

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИБКИ ТРУБ**

**Никулин Д.Д.**, студент 4 курса машиностроительного факультета  
**Научный руководитель – Коновалов В.И.**,  
кандидат технических наук, доцент  
**ФГБОУ ВО Восточно-Сибирский государственный университет  
технологий и управления**

***Ключевые слова:** моделирование, гибка труб, деформация, математическая модель, прочность*

*В статье описана численная модель процесса гибки труб, разработанная на основе данных, полученных в ходе экспериментальных и виртуальных испытаний.*

### **Введение**

В современных санкционных условиях исследование новых материалов, а также деталей, выпускаемых отечественной промышленностью является первоочередной задачей, стоящей перед российским машиностроением. Однако проведение экспериментальных исследований требует значительных экономических инвестиций данного кластера промышленности. Для проведения сравнительного анализа был применен пакет программ SolidWorks.

**Цель** данной работы – проведение численного моделирования изгиба толстостенной трубы из сплава 17Г1С. Этот материал является перспективным сплавом для использования в энергетике [2].

### **Результаты исследований**

В связи с реологией этого материала, существенно отличающейся от реологии обычных марок сталей, применяемых в энергетике, необходимо оптимизировать параметры процесса гибки труб, что требует проведения большого количества промышленных испытаний, совмещенных с измерением геометрии изогнутые трубы. По этой причине для моделирования процесса гибки был

использован метод численного моделирования, так как он позволяет значительно сократить количество дорогостоящих испытаний. Важным результатом численного моделирования является также получение информации о распределении деформации и напряжения в трубе. Это дает возможность анализировать влияние операции гибки на изменение структуры стали в зоне деформации и изучать влияние деформации на коррозионную стойкость материала при повышенных температурах. Неравномерность пластической деформации может вносить дифференциацию структуры стали и, следовательно, влиять на ее поведение в условиях эксплуатации.

Процесс гибки труб состоит из нескольких этапов. На начальном этапе труба зажимом прижимается к сегменту, а затем к трубе подводят салазки. При окончательном прессовании салазок происходит вращение сегмента с губками. На рис. 4 показаны этапы процесса гибки труб.

Для моделирования процесса гибки весь процесс был разделен на 4 этапа: 1. закрепление и затягивание трубы между зажимом и сегментом; 2.предварительная нагрузка трубы на изгиб; 3. гибка труб; 4.выход труб.



**Рис. 1 – Этапы процесса дуговой гибки труб:**

*а) штамп доступа к зажиму; б) пресс-форма доступа; в) начало изгиба; г) конец изгиба; е) штамп с противодавлением; ф) штамп с задним зажимом*

В исследованиях использовали несколько вариантов гибки

труб в дугу, изменяя скорость процесса и радиус. Трубку изгибали в дугу с радиусами 40 и 160 мм, используя угол изгиба  $180^\circ$  и максимальную скорость установки 50%. В случае радиуса изгиба 40 мм тестировалось влияние скорости изгиба при настройке на 100%.

Для ускорения расчетов был принят ряд упрощений. Во-первых, моделирование рассматривало процесс с учетом плоскости симметрии. Это позволяет сократить время расчета (уменьшение сетки элементов) или повысить точность расчетов при том же времени расчета (уменьшение габаритов элементов). Во-вторых, использование жестких инструментов, что сокращает время расчета. При моделировании предполагался комбинированный закон трения Кулона ( $f=0,1..0,2$ ). Из-за невозможности отразить реальное движение челюсти при изгибе (вращении и прижатии с усилием к трубке) предполагалось прилегание трубки к челюсти. Численная модель с представленной кинетикой инструментов представлена на Рис.2.

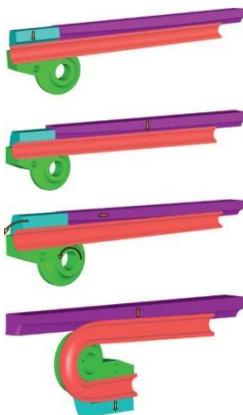
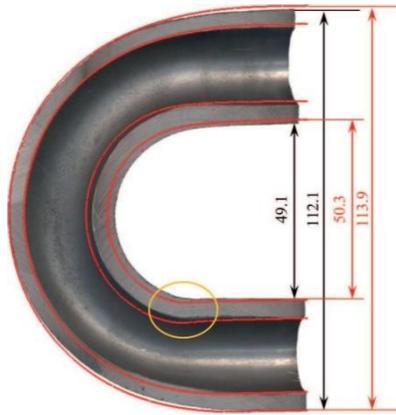


Рис. 2 – Схема этапов гибки трубы

При расчетах наблюдалась вогнутая форма на внутренней дуге (обозначена кружком на рис.3). Аналогичный эффект наблюдался и в реальном процессе. На рис.3. сравнивается форма трубы, полученная в результате моделирования, с половинкой трубы после изгиба



**Рис. 3 – Сравнение результатов расчета с результатами экспериментальных испытаний:**

*радиус изгиба  $r = 40$ , угол изгиба  $\alpha = 180^\circ$  и настройки скорости 50%*

**Заключение.** Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что они хорошо отражают процесс пружинения. Были получены небольшие различия в форме внутренней и внешней арок. Перекрытие форм доказывает, что при численном моделировании использовалось правильное значение модуля Юнга

#### **Библиографический список:**

1. Коновалов В.И. О применении мобильного приложения autodesk forceeffect при изучении дисциплины «инженерные конструкции» студентами направления подготовки 20.03.02 природообустройство и водопользование // Аграрное образование в условиях модернизации и инновационного развития апк россии: материалы всероссийской (национальной) научно-методической конференции.. – Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2020. – С. 164-168.
2. Батурин В.Н. К вопросу сравнения технологических решений и выбора рационального варианта // Батурин В.Н.,

машиностроительный факультет навстречу 60-летию ВСГУТУ. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2022. – С. 39-65.

3. Батурин В.Н., Батурин Д.В. К вопросу обоснования выбора оборудования для изготовления деталей на производстве // Проблемы механики современных машин. материалы VII Международной научной конференции. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2018. – С. 269-273.

## NUMERICAL SIMULATION OF THE PIPE BENDING PROCESS

**Nikulin D.D.**

**Keywords:** *modeling, pipe bending, deformation, mathematical model, strength*

*The article describes a numerical model of the pipe bending process developed on the basis of data obtained during experimental and virtual tests.*