

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОШИВКИ НА ДВУХВАЛКОВЫХ СТАНАХ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

А.В. Выдрин, А.В. Король

ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск

Разработаны математические зависимости по описанию основных геометрических параметров очага деформации при винтовой прошивке на двухвалковых станах. Полученные выражения учитывают искажение очага деформации в любом поперечном сечении, вызванное разворотом валков прошивного стана на угол подачи, и могут применяться для математического описания двухвалковых станов винтовой прокатки с грибовидными и бочковидными валками, работающих на повышенных углах подачи. Для достаточно точного математического описания геометрических параметров очага деформации предложены зависимости, которые позволяют определить расстояния от оси прокатки до поверхности валков в любом поперечном сечении очага деформации. Расстояние от оси прокатки до поверхности валков определено при допущении: изменение радиуса валка в его основной меридиональной плоскости незначительное. Сравнение полученных математических зависимостей с твердотельным моделированием, основанным на поверхностном моделировании с граничным представлением твердых тел и реализованном в САД программе КОМПАС-3D, показало хорошую сходимость и правомочность принятого допущения. На основе полученных выражений разработана методика по определению основных настроечных параметров процесса винтовой прошивки: расстояние между валками в пережиме валков; выдвигание оправки за пережим валков; обжатие перед носком оправки; расстояние от захвата заготовки валками до носка оправки. Разработанные математические зависимости пригодны также для разработки калибровок прокатного инструмента прошивных станов (оправок и валков) и для проведения анализа по схеме деформирования при процессе винтовой прошивки.

Ключевые слова: винтовая прошивка; оправка; грибовидный валок; угол подачи; очаг деформации; настроечные параметры; твердотельное моделирование.

Определение настроечных параметров процесса прошивки является сложной комплексной задачей, при которой необходимо учитывать несколько взаимозависимых величин: расстояние между валками в пережиме, выдвигание оправки за пережим валков, расстояние между линейками, угол подачи и угол раскатки.

Для нахождения параметров настройки прошивного стана необходимо точно описать геометрические характеристики очага деформации в любом поперечном сечении. Данная задача легко решается без учета разворота валков на угол подачи [1] и применительно для работы прошивных станов на небольших углах подачи (до 6°) и в составе малых ТПА.

При ведении процесса прошивки на больших углах подачи пренебрегать искажением очага деформации из-за угла подачи недопустимо. При больших углах подачи фактическое расстояние между оправкой и валком в сечении формирования стенки гильзы больше, что приводит к получению более толстостенной гильзы, и обжатие перед носком оправки может быть меньше минимально допустимой величины, рассчитанной из условия вторичного захвата. Кроме изменения фактического расстояния уменьшается и длина очага деформации – особенно важная характери-

стика процесса при определении условий вторичного захвата.

Поэтому при работе станов винтовой прокатки на повышенных углах подачи необходимо учитывать искажение очага деформации, вызванное углом подачи. Существует достаточно много работ по определению геометрических параметров очага деформации при прошивке [2–9], но существующие математические модели по геометрическим зависимостям очага деформации при точной постановке задачи приводят к сложным громоздким выражениям и уравнениям 4-го порядка, решение которых достигается различными итерационными способами, или вносятся допущения, способствующие снижению точности расчета.

В результате создания САД-программ, например, КОМПАС-3D и SolidWorks, основные геометрические зависимости в очаге деформации находятся при помощи твердотельного моделирования, основанного на поверхностном моделировании с граничным представлением твердых тел.

Данный подход является наиболее точным, но для его реализации необходимы навыки работы в САД-программах.

Основная сложность в разрабатываемой математической модели связана с определением расстояния от оси прокатки до поверхности валков в

любом поперечном сечении очага деформации. Для прошивных станов с бочковидными валками такая задача решена. При этом использовались следующие допущения: радиус-вектор кратчайшего расстояния r_x направлен по прямой, перпендикулярной оси валка и проходящий через ось заготовки; изменение радиуса заготовки в основной меридиональной плоскости незначительное. Кратчайшее расстояние между осями заготовки и валка в любом сечении очага деформации [6] находится по выражению

$$r_x = B' - R', \quad (1)$$

где R' и B' – радиус валка в рассматриваемом поперечном сечении и расстояние между осями заготовки и валка в плоскости, перпендикулярной оси валка и отсекающей на оси прошивки отрезок, равный x .

$$B' = \sqrt{(R_n + r_n)^2 + x^2 \cdot \sin^2 \beta}, \quad (2)$$

где R_n – радиус валка в пережиме валка; r_n – радиус заготовки в пережиме валков.

Радиус R' валка равен

$$R' = R_n - x \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_b, \quad (3)$$

где β – угол подачи; α_b – угол валка.

Приведенные зависимости применимы для станов с бочковидными валками. Для прошивных станов с грибовидными валками расстояние между осями заготовки и валка в плоскости, перпендикулярной оси валка определяется по выражениям:

для конуса прошивки

$$B' = \sqrt{(R'_0 + r_0 - x_b \cdot \sin \varphi)^2 + x_b^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \beta}; \quad (4)$$

для конуса раскатки

$$B' = \sqrt{(R'_0 + r_0 + x_b \cdot \sin \varphi)^2 + x_b^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \beta}, \quad (5)$$

где φ – угол раскатки; R'_0 – кратчайшее расстояние от оси валка до заготовки в оси поворота; r_0 – радиус заготовки в оси поворота; x_b – отрезок на оси валка, образованный осью поворота валка и плоскостью перпендикулярной оси валка.

Для определения настроечных параметров прошивного стана необходимо найти зависимость между длиной очага деформации и расстоянием от оси прокатки до поверхности валков $r_x(x_{od})$. Данная зависимость получена на основе проведения плоскости перпендикулярной оси заготовки, и пересекающей ось валка на расстоянии x_b от оси поворота (рис. 1).

Из расчетной схемы текущая длина очага деформации связана с отрезком x_b по следующему выражению:

$$x_b = \frac{x_{od}}{\cos \beta \cdot \cos \varphi}. \quad (6)$$

Подставив выражения (6) в (4) и (5), получили зависимость расстояния между осями заготовки валка от длины очага деформации:

для конуса прошивки

$$B' = \sqrt{\left(R'_0 + r_0 - \frac{x_{od} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta}\right)^2 + x_{od}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta}; \quad (7)$$

для конуса раскатки

$$B' = \sqrt{\left(R'_0 + r_0 + \frac{x_{od} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta}\right)^2 + x_{od}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta}, \quad (8)$$

Радиус валка в текущем сечении поперечного разреза очага деформации определен при допущении: изменение радиуса валка в его основной меридиональной плоскости незначительное (рис. 2).

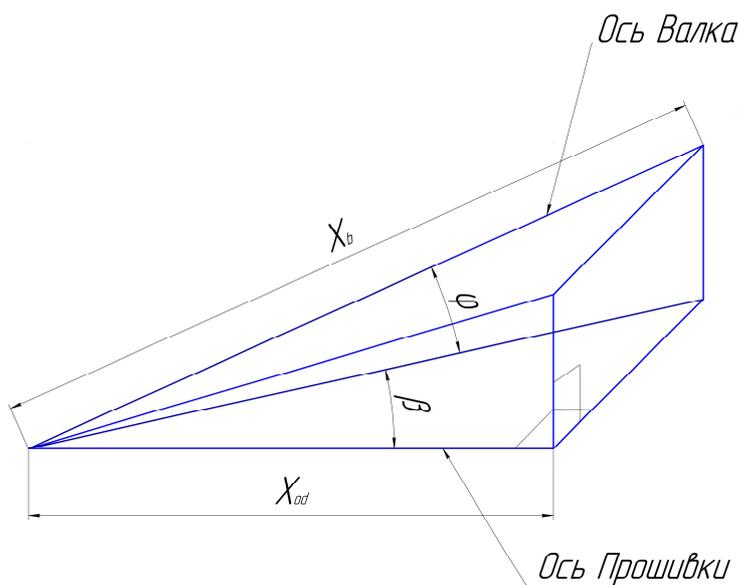


Рис. 1. Расчетная схема для определения длины очага деформации

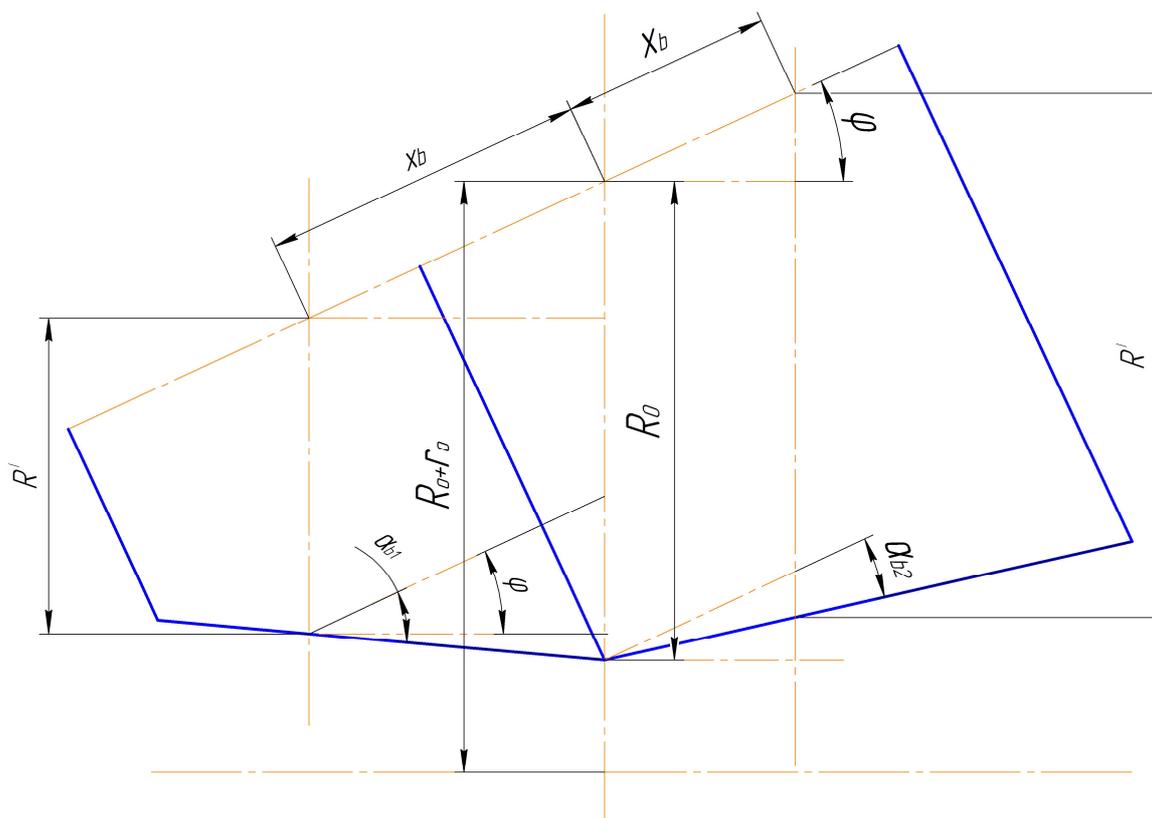


Рис. 2. Расчетная схема для определения радиуса вала в любом поперечном сечении

Радиус вала в конусе раскатки равен

$$R' = R'_0 + x_b \cdot (\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \alpha_{b2})), \quad (9)$$

в конусе прошивки

$$R' = R'_0 - x_b \cdot (\sin \varphi + \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{b1} - \varphi)). \quad (10)$$

где α_{b1} – угол вала в конусе прошивки; α_{b2} – угол вала в конусе раскатки.

В результате получены следующие зависимости между длиной очага деформации и расстоянием от оси прокатки до поверхности валков в любом поперечном сечении очага деформации:

для конуса прошивки

$$r_x(x_{od}) = \sqrt{(R'_0 + r_0 - \frac{x_{od} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta})^2 + x_{od}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta} - R'_0 + \frac{x_{od}}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} \cdot (\sin \varphi + \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{b1} - \varphi)); \quad (11)$$

для конуса раскатки

$$r_x(x_{od}) = \sqrt{(R'_0 + r_0 + \frac{x_{od} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta})^2 + x_{od}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta} - R'_0 - \frac{x_{od}}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} \cdot (\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \alpha_{b2})). \quad (12)$$

Для оценки погрешности, обусловленной принятым допущением, в КОМПАС-3D было проведено твердотельное моделирование процесса прошивки на двухвалковом стане винтовой про-

катки с грибовидными валками при различных углах подачи. Параметры моделирования: угол раскатки 15° ; радиус вала в пережиме 650 мм; угол вала в конусе прошивки 18° ; угол вала в конусе раскатки 12° . На рис. 3 и 4 приведены изменения расстояния от оси прокатки до поверхности валков в основной меридиональной плоскости заготовки Δr , полученное в результате твердотельного моделирования и расчета по выражениям (11) и (12).

Сравнение значений $r_x(x_{od})$ показало хорошую сходимость и правомочность принятого допущения. Наибольшее отклонение наблюдается в конусе прошивки при угле подачи 18° , на длине очага деформации $x_{od} = 500$ мм и равно 6,9 %.

На основе полученных выражений разработана методика по определению основных настроечных параметров процесса винтовой прошивки (рис. 5): расстояние между валками в пережиме валков; выдвигание оправки за пережим валков; обжатие перед носком оправки, расстояние от захвата заготовки валками до носка оправки.

Радиус заготовки в оси поворота совпадает с половинным расстоянием между валками в их пережиме $a/2 = r_0$.

Для правильного позиционирования оправки в очаге деформации необходимо найти длину очага

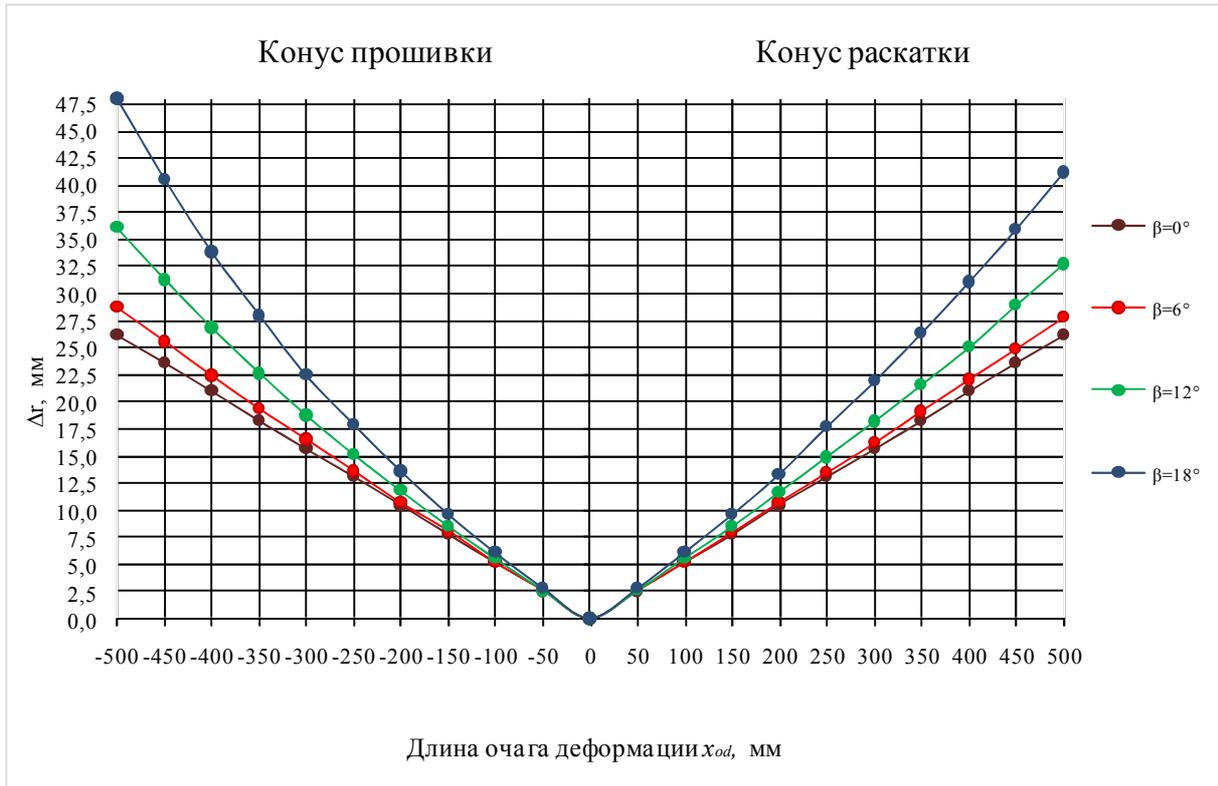


Рис. 3. Изменение по длине очага деформации кратчайшего расстояния от оси прокатки до поверхности валков, полученное в результате моделирования

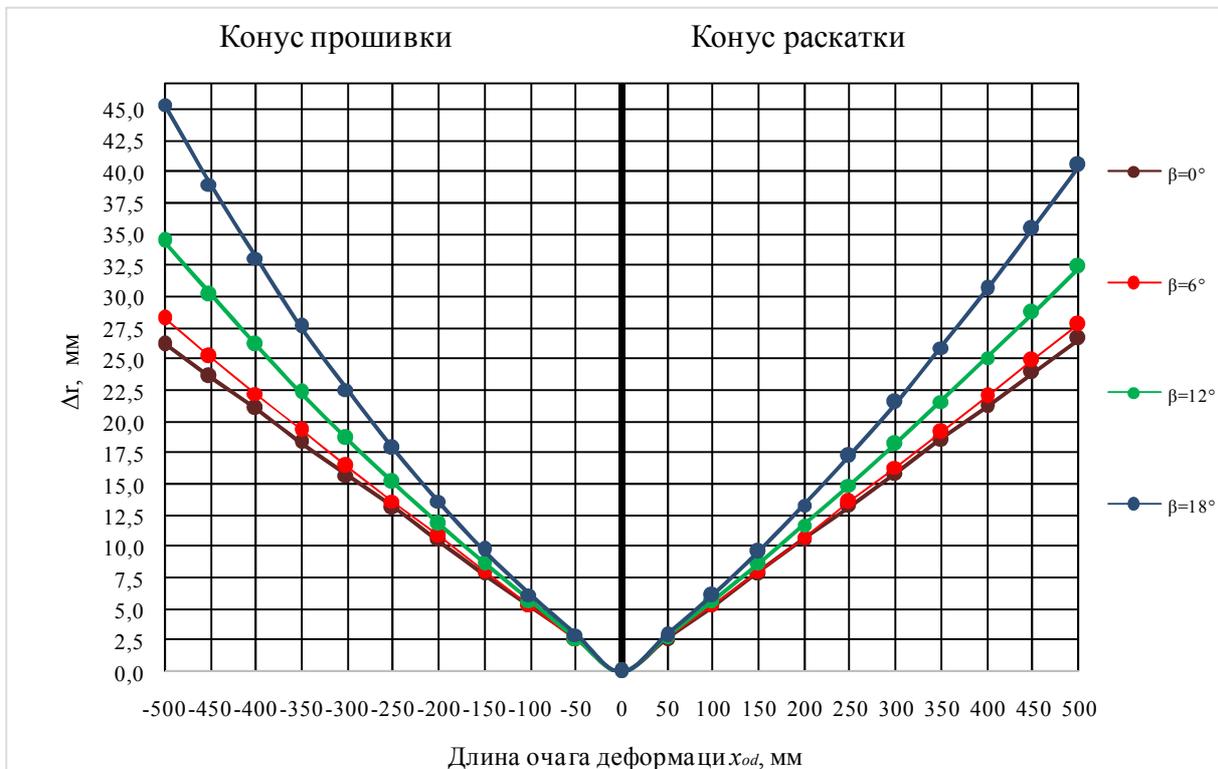


Рис. 4. Изменение по длине очага деформации кратчайшего расстояния от оси прокатки до поверхности валков, полученное в результате расчета

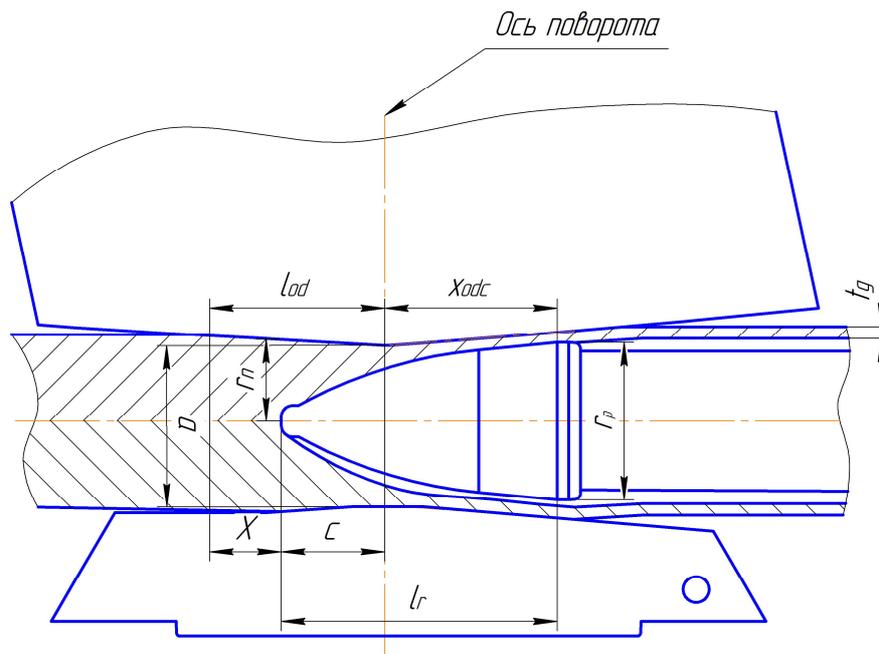


Рис. 5. Схема очага деформации при двухвалковой винтовой прошивке

деформации в конусе раскатки x_{odc} , где формируется толщина стенки гильзы. Длина очага деформации определяется из выражения

$$r_p + t_g = \sqrt{\left(R'_0 + r_0 + \frac{x_{odc} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta}\right)^2 + x_{odc}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta - R'_0 - \frac{x_{odc}}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} \cdot (\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \alpha_{b2}))}, \quad (13)$$

где r_p – радиус оправки; t_g – толщина стенки гильзы.

Из выражения (13) длина очага деформации, где формируется стенка, равна

$$x_{odc} = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}, \quad (14)$$

где A, B, C – величины, вычисляемые по следующим выражениям:

$$A = \frac{(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \alpha_{b2}))^2}{\cos^2 \beta \cdot \cos^2 \varphi} - \operatorname{tg}^2 \beta - \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\cos^2 \beta}; \quad (15)$$

$$B = 2 \cdot (r_p + t_g + R'_0) \cdot \frac{(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \alpha_{b2}))}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} - 2 \cdot (R'_0 + r_0) \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta}; \quad (16)$$

$$C = (r_p + t_g + R'_0)^2 - (r_0 + R'_0)^2. \quad (17)$$

Определив длину очага деформации в конусе раскатки, рассчитывается выдвигание оправки за пережим валков по формуле

$$c = l_r - x_{odc}, \quad (18)$$

где l_r – длина оправки.

При определении настроечных параметров

необходимо учитывать обжатие перед носком оправки ε_n и расстояние от захвата заготовки валками до носка оправки X , так как от этих величин зависят условия захвата и качество получаемых гильз.

Обжатие перед носком оправки равно

$$\varepsilon_n = \left(\frac{r_z - r_n}{r_z} \right) \cdot 100 \%, \quad (19)$$

где r_z – радиус заготовки; r_n – радиус перед носком оправки, равный

$$r_n = \sqrt{\left(R'_0 + r_0 - \frac{c \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta}\right)^2 + c^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta - R'_0 + \frac{c}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} \cdot (\sin \varphi + \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{b1} - \varphi))}. \quad (20)$$

Расстояние от захвата заготовки валками до носка оправки X определяется из выражения

$$X = l_{od} - c, \quad (21)$$

где l_{od} – длина очага деформации в конусе прошивки, полученная из следующего выражения

$$r_z = \sqrt{\left(R'_0 + r_0 - \frac{l_{od} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta}\right)^2 + l_{od}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta - R'_0 + \frac{l_{od}}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} \cdot (\sin \varphi + \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{b1} - \varphi))}. \quad (22)$$

В результате решения уравнения (22) длина очага деформации в конусе прошивки равна

$$l_{od} = \frac{-B_1 - \sqrt{B_1^2 - 4 \cdot A_1 \cdot C_1}}{2 \cdot A_1}, \quad (23)$$

где A_1, B_1, C_1 – величины, вычисляемые по следующим выражениям:

$$A_1 = \frac{(\sin \varphi + \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{b1} - \varphi))^2}{\cos^2 \beta \cdot \cos^2 \varphi} - \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\cos^2 \beta} - \operatorname{tg}^2 \beta; \quad (24)$$

$$B_1 = \frac{2 \cdot (R'_0 + r_0) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \beta} - \frac{2 \cdot (r_z + R'_0) \cdot (\sin \varphi + \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{b1} - \varphi))}{\cos \beta \cdot \cos \varphi}; \quad (25)$$

$$C_1 = (R'_0 + r_z)^2 - (R'_0 + r_0)^2. \quad (26)$$

Таким образом, получены математические зависимости, которые позволяют определить расстояния от оси прокатки до поверхности валков в любом поперечном сечении очага деформации при двухвалковой винтовой прошивке. На основе полученных выражений разработана методика по определению основных настроечных параметров процесса винтовой прошивки: расстояние между валками в пережиме валков; выдвигание оправки за пережим валков; обжатие перед носком оправки, расстояние от захвата заготовки валками до носка оправки. Разработанные математические зависимости пригодны также для разработки калибровки прокатного инструмента прошивных станов: оправок, валков и для проведения анализа схем деформирования заготовок при винтовой прошивке.

Литература

1. Данилов, Ф.А. Горячая прокатка и прессование труб / Ф.А. Данилов, А.З. Глейберг, В.Г. Ба-

лакин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1972. – 591 с.

2. Тетерин, П.К. Теория поперечно-винтовой прокатки: учеб. для вузов / П.К. Тетерин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1971. – 368 с.

3. Миронов, Ю.М. Геометрические параметры процесса косо́й прокатки / Ю.М. Миронов // Производство труб: сб. науч. тр. УкрНИТИ. – Харьков: Металлургиздат, 1962. – Вып. 6 – С. 37–46.

4. Фомичев, И.А. Косая прокатка / И.А. Фомичев. – Харьков: Металлургиздат, 1963. – 262 с.

5. Меркулов, Д.В. Особенности прошивки заготовок в косовалковых станах разного конструктивного исполнения / Д.В. Меркулов, Р.М. Голубчик, М.В. Чепурин // Труды IV международного конгресса прокатчиков: в 2 т. – М.: АО «Черметинформация». – 2002. – Т. 2. – С. 82–87.

6. Прошивка в косовалковых станах / А.П. Чекарчев, Я.Л. Ваткин, М.И. Ханин и др. – М.: Металлургия, 1967. – 242 с.

7. Потапов, И.Н. Новая технология винтовой прокатки / И.Н. Потапов, П.И. Полухин. – М.: Металлургия, 1975. – 343 с.

8. Определение геометрических параметров очага деформации в станах поперечно-винтовой прокатки / Ю.Г. Гуляев, Е.И. Шифрин, И.И. Лубе и др. // Сталь. – 2013. – № 11 – С. 53–55.

9. Потапов, И.Н. Технология винтовой прокатки / И.Н. Потапов, П.И. Полухин. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.

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

Король Алексей Валентинович, научный сотрудник лаборатории винтовой прокатки, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск; korol@rosniti.ru.

Поступила в редакцию 6 апреля 2015 г.

DOI: 10.14529/met160211

DETERMINATION OF SETTING PARAMETERS OF SCREW INSERTION ON TWO-ROLL MILLS

A.V. Vydrin, vydrinav@rosniti.ru,

A.V. Korol', korol@rosniti.ru

Research Institute of the Tube and Pipe Industries (RosNITI), Chelyabinsk, Russian Federation

Mathematical dependences for the description of basic geometric parameters of the deformation zone with a screw insertion on two-roll mills were developed. The obtained expressions take into account the distortion of the roll gap caused by the rotation of the piercer rolls to a feed angle at any cross section and can be used for the mathematical description of twin screw rolling mills with mushroom and barrel rolls operating at higher

filing angles. For a sufficiently precise mathematical description of the geometric parameters of the deformation zone dependencies were proposed that allow to determine the distance from the rolling axis to the roll surface at any cross section of the deformation zone. The distance from the rolling axis to the roll surface was defined on the assumption that the radius of the roll on its main meridional plane is negligible. The comparison of obtained mathematical relationships with solid modeling, based on surface modeling with boundary representation of solids and implemented in the SAD programme Compass-3D showed good convergence and legitimacy of the accepted assumption. On the basis of expressions obtained a method to determine main parameters of the process of tuning screw firmware was developed, i.e. the distance between the rollers in a roll pinch; mandrel extension outside rolls' survivors; compression in front of the mandrel toe, and the distance from the workpiece grip of the roll to the mandrel toe. The developed mathematical relationships are also suitable for the development of the rolling tool calibration of piercing mills (mandrels and rolls) and for the analysis according to the deformation scheme during the screw insertion process.

Keywords: screw insertion; mandrel; mushroom roll feed angle; deformation zone; setting parameters; solid modeling.

References

1. Danilov F.A., Gleyberg A.Z., Balakin V.G. *Goryachaya proklatka i pressovanie trub* [Hot Rolling and Extrusion of Pipes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 591 p.
2. Teterin P.K. *Teoriya poperechno-vintovoy proklatki* [The Theory of the Helical Rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1971. 368 p.
3. Mironov Yu.M. [Geometric Parameters of the Process Skew Rolling]. *Proizvodstvo trub* [Production of Pipes]. No. 6. Kharkov, Metallurgizdat Publ., 1962, pp. 37–46. (in Russ.)
4. Fomichev I.A. *Kosaya proklatka* [Oblique Rolling]. Kharkov, Metallurgizdat Publ., 1963. 262 p.
5. Merkulov D.V., Golubchik R.M., Chepurin M.V. [Features of Firmware Blanks in Machines with Oblique Rolls of Different Structural Performance]. *Trudy IV mezhdunarodnogo kongressa prokatchikov*. [Proceedings of the 4th International Congress of Rollers]. Moscow, AO Chermetinformatsiya Publ., 2002, vol. 2, pp. 82–87. (in Russ.)
6. Chekmarev A.P., Vatin Ya.L., Khanin M.I., Biba V.I., Kirvalidze N.S. *Proshivka v kosovalkovykh stanakh* [Firmware in Oblique Roll Mills]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1967. 242 p.
7. Potapov I.N., Polukhin P.I. *Novaya tekhnologiya vintovoy proklatki* [New Technology of Screw Rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 343 p.
8. Gulyaev Yu.G., Shifrin E.I., Lube I.I., Garmashev D.Yu., Nikolaenko Yu.N. Geometry of the Deforming Region in Rotary-Rolling Mills. *Steel in Translation*, 2013, vol. 43, no. 11, pp. 758–761. DOI: 10.3103/S0967091213110089
9. Potapov I.N., Polukhin P.I. *Tekhnologiya vintovoy proklatki* [Screw Rolling Technology]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 344p.

Received 6 April 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Выдрин, А.В. Определение настроечных параметров процесса прошивки на двухвалковых станах винтовой прокатки / А.В. Выдрин, А.В. Король // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 74–80. DOI: 10.14529/met160211

FOR CITATION

Vydrin A.V., Korol' A.V. Determination of Setting Parameters of Screw Insertion on Two-Roll Mills. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 74–80. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160211