

УДК621.774

Пилипенко С. В.  
Маркевич И. В.**РАЗВИТИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЫЧАЖНОЙ СИСТЕМЫ СТАНОВ ХПТР**

Холодная пильгерная прокатка труб – сложный процесс ОМД. Он связан с рядом таких факторов, как замкнутость прокатываемого профиля, необходимостью использования подвижной клетки, движущейся вдоль неподвижно зажатой заготовки, очаг деформации, который непрерывно изменяется и пр. [1]. В настоящее время широко используются два типа таких станов: станы холодной пильгерной валковой прокатки (ХПТ) и станы холодной пильгерной роликовой прокатки (ХПТР). Подвижная клетка обоих типов станов приводится от кривошипно-шатунного механизма. Валки станов, в которых используется процесс ХПТ, приводятся во вращение от ведущих шестерен, катящихся по зубчатой рейке. Кинематические условия в данном процессе деформации задаются величинами диаметров ведущей шестерни и бочки калибра.

Клетки станов типа ХПТР имеют две взаимоперемещающихся части: корпус, который приводится в движение от кривошипно-шатунного механизма и сепаратор, увлекаемый за собой кулисным механизмом, который связывает его с корпусом. Тут кинематические условия деформации задаются величинами диаметров цапф роликов (в общем случае), диаметром бочки ролика и параметрами настройки кулисного механизма.

В последнее время появились станы холодной прокатки труб типа ХПТР 380-8; ХПТ 450 и др. В их конструкции используется кулисный механизм. Эти станы позволяют вести процесс прокатки с переменной величиной принудительного катающего радиуса вдоль конуса деформации. Переменная величина принудительного катающего радиуса позволяет нивелировать осевые усилия, если он будет равен естественному катающему радиусу во всех сечениях вдоль конуса деформации [2, 3].

Анализ публикаций. На рис. 1 показано схему кулисного механизма стана ХПТР.

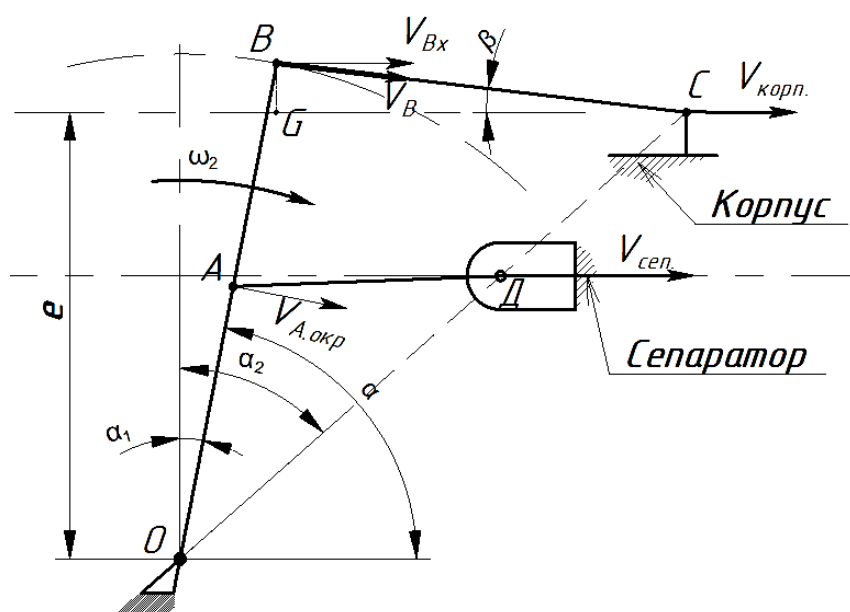


Рис. 1. Рычажная система стана ХПТР

Из рис. 1 видно, что система представляет собой дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм. Для него справедливо [4]:

$$V_{\text{корп}} = \frac{OB \cdot \omega_2 \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}. \quad (1)$$

Скорость поступательного движения роликов при прокатке зависит от скорости движения рабочей клетки и отношения катающего радиуса к радиусу цапф [1]:

$$V_{\text{рол}} = \frac{V_{\text{корп}}}{1 + \frac{R_{\text{ц}}}{R_{\text{к}}}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{ц}}$  – радиус цапф ролика;  $R_{\text{к}}$  – катающий радиус.

Как правило, станы ХПТР имеют постоянную величину одного из размеров кулисы  $OB$  (либо  $OA$  либо  $AB$ ). Настройка кулисы определяется по формуле:

$$OA = \frac{OB}{\frac{R_{\text{ц}}}{R_{\text{к}}} + 1}. \quad (3)$$

Катающий радиус можно определить по упрощенной формуле:

$$R_{\text{к}} = R_i - kR_{\text{д}}, \quad (4)$$

где  $k = 0,14-0,17$  [5];  $R_i$  – идеальный радиус ролика;  $R_{\text{д}}$  – радиус дна ручья ролика.

Величина плеча  $BC$ , а также плеча  $OC$ , регулируется, исходя из подобия треугольников  $OBC$  и  $OAD$  с целью сохранения постоянства скоростей корпуса и сепаратора. Между скоростью движения сепаратора, скоростью движения корпуса, катающим радиусом и радиусом цапф есть зависимость (рис. 2):

$$\frac{R_{\text{кx}}}{R_{\text{кx}} + R_{\text{ц}}} = \frac{V_{\text{сен}}}{V_{\text{корп}}}. \quad (5)$$

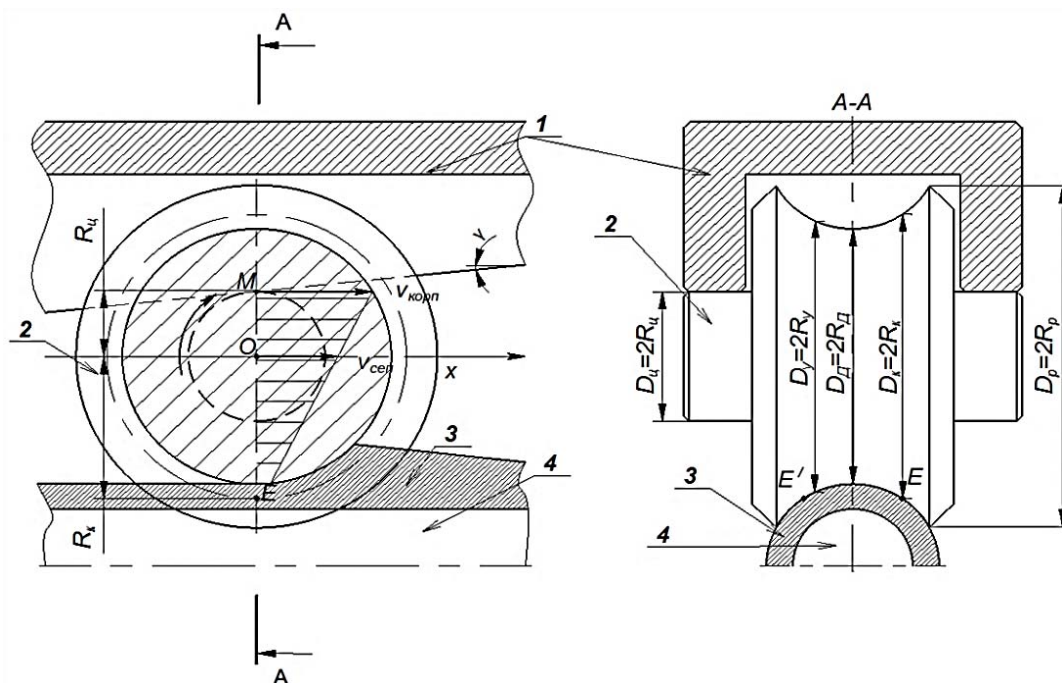


Рис. 2. Кинематика рабочего ролика стана ХПТР

Из выше изложенного можно сделать вывод о том, что рассогласование настройки плеч  $OC$  и  $BC$  приводит к рассогласованию скоростей движения сепаратора и корпуса. Характер влияния данного рассогласования на изменения величины принудительного, ката-

ющего радиуса не достаточно исследован. Учитывая то, что конструкция клетки станов холодной пильгерной прокатки с использованием кулисного механизма находит свое дальнейшее развитие, решение данного вопроса является актуальной проблемой.

Целью данной статьи является теоретическое исследование влияния настройки рычажной системы станов ХПТР на изменение катающего радиуса. Проверка на практике полученных зависимостей при расчете настроек станов ХПТР в заводских условиях.

Основной материал. Для определения зависимости изменения величины катающего радиуса от величины плеча  $OC$  представим формулу (1) в виде:

$$\omega_2 = \frac{V_{корн} \cos \beta}{OB \cdot \sin(\alpha + \beta)}. \quad (6)$$

Из рис. 1 видно, что окружная скорость точки  $A$  кулисы равна:

$$V_{A.окр} = OA \cdot \omega_2. \quad (7)$$

Объединяя (6) и (7), получим:

$$V_{A.окр} = OA \cdot \frac{V_{корн} \cos \beta}{OB \cdot \sin(\alpha + \beta)}. \quad (8)$$

Из анализа рис. 1 также можно сделать вывод, что:

$$V_{cen} = V_{A.окр} \cdot \cos \alpha_1. \quad (9)$$

Объединяя (8) и (9) получаем:

$$V_{cen} = \frac{OA \cdot V_{корн} \cos \beta \cdot \cos \alpha_1}{OB \cdot \sin(\alpha + \beta)}. \quad (10)$$

Вводим переменную:  $K_{неп} = \frac{\cos \beta \cdot \cos \alpha_1}{\sin(\alpha + \beta)}$ .

Тогда (10) выглядит:

$$V_{cen} = \frac{OA}{OB} V_{корн} K_{неп}. \quad (11)$$

Найдем значение угла  $\beta$  (рис. 1):

$$\sin \beta = \frac{BG}{BC}; \quad (12)$$

$$BG = e - OB \cos \alpha_1. \quad (13)$$

Эксцентриситет кулисного механизма (эта величина является постоянной вдоль конуса деформации для каждой отдельной величины настройки плеча  $OC$ ) можно найти из формулы (рис. 1):

$$e = OC \cos \alpha_2. \quad (14)$$

Из этого, угол  $\beta$  равен:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{e - OB \cos \alpha_1}{BC}\right). \quad (15)$$

Таким образом, величина плеча  $OC$  будет учитываться через величину угла  $\beta$ . По сути дела, мы отслеживаем влияние рассогласования величин углов  $\alpha$  и  $\beta$  на величину принудительного катающего радиуса.

Введем в формулу (11) величину катающего радиуса, для этого представим (5) в виде:

$$R_{kx} V_{корн} = V_{cen} R_{kx} + V_{cen} R_{ц}; \quad (16)$$

$$R_{kx} (V_{корн} - V_{cen}) = V_{cen} R_{ц}; \quad (17)$$

$$R_{kx} = \frac{V_{cen} R_{ц}}{(V_{корн} - V_{cen})}. \quad (18)$$

Подставляем (11) в (18), получаем формулу, позволяющую определить зависимость изменения величины катающего радиуса от величины плеча ОС кулисного механизма стана ХПТР:

$$R_{kx} = \frac{\frac{OA}{OB} V_{корн} K_{неп} R_{ц}}{\left( V_{корн} - \frac{OA}{OB} V_{корн} K_{неп} \right)}. \quad (19)$$

После ряда преобразований, формула (19) предлагается к использованию в виде:

$$R_{kx} = \frac{OAK_{неп} R_{ц}}{(OB - OAK_{неп})}; \quad (17)$$

где  $K_{неп} = \frac{\cos \beta \cdot \cos \alpha_1}{\sin(\alpha + \beta)}$ ;  $\beta = \arcsin\left(\frac{e - OB \cos \alpha_1}{BC}\right)$ ;  $e = OC \cos \alpha_2$ .

Исследуем изменение величины катающего радиуса от величины плеча ОС на примере прокатки трубы по маршруту 23×1,8–21×1,2 на стане ХПТР 15–30. Для исследования авторами статьи была создана программа, результаты работы которой представлены на рис. 3.

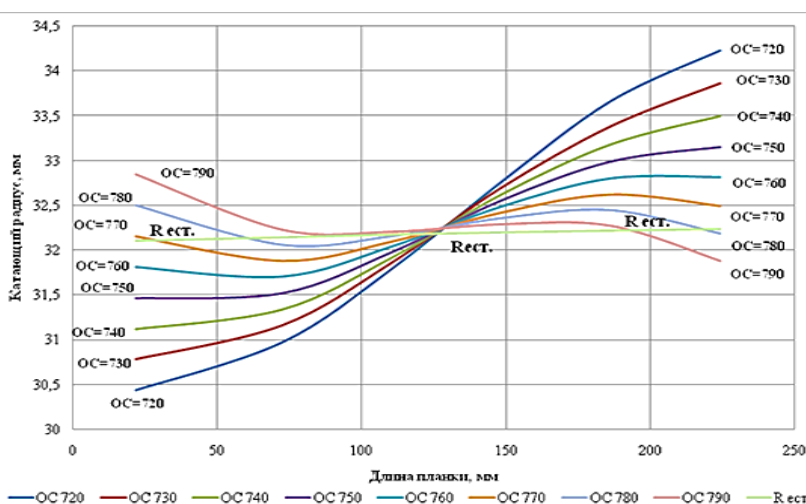


Рис. 3. Изменение величины принудительного катающего радиуса вдоль зоны обжатия конуса деформации от величины плеча ОС (маршрут 23×1,8–21×1,2, стан ХПТР 15-30)

Из графика на рис. 3 видно, что наиболее благоприятной настройкой плеча ОС является настройка в 780 миллиметров (проверено на практике в заводских условиях). Анализируя графики (рис. 3), также можно сделать выводы о том, что величина принудительного катающего радиуса вдоль конуса деформации изменяется. Характер изменения зависит, в том числе от величины плеча ОС. И, например, длина плеча ОС в 720 миллиметров может быть оптимальной (рис 4) для прокатки трубы – заготовки диаметром 26 миллиметров в готовую трубу диаметром 15,2 миллиметра (в случае применения ролика с переменным радиусом ручья с соответствующей переделкой конструкции стана).

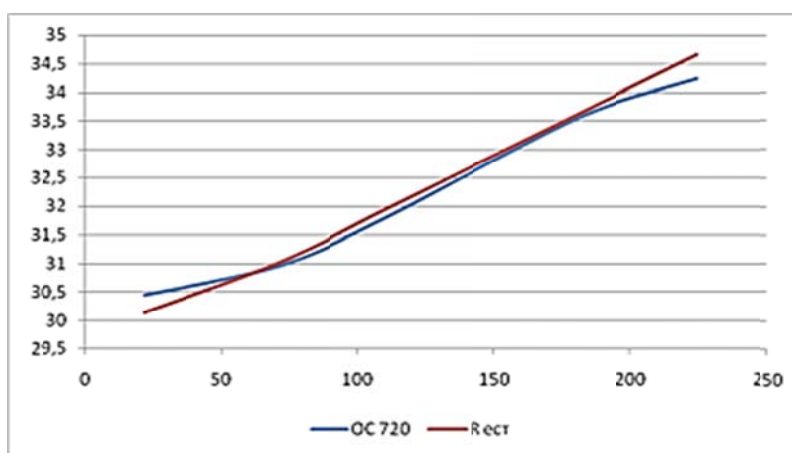


Рис. 4. Изменение величины принудительного катающего радиуса вдоль зоны обжатия конуса деформации относительно естественного при прокатке трубы – заготовки диаметром 26 мм в готовую трубу диаметром 15,2 мм (стан ХПТР 15-30 с соответствующей реконструкцией)

### ВЫВОДЫ

В статье рассмотрен метод расчета параметров настройки рычажной системы станков ХПТР. Выведена зависимость изменения величины катающего радиуса от величины плеча ОС рычажной системы. Анализ результатов теоретических исследований показал, что настройками рычажной системы станков ХПТР возможно добиться необходимого изменения величины катающего радиуса вдоль конуса деформации. Результаты расчетов проверены в ходе практики настроек станков ХПТР в условиях современного трубопрокатного цеха для прокатки промышленных партий труб. Результаты исследований могут быть использованы для расчетов параметров настроек станков ХПТР, а также в ходе проектирования станков ХПТР и ХПТ новых конструкций.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вердеревский В. А. Роликовые станы холодной прокатки труб / В. А. Вердеревский. – М. : *Металлургия*, 1992. – 236 с.
2. Тетерин П. К. Теория периодической прокатки / П. К. Тетерин – М. : *Металлургиздат*, 1978. – 254 с.
3. Григоренко В. У. Расчет оптимального соотношения радиусов калибра и валька станков холодной прокатки труб / В. У. Григоренко, С. В. Пилипенко // *Сталь*. – 2012. – № 8. – С. 37–39.
4. Гоц А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневого вальца: учеб. пособие / А. Н. Гоц; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Редакционно-издательский комплекс ВлГУ, 2005. – 124 с.
5. Шевакин Ю. Ф. Станы холодной прокатки труб / Ю. Ф. Шевакин, Ф. С. Сейдалиев – М. : *Металлургия*, 1966. – 212 с.

### REFERENCES

1. *Verderevsij V. A. Rolikovyje stany holodnoj prokatki trub / V. A. Verderevsij. – M. : Metallurgija, 1992. – 236 s.*
2. *Teterin P. K. Teorija periodicheskoj prokatki / P. K. Teterin – M. : Metallurgizdat, 1978. – 254 s.*
3. *Grigorenko V. U. Raschet optimal'nogo sootnoshenija radiusov kalibra i valka stanov holodnoj prokatki trub / V. U. Grigorenko, S. V. Pilipenko // Stal'. – 2012. – № 8. – S. 37–39.*
4. *Goc A. N. Kinematika i dinamika krivoshipno-shatunnogo mehanizma porshnevyhd vigatelej : ucheb. posobie / A. N. Goc; Vladim. gos. un-t. – Vladimir : Redakcionno-izdatel'skij kompleks VIGU, 2005. – 124 s.*
5. *Shevakin Ju. F. Stany holodnoj prokatki trub / Ju. F. Shevakin, F. S. Sejdaliev – M. : Metallurgija, 1966. – 212 s.*

Маркевич И. В. – канд. техн. наук, ассистент НМетАУ

Пилипенко С. В. – канд. техн. наук, докторант НМетАУ

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: [44-08@mail.ru](mailto:44-08@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 07.10.2014 г.