

УДК 621.774

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЛИБРОВКИ СТАНОВ ХПТ С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЖАТИЯ ПО ДИАМЕТРУ ТРУБЫ ВДОЛЬ КОНУСА ДЕФОРМАЦИИ

канд. техн. наук, доц. С.В. ПИЛИПЕНКО

(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

Целью работы является исследование влияния на характер распределения обжатия по диаметру вдоль конуса деформации таких параметров калибровки рабочего инструмента станов холодной пильгерной прокатки труб, как величина начальной конусности и степень крутизны профиля образующей развертки гребня ручья калибра, и тех же параметров образующей профиля рабочей поверхности оправки. Исследования базировались на разработанном методе расчета обжатия по диаметру вдоль конуса деформации, на ряде зависимостей, выведенных разными авторами для определения геометрических параметров рабочего инструмента стана ХПТ, определения деформационных параметров процесса ХПТ. Предложенный метод разрешает частично нивелировать неточность существующих формул. Оптимизация характера распределения величины обжатия по диаметру вдоль конуса деформации позволяет уменьшить вероятность возникновения такого дефекта, как риска на внутренней поверхности холоднокатаной трубы. Исследовано влияние параметров калибровки пропорциональных обжатий на характер распределения обжатия по диаметру вдоль конуса деформации. Выявлено, что с точки зрения оптимизации распределения обжатия по диаметру вдоль конуса деформации наиболее приемлемо использовать калибровки с криволинейной образующей профиля рабочей поверхности оправки. Такие калибровки имеют большие возможности для оптимизации и позволяют подобрать наиболее приемлемые режимы деформации.

Ключевые слова: холоднокатаные трубы, ХПТ, чистота поверхности, брак, риски, обжатие по диаметру, конус деформации, параметры калибровки, рабочий инструмент.

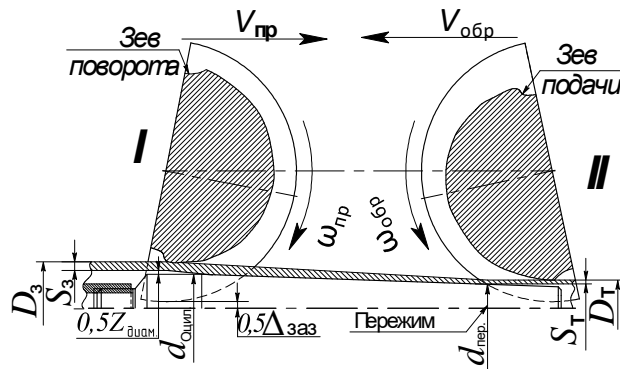
Введение. Холодной пильгерной валковой прокаткой производят трубную продукцию с повышенными требованиями к их качеству [1–3]. Одним из важных параметров качества труб, непосредственно влияющих на их эксплуатационные характеристики, является чистота поверхностей. К этому параметру качества относится наличие такого дефекта, как риска на внутренней поверхности трубы [4–8]. Наличие рисков приводит к снижению прочности труб из любых марок сталей и сплавов, произведенных любым способом [4–5; 8]. Риска является концентратором напряжений, возникающих в теле трубы при ее эксплуатации. Если глубина залегания риск не выводит толщину стенки за пределы допуска, то такие трубы могут подвергаться механической обработке (например, пескоструиванию) с последующей ультразвуковой диагностикой. Однако даже в случае положительного результата такая обработка труб приводит к увеличению расхода металла заготовки на 1 т готовой продукции и другим затратам по переделу. Все это снижает рентабельность производства, повышает долю ручного труда [9–12]. Механизм образования рисков на внутренней поверхности трубы при их холодной прокатке до конца не изучен. Из практики прокатки известно, что угроза рискообразования увеличивается при наличии значительной величины свободного редуцирования как в зоне редуцирования разведки ручья калибра стана пильгерной холодной прокатки труб, так и в мгновенном очаге деформации данного типа станов [9–14]. Поэтому оптимизация характера распределения величины обжатия по диаметру трубы вдоль конуса деформации стана типа ХПТ является актуальной задачей.

Цель данной работы состоит в исследовании влияния на характер распределения обжатия по диаметру вдоль конуса деформации таких параметров калибровки рабочего инструмента станов холодной пильгерной прокатки труб, как величина начальной конусности и степень крутизны профиля образующей развертки гребня ручья калибра, и тех же параметров образующей профиля рабочей поверхности оправки.

Методология. В отечественной практике прокатки широкое распространение получила так называемая калибровка пропорциональных обжатий (КПО). Именно она выбрана для анализа влияния параметров калибровки рабочего инструмента на характер распределения обжатия по диаметру трубы вдоль конуса деформации. При ее использовании расчет диаметра ручья калибра производится по формуле [12–14]

$$D_x = D_T + (D_3 - D_T - \gamma_{\min} \cdot l_{\text{к.раб}}) \left(\frac{x}{l_{\text{к.раб}}} \right)^n + \gamma_{\min} x, \text{ мм}, \quad (1)$$

где x – координата контрольного сечения; γ_{\min} – минимальная конусность образующей развертки гребня ручья калибра перед пережимом (рисунок 1); n – степень крутизны образующей развертки гребня ручья калибра; $l_{\text{раб}}$ – длина зоны обжатия конуса деформации; D_3 – наружный диаметр трубы-заготовки (рисунок 1); D_T – наружный диаметр готовой трубы (рисунок 1).



I – положение валков после подачи трубы-заготовки в конус деформации; II – положение валков после поворота трубы перед обратным ходом клетки; S_3 и S_T – толщина стенки заготовки и готовой трубы соответственно; $d_{пер}$ – внутренний диаметр готовой трубы (диаметр оправки в пережиме); $d_{о.цил}$ – диаметр цилиндрической части оправки; $\Delta_{заяз}$ – зазор между бочками ручьев калибров; $Z_{диам}$ – диаметральный зазор между внутренней поверхностью трубы и цилиндрической частью оправки

Рисунок 1. – Схема процесса деформации трубы в стане холодной пильгерной валковой прокатки труб

Диаметры оправки в тех же контрольных сечениях рассчитывается по аналогичной формуле [12–14]

$$d_x = d_{пер} + (d_{о.цил} - d_{пер} - \alpha_{мин} \cdot l_{о.раб}) \left(\frac{x}{l_{о.раб}} \right)^n + \alpha_{мин} x, \text{ мм}, \quad (2)$$

где $\alpha_{мин}$ – минимальная конусность оправки перед сечением пережима; $l_{о.раб}$ – длина рабочей зоны оправки.

Следует заметить, что при $n = 1$ образующая профиля рабочей поверхности оправки принимает конусную форму.

Иногда, с целью более точного управления распределением обжатия по толщине стенки вдоль конуса деформации или с целью организации зоны предотделки (где производится калибровка трубы по толщине стенки), после определения диаметров оправки по формуле (2) производят расчет толщины стенки в контрольных сечениях зоны обжатия:

$$S_{x.обж} = S_T + (S_{ред} - S_T) \cdot \left(\frac{x_{обж}}{l_{обж}} \right)^{n_s}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где n_s – эмпирический показатель параболической функции изменения толщины стенки рабочего конуса на обжимном участке, $n_s = 1,5 \dots 3,5$; $l_{обж}$ – длина зоны обжатия стенки разведки гребня ручья калибра; $x_{обж}$ – координата контрольного сечения зоны обжатия стенки разведки гребня ручья калибра; $S_{ред}$ – толщина стенки с учетом ее утолщения в зоне редуцирования конуса деформации.

И уже после этого определяют диаметры ручья калибра в контрольных сечениях:

– зоны обжатия

$$D_{x.обж} = d_{x.обж} + 2 S_{x.обж}, \text{ мм}, \quad (4)$$

где $d_{x.обж}$ – диаметры оправки в контрольных сечениях зоны обжатия рассчитанные по формуле (2);

– зоны предотделки

$$D_{x.п.о.} = d_{x.п.о.} + 2 S_T, \text{ мм}, \quad (5)$$

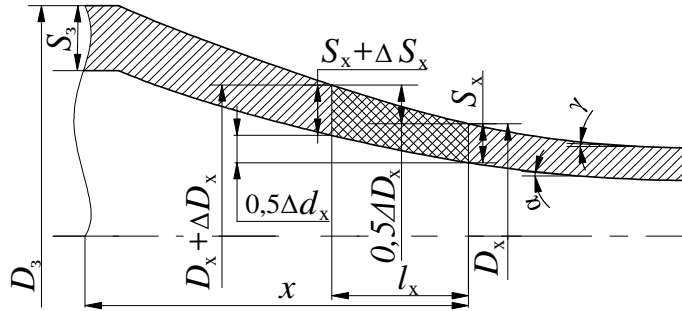
где $d_{x.п.о.}$ – диаметры оправки в контрольных сечениях зоны предотделки рассчитанные по формуле (2).

Существует упрощенная формула для определения обжатия по диаметру трубы в контрольных сечениях конуса деформации (ΔD_x , рисунок 2) [11–14]:

$$\Delta D_x = 2m\mu_{\Sigma x} \text{tg}\gamma_x. \quad (6)$$

где m – подача трубы перед двойным ходом клетки; $\text{tg}\gamma_x$ – конусность образующей развертки гребня ручья калибра на данном участке; $\mu_{\Sigma x}$ – вытяжка трубы вдоль конуса деформации в сечении x .

Как видно из рисунка 2, в ходе вычисления ΔS_x и ΔD_x при холодной пильгерной прокатке, в отличие от горячей, необходимо учитывать наличие обжатия по внутреннему диаметру трубы вдоль конуса деформации Δd_x .



l_x – длина конуса деформации, вмещающая объем конуса, равный объему подачи;
 ΔS_x – обжатие по толщине стенки трубы вдоль конуса деформации

Рисунок 2. – Определение обжатия по толщине стенки трубы вдоль конуса деформации за цикл пильгерной прокатки

Формула (6) недостаточно точна. Есть более точный метод определения ΔD_x , его алгоритм показан на рисунке 3.

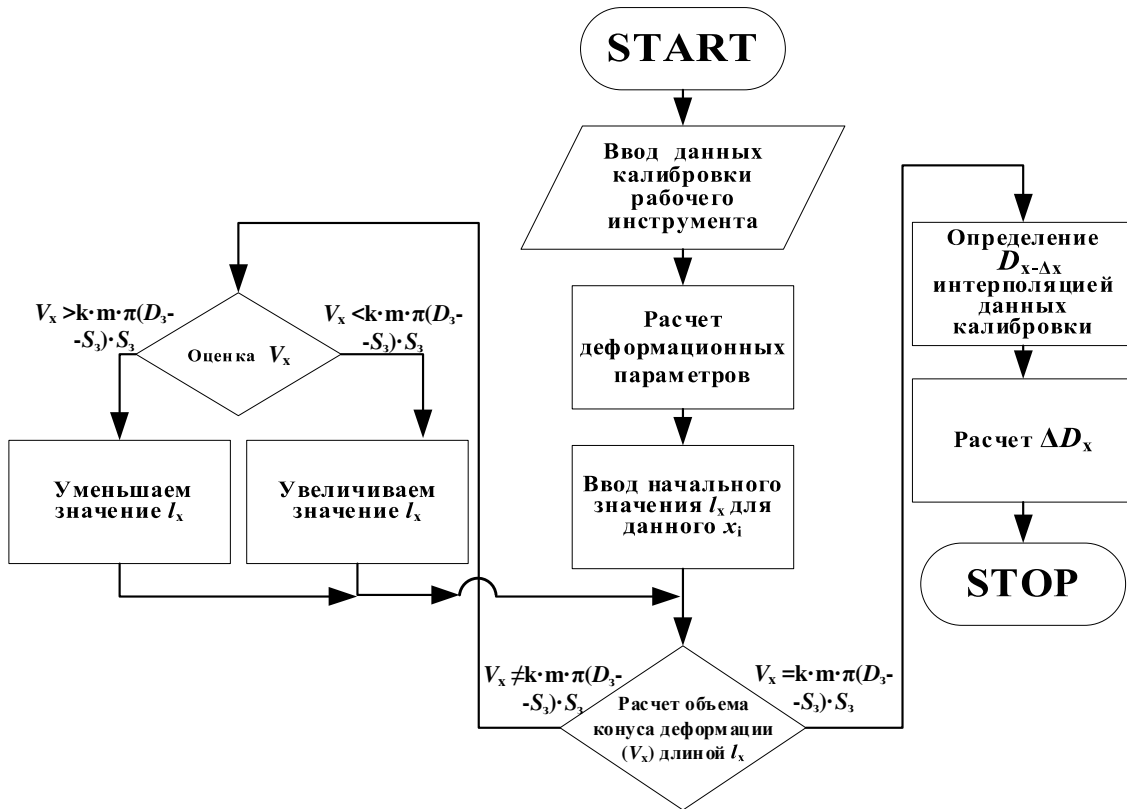


Рисунок 3. – Алгоритм определения ΔD_x для контрольного сечения, отстоящего от начала конуса деформации на расстоянии x_i

Здесь для каждого контрольного сечения x_i с помощью сравнительных расчетов объема конуса деформации длиной l_x (см. рисунок 2, зона с двойной штриховкой) выполняется итерационный подбор верного значения l_x . Начальное значение l_x можно принять равным $l_x = m \cdot \mu_{\Sigma x}$. Количество циклов расчета значительно уменьшится. Вначале необходимо задаться определенной точностью расчета V_x . Она регулируется применением коэффициента k (см. рисунок 3). Учитывая особенность процесса, точности в 0,1–0,2% будет вполне достаточно. При расчете также следует учитывать и упругие деформации клетки, т.к. они в значительной степени увеличивают объем металла между сечениями, причем от сечения к сечению в разной мере. Расчет производится для всех контрольных сечений. Промежуточные данные можно получить интерполяцией ряда полученных значений ΔD_x .

Алгоритм расчета ΔD_x , приведенный на рисунке 3, можно упростить. Для этого необходимо рассчитать величину l_x по известной формуле Я.Е. Осады [2; 3]:

$$l_x = \frac{\sqrt{S_x + 2(\operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\alpha) \frac{mS_3(D_3 - S_3)}{D_x - S_x}} - S_x}{\operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\alpha}. \quad (7)$$

По известным для каждого контрольного значения l_x по алгоритму, представленному на рисунке 4, определяются все значения ΔD_x (интерполяцией данных калибровки).



Рисунок 4. – Упрощенный алгоритм определения ΔD_x для контрольного сечения, отстоящего от начала конуса деформации на расстоянии x ;

В данном алгоритме итерационный цикл отсутствует. При определении ΔD_x также следует учитывать упругие деформации клетки. Для этого следует скорректировать данные калибровки относительно величины упругих деформаций в каждом рассматриваемом сечении. Влияние упругих деформаций при определении l_x можно осуществить следующим способом:

$$l_{\text{упр.}x} = \frac{\sqrt{(S_x + \Delta_{S,\text{упр.}x}) + 2(\operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\alpha) \frac{mS_3(D_3 - S_3)}{(D_x + \Delta_{D,\text{упр.}x}) - (S_x + \Delta_{S,\text{упр.}x})}} - (S_x + \Delta_{S,\text{упр.}x})}{\operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\alpha}, \quad (8)$$

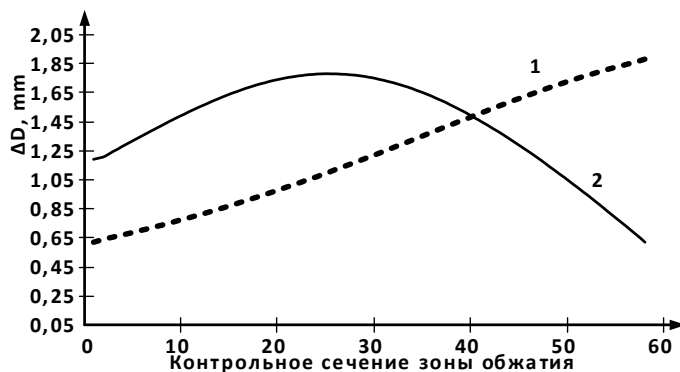
где $\Delta_{S,\text{упр.}x}$ – приращение толщины стенки из-за упругих деформаций клетки в сечении x ; $\Delta_{D,\text{упр.}x}$ – приращение диаметра конуса деформации из-за упругих деформаций клетки в сечении x .

Для анализа влияния на характер распределения ΔD_x величины начальной конусности и степени крутизны профиля образующей развертки гребня ручья калибра, а также тех же параметров образующей профиля рабочей поверхности оправки выбран маршрут прокатки труб из титанового сплава Gr-2 на стане ХПТ-55: $45 \times 2,1 \rightarrow 21 \times 1$ мм. Данный маршрут характеризуется 77,8% обжатием по площади поперечного сечения при обжатии толщины стенки в 52,38%. При этом наблюдается значительная величина обжатия по внутреннему диаметру 21,88 мм, при обжатии по толщине стенки в 1,1 мм.

Таким образом, оптимизация распределения величины ΔD_x вдоль конуса деформации для данного маршрута является актуальной проблемой, т.к. значительная величина обжатия по внутреннему диаметру трубы приводит как к увеличению свободного редуцирования трубы в зоне редуцирования конуса деформации, так и к увеличению степени редуцирования трубы в мгновенном очаге деформации. Оба этих параметра требуют оптимизации.

В случае применения конусной оправки для обеспечения оптимальной длины зоны редуцирования ее конусность должна быть равна $2\operatorname{tg}\alpha = 0,05$. В таком случае $0,5Z_{\text{диам}} = 1,4$ мм (см. рисунок 1) при длине зоны редуцирования в $L_{\text{ред}} = 57,18$ мм. Эти параметры вполне приемлемы, но применение такого типа рабочего инструмента в стане холодной пильгерной валковой прокатки приведет к значительной величине редуцирования уже наклепанной трубы в конце конуса деформации (рисунок 5, линия 1). Угроза появления рисок на внутренней поверхности трубы в этом случае будет максимальной. При анализе случая прокатки с применением оправки

с криволинейной образующей (рисунок 5, линия 2) обнаруживается характерный куполообразный характер распределения ΔD_x со значительным падением этой величины во второй половине зоны обжатия. Такой характер распределения ΔD_x вдоль конуса деформации является более оптимальным. Разница между величинами ΔD_x в конечном сечении зоны обжатия этих двух случаев применения оправки составляет 178%. Значит, данный маршрут и следует прокатывать на оправке с криволинейной образующей профиля рабочей поверхности, но оптимизировать ее параметры.



1 – конусная оправка ($2tg\alpha = 0,05$);
2 – оправка с криволинейной образующей профиля рабочей поверхности ($2tg\alpha = 0,001$, $n = 3,5$)

Рисунок 5. – Влияние типа применяемой в калибровке рабочего инструмента оправки на характер распределения обжатия по наружному диаметру трубы вдоль конуса деформации (сплав Gr-2, ХПТ-55, $45 \times 2,1 \rightarrow 21 \times 1$ мм, $m = 9$ мм)

На графиках рисунка 6 показано влияние начальной конусности образующей профиля рабочей поверхности оправки (равна начальной конусности образующей гребня ручья калибра) на характер распределения обжатия по наружному диаметру трубы вдоль конуса деформации (при степени крутизны $n = 1,5$ и подаче $m = 9$ мм).

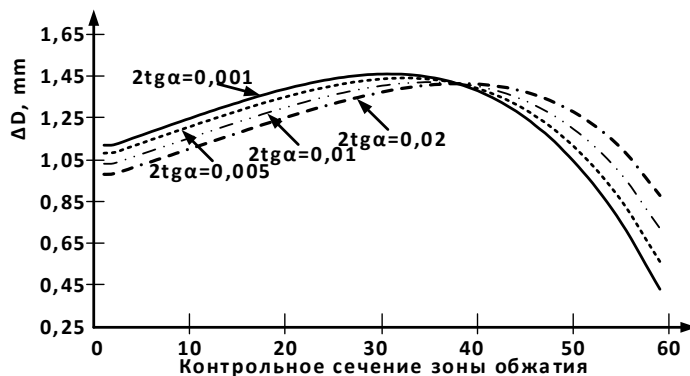


Рисунок 6. – Влияние начальной конусности образующей профиля рабочей поверхности оправки на характер распределения обжатия по наружному диаметру трубы вдоль конуса деформации (сплав Gr-2, ХПТ-55, $45 \times 2,1 \rightarrow 21 \times 1$ мм, $n = 1,5$, $m = 9$ мм)

Как видно из рисунка 6, при увеличении начальной конусности график ΔD_x смещается в сторону выхода металла из конуса деформации. Увеличивается величина редуцирования уже наклепанного металла в конце конуса. Так, с увеличением $2tg\alpha$ с 0,001 до 0,005 ΔD_x в конечном сечении зоны обжатия увеличивается на 31,02%, далее на 28,65 и 22,09%. Данный факт является отрицательным и повышает вероятность возникновения риска на внутренней поверхности трубы. Максимальное значение ΔD_x вдоль всего конуса изменяется в пределах 1,41–1,48 мм, что не является критичным.

На графиках рисунка 7 показано влияние степени крутизны образующей профиля рабочей поверхности оправки и образующей гребня ручья калибра на характер распределения обжатия по наружному диаметру трубы вдоль конуса деформации (при $2tg\alpha = 2tg\gamma = 0,001$ и подаче $m = 9$ мм). Согласно графикам с увеличением степени крутизны степень редуцирования трубы увеличивается в начале конуса деформации и уменьшается в конце. Так, изменение n с 1,5 до 2 увеличивает ΔD_x в середине конуса на 8%, далее на 5,6, и 4,1% с каждым шагом соответственно. При этом уменьшение ΔD_x в конце конуса незначительно (исключая случай при

$n = 2 \rightarrow n = 1,5$, где ΔD_x увеличивается на 3,5–6,4%, в зависимости от конкретного сечения в конце конуса). Следовательно, следует выбирать средние значения n .

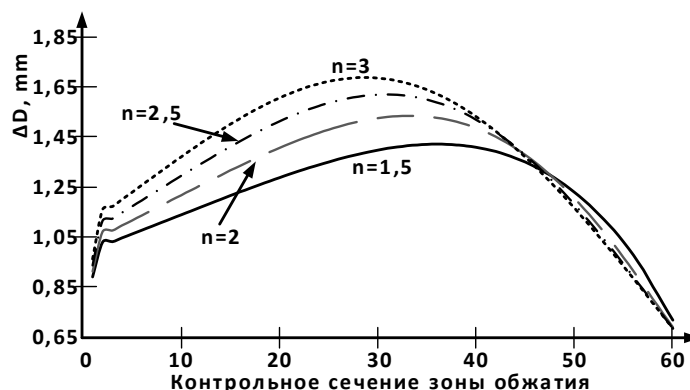


Рисунок 7. – Влияние степени крутизны образующей профиля рабочей поверхности оправки и образующей гребня ручья калибра на характер распределения обжатия по наружному диаметру трубы вдоль конуса деформации (сплав Gr-2, ХПТ-55, 45×2,1→21×1 мм, $2tg\alpha = 2tg\gamma = 0,001$, $m = 9$ мм)

В начале конуса деформации присутствует зона редуцирования. Величина редуцирования трубы вдоль этой зоны в случае применения оправки с криволинейной образующей профиля рабочей поверхности оправки регулируется принятием значения величины $Z_{\text{диам}}$ (см. рисунок 1). Длина же зоны зависит от изогнутости профилей оправки и развертки гребня ручья калибра. На рисунке 8 показано влияние начальной конусности и степени крутизны (от которых и зависят параметры указанной изогнутости) на длину зоны редуцирования конуса деформации.

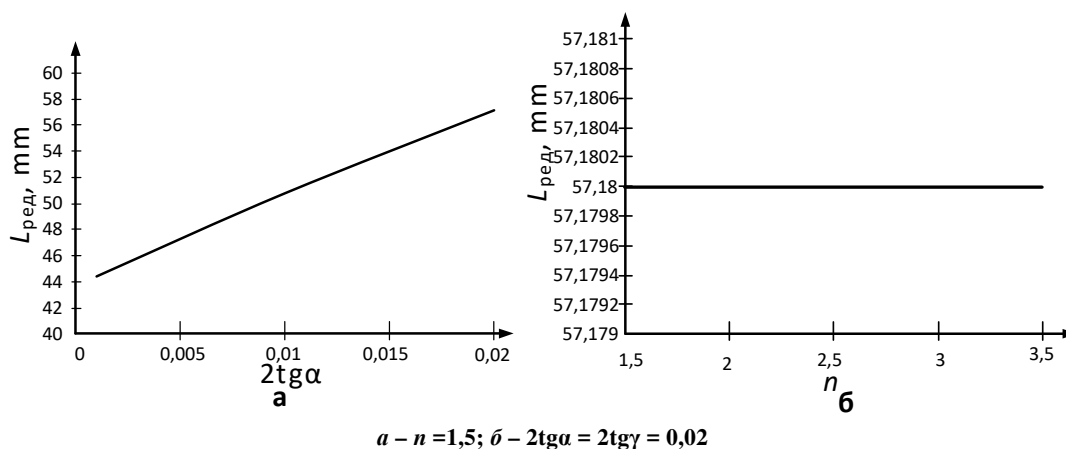


Рисунок 8. – Влияние начальной конусности (а) и степени крутизны (б) на длину зоны редуцирования конуса деформации (сплав Gr-2, ХПТ-55, 45×2,1→21×1 мм, $m = 9$ мм)

По графикам (см. рисунок 8) на длину зоны редуцирования ($L_{\text{ред}}$) оказывает влияние именно начальная конусность. Чем больше ее величина, тем больше и длина зоны. При увеличении $2tg\alpha$ с 0,001 до 0,1 $L_{\text{ред}}$ увеличивается на 14,028%, а с 0,01 до 0,02 – еще на 12,51%. Изменение степени крутизны не приводит к изменению значений длины зоны редуцирования конуса деформации. В данном случае следует выбирать средние значения $2tg\alpha = 2tg\gamma$, т.к. малая длина зоны редуцирования вызовет увеличение значений редуцирования в мгновенном очаге деформации при его прохождении зоны редуцирования конуса деформации. Слишком большие значения $2tg\alpha = 2tg\gamma$ тоже не оптимальны (см. рисунок 5). Их применение вызовет увеличение степени редуцирования наклепанного металла в конце конуса деформации.

Заключение.

1. С точки зрения оптимизации распределения ΔD_x вдоль конуса деформации наиболее приемлемо использование калибровок с криволинейной образующей профиля рабочей поверхности оправки.
2. В случае использования калибровки пропорциональных обжатий параметрами, управляющими распределением ΔD_x вдоль конуса деформации, являются начальная конусность и степень крутизны профиля.

3. На длину зоны редуцирования конуса деформации влияет начальная конусность. При минимально возможных значениях $Z_{\text{диам}}$ следует выбирать средние значения начальной конусности. Уменьшая начальную конусность оправки, следует уменьшать и $Z_{\text{диам}}$, чтобы обеспечить как можно меньшую конусность зоны редуцирования конуса деформации. Кроме этого, меньшие значения $Z_{\text{диам}}$ требуют использования заготовок с повышенной точности геометрии профиля поперечной поверхности (во избежание заката цилиндрической части оправки при прокатке трубы-заготовки с меньшим внутренним диаметром).

4. Степень крутизны не оказывает влияния на длину зоны редуцирования конуса деформации.

5. С точки зрения оптимизации распределения ΔD_x вдоль конуса деформации наиболее приемлемо использовать оправки с минимально возможной начальной конусностью образующей профиля рабочей поверхности оправки. Следует заметить, что при применении оправок с малой начальной конусностью затрудняется настройка стана на определенную толщину стенки. Поэтому не следует использовать оправки с $2\text{tg}\alpha = 2\text{tg}\gamma < 0,005$. Необходимо также учитывать влияние $2\text{tg}\alpha$ на длину зоны редуцирования (см. п. 2 заключения).

6. С точки зрения оптимизации распределения ΔD_x вдоль конуса деформации следует выбирать калибровки со средними значениями степени ($n = 2-2,5$ в данном случае калибровки).

ЛИТЕРАТУРА

- Pilipenko, S.V. Deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the Ti-3Al-2.5V alloy / S.V. Pilipenko, V.U. Grigorenko, O.O. Bohdanov // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2021. – № 1. – С. 78–83. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/078>
- Пилипенко, С.В. Исследование точности определения обжатия по толщине стенки вдоль конуса деформации за двойной ход клетки станов ХПТ / С.В. Пилипенко // *Сталь*. – 2017. – №. 2. – С. 94–97.
- Пилипенко, С.В. Анализ влияния технологических факторов процесса холодной прокатки труб на изменение распределения Q-фактора вдоль конуса деформации / С.В. Пилипенко // *Изв. высш. учеб. заведений. Цвет. металлургия*. – 2019. – № 3. – С. 30–35.
- Мокроусов, В.И. Влияние на прочность стальных толстостенных труб дефекта риска на внутренней поверхности / В.И. Мокроусов // *Молодой ученый*. – 2015. – № 19(99). – С. 148–153.
- Bettayeb, M. Establishment of a database and a classification of the defects in the metal of pipes according to their severity / M. Bettayeb, E. Bouali, N. Abdelbaki, M. Gaceb // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 42. P. 607–615. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.453
- Богатов, А.А. Технологические особенности процесса раскатки труб на короткой оправке / А.А. Богатов, Д.А. Павлов, Е.А. Павлова // *Науч.-техн. ведомости С.-Петербур. гос. политехн. ун-та*. – 2015. – №. 3 (226). – С. 54–59. DOI: 10.5862/JEST.226.6
- Изучение трансформации дефектов поверхности при производстве труб в условиях ТПА-80 / И.Н. Черных [и др.] // *Вестн. ЮУрГУ. Сер. Металлургия*. – 2019. – № 4. – С. 27–36.
- Повреждения труб из сплавов системы Zr-Nb в процессе их холодной прокатки / М.И. Сергачева [и др.] // *Вопросы атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы*. – 2019. – № 4 (100). – С. 102–117.
- Мищенко, А.В. Состояние и тенденции развития производства холоднокатаных труб из сплавов на основе титана / А.В. Мищенко // *Металл и литье Украины*. – 2019. – № 3-4. – С. 310–311.
- Орлов, Г.А. Холодная прокатка и волочение труб / Г.А. Орлов. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 188 с.
- Шевакин, Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю.Ф. Шевакин. – М. : Металлургия, 1963. – 212 с.
- Геометрия прокатного инструмента и алгоритмы его расчета для станов холодной прокатки труб / В.Ф. Балакин [и др.] // *Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес / под ред. А.Г. Величко, В.И. Большакова, В.Ф. Балакина*. – Днепропетровск : Экономика, 2015. – С. 434–450.
- Фролов, В.Ф. Холодная пильгерная прокатка труб / В.Ф. Фролов, В.Н. Данченко, Я.В. Фролов. – Днепропетровск : Пороги, 2005. – 255 с.
- Виробництво труб холодною деформацією / В.Ф. Балакін [та інш.]. – Ч. II. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2016. – 36 с.

REFERENCES

- Pilipenko, S.V., Grigorenko, V.U., & Bohdanov, O.O. (2021). Deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the Ti-3Al-2.5V alloy. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 78–83. (In Engl.). <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/078>
- Pilipenko, S.V. (2017). Issledovaniye tochnosti opredeleniya obzhatiya po tolshchine stenki vdol' konusa deformatsii za dvoynoy khod kleti stanov KHPT [Investigation of the accuracy of determining the reduction in wall thickness along the deformation cone for a double stroke of the stand of KhPT mills]. *Stal'* [Steel], (2), 94–97. (In Russ., abstr. in Engl.).
- Pilipenko, S.V. (2019). Analiz vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov protsessa kholodnoy prokatki trub na izmeneniye raspredeleniya Q-faktora vdol' konusa deformatsii [Analysis of the influence of technological factors of the process of cold rolling of pipes on the change in the distribution of the Q-factor along the strain cone]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tsvetnaya metallurgiya* [News of higher educational institutions. Non-ferrous metallurgy], (3), 30–35. (In Russ., abstr. in Engl.).
- Mokrousov, V.I. (2015). Vliyaniye na prochnost' stal'nykh tolstostennykh trub defekta riska na vnutrenney poverkhnosti [Influence on the strength of steel thick-walled pipes of the risk defect on the inner surface]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 19(99), 148–153. (In Russ., abstr. in Engl.).

5. Bettayeb, M., Bouali, E., Abdelbaki, N., & Gaceb, M. (2012). Establishment of a database and a classification of the defects in the metal of pipes according to their severity. *Procedia Engineering*, (42), 607–615. (In Engl.). DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.453
6. Bogatov, A.A., Pavlov, D.A., & Pavlova, Ye.A. (2015). Tekhnologicheskiye osobennosti protsessa raskatki trub na korotkoy opravke [Technological features of the process of rolling pipes on a short mandrel]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Cankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University], 2(226), 54–59. (In Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.5862/JEST.226.6.
7. Chernykh, I.N., Ust'yantsev, V.L., Litvinov, M.A., & Krivonogov, I.N. (2019). Izucheniye transformatsii defektov poverkhnosti pri proizvodstve trub v usloviyakh TPA-80 [Study of the transformation of surface defects in the production of pipes under the conditions of TPA-80]. *Vestnik YUURGU. Ser. Metallurgiya* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy], (4), 27–36. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Sergacheva, M.I., Nikulina, A.V., Ozhmegov, K.V., & Kabanov A.A. (2019). Povrezhdeniya trub iz splavov sistemy Zr-Nb v protsesse ikh kholodnoy prokatki [Damage to pipes from alloys of the Zr-Nb system during their cold rolling]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Materialovedeniye i novyye materialy* [Questions of atomic science and technology. Series: Materials Science and New Materials], 4(100), 102–117. (In Russ., abstr. in Engl.).
9. Mishchenko, A.V. (2019). Sostoyaniye i tendentsii razvitiya proizvodstva kholodnokatanykh trub iz splavov na osnove titana [Status and development trends in the production of cold-rolled pipes from alloys based on titanium]. *Metall i Lit'ye Ukrainy* [Metal and Casting Ukraine], 3-4, 310–311. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Orlov, G.A. (2011). *Kholodnaya prokatka i volocheniye trub* [Cold rolling and pipe drawing]. Yekaterinburg: UrFU. (In Russ.).
11. Shevakin, YU.F. (1963). *Kalibrovka i usiliya pri kholodnoy prokatke trub* [Calibration and forces during cold rolling of pipes]. Moscow: Metallurgiya. (In Russ.).
12. Balakin, V.F., Kucherenko, V.R., Solov'yeva, I.A. & Pilipenko, S.V. (2015). Geometriya prokatnogo instrumenta i algoritmy yego rascheta dlya stanov kholodnoy prokatki trub [Geometry of a rolling tool and algorithms for its calculation for tube cold rolling mills]. In A.G. Velichko (Eds.), V.I. Bol'shakova (Eds.) & V.F. Balakina (Eds.) *Sovershenstvovaniye proizvodstva stali, trub i zheleznodo-rozhnykh koles* [Improving the production of steel, pipes and railway wheels] (434–450). Dnepropetrovsk: Ekonomika. (In Russ.).
13. Frolov, V.F., Danchenko, V.N. & Frolov, Ya.V. (2005). *Kholodnaya pil'gernaya prokatka trub* [Cold pilger rolling of pipes]. Dnepropetrovsk: Porogi. (In Russ.).
14. Balakin, V.F., Solovyova, I.A., Kucherenko, V.R., Pylypenko, S.V. & Nykolayenko, Yu.M. (2016). *Vyrobnytstvo trub kholodnoyu de-formatsiyeyu: Chastyna II* [Production of pipes by cold deformation (Part II)]. Dnepropetrovsk: NMetAU. (In Ukrain.).

Поступила 17.02.2022

**OPTIMIZATION OF THE CALIBRATION PARAMETERS OF THE CHP STATUS
WITH THE PURPOSE OF OBTAINING A RATIONAL DISTRIBUTION OF CONSUMPTION
ALONG THE PIPE DIAMETER ALONG THE CONE OF DEFORMATION**

S. PYLYPENKO

The aim of the work is to study the influence on the nature of the distribution of compression along the diameter along the deformation cone of such parameters of calibration of the working tool of cold pilger rolling mills of pipes as the value of the initial taper and the degree of steepness of the profile of the generatrix of the groove crest of the gauge, and the same parameters of the generatrix of the profile of the working surface of the mandrel. The studies were based on the developed method for calculating the reduction in diameter along the deformation cone, on a number of dependencies derived by different authors to determine the geometric parameters of the working tool of the CPT mill, to determine the deformation parameters of the CPT process. The proposed method allows to partially level the inaccuracy of the existing formulas. Optimization of the nature of the distribution of the amount of compression along the diameter along the deformation cone makes it possible to reduce the likelihood of such a defect as a scratch on the inner surface of a cold-rolled pipe. The influence of the calibration parameters of proportional reductions on the nature of the reduction distribution along the diameter along the cone of deformation has been studied. It was found that from the point of view of optimizing the distribution of compression along the diameter along the cone of deformation, it is most appropriate to use calibrations with a curvilinear generatrix of the profile of the working surface of the mandrel. Such calibrations have great opportunities for optimization and allow choosing the most acceptable deformation modes

Keywords: cold-rolled pipes (*uau tubes*), Cold-pilger rolling (*uau cold pilgering*), surface roughness (*uau surface finish*), substandard product (*defective product, reject*), scratches, reduction in diameter, deformation cone, calibration data, work tool (*uau working tools*).