

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

ОТЗЫВ

Официального оппонента д.т.н., профессора Демина В.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.

Актуальность работы. В машиностроении широкое применение нашли узлы и конструкции, в которых применяются заготовки из изогнутых труб. Однако, гибка труб сдерживается дефектами, которые сопровождают процесс штамповки. Это существенное утонение стенки, появление гофр и изменение сечения трубы с круглого на овальное (овализация). Как правило, потеря устойчивости в виде гофр, предшествует появлению волнообразности в сжатой зоне трубы, максимальная величина которой оговаривается в большинстве отраслевых стандартов.

В производстве известно применение осевой сжимающей силы для уменьшения утонения с внешней стороны трубы. В тоже время сжимающая сила увеличивает волнообразность и может привести к потере устойчивости с внутренней стороны трубы. Отсутствие методик расчета гибки с сжатием сдерживает широкое внедрение этого технологического процесса в производство, что позволяет считать выполненную работу актуальной.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов основной части, заключения и списка использованных источников в количестве 53. Общее число страниц – 118, рисунков – 41, таблиц – 7.

В первом разделе проведен анализ исследований других авторов выполненных по устойчивости тонкостенных труб. В экспериментальных исследованиях отмечено, что потеря устойчивости тонкостенных труб предваряется волнообразованием. В тоже время в теоретических исследованиях применяется метод виртуальной работы на дополнительных перемещениях, который позволяет определить критические условия наступления потери устойчивости, а стадия образования слабовыраженной волнистости оказывается вне возможностей этого метода.

Во втором разделе выполнено математическое моделирование пластического изгиба трубы моментом с монотонно возрастающей волнистостью, которая возникает одновременно с началом гибки трубы. Высота волны определяется из условия равенства значений полной потенциальной энергии при наличии волнообразования и при его отсутствии для стали 1X18H10T. Рассчитанная высота волн переменна по полупериметру сечений, находится в прямой зависимости от диаметра трубы и обратной от радиуса оси изогнутого участка трубы. Приложение осевого сжатия увеличит высоту волн в линейной зависимости от величины усилия. Полученные модели позволили разработать методики количественного расчета высоты волн, посредством последовательных приближений, и качественной оценки прогнозируемой высоты волн для стали 20 – по принципу: больше или меньше допустимой, без применения метода последовательных приближений.

В третьем разделе изложена теория расчетов процессов гибки труб со сжатием. Основной вопрос – присутствие сжимающей силы, являющейся обязательным компонентом внешней нагрузки. А при гибке не приводным водилом силовые компоненты внешней нагрузки являются статически неопределимыми. Для раскрытия неопределенности потребовалась аппроксимация функции связывающей переменную кривизну оси трубы изгибаемой водилом с углом поворота поперечных сечений, а также уравнения для вычисления ее констант, в числе которых равенство моментов внутренних и внешних на границе зоны деформирования и водила. Совокупная система уравнений решается по частям с определением текущего радиуса изогнутой оси методом последовательных приближений.

Теоретические исследования показали появления очага разгрузки при достижении угла гибки порядка 60° и деформаций обратного знака при дальнейшем его увеличении. Показана возможность управлять кривизной оси изогнутого участка за счет изменения величины участка трубы, размещенного в зоне гибки.

В четвертом разделе представлена упрощенная методика инженерных расчетов гибки водилом для типовых задач гибки деталей трубных заготовок большого диаметра на специальном или специализированном оборудовании. В частности, для гибки трубы на 90° в расчетах используется аппроксимация изогнутого участка дугой окружности, а в других случаях – аппроксимация двумя сопрягающимися дугами. Расчет толкающей силы ведется, как и в предыдущем разделе на основе равенства работы силы минимуму энергии деформирования. Такие расчеты реализуются без процедур последовательного приближения, но значения сил получаются завышенными примерно на 10% по сравнению с моделями, использующими изогнутую кривую переменного

радиуса, аппроксимирующую ось трубы. При завышении рассчитанного значения силы занижается оценка утонения стенки изгибаемой трубы, что приблизительно компенсирует традиционно принятая схема одноосного напряженного состояния, анализ погрешности которой в плоскости изгиба свидетельствует о завышении величины минимального утонения, достигающем 10% при малых радиусах гибки.

В пятом разделе описаны экспериментальные исследования на сплаве Д16М и лабораторная установка для их проведения. Используется схема гибки являющаяся основной в производстве трубопроводов среднего диаметра. Все экспериментальные данные прошли статическую обработку. Их результаты подтверждают устойчивый характер процесса развития волнистости, и зависимость ее максимальной высоты от величины силы осевого сжатия, а также уменьшение овальности сечения и утонения стенки изогнутого участка трубы. Предложено устройство, предотвращающее реверсивные деформации, защищенное патентом Российской Федерации.

Предложенные автором разработки объединены методикой проектирования процессов гибки с осевым сжатием в пределах допустимых показателей волнообразования и утонения стенки, а также реверсивных деформаций, вызванных сжимающей силой, практическая апробация которой позволила уменьшить в 1,5 раза овальность сечений изогнутого участка на образцах с полученной слабовыраженной волнистостью, допускаемой отраслевыми техническими условиями, что обеспечит повышение качества заготовок изогнутых трубопроводов.

Автореферат диссертации идентичен ее содержанию и включает список работ автора: 5 статей в рецензируемых изданиях, 1 патент, 3 публикации в материалах конференций.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Разработана математическая модель слабовыраженного волнообразования при гибке трубы моментом. основанная на условии равенства значений полной потенциальной энергии при наличии волнообразования и в его отсутствии, позволяющая выполнить расчет высоты волны и относительного смещения нейтральной поверхности.

2. Аналитически решена задача статической неопределимости гибки трубы моментом, с зоной деформирования стесненным положением отклоняющего ролика или не приводным водилом, путем применения: аппроксимации формы оси изогнутой трубы; равенства моментов внутренних сил; баланса внешних и внутренних работ, позволяющая определять силы и предельные углы гибки.

3. Разработана научно обоснованная методика проектирования технологических процессов гибки труб с осевым сжатием, учитывающая ограничения волнообразования согласно техническим требованиям к трубопроводам, а также предельно допустимые реверсивные деформации в окрестностях замка копира, позволяющая улучшить качество изогнутых заготовок трубопроводов по показателям утонения стенки и овальности сечений.

Теоретическая значимость работы в том, что разработанная математическая модель слабовыраженного волнообразования при изгибе трубы моментом, и аналитическое решение задачи статически неопределимого равновесия трубы изгибаемой водилом вносят вклад в теорию гибки труб.

Практическую ценность работы составляют: научно обоснованная методика расчета подачи трубы и проталкивающей силы при гибке водилом, применимая в инженерных расчетах гибки трубы с фиксированными параметрами или по заданным габаритам изогнутого участка трубы при проектировании и эксплуатации трубогибного оборудования, и методика проектирования технологических процессов гибки труб проталкиванием через зону деформирования или наматыванием на копир с осевым сжатием, учитывающая ограничения волнообразования согласно техническим требованиям к трубопроводам.

Достоверность результатов и обоснованность выводов обеспечена корректным применением энергетического подхода в теоретическом анализе изгиба труб моментом с образованием волнистости. Все допущения и аппроксимации проверялись на соблюдение условий статического равновесия и минимума работы деформирования. Результаты расчетов высоты волнистости близки к предельно допустимой величине при радиусах гибки тонкостенных труб, рекомендуемых производителями на основе практического опыта применения их оборудования.

Замечания по работе.

1. В работе используется гипотеза Кирхгофа-Лява которая, как известно, работает при соотношении $R/S > 5 \dots 10$. Однако в диссертации не приводятся границы применения выполненных исследований.
2. На рис.12 (автореферат рис.1) нейтральная линия напряжений смещена в сторону наружной поверхности трубы. Нет объяснения, почему.
3. На всех эпюрах напряжения σ_φ присутствует излом, которого не должно быть, если применяется степенная функция напряжения текучести $\sigma_s = A\varepsilon^n$. Поэтому возникает вопрос, как получены эти эпюры.
4. Автор в разных главах использует разные металлы. В начале выполнен расчет для нержавеющей стали 1X18H10T с толщиной стенки $t = 0,5$,

затем расчет выполнен на стали 20 с толщиной стенки 5 мм., а эксперименты проведены на трубах из алюминиевого сплава Д16М с толщиной стенки 2 мм.

5. В выводах по разделу на стр.77 написано, что показатели утонения стенки и овальности сечений труб, образующихся при гибке отклоняющим роликом или водилом, зависят от силы ... Однако со стр.58 до стр.77 нет слов, содержащих “утонение” и “овальность”.

Соответствие диссертации паспорту специальности 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением (технические науки).

Изучены закономерности волнообразования при гибке труб, что имело целью улучшение качества изогнутых заготовок трубопроводов, которое достигается осевым сжатием зоны деформирования в установленных пределах. Получена оценка деформированного состояния изогнутой трубы с учетом слабо выраженной волнистости стенки в области сжимающих напряжений.

Заключение. Диссертация 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 изгиба трубы и совершенствования производства трубопроводов машиностроительного назначения.

Решения основной и вспомогательных задач аргументированы автором диссертации. Научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях, одно из технических решений защищено патентом РФ. 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).

Официальный оппонент доктор

технических наук, профессор кафедры МТ6

МГТУ им. Н.Э. Баумана

05.02.09 – Технологии и машины
обработки давлением



4.04.2022 г.



Демин Виктор Алексеевич

Адрес. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

E-mail: bauman@bmstu.ru
Тел.: (499) 263 63 91