

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЛИБРОВКИ ХОЛОДНОПРОКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОКАТКИ ТРУБ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

*Пилипенко С. В.<sup>1</sup>, Штемпель О. П.<sup>1</sup>*

1) Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь

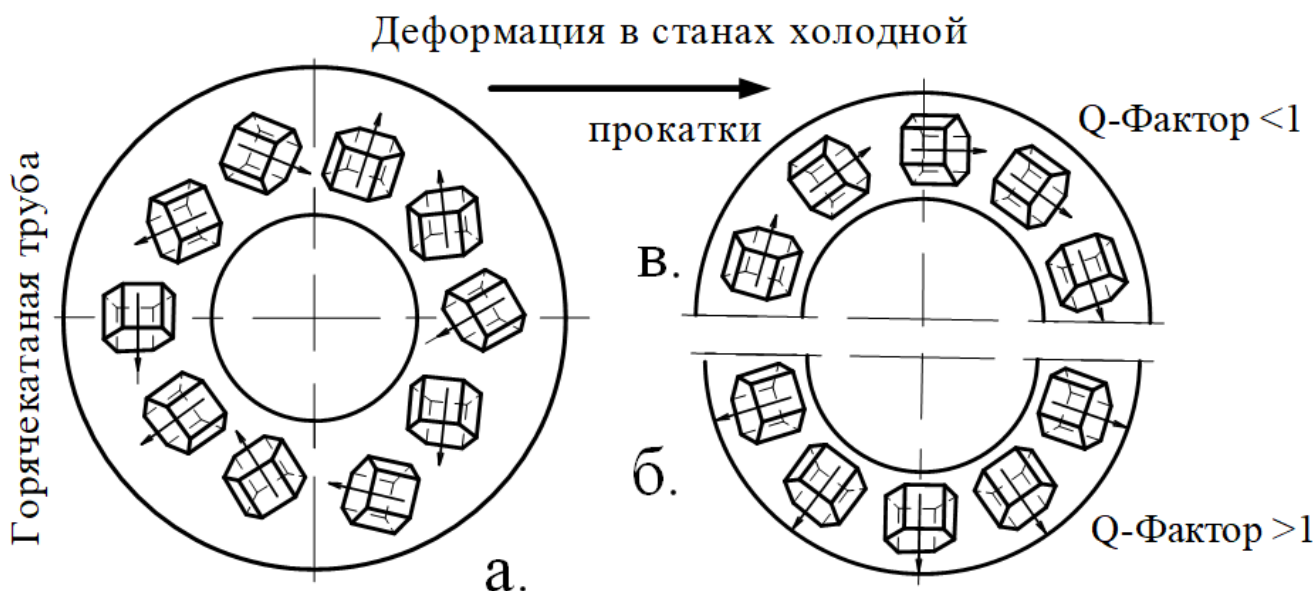
Трубопрокатные изделия из титановых сплавов применяется в ответственных частях машин и механизмов в аэрокосмической, атомной, отраслях, в судостроении, в элементах трансмиссии и тормозных систем [1], и даже в двигателях наземного электротранспорта [1]. Титановые сплавы типа Ti-3AL-2.5V имеют гексагональную плотноупакованную решетку, с ярко выраженной анизотропией механических свойств. Контролируя распределение истинной деформации по толщине стенки к истинной деформации по среднему диаметру (Q-фактор), как из прохода в проход станов холодной прокатки труб, так и вдоль рабочего конуса каждого отдельного прохода, можно трансформировать изначальную хаотическую ориентацию зерен металла трубы либо в радиальную, либо в тангенциальную. Таким образом, получив необходимую структуру, можно дополнительно улучшить технологические параметры трубопроводов.

Целью данной работы являются исследования влияния степени крутизны гребня калибра и степени крутизны образующей оправки стана ХПТ на распределение Q-фактора вдоль конуса деформации при различных значениях начальной конусности оправки ( $2\operatorname{tg}\alpha$ ) с криволинейной образующей. Подбор оптимальных параметров прокатки труб из титанового сплава Ti-3AL-2.5V, используемых в гидравлических системах машин и механизмов.

Изначально после горячей прокатки трубы из сплава Ti-3-2.5V имеют хаотическую ориентацию зерен (рис. 1, а), далее, после холодной пильгерной прокатки, в зависимости от распределения Q-фактора из прохода в проход (и вдоль конуса деформации в каждом проходе) можно получить либо радиальную структуру (высокое значение Q-фактора, рис. 1), либо тангенциальная структура структуру (высокое значение Q-фактора) [1–3]. Величину Q-фактора в любом контрольном сечении конуса деформации (рис. 2) можно определить из зависимости:

$$Q = \frac{\ln \frac{S_x}{S_{x-\Delta x}}}{\ln \frac{D_x - S_x}{D_{x-\Delta x} - S_{x-\Delta x}}}, \quad (1)$$

где  $D_x$  и  $S_x$  – толщина стенки и диаметр трубы в сечении  $x$  после деформации за двойной ход клетки;  $D_{x-\Delta x}$  и  $S_{x-\Delta x}$  – диаметр и толщина стенки трубы в сечении до деформации;  $x$  – координата сечения от начала зоны редуцирования;  $x-\Delta x$  – расстояние, на которое сдвигается сечение  $x$ , в ходе деформации за двойной ход клетки.



*а – труба после горячей деформации; б – высокое значение Q-Фактора во время холодной деформации, радиальная структура; в – низкое значение Q-фактора во время холодной деформации, тангенциальная структура*

*Рисунок 1 – Влияние холодной прокатки на возможную на текстуру металла труб [4, 5]*

Множественными исследованиями доказано [1–4], что из-за ориентации зерен трубы с радиальной структурой имеют следующие преимущества: повышенную усталостную прочность; повышенную пластичность; при данной величине предела прочности, повышенное значение предела текучести и более высокую вязкость.

Для расчетного исследования распределения Q-фактора вдоль конуса деформации выбран следующий маршрут стана ХПТ-55: 38,1x2,2-32,1x1,47 мм. Относительное обжатие по площади поперечного сечения  $\varepsilon_S$  составляет 42,99 %. Относительное обжатие по диаметру  $\varepsilon_D$  равно 15,75 %. Относительное обжатие по толщине стенки  $\varepsilon_s$  составляет 33,18 %. Максимально возможная начальная конусность оправки  $2tg\alpha$  равна 0,0101. Величина Q-фактора за проход  $Q_S$  составляет 1,078. Для моделирования был создан программный продукт «Q-Factor. Cold pilger tube rolling» (рис. 2), который не только рассчитывает калибровку инструмента и рассчитывает силовые параметры деформации, а и позволяет оптимизировать характер на распределения Q-фактора вдоль конуса деформации (рис. 3).

На рисунке 4 показаны графики зависимости распределение Q-фактора вдоль конуса деформации от степени крутизны гребня валкакалибра. Результаты моделирования показывают, что наиболее оптимальным является использование калибровок с возможно меньшими значениями степени крутизны гребня калибра и возможно меньшими значениями начальной конусности.



Рисунок 2 – Предложенный алгоритм ведения расчета параметров процесса ХПТ

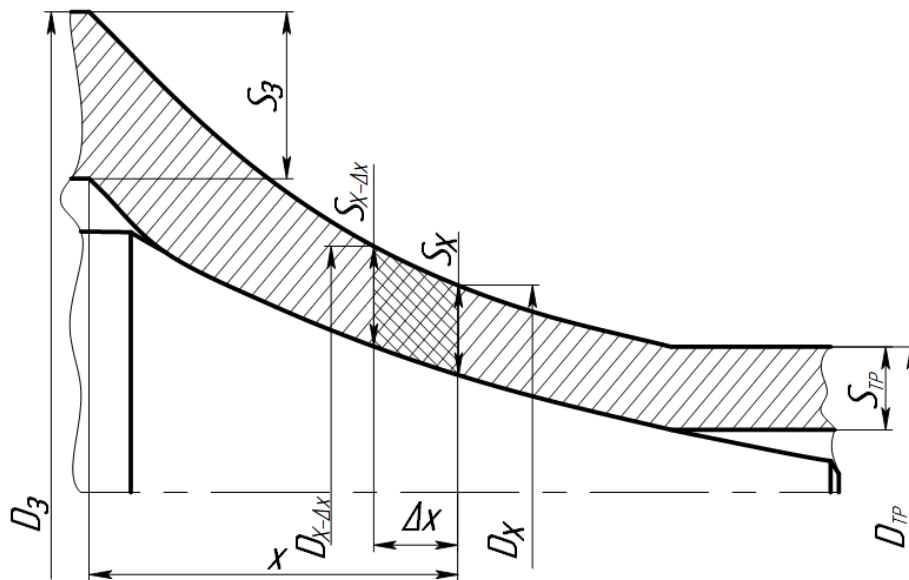


Рисунок 3 – Схема к определению  $D_{x-\Delta x}$  и  $S_{x-\Delta x}$  в произвольно выбранном сечении конуса деформации стана ХПТ:  $D_x$  и  $S_x$  – геометрические параметры рассматриваемого сечения после деформации двойным ходом клетки;  $D_{x-\Delta x}$  и  $S_{x-\Delta x}$  – геометрические параметры рассматриваемого сечения до деформации;  $\Delta x$  – смещение рассматриваемого сечения за двойной ход клетки

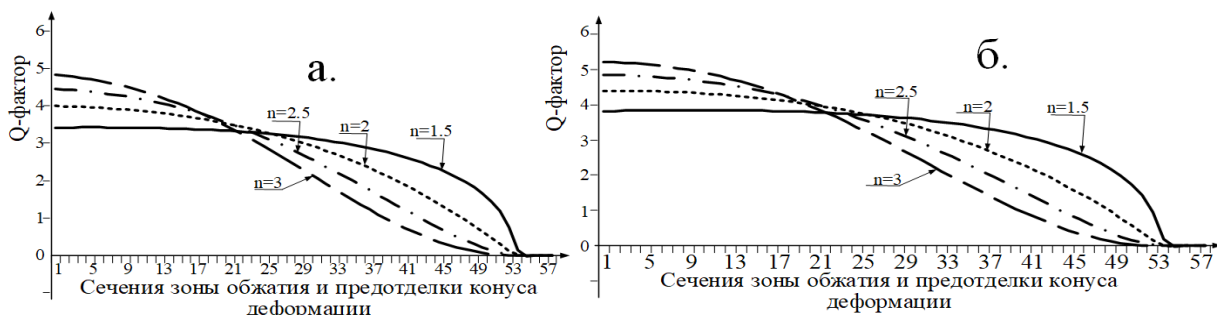


Рисунок 4 – Влияние степени крутизны образующей гребня калибра на распределение Q-фактора вдоль зон обжатия и предотделки конуса деформации (маршрут – 38,1x2,2-32,1x1,47, величина подачи  $t$  составляет 5): а –  $2tg\alpha$  составляет 0,01; б –  $2tg\alpha$  составляет 0,008

**Выводы.** Представлен алгоритм программы «Q-Factor. Cold pilger tube rolling», позволяющий оптимизировать параметры калибровки инструмента станов ХПТ, для прокатки труб, используемых в гидравлических системах машин и механизмов. Анализ влияния степени крутизны образующей гребня калибра на распределение Q-фактора вдоль зон обжатия и предотделки конуса деформации (рис. 2) показывает, что для данного сортамента труб предпочтительным является использование степеней крутизны  $n$ , равных 1,5, т.е. меньших значений крутизны гребня калибра. В этом случае металл находится в более выгодных деформационных условиях, с точки зрения обеспечения необходимого типа структуры металла титановых труб из сплава Ti-3Al-2.5V, используемых в гидравлических системах машин и механизмов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pilipenko, S. V. A 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, V.A. Kozechko, O.O. Bohdanov / Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2021. – №1. – p. 78–83.
2. Bohdanov O. Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars / O. Bohdanov, V. Protsiv, V. Derbaba, S. Patsera Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2020. – №1. p. 41–45.
3. Пилипенко, С. В. Анализ влияния технологических факторов процесса холодной прокатки труб на изменение распределения Q-фактора вдоль конуса деформации / С. В. Пилипенко // Известия вузов. Цветная металлургия. – № 3. – 2019. – С. 30–35.
4. Forney, C.E. Ti 3Al 2,5V Seamless tubing engineering guide [Текст] / С.Е. Forney, S. E. Meredith. – Washington: Sandvik Special Metals Corp, 1990. – 144 p.
5. Forney, C.E. Ti 3Al 2,5V seamless tubing engineering guide [Текст] / С.Е. Forney, H. S. Schemel. – Washington: Sandvik Special Metals Corp, 1987. – 115 p.

УДК 539.3+539.389+620.17

### НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В СЕЧЕНИИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО СТЕРЖНЯ ПРИ РЕВЕРСЕ НАГРУЗКИ

*Холодарь Б.Г.*

Брестский государственный технический университет  
г. Брест, Республика Беларусь

В большинстве случаев элементы конструкций или машин при эксплуатации не выходят за грань упругих деформаций, даже с некоторым наперед назначенным запасом. Материалы при этом рассматриваются как упругие, и наличие перемен знака нагружения (реверс нагрузки) не сказывается на работоспособности