

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПРАВОЧНОГО ВОЛОЧЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ ЧЕРЕЗ ВРАЩАЕМУЮ ВОЛОКУ

© 2009 Я.А. Ерисов, В.Р. Каргин, Т.С. Пастушенко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 11.06.2008

Приведены результаты компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния в процессе безоправочного волочения тонкостенных труб с вращением волоки с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в специализированном программном комплексе ANSYS/LS-DYNA.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние, процесс безоправочного волочения тонкостенных труб, метод конечных элементов

Тонкостенные трубы, изготавливаемые безоправочным волочением, обладают высоким качеством с точки зрения точности геометрических размеров, чистоты поверхности и механических свойств. Однако рост потребности в холоднотянутых трубах обуславливает необходимость совершенствования способов их производства.

В процессе безоправочного волочения значительная часть усилия уходит на преодоление внешнего трения трубной заготовки о рабочие стенки волоки. Уменьшить силы трения можно за счет приложения вращательного движения волоки в плоскости, перпендикулярной оси канала [1-4]. При таком движении контактная поверхность волоки перемещается относительно трубной заготовки по винтовой линии со скоростью в точке A V_{pA} (рис. 1), её составляющие:

$$V_{окA} = \omega r_A = 2\pi n r_A,$$

$$V_{вA} = V_{в} \frac{F_{к}}{F_A},$$

где ω – угловая скорость вращения волоки;

r_A – расстояние точки A от оси вращения;

n – число оборотов волоки в минуту;

$V_{в}$ – скорость волочения;

$V_{окA}$ – скорость перемещения в направлении вращения;

$V_{вA}$ – скорость перемещения в направлении волочения;

F_A – площадь поперечного сечения трубы, проходящей через точку A ;

$F_{к}$ – площадь поперечного сечения готовой трубы.

Положение результирующего вектора скорости V_{pA} определяется углом

$$\beta = \arctg \frac{V_{окA}}{V_{вA}}.$$

В направлении, противоположном V_{pA} действует напряжение трения τ_A , проекции которого равны $\tau_A \cos \beta$ и $\tau_A \sin \beta$. Значение τ_A определяется по закону Кулона:

$$\tau_A = f p_A \sin \alpha,$$

где f – коэффициент трения;

p_A – давление в канале волоки;

α – угол конуса рабочей зоны волоки.

При вращении волоки крутящим моментом $M_{в}$ на контактной поверхности возникает реактивный момент трения M_{mp} , который передается трубе в очаге пластической деформации (ОПД). Таким образом, протягиваемая труба нагружается помимо усилия волочения $P_{в}$ крутящим моментом, равным моменту от сил трения.

Рассматриваемый способ волочения при безоправочном волочении мало изучен. В частности, нет данных о напряженно деформированном состоянии. Это затрудняет его использование на производстве.

В настоящей работе проведено компьютерное моделирование безоправочного волочения тонкостенных труб через вращаемую волоку с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в специализированном программном комплексе ANSYS/LS-DYNA [5].

Для описания материала трубы принята модель упрочняющейся упруго-пластической среды – билинейная изотропная модель:

$$\sigma_i = \sigma_{0,2} + E' \epsilon_i,$$

где σ_i – напряжение течения;

$\sigma_{0,2}$ – предел текучести;

ϵ_i – накопленная интенсивность деформаций;

Ерисов Ярослав Александрович, студент.

E-mail: erisov@samaradom.ru.

Каргин Владимир Родионович, доктор технических наук, профессор. E-mail: vrkargin@mail.ru.

Пастушенко Татьяна Сергеевна, ассистент.

E-mail: tpast@newmail.ru.

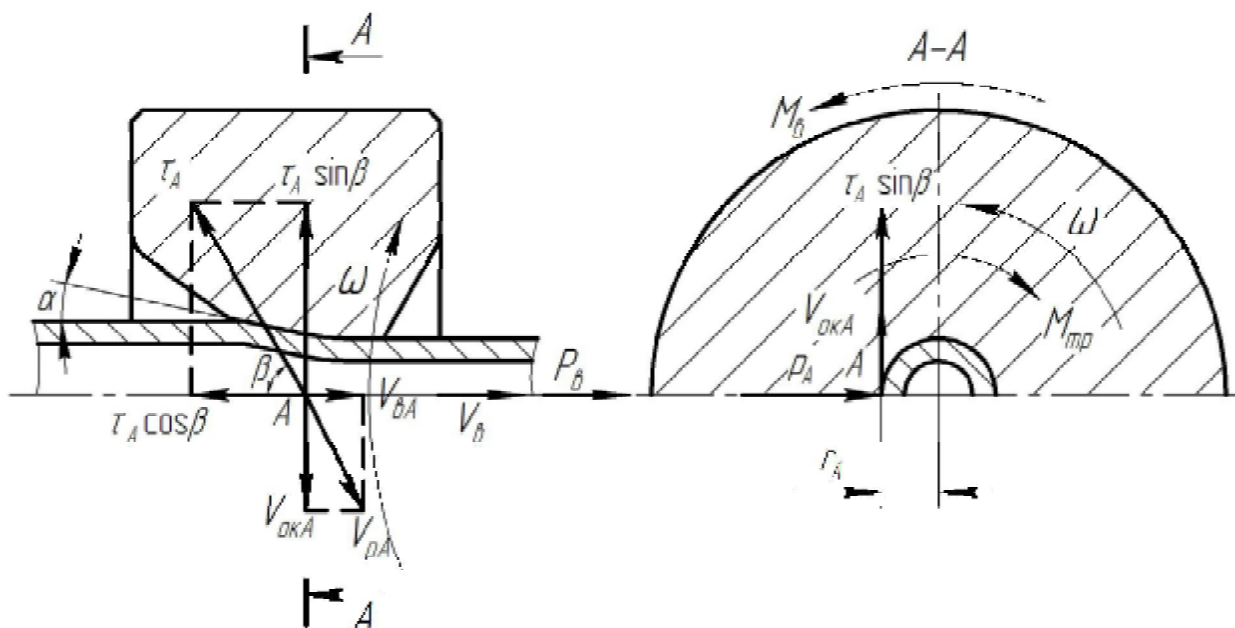


Рис. 1. Напряжения трения и скорости движения в канале вращающейся волоки

$$E' = \frac{\sigma_\sigma - \sigma_{0,2}}{\ln(1 + \delta) + (\sigma_\sigma - \sigma_{0,2})/E},$$

σ_σ – предел прочности;
 δ – относительное удлинение;
 E – модуль упругости.

Материал волоки сталь X12МФ ($E = 210$ ГПа, $n = 0,3$) моделировали жестким.

Для построения трехмерной упорядоченной сетки конечных элементов выбрали оболочечные элементы. Конечно-элементная сетка трубы была сгенерирована с использованием 1920 элементов (длина ребра элемента 1 мм), волоки – 1936 элементов (0,5 мм) (рис. 2).

Компьютерное моделирование безоправочного волочения тонкостенной трубы О10 мм из заготовки О13х1 мм из алюминиевого сплава Д16 ($y_{0,2} = 320$ МПа; $y_\sigma = 450$ МПа; $E = 72$ ГПа; $n = 0,34$; $\delta = 0,25$) проводили в конические волоки с параметрами: угол конуса рабочей зоны – 12°; калибрующий пояс – 2,5 мм; радиус сопряже-

ния обжимной и калибрующей зон – 5 мм. В расчетах принято $f = 0,09$; $V_\sigma = 15$ м/мин; $n = 1500$ об/мин. Устойчивость процесса волочения обеспечивалась при длине трубы не менее 50 мм.

На установившейся стадии волочения через неподвижную и вращаемую волоку получено распределение компонент напряжений и деформаций в продольном сечении ОПД, показанное на рис. 3 и 4.

Из анализа графиков (рис. 3, а) следует, что осевые растягивающие напряжения σ_z , как следовало ожидать, возрастают к выходу из ОПД. Вращение волоки приводит к их снижению на 28%. Контактное давление p распределено в канале волоки неравномерно и имеет два экстремума на входе и выходе из ОПД. Причем пик давления на выходе из ОПД в 2,8 раза больше, чем на входе в ОПД. Величина тангенциальных напряжений σ_θ по абсолютной величине при вращении волоки уменьшается, а p увеличивается.

Приложение вращательного движения к волоке приводит к увеличению радиальных дефор-

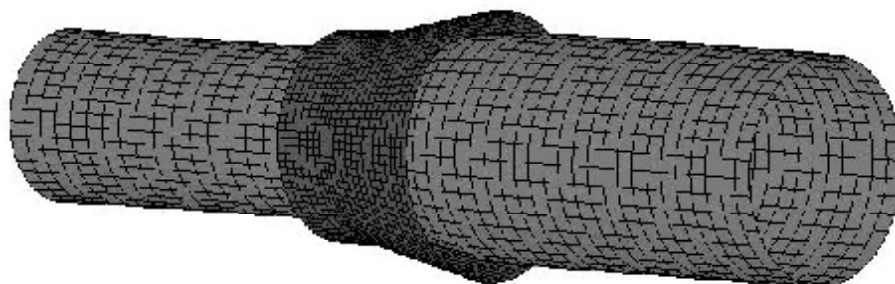


Рис. 2. Конечно-элементная сетка трубы и волоки

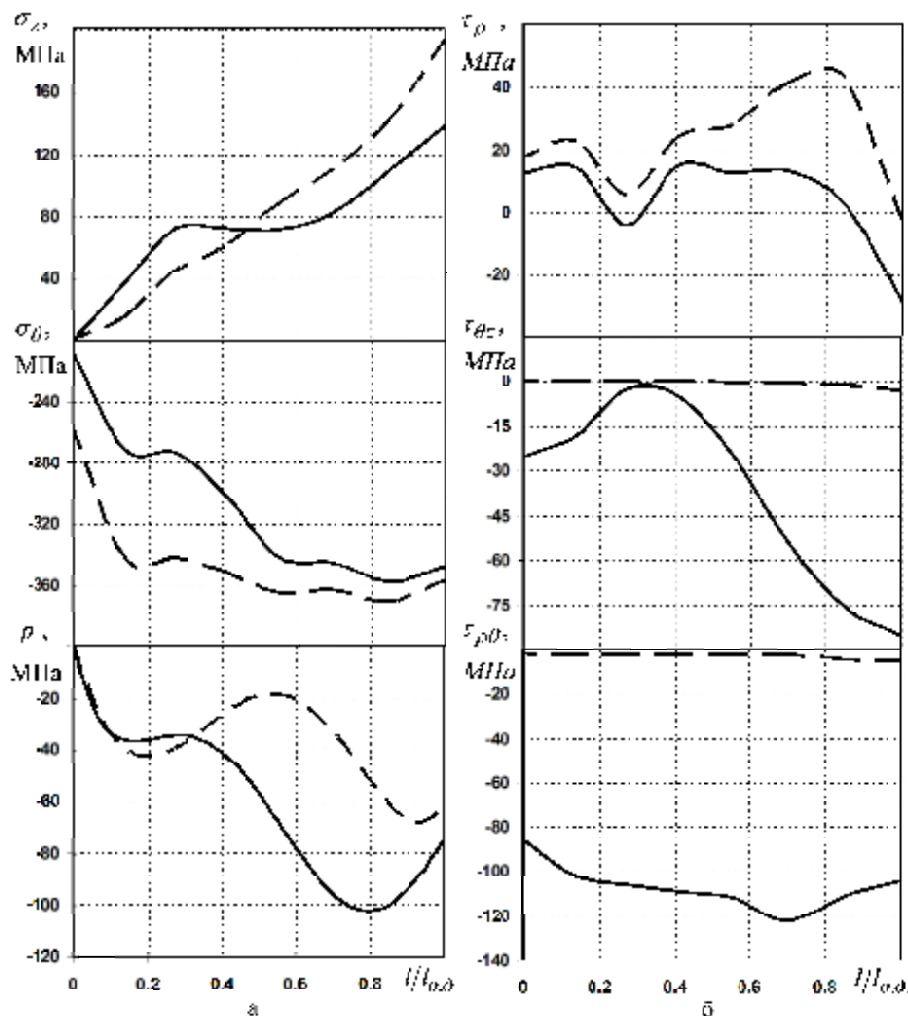


Рис. 3. Распределение компонент нормальных (а) и касательных (б) напряжений в продольном сечении ОПД:
 — вращаемая волокна; — — — неподвижная волокна

маций e_ρ на 20% (рис. 4, а), т.е. к более интенсивному утолщению стенки, что уменьшает длину протянутой трубы. При более высоких скоростях волочения с увеличением числа оборотов волокна толщина стенки растет менее интенсивно (рис. 5). Распределение тангенциальных e_θ и осевых e_z деформаций в продольном сечении ОПД вращаемой волокна отличается незначительно по сравнению с деформациями при волочении через неподвижную волокна.

В процессе волочения сдвиговые напряжения и деформации являются основным механизмом пластического формоизменения. Вращение волокна приводит к интенсификации сдвиговых напряжений и деформаций, что может оказать существенное влияние на формирование структуры и свойств готовых труб.

В поперечных сечениях ОПД по мере продвижения металла трубы вдоль канала вращаемой волокна касательные напряжения $\tau_{\theta z}$ и угловые деформации $\gamma_{\theta z}$ приводят к осевому закручиванию трубы. Их величина нарастает от входа

в ОПД, достигая своего максимального значения на выходе из ОПД. Установлено изменение схемы напряженного состояния с осесимметричной на объемную, что усложняет картину напряженно-деформированного состояния из-за наложения скручивающих сил и изменения условий на контактной поверхности “волокна – заготовка”.

Получена зависимость усилия волочения P_0 от числа оборотов волокна n при различных скоростях волочения V_0 (рис. 5). При более высоких скоростях волочения для заметного снижения усилия необходимо вращать волокна с большим числом оборотов, что объясняется схемой сил, действующих в точке А контактной поверхности вращающейся волокна (рис. 1). Уменьшение сил трения, действующих в направлении, обратном волочению, тем значительнее, чем больше угол β .

Применение волочения через вращаемую волокна целесообразно при изготовлении тонкостенных труб большого диаметра, при моделировании которых установлено заметное уменьшение усилия с ростом числа оборотов волокна (рис. 5).

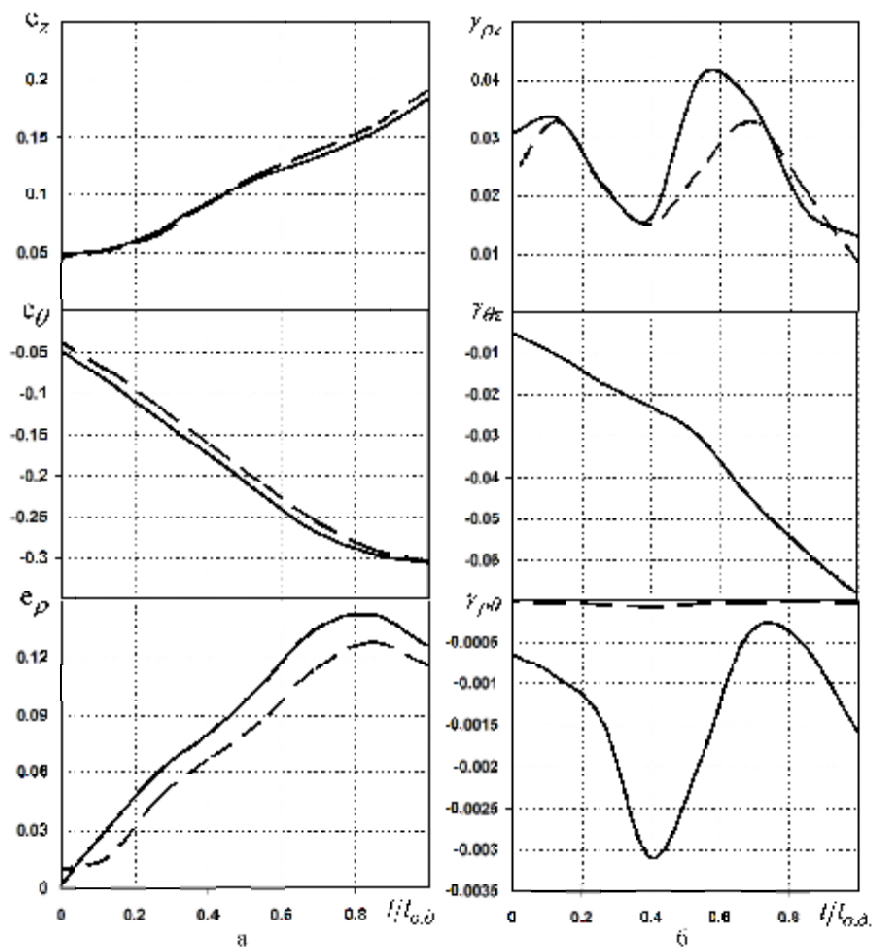


Рис. 4. Распределение линейных (а) и угловых (б) деформаций в продольном сечении ОПД:
 — вращаемая волокна; - - - неподвижная волокна

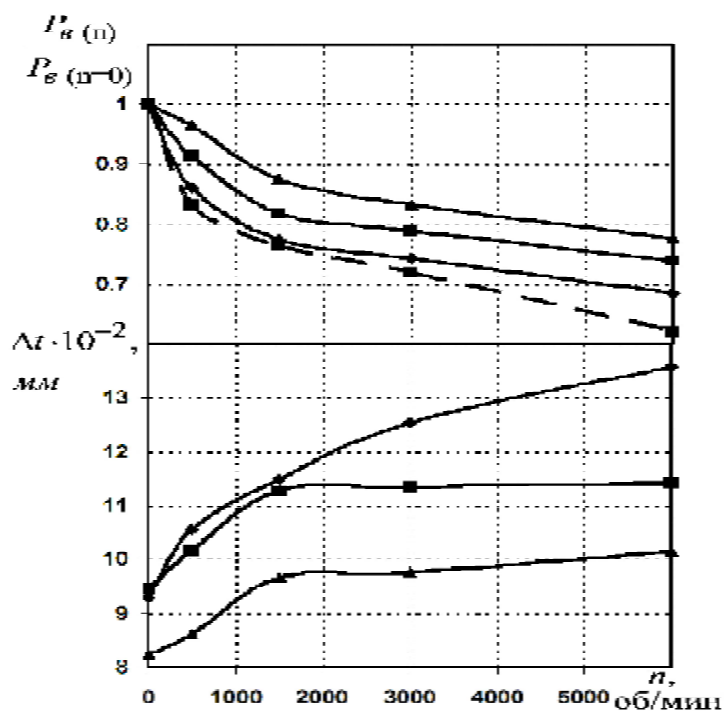


Рис. 5. Зависимость усилия волочения и толщины стенки от числа оборотов волокна:
 —●— $V_0 = 7,5$ м/мин; —■— $V_0 = 15$ м/мин; —▲— $V_0 = 30$ м/мин;
 --- $D/t = 10$; - - - $D/t = 20$

Таким образом, результаты компьютерного моделирования наглядно показывают особенности влияния кручения волокна в плоскости, перпендикулярной оси волочения, на изменение напряженно-деформированного состояния при безопрывочном волочении тонкостенных труб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перлин И.Л., Ерманок М.З.* Теория волочения. – М.: Металлургия, 1971, 448 с.
2. *Савин Г.А.* Волочение труб. – М.: Металлургия, 1993, 336 с.
3. *Тарнавский А.П.* Эффективность волочения с противонапряжением. – М.: Металлургия, 1959, 152 с.
4. *Шевченко А.А., Сизоненко Г.А., Рогов М.В.* Об особенностях процесса волочения с вращением контактных поверхностей инструмент-заготовка/ Производство труб. – М.: Металлургия, 1971. Вып. №26. С. 108-114.
5. *Дубинский С.* Программный комплекс ANSYS/LS-DYNA 8.0 / САПР и графика. 2004. №3. С. 34-38.

COMPUTER SIMULATION OF THIN-WALLED TUBE SINKING WITH ROTATIONAL MOVEMENT OF DRAWING DIE

© 2009 Ya.A. Erisov, V.R. Kargin, T.S. Pastushenko

Samara State Aerospace University

In this work, the cold sinking (plugless drawing) of thin-walled tubes with rotational movement of drawing die was simulated by finite element method (FEM) with the particularized bundled software ANSYS/LS-DYNA to determine mode of deformation and parameters of process.

Key words: computer simulation, stress and deformation, thin-walled tube sinking, final-element model.

Yaroslav Erisov, Student. E-mail: erisov@samaradom.ru.

Vladimir Kargin, Doctor of Technics, Professor.

E-mail: vrkargin@mail.ru.

Tatyana Pastushenko, Assistant Lecturer.

E-mail: tpast@newmail.ru.