



УДК 621.774.353

Поступила 5.02.2017

## КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОШИВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ

## KINEMATIC CALCULATION AND SIMULATION OF THE PIERCING IN PIPE PRODUCTION

*В. А. ТОМИЛО, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: stamilo@rambler.ru*

*V. A. TAMILA, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: stamilo@rambler.ru*

*Создана компьютерная модель для моделирования технологического процесса прошивки стальной заготовки в гильзу. Используя метод конечных элементов, получены результаты, с высокой степенью точности соответствующие действительному процессу. Данные результаты могут быть использованы при настройке прошивных станков, а также при оптимизации технологических процессов прошивки.*

*Computer model for simulating piercing process of steel workpiece was developed. Using finite element method the results obtained appropriate to the actual process with a high degree of accuracy. These results can be used when configuring the piercing mills, as well as piercing process optimization.*

**Ключевые слова.** Труба, гильза, обжатие, напряженно-деформированное состояние, переменный профиль, прокатка, энергосиловые параметры, метод конечных элементов.

**Keywords.** Tube, shell, reducing, strain-stress state, alternating profile, rolling, energy-power parameters, finite element method.

### Введение

Прошивка заготовки в гильзу является первой операцией обработки металлов давлением при производстве бесшовных труб. От условий данной операции во многом зависит дальнейший ход производства трубы и ее качество.

При прошивке в области заготовки перед носком оправки возникает зона с растягивающими напряжениями, которые могут снизить давление на оправку и облегчить процесс прошивки. При достижении данными напряжениями критического значения происходит нарушение сплошности металла, что отрицательно сказывается на качестве поверхности гильзы. Таким образом, положение оправки при прошивке и напряженно-деформированное состояние определяют качество внутренней поверхности гильзы, а впоследствии готовой трубы.

Важный критерий эффективности процесса прошивки – стойкость инструмента. На износостойкость оправок оказывает влияние ряд факторов, среди которых их калибровка и режимы прокатки.

Все это свидетельствует о важности изучения операции прошивки. Эффективным направлением исследований процессов обработки металлов давлением является метод конечных элементов, с помощью которого возможно провести компьютерное моделирование технологического процесса со значительно меньшими временными и материальными ресурсами, чем при натурных испытаниях.

### Технологические параметры процесса прошивки трубной заготовки

Определяющее влияние на режим обработки заготовок оказывает применяемое оборудование. При описании станков винтовой прокатки основными техническими характеристиками, общими для всех типов станков, являются [1] скорость прокатки; производительность стана; мощность главного привода; максимальный диаметр заготовки и диаметр прокатываемого изделия, т. е. допустимые значения распорного усилия и вращающего момента.



Рис. 1. Схема взаимосвязи факторов, определяющих режим обработки

П. К. Тетерин [2] классифицирует станы также по типу валков и величине таких параметров, как угол подачи  $\alpha$ , угол раскатки  $\beta$  и эксцентриситет  $q$ . Угол  $\beta$  связан с геометрией валка, угол  $\alpha$  – с настройкой стана.

На производительность стана оказывают влияние геометрия валков (при положительном угле раскатки, т. е. диаметр валков увеличивается вдоль очага деформации в направлении движения заготовки, может быть достигнута более высокая осевая скорость перемещения заготовки [3]), допустимые распорное усилие, вращающий момент и мощность, а также угол подачи, определяющий осевую составляющую скорости прокатываемой заготовки.

При проектировании технологического процесса обработки металлов давлением назначают допуски на размеры поковки. Данными для расчета выступают материал, параметры и требования к детали. На допуски на размеры заготовки также оказывают влияние деформация и износ валков, точность их расположения. Следует учитывать изменение размеров инструмента при колебаниях температуры. Износ и деформация валков тесно связаны с материалом, из которого они изготовлены.

Трение влияет на все основные кинематические и силовые параметры процесса прокатки [4].

Взаимодействие между главными параметрами оборудования и процесса показано на схеме для горячей обработки (рис. 1).

Из рисунка видно, что напряжение текучести, условия на контакте валок-заготовка и геометрия заготовки (размеры поперечного сечения, площадь поверхности и др.) определяют усилие, момент и мощность, необходимую для осуществления процесса.

Напряжение текучести повышается с увеличением скорости деформации и уменьшением температуры заготовки. Величины этих изменений зависят от материала заготовки. Как показано линиями, «входящими» в блок температуры, для заданной начальной температуры заготовки изменение температуры в большей степени подвержено влиянию площади контакта заготовки с валками, геометрии заготовки, количества тепла, производимого деформацией и трением, температурой валков, временем контакта в межвалковом зазоре.

Угол подачи и скорость прокатки главным образом влияют на скорость деформации в межвалковом зазоре. Характеристики привода, усилие прокатки, момент и мощность, требуемые процессом, а также угол подачи влияют на производительность. Угол подачи является одним из основных факторов процесса прошивки, определяющим производительность стана и качество получаемой продукции. Кроме того, существенное влияние на технологию процесса и конструкцию стана оказывает выбор угла раскатки [5], который вводится для более удобного конструктивного расположения шпиндельных соединений со стороны привода.

При прошивке труб многие параметры (рис. 1) варьируются в зависимости от типоразмера готовой трубы. На рис. 2 приведены зависимости показателей деформации заготовки при прошивке от толщины стенки гильзы, вертикальной линией показана точка 11,3 на оси абсцисс.

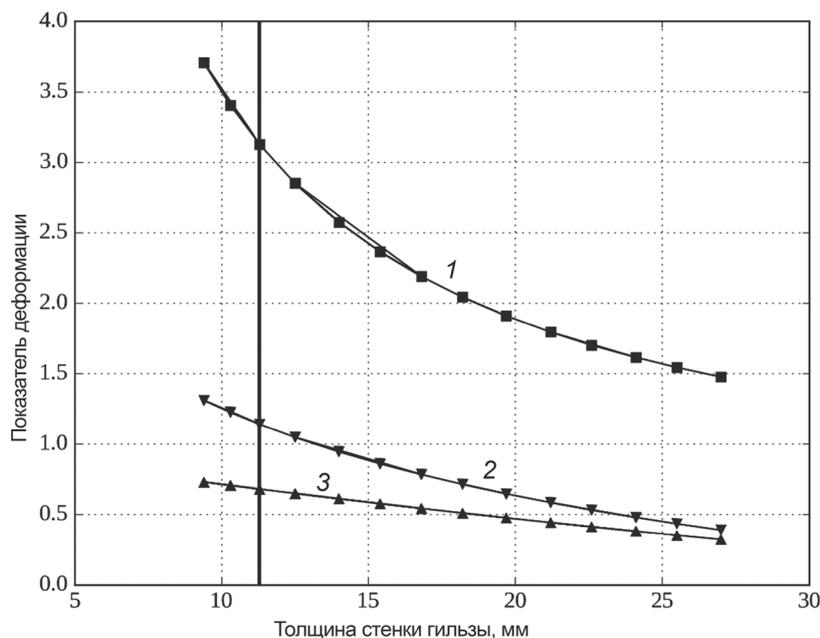


Рис. 2. Зависимость показателей деформации гильзы от толщины стенки: 1 – средняя вытяжка λ; 2 – логарифмическая деформация φ; 3 – относительная деформация ε

Для дальнейшего детального анализа выбрана труба диаметром 70×6,3 мм. Первой операцией при производстве данной трубы является прошивка заготовки диаметром 140 мм в гильзу с размерами: наружный диаметр 150 мм, толщина стенки 11,3 мм. Параметры процесса прошивки приведены ниже.

Материал заготовки	Сталь 20Г2
Температура заготовки перед прошивкой, °С	1200
Диаметр прокатных валков в точке пережима, мм	1030
Скорость вращения прокатных валков, мин <sup>-1</sup>	90
Диаметр валков Дишера, мм	1760
Скорость вращения валков Дишера, мин <sup>-1</sup>	17
Диаметр оправки, мм	120
Угол подачи, град	12
Угол раскатки, град	15

Скорость деформации определяется скоростью прокатки. Направляющие косинусы окружной скорости валка  $u$  и ее компоненты определяются по уравнениям:

$$\begin{aligned}
 l_u &= \sin \alpha \cos \omega - \cos \alpha \sin \beta \sin \omega, \\
 m_u &= (\cos \alpha \cos \omega + \sin \alpha \sin \beta \sin \omega) \cos \psi - \cos \beta \sin \omega \sin \psi, \\
 n_u &= (\cos \alpha \cos \omega + \sin \alpha \sin \beta \sin \omega) \sin \psi + \cos \beta \sin \omega \cos \psi,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 u_x &= l_u u, \\
 u_y &= m_u u, \\
 u_z &= n_u u.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Компонент  $u_x$  представляет собой скорость подачи (перемещения) и называется компонентом осевой подачи или скоростью подачи,  $u_y$  – скорость вращения и называется компонентом вращения или скоростью вращения,  $u_z$  – скорость деформирования и называется компонентом скорости деформации.

Окружная скорость на бочке валка  $u = \frac{\pi n_B}{30} R = 4853,76$  мм/с.

На основе полученных данных построены зависимости компонентов окружной скорости валка от угла меридионального сечения валка  $\omega$  (рис. 3).

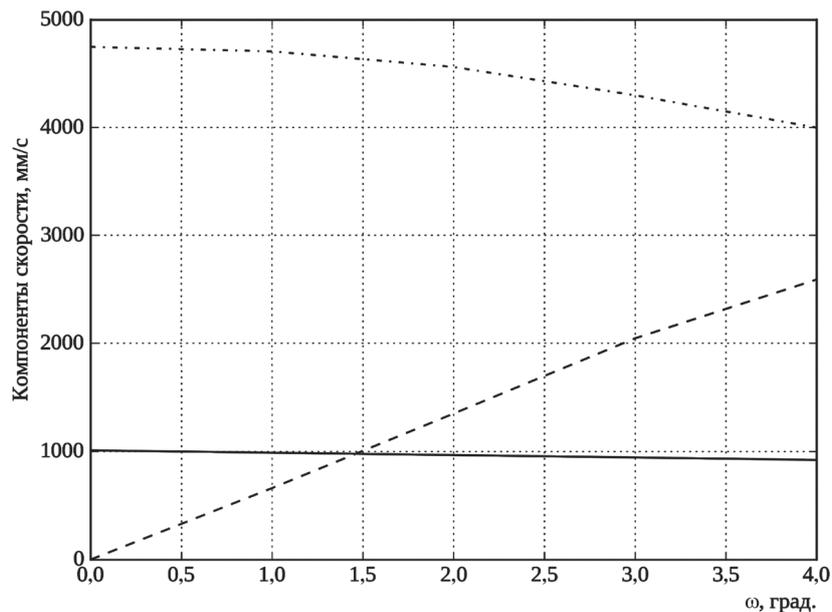


Рис. 3. Зависимость компонент скорости валка от угла меридионального сечения: —  $u_x$ ; ---  $u_y$ ; - - -  $u_z$



Рис. 4. Схема прошивки в стане Дишера

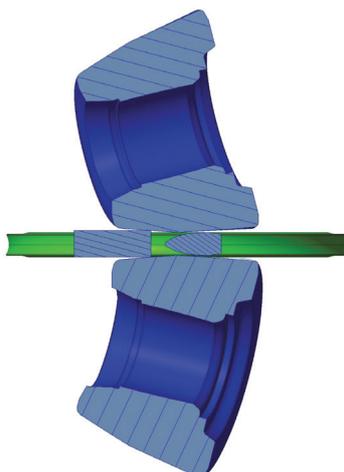


Рис. 5. Продольное сечение

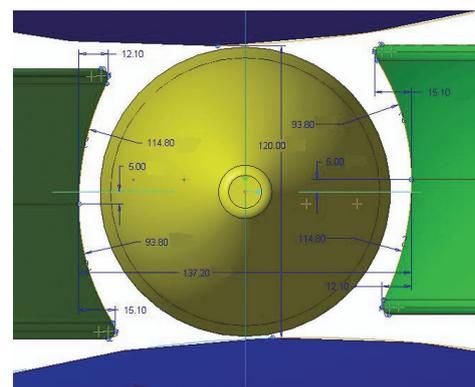


Рис. 6. Схема расположения дисковых валков Дишера

Из рисунка видно, что скорость подачи остается постоянной на всей длине дуги контакта, скорость вращения возрастает по мере перехода от входа в очаг деформации до выхода, скорость деформирования является максимальной при входе в очаг деформации и падает до нуля в основной меридиональной плоскости валка.

Средняя скорость деформации, таким образом, составляет  $4,63 \text{ с}^{-1}$ .

### Компьютерная модель горячей прошивки

Для определения энергосиловых параметров, а также для дальнейших исследований процесса прошивки была создана компьютерная модель данного технологического процесса. На рис. 4 показана схема процесса прошивки в двухвалковом стане Дишера. В данной модели прокатные валки, а также валки Дишера приняты абсолютно жесткими. Учитывается теплообмен заготовки с валками и окружающей средой. В модель дополнительно вводится толкатель для перемещения заготовки к валкам и ее удержания на оси прокатки до формирования устойчивого контакта между заготовкой и валками. На рис. 5, 6 показаны продольное сечение заготовки и деформирующего инструмента и схема расположения дисков Дишера.

Результаты, полученные с помощью построенной модели, приведены на рис. 7, 8.

Результаты моделирования хорошо согласуются с аналитическим расчетом усилия прошивки, выполненном по методике [6].

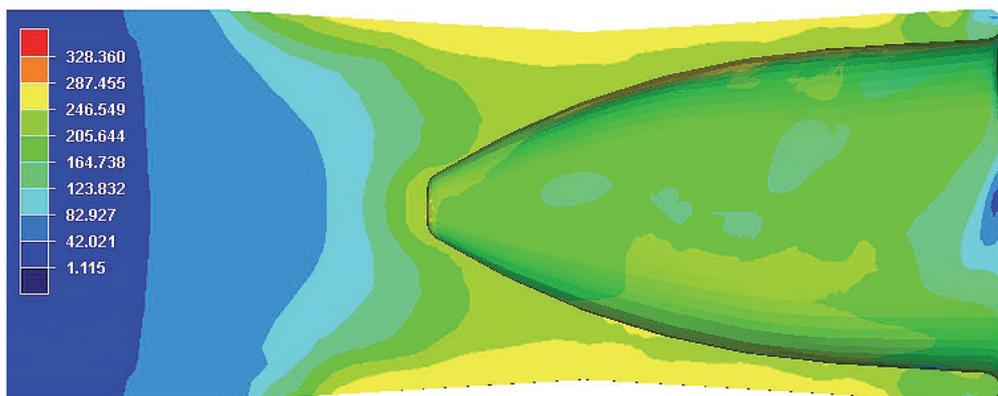


Рис. 7. Действительные напряжения

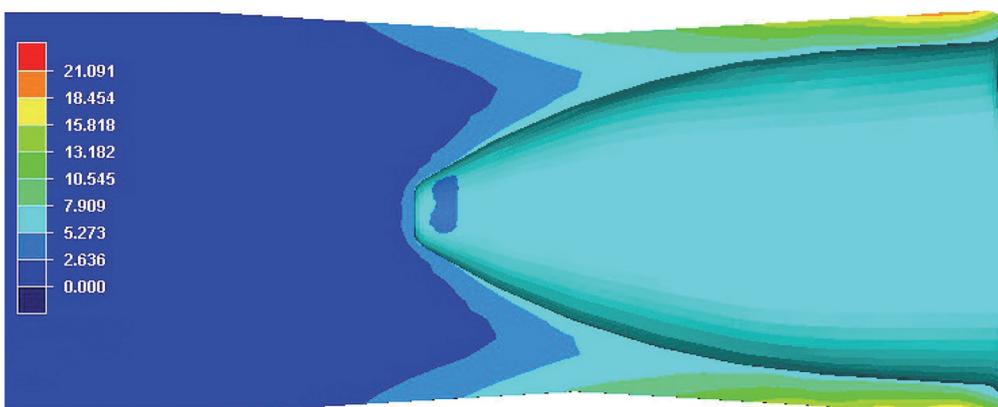


Рис. 8. Степень накопленной деформации

### Выводы

Создана компьютерная модель для моделирования технологического процесса прошивки стальной заготовки в гильзу. Полученная модель позволяет оптимизировать энергосиловые параметры процесса прошивки, спрогнозировать ресурс и локализацию износа инструмента.

Используя метод конечных элементов, получены результаты с высокой степенью точности соответствующие действительному процессу. Они могут быть использованы при настройке прошивных станков, а также при разработке технологических процессов прошивки.

### Литература

1. Специальные прокатные станы / М. В. Барбарич [и др.]; под ред. А. И. Целикова. М.: Металлургия, 1971. 336 с.
2. Тетерин П. К. Теория поперечно-винтовой прокатки / П. К. Тетерин. М.: Металлургия, 1971. 368 с.
3. Барабашкин В. П. Производство труб на агрегатах с трехвалковым раскатным станом / В. П. Барабашкин, И. К. Тартаковский. М.: Металлургия, 1981. 148 с.
4. Грудев А. П. Внешнее трение при прокатке / А. П. Грудев. М.: Металлургия, 1973. 288 с.
5. Потапов И. Н. Технология винтовой прокатки / И. Н. Потапов, П. И. Полухин. Изд. 2-е М.: Металлургия, 1990. 344 с.
6. Расчет усилия прошивки при изготовлении труб / В. В. Клубович, В. И. Тимошпольский, Г. М. Жданович, Л. А. Исаевич, В. А. Томило // Литье и металлургия. 2007. № 4. С. 50–53.

### References

1. Celikov A. I., Barbarich M. V., Vasil'chikov M. V. *Special'nye prokatnye stany* [Special rolling mills]. Moscow, Metallurgija Publ., 1971. 336 p.
2. Teterin P. K. *Teorija poperechno-vintovoj prokatki* [Theory of helical rolling]. Moscow, Metallurgija Publ., 1971. 368 p.
3. Barabashkin V. P., Tartakovskij I. K. *Proizvodstvo trub na agregatah s trehvalkovym raskatnym stanom* [Production of tubes in the three-roll rolling mill]. Moscow, Metallurgija Publ., 1981. 148 p.
4. Grudev A. P. *Vneshnee trenie pri prokatke* [External friction in the rolling process]. Moscow, Metallurgija Publ., 1973. 288 p.
5. Potapov I. N., Poluhin P. I. *Tehnologija vintovoj prokatki* [Helical rolling technology]. Moscow, Metallurgija Publ., 1990. 344 p.
6. Klubovich V. V., Timoshpol'skij V. I., Zhdanovich G. M., Isaevich L. A., Tomilo V. A. *Raschet usilija proshivki pri izgotovlenii trub* [Calculation piercing efforts in the manufacture of tubes]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 4, pp. 50–53.