

УДК 621.771.35

Ю. Г. Гуляев¹, Е. И. Шифрин², Н. Ю. Квитка³¹ ООО «Интерпайп Нико Тьюб»² Национальная металлургическая академия Украины³ George Brown College

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ТРЁХВАЛКОВЫХ РИЛЛИНГ-СТАНОВ

Проведен анализ соотношения геометрических размеров заготовки (трубы после автоматического стана), трубы после риллингования и параметров настройки раскатного стана и получена зависимость, связывающая эти величины. Разработана математическая модель процесса раскатки труб в трёхвалковом риллинг-стане, которая связывает в единую систему уравнения, описывающие геометрические параметры инструмента (валков и оправки), размеры заготовки и трубы, а также технологические параметры настройки стана (угол подачи, диаметр калибра, диаметр оправки и её ориентацию относительно пережима валков). Сформулированы принципы, положенные в основу выбора параметров инструмента и определения настроек стана. Приведены примеры расчёта параметров исходной настройки стана и их корректировки при расхождении реальных и требуемых размеров готовых труб. Обоснован и предложен ряд изменений в калибровках валков и оправок риллинг-стана трубопрокатного агрегата (ТПА) «140».

DOI: 10.34185/0543-5749.2021-2-32-41

Введение

Изучение научно-технической литературы по тематике риллингования труб в трёхвалковых раскатных станах показывает, что методик аналитического определения деформационных параметров прокатки и выбора геометрических параметров валков и оправок не существует. В немногочисленных работах, связанных с этой тематикой, даны общие рекомендации без какого-либо формального математического описания физических процессов, имеющих место при раскатке труб в трёхвалковых риллинг-станах без линеек в качестве деформирующего инструмента. Анализ производственных технологических инструкций в части, содержащей рекомендации по определению параметров настроек раскатных станов (диаметра калибра и положения оправки относительно пережима) и выбору параметров деформирующего инструмента (диаметра оправок), показывает, что в своём большинстве они не могут быть реализованы на практике. В таблицах прокатки, по которым осуществляют настройку станом в линии ТПА, из пяти определяющих параметров процесса раскатки в трёхвалковом риллинг-стане (угол подачи, диаметр калибра, смещение

оправки относительно пережима валков, диаметр оправки, обжатие по стенке) как правило, указаны лишь два (диаметр оправки и обжатие по стенке). Кроме того, в технологических инструкциях отсутствуют указания и рекомендации по корректировке параметров раскатки при расхождении фактических величин диаметра и толщины стенки прокатанных труб с номинально требуемыми значениями этих геометрических параметров продукции. **Цель данной работы** состоит в обосновании методики аналитического определения параметров исходной настройки и их корректировки в ходе прокатки труб в трёхвалковых риллинг-станах путём разработки математической модели процесса. Это позволит сократить время на подготовку оборудования к процессу прокатки, снизит отбраковку по причине расхождения реальных и требуемых размеров готовых труб и, соответственно, повысит производственные экономические показатели.

Методика

Обозначим определяющие геометрические параметры очага деформации трёхвалкового риллинг-стана (рис. 1).

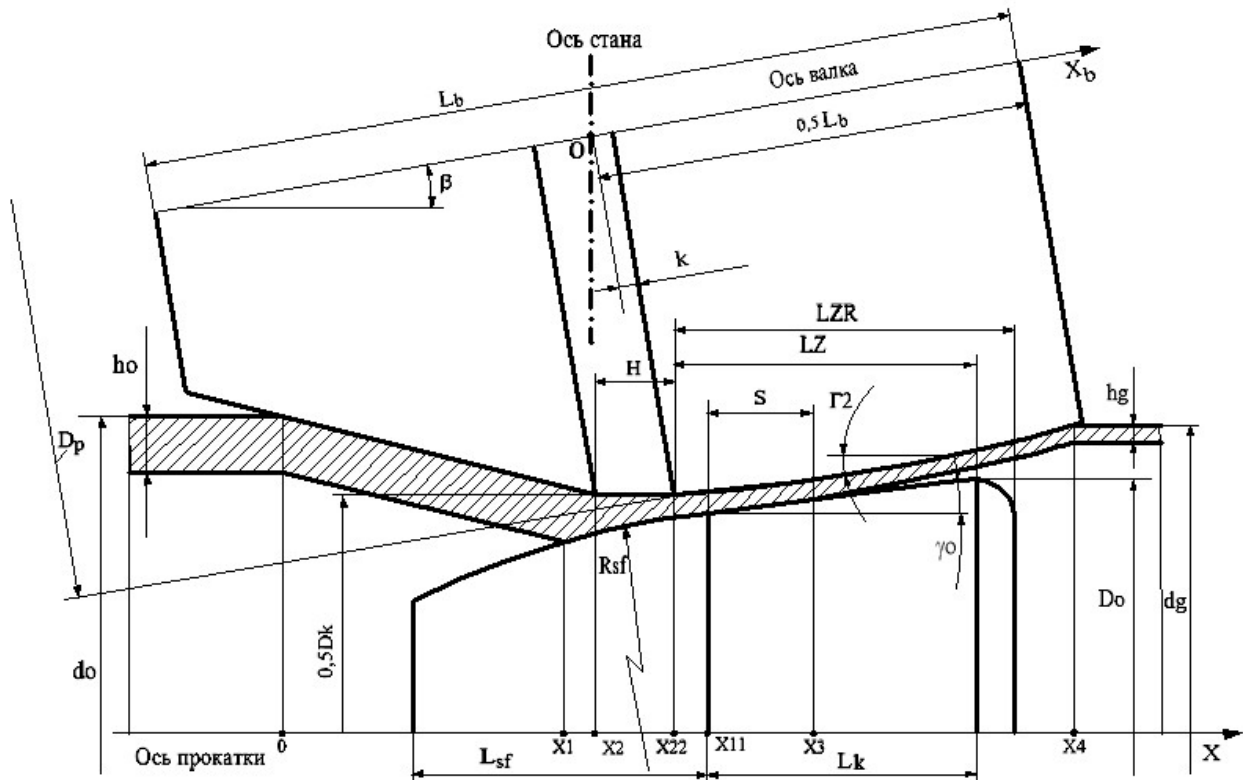


Рис. 1. Схема очага деформации риллинг-стана

После прокатки в автоматическом стане (или стане продольной прокатки № 2) в риллинг-стан поступает труба диаметром d_0 с толщиной стенки s_0 . В ходе раскатки требуется получить черновую трубу диаметром d_g с толщиной стенки s_g . Валки риллинг-стана установлены таким образом, что образуют калибр диаметром D_k . Оправка, диаметр которой равен D_o , состоит из двух участков: входного сферического, описанного радиусом R_{sf} , и выходного конического, угол наклона боковой поверхности которого к оси прокатки Ox равен γ_o . Положение оправки в очаге деформации характеризуется величиной смещения L_Z плоскости её диаметра за пережим валков.

Оговорим следующие характерные точки в очаге деформации. Начало координат, в которых производится анализ геометрических параметров процесса прокатки, совпадает с точкой пересечения плоскости начала деформации поступающей в стан исходной заготовки с осью прокатки Ox . Пересечение плоскости, в которой начинается обжатие заготовки по стенке, с осью

прокатки имеет координату x_1 . Пересечение плоскости, в которой лежит начало пережима валков, с осью прокатки имеет координату x_2 . Пересечение плоскости, в которой лежит окончание пережима валков, с осью прокатки имеет координату x_{22} . Пересечение плоскости, в которой сопрягаются сферический и конический участки оправки, с осью прокатки имеет координату x_{11} . Пересечение плоскости, в которой заканчивается обжатие заготовки по стенке, с осью прокатки имеет координату x_3 . Пересечение плоскости, в которой заканчивается формирование диаметра раскатанной трубы, с осью прокатки имеет координату x_4 .

Уравнение связи размеров заготовки, трубы и диаметра калибра. Суть создания математической модели процесса прокатки состоит в том, чтобы связать воедино параметры калибровки деформирующего инструмента, параметры настройки стана и размеры исходной заготовки и прокатываемой трубы. В двухвалковых риллинг-станах с направляющими линейками толщина стенки готовой трубы определяется зазором между валками и оправкой в сече-

нии окончания обжатия по стенке, а её диаметр определяется расстоянием между валками и расстоянием между линейками в том же сечении. В трёхвалковых раскатных станах, которые не имеют направляющих линеек, толщина стенки готовой трубы определяется аналогично – величиной зазора между валками и оправкой в сечении окончания обжатия по стенке (точка x_3 на рис. 1).

Методика определения (хотя бы в первом приближении) диаметра готовой трубы для случая риллингования (раскатки) в трёхвалковом стане отсутствует.

Установим связь между размерами исходной заготовки (d_0, s_0), готовой трубы (d_g, s_g) и диаметром калибра (D_k) на основании следующих соображений.

1) Вытяжка μ в раскатном стане составляет величину

$$\mu = \frac{s_0(d_0 - s_0)}{s_g(d_g - s_g)}. \quad (1)$$

2) При прокатке прутка (т.е. «трубы» с соотношением $\frac{s_0}{d_0} = 0,5$) увеличение диаметра проката за пережимом валков ($x > x_{22}$, рис. 1) не должно происходить, т.е. в этом случае $d_g = D_k$ и вытяжка будет составлять величину

$$\mu = \frac{d_0^2}{D_k^2}. \quad (2)$$

3) При прокатке весьма тонкостенной трубы (при $\frac{s_0}{d_0} \rightarrow 0$) вытяжка будет отсутствовать, т.е.

$$1. \quad (3)$$

4) Если предположить, что зависимость $\mu = \mu\left(\frac{s_0}{d_0}\right)$ имеет линейный характер, то, используя условия (2) и (3) получим

$$\mu = \frac{2s_0}{d_0} \left(\frac{d_0^2}{D_k^2} - 1 \right) - 1. \quad (4)$$

5) Приравнявая правые части уравнений (1) и (4), получим окончательно

$$\frac{2s_0}{d_0} \left(\frac{d_0^2}{D_k^2} - 1 \right) - 1 = \frac{s_0(d_0 - s_0)}{s_g(d_g - s_g)}. \quad (5)$$

Формулу (5) можно использовать для выбора в первом приближении размеров заготовки $d_0 \times s_0$ и диаметра калибра D_k при прокатке трубы нужного размера $d_g \times s_g$. Для примера на рис. 2 показаны графики зависимости необходимого обжатия по стенке заготовки $\Delta s = s_0 - s_g$ в зависимости от толщины стенки трубы s_g при раскатке труб диаметром $d_g = 170, 174$ и 178 мм из заготовки диаметром $d_0 = 158$ мм в калибре $D_k = 154$ мм.

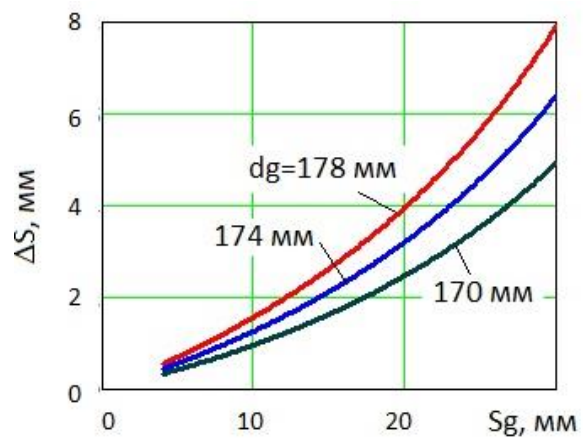


Рис. 2. Зависимость $\Delta s = (s_g, d_g)$

Выбор параметров прокатки. Выбор параметров настройки и калибровки инструмента раскатного стана должен осуществляться с учётом *максимально возможного и при этом – одновременного* удовлетворения следующих требований и условий.

При использовании заготовки размером $d_0 \times s_0$ должна быть прокатана труба требуемых в соответствии с выбранной таблицей прокатки размеров $d_g \times s_g$. При этом необходимо, чтобы параметры прокатки обеспечили захват заготовки валками в начальной стадии процесса и освобождение очага деформации в конечной стадии формоизменения. В ходе установившегося процесса прокатки должен быть обеспечен устойчивый процесс формоизменения без срывов осевой подачи заготовки, пробуксовок валков по поверхности металла и т.п. Выбранные параметры прокатки должны обеспечить получение трубы с минимальными уровнями разностенности и овальности.

Анализ технической литературы [1, 2 и др.] позволяет сделать вывод о том, что при прокатке в раскатных станах снижение угла подачи в

диапазоне $\alpha = 10 \dots 4$ град. снижает разностенность прокатанных труб. Также можно констатировать, что при прокатке в раскатных станах увеличение относительного обжатия по стенке заготовки $\varepsilon_s = (s_o - s_g) / s_o$ в диапазоне $\varepsilon_s = 0,02 \dots 0,10$ снижает разностенность прокатанных труб.

Важными параметрами процесса раскатки являются протяжённость зоны обжатия по стенке (величина $L_s = x_3 - x_1$, рис. 1) и её расположение в очаге деформации относительно пережима валков [3], которое в раскатном стане характеризуется величиной $G = x_1 - x_2$ (рис. 1). При $G < 0$ обжатие по стенке имеет место как во входном конусе очага, включая пережим длиной $H = x_{22} - x_2$ (рис. 1), так и выходном конусе. При $G \geq 0$ обжатие по стенке имеет место в пережиме и выходном конусе (при $G < H$), или только в выходном конусе (при $G \geq H$). Если проводить аналогию между раскатными станами для подъёма диаметра и раскатными станами Ассела, то используя результаты работы [3], можно сделать вывод о том, что наиболее благоприятным (с точки зрения получения труб с минимальной разностенностью) является режим прокатки, при котором обжатие по стенке имеет место в пережиме и выходном конусе ($G > 0$ при $G < H$). Такой режим можно обеспечить при соблюдении условия $x_{11} - x_{22} \geq 0$. В этом случае длина зоны обжатия в выходном конусе очага будет равна 1/3 шага подачи заготовки $S \approx \frac{1}{3} \pi D_k \frac{\eta_o}{\eta_\tau} \tan \alpha$ (рис. 1), здесь η_o , η_τ – коэффициенты осевого и тангенциального скольжения на выходе из очага деформации.

Заметим, что при таком режиме деформации ($G > 0$ при $G < H$) длина конического участка оправки L_k , на котором осуществляется деформация по стенке заготовки практически ограничена величиной S .

Математическая модель процесса. Разработанная математическая модель представляет собой систему основных и дополнительных уравнений, связывающих воедино параметры калибровки деформирующего инструмента, параметры настройки стана с размерами исходной заготовки и прокатываемой трубы.

Заданы следующие параметры процесса:

- углы подачи α и раскатки β ;

- углы наклона входного конуса (γ_{b1}), участка пережима (γ_{2b}) и выходного конуса валка (γ_{b3}) к оси валка OX_b (при этом предусматривается, что как входной, так и выходной участки валка могут быть как одноконусными, так и двухконусными), протяжённость утих участков вдоль оси валка, диаметр валков в пережиме;

- все геометрические параметры, характеризующие форму боковой поверхности оправки, включая угол конусности её конического участка γ_o , его длину L_k , радиус R_{sf} и длина L_{sf} сферического участка, а также смещение оправки относительно пережима валков L_Z ;

- диаметр заготовки d_o , толщина стенки s_g и диаметр d_g прокатываемой трубы.

Основные уравнения математической модели связывают в единую систему **девяти** уравнений **девять** взаимозависимых параметров процесса раскатки (вычисление всех нижеперечисленных величин осуществляется с учётом искажений очага деформации вследствие разворота валков на углы подачи α и раскатки β):

- толщину стенки заготовки s_o с размерами трубы и калибра соотношением (5);

- координату X_0 контакта заготовки с валками в системе координат OX , которая параллельна оси прокатки и начало которой находится в плоскости, проходящей через ось стана перпендикулярно оси прокатки Ox

$$X_0 = \text{root}(DX(X_0, \beta, \alpha, D_k) - d_0, X_0), \quad (6.1)$$

где $DX(X_0, \beta, \alpha, D_k)$ – диаметр калибра в сечении с координатой X_0 ;

- координаты x_1 , x_{11} , x_{22} и x_3 (рис. 1)

$$x_1 = \text{root}\left(\frac{DX(x_1, \beta, \alpha, D_k) - d_0(x_1, L_Z)}{2} - s_o, x_1\right), \quad (6.2)$$

$$x_{11} = L_Z + x_{22} - a_{o3} - l_k, \quad (6.3)$$

$$x_{22} = \text{root}\left(\frac{DX(x_1, \beta, \alpha, D_k) - d_0(x_1, L_Z)}{2} - s_o, x_1\right), \quad (6.4)$$

$$x_3 = \begin{cases} x_{22} & \text{если } x_{22} > x_{11} \\ x_{11} & \text{если } x_{22} \leq x_{11} \end{cases} + \begin{cases} S & \text{если } \gamma_o > \Gamma_2 \\ L_Z & \text{если } \gamma_o > \Gamma_2 \end{cases}; \quad (6.5)$$

- диаметр калибра D_k

$$D_k = \text{root}[2s_g - DX(x_3, D_k) + d_o(x_3, D_o)]; \quad (6.6)$$

- диаметр оправки (который принимается чётным целым числом)

$$D_o = 2 \cdot \begin{cases} \text{ceil}\left(\frac{d_{oL}}{2}\right) & \text{if } \frac{d_{oL}}{2} - \text{floor}\left(\frac{d_{oL}}{2}\right) \geq \frac{1}{2} \\ \text{floor}\left(\frac{d_{oL}}{2}\right) & \text{if } \frac{d_{oL}}{2} - \text{floor}\left(\frac{d_{oL}}{2}\right) < \frac{1}{2} \end{cases}, \quad (6.7)$$

где d_{oL} – диаметр оправки в сечении с координатой $x = x_{22} + L_Z$; $\text{ceil}(_)$, $\text{floor}(_)$ – символы действия округления до целого числа в большую или меньшую стороны соответственно;

- реальный угол наклона поверхности выходного конуса валка к оси прокатки Ox в сечении окончания обжатия по стенке (в точке с координатой x_3)

$$\Gamma_2 = \arctan\left(\frac{d}{dx} \frac{DX(x, \beta, \alpha, D_k)}{2}\right). \quad (6.8)$$

Методика расчёта начальных настроек стана и их корректировки в ходе прокатки. Для формализации методики оговорим следующие условия, которые должны соблюдаться при прокатке всего сортамента труб, изготавливаемых на ТПА.

Во-первых, смещение пережима валков (точки x_{22}) относительно оси стана (плоскости разворота валков на углы подачи и раскатки) отсутствует. Обычно ось стана делит длину бочки валка L_b пополам. Примем положение точки пересечения оси вала с плоскостью, равноотстоящей от торцов валка, за нуль в системе координат валка Ox_b (рис. 1). Тогда величина k смещения плоскости конца пережима вдоль оси валка, обеспечивающая выполнение выше сформулированного условия, определится из уравнения

$$k = -\frac{D_p}{2} \tan \beta, \quad (7)$$

где D_b – диаметр валка в пережиме.

Во-вторых, оправка располагается в очаге деформации таким образом, что плоскость сопряжения её сферического и конического участков имеет координату x_{22} (совпадает с плоскостью оси стана, рис. 1).

При выполнении двух сформулированных условий получим, что диаметр оправки D_{o22} в сечении с координатой x_{22} составляет величину

$$D_{o22} = D_o - 2L_Z \tan \gamma_o, \quad (8.1)$$

а толщина стенки трубы равна

$$s_g = 0,5(D_k - D_{o22}). \quad (8.2)$$

Решая систему уравнений (5), (8.1-2), найдём величины D_k , D_{o22} и L_Z , которые обеспечат при использовании оправки диаметром D_o прокатку трубы размером $d_g \times s_g$ из заготовки размером $d_0 \times s_0$.

Если в ходе прокатки получена труба с размерами $d_p \times s_p$, которые отличаются от требуемых размеров d_g и s_g , используя систему уравнений (5), (8.1-2) определяем реальные значения диаметра калибра D_{kp} , диаметра оправки в пережиме D_{o22p} , выдвижения оправки L_{Zp} и по отклонениям $\Delta D_k = D_k - D_{kp}$, $\Delta L_Z = L_Z - L_{Zp}$ корректируем настройки стана в соответствии с уравнениями

$$D'_k = D_{kp} + \Delta D_k; \quad (9.1)$$

$$L'_Z = L_{Zp} + \Delta L_Z, \quad (9.2)$$

где D'_k , L'_Z – скорректированные значения диаметра калибра и выдвижения оправки.

Результаты и их обсуждение

Анализ параметров используемых в производственных условиях параметров калибровки валков и оправок, а также настроек трёхвалковых риллинг-станов ТПА-140 с двумя станами продольной прокатки показывает следующее. Углы наклона к оси прокатки для входного $\gamma_1 = \gamma_{b1} - \beta$, выходного $\gamma_2 = \gamma_{b2} - \beta$ конусов валка и угол конусности конического участка оправки принимают равными между собой $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_o = 1,5^\circ$. Прокатку ведут на углах подачи $\alpha = 9 \dots 12^\circ$. Длину конического участка оправки принимают в пределах $L_k = 120 \dots 160$ мм.

Исходя из того, что снижение угла подачи α повышает точность прокатываемых труб, предложено ограничить его величину значением $\alpha = 6^\circ$. Учитывая, что при этом уменьшается максимально возможный диаметр прокатываемых труб $d_{g \max}$, для компенсации указанного уменьшения предлагается выполнять выходной участок валка двухконусным; конусность первого по ходу прокатки участка составляет

$\gamma_{21} = 1,6 \dots 1,7^\circ$, второго $\gamma_{22} = 2,4 \dots 2,6^\circ$. На рис. 3 показана расчётные зависимости $d_{g \max} = d_{g \max}(\alpha)$ при использовании одноконусной ($\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_o = 1,5^\circ$) и двухконусной ($\gamma_{21} = \gamma_o = 1,7^\circ$; $\gamma_{22} = 2,5^\circ$) калибровок. Как следует из приведенных данных, использование предложенной калибровки при углах подачи $\alpha = 6^\circ$ позволяет получать такие же значения $d_{g \max}$, как при использовании одноконусной калибровки с углом подачи $\alpha = 14^\circ$.

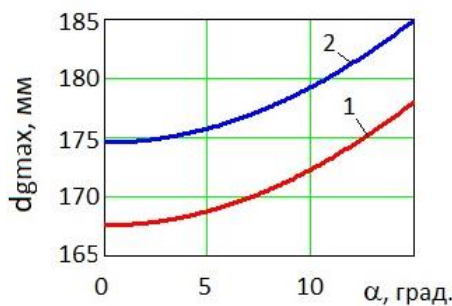


Рис. 3. Зависимость $d_{g \max} = d_{g \max}(\alpha)$ при $D_k = 153$ мм для одноконусной (1) и двухконусной (2) калибровок валков

Длина участка, на котором осуществляется деформация по стенке на коническом участке оправки L_k , ограничена величиной S , которая при используемых в настоящее время углах подачи α не превышает 40 мм. Можно принять, что сверх указанной величины S конический

участок оправки должен быть длиннее на 40...50 мм для возможности осевого перемещения оправки с целью корректировки толщины станки s_g . Таким образом, при $\alpha = 9 \dots 12^\circ$ можно ограничить длину конического участка оправки величиной $L_k = 80 \dots 100$ мм, а при углах подачи $\alpha = 6 \dots 7^\circ$ — величиной $L_k = 60 \dots 80$ мм. При этом будет сохранена возможность регулировки толщины стенки трубы s_g в пределах ± 1 мм за счёт осевого перемещения оправки.

Учитывая, что увеличение относительного обжатия по стенке заготовки $\epsilon_s = (s_o - s_g) / s_o$ в диапазоне $\epsilon_s = 0,02 \dots 0,10$ снижает разностенность прокатанных труб предложено проектировать режимы деформации, ориентируясь на величину $\epsilon_s = 0,10$, снижая значение ϵ_s в тех случаях, когда это связано с необходимостью избежать чрезмерной раскатки (подъёма диаметра) заготовки, или предотвратить превышение допустимых нагрузок на привод стана.

Расчёт конкретных параметров прокатки. С использованием разработанной математической модели были рассчитаны параметры настройки трёхвалковых риллинг-станов ТПА-140. Результаты расчёта для конкретных маршрутов прокатки приведены в таблице 1 (одноконусные калибровки) и таблице 2 (двухконусные калибровки).

Таблица 1. Параметры прокатки для одноконусной калибровки валков ($\alpha = 12^\circ$)

$d_0 \times s_0 \rightarrow d_g \times s_g$	145 x 9,5 мм → 155 x 8,6 мм	158 x 5,0 мм → 174 x 4,4 мм
Диаметр калибра D_k , мм	134,9	154,5
Диаметр оправки D_o , мм	126	154
Смещение торца оправки за пережим валков L_{ZR} , мм	187	187

Таблица 2. Параметры прокатки для двухконусной калибровки валков ($\alpha = 6^\circ$)

$d_0 \times s_0 \rightarrow d_g \times s_g$	145 x 9,5 мм → 155 x 8,6 мм	158 x 5,0 мм → 178 x 4,4 мм
Диаметр калибра D_k , мм	134,6	154,2
Диаметр оправки D_o , мм	122	150
Смещение торца оправки за пережим валков L_{ZR} , мм	106	106

Эффективность предложенных технических решений и разработанной методики корректи-

ровки параметров прокатки были апробированы в промышленных условиях. Установлено, что

при риллінгованні труб с предложенними параметрами (табл. 2) різностенність готових труб знижується, а якість їх зовнішньої поверхності удосконалюється по порівнянню с трубами, прокатаними с параметрами, указаними в табл. 1. Установлено, що використання розробленої методики корекції параметрів прокатки дозволяє на 40...55 % скоротити кількість настроєчних труб и, тем самым, знизити расходний коефіцієнт металу.

Выводы

1. Обзор научно-технической литературы по тематике риллинования труб в трёхвалковых раскатных станах показывает, что методик расчета параметров деформации и калибровки инструмента не существует, а формальное математическое описание физических процессов, имеющих место при раскатке труб в трехвалковых станах без линеек в качестве деформирующего инструмента, отсутствует. Изучение производственных технологических показывает, что в них отсутствуют указания и рекомендации по корректировке параметров раскатки при расхождении фактических величин диаметра и толщины стенки прокатанных труб с номинально требуемыми величинами этих геометрических параметров продукции.

2. Проанализировано соотношение геометрических размеров заготовки (трубы после автоматического стана), трубы после раскатки и параметров настройки риллинг-стана и получена зависимость, связывающая эти величины.

3. Разработана математическая модель процесса раскатки труб в трёхвалковом риллинг-стане, которая связывает в единую систему уравнения, описывающие геометрические параметры инструмента (валков и оправки), размеры заготовки и трубы, а также технологические параметры настройки стана (угол подачи, диаметр калибра, диаметр и положение оправки относительно пережима валков). Сформулированы принципы, положенные в основу выбора

параметров деформирующего инструмента и определения настроек стана.

4. Обоснован и предложен ряд изменений в калибровках валков и оправок риллинг-станов, а также в их настройках.

5. Предложена методика расчёта параметров исходной настройки риллинг-станов и их корректировки в ходе прокатки.

6. Эффективность предложенных технических решений и разработанной методики корректировки параметров прокатки были апробированы в промышленных условиях.

Библиографический список

1. Бурьянов В. Ф., Рокотян Е. С., Гуревич А. Е. *Расчёт мощности двигателей главных приводов прокатных станов*. М.: Металлургиздат, 1962. 360 с.

2. Остренко В. Я., Рохман Д. Е. Давление металла на инструмент и мощность процесса при раскатке труб на раскатных машинах. *Труды ВНИТОМ*, т. 2, М.: Металлургиздат, 1954. С. 74-84.

3. Гуляев Ю. Г. Комплексное исследование процесса прокатки труб в трёхвалковом раскатном стане и выбор оптимального режима деформации. Дис. ... канд. техн. наук.: Днепропетровск, ДМетИ, 1978. 278 с.

References

1. Burjanov, V. F., Rokotjan, E. S., Gurevich, A. E. (1962). *Raschet moshnosti dvigatelei glavnih privodov prokatnih stanov*. Moskva: Metallurgizdat

2. Ostrenko, V. Ja., Rohman, D.E. (1954). *Davlenie metalla na instrument i moshnost' processa pri raskatke trub na raskatnih mashinsh*. *Trudi VNITOM*, Vol. 2, Moskva: Metallurgizdat, 74-84

3. Gulyaev, Yu. G. (1978). *Kompleksnoye issledovaniye processa prokatki trub v trehvalkovom raskatnom stane i vibor optimal'nogo rezima deformacii*. Dis. ... cand. techn. nauk. Dnepropetrovsk: DMetI

Гуляев Юрій Геннадійович, професор, доктор технічних наук, науковий консультант, ТОВ «Інтерпайп Ніко Тюб», м. Дніпро, Україна, gulyaev.y51@gmail.com

Шифрін Євген Ісайович, доктор технічних наук, професор, кафедра обробки металів тиском, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна, shifrinei48@gmail.com

Квітка Наталія Юрїївна, кандидат технічних наук, консультант, George Brown College, м. Торонто, Канада, nataliya.kvitka@gmail.com

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ НАСТРОЙКИ ТРИВАЛКОВИХ РІЛІНГ-СТАНІВ

Мета – обґрунтування методики аналітичного визначення параметрів початкової настройки та їх корегування при прокатці труб в тривалкових рілінг-станах шляхом розробки математичної моделі процесу.

Методика. Під час виконання досліджень використані рівняння зв'язку геометричних розмірів заготовки, готової труби та діаметру калібру валків, а також математична модель процесу деформації труби в тривалковому рілінг-стані, яка дозволяє при заданих геометричних параметрах валків та оправок визначати зміну товщини стінки та діаметра заготовки по довжині осередку деформації.

Результати. Запропоновано прокатку труб для всього сортаменту ТПА-140 вести при кутах подачі, що дорівнюють $\alpha = 6^\circ$ замість $\alpha = 9 \dots 12^\circ$. Зважаючи на те, що при цьому зменшується максимально можливий діаметр труб, що прокатуються, для компенсації вказаного зменшення пропонується робити вихідну ділянку валка двоконусною; конусність першої в напрямку ходи прокатки ділянки становить $\gamma_{21} = 1,6 \dots 1,7^\circ$, другої $\gamma_{22} = 2,4 \dots 2,6^\circ$.

Зважаючи на те, що збільшення відносного обтиснення стінки заготовки $\varepsilon_s = (s_o - s_g) / s_o$ в межах $\varepsilon_s = 0,02 \dots 0,10$ зменшує різностінність труб, що прокатуються, запропоновано проектувати режими деформації, орієнтуючись на величину $\varepsilon_s = 0,10$, зменшуючи величину ε_s в тих випадках, коли це пов'язано з необхідністю уникнути надмірної розкатки (підйому діаметра) заготовки, або унеможливити перевищення допустимих навантажень на привод стана.

Встановлено, що при $\alpha = 9 \dots 12^\circ$ можна обмежити довжину конічної ділянки оправки величиною $L_k = 80 \dots 100$ мм, а при кутах подачі $\alpha = 6 \dots 7^\circ$ – величиною $L_k = 60 \dots 80$ мм. При цьому буде збережена можливість регулювання товщини стінки труби s_g в межах ± 1 мм за рахунок осевого зміщення оправки.

Наукова новизна. Обґрунтовано методику розрахунку параметрів початкового налаштування рілінг-станів та їх корегування в процесі прокатки. Розроблено математичну модель процесу розкатки труб в тривалковому рілінг-стані, котра пов'язує в загальну систему рівняння, що описують геометричні параметри інструмента (валків та оправки), розміри заготовки та труби, а також технологічні параметри налаштування стана (кут подачі, діаметр калібру, діаметр и положення оправки відносно перетину валків). Сформульовані принципи, що покладені в основу вибору параметрів деформуючого інструмента та визначення налаштування стана.

Практична цінність. Обґрунтовано низку змін у калібровках валків та оправок рілінг-станів, а також в їх налаштуванні. Ефективність запропонованих технічних рішень і розробленої методики корегування параметрів прокатки успішно апробовані в промислових умовах.

Ключові слова: поперечно-гвинтова прокатка труб, рілінг-стан, параметри налаштування та їх корегування, калібровка валків та оправок

Yuriy Gulyaev, Professor, Doctor of Technical Science, Science Consultant, JSC “Interpipe Niko Tube”, Dnipro, Ukraine, gulyaev.y51@gmail.com

Yevgen Shyfrin, Doctor of Technical Science, Professor, Department of Metal Forming, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine, shifrinei48@gmail.com

Nataliya Kvitka, Ph.D., Consultant, George Brown College, Toronto, ON, Canada, nataliya.kvitka@gmail.com

METHOD OF CALCULATION OF THE SETTING PARAMETERS OF THREE-ROLL RILING MILLS

The purpose is substantiation of the methodology for analytical determination of the parameters of the initial setting and correction during pipe rolling in three-roll riling mills by developing a mathematical model of the process.

Methods. When performing the research, the equations connecting the geometric dimensions of the initial workpiece, the finished pipe, and the diameter of the roll caliber were used, as well as a mathematical model of the process of deformation of the pipe in a three-roll riling mill, which allows, for given geometric parameters of the rolls and mandrels, to determine the change in wall thickness and diameter of the workpiece along the length of the deformation zone.

Results. It is proposed to conduct rolling of pipes for the entire production range of TPA-140 at feed angles equal to $\alpha = 6^\circ$ instead of $\alpha = 9 \dots 12^\circ$. Taking into account that at the same time, the maximum possible diameter $d_{g \max}$ of the rolled pipes is reduced, to compensate for this decrease, it is proposed to make the exit section of the roll two-conical; the taper of the first section along the direction of rolling is $\gamma_{21} = 1,6 \dots 1,7^\circ$, the second section $\gamma_{22} = 2,4 \dots 2,6^\circ$.

Taking into account that increase in relative reduction along the workpiece wall $\varepsilon_s = (s_o - s_g) / s_o$ in the range $\varepsilon_s = 0,02 \dots 0,10$ reduces the difference in wall thickness of rolled pipes; it is proposed to design deformation modes, focusing on the value $\varepsilon_s = 0,10$, reducing the value ε_s in cases where this is due to the need to avoid excessive rolling (diameter rise) of the workpiece, or to prevent exceeding the permissible loads on the mill drive.

It has been established that when $\alpha = 9 \dots 12^\circ$ it is possible to limit the length of the conical section of the mandrel to the value $L_k = 80 \dots 100$ mm, and for feed angles $\alpha = 6 \dots 7^\circ$ – to the value $L_k = 60 \dots 80$ mm. At the same time, the possibility of adjusting the thickness of the pipe wall s_g will be preserved in the range of ± 1 mm due to axial movement of the mandrel.

Originality. The method for calculating the parameters of the initial setting of the riling mills and their adjustment during rolling is substantiated. A mathematical model of the process of rolling pipes in a three-roll rolling mill has been developed, which links into a single system the equations describing the geometric parameters of the tool (rolls and mandrel), the dimensions of the workpiece and pipe, as well as the technological parameters of the mill setting (feed angle, diameter of the caliber, diameter and position of mandrels relative to the pinch of the rolls). The principles underlying the selection of the parameters of the deforming tool and the determination of the settings of the mill are formulated.

Practical implications. A number of changes in the calibration of rolls and mandrels of the riling mills were substantiated, as well as their settings. The effectiveness of the proposed technical solutions and the developed method for adjusting the rolling parameters have been successfully tested in industrial conditions.

Keywords: cross-helical rolling of pipes, riling mill, setting parameters and their correction, calibration of rolls and mandrels

Гуляев Юрий Геннадиевич, профессор, доктор технических наук, научный консультант, ООО «Интерпайп Нико Тьюб», г. Днепр, Украина, gulyaev.y51@gmail.com

Шифрин Евгений Исаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра обработки металлов давлением, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина, shifrinei48@gmail.com

Квитка Наталья Юрьевна, кандидат технических наук, консультант, George Brown College, г. Торонто, Канада, nataliya.kvitka@gmail.com

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ТРЁХВАЛКОВЫХ РИЛЛИНГ-СТАНОВ

Цель – обоснование методики аналитического определения параметров исходной настройки и их корректировки при прокатке труб в трёхвалковых риллинг-станках путём разработки математической модели процесса.

Методика. При выполнении исследований использованы уравнения связи геометрических размеров исходной заготовки, готовой трубы и диаметра калибра валков, а также математическая модель процесса деформации трубы в трёхвалковом риллинг-стане, позволяющая при заданных геометриче-

ских параметрах валков и оправок определять изменение толщины стенки и диаметра заготовки по длине очага деформации.

Результаты. Предложено прокатку труб для всего сортамента ТПА-140 вести при углах подачи, равных $\alpha = 6^\circ$ вместо $\alpha = 9 \dots 12^\circ$. Учитывая, что при этом уменьшается максимально возможный диаметр прокатываемых труб $d_{g \max}$, для компенсации указанного уменьшения предлагается выполнять выходной участок валка двухконусным; конусность первого по ходу прокатки участка составляет $\gamma_{21} = 1,6 \dots 1,7^\circ$, второго $\gamma_{22} = 2,4 \dots 2,6^\circ$.

Учитывая, что увеличение относительного обжатия по стенке заготовки $\varepsilon_s = (s_o - s_g) / s_0$ в диапазоне $\varepsilon_s = 0,02 \dots 0,10$ снижает разностенность прокатанных труб предложено проектировать режимы деформации, ориентируясь на величину $\varepsilon_s = 0,10$, снижая значение ε_s в тех случаях, когда это связано с необходимостью избежать чрезмерной раскатки (подъёма диаметра) заготовки, или предотвратить превышение допустимых нагрузок на привод стана.

Установлено, что при $\alpha = 9 \dots 12^\circ$ можно ограничить длину конического участка оправки величиной $L_k = 80 \dots 100$ мм, а при углах подачи $\alpha = 6 \dots 7^\circ$ – величиной $L_k = 60 \dots 80$ мм. При этом будет сохранена возможность регулировки толщины стенки трубы s_g в пределах ± 1 мм за счёт осевого перемещения оправки.

Научная новизна. Обоснована методика расчёта параметров исходной настройки риллинг-станов и их корректировки в ходе прокатки. Разработана математическая модель процесса раскатки труб в трёхвалковом риллинг-стане, которая связывает в единую систему уравнения, описывающие геометрические параметры инструмента (валков и оправки), размеры заготовки и трубы, а также технологические параметры настройки стана (угол подачи, диаметр калибра, диаметр и положение оправки относительно пережима валков). Сформулированы принципы, положенные в основу выбора параметров деформирующего инструмента и определения настроек стана.

Практическая ценность. Обоснован ряд изменений в калибровках валков и оправок риллинг-станов, а также в их настройках. Эффективность предложенных технических решений и разработанной методики корректировки параметров прокатки успешно апробированы в промышленных условиях.

Ключевые слова: поперечно-винтовая прокатка труб, риллинг-стан, параметры настройки и их корректировка, калибровка валков и оправок

Рукопис надійшов 07.04.2021 р.