

Анализ и развитие метода расчета калибровки рабочей планки станов ХПТР

S. V. Pilipenko /Cand. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine
e-mail: 44-08@mail.ru

Analysis and development of the method for calculating calibration of the working plank in the cold tube roller rolling MILLS

Цель. Анализ и развитие существующего метода расчета профиля калиброванной рабочей планки станов холодной пильгерной роликовой прокатки труб с целью обеспечения необходимого распределения энергосиловых параметров вдоль рабочего конуса.

Результаты. Предложено при построении формы рабочей поверхности планки использовать линии Безье. При использовании для расчетов калибровок опорных планок сплайн-кривой Безье появляется возможность расчета параметров, исходя из обжатия по наружному диаметру, изменение параметров обжатия по толщине стенки не будет значительно влиять на характер распределения силовых характеристик вдоль конуса деформации. Возможность расчета всех зон планки по одной зависимости позволяет упростить процесс ее изготовления на станках с ЧПУ. Сравнение графиков распределения силовых параметров процесса ХПТР вдоль конуса деформации доказывает преимущество предложенного метода. Уменьшение величины обжатия в конце зоны деформации способствует получению труб с меньшей разностенностью (особенно продольной, вызванной наведенной холодной пильгерным процессом волнистостью).

Научная новизна. Получил дальнейшее развитие метод расчета деформационных параметров станов ХПТР. Предложено использовать при расчете калибровки рабочей поверхности опорной планки станов ХПТР сплайн-кривую Безье.

Практическая значимость. Появляется возможность расчета калибровки рабочей поверхности опорной планки станов ХПТР, исходя из обжатия по наружному диаметру, и изменение параметров обжатия по толщине стенки не будет значительно влиять на характер распределения силовых характеристик процесса вдоль конуса деформации (именно на характер, а не на их величину). Кроме того, есть возможность расчета всех зон планки по одной зависимости, что позволит упростить процесс ее изготовления на станках с ЧПУ. (Ил. 8. Библиогр.: 4 назв.)

Ключевые слова: холодная пильгерная роликовая прокатка, калибровка рабочей планки сплайн-кривая Безье, усилие деформации, точность труб.

Вступление. Как правило, на валковых станках ХПТ можно прокатывать трубы с соотношением величины наружного диаметра и толщины стенки (D/S) не более 50–60 [1; 2], а различные отрасли промышленности нуждаются в трубах с $D/S = 100–150$ при D до 120 мм. Для прокатки такого сортамента труб ЦКБММ ЦНИИТМАШ [2–5] были предложены станы роликовой прокатки. В них, вместо валков большого диаметра, труба деформируется небольшими роликами. На станках ХПТР имеется возможность прокатки особотонкостенных труб с толщиной стенки от 1/100 до 1/500 наружного диаметра. Значительно меньший диаметр рабочих валков (в данном

случае используются ролики) снижает силу прокатки и, как производную от этого, – упругую деформацию клетки и роликов. Рабочим инструментом стана ХПТР являются ролик, цилиндрическая оправка и калиброванная планка. Одной из важнейших задач калибровки рабочего инструмента станов ХПТР является расчет профиля калиброванной рабочей планки. От этого в большинстве случаев зависит как распределение энергосиловых параметров вдоль конуса деформации, так и точность труб.

Целью статьи является анализ и развитие существующего метода расчета профиля калиброванной рабочей планки станов холодной

ТРУБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

пильгерной роликовой прокатки труб с целью обеспечения необходимого распределения энергосиловых параметров вдоль рабочего конуса.

Анализ исследований. Как говорилось выше, инструментом стана ХПТР являются ролик, оправка и калиброванная планка (рис. 1-3). Они изготавливаются из стали 60С2ХФА или других подобных сталей. Твердость поверхности после термической обработки должна находиться в пределах 50-56 НВ.

В станах ХПТР применяется цилиндрическая оправка (иногда ее делают с малой конусностью) (рис. 2). Диаметр оправки берут равным внутреннему диаметру трубы (или несколько меньше него). Ролик стана ХПТР (см. рис. 1) имеет ручей диаметром, равным наружному диаметру готовой трубы. Ролики разваливают по радиусу на угол α , реборды роликов скругляются. Согласно уточненной формуле В. А. Вердеревского [2], катающий диаметр рассчитывают по формуле:

$$D_k = 2R_{\text{дин}} + 0,14d_{\text{нр}} \quad (1)$$

Исходя из него рассчитывают диаметр цапф (D_2 на рис. 1) и настройки рычажной системы стана. По упрощенной методике диаметр цапфы можно рассчитать, исходя из зависимости [2]:

$$D_u = D_k / 1,43. \quad (2)$$

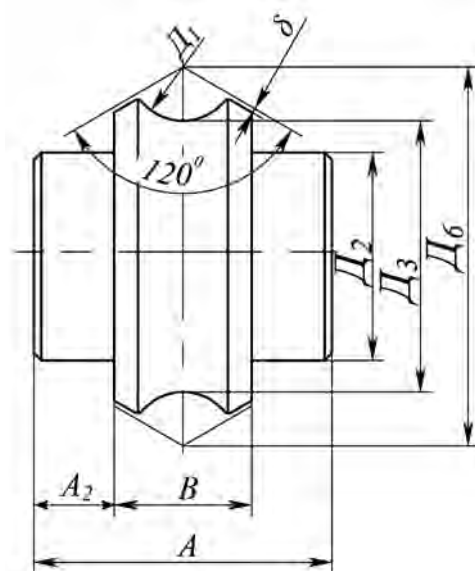


Рис. 1. Ролик стана ХПТР

Обжатие заготовки в станах ХПТР осуществляется благодаря тому, что ролик своими цапфами катится по поверхности опорной планки, высота которой меняется подобно развертке гребня калибра стана ХПТ (рис. 4).

На планке можно различить следующие участки (см. рис. 3): участок подачи-поворота ($L_{\text{нп}}$ рис. 3); участок редуцирования ($L_{\text{ред}}$); участок обжатия ($L_{\text{обт}}$); участок калибровки ($L_{\text{кал}}$); участок обратного конуса (далее по планке от $X_{\text{кал}}$).

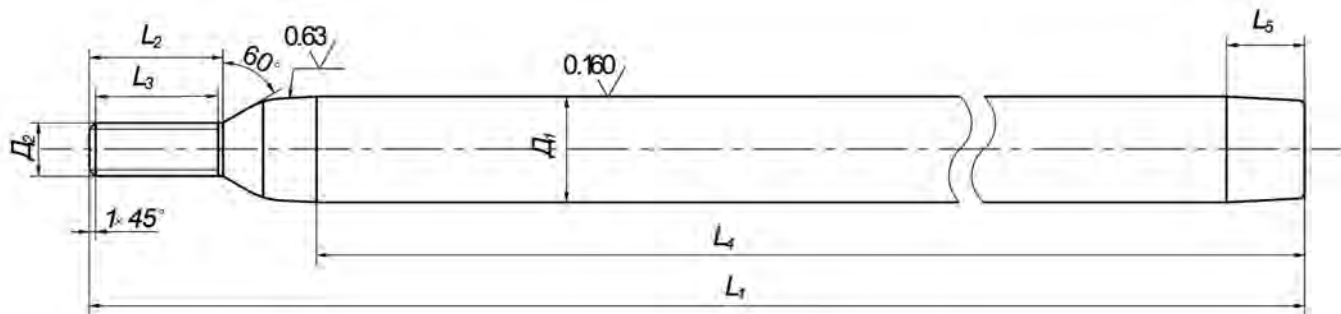


Рис. 2. Оправка стана ХПТР

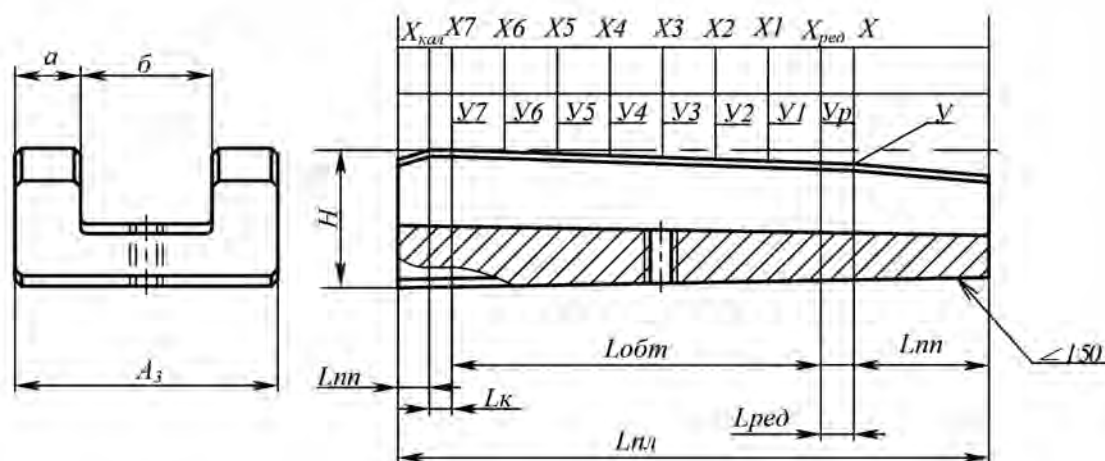


Рис. 3. Планка стана ХПТР

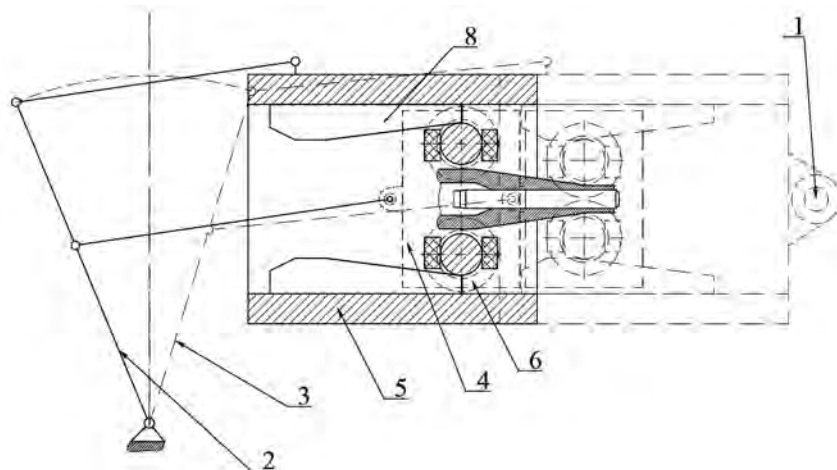


Рис. 4. Схема, показывающая совместное движение корпуса с планками и сепаратора:

1 – место крепления тяги привода; 2 и 3 – кулиса в положении подачи и в конце хода клетки; 4 – сепаратор; 5 – корпус в сборе; 6 – ролик; 7 – калиброванная опорная планка

Общую длину рабочей планки определяют по формуле [2]:

$$L_{пл} = L_{кар} \left(1 - \frac{L_0}{L_1} \right), \quad (3)$$

где $L_{кар}$ – длина хода каретки согласно паспорту стана; L_0 – длина верхнего плеча кулисы; L_1 – длина нижнего плеча кулисы.

На данный момент существует следующий метод расчета калибровки рабочих планок станов ХПТР.

Исходя из исходных данных [2-4]:

- Диаметр заготовки и толщина стенки заготовки ($D_з, S_з$).
- Диаметр готовой трубы и толщина стенки готовой трубы ($D_т, S_т$).
- Ход каретки общий ($L_{кар}$).
- Ход каретки по подаче и повороту ($L_{кар.пп}$).
- Величина максимального отношения ($D_к/D_ц$)_{max}.
- Произведение подачи на вытяжку ($m\mu$) и др.

Выполняется расчет приведенных ниже параметров:

рабочая длина опорной планки:

$$L_{р.пл} = \frac{L_{кар}}{\left(1 + \left(\frac{D_к}{D_ц} \right)_{max} \right)}, \quad (4)$$

длина участка подачи и поворота:

$$L_{р.пл} = \frac{L_{кар.пп}}{\left(1 + \left(\frac{D_к}{D_ц} \right)_{max} \right)}, \quad (5)$$

длина калибровочного участка:

$$L_к = (4-5) m\mu \frac{D_к}{D_ц}, \quad (6)$$

длина обжимного участка:

$$L_{обм} = L_{р.пл} - (L_n + L_{ред} + L_к), \quad (7)$$

суммарный обжим по стенке (вытяжка):

$$\mu_s = \frac{S_з}{S_m}, \quad (8)$$

где S_m – толщина стенки в конце зоны редуцирования.

Обжимной участок разбиваем на несколько контрольных сечений (как правило, равных по длине).

Определяем толщину стенки в сечениях:

$$S_i = \frac{S_m}{\frac{\mu_t - 1}{1 - e^n} \left(1 - e^{-n \frac{x_i}{L_{обм}}} \right)}, \quad (9)$$

где $n = 0,62-0,8$.

Снижение высоты планки по ее длине (контур рабочей поверхности, рис. 5) определяют, исходя из распределения толщины стенки вдоль зоны обжатия конуса деформации (например, по формуле Шевакина):

$$y_i = S_i - S_m, \quad (10)$$

где S_i – толщина стенки в сечении.

По полученным расчетным данным строят профиль рабочей поверхности планки. Поверхность калибровочного участка выполняют с «обратным скосом».

Снижение высоты планки по ее длине через конусность опорной поверхности (подошвы):

$$\Delta_{ск.i} = X_{ск.i} \cdot z, \quad (11)$$

где $z = 1/50$ или $1/40$ уклона подошвы согласно конструкции клетки стана.

Высота планки в сечении:

$$\Delta_{ск.i} = H_n - \Delta_{ск.i} - y_i. \quad (12)$$

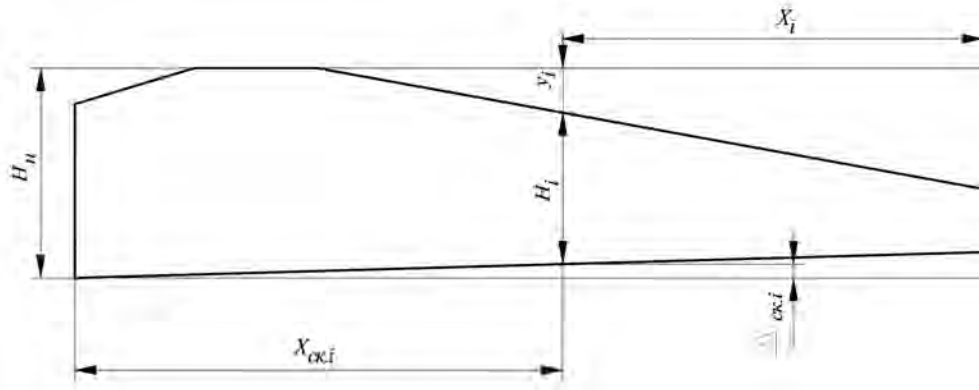


Рис. 5. Схема для расчета калибровки планки стана ХПТР

Высоту подставок для шлифовки рабочей поверхности планки определяют по формуле:

$$B_i = \frac{y_i E_0}{X_i} + B_0, \quad (13)$$

где B_i – высота подставки; Y_i – разница высот начала и конца участка; E_0 – расстояние от оси поворота до планки; X – длина участка на планке; B – высота нулевой подставки для получения уклона 1:50 (или 1/40) подошвы по всей длине планки.

Выделение нерешенного. Из анализа основных шагов существующего метода расчета параметров рабочего инструмента станов ХПТР можно сделать вывод, что основные деформационные параметры зависят не только от перепадов наружного диаметра, но и от величины обжатия по толщине стенки. С изменением последнего параметра возникает необходимость пересчета калибровки планки. С использованием при калибровке сплайн-кривой Безье [4] появляется возможность расчета параметров, исходя из обжатия по наружному диаметру, и изменение параметров обжатия по толщине стенки не будет значительно влиять на харак-

тер распределения силовых характеристик процесса вдоль конуса деформации (именно на характер, а не на их величину). Кроме того, есть возможность расчета всех зон планки по одной зависимости, что позволит упростить процесс ее изготовления на станках с ЧПУ.

Изложение основного материала. Расчет параметров процесса холодной пильгерной роликовой прокатки труб с использованием кривых Безье включает следующие шаги:

Расчет относительной координаты сечения (расстояние между сечениями равно константе):

$$B_{k_i} = \frac{1}{n_i}, \quad (14)$$

где n_i – номер сечения.

Абсолютный перепад по радиусу вдоль рабочей зоны планки:

$$\Delta R_i = R_3 - R_{mp}, \quad (15)$$

где R_3 – радиус заготовки; R_{mp} – радиус готовой трубы.

Расчет абсолютного перепада высоты планки в контрольных сечениях по одной из формул:

$$y_i = \frac{\Delta R_i (1-a)(1-B_{k_i})^2 + 2\Delta R_i a(1-B_{k_i})B_{k_i} + (\Delta R_i \cdot u)(1-a)(B_{k_i})^2}{(1-a)(1-B_{k_i})^2 + 2a(1-B_{k_i})B_{k_i} + (1-a)(B_{k_i})^2}, \quad (16)$$

где $a = 0,4 \dots 0,75$, $u = 0,05 \dots 0,15$ – управляющие коэффициенты.

Или:

$$y_i = \frac{\Delta R_i a_0 (1-B_{k_i})^2 + 2\Delta R_i a_1 (1-B_{k_i})Kx_n + (\Delta R_i \cdot u)_2 a_2 (B_{k_i})^2}{a_0 (1-B_{k_i})^2 + 2a_1 (1-B_{k_i})B_{k_i} + a_2 (B_{k_i})^2}, \quad (17)$$

где a_0, a_1, a_2 – управляющие коэффициенты.

Расчет радиуса рабочего конуса в контрольных сечениях:

$$R_{k_i} = R_{mp} + y_i - 0,5\Delta_i. \quad (18)$$

где Δ_i – упругая деформация клетки в сечении.

Расчет толщины стенки в контрольных сечениях зоны обжатия:

$$S_i = R_{k_i} - R_{опр}. \quad (19)$$

где $R_{опр}$ – радиус оправки.

На рис. 6 показана нормаль для изготовления рабочей планки стана ХПТР 8-15 (сплав G-2, маршрут 15×2,4-12×1,5 мм), которая рассчитана с использованием кривых Безье.

Как видно из графика (рис. 7) (на графике сечение № 1 – конец зоны обжатия, 7 – начало), сила прокатки вдоль прямого движения клетки уменьшается на обеих кривых, но уменьшение в случае расчета параметров обжатия по развитому методу более интенсивно.

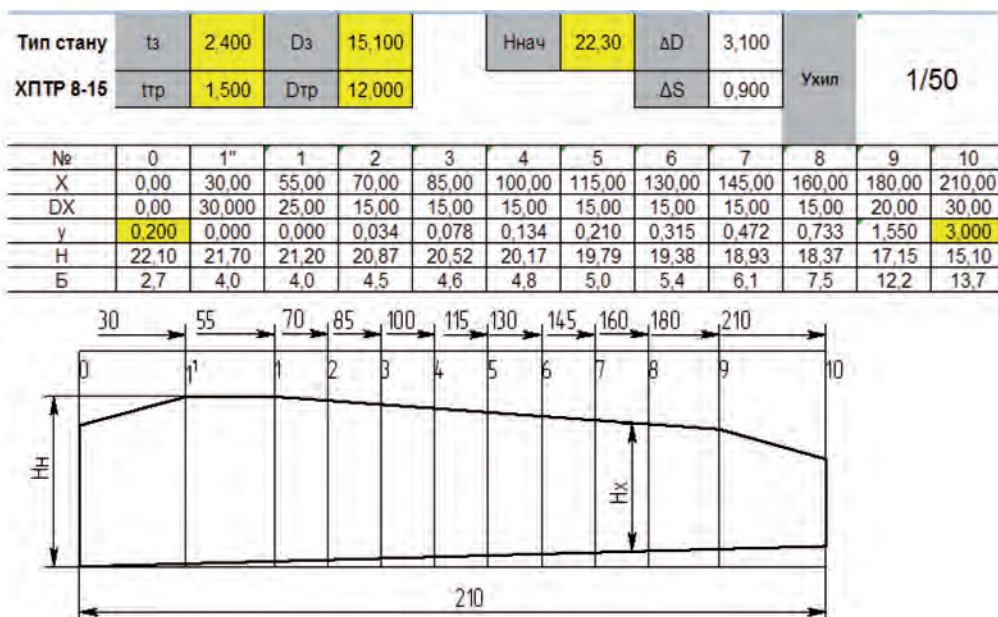


Рис. 6. Нормаль для изготовления рабочей планки стана ХПТР 8-15 (сплав Gr-2, маршрут 15×2,4-12×1,5 мм)

Сравнение графиков распределения осевой силы (рис. 8) показывает, что в случае расчета параметров рабочей планки по стандартному методу величина осевой силы больше, чем в случае расчета параметров рабочей планки по развитому методу, различаются и характеры её распределения. В первом случае осевая сила непрерывно падает, во втором – сначала растет, затем наблюдается интенсивное её падение.

Сравнение форм рабочих поверхностей рабочих планок показывает, что в случае расчета параметров рабочей планки по развитому методу наблюдаются более интенсивные относительные перепады высот планки в начальных сечениях, в отличие от планки, рассчитанной по стандартному методу. В конце зоны деформации величина перепадов меньше, что способствует получению труб с меньшей разностенностью (особенно продольной, вызванной волнистостью, наведенной холодным пильгерным процессом).

Выводы. При использовании для расчетов калибровок опорных планок сплайн-кривой Безье появляется возможность расчета параметров, исходя из обжатия по наружному диаметру, изменение параметров обжатия по толщине стенки не будет значительно влиять на характер

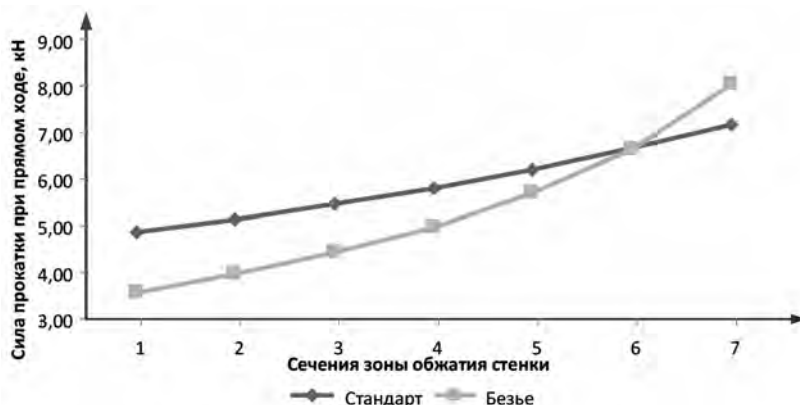


Рис. 7. Сравнительный график силы прокатки при прокатке трубы в стане ХПТР 8-15 (сплав Gr2, маршрут 15×2,4-12×1,5 мм) с использованием рабочих планок, рассчитанных по стандартному и развитому методам (сечения против прямого движения клетки)

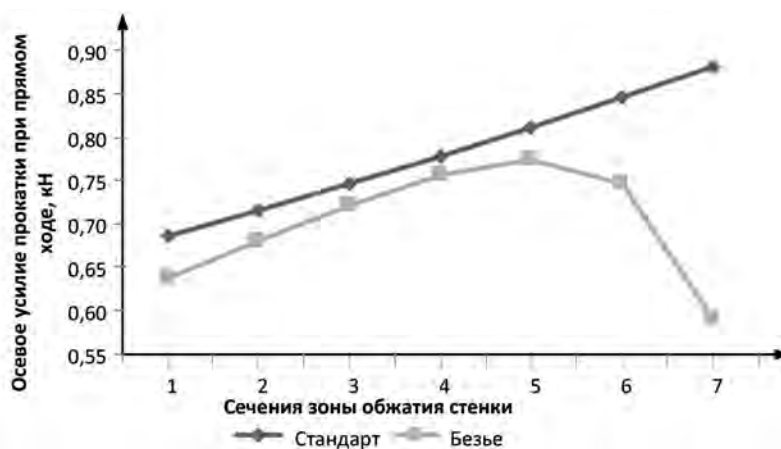


Рис. 8. Сравнительный график осевой силы при прокатке трубы в стане ХПТР 8-15 (сплав Gr2, маршрут 15×2,4-12×1,5 мм) с использованием рабочих планок, рассчитанных по стандартному и развитому методам (сечения против прямого движения клетки)

распределения силовых характеристик вдоль конуса деформации (именно на характер, а не на их величину). Возможность расчета всех зон планки по одной зависимости позволяет упростить процесс ее изготовления на станках с ЧПУ. Сравнение графиков распределения силовых параметров процесса ХПТР вдоль конуса деформации доказывает преимущество предложенного метода.

Библиографический список / References

1. Шевакин Ю. Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю. Ф. Шевакин. – М: Metallurgizdat, 1963. – 269 с.

Shevakin Yu. F. *Kalibrovka i usiliya pri kholodnoj prokatke trub* [Grooving and forces at the cold tube rolling]. Moscow, Metallurgizdat, 1963, 269 p.

2. Вердеревский В. А. Роликовые станы холодной прокатки труб / В. А. Вердеревский. – М.: Металлургия, 1992. – 236 с.

Verderevskij V. A. *Rolikovyie stany kholodnoj prokatki trub* [Roller mills of the cold tube rolling] Moscow, Metallurgiya, 1992, 236 p.

3. Пилипенко С. В. Метод расчета параметров настройки рычажной системы станков ХПТР / С. В. Пилипенко, И. В. Маркевич // Сталь. – 2015. – № 12. – С. 42–44.

Pilipenko S. V., Markevich I. V. *Metod rascheta parametrov nastroyki rychazhnoj sistemy stanov KHPTR* [Method for calculating parameters of adjustment of lever system in the CTRR mills]. Stal, 2015, no. 12, pp. 42-44.

4. Пилипенко С. В. Развитие метода расчета параметров процесса холодной прокатки труб на станах ХПТ и ХПТР с использованием линий Безье при разработке продольного профиля рабочего конуса деформации / С. В. Пилипенко, В. У. Григоренко // Системні технології. – 2011. – № 4 (75). – С. 35–40.

Pilipenko S. V., Grigorenko V. U. *Razvitiye metoda rascheta parametrov protzessa kholodnoj prokatki trub na stanakh KHPT i KHPTR s ispolzovaniyem liniy Beziye pri razrabotke prodolnogo profilya rabocheho konusa deformatzii* [Development of the method for calculating parameters of the cold tube rolling process in the CTR and CTRR mills using Besier lines while designing the longitudinal profile of the

working deformation cone]. Systemni tekhnologii, 2011, no. 4 (75), pp. 35-40.

Purpose. Analysis and development of the existing method of calculation of the calibrated profile of the working strips mills CTRR roller cold rolling pipe to ensure the required distribution of energy-power parameters along the cone.

Findings. In presented paper, which has for aim the development of existing method for calculating the profile of calibrated working plank in the cold tube roller rolling mills, the analysis had been made and it was proposed to use Besier-lines while building the the profile of the plank working surface. It was established that the use of Besier spline-curve for calculating the calibration of supporting planks creates the possibility to calculate the parameters proceeding from reduction over the external diameter. The proposed method for calculating deformation parameters in CTRR mills is the result of development of existing method and as such shows the scientific novelty. Comparison of the plots for distribution of the force parameters of the CTRR process along the cone of deformation presents as evidence the advantage of the method to be proposed. The decrease of reduction value at the end of deformation zone favors the manufacture of tubes with lesser wall thickness deviation (especially longitudinal one, caused with waviness induced by the cold pilgering process).

Originality. Joined the further development of the method of calculating the deformation parameters CTRR. It is proposed for the calculation of the calibration work surface support bracket mills CTRR to use a spline Bezier.

Practical value. The practical significance of the proposed method consists in the fact that calculation of all zones of the plank by means of one dependence allows simplifying the process of manufacturing the latter in machines with programmed numerical control. In this case the change of reduction parameters over the thickness of the wall will not exert the considerable influence on the character of the force parameters (the character and not the value) distribution along the cone of deformation.

Key words: cold pilgering roller rolling, calibration (sizing) of the working plank, Besier spline-curve, deformation force, precision of tubes.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. В. Ф. Балакиным**

Поступила 24.11.2016

**Metallurgical and Mining
Industry**

www.metaljournal.com.ua