

УДК 681.32

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЛИБРОВКИ  
ХОЛОДНОПРОКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОКАТКИ  
ТРУБ, ИСПОЛЗУЕМЫХ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ  
СИСТЕМАХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

OPTIMIZATION OF CALIBRATION PARAMETERS OF COLD  
ROLLING TOOLS FOR ROLLING PIPES USED IN HYDRAULIC  
SYSTEMS OF MACHINES AND MECHANISMS

**С. В. Пилипенко**<sup>1</sup>, канд. техн. наук,

**В. У. Григоренко**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.,

<sup>1</sup>УО Полоцкий государственный университет,  
г. Новополоцк, Беларусь

<sup>2</sup>Национальный технический университет  
«Днепровская политехника», Днепр, Украина

S. Pilipenko<sup>1</sup>, Ph.D in Engineering,

V. Grigorenko<sup>2</sup>, Doctor of technical Sciences, Professor,

<sup>1</sup>Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus

<sup>2</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

*Предложен метод оптимизации параметров инструмента для холодной пильгерной прокатки, обеспечивающий необходимое распределение Q-фактора вдоль конуса деформации для получения требуемого типа текстуры металла для труб из титанового сплава Ti-3Al-2.5V. Метод позволяет оптимизировать параметры калибровки (маршрут прокатки, начальный конус оправки с криволинейной образующей, степень наклона гребня калибра и оправки) для получения требуемого типа текстуры металла холоднокатаного проката трубы из титанового сплава Ti-3Al-2.5V.*

*A method is proposed for optimizing the parameters of the tool for cold pilger rolling, which provides the necessary distribution of the Q-factor along the deformation cone to obtain the required type of metal texture for pipes made of titanium alloy Ti-3Al-2.5V. The method allows you to optimize the calibration parameters and (rolling route, initial taper of a mandrel with a curved generatrix, the degree of slope of the*

*ridge of the gauge and mandrel) to obtain the required type of metal texture of cold-rolled pipes from titanium alloy Ti-3Al-2.5V.*

*Ключевые слова: холоднокатаные трубы, титановый сплав Ti-3Al-2.5V, тип текстуры, холоднокатаная прокатка труб, начальный конус оправки, степень наклона фланца, калибр и оправка, Q-фактор.*

*Keywords: cold rolled tubes, titanium alloy Ti-3Al-2.5V, texture type, cold pilger roll rolling of tubes, initial taper of the mandrel, degree of slope of the flange, gauge and mandrel, Q-factor.*

## ВВЕДЕНИЕ

Трубопрокатные изделия из титановых сплавов применяются в ответственных частях машин и механизмов в аэрокосмической, атомной, отраслях, в судостроении, в элементах трансмиссии и тормозных систем, 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. Получив необходимую структуру, можно дополнительно улучшить технологические параметры трубопроводов.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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 ( $2\text{tg}\alpha$ ) с криволинейной образующей. Подбор оптимальных параметров прокатки труб из титанового сплава Ti-3Al-2.5V, используемых в гидравлических системах машин и механизмов

## АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изначально, после горячей прокатки трубы из сплава Ti-3-2.5V имеют хаотическую ориентацию зерен (рисунок 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, рисунок 1), либо тангенциальную структуру (высокое значение Q-фактора) [1–3].

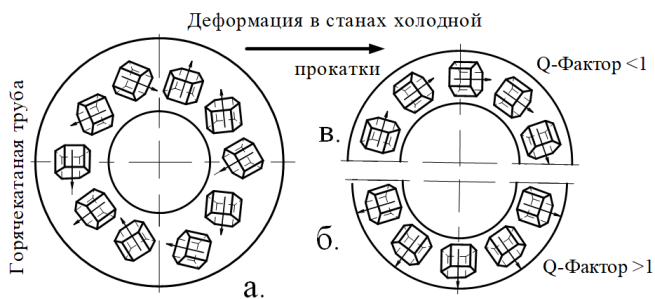


Рисунок 1 – Влияние холодной прокатки на возможную на текстуру металла труб [4, 5]

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

Величину Q-фактора в любом контрольном сечении конуса деформации (рисунок 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.

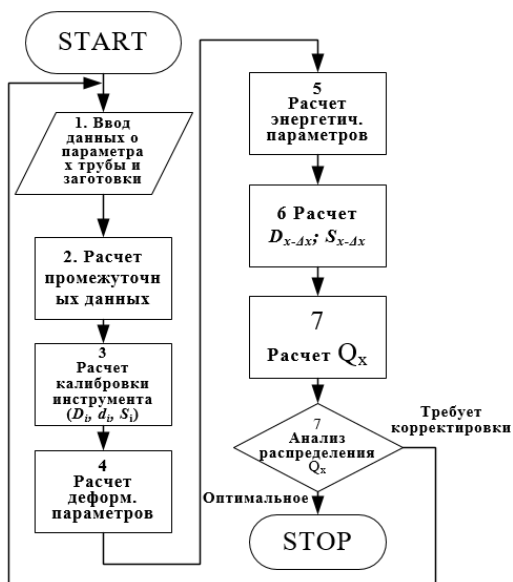


Рисунок 2 – Предложенный алгоритм ведения расчета параметров процесса ХПТ

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.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для расчетного исследования распределения Q-фактора вдоль конуса деформации выбран следующий маршрут стана ХПТ-55: 38,1×2,2–32,1×1,47 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» (рисунок 2), который не только рассчитывает калибровку инструмента и рассчитыва-

ет силовые параметры деформации, а и позволяет оптимизировать характер на распределения Q-фактора вдоль конуса деформации (рисунок 3).

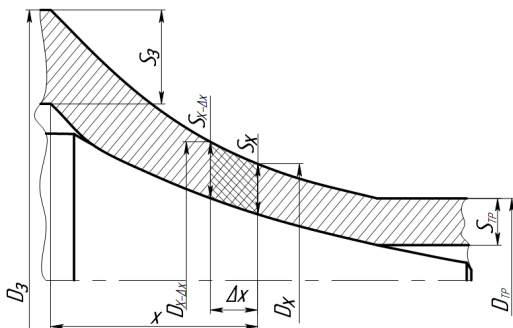


Рисунок 3 – Схема к определению  $D_{x-\Delta x}$  и  $S_{x-\Delta x}$  в произвольно выбранном сечении конуса деформации стана ХПТ  
 $D_x$  и  $S_x$  – геометрические параметры рассматриваемого сечения  
 $D_{x-\Delta x}$  и  $S_{x-\Delta x}$  – геометрические параметры рассматриваемого сечения до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

Оценка влияния степени крутизны гребня вала на распределение Q-фактора представлена на рисунке 4.

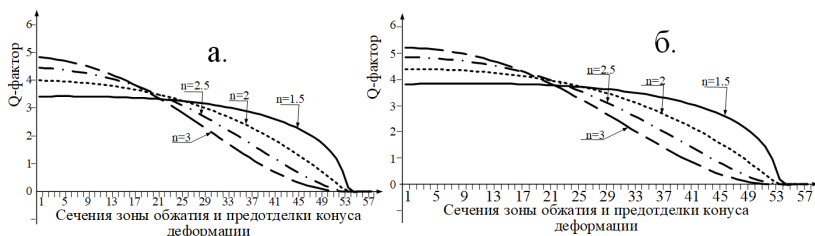


Рисунок 4 – Влияние степени крутизны образующей гребня калибра на распределение Q-фактора вдоль зон обжатия и предотделки конуса деформации (маршрут – 38,1×2,2-32,1×1,47, величина подачи  $t$  составляет 5)  
 а –  $2\text{tg}\alpha$  составляет 0,01; б –  $2\text{tg}\alpha$  составляет 0,008

## ВЫВОДЫ

Представлен алгоритм программы «Q-Factor. Cold pilger tube rolling» позволяющий оптимизировать параметры калибровки хо-

однопрокатного инструмента 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 показывает, что для данного сортамента труб предпочтительным является использование степеней крутизны  $n$ , равных 1,5. При этом, распределение Q-фактора становится равномерным по длине конуса деформации, снижение Q-фактора ниже единицы наступает в более поздних сечениях. В этом случае металл находится в более выгодных условиях, с точки зрения обеспечения необходимого типа структуры металла титановых труб из сплава Ti-3Al-2.5V, используемых в гидравлических системах машин и механизмов.

## ЛИТЕРАТУРА

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. DOI: 10.33271/nvngu/2021-1/078.

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. – DOI: 10.33271/nvngu/2020-1/041.

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] / C.E. 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] / C. E. Forney, H. S. Schemel. – Washington : Sandvik Special Metals Corp, 1987. – 115 p.

Представлено 20.04.2021