

УДК 621.774.372

к.т.н. Денищенко П.Н.,
Королёв К.Г.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, omdim2009@rambler.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ДЕФОРМИРУЮЩЕЙ ЗОНЫ РАДИАЛЬНЫХ ВОЛОК ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ТРУБ НА ЗАКРЕПЛЕННОЙ ОПРАВКЕ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Разработана конечно-элементная модель волочения труб на закрепленной оправке. Получены поля распределения напряжений по Мизесу и эквивалентной пластической деформации для различных конфигураций геометрии деформирующей зоны радиальных волок.

Ключевые слова: волочение труб, труба, оправка, радиальная волока, конечно-элементная модель, напряженно-деформированное состояние.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Основная деформация труб на короткой закрепленной оправке при их волочении осуществляется в рабочей или деформирующей зоне волоки, представляющей собой сужающийся кольцевой канал по ходу движения трубы. Форма продольного профиля деформирующей зоны волоки в значительной степени определяет качество получаемых труб, стойкость волок, энергосиловые параметры процесса волочения.

Известно несколько видов профиля канала волоки (рис. 1) [1]: конический, радиальный (выпуклый), вогнутый и сигмоидальный. В большинстве случаев оптимальную геометрию этой формы определяют на основе производственного опыта с учетом возможностей обработки и переработки канала волоки. В современном волочильном производстве наиболее распространена коническая форма как самая оптимальная для обработки шлифовкой. Основные геометрические параметры конической формы деформирующей зоны волоки определяют опытным путем. Реже применяется радиальная форма.

Существуют работы, посвященные исследованию влияния формы деформирующей зоны волоки при волочении стальной проволоки [2, 3]. Однако для процессов волочения труб подобных исследований нет, а разработанные математические модели создавались для условий волочения в коническом канале волоки [4-7]. Поэтому подоб-

ные исследования применительно к процессам волочения труб представляют интерес.

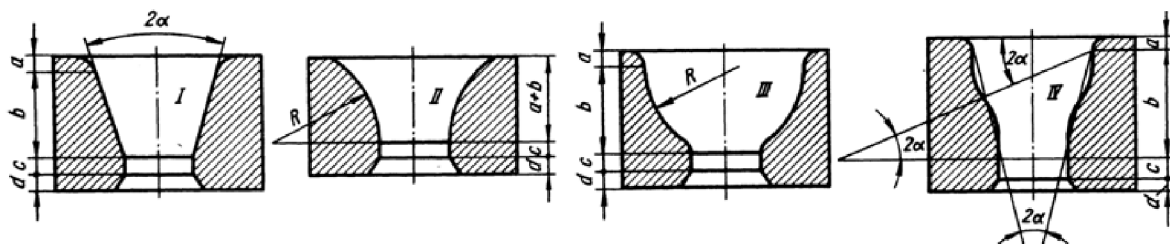
Постановка задачи. Задачей данной работы является разработка конечно-элементной математической модели процесса волочения труб на короткой закрепленной оправке и исследование локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при различных параметрах геометрии радиальных волок.

Изложение материала и его результаты. На базе программного комплекса ABAQUS была разработана конечно-элементная математическая модель, описывающая осесимметричную задачу волочения трубы на короткой закрепленной оправке. Модель состоит из абсолютно жестких недеформируемых тел: волоки и оправки, а также протягиваемой деформируемой трубы, которая представляет собой сетку из изопараметрических четырехугольных линейных элементов с редуцированной схемой интегрирования, имеющих свойства сплошной гомогенной деформируемой среды. Была использована процедура адаптации сетки в формулировке Лагранжа-Эйлера. Трение между контактными парами «внутренняя поверхность трубы – оправка» и «внешняя поверхность трубы – волока» задавалось с использованием закона трения Кулона, коэффициент трения принимался $\mu=0,08$.

Исходные данные для расчета: труба из стали Ст20 размерами 83х3,1 мм протягивается на размер 71х2,5 мм. Исследовались профили канала валок: конический с $\alpha = 12^\circ$ (рис. 2, а), радиальный с радиусом образующих $R = 83$ мм (рис. 2, б), $R = 41,5$ мм (рис. 2, в), $R = 20,75$ мм (рис. 2, г). Во всех профилях исследуемых волок длина калибрующей зоны 5 мм, диаметр калибрующей

зоны соответствует наружному диаметру готовой трубы 71 мм, а диаметр цилиндрической оправки соответствует внутреннему диаметру готовой трубы 66 мм.

В результате были получены поля распределения напряжений по Мизесу (рис. 3) и эквивалентной пластической деформации (рис. 4), возникающих в деформационной зоне.



*I – конический; II – радиальный; III – вогнутый; IV – сигмоидальный;
a – входная распушка; b – рабочий конус; c – калибрующий пояс; d – выходная распушка*

Рисунок 1 – Различные профили канала волокна

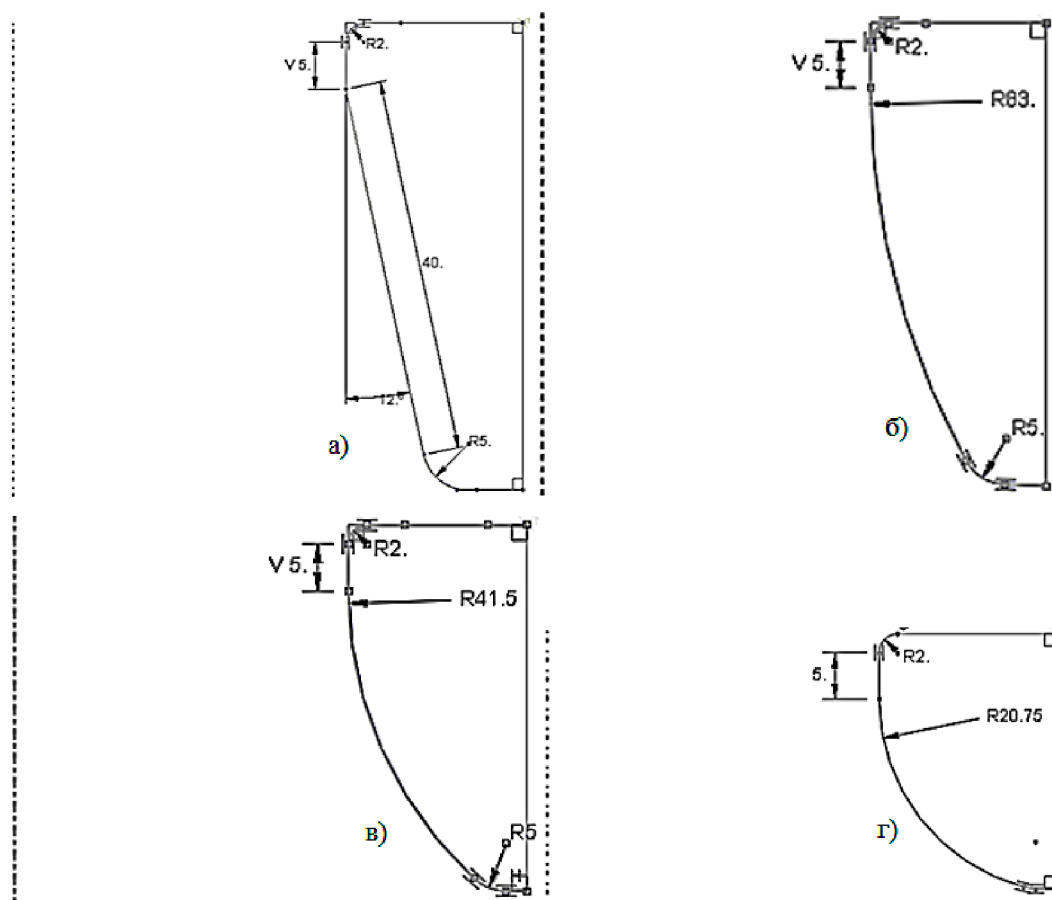


Рисунок 2 – Исследуемые профили канала волокна

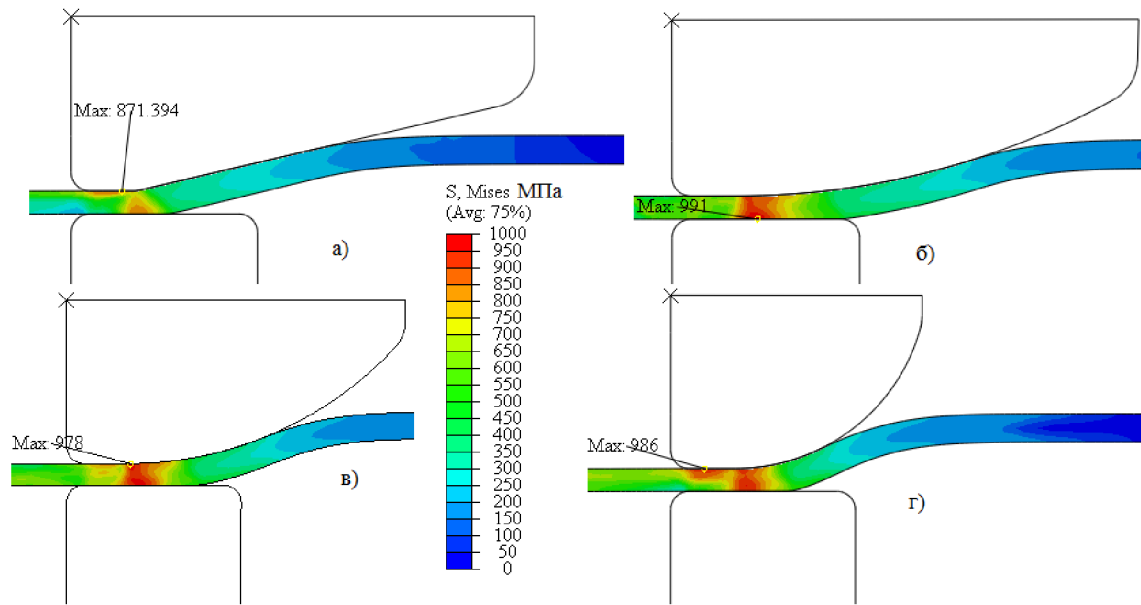


Рисунок 3 – Поля распределения напряжений по Мизесу

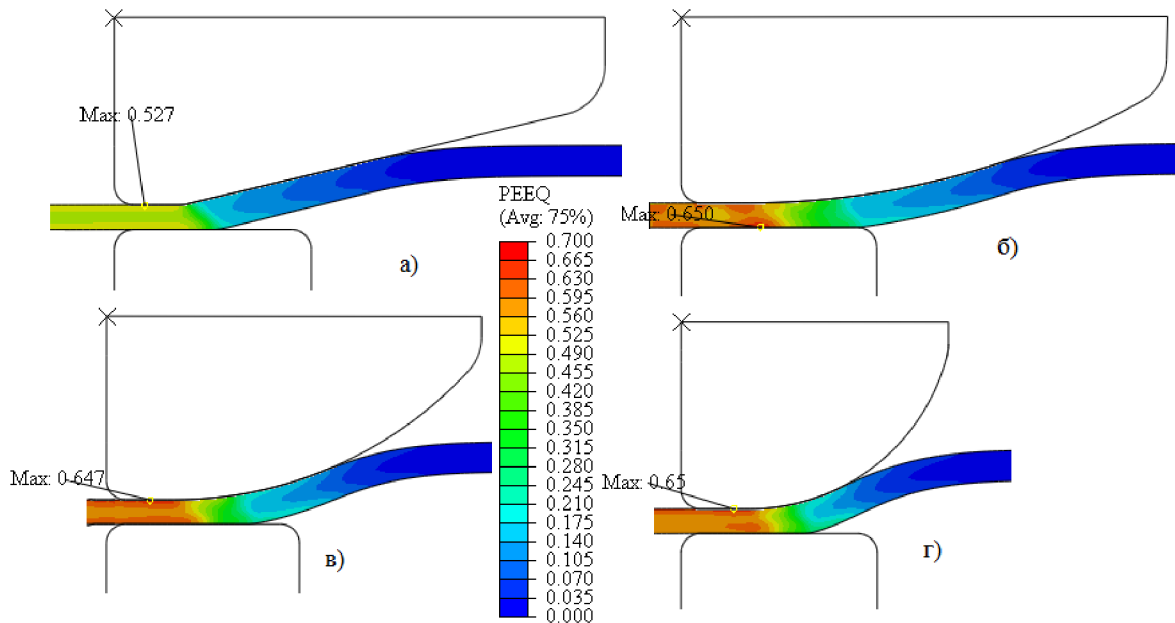


Рисунок 4 – Поля распределения эквивалентной пластической деформации

Максимальные напряжения возникают в калибрующей зоне в тонком приконтактном с конической волокой слое трубы и достигают 871 МПа (рис. 3, а). Также имеется область с повышенными напряжениями в трубе со стороны контакта с оправкой в начале калибрующей зоны. Деформация по толщине стенки выходя-

щей трубы находится в диапазоне от 0,42 в середине стенки до 0,527 на периферии (рис. 4, а).

Для случая волочения в волоке с радиальным профилем канала $R = 83$ мм область максимальных напряжений находится в начале калибрующей зоны и проходит через всю толщину стенки. При этом напряжения

достигают 991 МПа в месте соприкосновения с оправкой (рис. 3, б). Деформации по толщине стенки выходящей трубы находятся в диапазоне от 0,49 в середине стенки до 0,65 на периферии (рис. 4, б).

При волочении в радиальном профиле канала волокна с $R = 41,5$ мм область максимальных напряжений расположена аналогично случаю радиальной волокна с $R = 83$ мм, однако максимальные напряжения находятся в месте контакта трубы и волокна и достигают 978 МПа (рис. 3, в). Распределение деформаций по толщине стенки трубы находится в пределах от 0,56 в центре стенки и до 0,647 на периферии (рис. 4, в).

Для случая волочения в волокне с радиальным профилем канала $R = 20,75$ мм имеется две зоны с интенсивными напряжениями: в начале калибрующей зоны (проходит через всю толщину стенки), и в середине калибрующей зоны (со стороны волокна до середины толщины стенки трубы), где достигают максимальных значений 986 МПа (рис. 3, г). Максимальные

деформации находятся в области контакта трубы с калибрующей зоной волокна и достигают 0,65, в середине и области контакта с оправкой деформации находятся на уровне 0,56 (рис. 4, г).

Следует отметить наличие зон с внеконтактной деформацией при волочении в радиальных волокнах, размер которых увеличивается с уменьшением радиуса кривизны образующей профиля волокна.

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате анализа полученных данных установлено, что при волочении труб на закрепленной оправке в конической волоке максимальные напряжения, возникающие в стенке трубы, значительно ниже, а распределение деформации более равномерно, чем в радиальных волокнах. Поэтому для волочения труб на закрепленной оправке рекомендуется использовать конические волокна. На базе разработанной конечно-элементной математической модели планируется проведение исследований вогнутых и сигмоидальных профилей волокон.

Библиографический список

1. Перлин И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. — М. : Металлургия, 1971. — 448 с.
2. Исследование численным моделированием влияния формы деформирующей зоны волокна при волочении стальной высокоуглеродистой проволоки на температурное и напряженно-деформированное состояние в проволоке и волокне / О. Л. Бобарикин и др. // *Литье и металлургия: научно-производственный журнал*. — 2012. — № 3 (67). — С. 196–200.
3. Bartłomiej Pikos, Jan W. Pilarczyk, Bogdan Golis, Rafał Włodzik and Jan Krnac Zelezarny. *Effect of drawing in sigmoidal, concave, convex and conical dies on mechanical properties of high carbon steel wires* // *Conference Proceedings of The Wire Association. International, Inc. Sponsored by Niehoff. International Wire & Cable Conference, Bologna, Italy, November 2007*. — P. 216–227.
4. Касьянюк С.В. Расчет процесса волочения труб на неподвижной оправке на основе энергетического подхода / С.В. Касьянюк, С.Ю. Саплин, С.В. Чемерис // *Сб. науч. трудов «Обработка материалов давлением»*. — Краматорск, 2008. — № 1(19). — С. 130–134.
5. Каргин Б.В. Напряженно-деформированное состояние при безоправочном волочении тонкостенных труб с подпором / Б.В. Каргин, В.Р. Каргин, Т.С. Пастушенко // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. — 2012. — Т. 14, № 6. — С. 77–80.
6. Осадчий В.Я. Методика расчета напряжения волочения труб на короткой оправке / В.Я. Осадчий, Н.А. Малевич // *Сборник трудов научно-технической конференции «Информатика и технология»*. — М. : МГАПИ, 2005. — С. 38–49.
7. Малевич Н.А. Исследование моделей напряженно-деформированного состояния металла при волочении труб и разработка методики определения силовых параметров волочения на самоустанавливающейся оправке : дис. канд. техн. наук. : 05.03.05 / Н.А. Малевич. — Москва, 2007. — 201 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Новохатским А.М., пом. начальника цеха стана 600 ПАО «АМК» по технологии, к.т.н. Чичканом А.А.

Статья поступила в редакцию 23.05.16.

к.т.н. Денищенко П.М., Корольов К.Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ДЕФОРМУЮЧОЇ ЗОНИ РАДІАЛЬНИХ ВОЛОК ПРИ ВОЛОЧІННІ ТРУБ НА ЗАКРІПЛЕНІЙ ОПРАВЦІ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН

Розроблено скінчено-елементну модель волочіння труб на закріпленій оправці. Отримані поля розподілу напружень по Мізесу і еквівалентної пластичної деформації для різних конфігурацій геометрії деформуючої зони радіальних волок.

Ключові слова: *волочіння труб, труба, оправка, радіальна волока, скінчено-елементна модель, напружено-деформований стан.*

PhD in Engineering Denishchenko P.N., Koroliiov K.G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INVESTIGATION THE INFLUENCE OF DEFORMING ZONE SHAPE OF RADIAL DIES AT TUBE DRAWING ON FIXED MANDREL ONTO STRESS-STRAIN STATE

A finite element model of tube drawing on a fixed mandrel has been developed. Fields of stress distribution by Mises and equivalent plastic deformation for different geometry configurations of radial dies deforming zone have been obtained.

Key words: *tubes drawing, tube, mandrel, radial die, mathematical model, finite element model, stress-strain state.*