

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТУПЕНЧАТЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВЫМ РЕДУЦИРОВАНИЕМ С РЕВЕРСИВНОЙ КАЛИБРОВКОЙ

<sup>1</sup>В.В. Левкович, <sup>2</sup>В.А. Томило

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси  
<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

*Представлена технология поперечно-винтового редуцирования с реверсивной калибровкой, предназначенная для изготовления осесимметричных заготовок с заданной геометрической точностью. Рассмотрено применение данной технологии при изготовлении ступенчатых трубных заготовок цапф и осей ОАО «Бобруйскагромаш». Выделены параметры, определяющие режимы калибровки, и определены соотношения между ними, которые обеспечивают возможность проведения реверсивной калибровки. Внедрение технологии позволило увеличить коэффициент использования металла с 0,65–0,70 до 0,80–0,87.*

**Ключевые слова:** поперечно-винтовое редуцирование, реверсивная калибровка, трубная заготовка

## TECHNOLOGY OF MANUFACTURING OF STEPPED TUBES BY HELICAL REDUCTION WITH REVERSE CORRECTION

<sup>1</sup>V.V. Liaukovich, <sup>2</sup>V.A. Tamila

<sup>1</sup>Physical-technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus  
<sup>2</sup>Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

*The article presents the technology of helical reduction with reverse correction, designed for manufacturing axisymmetric blanks with a given geometric accuracy. The application of this technology in the manufacture of stepped tubes of trunnions and axles of JSC “Bobruiskagromash” is considered. The parameters defining the correction modes are identified and the relationships between them are determined, which enable the reversal correction. The introduction of technology allowed to increase the metal utilization factor from 0,65–0,70 to 0,80–0,87.*

**Keywords:** helical reduction, reverse correction, tube workpiece

**E-mail:** victor.levkovich@gmail.com

Ступенчатые трубные заготовки достаточно широко применяют на предприятиях Беларуси (в особенности в транспортном и сельскохозяйственном машиностроении) при изготовлении мостов, осей, деталей приводов различной конфигурации. Распространённость заготовок данного типа обеспечила наличие широкого спектра технологических решений для их получения, среди которых ковка, штамповка, ротационная ковка и прочие, например, [1–3]. Наиболее распространёнными технологиями производства ступенчатых трубных заготовок на предприятиях Беларуси являются ковка и штамповка, характеризующиеся низкой эффективностью при изготовлении заготовок рассматриваемого типа (высокие припуски, сложности автоматизации и механизации с ростом длины заготовки, необходимость наличия оснастки для каждого типоразмера изготавливаемых заготовок). В качестве базовой принята технология изготовления заготовок осей мостов и цапф балансиров из трубной заготовки  $\varnothing 121 \times 18$  мм из стали 40Х на ОАО «Бобруйскагромаш», включающая печной нагрев с последующей ковкой на молоте. При производстве цапф балансира по базовой технологии отходы составляют до 6 кг с одной заготовки (до 30 % от ее массы). Объем выпуска цапф и осей на ОАО «Бобруйскагромаш» достигает 10 тыс. штук, что делает актуальным разработку новой технологии получения ступенчатых трубных заготовок. Перспективным способом получения заготовок данного типа является поперечно-винтовое редуцирование (ПВР) с реверсивной калибровкой, обеспечивающее повышение производительности и качества получаемых заготовок.

Данные по химическому составу стали 40Х (ГОСТ 4543-71) приведены в табл. 1.

**Табл. 1**

**Химический состав стали 40Х**

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				не более			
0,36–0,44	0,17–0,37	0,5–0,8	0,8–1,1	0,30	0,30	0,035	0,035

Эскиз заготовки цапфы представлен на рис. 1. Оси мостов имеют аналогичную конструкцию редуцированной части заготовки. Номенклатура ОАО «Бобруйскагромаш» предполагает наличие ряда заготовок мостов и осей различной длины  $L$ .

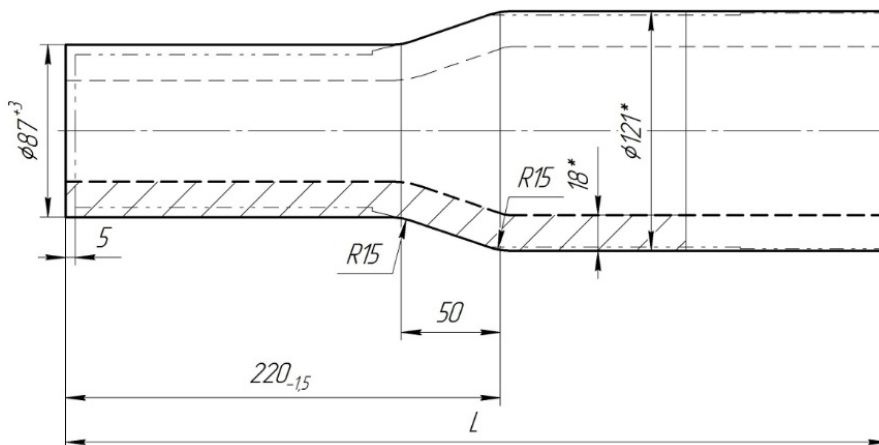


Рис. 1. Заготовка цапфы балансира

На рис. 2 представлена схема ПВР с реверсивной калибровкой.

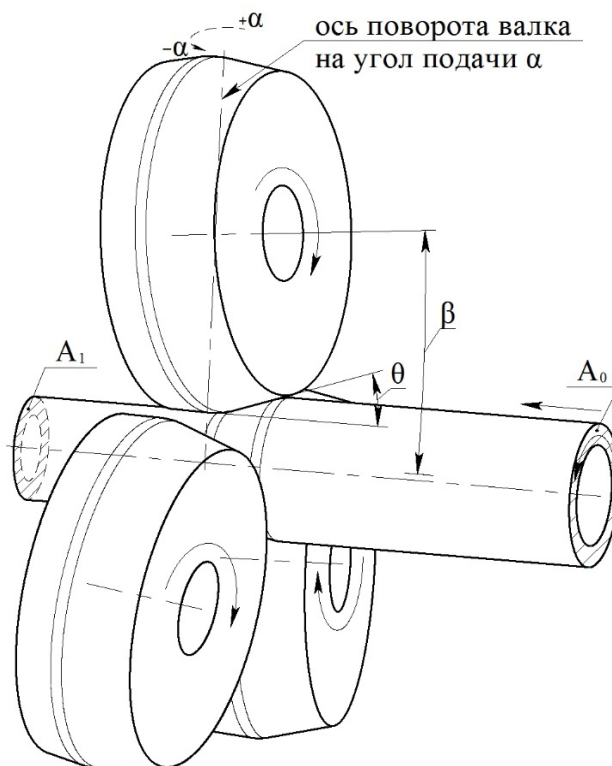


Рис. 2. Схема ПВР

Сплошными стрелками указаны направления движения инструмента и заготовки при редуцировании, пунктирной стрелкой – изменение угла подачи при реверсивной калибровке и выведении заготовки из межвалкового зазора.

Угол подачи  $\alpha$ , отличный от нуля, обеспечивает осевое перемещение заготовки в процессе редуцирования, при положительном угле  $\alpha$  (на рис. 2 угол  $\alpha = 5^\circ$ ) осевая составляющая скорости на бочке валка направлена в сторону уменьшения радиуса заготовки и обеспечивает подачу нового объема металла в очаг деформации, при отрицательном угле  $\alpha$  осевая составляющая скорости на бочке валка направлена в противоположную сторону и обеспечивает выведение заготовки из межвалкового зазора [5]; угол раскатки  $\beta$  вводится для удобного расположения электродвигателей; угол уклона  $\theta$  определяется необходимым профилем переходного конического участка заготовки;  $A_0$  – площадь поперечного сечения заготовки до редуцирования;  $A_1$  – площадь поперечного сечения заготовки после редуцирования.

Редуцирование осуществляется следующим образом. Заготовку подавали в межвалковый зазор, где она захватывается валками и приводится во вращение (согласно рис. 2). За счет положительного угла подачи  $\alpha$  происходит перемещение заготовки вдоль своей оси и обработка нового объема металла (первая стадия обработки). При достижении требуемой технологическим процессом длины обработанного участка происходит поворот валков (до  $\alpha = 0^\circ$ ), калибровка переходного конусного участка (вторая стадия) и последующий поворот валков в отрицательном направлении для выведения редуцированной заготовки из межвалкового зазора (третья стадия).

При изготовлении заготовок цапф и осей номенклатуры ОАО «Бобруйскагро- маш» ПВР с реверсивной калибровкой проводили при технологических параметрах, приведенных в табл. 2.

Табл. 2

**Параметры ПВР с реверсивной калибровкой при изготовлении заготовок цапф балансира и осей мостов ОАО «Бобруйскагромаш»**

$\alpha$ , град.	$\beta$ , град.	$\theta$ , град.	$\lambda = A_0/A_1$	$D$ , мм	$T$ , °С	$n_v$ , об/мин	$V_n$ , град/с
5	6	18.8	1,24	300	1180–1200	20	3

В табл. 2 также приведены значения вытяжки  $\lambda$ , диаметра  $D$  валка в точке пережима, температуры заготовки  $T$ , скорости вращения валков  $n_v$ , а также скорости  $V_n$  изменения угла подачи при реверсивной калибровке.

При получении заготовки на рис. 1 методом ПВР с реверсивной калибровкой при завершении первой стадии обработки (поперечно-винтовое редуцирование при постоянном угле подачи) заготовка остается в межвалковом зазоре, а участок между обработанной и необработанной частями заготовки приобретает искажение формы. Для его устранения и корректировки размеров проводится реверсивная калибровка (вторая стадия), осуществляемая следующим образом. При достижении заданной технологическим процессом длины редуцированной части происходит уменьшение угла подачи  $\alpha$  в область отрицательных значений. В этом случае происходит изменение радиуса заготовки на коническом участке. Предыдущие исследования [4] показали, что зависимость изменения радиуса заготовки от угла подачи  $\alpha$  имеет вид параболы и при углах подачи, близких к нулю, изменение радиуса незначительно.

Введен угол  $\alpha_{\text{крит}}$  – угол подачи, в пределах которого проводится калибровка, т.е.  $-\alpha_{\text{крит}} \leq \alpha \leq \alpha_{\text{крит}}$ . Угол  $\alpha_{\text{крит}}$  выбирается исходя из необходимых значений изменения радиуса заготовки конического участка. Для проведения калибровки необходимо, чтобы заготовка совершила не менее одного оборота в условиях, когда угол подачи валков  $\alpha$  находится в пределах угла  $\alpha_{\text{крит}}$  ( $-\alpha_{\text{крит}} \leq \alpha \leq \alpha_{\text{крит}}$ ). Получено следующее уравнение для определения количества оборотов  $n_k$ , совершаемых заготовкой в указанных пределах:

$$n_k = \frac{D_c n_v}{d_c \pi} \cdot \frac{6 \sin \alpha_{\text{крит}}}{V_n}, \quad (1)$$

где  $d_c, D_c$  – средний диаметр конического участка заготовки и соответствующего ему участка валка, мм (при изготовлении заготовки на рис. 1 с применением ПВР с реверсивной калибровкой при параметрах, указанных в табл. 2,  $d_c = 104$  мм,  $D_c = 283$  мм);

$n_v$  – скорость вращения валков, об/мин;

$V_n$  – скорость изменения угла подачи при реверсивной калибровке, град/с.

Принимая угол  $\alpha_{\text{крит}} = 2^\circ$ , в пределах которого изменение радиуса конического участка заготовки не превышает 0,1 мм [4], получены следующие результаты (рис. 3).

При параметрах обработки, указанных в табл. 2, заготовка совершает ~1,2 оборота в области калибровки, что обеспечивает геометрическую точность (допуск на диаметр заготовки в каждом попереч-

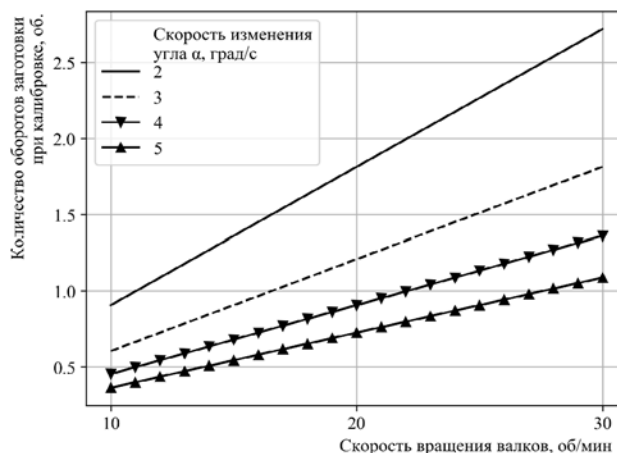


Рис. 3. Количество оборотов, совершаемых заготовкой при калибровке

ном сечении) конического участка заготовки в заданных углом  $\alpha$  крит пределах (менее 0,1 мм при значениях параметров и размеров, указанных на рис. 1 и в табл. 2). При скорости  $V_n$  изменения угла подачи  $\alpha$ , равной 3 град/с минимально допустимая скорость вращения валков, при которой возможно проведение реверсивной калибровки (количество оборотов заготовки  $n_k \geq 1$ ) с получением указанной выше геометрической точности, составляет 17 об/мин.

При изменении угла подачи от значения  $\alpha$ , при котором проводят поперечно-винтовое редуцирование (первая стадия обработки), до 0° заготовка продолжает перемещение с уменьшающейся осевой скоростью  $V_o$ , определяемой уравнением (2).

$$V_o = \frac{\pi D n_b}{60} \sin \alpha \cdot \eta_x, \quad (2)$$

где  $\eta_x$  – коэффициент осевой скорости ( $\eta_x = 0,77$ ) [6],

$\alpha$  – угол подачи, при котором проводится редуцирование, град.

Так как технологическим процессом контролируется длина редуцируемой части заготовки, необходимо вычислить расстояние  $l_k$ , пройденное заготовкой за время калибровки. Было получено уравнение (3).

$$\int_0^{l_k} dl = \int_0^{t=\alpha/V_n} V_o dt = \int_0^{t=\alpha/V_n} \frac{\pi D n_b}{60} \sin \alpha \cdot \eta_x dt. \quad (3)$$

После интегрирования уравнения (3) расстояние  $l_k$  выражается уравнением следующего вида:

$$l_k = 3 D n_b \eta_x \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{V_n}. \quad (4)$$

При скорости изменения угла подачи  $V_n = 3$  град/с и скорости вращения валков  $n_b = 20$  об/мин расстояние  $l_k \approx 27$  мм при  $\alpha = 5^\circ$  и  $D = 300$  мм, с увеличением  $\alpha$  до  $25^\circ$  расстояние  $l_k$  превышает 150 мм, что необходимо учесть при получении необходимой технологическим процессом длины редуцированной части заготовки.

Технология ПВР с реверсивной калибровкой была внедрена на ОАО «Бобруйскагромаш», в результате чего удалось повысить геометрическую точность редуцированных заготовок и снизить припуски на дальнейшую механическую обработку, что в совокупности позволило увеличить коэффициент использования металла с 0,65–0,70 при использовании базовой технологии (ковка на молоте) до 0,80–0,82 при изготовлении поковок цапф балансира и 0,87 при изготовлении осей мостов.

### Заключение

Предложена новая технология поперечно-винтового редуцирования с реверсивной калибровкой для изготовления осесимметричных заготовок с заданной геометрической точностью. Предложенная технология была внедрена при производстве заготовок осей и цапф на ОАО «Бобруйскагромаш», что позволило увеличить коэффициент использования металла с 0,65–0,70 до 0,80–0,87. Важным преимуществом ПВР с реверсивной калибровкой является гибкость технологического процесса, что выражается в возможности проводить обработку концевых участков ступенчатых трубных заготовок независимо от длины этих участков и длины заготовки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Подготовка концов труб перед волочением на радиально-ковочной машине AVS / А.П. Карамышев [и др.] // Металлург. – 2008. – № 9. – С. 40–41.

2. Сосенушкин, Е.Н. Технологические процессы штамповки изделий из толстостенных труб / Е.Н. Сосенушкин, В.В. Третьюхин, Е.А. Яновская // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2013. – № 2. – С. 25–29.
3. Каменецкий, Б.И. Исследование процесса гидроэкструзии трубчатых изделий переменного сечения / Б.И. Каменецкий // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2008. – № 8. – С. 3–8.
4. Клубович, В.В. Развитие прогрессивных технологий пластического формообразования деталей машиностроения / В.В. Клубович, В.А. Томило, В.В. Левкович // Metallurgiya v mashinostroenii Belarusi: itogi i perspektivy nauchnogo obespecheniya / Pod red. akad. E.I. Marukovicha, d.t.n. A.A. Shipko. – Минск: Беларуская наука, 2016. – С. 123–134.
5. Клубович, В.В. Стан поперечно-винтовой прокатки с реверсивной калибровкой/ В.В. Клубович, В.А. Томило, В.В. Левкович // Перспективные материалы и технологии / Под редакцией В.В. Клубовича. В 2 т., Том 2. – Витебск: Изд. УО «ВГТУ», 2017. – Гл. 12. – С. 230–240.
6. Тетерин, П.К. Теория поперечно-винтовой прокатки / П.К. Тетерин. – М.: Metallurgiya, 1971. – 368 с.

#### REFERENCES

1. Karamyshev A.P., Nekrasov I.I., Parshin V.S., Systerov V.A. Podgotovka koncov trub pered volocheniem na radial'no-kovochnoj mashine AVS [Prepare the ends of the pipes before drawing on the radial forging machine AVS]. Metallurg, 2008, № 9, pp. 40–41. (in Russian)
2. Sosenushkin E.N., Tret'juhin V.V., Janovskaja E.A. Tehnologicheskie processy shtampovki izdelij iz tolstostennyh trub [Technological processes of stamping products from thick-walled pipes]. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. [Forging and stamping production. Metal forming]. 2013, №2, pp. 25–29. (in Russian)
3. Kameneckij B.I. Issledovanie processa gidroekstruzii trubchatyh izdelij peremennogo sechenija [Study of the process of hydroextrusion of tubular products of variable cross-section]. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. [Forging and stamping production. Metal forming]. 2008, №8, pp. 3–8. (in Russian)
4. Klubovich V.V., Tomilo V.A., Levkovich V.V. Razvitie progressivnyh tehnologij plasticheskogo formoobrazovanija detalej mashinostroenija [Development of progressive technologies of plastic forming of engineering parts]. Metallurgija v mashinostroenii Belarusi: itogi i perspektivy nauchnogo obespechenija [Metallurgy in machine building in Belarus: results and prospects of scientific provision] / Pod red. akad. E.I. Marukovicha, d.t.n. A.A. Shipko. Minsk: Belaruskaja nauka Publ., 2016, pp. 123–134. (in Russian)
5. Klubovich V.V., Tomilo V.A., Levkovich V.V. Stan poperechno-vintovoj prokatki s reversivnoj kalibrovkoj [Helical rolling mill with reversible correction]. Perspektivnye materialy i tehnologii [Promising materials and technologies] / Pod redakciej V.V. Klubovicha. In 2 volumes, Vol. 2. Vitebsk: UO "VGTU" Publ., 2017. Ch. 12, pp. 230–240. (in Russian)
6. Teterin P.K. Teorija poperechno-vintovoj prokatki [The helical rolling theory]. Moscow, Metallurgija Publ., 1971, 368 p. (in Russian)

*Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 22.06.18*