

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОШИВКИ В СТАНЕ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ С БОЧКОВИДНЫМИ ВАЛКАМИ

А.В. Король, А.В. Выдрин, В.В. Широков

Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности (РосНИТИ), г. Челябинск

Представлены результаты компьютерного моделирования процесса винтовой прошивки заготовки на стане с бочковидными валками и неподвижными направляющими линейками. Компьютерное моделирование производилось в программе QForm 3D, основанной на методе конечных элементов.

Моделирование процесса винтовой прокатки позволило объяснить характер изменения напряженно-деформированного состояния центральной зоны металла при прокатке на двухвалковом прошивном стане за один полный оборот заготовки и объяснить разрушения в центральной зоне заготовки, являющейся основной причиной появления внутренних плен на гильзах и трубах. Разрушение центральной зоны заготовки происходит из-за действия осевых растягивающих напряжений.

В результате компьютерного моделирования определено влияние оправки на характер напряженно-деформированного состояния центральной зоны заготовки. Наличие оправки резко снижает уровень растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки по причине подпирания сил, что в практике трубного производства приводит к увеличению прошиваемости заготовки и уменьшает или «заваривает» вскрытие осевой зоны металла.

В данной работе также определено влияние коэффициента оваллизации и угла подачи на уровень осевых растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки. Увеличение угла подачи увеличивает как растягивающие напряжения в заготовке, так и сжимающие перед торцом оправки. Поэтому необходимо процесс прошивки вести при условии, чтобы заготовка делала меньше одного оборота до встречи с торцом оправки, но не меньше 3/4 оборота, иначе возникнут проблемы с вторичным захватом. С увеличением коэффициента оваллизации увеличиваются растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки.

Полученные результаты моделирования соответствуют основным положениям теории обработки металлов давлением.

Высокая достоверность результатов компьютерного моделирования позволяет осуществлять проверку разработанных калибровок прокатного инструмента и скоростных режимов без проведения дорогостоящих опытных прокаток.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, метод конечных элементов, прошивка, прошивные станы с бочковидными валками, оваллизация, угол подачи, энергосиловые параметры.

Современное развитие технологии производства труб из новых сталей и сплавов, необходимость улучшения качества выпускаемых труб, повышение производительности трубопрокатных агрегатов требуют качественно новых подходов к исследованию процессов трубного производства. Одним из таких подходов является компьютерное моделирование. В настоящее время компьютерные программы, основанные на методе конечных элементов, позволяют осуществлять достаточно сложные расчёты процессов обработки металлов с высоким уровнем точности.

Операция винтовой прошивки заготовки является одной из важнейших в трубопрокатном производстве. Основной проблемой при винтовой прошивке является образование дефектов на внутренней поверхности гильз. Причиной образования внутренних дефектов на гильзах является разрушение центральной зоны заготовки перед носком оправки, которое связано со спецификой напряженно-деформированного состояния.

Изучению напряженно-деформированного состояния металла заготовки при прошивке посвящено достаточно большое количество работ [1–9].

Из-за сложности процесса винтовой прокатки существуют различные мнения о схеме напряжений, действующих по сечению заготовки.

Для исследования характера изменения напряжений в осевой зоне заготовки было проведено компьютерное моделирование процесса винтовой прокатки. Моделирование осуществлялось с применением программы QForm 3D (рис. 1).

На рис. 2 представлен характер изменения осевых растягивающих напряжений заготовки в центральной зоне

Для анализа изменения напряженно-деформированного состояния металла заготовки при винтовой прокатке за один полный оборот целесообразно процесс разбить на четыре стадии:

1. В момент контакта заготовки с валком усилия, действующие на нее со стороны инструмента, имеют сосредоточенный характер. Величина обжатия мала и сжимающие напряжения не успевают дойти до центра заготовки. В этом случае преобладают растягивающие нормальные напряжения, возникающие на поверхностных слоях заготовки непосредственно не контактирующих с валком, что способствует появлению нормальных

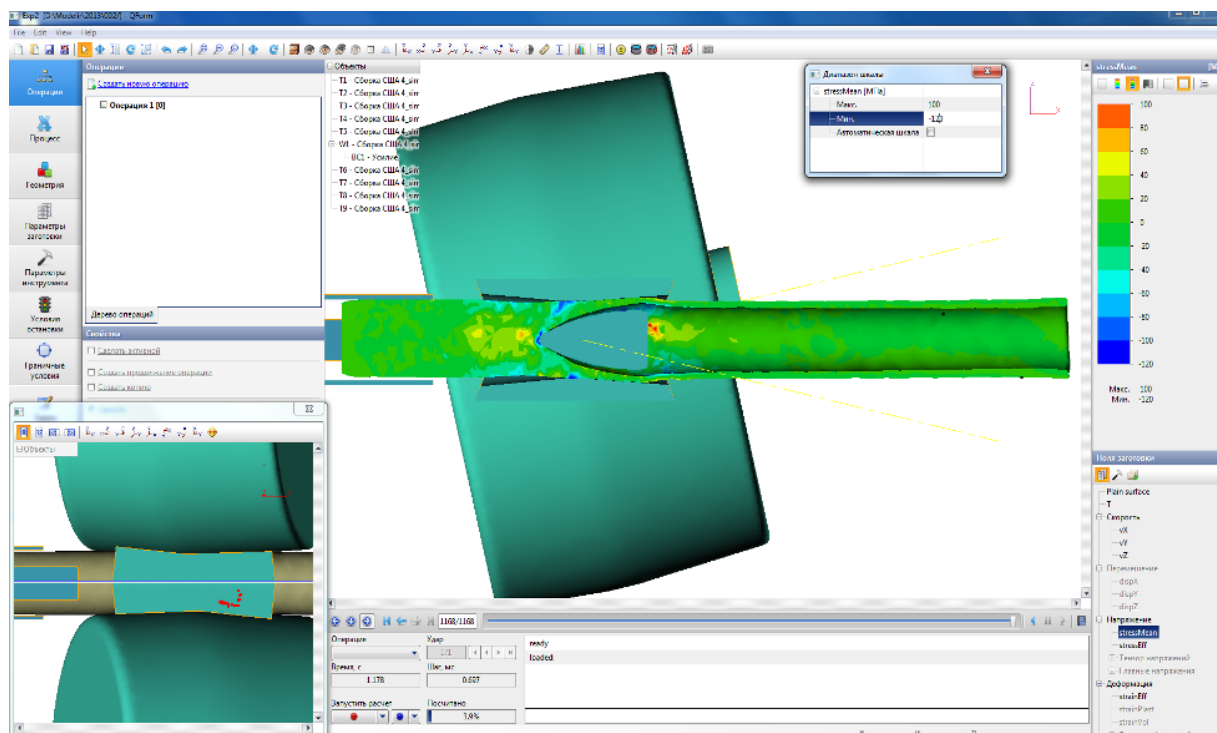


Рис. 1. Продольный разрез очага деформации

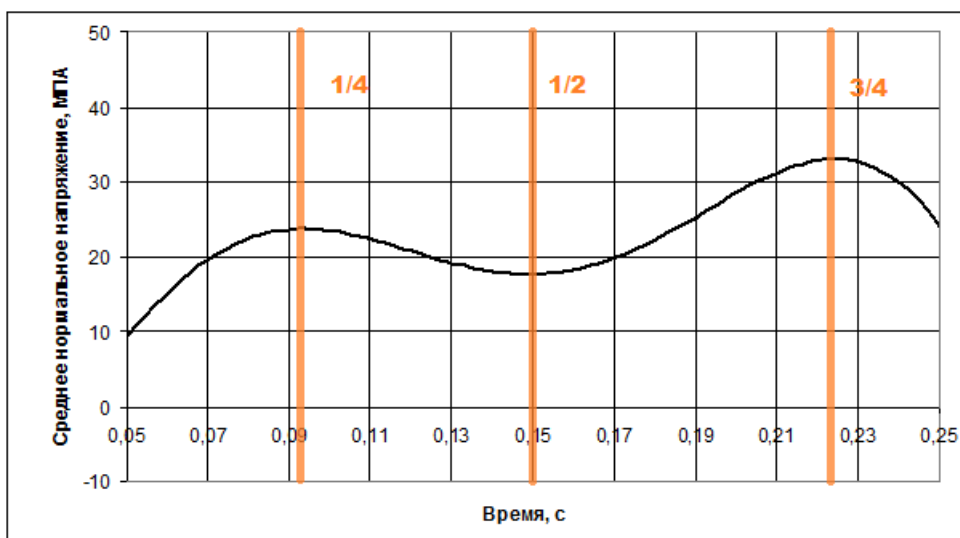


Рис. 2. Осевые растягивающие напряжения в центре заготовки при винтовой прокатке

растягивающих напряжений в центральной зоне. Максимальное значение, реакционных растягивающих напряжений достигается за 1/4 оборота заготовки.

2. 1/4–1/2 оборота заготовки. Растягивающие нормальные напряжения снижаются из-за действия валков на соседний, набегающий объем металла. В момент совершения заготовкой 1/2 оборота валки вновь воздействуют на заготовку и возникают нормальные сжимающие напряжения на поверхностных слоях заготовки, что способствует уменьшению нормальных растягивающих напряжений в ее центральной зоне заготовки.

3. 1/2–3/4 оборота заготовки. Рост нормальных растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки из-за преобладания реакционных растягивающих напряжений, возникающих на поверхностных слоях заготовки не контактирующих с валком. Максимальное значение, реакционных растягивающих напряжений достигается за 3/4 оборота заготовки.

4. 3/4–1 оборот. Уменьшение реакционных растягивающих напряжений к концу цикла деформации и переход их в сжимающие напряжения вследствие контакта с валками, что способствует уменьшению нормальных растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки.

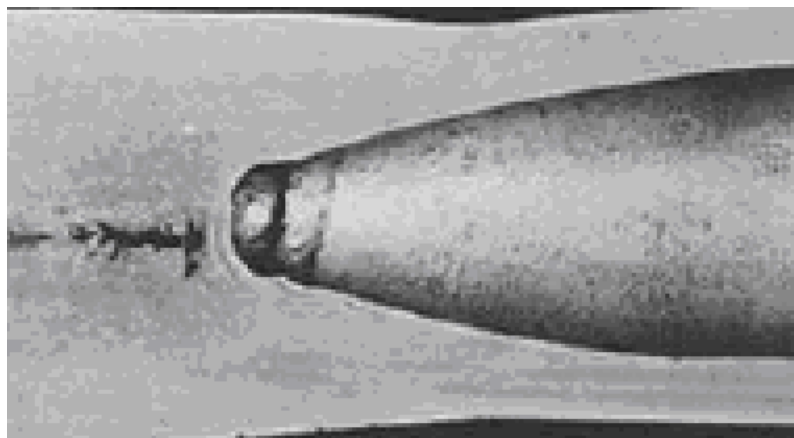


Рис. 3. «Заваривание» полости в осевой зоне заготовки

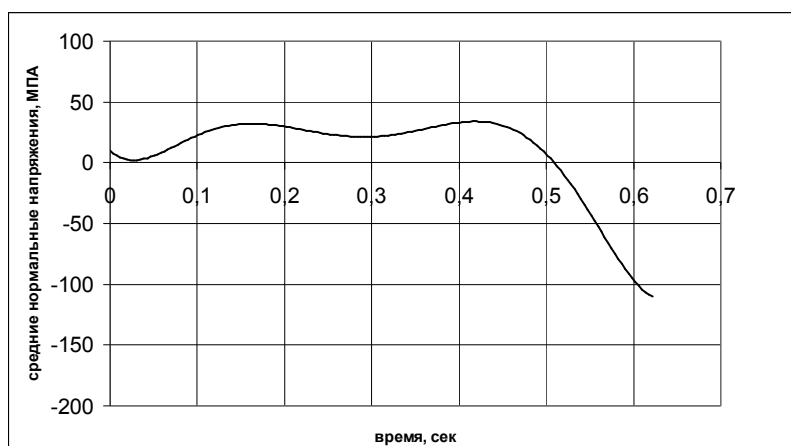


Рис. 4. Средние нормальные напряжения в осевой зоне при наличии оправки в очаге деформации

С каждым последующим оборотом заготовки значение экстремумов напряжения в центральной зоне заготовки возрастают вследствие роста усилия со стороны валков из-за увеличения ширины контактной поверхности и внеконтактной деформации. Величина внеконтактной деформации возрастает более интенсивно, что приводит к преобладанию радиальных растягивающихся напряжений в центральной зоне заготовки и появлению дополнительных осевых растягивающих напряжений, вследствие чего материал центральной зоны заготовки подвергается объемной схеме всестороннего растяжения, благодаря которой и происходит разрушение металла.

Общеизвестно [3, 4, 6], что наличие подпирающих сил со стороны оправки резко уменьшает осевые растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки в очаге деформации, что способствует увеличению прошиваемости заготовки и уменьшает или «заваривает» вскрытие осевой зоны металла (рис. 3).

На рис. 4 показано изменение средних нормальных напряжений в центральной зоне заготовки вдоль очага деформации от начала захвата до момента ее встречи с торцом оправки.

Из практики трубопрокатного производства известно, что одним из путей устранения дефектов на внутренней поверхности является увеличение угла подачи при прошивке.

Для определения влияния угла подачи на процесс прошивки было проведено моделирование при различных углах подачи β : 15; 13; 11; 9°. При этом настройка стана осуществлялась таким образом, чтобы заготовка сделала один полный оборот до встречи с оправкой. На рис. 5 показано изменение средних нормальных напряжений в центральной зоне заготовки вдоль очага деформации от захвата до встречи заготовки с торцом оправки.

Видно, что с увеличением угла подачи растягивающие напряжения увеличиваются. Это связано с повышением частного обжатия за счет увеличения шага осевой подачи. Выше отмечено, что перед торцом оправки возникают сжимающие напряжения за счет действия подпирающих усилий со стороны оправки. С увеличением угла подачи сжимающие напряжения увеличиваются, что способствует залечиванию осевого разрушения центральной зоны заготовки. Поскольку при повышении угла подачи растягивающие напряжения в центральной зоне растут, необходимо процесс

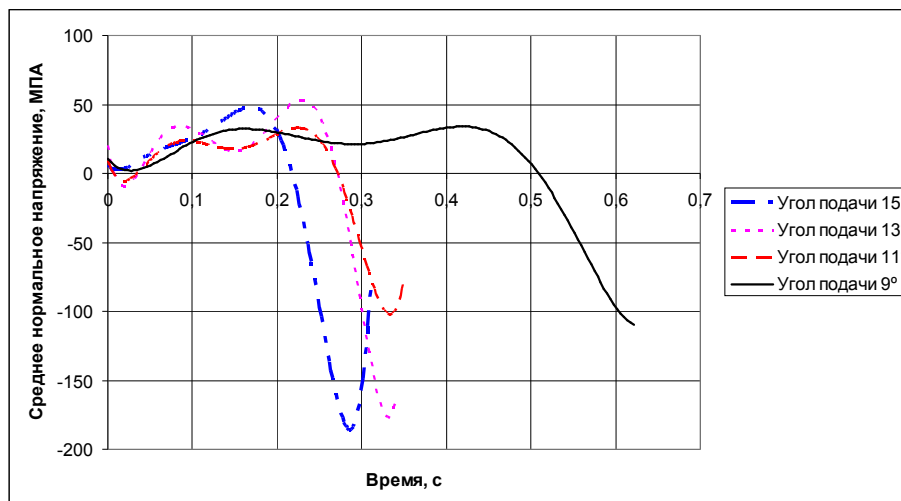


Рис. 5. Изменение среднего нормального напряжения в середине заготовки при прошивки на различных углах подачи

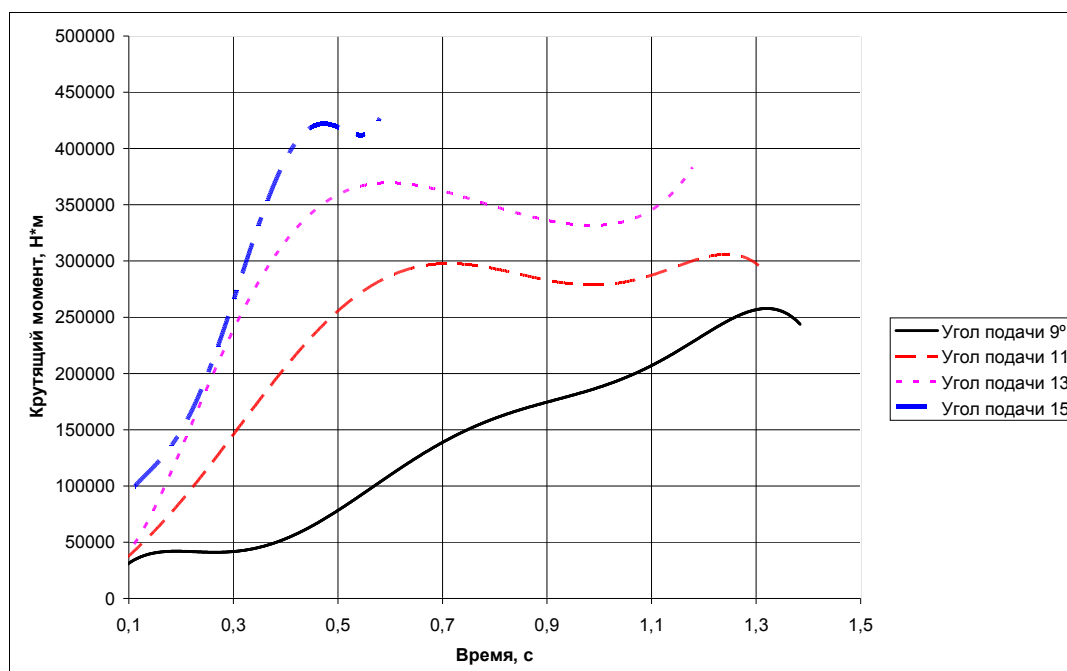


Рис. 6. Нарастание крутящего момента до установившегося режима при различных углах подачи

прошивки вести при условии, чтобы заготовка делала меньше одного оборота до встречи с торцом оправки, но не меньше 3/4 оборота, иначе возникнут проблемы с вторичным захватом.

С увеличением угла подачи увеличивается энергоёмкость процесса прошивки. На рис. 6 представлены результаты моделирования влияния угла подачи на величину крутящего момента.

При увеличении угла подачи на 2° крутящий момент увеличивается на 23 % при увеличении с 11 до 13° и на 45 % – при увеличении с 11 до 15°. То есть с увеличением угла подачи на 1° мощность процесса увеличивается на 11–12 %.

Известно [10], что осевая скорость заготовки зависит от угла подачи:

$$V_{o,z} = \frac{\pi D_b n_b}{60} \sin \beta \cdot \eta_o,$$

где $V_{o,z}$ – осевая скорость заготовки; D_b – диаметр вала прошивного; n_b – частота вращения валков; β – угол подачи; η_o – коэффициент осевого скольжения.

С увеличением угла подачи увеличивается и осевая скорость заготовки. Поэтому с увеличением угла подачи, и уменьшением частоты вращения валков (согласно пропорции $\frac{n_{b1}}{n_{b2}} = \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1}$) мощность процесса изменяется не значительно, при этом темп прошивки сохраняется прежним.

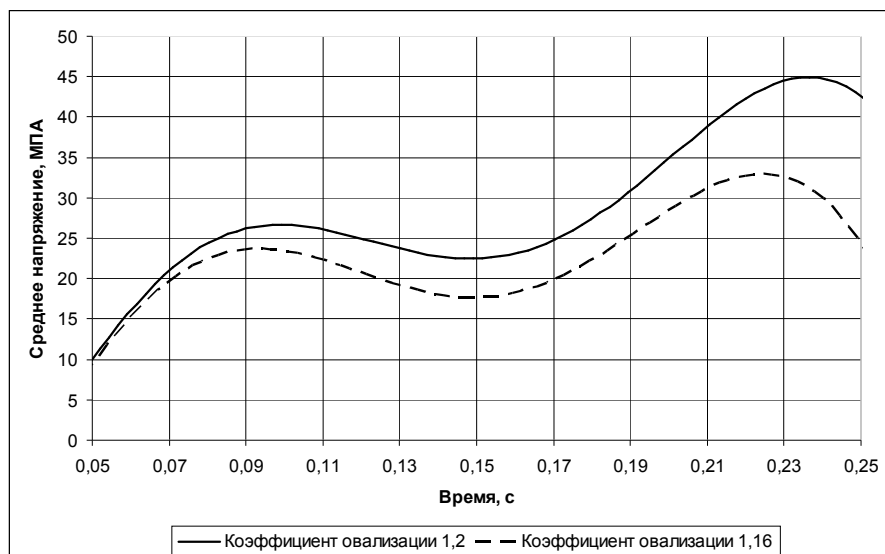


Рис. 7. Влияние коэффициента овализации на растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки при ее прошивке

В данной работе при помощи моделирования в QForm также исследовалось влияние коэффициента овализации на уровень осевых растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки. Было смоделировано два варианта процесса прошивки с коэффициентом овализации 1,16 и 1,20 (рис. 7).

С увеличением коэффициента овализации увеличиваются растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки. При повышенном коэффициенте овализации увеличиваются реакционные растягивающие напряжения в периферийных слоях заготовки, которые не находятся в непосредственном контакте с рабочим инструментом, и, следовательно, увеличиваются растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки.

Выводы

Полученные результаты моделирования соответствуют основным положениям теории обработки металлов давлением.

Моделирование процесса винтовой прокатки позволило объяснить характер изменения напряженно-деформированного состояния металла при винтовой прокатке за один оборот заготовки, а также подтвердить гипотезу о влиянии подпирющих сил со стороны оправки на прошиваемость металла и определить влияние коэффициента овализации и угла подачи на уровень осевых растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки.

Высокая достоверность результатов компьютерного моделирования позволяет осуществлять проверку разработанных калибровок прокатного инструмента и скоростных режимов без проведения дорогостоящих опытных прокаток.

Литература

1. Емельяненко, П.Т. Теория кривой и пиллиримовой прокатки / А.Т. Емельяненко. – М.: Металлургия, 1949. – 491 с.
2. Пляцковский, О.А. Деформация и механизм разрушения сердцевины заготовки при прокатке на станах винтовой и поперечной прокатки / О.А. Пляцковский, О.Г. Хохлов-Некрасов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1962. – № 2. – С. 88–91.
3. Фомичев, И.А. Косая прокатка / И.А. Фомичев. – Харьков: Metallurgizdat, 1963. – 262 с.
4. Прошивка в косовалковых станах / А.П. Чекарчев, Я.Л. Ваткин, М.И. Ханин и др. – М.: Металлургия, 1967. – 242 с.
5. Швейкин, В.В. Особенности пластической деформации при поперечной осадке, поперечной и винтовой прокатке / В.В. Швейкин, С.И. Орлов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1959. – № 2. – С. 55–58.
6. Смирнов, В.С. Теория прокатки / В.С. Смирнов. – М.: Металлургия, 1967. – 460 с.
7. Тетерин, П.К. Теория поперечно-винтовой прокатки: учеб. для вузов / П.К. Тетерин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1971. – 368 с.
8. Исследование процессов производства труб / Р.М. Голубчик, П.И. Полухин, Ю.М. Матвеев и др. – М.: Металлургия, 1970. – 328 с.
9. Потапов, И.Н. Технология винтовой прокатки / И.Н. Потапов, П.И. Полухин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.
10. Романцев, Б.А. Обработка металлов давлением: учеб. / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Н.М. Вавилкин – М.: Дом МИСИС, 2008. – 960 с.

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

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

Широков Вячеслав Вячеславович, и.о. заведующего лабораторией моделирования технологических процессов, Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности (РосНИТИ), г. Челябинск; shirokov@rosniti.ru.

Поступила в редакцию 11 декабря 2014 г.

COMPUTER MODELING OF PIERCING IN A SCREW MILL WITH BARREL-ROLLING ROLLS

A.V. Korol', Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries (RosNITI), Chelyabinsk, Russian Federation, korol@rosniti.ru,

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

V.V. Shirokov, Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries (RosNITI), Chelyabinsk, Russian Federation, shirokov@rosniti.ru

The article presents results of computer modeling of the process of screw piercing of the workpiece in the mill with barrel-shaped rollers and fixed guide bars. Modeling was carried out by the use of the software QForm 3D based on the finite element method.

Modeling of the screw rolling process enabled to explain the nature of changes in the deflected mode of the metal central zone during rolling in a two-roll piercing mill in one complete revolution of the workpiece. It can explain destructions in the central zone of the workpiece which cause inner scabs on shells and pipes. Destruction of the central zone of the workpiece is due to axial tensile stresses.

As a result of computer modeling, the effect of a mandrel on the nature of the deflected mode of the central zone of the workpiece was determined. The presence of the mandrel greatly reduces the grade of tensile stresses in the central zone of the workpiece due to buttress forces. In the process of pipe production it leads to the increase of the workpiece piercibility and decreases or "welds up" the metal axial opening.

In this work the effect of the ovalization ratio and the feed angle on the grade of tensile stresses in the central zone of the workpiece was also determined. The increase of the feed angle increases both tensile stresses in the workpiece and compressive stresses in the butt end of the mandrel. Therefore, it is necessary to perform the process of piercing providing the workpiece makes fewer than one revolution before its meeting with the butt end of the mandrel, but not less than 3/4 of the turn, otherwise problems with the secondary grip could occur. The increase of the ovalization ratio results in the increase of tensile stresses in the central zone of the workpiece.

The obtained results of computer modeling correspond to basic assumptions of the theory of plastic metal working.

High reliability of the results of computer modeling allows to verify the developed roll pass design and rolling speed limits without using costly experimental rolling.

Keywords: modeling; finite element method; piercing; piercing mill with barrel-rolls; ovalization; feed angle; power parameters.

References

1. Emel'yanenko P.T. *Teoriya kosoy i pilligrimovoy prokatki* [Theory of Screw and Pilger Rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1949. 491 p.
2. Plyatskovskiy O.A., Khokhlov-Nekrasov O.G. [Deformation and fracture mechanism at the core billet on the screw and cross rolling]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 1962, no. 2, pp. 88–91. (in Russ.)
3. Fomichev I.A. *Kosaya prokatka* [Screw Rolling]. Kharkov, Metallurgizdat Publ., 1963. 262 p.
4. Chekmarev A.P., Vatkin Ya.L., Khanin M.I., Biba V.I., Kirvalidze N.S. *Proshivka v kosovalkovykh stanakh* [Piercing in Screw Rolling Mills]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1967. 242 p.
5. Shveykin V.V., Orlov S.I. [Features of Plastic Deformation During Transverse Compression, Transverse and Screw Rolling]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 1959, no. 2, pp. 55–58. (in Russ.)

6. Smirnov V.S. *Teoriya prokatki* [Theory of Rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1967. 460 p.
7. Teterin P.K. *Teoriya poperechno-vintovoy prokatki* [Theory of Screw Rolling]. 2nd ed. Moscow, Metallurgiya Publ., 1971. 368 p.
8. Golubchik R.M., Polukhin P.I., Matveev Yu.M., Vorontsov V.K., Zayonchik L.I. *Issledovanie protsessov proizvodstva trub* [Investigation of the Pipe Production Processes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970. 328 p.
9. Potapov I.N., Polukhin P.I. *Tekhnologiya vintovoy prokatki* [Technology of Screw Rolling]. 2nd ed. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 344 p.
10. Romantsev B.A., Goncharuk A.V., Vavilkin N.M. *Obrabotka metallov davleniem* [Metal Forming]. Moscow, MISiS Publ., 2008. 960 p.

Received 11 December 2014

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Король, А.В. Компьютерное моделирование процесса прошивки в стане винтовой прокатки с бочко-видными валками / А.В. Король, А.В. Выдрин, В.В. Широков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 68–74.

REFERENCE TO ARTICLE

Korol' A.V., Vydrin A.V., Shirokov V.V. Computer Modeling of Piercing in a Screw Mill with Barrel-Rolling Rolls. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 68–74. (in Russ.)