

На правах рукописи



ЗВОНАРЕВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОДГИБКИ КРОМОК
И ШАГОВОЙ ФОРМОВКИ СВАРНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ И ФОРМ

Специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) (ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ)) и на Открытом акционерном обществе Челябинский трубопрокатный завод (ОАО «ЧТПЗ»)

Научный руководитель – Осадчий Владимир Яковлевич

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «МГУПИ»

Официальные оппоненты:

Чечулин Юрий Борисович, доктор технических наук, профессор ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВПО «УрФУ им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина»), г. Екатеринбург.

Шифрин Евгений Исаевич, кандидат технических наук, директор Дирекции по технологии открытого акционерного общества «Трубная металлургическая компания», г. Москва.

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана» (ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»), г. Москва.

Защита состоится «1» июля 2015 г., в 14-00 часов,
на заседании диссертационного совета Д212.298.01, ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ), по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке

ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) и в сети Интернет по адресу:
<http://susu.ac.ru/ru/dissertation/d-21229801/zvonarev-dmitriy-yurevich>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ, ученый совет. Тел. (351) 267-91-23, факс (351) 267-92-28.

e-mail: zvonarev@rosniti.ru

Автореферат разослан « _____ » _____ 2015 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент  Шабурова Наталия Александровна

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Системы трубопроводного транспорта, в состав которых включают трубы большого диаметра, относятся к опасным техногенным объектам. Текущее развитие систем трубопроводного транспорта напрямую зависит от требований, предъявляемых потребителем. Основными потребителями труб большого диаметра являются компании топливно-энергетического комплекса. Повышение требований связано с разработкой новых проектов, таких как: нефтегазоконденсатное месторождение им. В. Филановского, «Северный поток», «Сила Сибири» и др.

К трубам большого диаметра предъявляются высокие требования по обеспечению надежности и безопасности. Важную роль при этом играют не только прочностные и вязкостные свойства труб, но и геометрические параметры. Значительное влияние на качество труб большого диаметра оказывают операции формовки, от исполнения которых зависят многие показатели качества готовой продукции. Поэтому совершенствование процессов подгибки кромок и шаговой формовки сварных труб большого диаметра для обеспечения высокой точности размеров и форм является актуальной задачей.

Степень разработанности работы

Из анализа сортамента труб для таких проектов, как: «Северный поток», нефтегазоконденсатное месторождение им. В. Филановского и др., наиболее приемлемым способом получения трубных заготовок является шаговая формовка.

Применение технологии изготовления труб большого диаметра с использованием шаговой формовки позволяет получать различные типоразмеры труб с толщиной стенки до 45 мм классом прочности до K80 и выше.

В технической литературе существует небольшое количество исследований и рекомендаций, связанных с разработкой технологических режимов подгибки кромок листа и шаговой формовки трубных заготовок. Исследования по определению режимов подгибки кромок листа и шаговой формовки отражены в

работах В.Я. Осадчего, В.Н. Шинкина, А.П. Коликова, С.В. Самусева, Ю.Б. Чечулина и других. Однако в указанных работах отсутствует описание связи между рассматриваемыми процессами.

Целью работы является совершенствование теоретических и технологических приемов повышения геометрических показателей трубных заготовок.

Задачи работы

1. Разработать теоретические основы для создания методики по определению технологических и контролируемых параметров на кромкогибочном прессе при подгибке кромок листа.

2. Разработать теоретические основы для создания методики по определению технологических и контролируемых параметров на прессе шаговой формовки при формовке труб.

3. Разработать новые технические решения, обеспечивающие снижение вероятности образования геометрических дефектов на трубах большого диаметра.

4. Численно реализовать разработанные методики в программном продукте.

5. Провести адаптацию программного продукта при изготовлении опытных партий труб.

Научная новизна

1. Получены статистически значимые регрессионные уравнения для различных гибочных матриц пресса подгибки кромок, позволяющие определять в зависимости от типоразмера готовой трубы высоту подгибки кромок листа и усилие гибки.

2. Установлена зависимость качества готовых труб от изменения ширины подгибаемой кромки листа на основе анализа режимов процесса подгибки кромок листа и методов статистической обработки данных по качеству готовых труб.

3. Исследовано влияние геометрических параметров очага деформации и типоразмера готовых труб на величину хода пуансона при формовке трубной заготовки на прессе шаговой формовки.

4. Впервые процесс шаговой формовки разделен на несколько стадий протекания процесса, что позволило создать методику расчета хода пуансона для получения требуемой геометрии трубной заготовки.

Степень достоверности

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований, постановкой и планированием эксперимента, а также промышленным внедрением в производство.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Разработаны новые методики для расчетов технологических режимов на прессах подгибки кромок и шаговой формовки труб большого диаметра.

2. В результате численных расчетов и анализа статистических данных качества труб, производимых в цехе «Высота 239» ОАО «ЧТПЗ», предложены рекомендации по выбору ширины подгибаемой кромки листа в зависимости от диаметра трубы, толщины стенки и материала формуемого листа.

3. В результате численных расчетов предложена новая схема продольного изгиба нижнего опорного инструмента прессы шаговой формовки для улучшения качества продольных кромок трубной заготовки.

4. Предложен метод определения рационального радиуса пуансона для формовки труб на прессе шаговой формовки.

5. Предложен и внедрен на ОАО «ЧТПЗ» в цехе «Высота 239» программный продукт для расчета и подготовки технологических карт на производимый сортамент электросварных труб большого диаметра.

Методология и методы исследования

1. Для исследования величины высоты подгибки кромок листа и усилия подгибки была выбрана двумерная постановка задачи. Реализация задачи

проведена с использованием программного продукта MSC Marc¹.

2. При разработке уравнений регрессии и планировании численного эксперимента процесса подгибки кромок листа применялся полный факторный эксперимент.

3. Для исследования величины хода пуансона на прессе шаговой формовки была выбрана двумерная постановка задачи. Реализация задачи проведена с использованием координатного метода.

4. Результаты расчетов и промышленного эксперимента совпадают в области доверительного интервала.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель процесса подгибки кромок листа, описывающая влияние высоты подгибки кромок листа и усилия подгибки в зависимости от основных варьируемых параметров.

2. Рекомендации по выбору ширины подгибаемого участка листа в зависимости от диаметра трубы, толщины стенки и механических свойств формуемого листа.

3. Математическая модель процесса шаговой формовки, учитывающая влияние основных факторов на величину хода пуансона.

4. Результаты опытного производства труб по предложенным рекомендациям и технологическим режимам.

Апробация результатов работы

Основные положения и результаты работы докладывались на:

V, VI научных конференциях аспирантов и докторантов ЮУрГУ (г. Челябинск 2013, 2014 г.); XXI Международной научно-практической конференции «ТРУБЫ-2014» (г. Челябинск 2014 г.); Международной научно-техническом конгрессе ОМД 2014 (г. Москва 2014 г.) X конгрессе прокатчиков (г. Липецк 2015 г.).

¹ License for MSC Agreement: RE006574CTR Customer: Chelyabinsk Tube Rolling Plant

Публикации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 6 научных трудах, в том числе 2 в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ. А также получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, основных выводов, библиографического списка использованной литературы, включающего 103 наименования, 3 приложений. Работа изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 24 таблицы.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и основные задачи, практическая ценность.

В первой главе определены основные тенденции развития производства труб большого диаметра. Проанализированы основные требования, предъявляемые к трубам. Рассмотрены различные конструкции труб, такие как: традиционные (сварные прямошовные с одним или двумя продольными швами и спиральношовные), и экспериментальные конструкции (многослойные, самокомпенсирующиеся и др.). Проведен анализ способов производства электросварных труб большого диаметра с прямым швом. Показано, что наибольшей гибкостью в отношении диаметра, толщины стенки и трубного материала характеризуется процесс шаговой формовки. Благодаря такому процессу возможно производство труб, предназначенных для строительства морских трубопроводов. Проведен анализ причин образования и способов предотвращения дефектов на трубах большого диаметра. По результатам анализа определено, что значительное влияние на качество труб большого диаметра оказывают операции формовки, от исполнения которых зависят многие показатели качества готовой продукции.

Анализ технической литературы, нормативно-технической документации и патентных документов, посвященных требованиям, предъявляемым к трубе, способам производства труб большого диаметра и критериям качественных показателей, позволил сформулировать конкретные задачи исследования.

Во второй главе проведен анализ технологического процесса производства труб большого диаметра в условиях ОАО «ЧТПЗ».

Произведен анализ распределения геометрических дефектов при производстве труб большого диаметра в зависимости от сортамента труб в условиях производства трубоэлектросварочного цеха «Высота 239».

Для проведения анализа геометрических дефектов были взяты трубы, повторно прошедшие операцию экспандирования. Данные для анализа были собраны за период с ноября 2010 по май 2014 гг. По результатам анализа было выявлено, что при увеличении толщины стенки труб доля геометрических дефектов в общем количестве снижается. Также характерно и снижение геометрических дефектов при увеличении диаметра трубы. На рисунке 1 представлен график распределения количества дефектов в зависимости от диаметра труб и максимальный уровень количества дефектов для данного диаметра труб.

Определены основные причины образования дефектов для данных типоразмеров труб.

На основе анализа качества производимых труб в ТЭСЦ «Высота 239» были предложены дополнительные направления для совершенствования технологических операций по формовке труб.

В третьей главе с использованием метода конечных элементов найдены регрессионные уравнения для определения высоты подогнутой кромки листа и усилия подгибки для различных гибочных матриц.

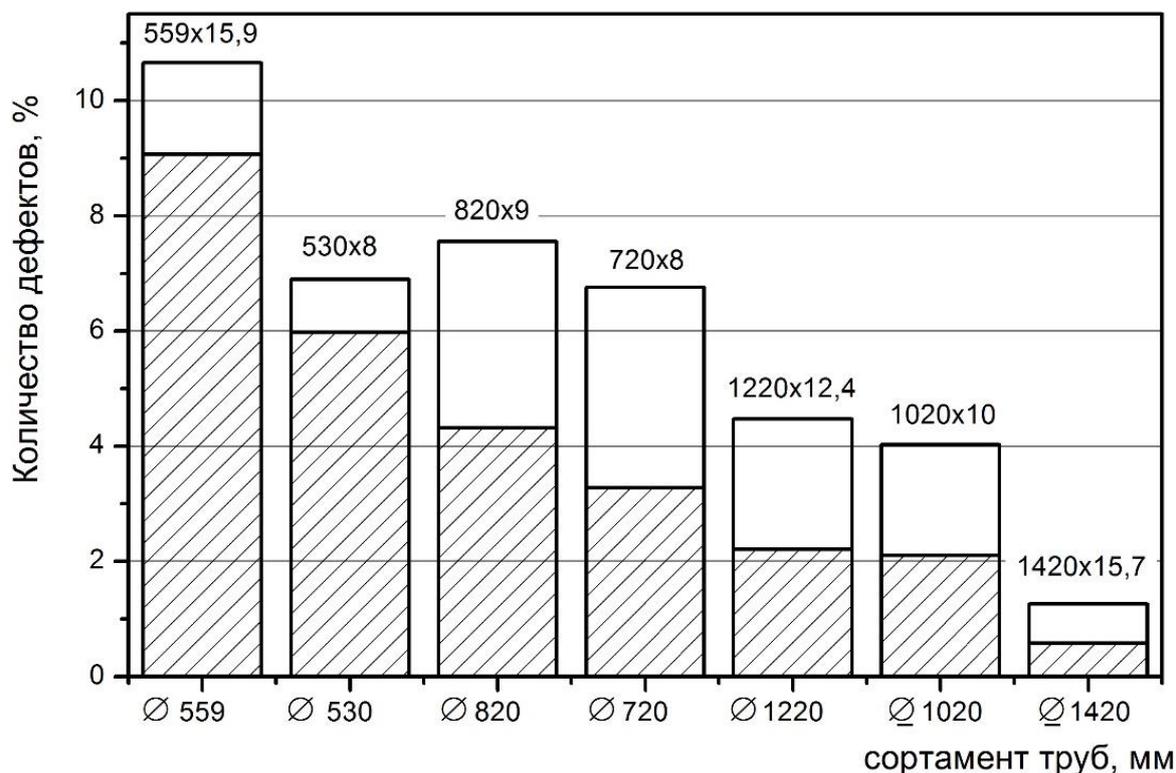


Рисунок 1 – Распределение уровня дефектов в зависимости от типоразмера труб:

 – распределение среднего значения количества дефектов для типоразмера труб;
  – максимальное значение количества дефектов для типоразмера труб

Для описания и расчетов процесса подгибки кромок листа предложена система допущений:

- 1) деформируемый металл идеально упруго-пластичный;
- 2) силы контактного трения постоянны;
- 3) изгиб центральной части листа при подгибке кромок не учитывается.

Принята двумерная прямоугольная система координат для теоретического исследования процесса подгибки кромок листа.

Высота и радиус кромки листа, усилие при подгибке кромок определяются рядом факторов, главными из которых являются: калибровка верхнего инструмента, геометрические параметры очага деформации, механические свойства исследуемого металла и др. Расчетная схема показана на рисунке 2.

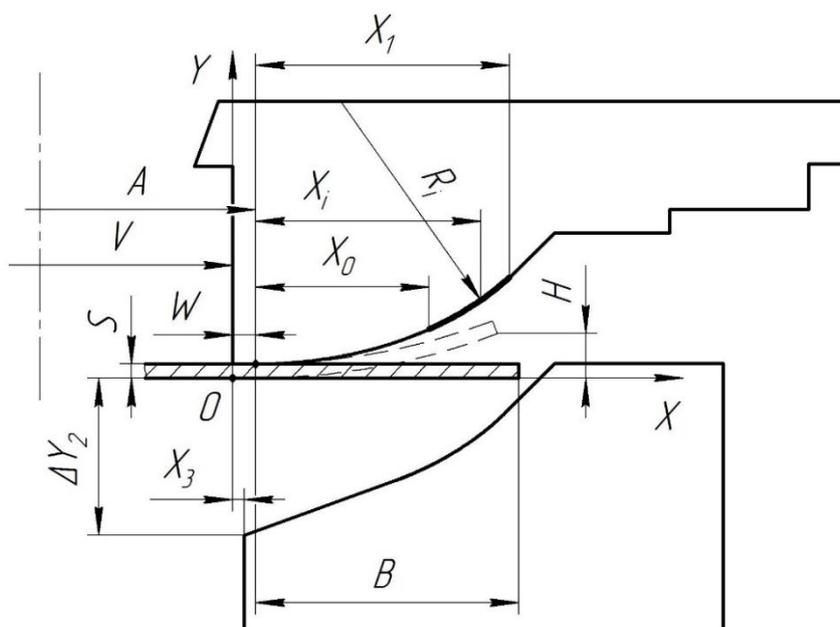


Рисунок 2 – Расчетная схема процесса подгибки кромок с граничными условиями:

H – высота подогнутой кромки листа; R_i – требуемый радиус заготовки при приложении нагрузки; X_i – местоположение требуемого радиуса; X_0, X_1 – начальная и конечная граница рабочего диапазона верхней гибочной матрицы; X_3 – смещение нижней гибочной матрицы относительно верхней гибочной матрицы; V – расстояние между торцами верхнего инструмента;
 B – ширина подгибаемой части листа; W – прямолинейный участок на верхней гибочной матрице; S – толщина листа;
 ΔY_2 – расстояние до начального положения нижней гибочной матрицы

Для определения радиуса прикромочной зоны после распружинения использовалось уравнение:

$$R = \frac{\frac{D-S}{2} - S}{1 + \varepsilon_r}, \quad (1)$$

где D – номинальный диаметр готовой трубы, мм; ε_r – коэффициент гибки, %.

Радиус подгибки кромок под нагрузкой определяется по формуле:

$$R_i = \frac{R}{1 + \frac{2 \cdot M \cdot R}{W_L \cdot E \cdot S}}, \quad (2)$$

где M – изгибающий момент, н·М; E – модуль Юнга первого рода, МПа; W_L – сопротивление сечения изгибу, мм³.

Получено регрессионное уравнение связи радиуса эвольвенты и соответствующих ему координат для применяемых гибочных матриц. Для рассматриваемой верхней гибочной матрицы №2 регрессионное уравнение имеет вид:

$$X_i = 194,6 + 1,2 \cdot R_i - 7,8 \times 10^{-3} \cdot R_i^2 + 2 \times 10^{-5} \cdot R_i^3 - 3,8 \times 10^{-8} \cdot R_i^4 + 2,8 \times 10^{-11} \cdot R_i^5 \quad (3)$$

Ширина подгибаемого участка листа определялась по выражению:

$$B = \frac{\left(R_0 + \frac{S}{2}\right)^2 - \left(R_i + \frac{S}{2}\right)^2}{2 \cdot R_{\text{экв}}} + b_1 + S, \quad (4)$$

где R_0 – начальный радиус верхней гибочной матрицы, мм; $R_{\text{экв}}$ – эквивалентный радиус верхней гибочной матрицы, мм; b_1 – высота нижней продольной фаски, мм.

Для определения смещения нижней гибочной матрицы относительно верхней была разработана математическая модель.

Высота подогнутой кромки листа и усилие подгибки определялись с использованием конечно-элементного моделирования, реализованного в программном продукте MSC Marc.

При расчете в двумерной декартовой системе координат использовалось, в качестве ограничения, погонное усилие, равное $[P] = 8,9 \frac{\text{кН}}{\text{мм}}$.

Использован полный факторный эксперимент со схемой $4^1 \cdot 3^1 \cdot 8^1$ для определения высоты подогнутой кромки листа и усилия подгибки. В качестве факторов использовались следующие параметры: X_i – местоположение

требуемого радиуса на рабочем диапазоне верхней гибочной матрицы, мм;
 S – толщина листа, мм; σ_r – предел текучести листа, МПа.

На основе полученных значений было определено регрессионное уравнение высоты подогнутой части листа при подгибке:

$$\begin{aligned}
 H(S, X, \sigma_r) = & 8,094 \times 10^{-4} \cdot \sigma_r \cdot S - 1,641 \times 10^{-4} \cdot \sigma_r \cdot X - \\
 & -6,556 \times 10^{-7} \cdot \sigma_r^2 - 5,921 \times 10^{-3} \cdot \sigma_r + \\
 & +9,661 \times 10^{-3} \cdot S \cdot X + 3,132 \times 10^{-3} \cdot X^2 - \\
 & -0,599 \cdot X + 0,124 \cdot S - 0,023 \cdot S^2 + 37,591.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Аналогичное уравнение было получено для погонного усилия подгибки кромки листа $P, \frac{H}{\text{мм}}$:

$$\begin{aligned}
 P(S, X, \sigma_r) = & 348,76 \times 10^{-3} \cdot \sigma_r \cdot S - 14,07 \times 10^{-3} \cdot \sigma_r \cdot X - \\
 & -856,35 \times 10^{-6} \cdot \sigma_r^2 + 1,85 \cdot \sigma_r - \\
 & -378,8 \times 10^{-3} \cdot S \cdot X - 2,65 \times 10^{-9} \cdot X^2 + \\
 & +6,86 \cdot X - 6,77 \cdot S + 2,31 \cdot S^2 - 553,16.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Результаты расчета высоты подгибки кромок листа представлены на рисунке 3.

С помощью конечно-элементного моделирования определены регрессионные уравнения высоты подгибки кромки листа и усилия подгибки для других верхних гибочных матриц.

Из анализа полученных регрессионных уравнений усилия подгибки кромки листа были определены диапазоны соотношений толщин стенок, механических свойств и местоположения радиуса при которых процесс подгибки листа осуществим.

На рисунке 4 представлена зависимость допустимых значений погонного усилия при выбранных параметрах.

На основе полученных зависимостей ширины подгибаемого участка листа от класса прочности, типоразмера труб, коэффициента гибки ε_r и анализа статистических данных по качеству труб, выполненных во второй главе, были

предложены диапазоны рациональных значений коэффициента гибки ε_r для различных толщин стенок и диаметров труб.

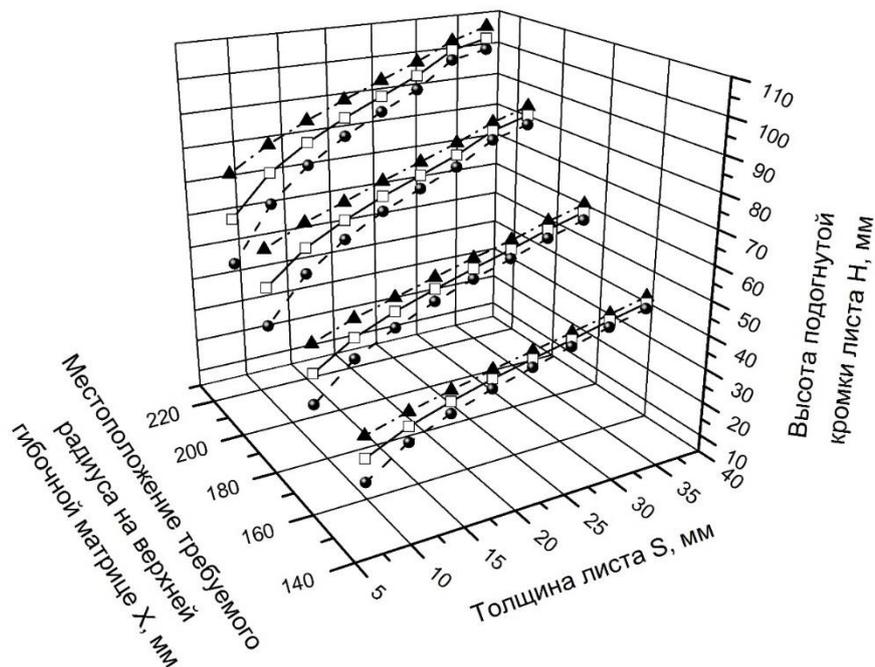


Рисунок 3 – Зависимость изменения высоты подогнутой кромки листа на гибочной матрице №2 от варьирования параметров:

--▲-- – H при $\sigma_r = 200$ МПа; --□-- – H при $\sigma_r = 450$ МПа;
 --●-- – H при $\sigma_r = 700$ МПа

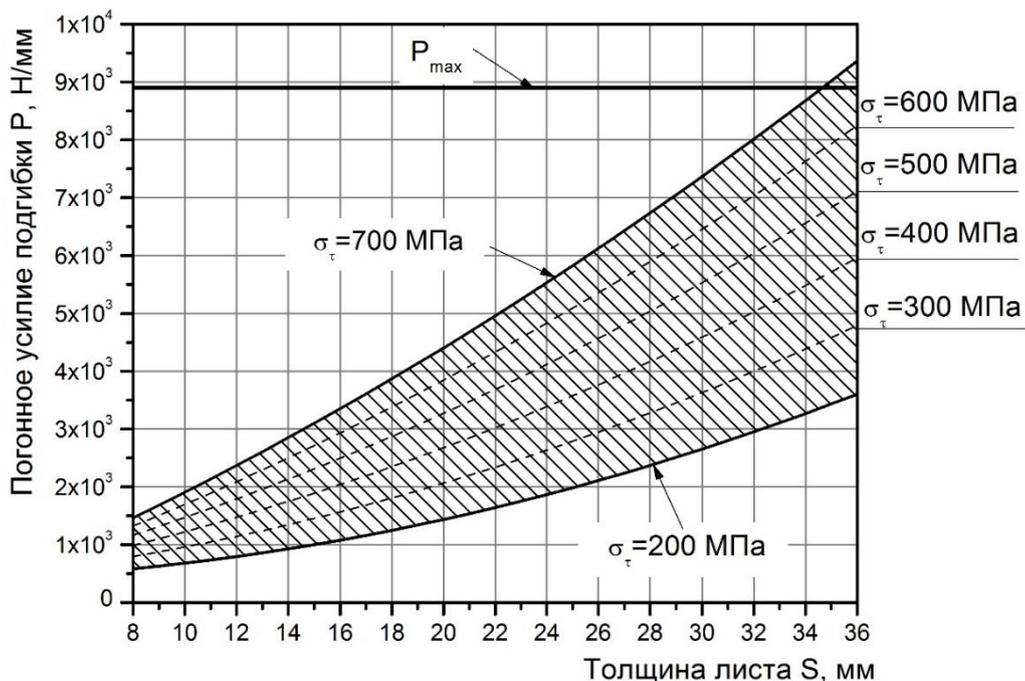


Рисунок 4 – Область значений погонного усилия в гибочной матрице №2 при выбранных параметрах (X=150 мм)

В четвертой главе с использованием координатного метода разработан комплекс математических моделей, позволяющий осуществлять системный анализ процесса шаговой формовки.

Для теоретического описания процесса шаговой формовки листа координатным методом предложена система допущений и упрощений:

- 1) деформируемый металл идеально упруго-пластичный;
- 2) силы контактного трения постоянны;
- 3) контакт между листом и опорами нижнего инструмента – точечный;
- 4) радиус предыдущего шага и радиус формируемого шага при нагрузке постоянны;
- 5) зазор между листом и пуансоном по вертикальной составляющей отсутствует;
- 6) радиус заготовки под нагрузкой не равен радиусу пуансона;
- 7) переход от деформируемого участка к недеформируемому происходит по касательной;
- 8) форма трубной заготовки без прямолинейных участков. Это допущение справедливо лишь в случае формовки листа пуансоном шириной равной или большей расстояния между опорами нижнего инструмента. В случае, когда ширина пуансона намного меньше расстояния между опорами нижнего инструмента – допущение необходимо учитывать;
- 9) профиль подогнутой кромки при расчетах первого шага заменяется однорадиусным профилем.

Произведено оценочное конечно-элементное моделирование в MSC Marc для подтверждения основных предложенных допущений (допущения 6-8).

На рисунке 5 представлена общая схема процесса шаговой формовки трубной заготовки.

Для описанной расчетной схемы, ход пуансона определяется путем последовательного решения системы уравнений. Конечное уравнение представлено в виде:

$$H = R_6 - y_7 - S, \quad (7)$$

где y_7 – координата точки 7 относительно оси OY , мм.

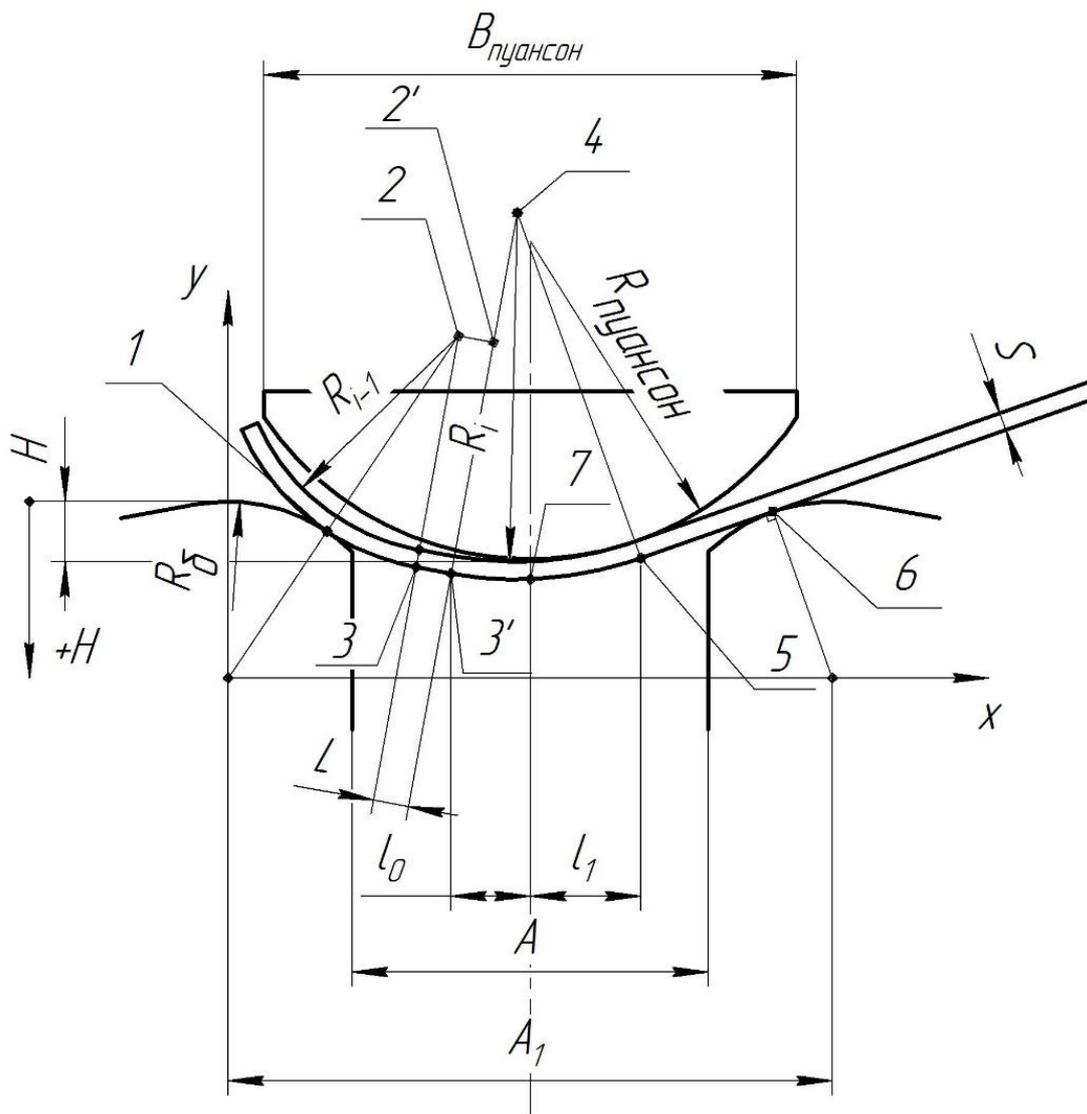


Рисунок 5 – Расчетная схема процесса шаговой формовки листа с геометрическими граничными условиями:

R_{i-1} – распружиненный радиус заготовки на предыдущем шаге;
 R_i – радиус заготовки под нагрузкой на текущем шаге; R_0 – радиус опоры нижнего инструмента; l_0 и l_1 – горизонтальные проекции точек перехода от R_{i-1} к R_i и от R_i к прямолинейному участку;
 L – прямолинейный участок при формовке; A – расстояние между опорами нижнего инструмента; A_1 – расстояние между центрами радиусов опор нижнего инструмента; $R_{пуансон}$ – радиус пуансона; $B_{пуансон}$ – ширина пуансона; H – глубина опускания пуансона; 1-9 – узловые точки для описания геометрии

Анализ полученной математической модели показал, что при известных значениях l_0 , l_1 и L определяется ход пуансона. Однако данные параметры заранее не известны. Для определения горизонтальных проекций l_0 , l_1 процесс изгиба листовой заготовки на i -ом шаге был разбит на следующие этапы:

- 1) минимальная глубина опускания пуансона;
- 2) средняя глубина опускания пуансона;
- 3) максимальная глубина опускания пуансона.

Для каждого из этапов были разработаны расчетные схемы и определены соответствующие показатели процесса.

Определены условия образования прямолинейных участков между формуемыми радиусами трубной заготовки.

На основе полученных уравнений связи хода пуансона и горизонтальных проекций l_0 , l_1 предложены аппроксимирующие уравнения для определения горизонтальных проекций:

$$l_1 = G_0 + G_1 \cdot H^2 + G_2 \cdot H^3, \quad (8)$$

$$l_0 = F_0 + F_1 \cdot H^4 + F_2 \cdot H^5, \quad (9)$$

где $G_i, F_j, i = 0...2, j = 0...2$ – коэффициенты аппроксимации.

Усилие пуансона на i -ом шаге определяется по уравнению:

$$P = F \cdot (\cos(\alpha) + \mu \cdot \sin(\alpha)) + F_1 \cdot (\cos(\alpha_1) + \mu \cdot \sin(\alpha_1)), \quad (10)$$

где F, F_1 – реакции между трубной заготовкой и опорами нижнего инструмента прессы шаговой формовки, Н; α, α_1 – углы наклона, образованные между вертикальной осью и точкой касания трубной заготовки и опорами нижнего инструмента прессы шаговой формовки, радиан; μ – коэффициент трения.

С использованием предложенного уравнения произведен анализ усилий формовки для труб категории прочности X56, диаметром 720 мм с толщиной стенки 22 мм при изменении расстояния между опорами нижнего инструмента и радиуса пуансона. Зависимость изменения погонного усилия при различных параметрах процесса формовки представлена на рисунке 6.

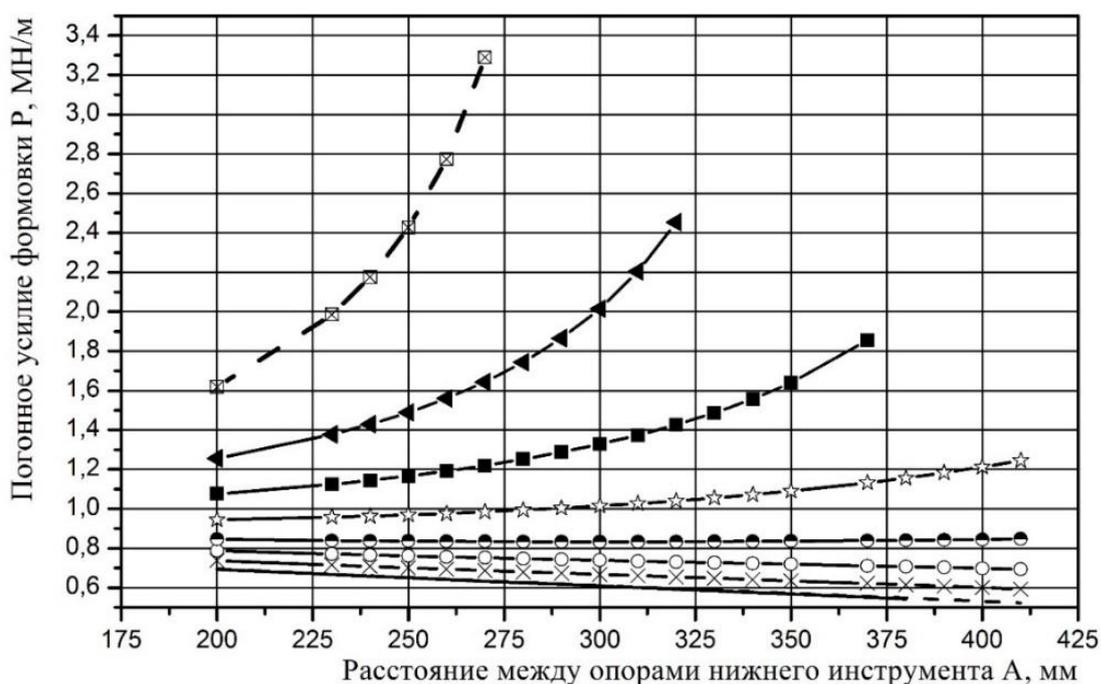


Рисунок 6 – Зависимость изменения усилия от расстояний между опорами нижнего инструмента:

- — $R_{\text{пуансон}} = 180 \text{ мм}$; - - - — $R_{\text{пуансон}} = 195 \text{ мм}$;
- ×- — $R_{\text{пуансон}} = 210 \text{ мм}$; -○- — $R_{\text{пуансон}} = 225 \text{ мм}$;
- — $R_{\text{пуансон}} = 240 \text{ мм}$; -☆- — $R_{\text{пуансон}} = 260 \text{ мм}$;
- — $R_{\text{пуансон}} = 280 \text{ мм}$; -◄- — $R_{\text{пуансон}} = 300 \text{ мм}$;
- ⊠- — $R_{\text{пуансон}} = 325 \text{ мм}$

Из анализа данных был определен рациональный радиус пуансона. В ходе исследования также было выбрано рациональное расстояние между опорами нижнего инструмента, при условии отсутствия прямолинейного участка между формуемыми шагами.

Произведены аналогичные вычисления для рассматриваемого типоразмера труб при различных классах прочности труб. В таблице 1 представлены рациональные радиусы пуансонов.

Произведен анализ влияния изменения продольной кривизны нижнего инструмента на прямолинейность продольных кромок при формовке листа в трубную заготовку. На основе анализа предложена и реализована схема продольного изгиба нижнего инструмента, обеспечивающая равномерный и равный изгиб кромок трубной заготовки.

Таблица 1 – Рассчитанный радиус пуансона в зависимости от механических свойств труб размером 720×22 мм

Класс прочности труб	$R_{\text{пуансон}}, \text{ мм}$	Класс прочности труб	$R_{\text{пуансон}}, \text{ мм}$
К34	260	К60	240
К52	240	К65	240
К56	240	К80	225

В пятой главе представлены результаты формализации полученных алгоритмов и математических моделей, описанных в главах 3 и 4, в виде автоматизированной системы расчета.

Данная система состоит из нескольких интегрированных в единый комплекс частей.

Расчетная часть программы, написанная на языке Visual Basic 6.0, включает в себя две основные части: расчет настроечных параметров для кромкогибочного прессы и расчет настроечных параметров для прессы шаговой формовки, а также визуализацию геометрии спроектированной трубной заготовки до сборочно-сварочного стана.

Исходными данными являются следующие параметры (рисунок 7):

- 1) диаметр трубы;
- 2) толщина стенки;
- 3) коэффициент деформации трубы;
- 4) геометрические размеры продольной фаски;
- 5) механические свойства материала (минимальные и максимальные значения предела текучести и временного сопротивления).

Остальные параметры, представленные на рисунке 7, являются вспомогательными и предназначены только для составления технологических карт под соответствующие типоразмеры труб и нормативную документацию.

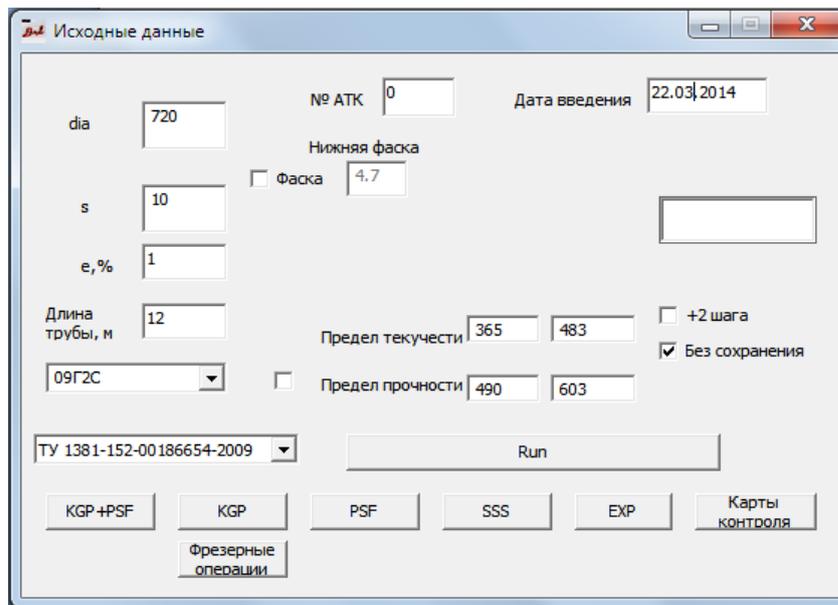


Рисунок 7 – Диалоговое окно для расчета технологических параметров

Программный продукт предназначен как для составления технологических карт на требуемый сортамент, так и для анализа возможности производства сортамента и определения профиля трубной заготовки при фактических ходах пуансона на прессе шаговой формовки.

Применение программы позволило сократить время на составление технологических карт в 4 – 6 раза (до 20 минут).

На разработанную программу было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа была принята для разработки технологических режимов в условиях производства в цехе «Высота 239» на ОАО «ЧТПЗ». С момента внедрения (1 ноября 2013 г.) было разработано и опробовано более 200 технологических карт для производства труб различного сортамента.

В шестой главе приведены результаты опытного изготовления сварных труб большого диаметра.

На первом этапе с помощью разработанного программного продукта были произведены расчеты технологических параметров пресса подгибки кромок и пресса шаговой формовки для производства труб категории прочности X46SS диаметром 720 мм с толщиной стенки 22 мм.

На втором этапе по разработанным технологическим картам было организовано производство труб в количестве 9 штук.

Полученные трубные заготовки после процесса формоизменения на прессе шаговой формовки прошли дальнейший технологический цикл и по результатам приемки сторонней организации трубы были приняты с первого предъявления.

Выводы

1. Разработаны теоретические решения и технические рекомендации по совершенствованию технологий подгибки кромок листа и шаговой формовки сварных труб классом прочности до К80 (Х100) и выше, диаметром до 1420 мм, толщиной стенки до 45 мм в условиях ОАО «ЧТПЗ» цеха «Высота 239».

2. Впервые на основе анализа условий процесса подгибки кромок листа с использованием метода конечных элементов получены статистически значимые регрессионные уравнения, позволяющие определять параметры подгибаемой части листа в зависимости от сортамента трубы. Разработана математическая модель для расчета параметров настройки прессы подгибки кромок, а также для определения значений контролируемых параметров трубной заготовки.

3. Проведен теоретический анализ влияния ширины подгибаемой кромки листа в зависимости от сортамента труб. Даны рекомендации по изготовлению сварных труб большого диаметра различного сортамента на стадии подгибки кромок листа с получением труб, отвечающих современным требованиям по геометрическим параметрам, предъявляемым в нормативных документах.

4. Разработан комплекс математических моделей, позволяющий осуществлять анализ процесса формоизменения трубной заготовки при шаговой формовке, определять ее геометрию и проводить расчет хода пуансона для получения требуемого профиля трубной заготовки.

5. Исследовано влияние геометрических параметров очага деформации при шаговой формовке на усилие формовки трубной заготовки. Даны рекомендации для выбора радиуса пуансона и расстояния между опорами нижнего инструмента при изготовлении труб.

6. Для практического использования разработанных математических моделей создана программа для ЭВМ, позволяющая рассчитывать технологические параметры настройки прессы подгибки кромок листа и прессы шаговой формовки, а также определять значения контролируемых параметров для требуемой трубной заготовки (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013660023).

7. Теоретические решения и разработанная программа для ЭВМ по совершенствованию процесса подгибки кромок листа и шаговой формовки заготовок проверены экспериментально на всем сортаменте, выпускаемом в цехе «Высота 239» ОАО «ЧТПЗ».

Библиографическое описание публикаций автора по теме диссертационного исследования

1. Осадчий, В.Я. Математическая модель формоизменения листовой заготовки при производстве сварных труб большого диаметра / В.Я. Осадчий, Е.А. Гаас, Д.Ю. Звонарев, А.П. Коликов // Сталь. – 2014. – № 5. – С. 63 – 67. **(рекомендовано ВАК)**

2. Звонарев, Д.Ю. Методика определения радиуса подгибки кромок при производстве труб большого диаметра / Д.Ю. Звонарев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. Т. 15. – №2. – С. 101 – 105. **(рекомендовано ВАК)**

3. Осадчий, В.Я. Разработка математической модели для расчета профиля трубной заготовки и определения настроечных параметров при производстве прямошовных труб большого диаметра / В.Я. Осадчий, А.П. Коликов, Д.Ю. Звонарев // Бюллетень «Черная металлургия». – 2015. – № 1. – С. 61 – 66.

4. Звонарев, Д.Ю. Разработка математической модели формирования прикромочной зоны листовой заготовки в процессе производства сварных прямошовных труб большого диаметра / Д.Ю. Звонарев, В.Я. Осадчий, А.П. Коликов // Сборник докладов международного научно-технического

конгресса «ОМД 2014. Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии». – М. – 2014. – Ч. 2. – С. 107.

5. Коликов, А.П. Математическая модель формовки листовой заготовки при производстве сварных труб большого диаметра / А.П. Коликов, Д.Ю. Звонарев, В.Я. Осадчий // Пластическая деформация металлов: сборник научных трудов в 2-х томах. – Днепропетровск. – 2014. – Т.1. – С. 118 – 122.

6. ZV JCO: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013660023 / Д.Ю. Звонарев – № 2013617699: заявл. 27.08.2013; опубл. 20.12.2013.

7. Osadchii, V. Ya. Shaping of thick sheet in the production of welded large-diameter pipe / V. Ya. Osadchii, E. A. Gaas, D. Yu. Zvonarev, A. P. Kolikov // Steel in Translation. – 2014. – Volume 44. – Issue 5, pp 374–378.

ЗВОНАРЕВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОДГИБКИ КРОМОК И
ШАГОВОЙ ФОРМОВКИ СВАРНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ И ФОРМ

05.16.05 «Обработка металлов давлением»

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата
технических наук