

На правах рукописи

БОКЛАГ НАТАЛЬЯ ЮРЬЕВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА И ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТРУБ
БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА ПРЕССЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ
ФОРМОВКИ**

Специальность

05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург - 2015

Работа выполнена на кафедре «Детали машин» в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Чечулин Юрий Борисович

Официальные оппоненты: **Выдрин Александр Владимирович**, доктор технических наук, профессор, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (г. Челябинск), заместитель генерального директора по научной работе

Коликов Александр Павлович, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва), профессор кафедры технологии и оборудования трубного производства

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г. Челябинск

Защита состоится 10 сентября 2015 г. в 16:00 на заседании диссертационного совета Д 212.285.10 на базе ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», по адресу: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд. И-420 (зал Учёного совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», <http://dissovet.science.urfu.ru/news2/>

Автореферат разослан 07 июля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук

Раскатов Евгений Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Трубоэлектросварочные агрегаты труб большого диаметра предназначены для производства широкого ассортимента прямошовных труб для трубопроводного транспорта. Отличительной особенностью таких агрегатов является поэтапная формовка заготовки с последующей сваркой и отделкой готовой трубы. Одним из наиболее производительных методов изготовления трубной заготовки под сварку является УОЕ-процесс, предварительная формовка при котором в значительной мере определяет окончательное качество готовых труб. Постоянно возрастающие требования повышения класса прочности материала труб и увеличения толщины стенки сопровождаются при их производстве необходимостью расширения технологических возможностей оборудования и поиска новых путей управления процессом деформации на базе новых знаний. Этим определяется актуальность теоретических и экспериментальных исследований особенностей процесса и возможностей основного оборудования в изменяющихся условиях производства на существующем оборудовании.

Целью работы является повышение качества формируемых труб большого диаметра, сокращение парка технологического инструмента, снижение нагрузок на оборудование путем исследования процесса предварительной формовки труб большого диаметра и разработки нового технологического инструмента с переменной и настраиваемой геометрией.

При этом были поставлены и решены следующие задачи.

1. Разработка математической модели расчета кинематики многозвенного кулисного механизма с изменяющейся структурой и с промежуточным упругопластичным звеном переменной длины. Определение параметров настройки инструмента, обеспечивающих рациональное значение установочных настраиваемых размеров.
2. Разработка способа двухрадиусной формовки, расширяющей возможности реализации влияния параметров настройки оборудования и инструмента на конечную форму труб, получаемых на прессе предварительной формовки с механизмом кулисного типа.
3. Выполнение анализа нагрузок, действующих на технологический инструмент, при формовке пуансонами различных типов.
4. Разработка рекомендаций по конструкции пуансонов, обеспечивающих повышение качества труб и повышение надежности и работоспособности оборудования прессов.

Научная новизна работы.

1. Разработана оригинальная математическая модель расчета кинематики многозвенного кулисного механизма с изменяющейся структурой и с промежуточным упругопластичным звеном переменной длины. Определены параметры настройки инструмента, обеспечивающие рациональное значение установочных настраиваемых размеров.
2. Предложен способ двухрадиусной формовки, расширяющий возможности реализации влияния параметров настройки оборудования и инструмента на

конечную форму труб, получаемых на прессе предварительной формовки с механизмом кулисного типа.

3. Получены зависимости, определяющие величину хорды пружинения. Разработан программный комплекс, позволяющий в диалоговом режиме выполнять многовариантные расчеты пружинения формуемой заготовки.
4. На базе разработанной методики на специально спроектированном и изготовленном лабораторном аналоге пресса предварительной формовки. выполнена видеорегистрация кинематических характеристик относительного положения технологического инструмента и заготовки совмещенная с компьютерной записью перемещения пуансона и тензометрической регистрацией нагрузок.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты, полученные в данной работе, дополняют имеющиеся теоретические основы процесса гибки. Разработана оригинальная математическая модель кинематики формуемой заготовки и формующего инструмента с различной геометрией: с постоянной кривизной профиля пуансона и с переменной настраиваемой кривизной. На основе выполненных теоретических исследований предложен инструмент, защищенный патентом РФ на полезную модель № 124600. С учетом выполненных исследований получены и переданы на трубопрокатный завод техническая документация и рекомендации по настройке и совершенствованию конструкции технологического инструмента. Новая конструкция пуансона с переменной геометрией позволяет управлять пружинением формуемой заготовки и, следовательно, качеством труб, а также обеспечивает снижение нагрузки на оборудование. Предложенная конструкция сборного инструмента принята к внедрению в цехе №6 ОАО «ЧТПЗ». Акт об использовании результатов работы представлен в приложении к диссертации.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обеспечена применением классических методов теории механизмов и машин, аналитических методов кинематического и силового анализа механизмов, применением таких физических методов исследования, как тензометрия. При экспериментальном исследовании использовался метод подобия для перенесения результатов лабораторного физического эксперимента на производственный промышленный стан. Достоверность подтверждается также удовлетворительной сходимостью результатов математического моделирования с экспериментальными данными, полученными в лабораторных условиях.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель связанной кинематики относительного поведения заготовки и формующего инструмента с различной геометрией: с постоянной кривизной профиля пуансона и с переменной настраиваемой кривизной.
2. Математическая модель расчета хорды пружинения с учетом упругопластического поворота участков деформируемой заготовки, не контактирующих с пуансоном.
3. Особенности контактного нагружения инструмента для однорадиусного и двухрадиусного пуансонов.

4. Рекомендации по совершенствованию конструкции пуансона пресса предварительной формовки, защищенные патентом на полезную модель.
5. Разработка методики экспериментального исследования с использованием видеорегистрации кинематических характеристик относительного положения технологического инструмента и заготовки, совмещенной с тензометрической регистрацией нагрузок.
6. Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния параметров настройки прессовой оснастки для получения заданных размеров и формы U-образного изделия с учетом пружинения.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на VI Международной научно-технической конференции «Проблемы исследования и проектирования машин» Пенза, 2009г; XIX Международной научно-технической конференции «Трубы-2011» Челябинск, 2010 г; XVII Уральской международной конференции молодых ученых Екатеринбург, 2010г; VI Международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа по обработке металлов давлением им. Профессора А.Ф.Головина» Екатеринбург, 2012г; VIII International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» Варна, Болгария, 2012г; Международной научно-технической конференции «Современные металлические материалы и технологии» Санкт-Петербург, 2013г; VII Международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении» Екатеринбург, 2014г; Международной научно-практической конференции «Развитие машиностроения, транспорта, технологических машин и оборудования в условиях рыночной экономики» Екатеринбург, 2014г.

Публикации. Результаты работы представлены в 13 публикациях, в числе которых 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, а также патент РФ на полезную модель № 124600.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 127 страницах, содержит 13 таблиц, 82 рисунка, библиографический список из 84 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, отмечена научная новизна и практическая ценность, сформулированы её цели и задачи.

В первой главе выполнен анализ существующих способов и теоретических исследований производства труб большого диаметра. Рассмотрены достоинства и недостатки методов получения и формовки заготовок для прямошовных труб большого диаметра: в вальцах, методами УОЕ и ЛСОЕ. Показано, что с точки зрения производительности УОЕ является наиболее производительным процессом. Эта технология представляет серию из трех основных операций, образующих трубу

в процессе производства, две прессовые операции: предварительная формовка, при которой лист принимает U-форму и окончательная формовка, при которой лист приобретает O-форму, а также операцию расширения сформированной и сваренной трубы определенного диаметра (E - расширение). Прессовой формовке заготовок прямошовных труб большого диаметра посвящено много работ. Развитию теории и совершенствованию технологии формовки этих труб посвящены работы Ю.М. Матвеева, Ю.Ф. Шевакина, Б.Д. Жуковского, А.П. Коликова, В.М. Друяна, А.П. Чекмарева, Е.А. Попова, С.В. Самусева, Е.Н. Мошнина, Н.В. Розова, В.Я. Осадчего, А.В. Выдрина, В.Н. Данченко, В.Г. Зимовца и других. Одним из важнейших этапов технологической цепи является предварительная формовка заготовки. В зависимости от диаметра трубы и толщины стенки предварительная формовка трубной заготовки может выполняться либо на прессе предварительной формовки с гибочным механизмом роликового типа, либо при помощи симметрично расположенных относительно оси пресса кулисных механизмов. В результате листу придают U-образную форму с загнутыми кромками. Качество готовых труб во многом определяется качеством заготовки, полученной на этапе предварительной формовки. Для получения качественной трубы необходимо правильно выбирать размеры и параметры настройки технологического инструмента. При совершенствовании конструкции инструмента и определении параметров настройки требуется знать нагрузки, действующие при формовке для обеспечения долговечности и работоспособности узлов инструмента и прессового оборудования. В главе приведены сведения, представленные в научной литературе, по усилиям, действующим при формовке. Однако практически не рассмотрены особенности взаимного кинематического поведения технологического инструмента и деформируемого изделия в процессе цикла работы с учетом особенностей сложного движения кулисного механизма и напряженно-деформированного состояния заготовки. Это обуславливает необходимость постановки и решения новых теоретических задач определения математической модели кинематики процесса предварительной формовки заготовок на прессах с кулисным механизмом с пуансонами постоянной и переменной кривизны, а также определения параметров процесса и настройки технологического инструмента для получения заготовок с прогнозируемым пружинением и требуемого качества при минимальных значениях максимальных усилий формовки. Таким образом, на основе обзора теоретических исследований оборудования, технологического инструмента, кинематики и энергосиловых параметров процесса предварительной формовки **установлены задачи** дополнительных исследований, учитывающих особенности процесса формовки с кулисным механизмом, включая:

- влияние сложного закона взаимного движения инструмента и заготовки на процесс формообразования U-образного изделия;
- анализ нагружения звеньев в различных стадиях процесса;
- определение фактической формы и размеров заготовки для окончательной формовки с учетом пружинения;
- решения по кинематике процесса предварительной формовки на прессах с пуансонами переменной кривизны.

Вторая глава посвящена решению задач кинематики процесса предварительной формовки, которая осуществляется при вертикальном перемещении пуансона радиусом $R_{\text{п}}$, воздействующим через деформируемый лист на ролики качающихся двухплечих коромысел с учетом изменяемой структуры механизма (рис.1).

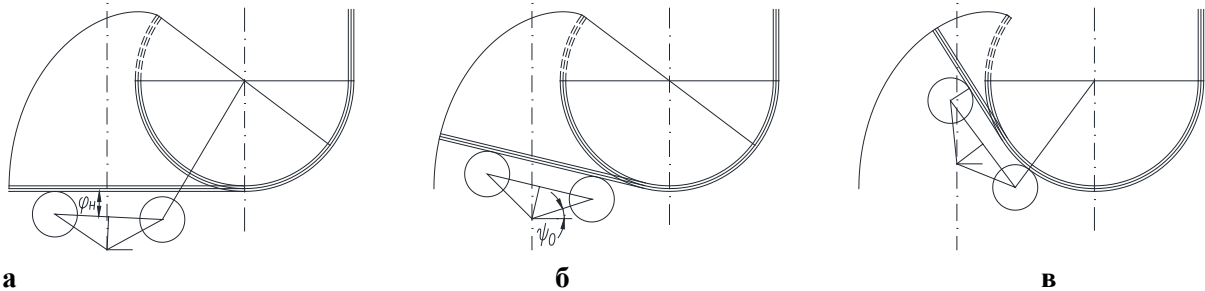


Рис.1 Относительное положение инструмента на нулевой (а), первой (б) и второй (в) фазах формовки.

Следовательно, для решения задач кинематики процесса формовки требуется выполнить моделирование относительного движения технологического инструмента и формируемой заготовки с учетом переменной структуры их контакта.

Для построения модели кинематики рассмотрим величины угловых и линейных координат осей ближнего (индекс – Б) и дальнего (индекс – Д) от пуансона роликов коромысла в зависимости от угла обхвата (огибания) деформируемым листом профильной поверхности пуансона - $\beta_{\text{п}}$ (рис.2).

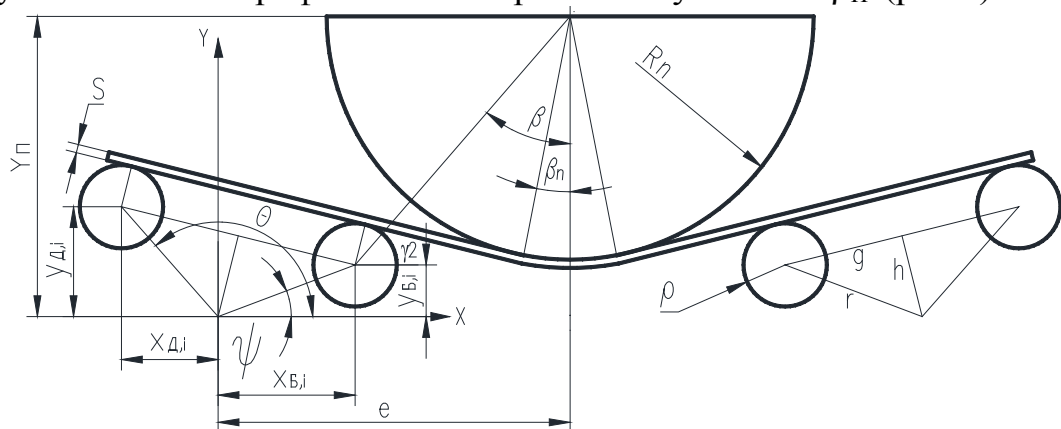


Рис.2 Обозначение линейных и угловых координат формирующего инструмента.

θ и ψ – угловые координаты относительно оси x плечей дальнего и ближнего роликов соответственно; $\beta_{\text{п}}$ – половинный угол обхвата листом профильной поверхности пуансона; β – угол контакта ближнего ролика с листом; $Y_{\text{п}}$ – расстояние от оси качания коромысла до диаметральной горизонтальной плоскости пуансона, $X_{\text{Д},i}$, $Y_{\text{Д},i}$, $X_{\text{Б},i}$, $Y_{\text{Б},i}$ – линейные координаты осей дальнего и ближнего роликов относительно оси качания коромысла в правой системе декартовых координат; e – расстояние от оси качания коромысла до вертикальной оси пуансона; $R_{\text{п}}$ – радиус профиля пуансона, s – толщина стенки деформируемой заготовки; ρ – радиус ролика коромысла; h – высота профиля коромысла; g – половина длины основания коромысла. Дополнительный индекс i в обозначении координат в дальнейшем соответствует номеру фазы формовки.

Вертикальное перемещение пуансона на нулевой фазе формовки – $Y_{V,I}$ определяется выражением:

$$Y_{V,I} = \frac{e \sin \beta_{II} + \sqrt{g^2 + h^2} \cos \beta_{II} - h - \rho - (R_{II} + s)(1 - \cos \beta_{II})}{\cos \beta_{II}}, \quad (1)$$

В первой фазе формовки происходит сближение внутреннего ролика коромысла с пуансоном при непрерывном росте половинного угла охвата - β_{II} . В конечной позиции I фазы ближний ролик отделен от профильной поверхности пуансона на толщину деформируемого металла заготовки – s и его положение (рис. 3) определяется половинным углом обхвата поверхности пуансона металлом заготовки - β_{II0} .

Значения углов β_{II0} и ψ_0 находятся из выражений:

$$\beta_{II,0} = \arctg \frac{e}{Y_{II,0}} - \arctg \frac{g}{R_{II} + s + \rho + h}, \quad \psi_0 = \arctg \frac{h}{g} - \beta_{II,0} \quad (2)$$

$$\text{где } Y_{II,0} = \sqrt{g^2 + (R_{II} + \rho + s + h)^2 - e^2}$$

Этому угловому положению соответствует ордината пуансона Γ_0 :

$$\Gamma_0 = \sqrt{g^2 + (h + R_{II} + \rho + s)^2} \quad (3)$$

Линейные и угловые координаты формирующего инструмента в I фазе определяются по зависимостям:

$$x_{д,II} = -\sqrt{g^2 + h^2} \cos \theta_{II} \quad (4), \quad y_{д,II} = \sqrt{g^2 + h^2} \sin \theta_{II} \quad (5), \quad x_{б,II} = \sqrt{g^2 + h^2} \cos \psi_{II} \quad (6),$$

$$y_{б,II} = \sqrt{g^2 + h^2} \sin \psi_{II} \quad (7), \quad \theta_{II} = \theta_H + \beta_{II,II} \quad (8), \quad \psi_{II} = \psi_H + \beta_{II,II} \quad (9) \quad \beta_{II} = \theta_{II} + \arctg \frac{h}{g} \quad (10)$$

Вертикальное перемещение пуансона первой фазы формовки – $Y_{V,II}$ определяется выражением:

$$Y_{V,II} = \frac{e \sin \beta_{II,II} + \sqrt{g^2 + h^2} \cos \beta_{II,II} - h - \rho - (R_{II} + s)(1 - \cos \beta_{II,II})}{\cos \beta_{II,II}}, \quad (11)$$

Вторая фаза формовки (рис. 4) соответствует изменению угла плеча коромысла ближнего ролика $\psi_{Б,III}$ в диапазоне $\psi_0 < \psi_{Б,III} < \psi_K$, где ψ_0 рассчитывается по формуле (2). Кинематической особенностью заключительной стадии является несовпадение половинного угла огибания листом профиля пуансона - $\beta_{II,III}$ и угла контакта ближнего ролика с профилем пуансона - β_{III}

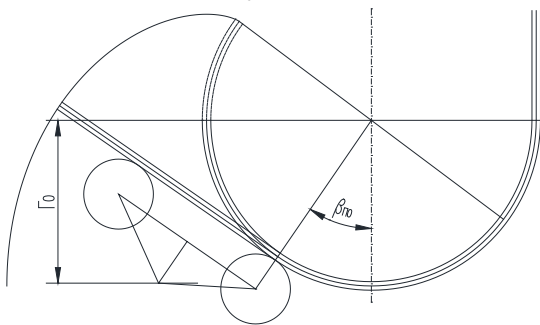


Рис.3 Схема положения формирующего инструмента перед началом II фазы.

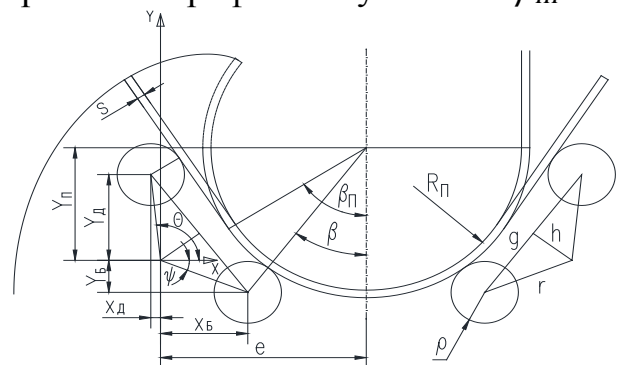


Рис. 4 Линейные и угловые координаты формирующего инструмента во II фазе.

Кинематические характеристики II фазы (без учета упругой деформации «межконтактного» участка заготовки) характеризуются согласно рис. 4

следующими предельными значениями: начальный половинный угол охвата поверхности пуансона металлом заготовки $\beta_{\text{II,III,нач}}$ соответствует значению $-\beta_{\text{II,0}}$, в соответствии с зависимостью (2), а конечное его значение соответствует полному обхвату контура пуансона $\beta_{\text{II,III,кон}} = 90^\circ$. При этом значения вертикальной координаты диаметральной плоскости пуансона относительно оси коромысла изменяются от $Y_{\text{II,III,нач}} = \sqrt{g^2 + (h + R_{\text{II}} + \rho + s)^2 - e^2}$ до $Y_{\text{II,III,кон}} = 0$. В процессе II фазы угол контакта ближнего ролика с пуансоном через деформируемый металл изменяется незначительно при большом диапазоне изменения угла охвата $\beta_{\text{II, III}}$ и координаты $Y_{\text{II,III}}$. Движение ближнего ролика соответствует закону движения коромысла $Y_{\text{II,III}}$. Текущее значение вертикальной координаты диаметральной плоскости пуансона относительно оси коромысла $Y_{\text{II,III}}$ на этой стадии процесса $-\beta_{\text{II, III}}$ вычисляется по выражению:

$$Y_{\text{II,III}} = Y_{\text{II,0}} - 2(R_{\text{II}} + s) \sin \frac{\beta_{\text{II,0}} + \beta_{\text{II,III}}}{2} \sin \frac{\beta_{\text{II,0}} - \beta_{\text{II,III}}}{2} \quad (12)$$

Высотная координата пуансона $Y_{\text{II,III}}$ определяет угол контакта ближнего ролика β_{III} и угол наклона его плеча коромысла ψ_{III} . Координаты оси ближнего ролика относительно оси качания коромысла вычисляются по выражениям:

$$x_{\text{Б,III}} = 0,5 e \left(1 + \frac{g^2 + h^2 - b^2}{e^2 + Y_{\text{II,III}}^2}\right) + 0,5 \frac{Y_{\text{II,III}}}{e^2 + Y_{\text{II,III}}^2} \sqrt{4(g^2 + h^2) - \left(1 + \frac{g^2 + h^2 - b^2}{e^2 + Y_{\text{II,III}}^2}\right)^2}, \quad (13)$$

$$y_{\text{Б,III}} = -\sqrt{g^2 + h^2 - x_{\text{Б,III}}^2}, \quad (14)$$

$$\psi_{\text{III}} = -\arccos \frac{x_{\text{Б,III}}}{\sqrt{g^2 + h^2}} \quad (15)$$

$$\theta_{\text{III}} = \psi_{\text{III}} + 2 \arctg \frac{g}{h} \quad (16)$$

Угол наклона основания коромысла: $\beta_{\text{III}} = \theta_{\text{III}} + \arctg \frac{h}{g}$ (17)

Тогда значение координаты диаметральной плоскости пуансона относительно оси качания коромысла

$$Y_{\text{II,III}} = \sqrt{(R_{\text{II}} + \rho + s)^2 - (e - \sqrt{g^2 + h^2} \cos \psi)^2} + \sqrt{g^2 + h^2} \sin \psi, \quad (18)$$

Линейные координаты формирующего инструмента II фазы формовки определяются по зависимостям, аналогичным первой фазе.

Кинематическая схема прессовой формовки изделия U-образной формы, учитывающая упруго-пластический изгиб полосы, представлена на рис. 5.

Упругая деформация межконтактного свободного участка полосы от действия формирующей силы приводит к дополнительному повороту коромысла $\delta\psi$ и дополнительному перемещению пуансона $\delta Y_P = \delta Y_{P1} + \delta Y_{P2}$.

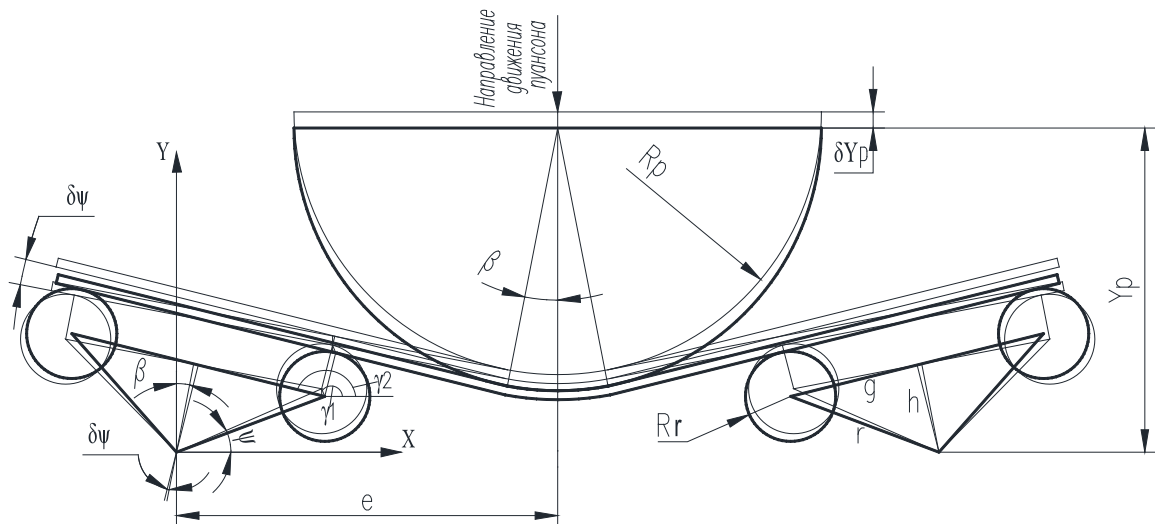


Рис. 5. Кинематическая схема прессовой формовки с учетом упругопластического изгиба формируемой полосы

Поворот коромысла определяет поправку δY_{p1} , а прогиб полосы на участке между контактными точками с пуансоном и роликами коромысел – значение δY_{p2} .

$$\delta Y_{p1} = \frac{\delta \psi r \sin(\gamma_2 - \gamma_1)}{\sin(1,5\pi - \gamma_2)}, \quad (19)$$

$$\delta Y_{p2} = \frac{s^2 L^2 \sigma_{T \text{ упр}}}{12 E I \cos(0,5\pi - \psi + \delta \psi - \arctg \frac{g}{h})}, \quad (20)$$

где L – длина полосы между точкой схода с пуансона и роликом;

Для автоматизированного расчета промежуточных координат звеньев системы «взаимно подвижный инструмент – деформируемое изделие», включающий выражения (1)...(20), разработана программа, входящая в пакет прикладных программ на базе Автокада, использование графических возможностей которого упростило визуализацию результатов расчета. Диалоговое окно расчета кинематики первой фазы показано на рис. 6.

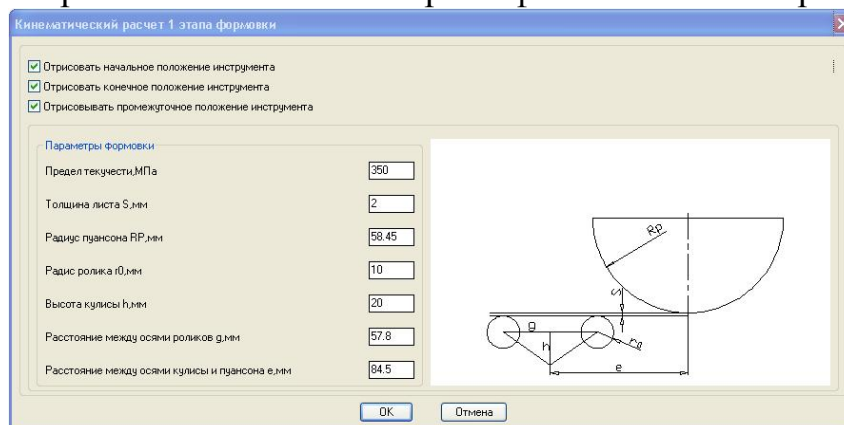


Рис. 6. Диалоговое окно программы расчета кинематических характеристик процесса предварительной формовки

В процессе настройки оборудования для предварительной формовки прямошовных сварных труб большого диаметра на вертикальных прессах исходные условия имеют два ограничения: первое условие - начального размещения заготовки в пределах дальнего ролика коромысла в нулевой фазе

$$e < 0,25\pi d_T - r_2 \cos \psi_{2k}, \quad (21)$$

второе условие (рис. 7) – исключение выхода дальнего ролика в конце формовки за пределы кромки обечайки $\delta \geq 0$ при полном охвате заготовкой пуансона определяется следующими выражениями:

$$\delta = 0,25\pi(d_T - 2r_{IS}) + (r_{IS} + r_0) \cos \beta_p - r_2 \sin \psi_{2k} - r_1 \sin(\psi_{2k} + \alpha_1 + \alpha_2), \quad (22)$$

$$\sin \beta_p = 1 + \frac{r_2 \cos \psi_{2k} - r_1 \cos(\psi_{2k} + \alpha_1 + \alpha_2)}{r_{IS} + r_0}. \quad (23)$$

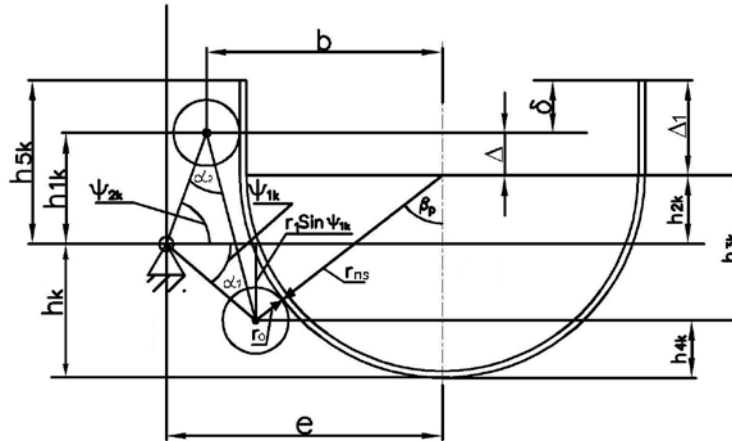


Рис. 7. Взаимное положение деформирующего инструмента и формируемого изделия в заключительной стадии процесса

Необходимая ордината упора относительно оси качания коромысла h_k при выбранных значениях параметров e и r_{IS} определяется выражением

$$h_k = (r_{IS} + r_0) \cos \beta_p + r_1 \sin(\psi_{2k} + \alpha_1 + \alpha_2) - r_{IS} \quad (24)$$

В следующей главе полученные зависимости использованы для расчета силового взаимодействия технологического инструмента, а также для анализа влияния толщины металла и параметров пуансона на нагруженность кулисного механизма и пружинение заготовки после формовки.

Третья глава посвящена совершенствованию инструмента формовки труб большого диаметра и анализу напряженно-деформированного состояния деформируемых труб. Вновь предложенный инструмент для формовки труб представляет собой сборный пуансон, состоящий из двух половин, включающих донную часть с радиусом профиля $R_{П1}$ и вставки в виде боковых сегментов радиуса $R_{П2}$, гладко сопряженных с донной частью и позволяющих настроить геометрию для получения необходимых параметров трубной заготовки (рис. 8а).

Поскольку радиусы центральной и периферийной частей пуансона различны, то возможны два варианта начала II фазы, определяемые геометрией инструмента (рис. 9б): 1) $(\beta_{П} = \beta_{б}) < \alpha_1$; 2) $(\beta_{П} = \beta_{б}) \geq \alpha_1$.

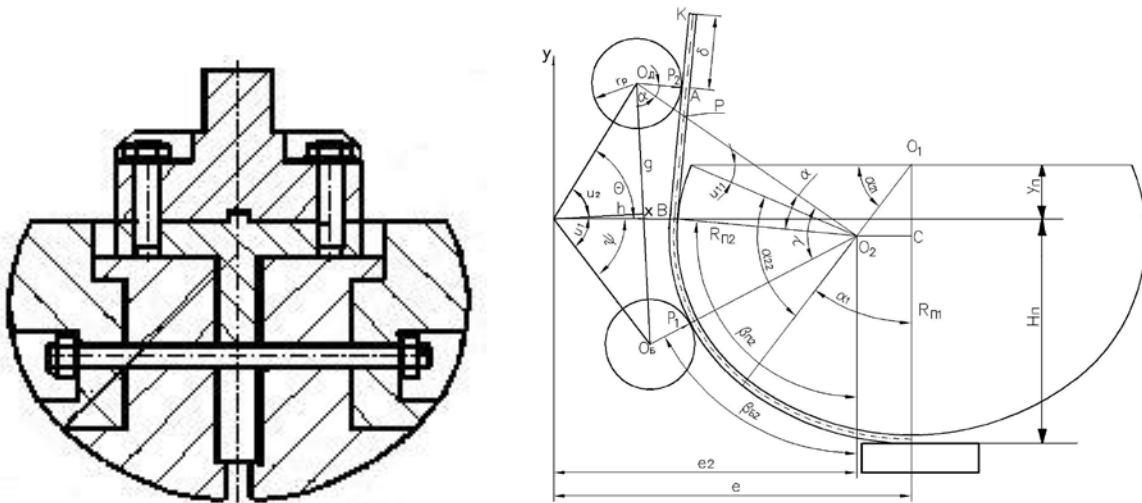


Рис. 8. Сборный пуансон с настраиваемой геометрией (а) и схема для расчета кинематических характеристик двухрадиусного пуансона (б)

Условия формовки полосы участком пуансона радиусом $R_{\Pi 2}$ отличаются от кинематики однорадиусного пуансона, поэтому требуется определение уравнений расчета кинематики положений для II фазы.

С учетом принятых обозначений $r_{ps} = r_p + 0,5S$; $\Delta y_p = O_1C = (R_{\Pi 1} - R_{\Pi 2}) \cos \alpha_1$;

$R_{\Pi 1S} = R_{\Pi 1} + 0,5S$; $\Delta x_p = O_2C = (R_{\Pi 1} - R_{\Pi 2}) \sin \alpha_1$; $b_2 = R_{\Pi 2} + S + r_p$ получены зависимости, позволяющие определить угловые и линейные координаты для предложенного деформирующего инструмента:

$$\beta_{i_2} = \arccos \frac{l^2 + (R_{\Pi 2S} + r_{ps})^2 - 4g^2}{2l(R_{\Pi 2S} + r_{ps})} - \alpha + \beta_{A_2}, \quad (25)$$

где β_{B_2} определится по формуле:

$$\beta_{B_2} = \arcsin \frac{e - (R_{\Pi 1} - R_{\Pi 2}) \sin \alpha_1 - r \cos \psi}{b_2} \quad (26)$$

$$\text{Ордината оси пуансона (т. } O_1): y_p = b_2 \cos \beta_{A_2} - r_p \sin \psi + \Delta y_p \quad (27)$$

Ордината ограничителя хода пуансона (т.н. постели) H_{Π} определяется условием сохранения контакта дальнего ролика с полосой, т.е. величина участка АК полосы не должна быть меньше нуля ($\delta \geq 0$) (рис. 9): $H_{\Pi} = R_{\Pi 1} + s - y_p$, где величина δ может быть найдена по выражению (28)

$$\delta = 0,5b - (R_{i_1S} - R_{i_2S})\alpha_1 - R_{i_2S}\beta_{i_2} - (R_{i_2S} + r_{ps})tg\alpha \quad (28)$$

Принимая $\delta = 0$, получим предельную величину угла формовки $\beta_{\Pi 2}$:

$$\beta_{\Pi 2} = (0,5b - (R_{\Pi 1S} - R_{\Pi 2S})\alpha_1 - (R_{\Pi 2S} + r_{ps})tg\alpha) / R_{\Pi 2S} \quad (29)$$

Найденные функциональные зависимости, определяют кинематические характеристики для второй фазы формовки, выполняемой участком пуансона радиусом $R_{\Pi 2}$, и устанавливают взаимосвязь координат технологического инструмента. Дополнительными условиями возможности выполнения формовки являются неравенства:

$$\beta_{B_2} < 90^\circ; \beta_{\Pi 2} < \alpha_1 + \alpha_{22}. \quad (30)$$

Как было отмечено выше, во второй фазе формовки передача усилия от пуансона на формующие ролики происходит через формируемый металл (рис. 9).

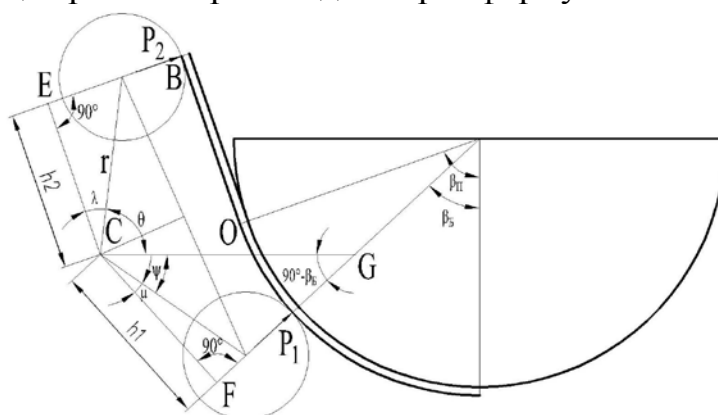


Рис.9. Схема передачи сил от пуансона на формирующий ролик

Принимая напряжения в крайней точке контакта полосы с пуансоном равными пределу текучести с учетом упрочнения, величину формирующей силы можно найти по известному выражению:

$$P_2 = \frac{W_{хпл} \sigma_{T упр}}{L}, \quad (31)$$

где для участка единичной длины $W_{хпл} = 0.25 s^2$; L – длина полосы между точкой схода с пуансона и роликом. Величина плеча L определяется расстоянием OB (рис. 9) и может быть определена по полученным ранее формулам.

Из условия равенства моментов сил P_1 и P_2 относительно точки C : $P_2 \cdot h_2 = P_1 \cdot h_1$. Как следует из рис. 9: $h_1 = r \cdot \cos \mu$, $h_2 = r \cdot \cos \lambda$, $\mu = \beta_B - \psi$, $\lambda = 180 - \beta_{II} - \theta$. Следовательно нагрузка P_1 может быть найдена по выражению:

$$P_1 = P_2 \frac{\cos(180 - \beta_{II} - \theta)}{\cos(\beta_B - \psi)} \quad (32)$$

Результаты расчета сил, действующих на пуансон лабораторной установки, при предварительной формовке заготовки труб диаметром 157мм показаны на рис. 10

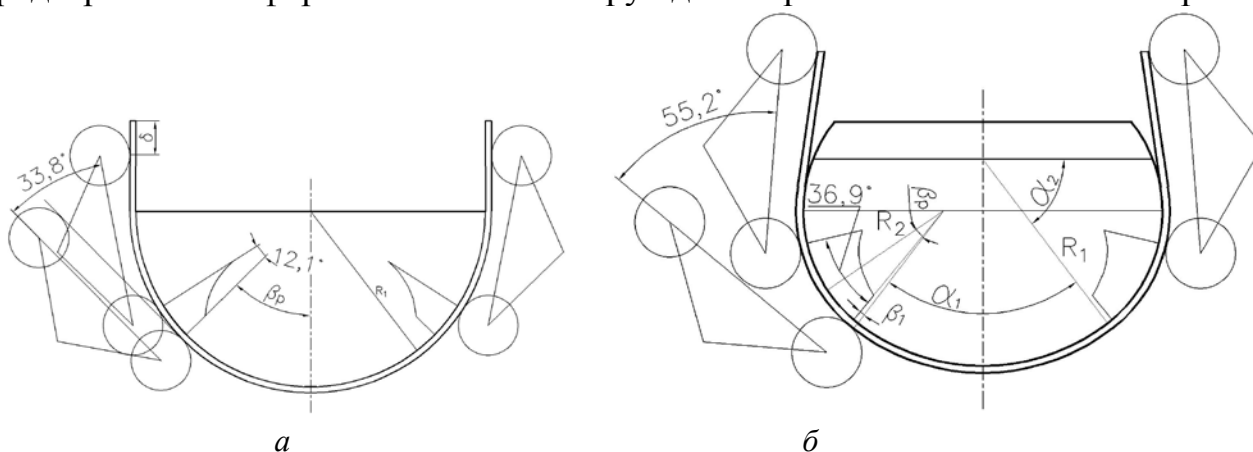


Рис.10. Схема предварительной формовки однорадиусным (а) и двухрадиусным (б) пуансоном

На рис. 10а показано, что при повороте кулисы на угол $33,8^\circ$ ближний ролик, воспринимающий усилие формовки, передвигается по пуансону всего на $12,1^\circ$ и максимальное усилие, действующее на шток пуансона составляет в этом случае 8,9 кН. Как следует из рис. 10б соотношение угла поворота кулисы и угла

контакта ролика с пуансоном для двухрадиусного пуансона увеличивается почти в два раза в сравнении с однорадиусным пуансоном. Учитывая, что площадь под диаграммой нагрузок характеризует работу формоизменения заготовки, увеличение угла контакта ближнего ролика с пуансоном за счет использования двухрадиусной конструкции последнего позволяет снизить максимальную величину силы взаимодействия ролика с пуансоном на 30% и, следовательно, уменьшить нагруженность всего технологического инструмента.

Для анализа влияния параметров технологического инструмента и его настройки на величину максимального значения силы P_1 (рис. 10) на основе полученных выше зависимостей была разработана программа, входящая в пакет прикладных программ, окно ввода исходных параметров которой показано на рис. 11а. График, показывающий максимальное значение усилия, воспринимаемого инструментом, свидетельствует о его возрастании по мере увеличения соотношения R_2/R_1 , т.е. по мере приближения к схеме однорадиусного пуансона. Графическое представление этой зависимости показано на рис. 11б.

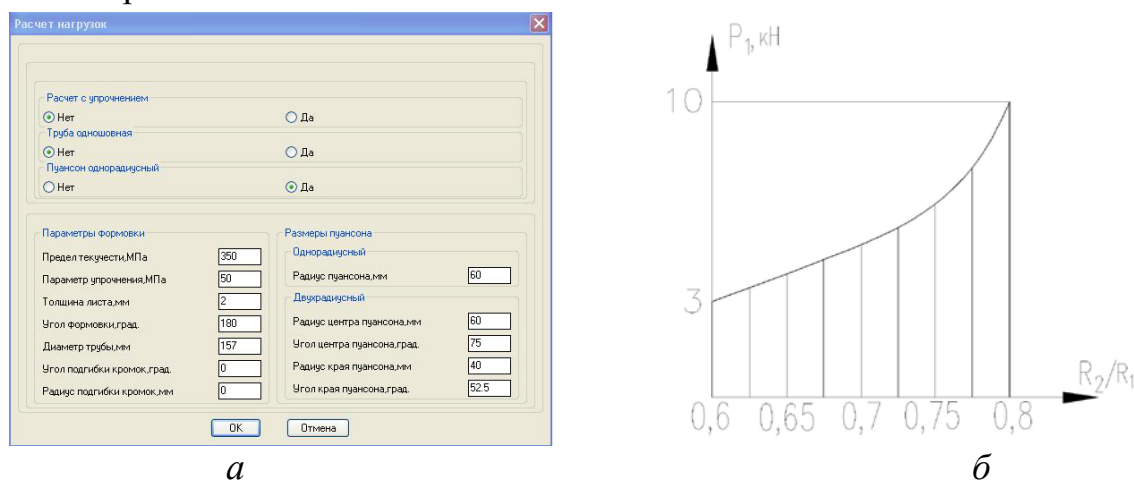


Рис.11. Расчет нагрузки на инструмент: а - диалоговое окно расчета нагрузки, б - силы, действующие на инструмент.

Равнодействующая сил P_1 и P_2 нагружает подшипниковую опору коромысла. Для оценки работоспособности этой опоры можно определить величину равнодействующей по выражению:

$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cdot \cos(180 - (\beta_{П2} - \beta_{Б2}))}. \quad (33)$$

В натурном эксперименте замерялась горизонтальная составляющая равнодействующей, которая может быть найдена по формуле:

$$R_x = P_{1x} + P_{2x} = P_1 \sin \beta_{Б2} + P_2 \cdot \cos(\beta_{П2} - 90). \quad (34)$$

Результаты расчета по формуле 34 при $R_1=60\text{мм}$, показанные на рис. 12, с точностью до 12% совпадают с экспериментальными данными (см.гл.4, рис. 32).

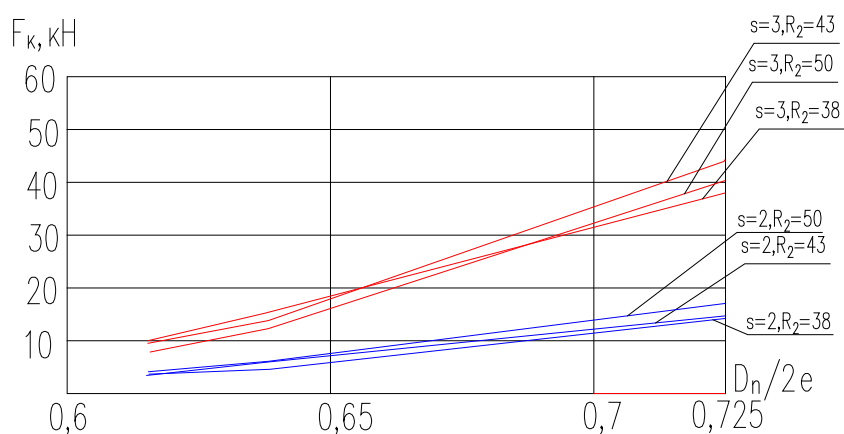


Рис.12. Результаты расчета сил, действующих на стойку коромысла двухрадиусного пуансона

Одним из главных геометрических показателей изделий на стадии предварительной формовки является размер максимальной хорды $a-a_1$ (рис. 13), который, в частности, определяет возможность размещения и позиционирования заготовки в технологическом инструменте прессы окончательной формовки.

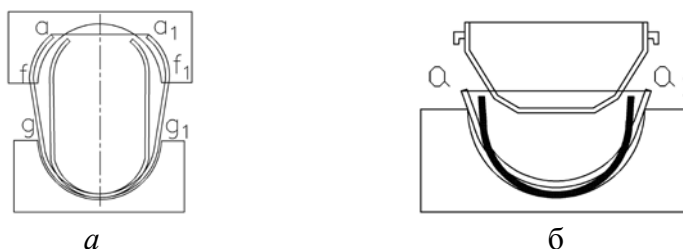


Рис. 13. Относительное положение заготовки и инструмента в прессе окончательной формовки одношовной (а) и двухшовной (б) труб.

Величина хорды пружинения X_{Π} определяется радиусом пружинения и поворотом на угол пружинения свободных участков заготовки не контактировавших с пуансоном в процессе формовки. Расчетные схемы для определения хорды пружинения показаны на рис.14.

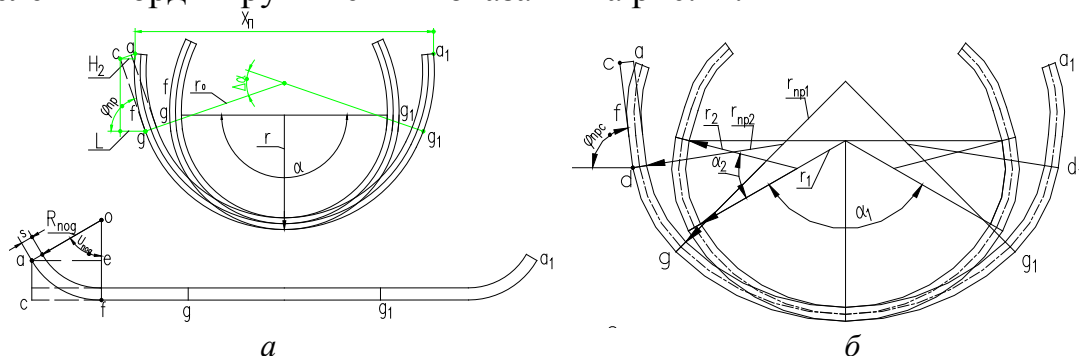


Рис. 14. Схема пружинения для однорадиусного (а) и двухрадиусного (б) пуансона

Угол $\Delta\alpha$ и радиус r_0 пружинения могут быть найдены по известным зависимостям (35) и (36).

$$\Delta\alpha = \frac{1}{E} \left(3\sigma_{\delta} + \Pi \frac{2s}{2r+s} \right) \left(1 + \frac{r}{s} \right) \alpha; \quad (35)$$

$$r_0 = r + \frac{r + 0,5s}{\frac{\alpha}{\Delta\alpha} - 1}. \quad (36)$$

Хорда пружинения aa_1 для однорадиусного пуансона определится по зависимости:

$$aa_1 = 2[(r_0 + S) \sin\varphi_{пр}] + L - 2H_2, \quad (37)$$

где $\varphi_{пр} = 0.5(\alpha - \Delta\alpha)$; $H_2 = (R_{нод} + S)(1 - \cos U_{нод}) \sin\varphi_{пр}$; $L = 2 \text{ сг} \cos\varphi_{пр}$.

Хорда пружинения aa_1 для двухрадиусного пуансона:

$$aa_1 = 2((r_{пр1} - r_{пр2}) \sin\varphi_{пр1} + (r_{пр2} + S) \sin\varphi_{прс}) + L - 2H_2, \quad (38)$$

где $\varphi_{прс} = 0.5(\alpha_1 - \Delta\alpha_c) + (\alpha_2 - \Delta\alpha_k)$; $H_2 = (R_{под} + S)(1 - \cos U_{под}) \sin\varphi_{прс}$; $L = 2 \text{ сд} \cos\varphi_{прс}$.

Расчетное диалоговое окно комплекса разработанного на основе полученных зависимостей приведено на рис. 15.

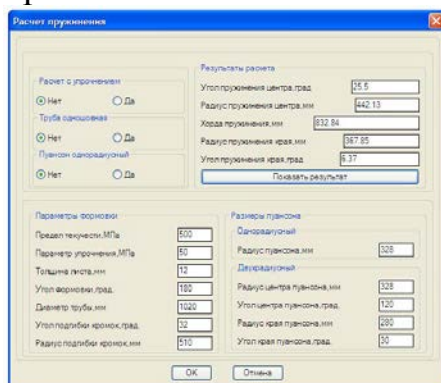


Рис. 15. Диалоговое окно расчета пружинения.

На рис. 16 показаны графики зависимости величины aa_1 хорды пружинения $X_{п}$ от толщины листа S при разных углах формовки, определяемых настройкой упора - «постели», рассчитанные для параметров формовки, приведенных на рис. 16а для однорадиусного пуансона. Различные партии поставляемого металла для формовки труб могут иметь некоторые отклонения механических свойств от номинальной величины. Анализ влияния такого отклонения в пределах 10% показан на рис. 16б.

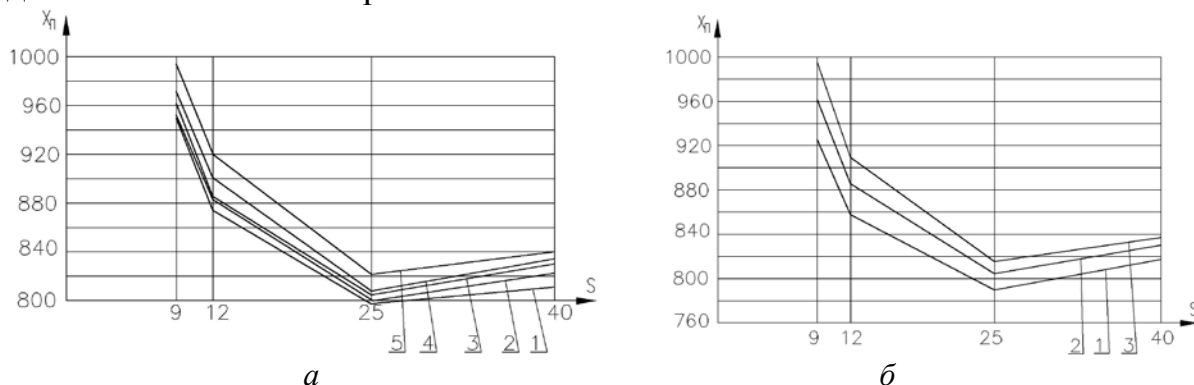


Рис.16. Величина пружинения заготовки после предварительной формовки для различных значениях углов формовки (а): 1-180°, 2-175°, 3-170°, 4-165°, 5-160° и предела текучести заготовки: 1-450МПа, 2-500МПа, 3-550МПа.

На рис. 17 приведены результаты расчетов хорды пружинения $X_{п}$ для двухрадиусного пуансона при различных настройках инструмента и параметрах приведенных на рис. 14. Анализ графиков позволяет установить влияние на величину хорды пружинения радиуса периферийной части сборного пуансона при различных значениях угла формовки, определяемого настройкой «постели».

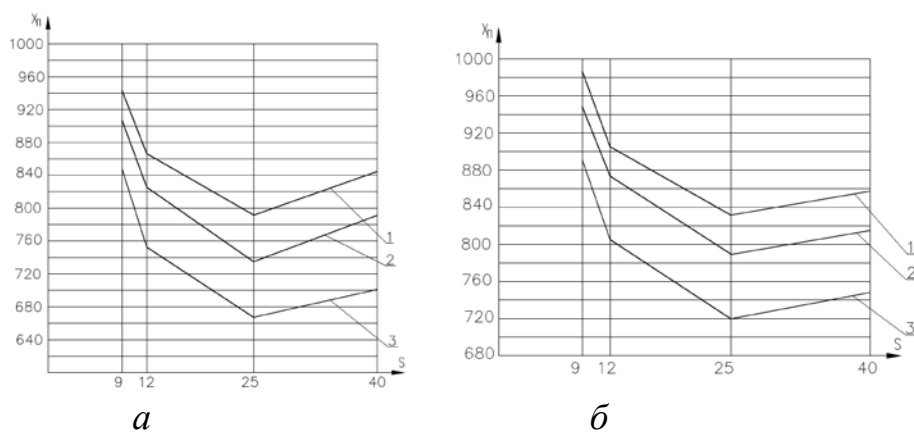


Рис.17. Величина хорды пружинения после предварительной формовки для угла формовки 170° (а) и 160° (б) при различных значениях радиуса периферийной части пуансона: 1-280мм, 2-250мм, 3-218мм.

Графики показывают, что при уменьшении радиуса периферийной части пуансона на 25% хорда пружинения уменьшается на 10%...20%. Следовательно, варьирование соотношением радиусов центральной и периферийной частей пуансона позволяет более гибко влиять на настройку технологического инструмента с целью повышения качества формовки трубной заготовки. Предложенный выбор рациональных параметров настройки и профиля сборного пуансона с учетом остаточных деформаций формируемой обечайки позволяет получать изделия заданной точности при минимальной нагруженности оборудования.

С целью проверки «истории» развития напряженно деформированного состояния при нестационарном законе движения и сложной схеме взаимодействия формообразующего инструмента с изделием выполнены расчеты с применением метода конечных элементов (рис. 18, 19).

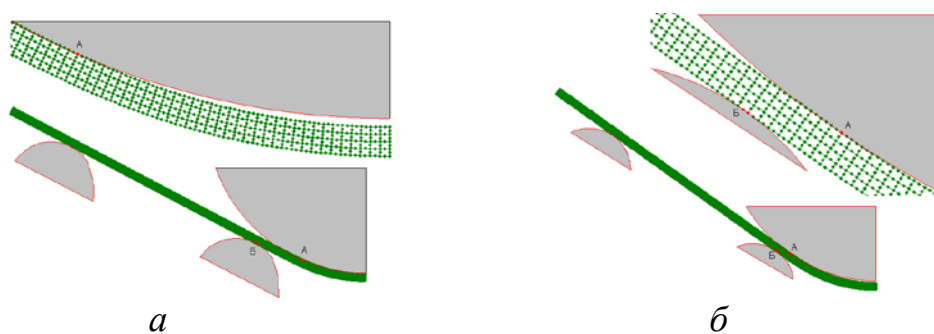


Рис. 18. Положение полосы и инструмента на стадии $\beta_{П}=27,5^{\circ}$ (а) и $\beta_{П}=35^{\circ}$ (б).

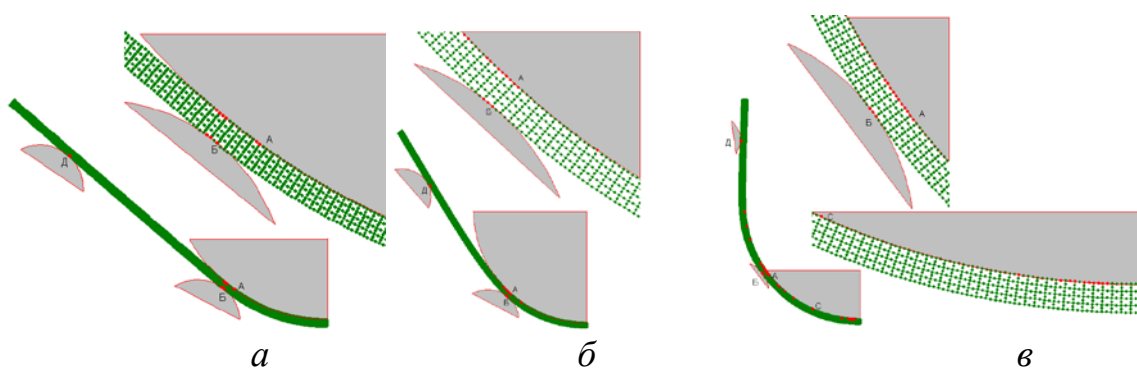


Рис. 19. Положение полосы и инструмента на стадии $\beta_{П}=40,7^{\circ}$ (а), $\beta_{П}=56,4^{\circ}$ (б), $\beta_{П}=90^{\circ}$ (в)

Положение полосы и пуансона после разгрузки показано на рис. 20(а). Одной из характеристик для оценки величины пружинения является угол пружинения. Для определения угла пружинения на рис. 20(а) в Автокаде выполнены дополнительные построения. Для сравнения на рис. 20(б) и 20(в) показаны результаты расчетов по методике изложенной в предыдущем параграфе.

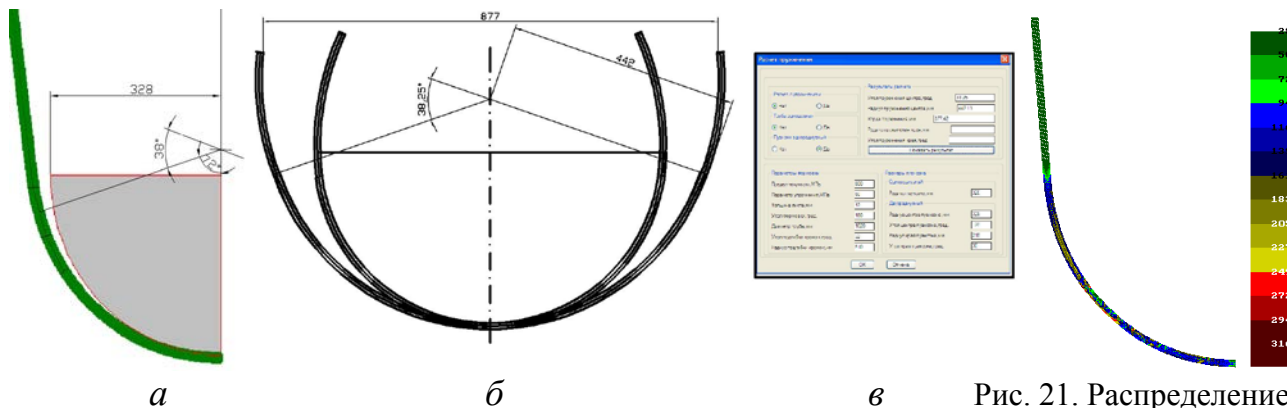


Рис.20. Положение полосы и инструмента после разгрузки

Рис. 21. Распределение интенсивности напряжений σ_1 после разгрузки $\beta_{II}=90^\circ$.

Полученная последовательная палитра изменений напряженного состояния подтверждает допущения, принятые в схеме аналитического моделирования процесса. В частности подтверждены образование ограниченной области «пластического шарнира» во второй фазе процесса в зоне контакта формируемого изделия с дальним роликом и возможность дальнейшего анализа влияния «пружинения» на базе упругопластического состояния металла.

В четвертой главе приведены методика и результаты физического моделирования процесса предварительной формовки труб с использованием сборного пуансона. Для этого были изготовлены специальные виды оснастки для имитационного физического эксперимента на вертикальном гидравлическом прессе усилием 1 МН. В качестве имитационной модели выбраны трубы из стали 09Г2С диаметром 157 мм, длиной 300мм с толщинами стенки от 2 до 6 мм. На основании теории подобия при соответствующем пересчете и определении констант и критериев подобия это позволяет воспроизвести условия и показатели реального процесса производства труб.

При проведении экспериментальных исследований выполнялись замеры следующих параметров: нагрузок в рычажном механизме кулис, нагрузок, действующих в опорном узле рычажного механизма кулис, нагрузок в штоке пуансона, перемещений штока пуансона с текущей регистрацией его положения. Кроме этого решались следующие задачи: обеспечение цифрового формата хранения в компьютерной базе данных измеренных параметров, незамедлительное отображение на экране монитора измеренных параметров по запросу из базы данных или непосредственно в процессе проведения измерений, запись кинематических характеристик при помощи видеорегистрации.

Функционально-структурная схема системы фиксации параметров и взаимосвязи ее компонентов приведены на рис. 22.

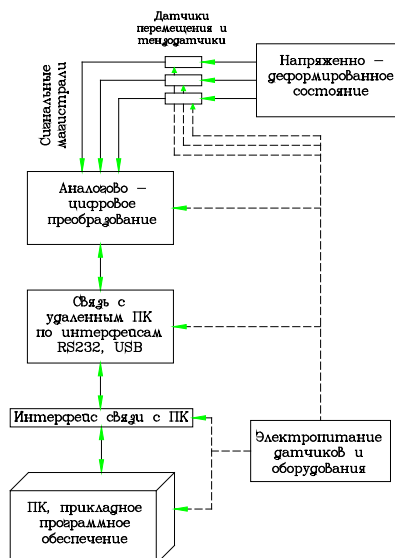


Рис. 22. Структура и функциональные компоненты системы измерений

Тарировка тензоустройств выполнялась на лабораторном прессе, оснащенный измерительной тензосистемой.

Изучение кинематических характеристик процесса предварительной формовки выполнялось при помощи видеозаписи относительного движения технологического инструмента и деформируемой заготовки. На рис.23...26 приведена последовательная серия кадров видеосъемки взаимной кинематики деформирующего инструмента и изделия для одного из сочетаний варьируемых параметров.



Рис. 23.

Начало формовки

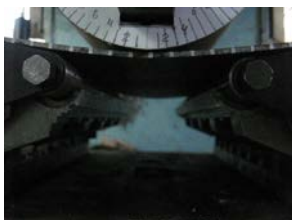


Рис. 24

Начало первой фазы



Рис. 25

Начало второй фазы



Рис. 26

Окончание процесса

Синхронно с видеозаписью кинематики инструмента и деформаций трубы выполнялась компьютерная запись осциллограмм измерения усилий и перемещения пуансона (рис. 27)

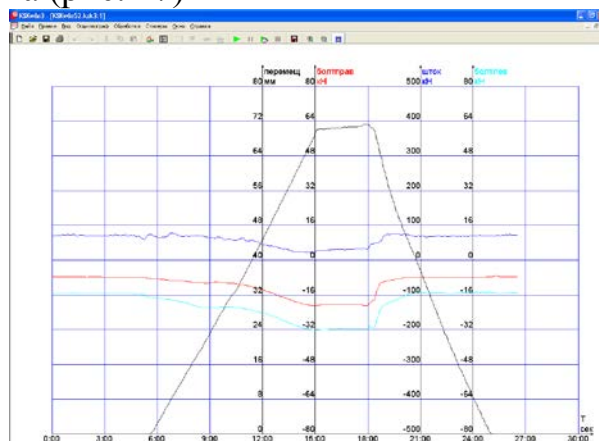


Рис. 27. Типовая осциллограмма экспериментальных измерений

Подобные осциллограммы и результаты видеосъемки получены для всей гаммы варьируемых параметров,

Для оценки точности замеров, растровых изображений выполненных в Автокаде использовались координатно-измерительные машины (рис. 28). Выполненные замеры показали, что погрешность замеров по растровым изображениям не превышает 2% по сравнению с замерами, полученными с помощью координатно-измерительных машин.



Рис. 28. Заготовка после предварительной формовки: схема измерения координат заготовки на КИМ.

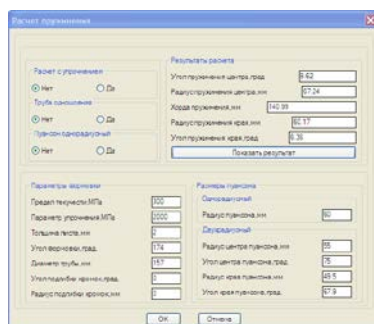


Рис. 29. Расчетное окно хорды пружинения

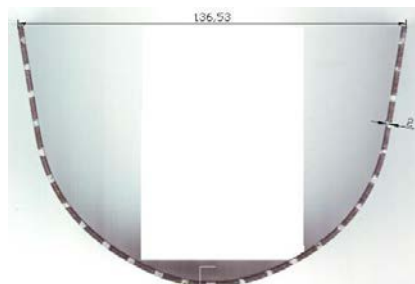


Рис. 30. Отсканированное изображение

Далее выполнялся расчет хорды пружинения в соответствии с разработанной в третьей главе математической моделью (рис. 29) и сравнивался с замером хорды у отсканированного изображения заготовки (рис 30).

Результаты замеров и расчетов показывают, что погрешность расчетов не превышает 5%. Таким образом, выполненные замеры подтверждают теоретические выводы, сделанные в третьей главе.

Кроме этого установлено:

- размеры хорды пружинения после разгрузки не зависят от изменения начального угла наклона коромысел. Вместе с тем увеличение угла разворота коромысел приводит к увеличению хода пуансона до начала первой фазы формовки;
- размер хорды формируемых труб незначительно зависит от межосевого расстояния $2e$ и настройкой его величины можно изменять максимальную хорду в пределах 15%;
- изменение угла формовки настройкой инструмента в сочетании с варьированием профиля поперечного сечения пуансона оказывает наиболее существенное влияние на размер хорды (развала) трубных заготовок, получаемых на прессе предварительной формовки. Так, увеличение угла формовки на 10% обеспечивает аналогичное уменьшение относительного размера хорды (развала);
- применение пуансона двухрадиусного типа с данным сочетанием радиусов позволяет дополнительно на 8-9% уменьшить размер хорды и развала, являясь дополнительным способом управления размерами труб на стадии предварительной формовки.

С целью анализа влияния перечисленных факторов на величину максимальной нагрузки в ходе испытаний на физической модели регистрировали силы, воспринимаемые стойкой качающегося коромысла.

Максимальное значение усилия, воспринимаемого стойкой коромысла, возрастает по мере увеличения соотношения $D_{II}/2e$. Графическое представление этой зависимости показано на рис. 31 и 32, соответственно при использовании однорадиусного и двухрадиусного пуансонов. На рис. 31 красная линия соответствует толщине стенки $S = 3$ мм, а синяя – $S = 2$ мм. На графике, соответствующем двухрадиусному пуансону (рис. 32), синим цветом изображены значения сил при гибке листа со стенкой $S = 3$ мм, а красным – $S = 2$ мм. Соотношение измеренных усилий при одинаковых коэффициентах ширины $D_{II}/2e$ пропорциональны квадрату отношений толщин стенок, что соответствует соотношениям их моментов сопротивления изгибу.

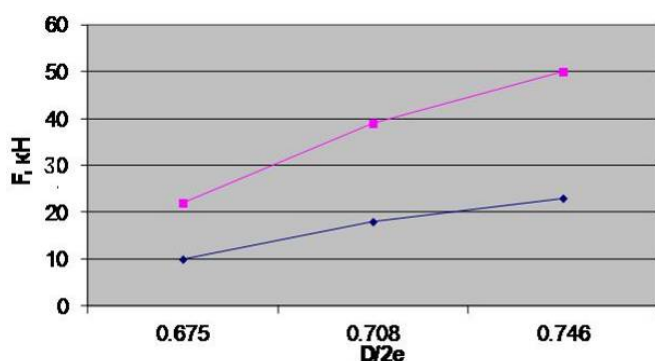


Рис. 31. Величина сил, действующих на стойку коромысла для однорадиусного пуансона

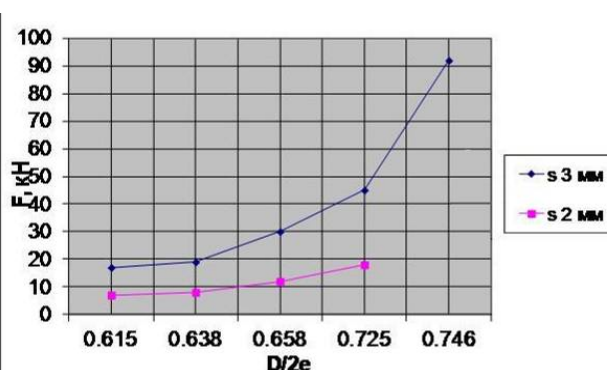


Рис. 32 Величина сил, действующих на стойку коромысла для двухрадиусного пуансона

Как было отмечено выше, сравнение графиков, представленных на рис. 32 с результатами расчета приведенного на рис. 12 показывает, что результаты теоретического моделирования с точностью до 12% совпадают с экспериментальными данными.

Использование двухрадиусного пуансона позволило заканчивать процесс формовки при повышенных значениях углов поворота коромысел, обеспечивающих повышение точности размеров труб. Варьирование значениями $D_{II}/2e$ показало, что с позиций снижения нагрузок на оборудование рационально использовать минимально возможные значения этого параметра при повышенных значениях толщины стенки формируемой заготовки и механических характеристик металла. Предварительная формовка заготовок для двухшовных труб большого диаметра в цехе №6 в настоящее время выполняется при значениях коэффициента ширины $D_{II}/2e$ около 0,633. Переход на формовку труб с толщиной стенки 22 мм из той же марки стали при этих параметрах настройки по сравнению с формовкой труб, имеющих толщину стенки 16 мм (лабораторный аналог $S = 3$ мм), увеличит усилие на инструмент в 1,9 раза. С позиций нагрузок, воспринимаемых оборудованием, в этом случае рационально снизить отношение $D_{II}/2e$ до 0,6. Эффективным способом управления процессом в условиях повышения толщины

стенок и класса прочности исходного материала является применение пуансонов с настраиваемым размером по ширине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании исследования структуры сложного механизма для взаимного перемещения деформирующего инструмента предварительной прессовой формовки U-образной заготовки при производстве сварных прямошовных труб большого диаметра на базе УОЕ-процесса впервые разработана оригинальная математическая модель и программа расчета кинематики многосвязного кулисного механизма с изменяющейся структурой и с промежуточным упруго-пластичным звеном переменной длины, позволяющая определять закон изменения координат взаимодействия трубдеформирующего инструмента с прессуемым изделием в течение всего цикла формовки пуансонами постоянной и переменной кривизны их профиля. Установлено, что цикл предварительной формовки состоит из трех фаз: гибка листа на дальних роликах неподвижных коромысел; формовка листа двумя роликами; формовка листа дальним роликом с передачей (замыканием) усилия формовки от пуансона на ближний ролик через формуемый металл. Получена связь координат взаимно подвижных элементов технологического инструмента с учетом упругопластического состояния формируемой заготовки.

2. Предложен сборный пуансон с настраиваемой геометрией профиля (Патент РФ № 124600), усовершенствованная конструкция которого дает возможность расширить диапазон настройки оборудования для управления геометрией формируемой заготовки и повышения точности ее формы и размеров.

3. Получены расчетные зависимости, разработаны математические модели и компьютерные программы расчетов, позволяющие определять максимальные значения хорды изделия с учетом поворота на угол пружинения участков заготовки, выходящих за пределы крайних линий контакта с пуансоном, а также рассчитывать распределение усилий, действующих на инструмент при кулисной формовке и пуансонах постоянной и переменной кривизны в зависимости от положения деформирующих инструментов и в функции от конструктивных параметров их настройки. Найдены зависимости, устанавливающие связь установочных настраиваемых размеров формовочного инструмента с угловым положением коромысла при заданных ограничениях, исключающих опасность выхода дальнего ролика качающегося коромысла в заключительной стадии за пределы кромки обечайки.

4. Экспериментальные исследования и сопоставление их результатов с расчетными показателями на базе созданных математических моделей ввиду больших временных и вариативных затрат выполнены на лабораторной установке, включающей вертикальный пресс усилием 1МН и оснастку, полностью масштабно имитирующую производственное оборудование. В ходе лабораторных испытаний применен вновь предложенный пуансон с изменяемой геометрией по ширине (размер $D_{п}$) и по профилю (одно и двухрадиусный). Достоверность и обоснованность полученных в диссертации результатов подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов математического

моделирования с экспериментальными данными, полученными в лабораторных условиях. Сравнение результатов физического и математического моделирования на базе предложенных расчетных зависимостей показали, что отличие измеренных значений хорды отличаются от расчетных не более, чем на 5%, а максимальные значения усилий, действующих на опоры коромысел и шток пуансона, находятся в доверительном интервале $\pm 6\%$.

5. Опытная проверка подтвердила расчетные значения и основные тенденции влияния варьируемых параметров на процесс формовки, включая параметры предложенного пуансона с изменяемой геометрией по ширине (размер D_{Π}) и по профилю (одно и двухрадиусный), изменение межосевого расстояния - $2e$ между осями вращения двуплечих коромысел, исходные размеры и механические характеристики деформируемого листа.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК:

1. Песина (Боклаг) Н.Ю. Расчет геометрии инструмента для управления формовкой труб большого диаметра / Чечулин Ю.Б., Песина Н.Ю., Душкин В.М. Кузнецов В.И., Песин Ю.В., Ольков И.С. // Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. № 10. с. 34 – 37. (0,18 / 0,03 п.л.)
2. Боклаг Н.Ю. Кинематика механизма прессовой формовки арочных изделий взаимно подвижным инструментом / Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю., Песин Ю.В., Золотов А.М. // Сталь. – 2013. № 4. с. 55 – 57. (0,14 / 0,035 п.л.)
3. Боклаг Н.Ю. Особенности нагружения технологического инструмента при предварительной формовке труб большого диаметра / Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю., Песин Ю.В., Золотов А.М. // Сталь. – 2014. № 5. с. 68 – 70. (0,14 / 0,035 п.л.)
4. Боклаг Н.Ю. Методика определения пружинения и геометрических параметров при предварительной формовке трубной заготовки труб большого диаметра на прессах / Боклаг Н.Ю., Чечулин Ю.Б., Песин Ю.В., Кугаевский С.С. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. №2. URL: www.science-education.ru/116-12322

Патенты :

5. Патент РФ на полезную модель № 124600. Пуансон предварительной формовки трубной заготовки / Федоров А.А., Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю. и др.; опубл. 10.02.2013 Бюл. №4.

В сборниках научных трудов и материалах конференций:

6. Боклаг Н.Ю. Моделирование процесса предварительной формовки сварных труб большого диаметра / Песин Ю.В., Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю., Кузнецов В.И., Душкин В.М., Ольков И.С. // V Международная научно-техническая конференция «Проблемы исследования и проектирования машин». Сб. статей. – Пенза: Приволжский дом знаний. 2009. с.57 – 58. (0,09 / 0,015 п.л.)

7. Боклаг Н.Ю. Исследование условий процесса предварительной формовки труб на промышленном оборудовании с применением теории подобия / Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю. // Научные труды XVII Уральской международной конференции молодых ученых. – Екатеринбург. 2010. с.23 – 25. (0,14 / 0,07 п.л.)
8. Боклаг Н.Ю. Физическое моделирование предварительной формовки труб с использованием сборного пуансона / Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю. // Труды XIX Международной научно-технической конференции «Трубы-2011». Сб. докладов ОАО «РосНИТИ». – Челябинск. 2010. ч. I. с 224 – 225. (0,01 / 0,005 п.л.)
9. Боклаг Н.Ю. Моделирование формообразования U-образной заготовки для получения прямошовных труб большого диаметра на базе УОЕ-процесса / Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю., Песин Ю.В. // Международный научный журнал «Acta Universitatis Pontica Euxinus». VIII Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». Материалы. В 3 т. Т.1. – Днепропетровск-Варна. 2012. с. 540 – 543. (0,18 / 0,06 п.л.)
10. Боклаг Н.Ю. Анализ напряженно-деформированного состояния и совершенствование инструмента формовки труб большого диаметра / Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю., Песин Ю.В., Золотов А.М. // Труды III Международной научно-технической конференции «Современные металлические материалы и технологии» (СММТ'2013). – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та. 2013. с. 434 – 438. (0,23 / 0,06 п.л.)
11. Боклаг Н.Ю. Основы программирования на языке Python: учебное пособие. / Буйначев С.К., Боклаг Н.Ю. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та. 2014. – 91с. (4,14 / 2,07 п.л.)
12. Боклаг Н.Ю. О расчете пружинения при предварительной формовке трубной заготовки труб большого диаметра на прессах / Боклаг Н.Ю., Чечулин Ю.Б., Песин Ю.В. // Сб. трудов VII Международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении», посвященной памяти чл.-корр. РАН, почетного доктора УрФУ В.Л. Колмогорова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та. 2014. с.389 – 391. (0,14 / 0,05 п.л.)
13. Боклаг Н.Ю. Уравнения кинематики положений инструмента с управляемой геометрией для формовки труб большого диаметра / Песин Ю.В., Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю., Зиомковский В.М. // Сб. научных трудов Международной научно-практической конференции «Развитие машиностроения, транспорта, технологических машин и оборудования в условиях рыночной экономики». Екатеринбург: УрФУ. 2014. с.78 – 83. (0,27 / 0,07 п.л.)

Подписано в печать ..11.06.14 . Формат 60*84 1/16

Бумага писчая. Цифровая печать.

Тираж 120 экз. Заказ № 35

Отпечатано в учебной лаборатории
полиграфии кафедры «Детали машин»

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд.И-120