

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ МЕТАЛЛА В СМЕЩЕННЫХ ПАРАХ РОЛИКОВ

*Б.В. Баричко, А.В. Выдрин, К.Ю. Яковлева, В.С. Баричко*

Представлены результаты экспериментального исследования влияния соотношения деформаций в парах роликов на уширение металла при волочении проволоки прямоугольного сечения. Проведенные ранее исследования показали, что стабильность свободного размера прямоугольного профиля при прочих равных условиях определяется соотношением величины деформации металла в парах роликов, причем наименьшие отклонения этого размера были зафиксированы при максимальной величине уширения металла во второй паре роликов. При этом суммарная величина относительного обжатия металла, обеспечивающая при заданном значении величины деформации в первой паре роликов максимальное уширение металла во второй паре роликов, во всех случаях волочения проволоки из стали 65Г остается постоянной.

Целью исследования была проверка соблюдения указанной закономерности при роликовом волочении других материалов, в качестве которых были выбраны медь М1 и титановый сплав ВТ1-00. Для исследований использовали волоку с роликами диаметром 170 мм.

Методика проведения исследования заключалась в том, что при фиксированных значениях величины обжатия заготовки в первой паре роликов, с определенным шагом изменяли величину обжатия металла во второй паре роликов. На каждом шаге эксперимента фиксировали размер стороны готового прямоугольного сечения металла, формируемый свободным течением металла во второй паре роликов. Каждый опыт повторяли пятькратно, результаты усредняли. По полученным точкам строили кривые зависимости уширения металла во второй паре роликов от величины относительного обжатия в этой паре роликов для различных значений относительного обжатия в первой паре роликов.

В результате исследований показано, что максимум величины уширения металла во второй паре роликов наблюдается при определенной суммарной величине обжатия, характерной для конкретного материала, подвергаемого деформации волочением.

Обнаруженная закономерность распределения деформаций в волоке со смещенными парами роликов может быть использована при проектировании режимов изготовления металлоизделий в виде прутков, проволоки и труб различного сечения.

*Ключевые слова:* волочение, роликовая волока, обжатие, уширение, усилие, напряжение волочения, сопротивление металла пластической деформации.

Волоки со смещенными по оси волочения парами горизонтальных и вертикальных роликов первоначально использовали для производства проволоки круглого сечения, преимущественно при калибровке катанки перед волочением в монолитных волоках [1]. Опыт проектирования технологий роликового волочения показал возможность применения волок со смещенными парами роликов при производстве металлоизделий фасонного поперечного сечения [2, 3].

При разработке технологических режимов роликового волочения по схеме, изображенной на рис. 1, важным является вопрос соотношения величины деформации металла в парах роликов. При

этом критериями оптимальности соотношения деформаций могут выступать минимальная величина усилия волочения, точность размеров сечения металла или его устойчивость в промежутке между очагами деформации [4, 5].

Проведенные ранее на стали 65Г исследования позволили сделать вывод о том, что стабильность свободного размера получаемого прямоугольного профиля при прочих равных условиях определяется соотношением величины деформации металла в парах роликов, причем наименьшие отклонения размера  $h_2$  были зафиксированы при максимальной величине уширения металла во второй паре роликов [5, 6].

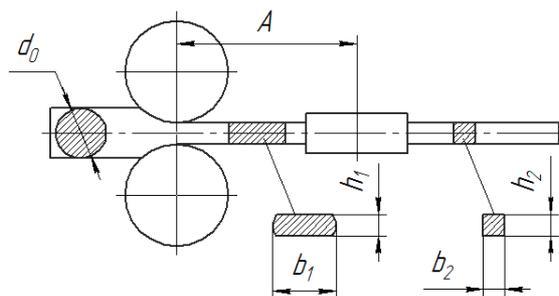


Рис. 1. Схема процесса волочения в смещенных парах роликов

Другим важным результатом исследований явилось выявление следующей закономерности: при увеличении величины относительного обжатия металла в первой паре роликов ( $\epsilon_1 = \Delta h_1/d_0$ ) максимум величины относительного уширения во второй паре роликов ( $\beta_2 = \Delta h_2/h_1$ ) наблюдали при меньших значениях величины относительного обжатия во второй паре роликов ( $\epsilon_2 = \Delta b_2/b_1$ ). При этом суммарная величина относительного обжатия металла ( $\epsilon_\Sigma = \epsilon_1 + \epsilon_2$ ), обеспечивающая при заданном значении величины  $\epsilon_1$  максимальное уширение металла во второй паре роликов, во всех случаях волочения проволоки из стали 65Г оставалась постоянной.

Целью данного исследования была проверка соблюдения указанной закономерности при роликовом волочении по схеме, изображенной на рис. 1, проволоки из других материалов.

В качестве материалов для исследования были выбраны медь М1, титановый сплав ВТ1-00 и сталь 65Г (для повторной проверки и сравнения). Исходные материалы в виде проволоки диаметром ( $d_0$ ) 5,0–0,02 мм предварительно были подвергнуты отжигу по режимам, выбранным с учетом особенностей каждого из перечисленных материалов.

Для исследований использовали однократный волочильный стан с вертикально установленным

барабаном, имеющим диаметр 650 мм. Роликовая волока типа ВР-2/2.180 [2]. Диаметр бочки ролика – 170 мм. Величина радиального биения роликов не превышала 0,02 мм. Расстояние между парами роликов  $A = 80$  мм. Измерение размеров сечения проволоки проводили ручным инструментальным микрометром МК 0-25.

Методика проведения исследования заключалась в следующем. При фиксированных значениях величины обжатия заготовки в первой паре роликов ( $\epsilon_1$ ), с определенным шагом изменяли величину обжатия металла во второй паре роликов. На каждом шаге эксперимента фиксировали величину размера  $h_2$ , замеры которого проводили на отрезке профиля длиной 1500 мм, т. е. превышающем длину периметра рабочего инструмента, через каждые 100 мм. Каждый опыт повторяли пять раз, полученные результаты усреднялись. По полученным точкам были построены соответствующие кривые изменения величины уширения металла во второй паре роликов  $\beta_2$  от величины относительного обжатия во второй паре роликов  $\epsilon_2$  при различных значениях величины относительного обжатия в первой паре роликов  $\epsilon_1$ . Упомянутые кривые для условий эксперимента приведены на рис. 2.

Из практики деформирования металла вращающимся инструментом известно, что увеличе-

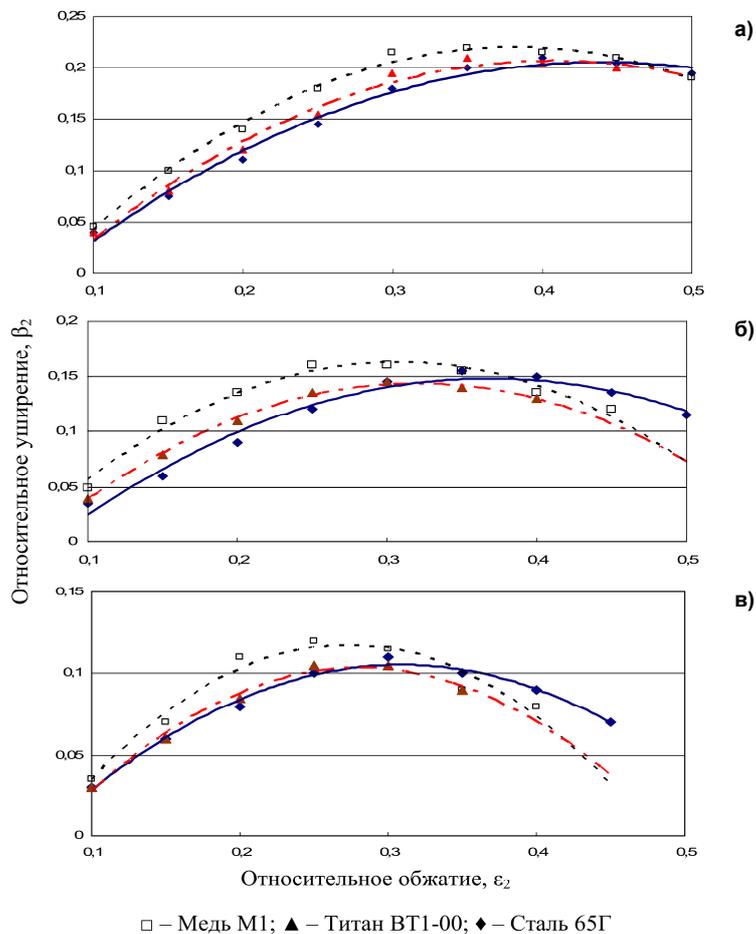


Рис. 2. Зависимость относительного уширения  $\beta_2$  от относительного обжатия  $\epsilon_2$  для второй пары роликов при величине относительного обжатия в первой паре роликов:  $\epsilon_1 = 0,20$  (а);  $\epsilon_1 = 0,25$  (б);  $\epsilon_1 = 0,30$  (в)

ние обжатия ведет к увеличению уширения. Это, в частности, показывает зависимость, полученная для плющения проволоки в роликовой волоке [7]:

$$\beta = \left( \frac{d_0}{h_1} \right)^{0,549-0,94 \frac{\sigma_0 \ln \frac{d_0}{h_1}}{\sigma_{S0}}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  – заднее напряжение (подпор);  $\sigma_{S0}$  – предел текучести металла в недеформированном состоянии. Поэтому увеличение обжатия во второй паре роликов будет способствовать уширению полосы. С другой стороны, при деформации металла в роликовой волоке увеличение обжатия сопряжено с повышением величины тянущего усилия, что снижает тенденцию металла к уширению. Соответственно, при малых обжатиях в роликовой волоке, когда тянущее усилие невелико, преобладающее влияние на характер формоизменения металла оказывает обжатие, и в области относительно малых обжатий увеличение величины обжатия способствует увеличению величины уширения.

При этом по мере увеличения величины обжатия интенсивность увеличения уширения падает в результате увеличения тянущего усилия. При достижении определенной величины тянущего усилия и последующего его увеличения уширение с ростом обжатия уменьшается, что и объясняет наличие максимума на кривых зависимости уширения от обжатия во второй паре роликов.

Увеличение относительного обжатия в первой паре роликов возможно только в случае увеличения тянущего усилия. Тянущее усилие для первой пары роликов является усилием противонапряжения для второй пары роликов. Поскольку усилие противонапряжения способствует уменьшению уширения, что следует в том числе и из зависимости (1), увеличение обжатия в первой паре роликов способствует уменьшению уширения во второй паре роликов.

Заметное влияние на величину уширения оказывает коэффициент трения. Однако при волочении для исследуемых металлов его величина отличается незначительно. По данным работы [8], при волочении высокоуглеродистых сталей коэффициент трения равен 0,05–0,08, при волочении меди и сплавов на ее основе – 0,06–0,08, при волочении титана и его сплавов – 0,1. Поэтому разница в характере зависимости уширения от обжатия во второй паре роликов, скорее всего, объясняется разницей в интенсивности упрочнения стали 65Г, меди М1 и титанового сплава ВТ1-00. Как было отмечено выше, увеличение переднего напряжения ( $\sigma_1$ ) способствует уменьшению уширения. Естественно, что чем мягче металл, тем он при прочих равных условиях будет стремиться больше вытягиваться с увеличением  $\sigma_1$ . Поэтому более корректно считать, что уширение зависит от соотношения  $\sigma_1/\sigma_S$  (где  $\sigma_S$  – сопротивление металла пластической деформации). Но процесс уширения наблюдается на протяжении всего очага деформации,

следовательно необходимо рассматривать влияние на величину уширения параметра  $\sigma_1/\sigma_{SC}$  (где  $\sigma_{SC}$  – усредненное по длине очага деформации сопротивление металла пластической деформации). Очевидно, что чем больше интенсивность упрочнения металла, тем величина  $\sigma_1/\sigma_{SC}$  будет больше, а величина уширения – меньше.

Необходимо отметить, что последующие исследования процесса волочения металла в роликовой волоке со смещенными парами роликов показали наличие описанной выше закономерности изменения величины уширения металла при волочении проволоки из меди М1 по схеме «круг – овал – овал». Это позволяет предположить, что полученные результаты исследования могут быть распространены на процесс волочения металла в калибрах, что значительно расширяет возможность их практического использования, например при волочении прутков, проволоки и труб круглого или фасонного сечения.

Полученные результаты исследований позволяют сделать ряд выводов:

1. Во всех случаях роликового волочения наблюдали наличие экстремумов кривых изменения величины относительного уширения металла  $\beta_2$  при увеличении относительного обжатия во второй паре роликов. Это говорит о том, что при волочении всех исследованных материалов с обжатием металла в первой паре роликов в диапазоне  $\epsilon_1$  от 0,2 до 0,3 во второй паре роликов наблюдается наличие отрицательной динамики развития величины относительного уширения.

2. Увеличение величины относительного обжатия в первой паре роликов  $\epsilon_1$  в диапазоне значений от 0,2 до 0,3 вызывает уменьшение величины относительного уширения металла  $\beta_2$  во второй паре роликов в диапазоне значений от 0,22 до 0,12.

3. Суммарная величина относительного обжатия металла ( $\epsilon_{\Sigma}$ ), обеспечивающая при заданном значении величины  $\epsilon_1$  максимальное уширение металла во второй паре роликов, составила:

- для стали 65Г – 0,6;
- для титанового сплава ВТ1-00 – 0,55;
- для меди М1 – 0,52.

4. Обнаруженная авторами закономерность распределения деформаций для схемы волочения металла в волоке со смещенными парами роликов может быть использована при проектировании режимов изготовления металлоизделий в виде прутков, проволоки и труб различного сечения.

#### Литература

1. Красавин, Б.Н. Использование роликовых волок за рубежом / Б.Н. Красавин, М.И. Бояришинов, М.Г. Поляков. – М: ЦНИИЧЕРМЕТ. – Сер. 9, информ. 2. – 1971. – 27 с.
2. 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.

3. Штер, А.А. Получение проволоки и фасонных профилей из сплавов на основе титана в роликовых волоках / А.А. Штер, Ю.Н. Попов, Б.В. Баричко // *Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 1999. – С. 88–92.*

4. Оптимальное распределение деформации при волочении в двух неприводных калибрах / Б.Х. Шлиомензон, А.К. Григорьев, В.Я. Спиринов и др. // *Цветные металлы. – 1985. – № 7. – С. 80–82.*

5. Баричко, Б.В. Оптимальные соотношения обжатий при волочении прямоугольных профилей в смещенных парах роликов / Б.В. Баричко; ЮУрГУ. – Челябинск, 1999. – 11 с., ил. 4, библиогр. 5 назв. – Деп. в ВИНИТИ 11.03.99, № 732.

6. Выдрин, А.В. Разработка рациональных режимов деформации металлов в роликовых волоках с использованием методов моделирования / А.В. Выдрин, Б.В. Баричко, В.С. Баричко // *Труды VI конгресса прокатчиков. – М.: ОАО «Черметинформация», 2005. – С. 475–480.*

7. Дукмасов, В.Г. Математическая модель формоизменения в очаге деформации при плющению в роликовой волоке / В.Г. Дукмасов, А.В. Выдрин, Б.В. Баричко // *Метизное производство в XXI веке: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – С. 54–59.*

8. Грудев, А.П. Трение и смазки при обработке металлов давлением / А.П. Грудев, Ю.В. Зильберг, В.Т. Тилик. – М.: *Металлургия*, 1982. – 312 с.

**Баричко Борис Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника отдела, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (г. Челябинск); barichko@rosniti.ru.

**Выдрин Александр Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, заместитель генерального директора, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (г. Челябинск); vydrinav@rosniti.ru.

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

**Баричко Владимир Сергеевич**, заместитель начальника цеха, ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» (г. Челябинск); VBarichko@chtpz.ru.

*Поступила в редакцию 26 июня 2014 г.*

---

**Bulletin of the South Ural State University  
Series “Metallurgy”  
2014, vol. 14, no. 4, pp. 66–70**

---

## **DISTRIBUTION OF STRAINS DURING METAL DRAWING IN SHIFTED ROLLER PAIRS**

**B.V. Barichko**, *The Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries, Chelyabinsk, Russian Federation, barichko@rosniti.ru,*

**A.V. Vydrin**, *The Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries, Chelyabinsk, Russian Federation, vydrinav@rosniti.ru,*

**K.Yu. Yakovleva**, *The Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries, Chelyabinsk, Russian Federation, yakovleva@rosniti.ru,*

**V.S. Barichko**, *JSC “Chelyabinsk Pipe-Rolling Plant”, Chelyabinsk, Russian Federation, VBarichko@chtpz.ru*

The article presents the results of the experimental study of the influence of strain ratio in roller pairs on metal spreading during drawing of the rectangular cross section wire. Previous studies showed that the stability of the free size of the rectangular cross section is defined by the correlation of the metal deformation ratio in roller pairs under other equal conditions, the least deviations of this size were recorded at a maximum value of metal spreading in the second roller pair. The total value of relative metal sinking which provides maximum metal spreading in the first roller pair at a given deformation value remains constant in all cases of drawing the wire made of 65G steel.

The aim of the study was to check the specified regularity at roller drawing of other materials which were chosen for research, such as M1 copper and VT1-00 titanium alloy. A drawing die having 170 mm diameter rollers was used in the research.

---

The technique of carrying out the research consisted in the fact that at fixed values of shell reduction in the first roller pair, the size of metal reduction in the second pair of rollers changed with a certain step. At each experiment step the side size of a ready rectangular metal section was fixed and formed by a free metal current in the second roller pair. Each experiment was repeated five times and the results were averaged. The received points helped to build the curves of the dependence of metal spreading in the second roller pair on the size of relative reduction in this roller pair for various values of relative reduction in the first roller pair.

Results show that the maximum value of metal spreading in the second pair of rollers is observed at a certain total value of the draft characteristic for the particular material deformed by drawing.

The obtained regularity of strain distribution in metal drawing with shifted roller pairs can be used in designing modes of such hardware products as bars, wire, and pipes with various sections.

*Keywords: roller die, reduction, spreading, force, drawing stress, plastic resistance of the metal.*

### References

1. Krasavin B.N., Boyarshinov M.I., Polyakov M.G. *Ispol'zovanie rolikovykh volok za rubezhom* [Using of Roller Dies Abroad]. Series 9, Information 2. Moscow, TsNIChERMET Publ., 1971. 27 p.
2. Barichko B.V., Dubinskiy F.S., Kraynov V.I. *Osnovy tekhnologicheskikh protsessov OMD* [Basics of Metal Forming Processes]. Chelyabinsk, SUSU Publ., 2008. 131 p.
3. Shter A.A., Popov Yu.N., Barichko B.V. [Manufacturing Wire and Profile Shapes of Titanium Alloys in Roller Dies]. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov* [Working of Solid and Layered Materials]. Magnitogorsk, MGTU Publ., 1999, pp. 88–92. (in Russ.)
4. Shliomenzon B.Kh., Grigor'ev A.K., Spirin V.Ya. et al. [Optimal Distribution of Deformation During Drawing in Double Idler Dies]. *Tsvetnye metally*, 1985, no. 7, pp. 80–82. (in Russ.)
5. Barichko B.V. *Optimal'nye sootnosheniya obzhatiy pri volochenii pryamougol'nykh profiley v smeshchennykh parakh rolikov* [Optimum Ratios of Drafts at Drawing Rectangular Profiles in Shifted Roller Pairs]. Deposited Manuscript VINITI no. 732, 11.03.1999. Chelyabinsk, SUSU, 1999. 11 p.
6. Vydrin A.V., Barichko B.V., Barichko V.S. [Development of Rational Modes of Metal Deformation in Roller Dies Using Modeling Techniques]. *Trudy VI kongressa prokatchikov* [Proceedings of the 6th Congress of Rolling Engineers]. Moscow, Chermetinformatsiya Publ., 2005, pp. 475–480. (in Russ.)
7. Dukmasov V.G., Vydrin A.V., Barichko B.V. [Mathematical Model of Forming in the Deformation Zone During Flattening in Roller Die]. *Metiznoe proizvodstvo v XXI veke* [Hardware Production in the XXI Century]. Magnitogorsk, MGTU Publ., 2001, pp. 54–59. (in Russ.)
8. Grudev A.P., Zil'berg Yu.V., Tilik V.T. *Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem* [Friction and Lubrications in Metal Forming]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 312 p.

*Received 26 June 2014*