

На правах рукописи

Николенко Константин Анатольевич

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ КРУТОИЗОГНУТЫХ
ОТВОДОВ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ШТАМПАХ**

Специальность 05 03 05

Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара - 2008

Работа выполнена на кафедре обработки металлов давлением государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени акад. С.П. Королева» (СГАУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Попов Игорь Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Арышенский Владимир Юрьевич
кандидат технических наук, профессор
Комаров Анатолий Дмитриевич

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс» (г. Самара).

Защита состоится «21» марта 2008 г. на заседании диссертационного совета Д 212.215.03 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет» по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.

Автореферат разослан «19» февраля 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук

Клочков Ю.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В конструкциях летательных аппаратов при изготовлении трубопроводных систем, в химической, фармацевтической, нефтеперерабатывающей промышленности широко применяются крутоизогнутые отводы (патрубки) из коррозионно-стойких сталей, титановых и алюминиевых сплавов с относительной толщиной стенки 0,02...0,04 и относительным радиусом кривизны 1...1,5.

Характерными особенностями рассматриваемых деталей является их геометрическая форма, которая приводит к высокой неравномерности деформаций в процессе формообразования.

Существующие в настоящее время способы и устройства формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов (горячая раздача трубной заготовки на рогообразной оправке, изготовление отводов на специализированных прессах ПГФП-20/100, штамповка с помощью полиуретана) не отвечают в полной мере современным рыночным требованиям. Два первых способа создают необходимость использовать при изготовлении тонкостенных отводов дорогостоящие специализированные пресса, что приводит к повышению себестоимости изделия. Штамповка отводов на универсальном оборудовании в штампах с использованием в качестве наполнителя полиуретана так же не отличается низкой себестоимостью. Стойкость эластичных элементов невысока, требуется их постоянное обновление, а стоимость полиуретана в настоящее время на порядок выше стоимости инструментальных сталей.

Такое состояние технологии формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов привело к тому, что ниша рынка элементов трубопроводов занята более дешевой продукцией производства Италии, Испании, Финляндии, Германии и пр.

Одним из направлений, связанных со снижением себестоимости крутоизогнутых отводов в отечественной промышленности является использование широкодоступного универсального оборудования и инструментальной штамповой оснастки.

Таким образом, разработка новых устройств формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов и методик проектирования процессов с использованием универсального оборудования и инструментальной штамповой оснастки, обеспечивающую низкую себестоимость продукции, является важной и актуальной задачей.

Цель работы: Разработать конструкцию штампов и методику проектирования процесса формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Разработать устройства для формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов.

2. Выполнить анализ напряженно-деформированного состояния и выявить особенности механизма формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов в инструментальных штампах моделированием процесса с применением САД-САЕ систем.

3. Разработать методику проектирования процесса формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов.

4. Провести экспериментальные исследования с целью проверить достоверность полученных результатов моделирования; апробировать разработанную методику формообразования; отработать конструкцию промышленной штамповой оснастки.

5. Внедрить результаты исследований в производство.

Методы исследования. Исследование процесса формоизменения тонкостенных крутоизогнутых отводов выполнены в программном конечно-элементном комплексе ANSYS/LS-DYNA. Для моделирования геометрии использованы программные продукты Компас 2D-3D, Unigraphics NX. Основные уравнения и соотношения, применяемые для аналитического анализа процесса формоизменения, выведены с учетом основных положений теории листовой штамповки. Предельные возможности формообразования отводов определены с использованием критериев Колмогорова и Томленова.

Экспериментальные исследования проведены с использованием испытательной машины ЦДМПу-30. Деформированное состояние заготовки в процессе формоизменения определяли методом координатной сетки. Обработку результатов экспериментальных исследований осуществляли с применением методов математической статистики.

Автор защищает конструкцию инструментальных штампов для формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов; постановку задачи и результаты исследования напряженно-деформированного состояния заготовки, выполненные в программном конечно-элементном комплексе ANSYS/LS-DYNA; методику расчета основных технологических параметров процесса формообразования отводов, состоящую из определения формы и размеров заготовки, силовых и предельных параметров процесса, в зависимости от геометрии изготавливаемой детали, механических свойств штампуемого материала и условий трения на контактных поверхностях инструмента и заготовки.

Научная новизна. Выявлены закономерности и установлены особенности формоизменения заготовки в штампах новой конструкции.

Получены аналитические зависимости позволившие определить форму и размеры заготовки, силовые режимы формообразования, предельные параметры процесса;

Достоверность результатов обеспечена обоснованным использованием допущений и ограничений, применяемых в теоретическом анализе, корректностью постановки задач исследования, применением математических методов исследования и подтверждена согласованием результатов теоретического и экспериментального исследований, а также

практическим использованием результатов работы в лабораторно-промышленных условиях.

Практическая значимость. На основании результатов исследования разработана методика процесса формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов на универсальном деформирующем оборудовании. Предложена технология изготовления отводов.

Новый технологический процесс формообразования отводов обеспечивает снижение трудозатрат на 20 – 25% и повышение коэффициента использования материала на 15 – 20 % по сравнению с существующими аналогами.

Реализация работы. По предложенной методике составлена технология и изготовлена промышленная штамповая оснастка для формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов с наружным диаметром 53 мм, толщиной стенки 1,5 мм и радиусомгиба 70 мм из стали 12Х18Н10Т.

Новый процесс внедрен в серийное производство на НПП «Трубодеталь» г. Самара.

Отдельные результаты исследования использованы в учебном процессе ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П.Королева» при подготовке студентов по специальности 05.03.05 - Технологии и машины обработки давлением.

Апробация работы. По материалам работы сделаны доклады на международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии и оборудование при обработке материалов давлением» (Ульяновск 2007 г.); международной научно-технической конференции «Металлофизика, механика материалов и процессов деформирования» (Самара 2004 г.); всероссийской молодежной научной конференции «VII Королевские чтения» (Самара 2003 г.).

Публикации. Опубликовано 9 печатных работ, в том числе по теме диссертации 9. Работ, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией 2, патентов 3 (решений о выдаче патента - 2), материалы международных и всероссийских конференций – 4.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа выполнена на 153 страницах машинописного текста, содержит 97 рисунков и 65 таблиц. Список использованных источников содержит 112 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы основные положения, определяющие ее научную новизну.

В первой главе выполнен обзор литературных источников, посвященных исследованию изготовления тонкостенных крутоизогнутых

отводов. Приведены требования, предъявляемых к изделию, рассмотрены вариации способов и технологий формообразования отводов.

Отмечено, что наибольший вклад в теоретические и экспериментальные исследования формообразования отводов внесли В.И. Ершов, Л.И. Арзамасцев, С.А. Эрбейгель, Э.И. Писменный, А.М. Шнейберг, Ф.П. Михаленко, А.С. Матвеев, В.А. Бойко и др.

Вопрос получения тонкостенных крутоизогнутых отводов удовлетворительно решен в основном с помощью двух способов: раздачей крутоизогнутых отводов по рогообразному сердечнику, проталкиванием заготовки через тороидальный канал разъемной матрицы с применением эластичного наполнителя.

Можно выделить два фактора, вызывающие наибольшие трудности при реализации процесса формообразования. Первым фактором является ограничения, связанные с возникновением гофр при формообразовании. Вторым фактором является ограничения, связанные с пластичностью металла, т.е. при изготовлении отводов с относительным радиусомгиба меньше 1,3 возникает брак в виде разрушения изделия.

Раздача на рогообразном сердечнике осуществляется в горячем состоянии, что увеличивает энерго и трудо затраты на производство деталей и ухудшение поверхности штампуемой детали.

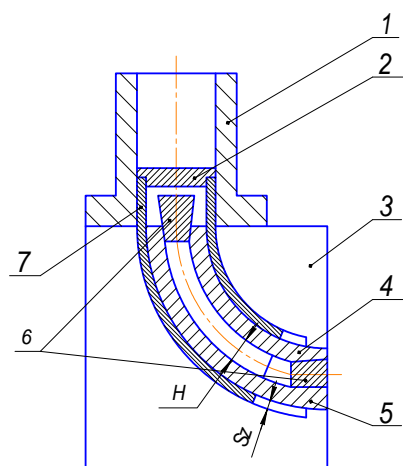
Способом проталкивания заготовки через тороидальный канал разъемной матрицы с применением эластичного наполнителя успешно решаются обе возникающие при формообразовании тонкостенных отводов проблемы. Но трудоемкость и сложность процесса, а также необходимость применения дорогостоящего специализированного оборудования имеющего ограниченное применение, делает этот способ изготовления весьма дорогостоящим.

В результате проведенного аналитического обзора сделаны следующие выводы: несмотря на высокую потребность в тонкостенных крутоизогнутых элементах трубопроводов на данный момент в России нет высокопроизводительной технологии производства данного вида продукции и Российская ниша рынка заполнена продукцией из дальнего и ближнего зарубежья.

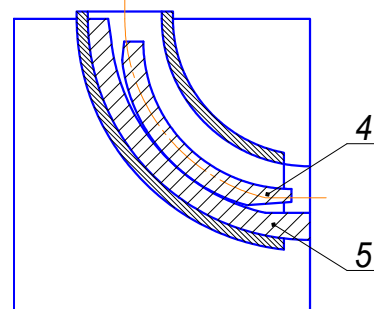
На основании проведенного анализа поставлена цель и задачи, решаемые для достижения поставленной цели.

Во второй главе, описаны разработанные устройства для формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов проталкиванием заготовки в гарантированный зазор образованный инструментальной оснасткой (рисунок 1).

На разработанную конструкцию штампов для формообразования отводов получены три патента (ПАТЕНТ на изобретение № 2294807, ПАТЕНТ на полезную модель № 61607, ПАТЕНТ на полезную модель № 68938).



рабочее положение



завершение процесса деформирования

1 – Направляющая втулка; 2 – Пуансон; 3 – Полуматрицы; 4 - Верхняя составная оправка; 5 - Нижняя составная оправка; 6 – Замок; 7 – Заготовка

Рисунок 1 – Устройства для формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов.

Анализ напряженно-деформированного состояния проводился с использованием конечно-элементного комплекса ANSYS/LS-DYNA, позволяющего моделировать процесс формообразования в разработанной конструкции штампа.

Аппроксимация геометрии оснастки и заготовки конечно-элементной сеткой для решения в ANSYS/LS-DYNA, а также вариации моделируемых параметров сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Аппроксимация геометрии и вариации задач решаемых в ANSYS/LS-DYNA.

Аппроксимация геометрии конечно-элементной сеткой	База данных варьируемых параметров для анализа процесса формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов моделируемая в ANSYS/LS-DYNA			
	Материал заготовки	Форма и размеры заготовки	Трение при формообразовании	Гарантированный зазор оснастки, мм
	12X18H10T OT4 AMг6M	№1 – Без скосов	0,06 0,08 0,1 0,12	1,9 2,3 2,7
		№2 – С симметричными скосами		
№3 – С симметричными скосами и плоским терцем				
№4 – Рациональные размеры заготовки				

Для частных случаев выполнены расчеты с целью определения основных технологических параметров: форма и размеры заготовки; усилие процесса формообразования; предельных параметров процесса.

Получены эпюры распределения интенсивности напряжений и деформаций (таблица 2). Выявлены особенности процесса формообразования. Основным механизмом формообразования является

механизм сдвига продольных сечений (сечений по радиусу искривления отвода), который приводит к незначительному изменению длин образующих заготовки, площади и толщины. Значение сдвиговой деформации имеет разный знак на торцах изделия и равно нулю в образующих по минимальному и максимальному радиусу кривизны.

Сечения со стороны торца заготовки деформируются в условиях схемы напряженно-деформированного состояния близкой к линейной схеме. Наибольшая деформация удлинения в тангенциальном направлении имеет место со стороны минимального радиуса на торцах заготовки.

Получены графики распределения деформации в меридиональном и тангенциальном направлениях (вдоль образующих по минимальному, среднему и максимальному радиусу кривизны детали), на трех характерных стадиях процесса формообразования (таблица 2). Максимальная деформация укорочения наблюдается на торце передающем усилие в меридиональном направлении. Наибольшая деформация удлинения в меридиональном направлении наблюдается в средней части отвода в образующей по максимальному радиусу формообразования.

Определена рациональная форма заготовки. Для группы материалов (12X18H10T, OT4, АМг6М) рассчитаны поправочные коэффициенты, учитывающие изменение длин образующих, что позволило уменьшить припуск на обрезку и повысить КИМ материала (таблица 2).

Установлено влияние величины коэффициента трения на процесс формообразования (рисунок 2). Максимум усилия наблюдается при угле формообразования, равном $\approx 60 \dots 70$ градусов. При этом на начальном этапе процесса (угол формообразования от 0 до 60 градусов) наблюдается рост усилия, затем (угол формообразования от 60 до 90 градусов) его падение.

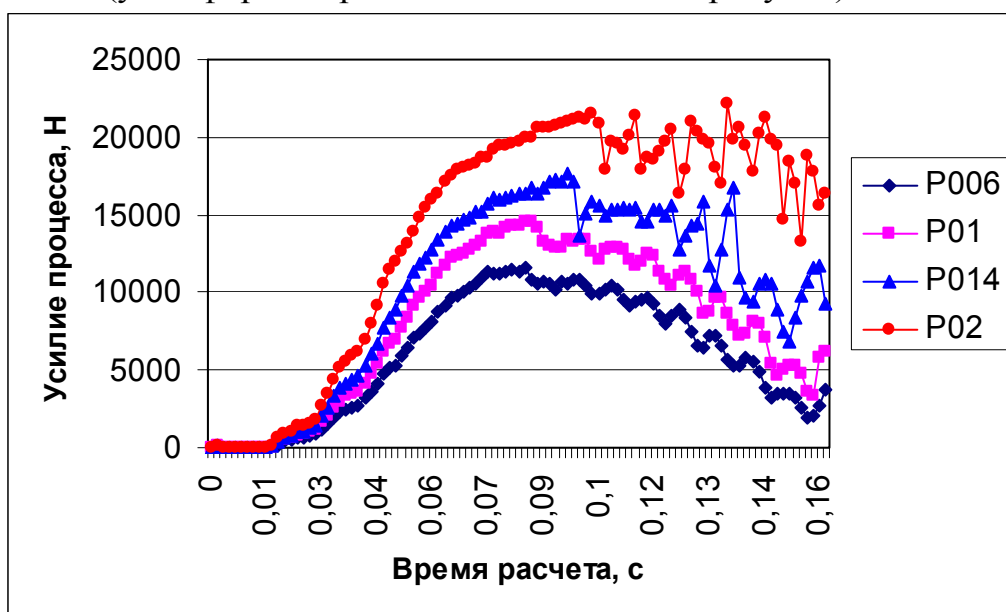
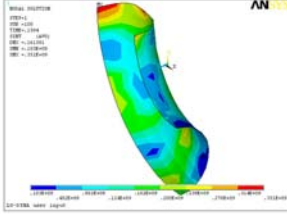
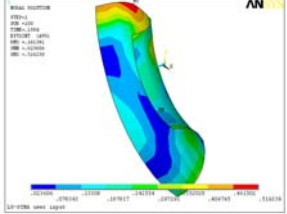
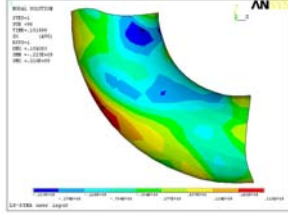
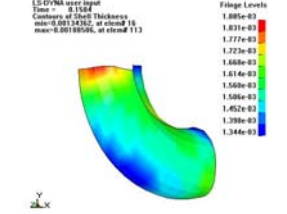
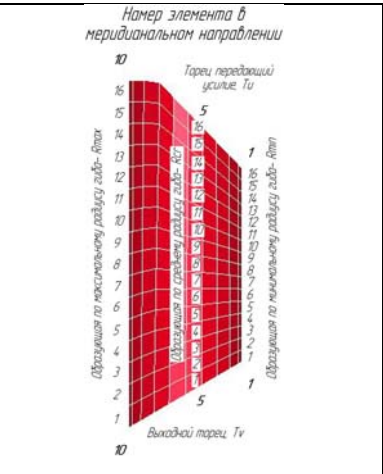
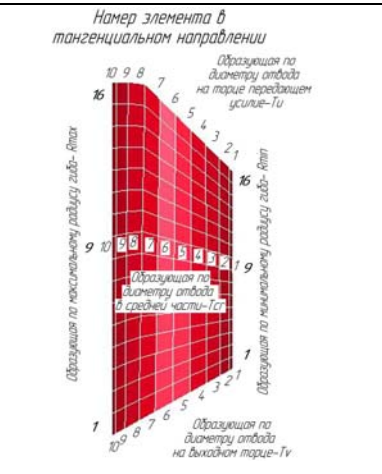
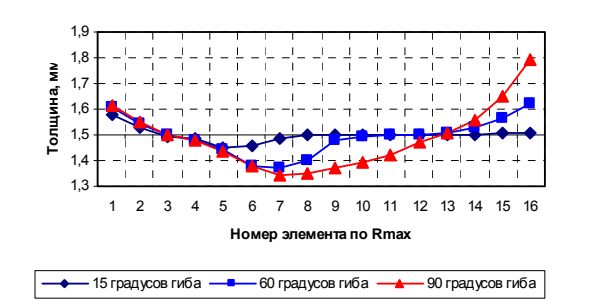
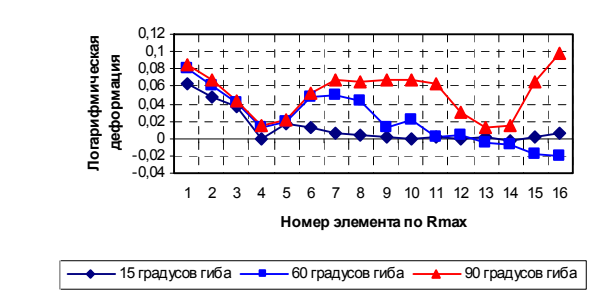
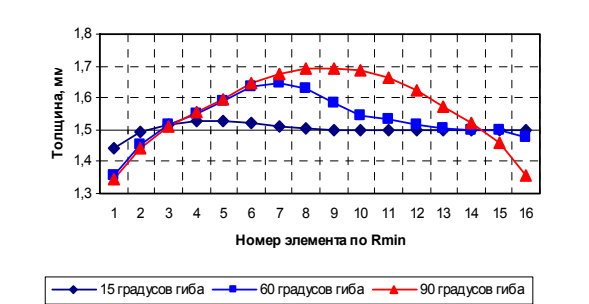
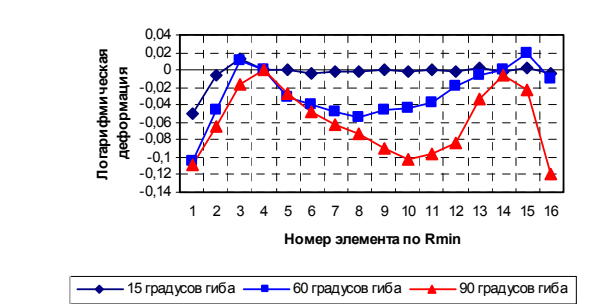


Рисунок 2 – Изменение усилия деформации по ходу процесса.

Таблица 2 – Результаты моделирования процесса формообразования в ANSYS/LS-DYNA.

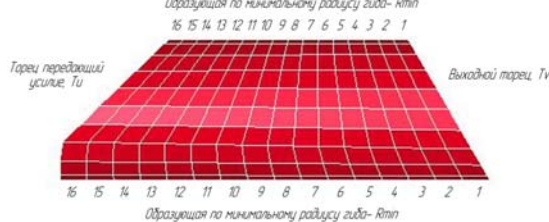
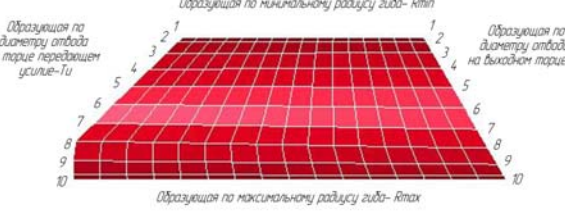
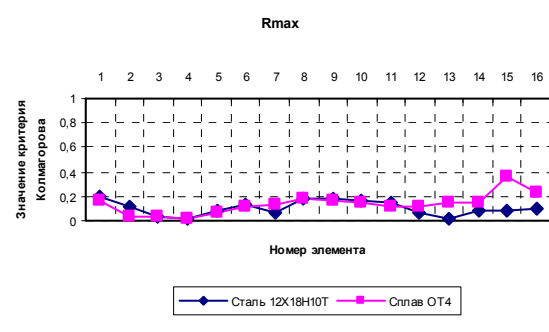
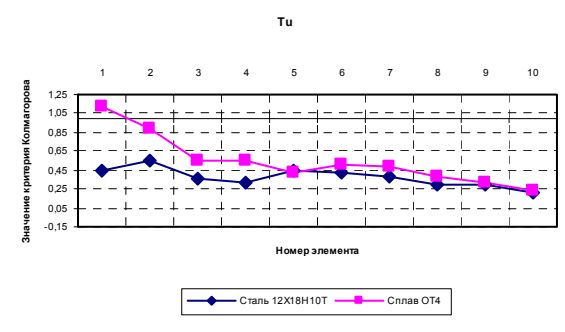
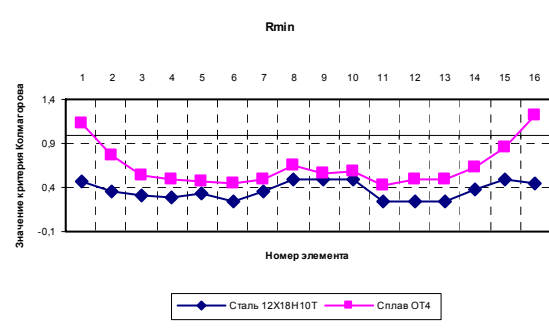
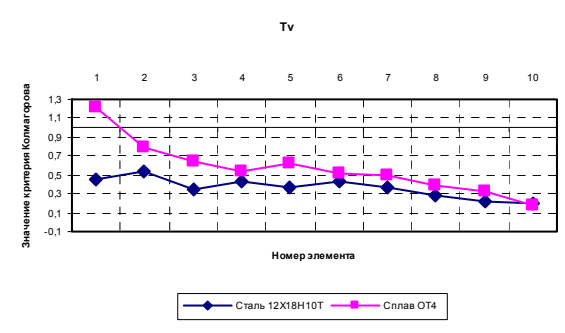
Эпюры распределения напряжений и деформаций			
Интенсивность напряжений	Интенсивность деформаций	Напряжения в меридиональном направлении	Значения толщины отвода
			
Расчетные образующие для замера значения деформация		Поправочные коэффициенты для расчета геометрии заготовки	
			
		Материал	Значение поправочных коэффициентов, %
			kmax kmin U*
		12X18H10T	5,5 4 6
		OT4	4 4 10
		AMg6M	5 3,5 7
Графики распределения деформации вдоль образующих на стадиях формообразования соответствующих 30, 60 и 90 градусам формообразования			
Значение толщины отвода по максимальному радиусу		Деформация в меридиональном направлении по максимальному радиусу	
			
Значение толщины отвода по минимальному радиусу		Деформация в меридиональном направлении по минимальному радиусу	
			

Определены опасные области деформируемой заготовки. При этом рассмотрены два вида дефектов, возникающие при формообразовании: гофрообразование на боковой поверхности и разрушение детали.

Для предотвращения брака в виде гофр, подобран рациональный зазор инструментальной оснастки, препятствующий возникновению гофр, но не приводящего к заклиниванию заготовки.

Для количественной оценки предельной деформации разрушения, использовали критерий Колмогорова. Установлено, что разрушение при формообразовании заготовки из малопластичных материалов происходит на торцах заготовки по образующей с минимальным радиусом кривизны (таблица 3).

Таблица 3 – Определение опасных сечений заготовки.

Порядок замера узлов координатной сетки в меридиональном направлении	Порядок замера узлов координатной сетки в тангенциальном направлении
	
Распределение ресурса пластичности в меридиональном направлении	Распределение ресурса пластичности в тангенциальном направлении
Образующая по максимальному радиусу - Rmax	Образующая на торце передающем усилие - Tu
	
Образующая по минимальному радиусу - Rmin	Образующая на выходном торце - Tv
	

Третья глава посвящена разработке методики проектирования процесса формообразования. Разработанная методика включает определение следующих технологических параметров:

1. Формы и размеров заготовки;
2. Усилие процесса формообразования;
3. Предельных параметров процесса;

Результаты, полученные при анализе напряженно-деформированного состояния с помощью конечно-элементного комплекса ANSYS/LS-DYNA, позволили установить ряд допущения, положенных в основу для вывода аналитической зависимости при определении технологических параметров. Применен метод совместного решения уравнений равновесия и условия пластичности.

Для определения размеров заготовки использовано условие постоянства длин образующих. Форма заготовки представлена на рисунке 3.

Расчет размеров заготовки производили по следующим формулам:

$L_{max}^* = (1 - k_{max})L_{max}$ - длина максимальной образующей заготовка с учетом поправочного коэффициента (длина заготовки), ($k_{max}=0.04...0.05$), где L_{max} - длина заготовки, рассчитанная из условия постоянства длин образующих

$$\xi_{u}^* = \arctg \frac{T_u^*}{D_3 - e} \quad - \text{ угол}$$

скоса заготовки со стороны торца передающего усилие с учетом поправочного коэффициента;

$$\xi_{v}^* = \arctg \frac{T_v^*}{D_3} \quad - \text{ угол}$$

скоса заготовки со стороны

выходного торца с учетом поправочного коэффициента, где T_u^* и T_v^* - катеты, противолежащие углу скоса заготовки со стороны торца передающего усилие и выходного торца соответственно.

Диаметр заготовки - D_3 и толщина - s соответствует диаметру и толщине трубы, из которой изготавливается заготовка.

Размеры контактной поверхности приложения усилия (F_e и e) определяются из условия равенства усилий, одно из которых приложено к торцу заготовки, а другое образовано силами трения по поверхности контакта заготовки с инструментом. При этом суммарная площадь трения равна площади средней поверхности заготовки.

Для определения усилия формообразования определено максимальное меридиональное напряжение на торце приложения усилия (площадки под толкатель):

$$\sigma_{\rho}^{\max} = -\sigma_s \frac{R_{\rho}}{R_{\theta}} (\exp(-f\alpha) - 1)$$

Площадь торца заготовки для приложения внешнего усилия:

$$F_e = \frac{f\pi^2 s D_3}{2}$$

Высота дуги, ограничивающая площадь торца заготовки:

$$e = R_{\theta} \left(1 - \cos \frac{\theta_{cp}}{2} \right)$$

где θ_{cp} - угол, ограничивающий величину скоса.

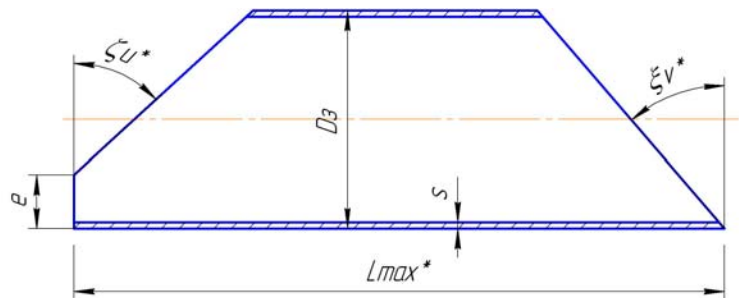


Рисунок 3 - Форма и размеры заготовки.

Для расчета усилия необходимо учесть упрочнение. Упрочнение учтем линейной зависимостью. В качестве интенсивности деформаций примем деформацию сдвига. Деформация сдвига определяется из геометрических соотношений, по размерам исходной заготовки и готовой детали, когда торцы детали приняли форму сечения в виде кольца.

Таким образом, усилие, необходимое для проталкивания заготовки в гарантированный зазор жесткой инструментальной оснастки определяется следующей зависимостью:

$$P_{\text{прот}} = \frac{\pi^2 f^2 (\sigma_{\text{ТО}} + \Pi \gamma) s D_s \alpha R_p}{2 R_{\theta}}$$

где γ - интенсивность деформаций; f – коэффициент трения; α – угол формообразования; R_p – радиус кривизны детали; R_{θ} – радиус детали.

Для определения предельной степени деформации выбран критерий Томленова. Считая, согласно предварительному анализу в ANSYS/LS-DYNA, что наибольшее значение интенсивности деформаций имеет место на кромке в области минимального радиуса формообразования, при условии, что схема напряженно-деформированного состояния близка к линейной, за интенсивность деформаций принята максимальная деформация тангенциального растяжения, а за интенсивность напряжений тангенциальное напряжение растяжения. Таким образом, величина деформации на торце равна величине тангенциальной деформации элемента и определена аналитической зависимостью:

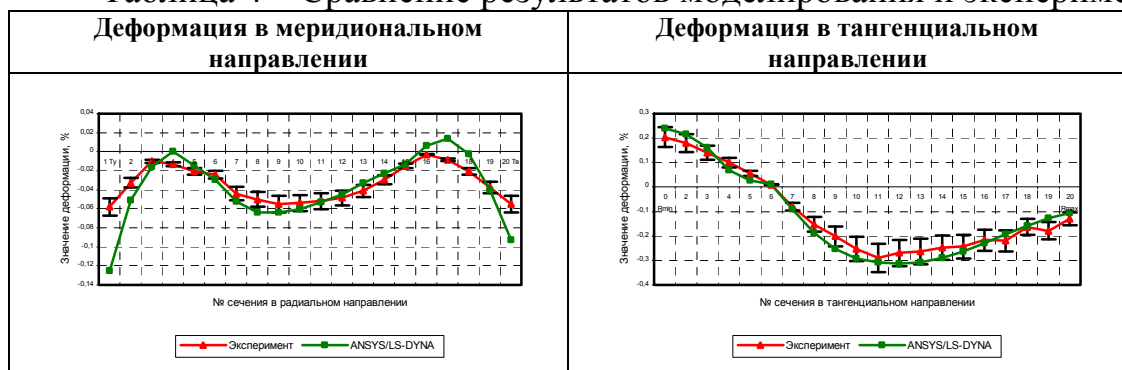
$$E_{\theta} = \frac{\sigma_{\text{ТО}}}{\Pi} \left(\exp \left(f \left(\frac{2\Pi}{\sigma_{\text{ТО}} f} \operatorname{Ln} \left(\frac{\pi(1,5(a+b) - \sqrt{ab})}{2\pi R_{\theta}} \right) \right) \right) - 1 \right)$$

где a, b – полуоси эллипса, образованного в результате скола торца;

В четвертой главе дано описание методики проведения и результаты экспериментальных исследований. Эксперименты выполнены с использованием экспериментальной и опытно-промышленной штамповой оснастки для материалов: сталь 12X18H10T, титановый сплав ОТ4, алюминиевый сплав АМгЗ.

С целью определения достоверности результатов расчета с применением ANSYS/LS-DYNA (тестирования программного продукта), проведена серия экспериментов. Установлено, отклонение расчетных и экспериментальных данных не превышает 15-18 процентов (таблица 4).

Таблица 4 – Сравнение результатов моделирования и эксперимента.



Размеры исходной заготовки определяли по разработанной методике. Она дает возможность получить припуск на обрезку торцев в пределе (2...3) толщин.

Проведены исследования по подбору смазки для минимального коэффициента трения. Выбраны условия нанесения, обеспечивающие минимальное значение усилия процесса. Определено усилие процесса с использованием предложенной методики. Погрешность не превышает 18 %.

Проведена серия экспериментов для формообразования отводов из малопластичных материалов (титановый сплав ОТ4, алюминиевый сплав АМг3). Подтверждено предположение, что разрушение отводов происходит на торцах по минимальному радиусу кривизны (рисунок 4).



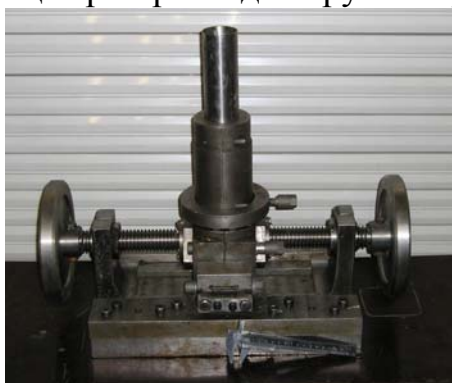
Рисунок 4 – Разрушение торцев при формообразовании.

В результате проведенных исследований отработана конструкция опытно-промышленной штамповой оснастки (рисунок 5).

Подтверждена достоверность разработанных аналитических зависимостей для расчета основных технологических параметров.

В **пятой главе** по разработанной методике составлена технология для изготовления тонкостенных крутоизогнутых отводов из стали 12X18H10T с наружным диаметром $D_n=53\text{мм}$, толщиной стенки $S=1,5\text{мм}$, средним радиусомгиба - $R_{гср}=70\text{мм}$ (рисунок 5).

В системе трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС 3D разработана конструкция полуавтоматической штамповой оснастки, служащая резервом для крупносерийного и массового производства.



Промышленная штамповая оснастка



Промышленная партия тонкостенных крутоизогнутых отводов из стали 12X18H10T

Рисунок 5 – Результаты внедрения в производство.

Внедрение предложенной технологии производства отводов осуществлено на НПП ООО «Трубодеталь».

Экономический эффект с партии в 500 штук составляет 46500 рублей.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработаны устройства формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов в жестких инструментальных штампах на универсальном оборудовании, защищенные патентами № 2294807, № 61607, № 68938.

2. С помощью моделирования процесса в конечно-элементном комплексе ANSYS/LS-DYNA установлены особенности механизма формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов проталкиванием заготовки в зазор, образованный инструментальной оснасткой.

Основным механизмом формообразования является сдвиг продольных сечений, что приводит к незначительному изменению длин образующих заготовки, площади и толщины.

Определено напряженно-деформированное состояние процесса, позволяющее принять основные допущения: сечения со стороны торца заготовки деформируются в условиях, близких к линейной схеме напряженно-деформированного состояния; наибольшая деформация удлинения в тангенциальном направлении имеет место со стороны торцов по минимальному радиусу формообразования; вследствие преимущественно сдвигового механизма формообразования в качестве интенсивности деформаций примем деформацию сдвига.

3. Выведены аналитические зависимости для расчета основных технологических параметров на основании которых разработана методика проектирования процесса формообразования. Методика включает расчет следующих параметров: форма и размеры заготовки; усилие процесса формообразования; предельных параметров процесса;

4. Проведен эксперимент, для тестирования программного продукта ANSYS/LS-DYNA. Проверены аналитические зависимости для расчета основных технологических параметров. При сравнении значений, отклонение не превышает 15-20 процентов;

5. Разработанная методика внедрена в технологический процесс изготовления тонкостенного крутоизогнутого отвода с наружным диаметром $D_n=53$ мм, толщиной стенки $S=1,5$ мм, средним радиусомгиба - $R_{гср}=70$ мм, из стали 12X18H10T. Внедрение в производство осуществлено на предприятии НПП ООО «Трубодеталь» и подтверждено соответствующим актом. Экономический эффект с партии в 500 штук составляет 46500 рублей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО

в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях:

1. Попов И.П. Формообразование тонкостенных крутоизогнутых отводов в жестких инструментальных штампах // И.П. Попов, В.Д. Маслов, К.А. Николенко. Заготовительное производство. - 2007. - №1. - С. 46-50.

2. Маслов В.Д. Изготовление тонкостенных отводов для высокоресурсных трубопроводов летательных аппаратов // В.Д. Маслов, И.П. Попов, К.А. Николенко. Авиационная промышленность. – 2006. - №3. - С. 56 - 59.

в других изданиях:

3. Попов И.П. Исследование формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов в жестких инструментальных штампах на универсальном оборудовании / И.П. Попов, К.А. Николенко // Международная научно-техническая конференция «Прогрессивные технологии и оборудование при обработке материалов давлением», Сборник трудов – Ульяновск, , 2007. - С. 43 - 45.

4. Попов И.П. Механизм формообразования тонкостенных отводов с минимальной разнотолщиной / И.П. Попов, К.А. Николенко // Международная научно-техническая конференция «Металлофизика, механика материалов и процессов деформирования». Сборник трудов – Самара, СГАУ, 2004. - С. 28.

5. Попов И.П. Создание математической модели формообразования тонкостенных отводов с минимальной разнотолщиной / И.П. Попов, К.А. Николенко // Международная научно-техническая конференция «Металлофизика, механика материалов и процессов деформирования». Сборник трудов – Самара, СГАУ, 2004. - С. 29.

6. Попов И.П. Повышение эффективности технологии изготовления тонкостенных отводов путем разработки конструкции опытно-промышленного штампа на основе нового способа формообразования с применением жесткой оправки / И.П. Попов, К.А. Николенко // Всероссийская молодежная научная конференции «VII Королевские чтения». Сборник трудов – Самара, СГАУ, 2003. - С. 53.

получены:

7. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов / Попов И.П., Маслов В.Д., Николенко К.А., Брусин В.Д., Михеев В.А., Хритин А.А. - ПАТЕНТ на изобретение № 2294807, 2005.

8. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов / Попов И.П., Маслов В.Д., Николенко К.А., Шляпугин А.Г. - ПАТЕНТ на полезную модель № 61607, 2006.

9. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов / Попов И.П., Маслов В.Д., Николенко К.А. - ПАТЕНТ на полезную модель № 68938, 2007.