

В диссертационный совет 24.2.353.02, созданный на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента к.т.н. Пасынкова А.А.  
на диссертацию Зайцева Алексея Ивановича  
«Разработка процессов гибки труб с осевым сжатием в пределах  
допустимого волнообразования»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности**

### **2.5.7. Технологии и машины обработки давлением (технические науки).**

**Актуальность темы.** Гибка труб – важный этап многих процессов изготовления машиностроительных изделий. Явлениям, возникающим на стадии гибки трубы, посвящено много исследований. Общим направлением всех исследований является противодействие негативным изменениям формы сечения и толщины стенки изогнутых участков трубопроводов. Способы улучшения качества, как правило, предполагают улучшение одного параметра за счет другого. Однако, есть неиспользуемые резервы повышения качества, например, предлагаемый автором подход, заключающийся в применении осевого сжатия, близкого к критическому, при котором волнистость стенки изгибаемой трубы не выходит за пределы, допускаемые стандартами. В тоже время, современные станки для гибки труб позволяют реализовать дополнительное усилие для осевого сжатия зоны деформирования трубы. Однако, начальная стадия волнообразования изучена слабо и расчетные методики позволяющие эффективно использовать указанное оборудование отсутствуют. Поэтому поставленная задача теоретического исследования изгиба трубы моментом с развивающейся волнистостью в области сжимающих напряжений актуальна. Не вызывает сомнений актуальность задачи разработки методик расчета силовых параметров процесса для схем гибки, в которых сжимающая сила является необходимым компонентом нагрузки. Комплексное решение этих задач свидетельствует о системном характере исследования.

#### **Содержание диссертации.**

Диссертационная работа посвящена изучению технологии гибки труб с использованием осевой сжимающей силы и состоит из введения, основной части, включающей пять разделов, заключения и списка использованных источников в количестве 53. Общее число страниц 118, рисунков – 41, таблиц – 7.

В первом разделе обоснована актуальность выполнения научно-исследовательской работы, поставлены цели и задачи исследования на основе анализа публикаций по устойчивости тонкостенных труб в отечественной и зарубежной литературе.

Во втором разделе выполнено теоретическое исследование пластического изгиба трубы с монотонно возрастающей волнистостью. В разработанной математической модели процесса волнообразование увеличивает энергию деформирования и уменьшает работу внешнего момента. Исходя из стационарного значения полной потенциальной энергии, определяется высота волн. Ее рассчитанные значения превышают допустимый предел порядка 0,2 мм при изгибе тонкостенных труб на радиус, равный двум диаметрам. Приложение осевого сжатия вызывают пропорциональный рост волнистости. Процесс считается устойчивым, пока внешний момент увеличивается по мере уменьшения радиуса изогнутой оси трубы

В третьем разделе выполнен теоретический анализ гибки трубы при проталкивании через зону деформирования, ограниченную отклоняющим роликом или так называемым водилом. Сила проталкивания, создающая осевое сжатие, определена из равенства ее работы и энергии изгиба. При использовании отклоняющего ролика параметры зоны активного и пассивного деформирования стабильны. Математическая модель процесса изгиба водилом содержит аппроксимацию зависимости радиуса изогнутой оси от угла поворота сечений трубы, позволившую определить перемещение проталкиваемой заготовки и потребную внешнюю силу, а также установить возникновение зоны разгрузки. Ее увеличение при углах гибки около  $120^\circ$  вызывает пластические деформации обратного знака, означающие разгибку трубы в окрестностях крепления к водилу.

В четвертом разделе разработана методика инженерного расчета подачи трубы в зону деформирования и толкающей силы при гибке водилом с упрощенной аппроксимацией оси изогнутого участка дугами окружностей. При этом исключается установление зоны разгрузки и завышаются рассчитанные значения силы проталкивания трубы. Показана возможность регулирования геометрии изогнутого участка трубы посредством варьирования предварительного выдвижения заготовки в зону деформирования.

В пятом разделе содержится описание лабораторной установки для гибки труб наматыванием на круглый копир с одновременным осевым сжатием заготовок при помощи гидравлической системы. На вогнуто-выпуклой части стенки изогнутого участка получены волны высотой до 0,12 мм, пропорциональной силе осевого сжатия, при этом отмечено уменьшение утонения стенки изогнутой трубы. Для решения проблемы реверсивного изгиба трубы толкающей силой разработана конструкция устройства наматывания на копир с опорным роликом, защищенная патентом РФ.

В этом же разделе представлена сквозная расчетная методика проектирования технологических процессов гибки труб с осевым сжатием, учитывающая допустимое волнообразование и исключение реверсивных деформаций в окрестностях замка копира или водила.

Название диссертационной работы в полной мере соответствует ее содержанию, а сформулированные выводы и технологические рекомендации – целям и задачам исследования.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию, отвечает установленным требованиям и включает список работ автора, среди них 5 статей в рецензируемых изданиях, 1 патент, 3 публикации в материалах конференций. В публикациях автора достаточно полно отражены основные положения работы.

**Научная новизна работы** не вызывает сомнения, так как: впервые разработана математическая модель начальной стадии волнообразования, впервые решена задача статической неопределимости гибки трубы моментом, с зоной деформирования, стесненной положением отклоняющего ролика или не приводным водилом. На базе результатов исследований разработаны научно обоснованные методики технологических и конструкторских расчетов процессов гибки труб.

**Положения, выносимые на защиту** по смыслу, соответствуют тематике и результатам исследования, их достоверность обеспечивается квалифицированным применением теоретических основ и общепринятых положений теории гибки труб к разработке модели образования волнистости, применением уравнений баланса, результатами экспериментальных исследований. Допущения, сделанные автором, носят обоснованный характер.

**Практическая значимость работы** заключается в возможности применения разработанных методик сравнительной оценки высоты волн, расчета подачи трубы и проталкивающей силы при гибке водилом и отклоняющим роликом, в инженерных расчетах при проектировании процессов и оборудования для гибки труб.

#### **Замечания по работе.**

1. Принятая зависимость длины волн от диаметра и толщины стенки трубы не имеет теоретического обоснования, и дополнительно не проверялась автором в экспериментальных исследованиях.

2. В главе 2 диссертационной работы приведены результаты разработки математической модели пластического изгиба труб. В частности, приведены полученные автором результирующие выражения для оценки ключевых параметров. Однако, они дают слабое представление о возможностях модели. Желательно было бы расширить часть работы с количественными закономерностями, полученными на ее основе модели.

3. Непонятно, как результаты экспериментальных исследований, приведенных в главе 5, сочетаются с результатами, полученными в ходе теоретического моделирования. Желательно было бы привести вторичные математические модели, полученные в ходе анализа результатов эксперимента.

**Заключение.** Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Зайцева Алексея Ивановича «Разработка процессов гибки труб с осевым сжатием в пределах допустимого волнообразования» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи определения высоты слабо выраженных волн при изгибе трубы моментом с приложением осевого сжатия, имеющей значение для развития теории

технологического изгиба трубы и совершенствования производства трубопроводов машиностроительного назначения.

С учетом вышеизложенного необходимо сделать заключение о том, что работа отвечает критериям п. 9 Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Зайцев Алексей Иванович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением (технические науки).

Дата 1.04.2022г

Официальный оппонент



Пасынков Андрей Александрович

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Механика  
пластического формоизменения»  
ФГБОУ ВО «Тульский  
государственный университет».

Адрес: 300012, г. Тула, Проспект Ленина, д. 92

Тел. 8(920) 740-84-95

E-mail: sulee@mail.ru

