

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛОЧЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ НА
ВРАЩАЕМОЙ ОПРАВКЕ****Муртазин Руслан Мирфаязович**

магистрант, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, РФ, г. Самара

Каргин Владимир Родионович

профессор, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, РФ, г. Самара

Одним из высокоэффективных методов изготовления тонкостенных труб является волочение.

Трубы, изготовленные методом волочения обладают высокими качествами, с точки зрения точности геометрических размеров, чистоты поверхности и механических свойств. [1]

Для изготовления тонкостенных труб со строго лимитированными значениями внутреннего диаметра и толщины стенки, применяют волочение с неподвижной оправкой. [2] В процессе волочения с неподвижной оправкой, часть усилия волочения уходит на преодоление сил трения трубной заготовки о рабочую поверхность цилиндрической оправки, что снижает эффективность процесса [1-5]. Уменьшить силы трения на оправке можно за счет приложения вращательного движения оправки в плоскости перпендикулярной оси волочения. При таком движении контактная поверхность оправки перемещается относительно трубной заготовки по винтовой линии со скоростью:

$$V = \omega r_{\text{опр}}$$

где ω – угловая скорость вращения оправки;

$r_{\text{опр}}$ – радиус вращаемой оправки. [3]

Данный процесс, на сегодняшний день, является не достаточно изученным.

В настоящее время для исследования процесса волочения наиболее широко используется компьютерное моделирование [6-10].

Цель работы – установление влияния вращения оправки, при волочении тонкостенных труб, на характер распределения напряженно-деформированного состояния и энергосиловых условий.

Проведено компьютерное моделирование волочения тонкостенной трубы на неподвижной и вращаемой оправках, с помощью метода конечных элементов в специализированном программном комплексе DEFORM-3D [11]. Дано сравнение полученных результатов. При моделировании в качестве заготовки использовали тонкостенную трубу А31х3 мм из алюминиевого сплава 2024 (аналог Д16). Предел текучести данного материала составляет 270 МПа, а предел прочности 410 МПа. Трубу протягивали через коническую волоку диаметром

29 мм, с углом конуса рабочей зоны 20° и длиной калибрующего пояса 3 мм (рисунок 1а). Радиус сопряжения рабочей и калибрующей зон 10 мм. Угловая скорость вращаемой цилиндрической оправки $\Phi 24$ мм принималась равной 0 рад/сек, 5 рад/сек (рисунок 1б). Коэффициент вытяжки $l=1,31$. Трехмерные геометрические модели заготовки 1, волокна 2, оправки 3, и захвата 4, полученные с помощью программного комплекса в SolidWorks, приведены на рисунке 2.

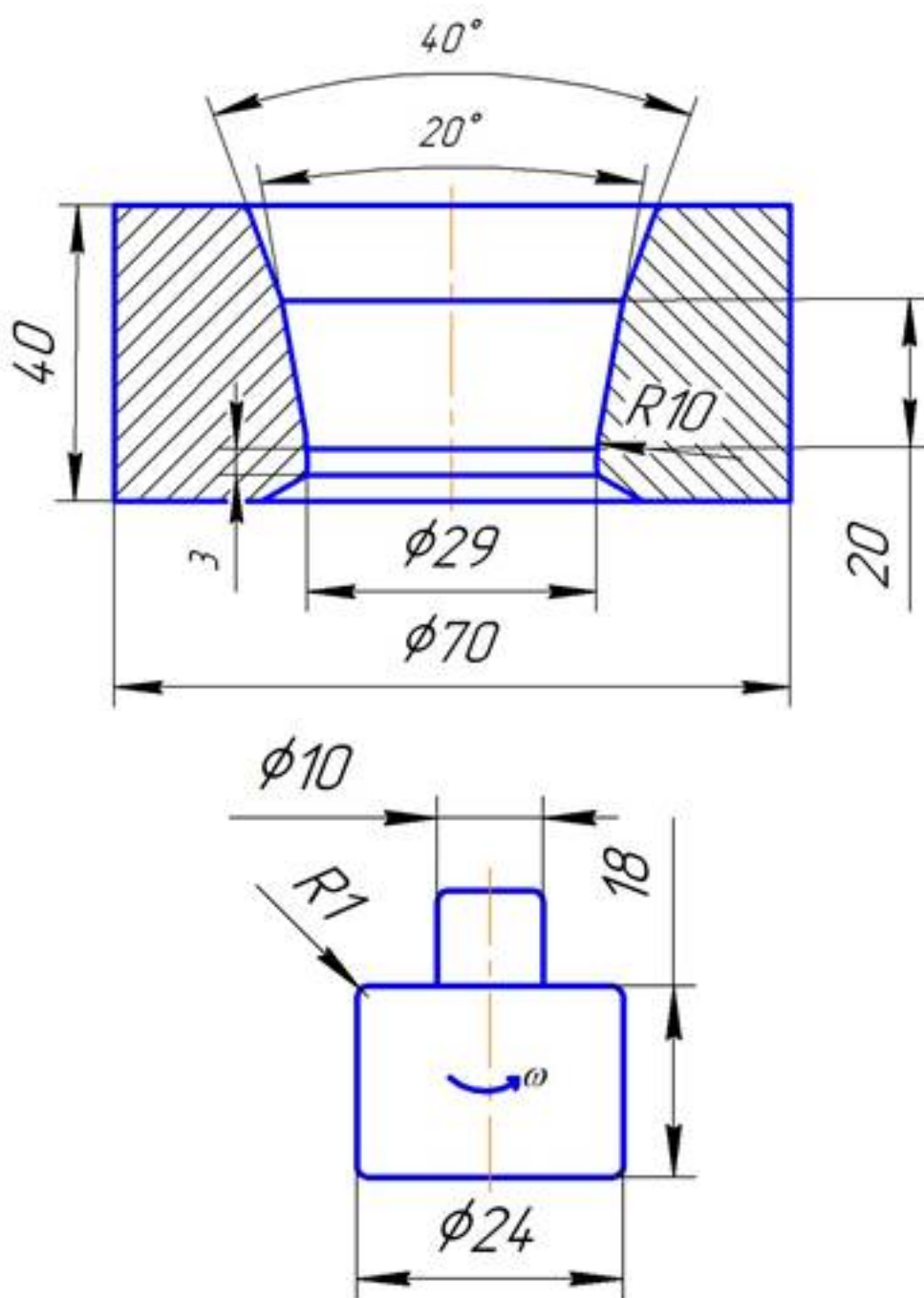
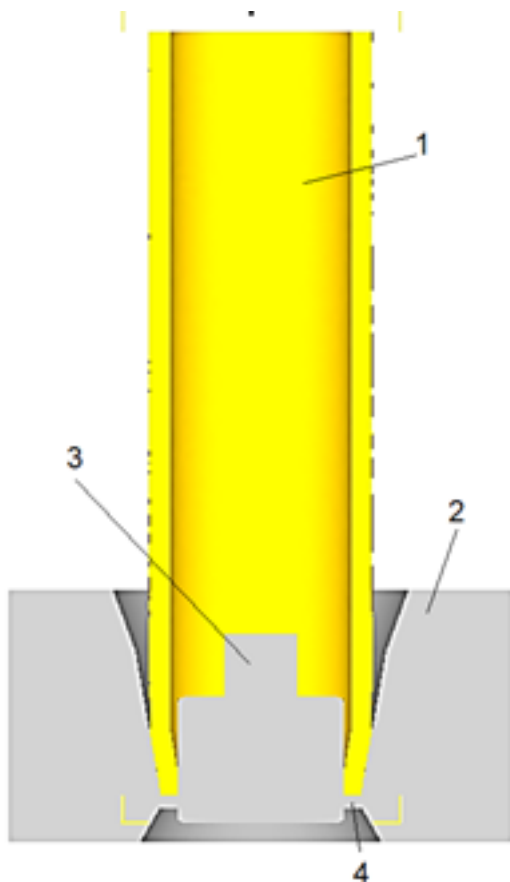


Рисунок 1. Чертеж волокна и вращаемой оправки



1 – заготовка; 2 – волокна; 3 – оправка; 4 – захват

Рисунок . Компьютерная модель волочения тонкостенной трубы на вращаемой оправке в момент начала протягивания

На поверхности контакта заготовки с волокой и оправкой действуют касательные напряжения, определяемые по закону Кулона, коэффициент трения принят равным 0,08. Конечно - элементная сетка трубы сгенерирована с использованием 136146 элементов, с длиной ребра элемента 1 мм.

На рисунке 3 изображен график изменения усилия волочения от перемещения захвата. Из графика видно, что на установившейся стадии процесса усилие, при волочении на вращаемой оправке, в среднем меньше на 30% по сравнению с классическим волочением на закрепленной оправке. Уменьшение усилия произошло за счет снижения силы трения между оправкой и внутренней поверхностью заготовки, вследствие поворота вектора сил трения от оси волочения к винтовой линии.

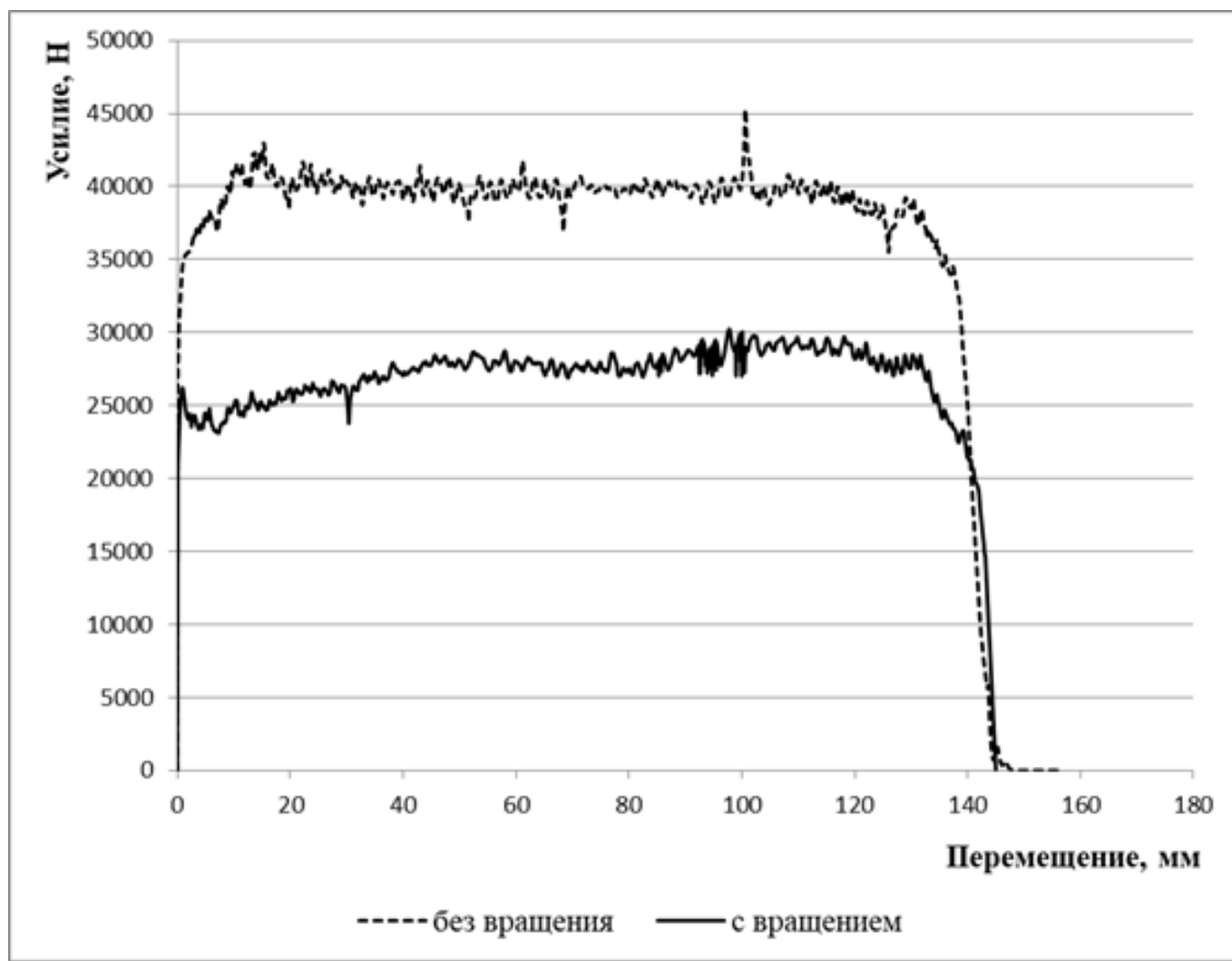


Рисунок 3. График изменения усилия волочения от перемещения трубы

На рисунке 4 представлен график распределения накопленной интенсивности деформации

ϵ_i , по длине протянутого участка трубы, из которого следует, что при волочении с вращением оправки, величина накопленной интенсивности деформации в среднем на 42% больше, чем при волочении без вращения оправки. Увеличение интенсивности деформации происходит за счет наложения, на процесс деформации, сдвиговых напряжений от вращения оправки.

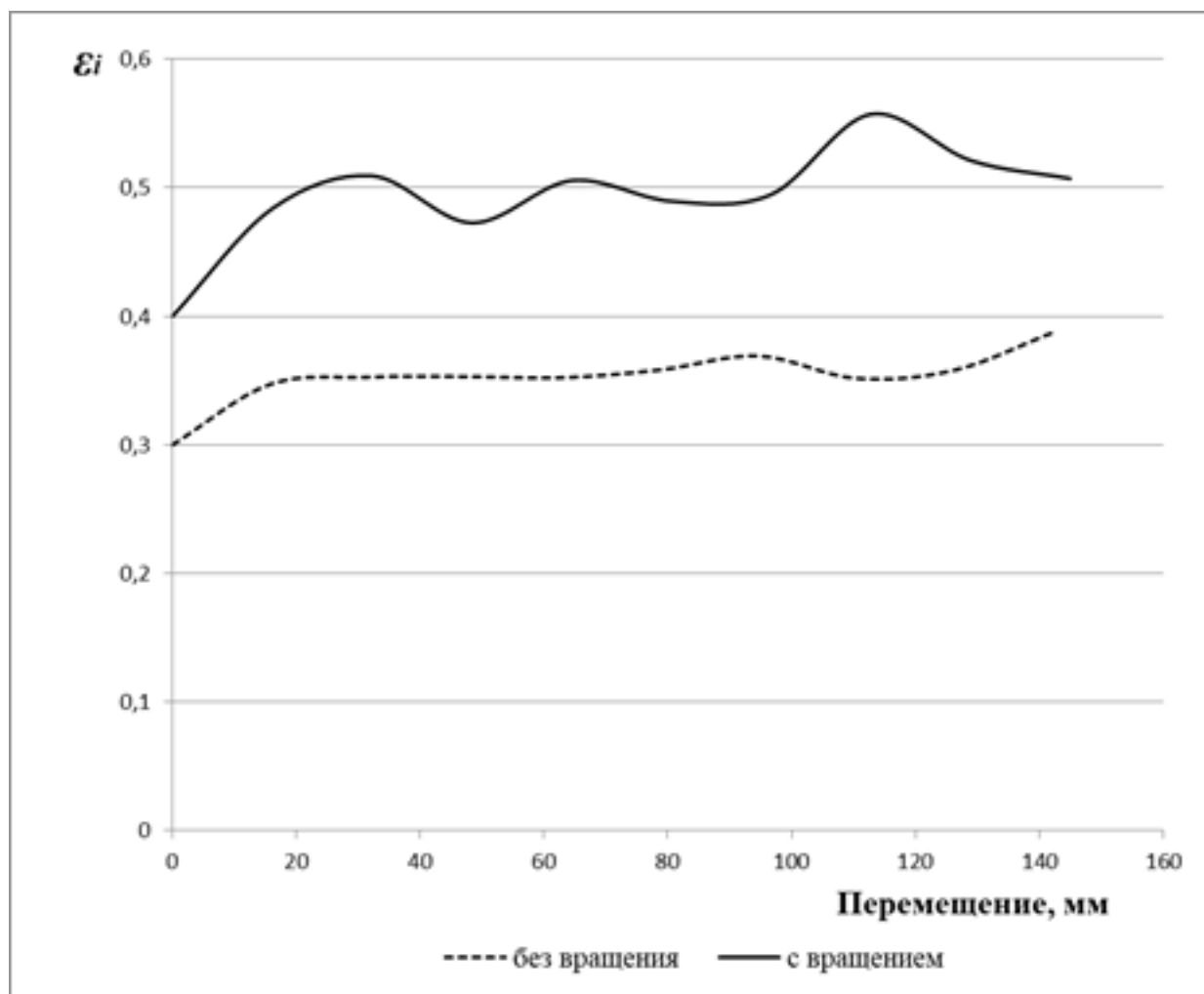
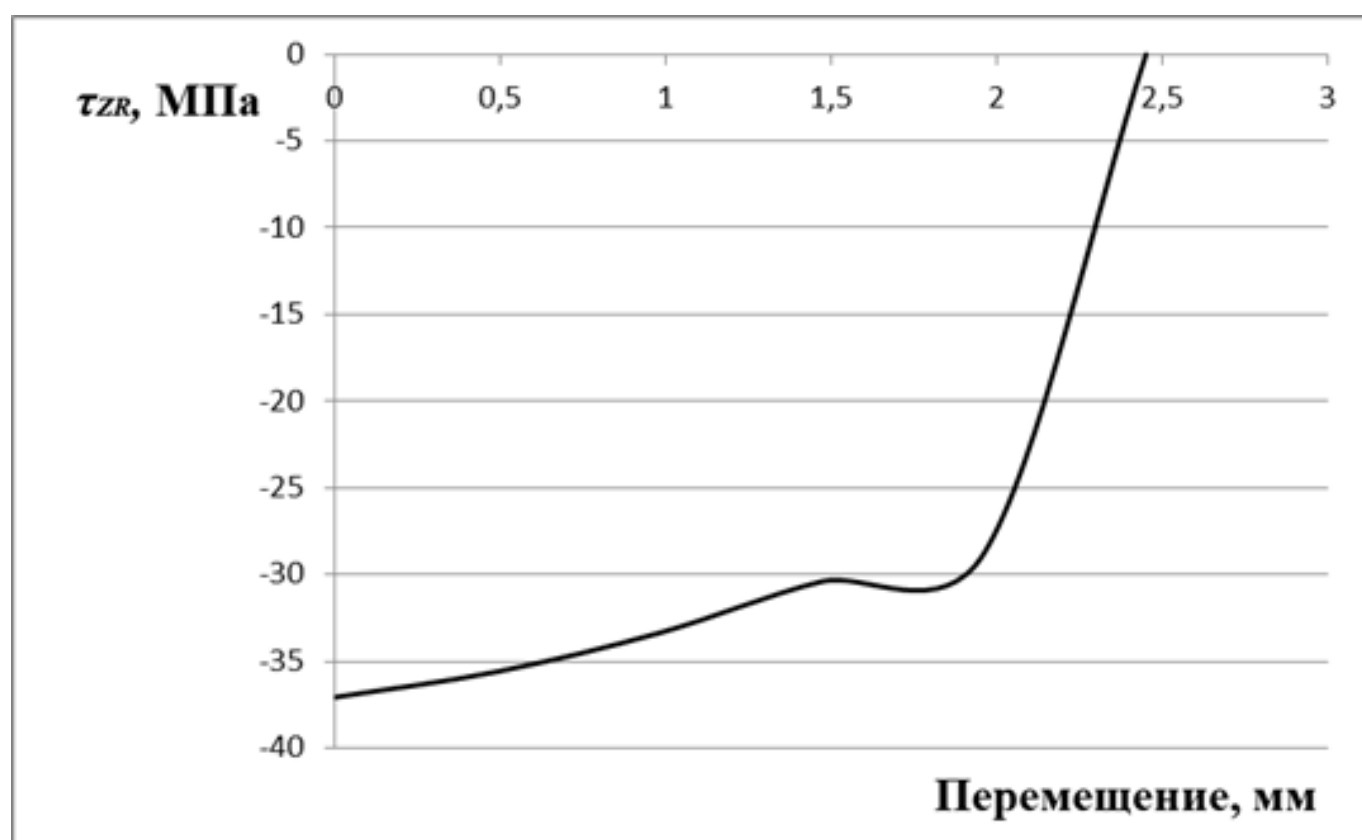
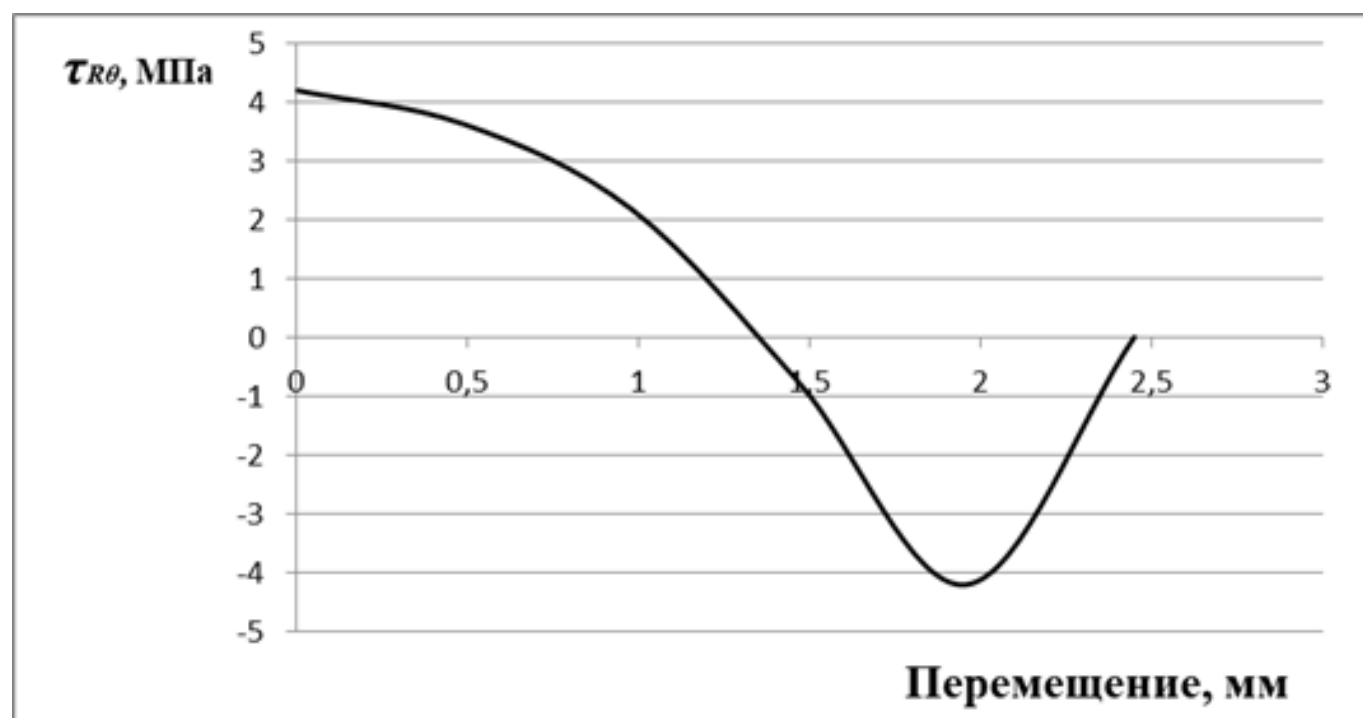


Рисунок 4. График распределения интенсивности накопленной деформации по длине протянутого участка трубы



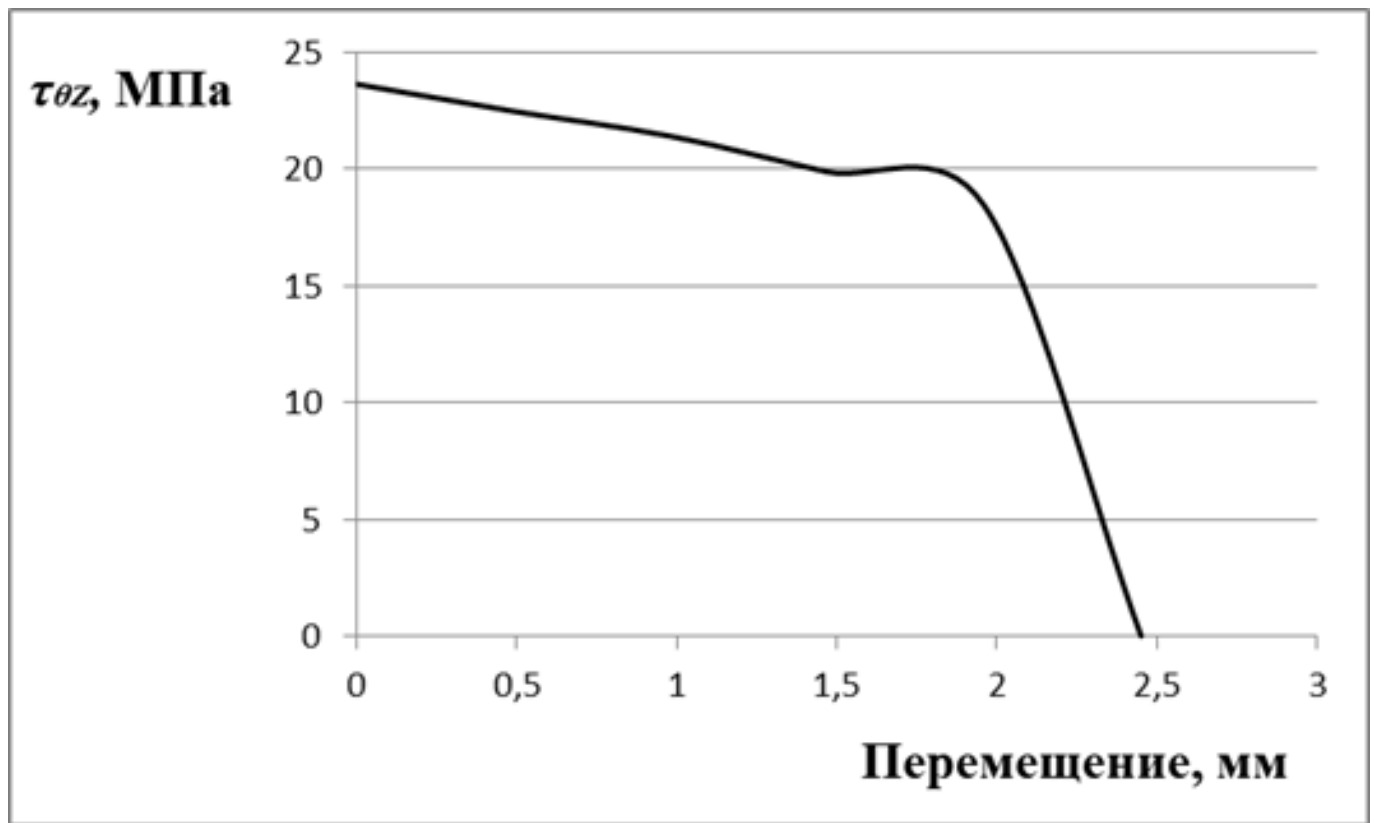


Рисунок 5. Распределение касательных напряжений $\tau_{\theta z}$, τ_{zR} по толщине стенки на протянутом участке трубы

Из рисунка 5 видно, что вращение оправки приводит к появлению на протянутом участке трубы по толщине стенки касательных напряжений t_{Rq} , t_{qz} , t_{ZR} . При классическом волочении на закрепленной оправке, компоненты тензора напряжений t_{Rq} , t_{qz} , t_{RZ} на протянутом участке равны нулю. При гибридном волочении максимальные значения этих напряжений наблюдаются на внутренней поверхности стенки трубы, контактируемой с оправкой. Касательные напряжения t_{Rq} на внутреннем и внешнем участках стенки трубы, имеют противоположные знаки, примерно равны по величине, и равны нулю в середине стенки изделия.

Величина интенсивности напряжений σ_i при волочении на вращаемой оправке будет больше на 5%, вследствие наличия касательных напряжений, что подтверждается рисунком 6.

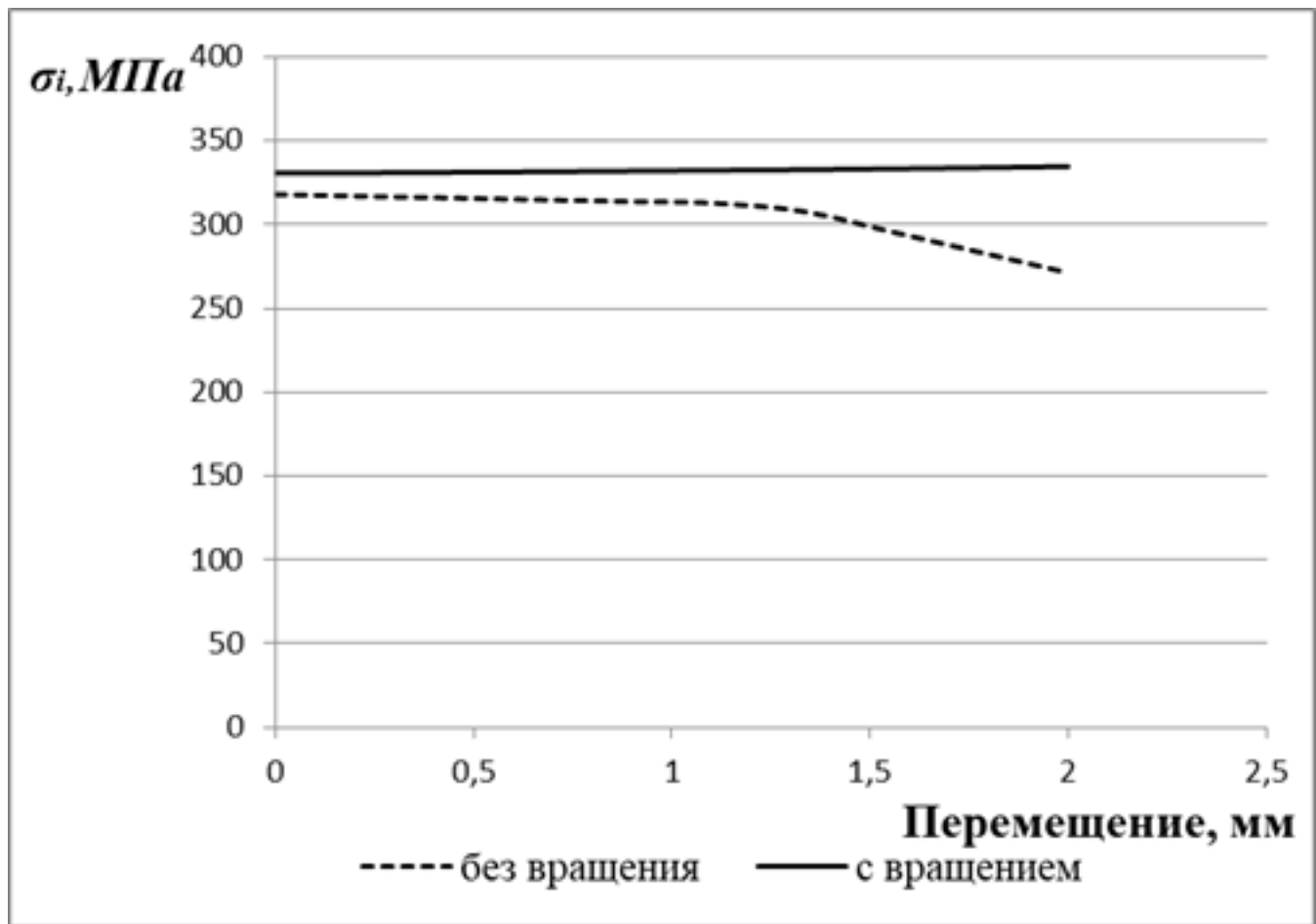


Рисунок 6. Интенсивность напряжения на протянутом участке трубы

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2\sigma_z^2 + 6(\tau_{R\theta}^2 + \tau_{\theta z}^2 + \tau_{zR}^2)},$$

ВЫВОД

Моделирование показало, что применение гибридного метода волочения, заключающегося в применении вращения оправки при оправочном волочении, оказывает положительное влияние.

Происходит снижение усилия волочения на 30% за счет снижения силы трения между оправкой и внутренней поверхностью заготовки, вследствие поворота вектора трения. Наличие касательных напряжений при гибридном волочении приводит к увеличению на 5% интенсивности напряжения по сравнению с классическим волочением на закрепленной оправке.

Список литературы:

1. Перлин И.Л. Теория волочения/И. Л. Перлин, М. З. Ерманок//М.: Металлургия, 1971 – 448с.;
2. Савин Р.А. Волочение труб/Р.А. Савин//М.: Металлургия, 1983 – 336 с.;
3. Пастушенко Т.С. Кручение в процессах волочения труб [Текст]/Т.С. Пастушенко, Б.В. Каргин//Современные наукоемкие технологии, 2008, №6, с.18-24;
4. Тарнавский А.П. Эффективность волочения с противонатяжением/ А.П. Тарнавский// М.: Металлургия, 1959 - 152 с.
5. Шевченко А.А., Сидоренко 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;
6. Каргин В.Р. Компьютерный анализ процесса волочения круглых изделий [Текст]/В.Р. Каргин, Б.В.Каргин, Ю.А.Сергеев//Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2013 т. 15, №4, с.182-186;
7. Sadok Lucjan, Urbanski Stanislaw. Spannungen and Verformungen beim Ziehen ou Rohren. Bander -Blecherohre. 1987. 28. № 7. P. 135 – 138;
8. Логинов Ю.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния при волочении с вращением волоки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2014. № 6. С. 39 – 41;
9. Паршин В.С. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D/ В.С. Паршин, А.П. Кармышев, И.И. Некрасов и др.// Екатеринбург: УрФУ, 2010 - 266с.;
10. Kong L.X., Lin L., Hodgson P.D. Material properties under drawing and extrusion with cyclic torsion //Materials Science and Engineering. 2001. v.308.ISS1 – 2. p. 209 – 215;
11. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Влияние кручения при волочении круглой проволоки в монолитной волоке // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2015. №21. С.82-88.