

## К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОЛИКОВЫХ ВОЛОК СО СМЕЩЕННЫМИ ПАРАМИ РОЛИКОВ

Е.В. Храмов<sup>1</sup>, А.А. Штер<sup>1</sup>, К.Ю. Яковлева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,

<sup>2</sup> ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск

Показана тенденция развития производства проволоки фасонного и круглого сечения из различных металлов и сплавов. По данным анализа существующих конструкций и оборудования, используемых при производстве проволоки, выявлены факторы, влияющие на качество продукции. Из них выделены факторы, играющие большую роль при производстве проволоки мелких сечений, а именно: жесткость конструкции волокна, точность настройки калибров стана, устойчивость полосы в калибре. Подробно исследовано влияние последнего фактора при эксплуатации роликовых волок со смещенными парами роликов. Для данных конструкций роликовых волок получена зависимость определения минимально возможного расстояния между осями пар роликов. Показано влияние величины обжатия и диаметра готового профиля на величину этого расстояния. Разработана методика определения максимально возможного расстояния между осями пар роликов, исходя из условия потери устойчивости полосы во втором калибре при использовании системы калибров «круг – овал – круг». Представлены основные этапы методики, а именно определение следующих параметров: усилия действующего на металл заготовки со стороны роликов, горизонтальной проекции площади очага деформации, сваливающего момента, действующего на заготовку, предельного угла скручивания заготовки, максимальной длины заготовки между очагами деформации. Показано влияние на рассчитанную величину максимального расстояния между осями пар роликов величины обжатия. Описаны сферы применения полученных зависимостей. Представлена и описана конструкция разработанной роликовой волокни, спроектированной с учетом теоретических выкладок, представленных в данной статье. Конструкция роликовой волокни отличается возможностью использования модульной сборки и упрощенной схемой регулировки.

*Ключевые слова:* волочение проволоки; роликовые волокна; потеря устойчивости; система калибров; проектирование роликовых волок.

Народное хозяйство испытывает дефицит в качественной проволоке круглого и фасонного сечения из различных металлов и сплавов. Традиционным способом производства проволоки является волочение в монолитных фильерах. Однако перспективным способом является процесс прокатки-волочения в клетях с неприводными роликами. Этот способ по сравнению с волочением в монолитных волокнах позволяет на 20–40 % уменьшить энергетические затраты, увеличить интенсивность частных деформаций до 40–50 %, сократить количество подготовительных операций, исключить применение дорогостоящих волочильных смазок. По сравнению с холодной прокаткой профилей процесс прокатки-волочения обладает большей технологической гибкостью, не требует больших капитальных затрат при организации производства высокоточных профилей.

Анализ существующих конструкций роликовых волок, используемых при производстве проволоки, выявил факторы, снижающие ее качество. Существенное влияние на качество готовой продукции, особенно при производстве проволоки мелких сечений, оказывают:

- жесткость конструкции;
- точность настройки калибров;
- устойчивость полосы в калибре.

Последнее обстоятельство важно при конструировании роликовых волок со смещенными по оси волочения парами горизонтальных и вертикальных роликов, поскольку автоматически выдвигает два возможных варианта конструкции: с промежуточной удерживающей арматурой между парами роликов и без арматуры [1]. Первый вариант связан со сложностью разработки удерживающей арматуры и усложнением ее настройки, особенно при производстве мелких профилей. Наиболее предпочтительным является второй вариант конструкции со смещенными парами рабочих роликов, который хоть и не усложняет конструкцию, но связан с определенными ограничениями в геометрических соотношениях размеров рабочих роликов волокна и условием устойчивого положения полосы во втором калибре, зависящим от расстояния между парами рабочих роликов.

Данная статья посвящена численному определению данных ограничений с целью упрощения проектирования конструкций роликовых волок со смещенными по оси волочения парами роликов.

Минимально возможное расстояние между осями пар рабочих роликов  $L_{\min}$  ограничивается их конструктивными параметрами: диаметром и шириной роликов первой и второй пары  $D_1$  и  $D_2$ ,  $B_1$  и  $B_2$  соответственно, радиальной и осевой величи-

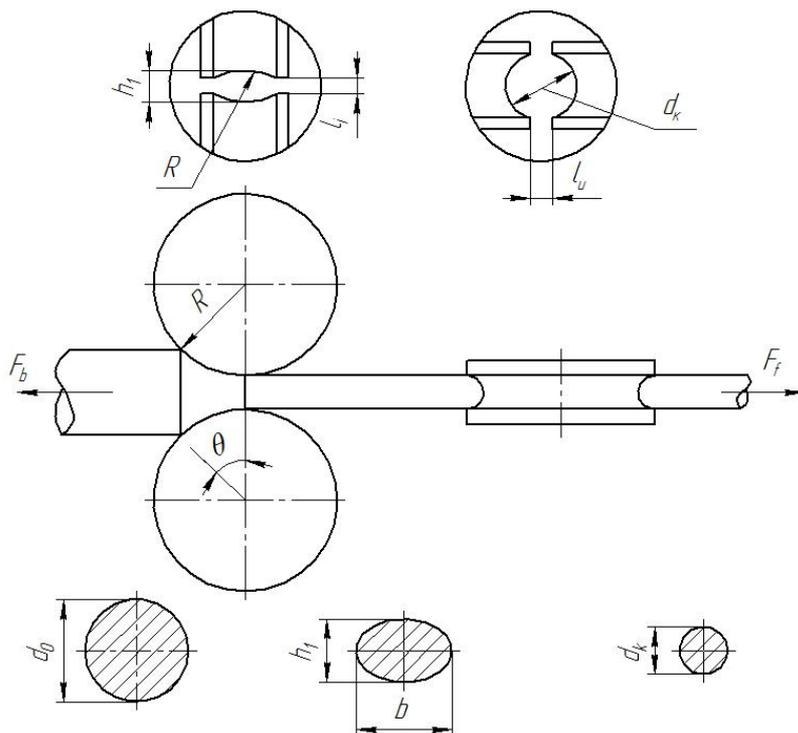


Рис. 1. Схема волочения проволоки через две пары роликов за проход по системе «круг – овал – круг»

нами регулировки каждой пары роликов:  $S_1$ ,  $S_2$  и  $t_1$ ,  $t_2$  и определяется следующей зависимостью:

$$L_{\min} = \sin \left( \arccos \left( \frac{D_1 - t_2 - B_2 + S_1}{D_1} \right) \right) \frac{D_1}{2} + \dots + \sin \left( \arccos \left( \frac{D_2 - t_1 - B_1 + S_2}{D_2} \right) \right) \frac{D_2}{2}. \quad (1)$$

Для случая использования схемы калибров при производстве проволоки «круг – овал – круг» (рис. 1) ширина бочки роликов первой пары находится в прямой зависимости от максимального диаметра исходной заготовки  $d_{\max}$  и выражается следующим соотношением:

$$B_1 = (1,5 \dots 1,7) d_{\max}. \quad (2)$$

Диаметры рабочих роликов определяются из условия обеспечения необходимой нагрузочной работоспособностью подшипникового узла.

Качество профиля помимо точности изготовления и настройки рабочих роликов зависит от возможного угла скручивания заготовки между двумя очагами деформации, при превышении значения этого угла больше допустимого значения на готовом профиле будут образовываться дефекты. Максимальный угол скручивания  $\varphi_k$  (рис. 2) можно определить из центрирующей способности калибра, то есть способности калибра достигать, а при дальнейшей деформации сохранять без участия вводной арматуры совмещение вертикальных осей калибра и полосы.

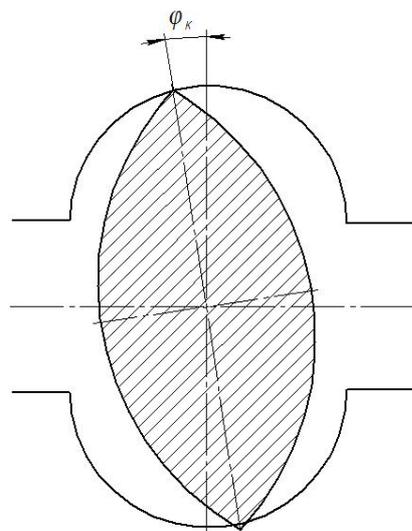


Рис. 2. Схема возможного расположения полосы в калибре

Значение угла скручивания заготовки будет зависеть от расстояния между осями пар роликов, то есть длины заготовки между очагами деформации, с увеличением этого расстояния угол скручивания будет увеличиваться.

В данной работе определяется расстояние между осями вертикальных и горизонтальных пар роликов в зависимости от предельного угла скручивания. Так как первая пара роликов при обжатии заготовки удерживает профиль от возможного скручивания, то в расчетах принимается допуще-

## Обработка металлов давлением

ние, что заготовка в овальном калибре имеет ноль степеней свободы.

Определение значения максимальной длины полосы между очагами деформации из условия устойчивого положения полосы ведется в следующей последовательности:

- определяется усилие, действующее на полосу со стороны рабочих роликов при ее деформации;
- определяется горизонтальная проекция площади контакта очага деформации;
- определяется допустимый угол скручивания полосы;
- определяется сваливающий момент, действующий на полосу;
- определяется предельный угол скручивания полосы;
- определяется максимально возможная длина полосы между очагами деформации.

Расчет усилия, действующего на полосу со стороны роликов, предлагается проводить по методике, изложенной в работе [2]:

$$\bar{p} = \frac{F_f - F_b}{2Rb} \frac{1}{1 - \cos \theta},$$

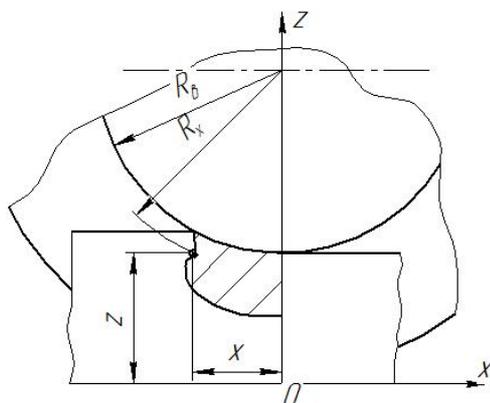
здесь  $F_f$  – усилие протягивания через калибр;  $F_b$  – усилие заднего натяжения;  $R$  – катающий радиус вала;  $b$  – ширина полосы на выходе из первой пары роликов;  $\theta$  – угол захвата первой пары роликов.

Горизонтальная проекция площади контакта определяется [4]:

$$F_r = 1,73b\sqrt{A}, \quad (3)$$

где

$$A = \frac{R_{i-1}^2}{b} \left( R_{ид} + \frac{c_{i-1}}{2} \right) \left( 1,71 - 2 \frac{c_{i-1}}{R_{i-1}} \right) -$$



$$- (R_{ид} + c_i) \left( \frac{b}{2} + 1,157 \frac{R_i \arcsin \left( 0,865 \frac{b}{R_i} \right)}{2} \right) +$$

$$+ R_{ид} (c_i - c_{i-1}) - (R_{i-1}^2 - R_i^2) + 0,8bc_{i-1},$$

где  $c_{i-1}$ ,  $R_{i-1}$ ,  $c_i$ ,  $R_{ид}$ ,  $b$ ,  $R_i$  – геометрические параметры калибра (рис. 3);  $R_{ид}$  – идеальный диаметр роликов.

Вертикальная проекция площади контакта равняется:

$$F_B = F_r \sqrt{\left( \frac{R}{b} \arcsin \left( \frac{b}{R} \right) \right)^2 - 1}. \quad (4)$$

Данная методика расчета площади контакта применима при обжатии более 7%. Проведенное исследование недокатов показало, что разница расчетной по зависимости (4) и фактической площадей контакта находится в диапазоне от 3 до 7%.

Исследование недокатов, полученных при производстве проволоки из титанового сплава, показало, что потеря устойчивости полосы обусловлена несимметричным входом заготовки во второй круглый калибр. Вследствие этого полоса во втором калибре расположена несимметрично относительно оси калибра и на нее начинает действовать сваливающий момент  $M_{св}$ , который предлагается рассчитывать при максимальном угле скручивания полосы, при котором калибр теряет свою центрирующую способность.

Максимальный угол скручивания определяется из следующей зависимости [4]:

$$\varphi_k = \frac{\mu(1 + \sin \theta)}{0,5 \frac{h_1}{R_B}}, \quad (5)$$

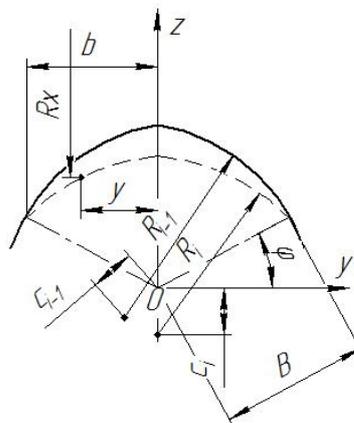


Рис. 3. Схема очага деформации

где  $\mu$  – коэффициент трения между металлом полосы и рабочими роликами;  $\theta$  – угол захвата полосы рабочими роликами;  $h_1$  – высота полосы после первой пары роликов;  $R_B$  – радиус рабочего ролика по дну ручья.

Сваливающий момент определяется как разность моментов содействующего и препятствующего сваливанию, которые обусловлены различной площадью контакта относительно оси второго калибра. Расчет площадей поверхности контакта ведется при несоответствии вертикальной оси калибра и вертикальной оси профиля на критический угол скручивания  $\varphi_k$ . Тогда площадь поверхности контакта, содействующего сваливанию:

$$A_1 = \frac{F_r}{2} \cos \varphi_k + \frac{h_2}{2} l_0 \sin \varphi_k + \frac{F_B}{2} \sin \varphi_k, \quad (6)$$

где  $h_2$  – высота профиля на выходе из второй пары роликов;  $l_0$  – длина очага деформации, равная  $l_0 = \sqrt{(h_1 - h_2) R_{кр}}$ .

А площадь поверхности контакта, препятствующего сваливанию:

$$A_2 = \frac{F_r}{2} \cos \varphi_k - \frac{h_2}{2} l_0 \sin \varphi_k + \frac{F_B}{2} \cos \varphi_k + \frac{F_B}{2} \sin \varphi_k. \quad (7)$$

Таким образом, формула для расчета сваливающего момента будет выглядеть следующим образом:

$$M_{св} = \bar{p} (A_1 a_1 - A_2 a_2), \quad (8)$$

где  $a_1, a_2$  – расстояния от оси калибра до средних линий площадей соответственно  $A_1, A_2$ , равные

$$a_i = k \frac{S_i}{l_0},$$

где  $k = 0,586$  – коэффициент, учитывающий форму

круглого калибра;  $\bar{p}$  – среднее удельное давление, нормальное к поверхности металла.

Длина заготовки между очагами деформации  $l_k$ , достаточная для предотвращения скручивания заготовки на угол, больший предельного, равна

$$l_k = \frac{\varphi_k G J_k}{M_{св}}, \quad (9)$$

где  $G$  – модуль сдвига материала заготовки;  $J_k$  – полярный момент инерции поперечного сечения заготовки между очагами деформации;  $\varphi_k$  – предельный угол скручивания заготовки;  $M_{св}$  – сваливающий момент, действующий со стороны роликов на заготовку.

Численное исследование представленной методики было проведено для роликовых волок конструкции ЮУрГУ [5] двух типоразмеров (ВР-2/2.180 и ВР-2/2.125) на примере изготовления проволоки диаметром 5,0 и 2,0 мм из следующих материалов: сталь марки 10, алюминий и титан. Результаты расчета минимально возможного расстояния между осями пар рабочих роликов  $L_{min}$ , согласно формуле (1), и расстояния между очагами деформации  $l_k$ , достаточного для предотвращения скручивания заготовки, согласно формуле (9), представлены в виде графиков на рис. 4, 5.

Согласно рис. 4, чем больше способность материала сопротивляться сдвиговой деформации, тем большее расстояние между осями пар роликов может быть принято при конструировании роликовых волок со смещенными парами роликов. Также следует отметить влияние минимального диаметра изготавливаемой проволоки: чем меньше диаметр проволоки, тем менее устойчиво положение полосы во втором очаге деформации, что требует уменьшения расстояния между осями пар роликов.

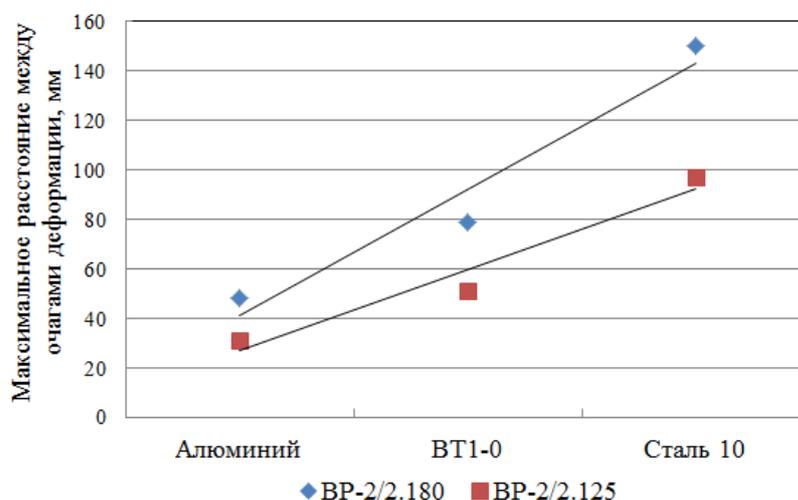


Рис. 4. Зависимость  $l_k$  от материала проволоки и диаметра рабочих роликов

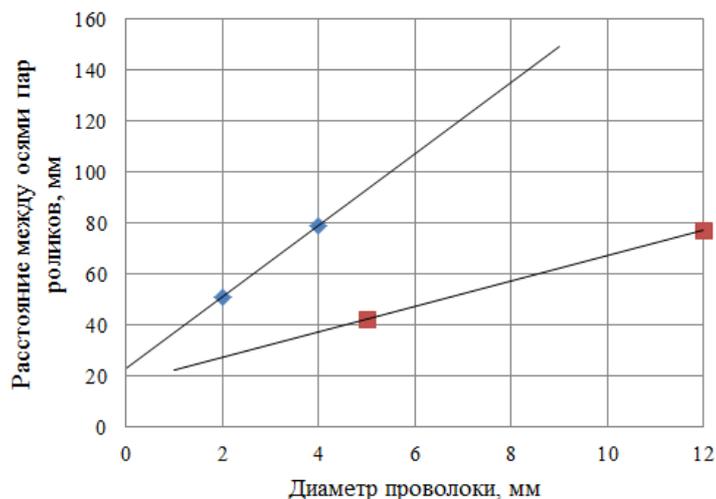


Рис. 5. Изменение максимального и минимального расстояния между осями деформации в зависимости от диаметра проволоки для сплава ВТ.1-0

Таким образом, в зависимости от планируемого сортамента проволоки определяются граничные расстояния между осями пар роликов: минимальное расстояние определяется максимальным диаметром проволоки (см. (1), (2)); максимальное – минимальным диаметром проволоки (см. (9)). На рис. 5 область, ограниченная минимальным и максимальным расстоянием, включает диапазон значений, которые могут быть использованы при проектировании роликовых волок.

Таким образом, зависимости (1) и (9) позволяют проводить проверочный расчет при проектировании

роликовых волок. Также совместное их решение позволит определить максимальный угол скручивания для конкретной конструкции роликовой волоки.

На основе результатов проведенных исследований была разработана конструкция роликовой волоки со смещенными парами роликов ВР-2/2.180.М, трехмерная модель которой приведена на рис. 6.

Конструкция роликовой волоки ВР-2/2.180.М позволяет производить проволоку из титановых сплавов. По сравнению с ВР-2/2.180 усовершенствованная конструкция позволяет производить проволоку в увеличенном диапазоне типоразмеров:

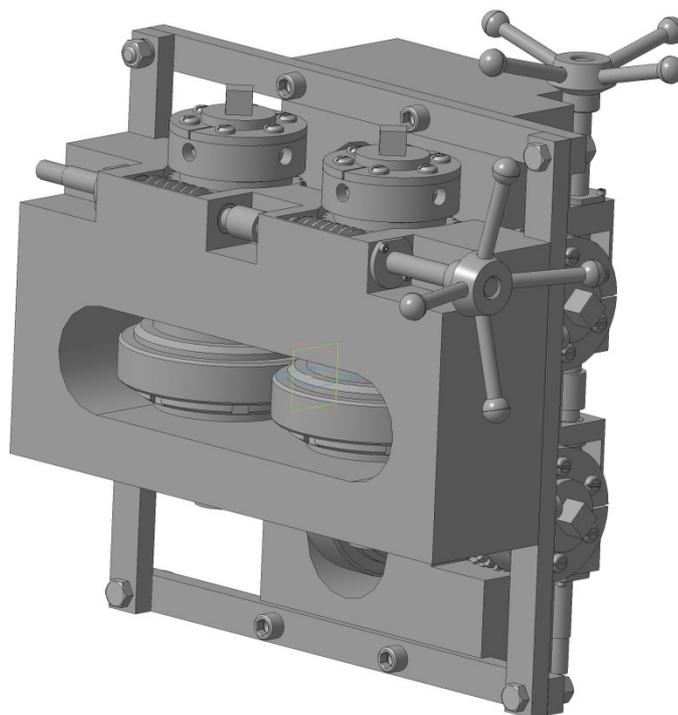


Рис. 6. Трехмерная модель роликовой волоки ВР-2/2.180.М

от 4,0 до 12,0 мм. Выбор оптимального расстояния между осями пар роликов с учетом приведенной методики позволил также уменьшить габариты роликовой волоки и соответственно ее металлоёмкость. Проведенные мероприятия по модернизации также позволили усовершенствовать радиальную регулировку роликов и получить возможность осуществления модульной сборки неограниченного числа пар роликов за счет того, что каждая пара роликов сконструирована в отдельном корпусе.

#### **Литература**

1. Ерманок, М.З. Волочение легких сплавов / М.З. Ерманок, Л.С. Ватрушин. – М.: ВИЛС, 1999. – 216 с.

2. Битков, В.В. Технология и машины для волочения проволоки – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 350 с.

3. Блинов, В.И. Продольная прокатка труб в многовалковых калибрах – Челябинск: Металл, 1992. – 240 с.

4. Федин, В.П. Валковая арматура сортовых станков / В.П. Федин, Н.Ф. Грицук. – М.: Металлургия, 1975. – 216 с.

5. Баричко Б.В. Основы технологических процессов ОМД: конспект лекций / Б.В. Баричко, Ф.С. Дубинский, В.И. Крайнов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 131 с.

**Храмков Евгений Владимирович**, аспирант кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; hramkov@rosniti.ru.

**Штер Арон Абрамович**, старший преподаватель кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; Arabr@mail.ru.

**Яковлева Ксения Юрьевна**, научный сотрудник, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск; yakovleva@rosniti.ru.

*Поступила в редакцию 6 апреля 2015 г.*

DOI: 10.14529/met150417

## **ON THE ISSUE OF DESIGNING ROLLER DIES WITH STAGGERED PAIRS OF ROLLERS**

**E.V. Khramkov<sup>1</sup>**, hramkov@rosniti.ru,  
**A.A. Shter<sup>1</sup>**, Arabr@mail.ru,  
**K.Yu. Yakovleva<sup>2</sup>**, yakovleva@rosniti.ru

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

<sup>2</sup> Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries (RosNITI), Chelyabinsk, Russian Federation

The paper presents the process of manufacturing round and shaped wire made of different metals and alloys. Parameters affecting the production quality were estimated, such as rigidity of the die design, precision of the mill setting, the workpiece stability in a calibre. The influence of the workpiece stability in a calibre was investigated. The dependence of the minimum distance between axial rollers was obtained. The influence of the diameter of the finished profile was estimated. Methods for determination of maximum possible distance between the axes of pairs of rollers were developed on the basis of the loss of the workpiece stability in the second calibre by using the system “circle-oval-circle”. Main stages of methods were presented, such as the force acting on the metal piece from the roller, the horizontal projection area of the deformation zone, the tilting moment acting on the workpiece, the maximum angle of the workpiece twist, the maximum length of the workpiece in the deformation zone. The influence on the maximum distance between the axes of pairs of rollers is shown. Ways of the application of dependences received are presented. The design of roller dies is presented and described. The design of roller dies is characterized by the possibility of using modular assembly and the simplified scheme of adjustment.

*Keywords: wire drawing; roller dies; loss of stability; calibre system; designing roller dies.*

### References

1. Ermanok M.Z., Vatrushin L.S. *Volochenie legkikh splavov* [Drawing of Light Alloys]. Moscow, VILS Publ., 1999. 216 p.
2. Bitkov V.V. *Tekhnologiya i mashiny dlya volocheniya provoloki* [Technology and Machines for Wire Drawing]. Ekaterinburg, Ural Branch RAS Publ., 2004. 350 p.
3. Blinov V.I. *Prodol'naya prokatka trub v mnogovalkovykh kalibrakh* [Lengthwise Rolling of Pipes in Multi-roll Grooves]. Chelyabinsk, Metall Publ., 1992. 240 p.
4. Fedin V.P., Gritsuk N.F. *Valkovaya armatura sortovykh stanov* [Roller Guide of Mills for Section Rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 216 p.
5. Barichko B.V., Dubinskiy F.S., Kraynov V.I. *Osnovy tekhnologicheskikh protsessov OMD* [Basics of Metal Forming Processes]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2008. 131 p.

*Received 6 April 2015*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Храмков, Е.В. К вопросу проектирования роликовых волок со смещенными парами роликов / Е.В. Храмков, А.А. Штер, К.Ю. Яковлева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 128–134. DOI: 10.14529/met150417

### FOR CITATION

Khramkov E.V., Shter A.A., Yakovleva K.Yu. On the Issue of Designing Roller Dies with Staggered Pairs of Rollers. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 128–134. (in Russ.) DOI: 10.14529/met150417

---