада : 05.16.05. Днепропетровск, 1989. 36 с.
8. Спосіб гарячої пілігримової прокатки тонкостінних труб: пат. 129752 Україна: МПКВ21В. № U 2018 05077; заявл. 08.05.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21.
 9. Спосіб зміни дорна з дорновим кільцем для пілігримової прокатки труб: пат. 100527 Україна: МПК В21В 21/00, В21В 25/06, № U 2015 01778; заявл. 27.02.2015; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.
 10. Спосіб гарячої пілігримової прокатки труб: пат. 86284 Україна: МПК В21В21. № U 2013 07664; заявл. 17.06.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24.

Поступила в редколлегию 10.09.2020.

UDK 621.771.01

DOI 10.31319/2519-2884.tm.2020.3

YERSHOV S., professor
WU KAIMING, professor

Wuhan University of Science and Technology, Wuhan, China

STRESS STATE STUDY DURING ROLLING IN A BOX CALIBER WITH A CHILLED SURFACE

Introduction. Modern pipe production is characterized by a wide range of hot-deformed pipes and various schemes for their production. Some of the pipes are made from rolled billets, others from continuous cast billets. Rolling of pipe billets is used in cases where it is necessary to ensure a high quality of the inner surface of the pipes. In this regard, issues related to the study of factors affecting the quality of pipe billets are of considerable interest to metallurgists.

Formulation of the problem. A significant number of scientists at various periods of time were engaged in the issue of the quality of pipe billets.

Due to the complexity of the processes occurring in the deformation zone during rolling of a pipe billet, most of the research in this area has been carried out experimentally. Thus, a whole range of experimental studies is combined in monographs [1 and 2]. There are also separate studies, for example, the study [3], which combines both an experimental approach to the study of the flow of metal in a caliber, and a theoretical analysis of the results.

The experimental studies described in [1] were carried out in a production environment. These studies were carried out using screws that were screwed into various sections of the strip and then rolled. The processes taking place in the caliber were investigated by the modification of the screws after rolling. In this regard, the authors of this work carried out only a qualitative analysis of possible stress state that leading to the formation of one or another defect.

In contrast to the work [1], the authors of the study [3] used a technique in their research, which is based on the study of the metal flow by deformation of the coordinate grid applied to the lead plates of which the experimental sample consisted. In relation to the dimensions of the strip rolled on an industrial mill, the experimental section was reduced by a factor of 2.4.

As a result of research [1, 3], many interesting facts were obtained. Unfortunately, in the described studies, there is no information on the modification of longitudinal and vertical stresses, and there is also no complete information about all dangerous zones of the deformation zone, in which the occurrence of regions with an unfavorable stress state pattern