

УДК 621.774.01

Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И., Лозовой В.И., Квитка Н.Ю.,  
Бойко В.В., Бойко И.П., Олейник В.С.

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ БЕЗОПРАВОЧНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ НА СТАНАХ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ГРУППОВЫМ ПРИВОДОМ

Наведено результати розрахунку параметрів початкової, кінцевої та стаціонарної стадій процесу безоправочної прокатки труб в станах з диференційно-груповим приводом.

Приведены результаты расчета параметров начальной, конечной и установившейся стадий процесса безоправочной прокатки труб в станах с дифференциально-груповым приводом.

The results of parameters calculation for initial, final and established stages of plugless rolling process of tubes in mills with a different-group roll drives are given.

### Введение.

До недавнего времени во всех известных методиках определение кинематических, деформационных и энергосиловых параметров формоизменения труб в непрерывных станах безоправочной продольной прокатки осуществлялось путем *последовательного* дискретного анализа условий формоизменения в каждой клетке *отдельно* [1, 2 и др.]. В последние годы предложены решения, основанные на связи параметров деформации во всех клетках стана в единую систему уравнений [3-7] и позволяющие:

- учитывать возможность пробуксовки валков по поверхности металла в очаге деформации (т.е. анализировать режимы деформации, при которых катающие диаметры  $D_{ki}$  в части клеток стана больше идеальных диаметров валков  $D_{ui}$  или меньше диаметров валков по вершинам калибров  $D_{bi}$ ) [4-7];

- определять параметры процесса как в установившейся, так и в неустановившихся (заполнение и освобождение стана) стадиях прокатки [4];

Кроме того, современные математические модели для виртуального изучения процесса непрерывной безоправочной прокатки труб учитывают влияние параметров калибровки валков [6-8], изменение температуры трубы и условий контактного взаимодействия от клетки к клетке стана [3,4,7,9].

**Проблема.** Расширение сортамента и номенклатуры продукции, повышение требований к точности и качеству труб предопределили необходимость корректировки параметров безопрочной прокатки труб на редуционном и калибровочном станах ТПА “30-102” ЗАО “Интерпайп Нико Тьюб”. На основании анализа ранее выполненных исследований [5,10] было предложено перейти от использования на каждом из станов одной универсальной базовой калибровки валков к применению двух специальных калибровок, одна из которых предназначалась бы для прокатки относительно тонкостенных труб с отношением стенки  $S_t$  к диаметру  $D_t$  менее 0,1, а вторая – для толсто-

стенных труб с отношением  $\frac{S_t}{D_t} > 0,1$ . Практическая реализация тако-

го решения невозможна без математического моделирования процесса прокатки с целью определения окружных скоростей основных и вспомогательных двигателей стана, а также расчета энергосиловых параметров формоизменения и их сопоставления с допустимыми по условиям безопасной работы оборудования значениями.

**Постановка задачи.** Математическая модель установившегося процесса прокатки рассматривалась как система  $2N$  уравнений (здесь  $N$  - число клеток непрерывного стана), половина из которых описывают условия изменения стенки заготовки  $S_i$  (здесь  $i$  - порядковый номер клетки непрерывного стана), а остальные – являются условием равновесия объемов металла в очаге деформации каждой  $i$ -той клетки под действием приложенных к ним сил [3,4]. В отличие от известных работ [1-4], катающий диаметр  $D_{ki}$  определяли из условия совпадения линейных скоростей поверхностей калибров валков и заготовки не на выходе из очага деформации, а в сечении, соответствующем средней вытяжке<sup>4</sup>.

В “базовом” варианте задачу определения параметров прокатки формулировали следующим образом.

а). *Исходно заданы:*

- скорость заготовки  $V_0$  (м/с) на входе в первую клетку стана в установившейся стадии процесса;

- толщина стенки трубы  $S_t$  (мм);

---

<sup>4</sup> ГУЛЯЕВ Ю.Г., ШИФРИН Е.И., КВИТКА Н.Ю. ЗАЯВКА НА ПАТЕНТ УКРАИНЫ №200709408 ОТ 02.09.07Г. С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ РЕШЕНИЕМ О ВЫДАЧЕ ПАТЕНТА ОТ 06.03.08Г.

- толщина стенки заготовки  $S_0$  (или, что тоже самое, средний по стану коэффициент пластического натяжения в установившейся стадии прокатки  $Z_{cp}$ );

- дополнительные условия (материал заготовки и его реологические характеристики, температура заготовки до прокатки, закон внешнего трения и т.д.).

б). *Необходимо определить*: окружные скорости главного двигателя  $N_G$  и вспомогательного двигателя  $N_B$ , обеспечивающие осуществление прокатки с заданными параметрами.

При известных значениях  $N_G$  и  $N_B$  числа оборотов валков по клетям стана определяются в соответствии с зависимостью

$$n_{Bi} = \frac{N_G}{w_i^G} + \frac{N_B}{w_i^B} \quad (\text{здесь } w_i^G, w_i^B - \text{заданные конструкцией стана переда-}$$

точные отношения от главного и вспомогательного двигателей к валкам).

На *первом этапе* расчетов анализировали *установившийся* процесс прокатки, когда задача сводится к определению из системы уравнений  $2N$  неизвестных величин, а именно:

-  $N-1$  значений толщины стенки  $S_k$  во всех межклетевых промежутках стана (здесь  $k=1, 2, \dots, N-2, N-1$  - порядковый номер межклетевого промежутка, считая за  $k=1$  межклетевой промежуток между первой и второй клетью);

-  $N-1$  значений коэффициента пластического натяжения  $Z_k$  во всех межклетевых промежутках стана;

- значение окружной скорости главного двигателя  $N_G$ ;

- значение окружной скорости вспомогательного двигателя  $N_B$ .

На *втором этапе* расчетов анализировали *неустановившиеся* стадии прокатки. При этом считали, что окружные скорости валков в неустановившихся стадиях прокатки равны вычисленным на первом этапе расчетов окружным скоростям валков в установившейся стадии прокатки, что вполне обосновано для дифференциально-группового привода, который является «жестким» [2]. Как в случае заполнения, так и в случае освобождения стана, на любом этапе процесса прокатки, характеризуем числом  $N'$  клетей, в которых находится металл, при известном законе распределения окружных скоростей вал-

ков  $n_{Bi}$  и известной толщине стенки исходной заготовки  $S_0$  можно определить [6]:

- $N^l$  значений толщины стенки на выходе из клетей стана;
- $N^l - 1$  значение коэффициента переднего пластического натяжения в межклетевых промежутках стана;
- значение скорости трубы на входе в первую клеть  $V_0$  (при заполнении стана) или на выходе из последней клетки  $V_t$  (при освобождении стана).

На *третьем этапе* расчетов определяли энергосиловые параметры прокатки, используя методику, суть которой подробно изложена в работах [4,9]. В результате получали матрицы, в которых фиксировались расчетные значения технологических параметров в каждой  $i$ -той клетки в ходе заполнения (освобождения) каждой  $n$ -ной клетки стана и для установившегося процесса прокатки. В результате анализа матриц давлений  $P_{i,n}$  и моментов  $M_{i,n}$  определяли максимальные значения этих параметров  $P_{\max}$  и  $M_{\max}$  для каждой из трех стадий прокатки (заполнение, освобождение стана, установившийся процесс) и строили графики, аналогичные приведенным на рис. 1 (прокатка трубы 76x10 мм из заготовки Ш120 мм в 12 клетях калибровочного стана, сталь 28Г2,  $V_0 = 0,7$  м/с, температура заготовки  $t_3^o = 1000^o C$ ). Очевидно, что величины давлений  $P_{\max}$  и моментов  $M_{\max}$  не должны превышать предельно допустимых по условиям эксплуатации оборудования значений  $P'_{\max}$  и  $M'_{\max}$  (рис. 2, параметры аналогично рис. 1).

В зависимости от конкретной постановки задачи “базовый” вариант решения видоизменяли. Например, в ряде случаев в качестве исходно заданных величин рассматривали окружные скорости двигателей  $N_G$ ,  $N_B$  и толщину стенки заготовки  $S_0$ , а в качестве искомых –  $S_k$ ,  $Z_k$ ,  $V_0$ ,  $S_t = S_N$ .

**Анализ результатов расчетов.** В результате виртуального изучения процесса прокатки с использованием новых калибровок валков [11] и анализа полученных результатов было установлено следующее.

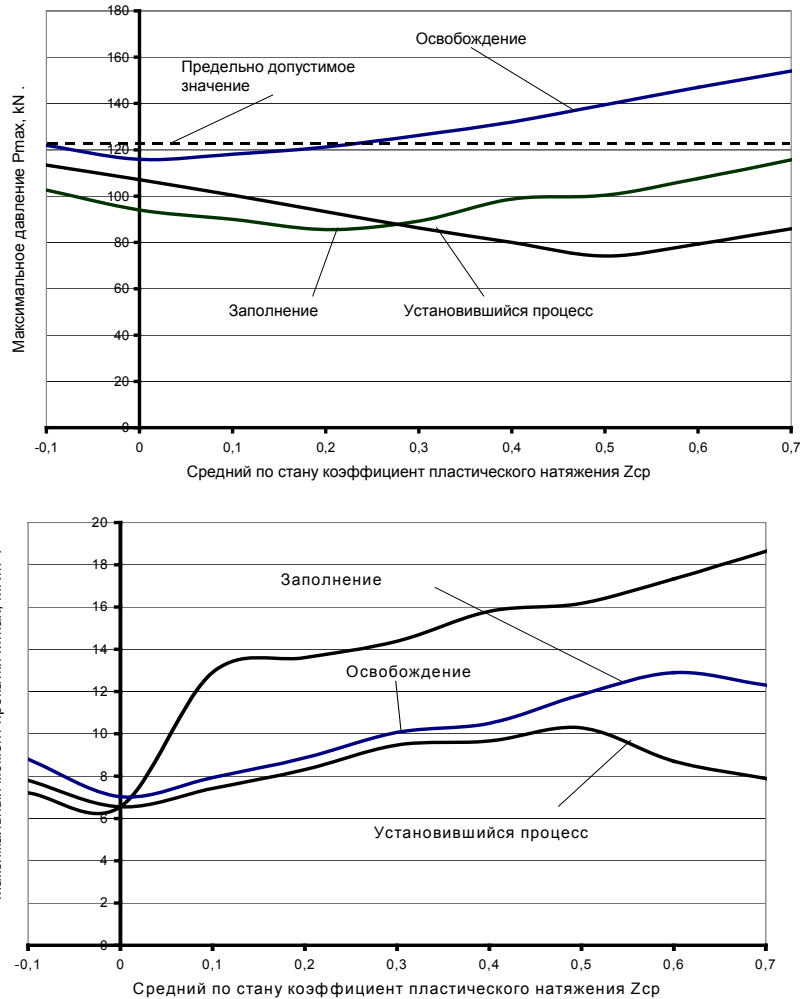


Рисунок 1 - Зависимости максимальных значений давления на валки  $P_{\max} = f(Z_{cp})$  и момента прокатки  $M_{\max} = f(Z_{cp})$  для стационарной и нестационарных стадий процесса

1. Параметром, лимитирующим процесс прокатки относительно тонкостенных труб ( $\frac{S_t}{D_t} < 0,1$ ), является частная деформация  $m_i$  в клетки по диаметру. Принимая  $m_i < 7\%$ , определили, что для прокатки относительно тонкостенных труб  $\varnothing 42...70$  мм на редуционном стане и труб  $\varnothing 73,0...114,3$  мм на калибровочном стане можно использовать единые базовые калибровки под исходную передельную трубу-заготовку  $\varnothing 120$  мм. Для прокатки тонкостенных труб  $\varnothing 31,8...40,0$  мм на редуционном стане необходимо использовать заготовку  $\varnothing 110$  мм и соответственно – индивидуальную базовую калибровку валков.

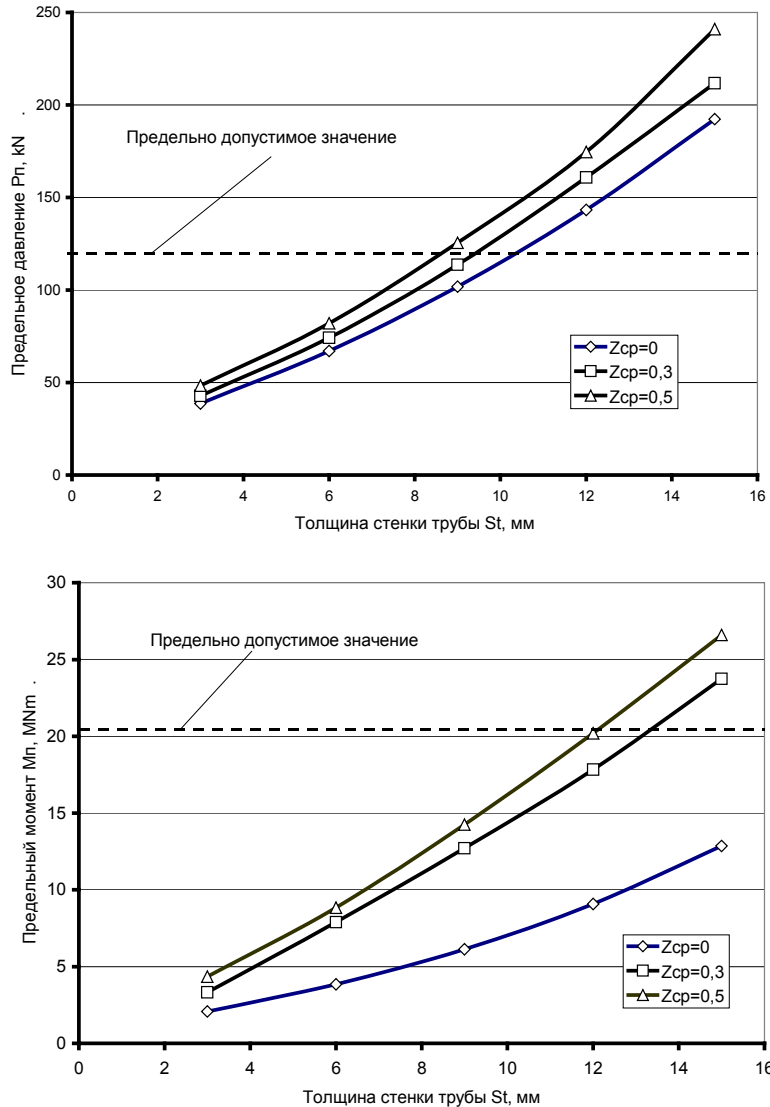


Рисунок 2 - Зависимости предельных давлений  $P_{II}$  и моментов  $M_{II}$  от толщины стенки трубы и  $Z_{cp}$  при прокатке труб  $\varnothing 76$  мм

2. Основным параметром, лимитирующим процесс прокатки относительно толстостенных труб ( $\frac{S_t}{D_t} > 0,1$ ), является величина предельного давления металла на валок  $P_{II}$ .

3. Анализ параметров деформации толстостенных труб в редукционном стане показывает, что прокатка менее чем в 19 клетях сопряжена со значительным превышением предельными значениями  $P_{II}$  их допустимых значений  $P'_{max}$ . В связи с этим для прокатки толстостенных труб необходимо использовать три базовых калибровки:

для прокатки труб  $\varnothing 31,8...40,0$  из заготовки  $\varnothing 110$  мм; для прокатки труб  $\varnothing 42,4...51,0$  мм из заготовки  $\varnothing 120$  мм; для прокатки труб  $\varnothing 57,0...70,0$  мм из заготовки  $\varnothing 120$  мм.

4. Анализ условий формоизменения толстостенных труб в калибровочном стане показывает, что в диапазоне размеров труб  $\varnothing 73,0...101,6$  мм для каждого диаметра трубы необходимо использовать индивидуальную калибровку, спроектированную под прокатку во всех 12 клетях стана из заготовки  $\varnothing 120$  мм. При таком подходе частная деформация  $m_i$  не превышает 5,8% при прокатке труб  $\varnothing 73$  мм, а при прокатке труб  $\varnothing 101,6$  мм  $m_i < 2\%$ . Калибровка валков для прокатки трубы диаметром 101,6 мм является базовой для прокатки труб в диапазоне размеров  $D_i \geq 101,6$  мм.

**Практическое использование результатов.** Новые калибровки прошли успешную промышленную апробацию при прокатке труб в широком диапазоне размеров (42,0x3,0 мм, 48,3x3,25 мм, 57,0x10,0...12,0 мм, 73,0x8,0...10,0 мм, 93,2x13,0 мм, 88,9x13,5 мм и др.). Калибровки валков для прокатки относительно толстостенных труб внедрены в производство. Калибровки валков для прокатки относительно тонкостенных труб находятся на стадии внедрения.

#### **Выводы.**

В результате анализа результатов виртуального изучения процесса безоправочной прокатки труб в условиях редуционного и калибровочного станов ТПА «30-102» предложено использование отдельных базовых калибровок валков для прокатки относительно тонкостенных и толстостенных труб, что позволило прокатывать трубы с толщиной стенки  $S_i \leq 14,0$  мм (при проектном показателе  $S_i \leq 8,0$  мм).

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Редуционные станы / В.П. Анисифоров, Л.С. Зельдович, В.Д.Курганов и др. – М.: Металлургия, 1971. –255 с.
2. Технология непрерывной безоправочной прокатки труб / Г.И.Гуляев, П.Н.Ившин, И.Н.Ерохин и др.; Под ред. Г.И. Гуляева – М., Металлургия, 1975. – 264 с.
3. Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И., Квитка Н.Ю. Математическая модель процесса непрерывной безоправочной продольной прокатки труб в стане с индивидуальным приводом // Теория и практика металлургии. – 2006. – №3. – С. 66-74.

4. Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И., Квитка Н.Ю. Математическая модель непрерывной безоправочной продольной прокатки труб // Теория и практика металлургии. – 2006. – №6. – С. 63-70.
5. Optimization of the Roll Design Parameters and Deformation Schedules in the Continuous Plugless Tube Rolling Process / G.I. Gulyayev, Yu.G. Gulyayev, Ye.I. Shyfrin, N.Yu. Kvitka, C.V. Darragh. – Iron & Steel Technology Conference Proceedings (AISTech'06). – Cleveland (Ohio, USA), 2006. – P. 179-186.
6. Марченко Л.Г., Шифрин Е.И., Гуляев Ю.Г. Математическая модель процесса непрерывной безоправочной продольной прокатки труб // Сталь. – 2007. – №8. – С. 84-87.
7. Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И., Квитка Н.Ю. Теоретический анализ параметров непрерывной продольной безоправочной прокатки труб на станах с дифференциально-групповым приводом // Теория и практика металлургии. – 2007. – №4-5. – С. 115-123.
8. Данченко В.Н., Панюшкин Н.Е. Определение катающего диаметра валков с учетом формы калибров клетей редуционного стана // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – №5. – С. 67-71.
9. The Procedure of Determination of a Maximum Rolling Pressure in the Continuous Plugless Tube Rolling Process / G.I. Gulyayev, Yu.G. Gulyayev, Ye.I. Shyfrin, N.Yu. Kvitka, C.V. Darragh. – International Conference of New Developments in Long and Forged Products Proceedings. – Winter Park (Colorado, USA), 2006. – P. 127-132.
10. Разработка режимов деформации и калибровок валков редуционного и калибровочного станов ТПА 30-102, обеспечивающих прокатку труб в суженном поле допусков по диаметру и толщине стенки: Отчет о НИР / Украинский институт информационных технологий. – Днепропетровск, 2005. – 102 с.
11. Спосіб безоправочної безперервної поздовжньої прокатки труб в багатоклітьовому стані: Патент 73440 Україна. МКИ 7 В21В 17/14. А.И.Козловский, Ю.Г.Гуляев, Е.И.Шифрин и др. (Украина). – № 20041008718; Заявл. 25.10.2004; Опубл. 15.07.2005. – 8 с.