

На правах рукописи

ЛЕОНТЬЕВ ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ СПОСОБОМ ОБКАТКИ НА ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ

05.07.02 –«Проектирование, конструкция и производство летательных
аппаратов»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Казань 2019

Диссертация выполнена на кафедре «Технологии машиностроительных производств» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ».

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Катаев Юрий Павлович

Официальные оппоненты:

Якупов Нух Махмудович, доктор технических наук, профессор, федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», «Институт механики и машиностроения», заведующий лабораторией нелинейной механики оболочек.

Кулик Юрий Павлович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Космические системы и ракетостроение».

Ведущая организация:

АО «Ульяновский научно-исследовательский институт авиационных технологий и организации производства», г.Ульяновск.

Защита диссертации состоится 16 сентября 2019 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д212. 079.11 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ» по адресу: 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева- КАИ» :

http://old.kai.ru/science/disser/files/file_276/text_diss.pdf

Автореферат разослан _____ 2019г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.079.11
кандидат технических наук

Левшонков Никита Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие авиационной и ракетно-космической техники базируется на использовании современных достижений науки и техники. Наряду с повышением технических параметров конструкций совершенствуются их производство. Модернизация производства включает создание новых конструкционных материалов, алюминиевых и титановых сплавов, высокопрочных и жаропрочных сталей, полимерных и металлических композиционных материалов и способов их обработки.

Создание новых конструкционных материалов обуславливается необходимостью повышения прочностных и технологических свойств материалов, а также необходимостью получения материалов с особыми свойствами. Получение новых металлических и полимерных композиционных материалов требует создания новых технологических процессов формообразования, а также совершенствования применяемых процессов. Поэтому представленная работа, направленная на разработку эффективных процессов формообразования деталей летательных аппаратов, является актуальной и необходимой.

Целью работы является совершенствование процессов изготовления из листового металла тонкостенных глубоких деталей летательных аппаратов.

В соответствии с целью работы возникает следующая постановка задач.

Задачи исследования:

1. Разработка новых способов формообразования глубоких полых деталей с произвольным контуром поперечного сечения.

2. Разработка конструктивных схем оборудования, конструкций оправок, инструмента и технологической оснастки для предложенных новых способов формообразования глубоких полых деталей с произвольным контуром поперечного сечения.

3. Экспериментальные исследования эффективности предложенных способов и конструкций.

4. Определение напряженно-деформированного состояния заготовки, определение технологических параметров предложенных новых процессов формообразования глубоких полых деталей.

5. Определение геометрии заготовки и количества переходов процесса формообразования глубоких полых деталей с произвольным контуром поперечного сечения.

Научная новизна работы заключается в том, что разработаны новые процессы формообразования глубоких полых деталей летательных аппаратов, предложены конструкции оборудования и новые конструкции технологической оснастки разработанных процессов, получены расчетные соотношения для определения напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе формообразования и соотношения для определения технологических параметров процессов формообразования, а также зависимости для определения геометрической формы исходных заготовок.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Новый способ формообразования из листового металла полых тонкостенных деталей летательных аппаратов – способ обкатки;

2. Конструктивная схема станка и новые конструкции инструментов и технологической оснастки для формообразования полых тонкостенных деталей способом обкатки;

3. Математическая модель и метод расчета напряженно-деформированного состояния листовой заготовки при формообразовании из листового металла полых тонкостенных деталей способом обкатки;

4. Метод расчета технологических параметров процесса формообразования из листового металла полых тонкостенных деталей способом обкатки.

5. Способ определения геометрической формы заготовки для формообразования деталей способом обкатки.

Практическая ценность работы заключается:

в разработке нового способа формообразования из листового металла глубоких полых тонкостенных деталей - способа обкатки и его разновидностей;

в разработке конструктивной схемы станка, конструкций инструмента и технологической оснастки для изготовления деталей способом обкатки;

в получении расчетных уравнений для определения оптимальных параметров процесса формообразования глубоких полых деталей способом обкатки;

в расширении возможностей изготовления из листового металла глубоких полых деталей летательных аппаратов методом пластического деформирования;

Методы исследования имеют экспериментально-теоретический характер. Они базируются на экспериментальных исследованиях и на общепризнанных научных теориях: механика деформированного твердого тела, механика упругопластических деформаций, теория формообразования тонкостенных деталей.

Апробация работы: материалы работы докладывались на 21 Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире» 25-26 апреля 2019 года в ФГБОУВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова» (Рубцовский филиал) и в Казанском научно-исследовательском институте авиационных технологий 12 марта 2018 года.

Практическая реализация. Результаты исследования показали свою эффективность при использовании в АО «Казанский научно-исследовательский институт авиационной технологии», в ООО «Казанский агрегатный завод», а так же реализуется при подготовке магистерских выпускных работ на кафедре «Технологии машиностроительных производств» КНИТУ им.А.Н.Туполева.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 2 статьи в журналах из списка ВАК, 7 патентов на изобретение РФ, 3 статьи в журнале «Вестник КГТУ им.А.Н.Туполева».

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения по работе, приложений и списка литературы из 116 наименований. Работа изложена на 101 странице машинописного текста, содержит 41 рисунок и одну таблицу.

Глава 1. Состояние вопроса в области формообразования деталей летательных аппаратов из листового металла и постановка задач исследования

1.1 Конструкционные материалы летательных аппаратов.

Развитие авиационно-космической техники связывается с применением высокопрочных полимерных композиционных материалов, в которых в качестве наполнителя используются высокопрочные углеродные волокна, волокна бора и другие высокопрочные волокна. В конструкциях современных вертолетов и самолетов более 30% веса конструкций составляют углепластиковые детали. Определенную конкуренцию полимерным композиционным материалам составляют композиционные металлические материалы, материалы на основе никель-марганцевых сплавов, композиционные материалы из металлов и углеродных карбидных соединений, нитридов, керамики.

Создание металлических композиционных материалов преследует цель получения материалов с определенными свойствами. Разрабатываются новые технологии, обеспечивающие повышение прочностных свойств металлических сплавов: микролигирование сплавов титаном, магнитоимпульсная и плазменная обработка материалов, получение мелкодисперсной структуры металлических сплавов пластическим деформированием. К этим же технологиям относится модификация технологии литья.

Таким образом, наряду с полимерными композиционными материалами металлические композиционные материалы, высокопрочные жаропрочные стали, титановые сплавы, композиционные металлические материалы на основе алюминия, сплавов алюминия широко применяются и имеют перспективу использования в авиационной промышленности, ракетостроении и других отраслях.

1.2 Формообразование деталей из листового металла

Детали из листового металла составляют большой класс деталей в конструкциях летательных аппаратов. К ним относятся обшивки внешних обводов, люки, обеспечивающие доступ к узлам и агрегатам летательного аппарата, детали коробчатой формы, полые цилиндрические детали.

Изготовление обшивок может выполняться методами обтяжки по формблоку на обтяжных прессах. При этих процессах прикладываются растягивающее усилие и разгибающий момент. Эти силовые факторы могут прикладываться в различной последовательности: растяжение-изгиб, изгиб-растяжение, растяжение-изгиб-растяжение, изгиб с одновременным растяжением.

Процессы гибки осуществляются на универсальных станках методом гибки-прокатки. Форма детали определяется программой, обеспечивающей взаимное положение валков. Универсальность оборудования является преимуществом этого метода.

Процессы листовой штамповки имеют различные схемы деформирования. Листовые детали одинарной и двойной кривизны могут быть получены формообразованием в штампах с сопряженными пуансоном и матрицей. Зачастую жесткую конструкцию элементов штампа заменяют эластичной матрицей. Эластичные элементы штампа могут заменяться жидкой средой. Пуансон оказывает давление на жидкую среду, которая обеспечивает формообразование листовой заготовки. Для устранения растекания жидкости и улучшения условий работы жидкость помещают в эластичный мешок.

Штамповка с помощью жидкости осуществляется при электрогидравлическом формообразовании. Давление в жидкости обеспечивается электрическим разрядом между электродами.

При Электромагнитной штамповке разряд батареи конденсаторов производится через индуктор, который создает сильное электромагнитное поле, воздействующее на заготовку и обуславливающее ее деформацию.

Полые детали из листа получают также методом вытяжки. Для этого создается штамповая оснастка, состоящая из матрицы, пуансона и прижима. Универсальным способом получения полых симметричных деталей является способ ротационного формообразования (рис.1). В этом случае обжимной ролик, двигаясь вдоль оси вращающейся оправки, прижимает первоначально плоскую заготовку, закрепленную на оправке, к поверхности этой оправки. Процесс ротационного формообразования может осуществляться с утонением и без утонения листовой заготовки.

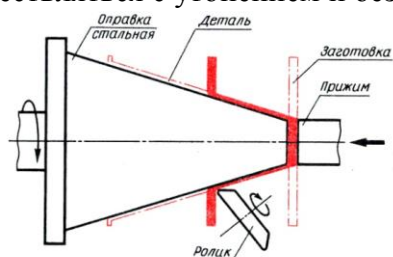


Рис.1 Ротационная вытяжка деталей

Таким образом, процессы получения деталей из листового металла характеризуются большим разнообразием. Формообразование выполняется использованием оснастки и специального оборудования. Применяемое оборудование является специализированным и дорогостоящим, а штамповая оснастка сложна в конструктивном исполнении. Поэтому дальнейшее совершенствование процессов получения деталей из листового металла является важной задачей.

1.3 Исследования процессов листовой штамповки

В работах А.А.Ильюшина и Н.И.Безухова показано, что уравнения механики деформации предполагают, что процесс деформации соответствует условию простого нагружения. Вместе с тем они полно описывают процесс деформации при условии более сложного протекания упругих и пластических деформаций.

Вопросы разработки технологических процессовковки и объемной штамповки изложены в четырехтомном справочнике «Ковка и штамповка», подготовленном коллективом авторов Е.И. Семеновым, О.А.Гонаго. Л.И. Живовым, Г.Д. Лепеньшиным, А.Д. Матвеевым, Г.А. Норицыным, И.Н.Филькиным.

Теоретические вопросы механики пластических деформаций при процессах формообразования рассмотрены М.В.Сторожевым, Р.Хиллом, Д. Колларовым . Э. Томсенom. Теория листовой штамповки изложена в работах Е.А. Попова.

Обширное теоретическое и экспериментальное исследование листовой штамповки представлены в работе «Основы теории обработки металлов давлением» под редакцией М.В. Сторожева коллективом авторов: С.И.Губкин, Б.П. Звороно, В.Ф. Катков, И.А. Норицын, Е.А. Попов, Г.А. Смирнов-Аляев, А.Д. Томленов, Е.П. Унксов, Л.А. Шофман. В этой работе развивается метод линий скольжения, получивший развитие от работ Л. Прандтля, Г. Генки, А. Надаи, Г. Гейрингера, В. Прагера, С.Г. Михлина.

Практическое значение для решения вопросов листовой штамповки имеет справочник В.П. Романовского, атлас схем листовой штамповки В.Т. Мещерина, работы М.И.Лысова и И.М.Закирова. Получение полых деталей методом вытяжки исследовано в работах Л.А. Шофмана.

Определение напряженно-деформированного состояния металла в процессе формообразования осуществляется на основании рассмотрения дифференциальных уравнений равновесия, физических и геометрических уравнений.

При расчетах конструкций на прочность используется также численный метод конечных элементов. Это метод применяется и для решения задач пластического деформирования и разрушения материалов. Схемы и рекомендации по организации процессов ротационного формообразования рассмотрены в работах В.Т.Мещерина, Н.И.Могильного и М.А. Гредитора.

Определению технологических параметров существующих процессов формообразования деталей из листового металла посвящены работы, использующие различные допущения, возможные для определенного процесса.

1.4. Конструкторско-технологические разработки по формообразованию деталей из листового металла Новые процессы и штамповая оснастка для изготовления деталей из листового металла разрабатываются в ФГУП ГКНПЦ им. М.В.Хруничева. Крупногабаритные оправки для ротационного выдавливания деталей из листового металла выполняется из отдельных секций, состыкованных и скрепленных между собой болтовыми соединениями.

На предприятии п/я А-7204 ротационную обкатку тонкостенных полых изделий осуществляют роликом, выполненным в виде дисков, расположенных на одной оси, между которыми находится давяльный элемент из полимерного материала.

ФГУП ГНПП «Сплав» вытяжку оболочек сложного профиля выполняет воздействием на заготовку деформирующими роликами с разделением деформаций между роликами на несколько очагов.

ОАО «КБ Химавтоматика», занимающееся изготовлением оболочек сложной формы, осуществляет формообразование многопереходной давяльной обработкой листовой заготовки, зафиксированной на оправке. При продольном перемещении давяльного инструмента формообразование проводят одновременно двумя давяльными роликами: черновым и чистовым.

В работах Алтайского ГТУ им. И.И.Ползунова исследуются конструкции зажимных устройств и стержневых штамповых элементов при изготовлении тонкостенных деталей.

В Орловском ГТУ разработана конструкция пружинного давилного инструмента для обкатки тонкостенных полых изделий, содержащего установленный в державке посредством оси ролик, выполненный в виде двух дисков между которыми расположен давилный элемент. Давильный элемент выполнен в виде свернутой в кольцо цилиндрической пружины, изготовленной из металлической полосы, обладающей пружинящими свойствами. Пружины могут быть заменены пучком ворса из металлической проволоки.

И.Р. Розовским, В.М. Волчковым, В.Н. Каратаевым представлена конструкция гибочного штампа, в которой пуансон и матрица выполнены в виде пакетов из пластин. Штамп снабжен механизмами изменения профилей рабочих поверхностей пуансона и матрицы.

Конструкторско-технологические работы выполняются по направлениям создания новых способов формообразования деталей из листового металла, разработки новой формообразующей и технологической оснастки.

Постановка задач исследования:

1. Разработка новых способов формообразования глубоких полых деталей с произвольным контуром поперечного сечения.
2. Разработка конструктивных схем оборудования, конструкция оправок, инструмента и технологической оснастки для предложенных новых способов формообразования глубоких полых деталей с произвольным контуром поперечного сечения.
3. Экспериментальные исследования эффективности предложенных способов и конструкций.
4. Определение напряженно-деформированного состояния заготовки и определение технологических параметров предлагаемых процессов формообразования глубоких полых деталей.
5. Определение геометрии заготовки и количество переходов процесса формообразования глубоких полых деталей с произвольным контуром поперечного сечения.

Глава 2. Разработка процессов формообразования полых деталей способом обкатки

2.1. Разработка способа обкатки для изготовления полых деталей

Для расширения возможностей процесса формообразования полых деталей из листового металла выполним конструкцию, в которой вращающуюся оправку при ротационном формообразовании сделаем неподвижной, а деформирующий ролик, закрепленный в суппорте токарно-давилного станка, выполним перемещающимся вокруг оправки (рис. 2). Это можно осуществить, используя возможности, например, вертикально-фрезерного станка с ЧПУ. Формообразуемая заготовка в процессе деформации опирается на пакет технологических пластин. Технологический пакет является опорным элементом для разглаживания деформирующим роликом гофр, возникающих на фланце заготовки в процессе формообразования.

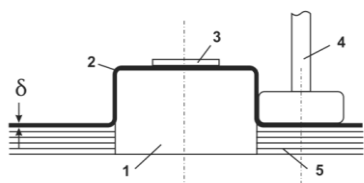


Рис.2 Схема ротационной обкатки при неподвижной заготовке:

- 1- неподвижная оправка; 2- деформируемая листовая заготовка; 3- прижим, закрепляющий заготовку на оправке; 4- обкатной ролик, перемещающийся по программе; 5- набор пластин, удаляемых по мере обхода контура обкатным роликом

После формообразования участка детали, равного толщине технологической пластины, удаляется последующая технологическая пластина и процесс формообразования следующего участка повторяется.

Для экспериментальной проверки эффективности предложенного способа обкатки выполнялись эксперименты по изготовлению деталей коробчатой формы с размерами 40x40x20 мм из тонколистовой заготовки из алюминиевого сплава марки Д-16М толщиной 1,5 мм на оправке прямоугольным поперечным сечением.

Обработку заготовки выполняли за пять переходов давилной головкой диаметром 50 мм с радиусом сопряжения рабочих поверхностей $r=3$ мм, перемещением давилной головки вдоль оправки и радиальным смещением ее от периферии заготовки к центру и обратно с образованием на периферии заготовки кругового участка. При обкатке заготовки использовали технологические пластины из стали марки Ст20 толщиной $t=4$ мм, выбранной в зависимости от пластичности σ_T материала заготовки и радиуса сопряжения рабочих поверхностей давилной головки. Предложенная технология вытяжки не требует дорогостоящего оборудования и позволит более эффективно изготавливать тонкостенные изделия сложной формы в мелкосерийном и единичном производствах.

2.2. Способ обкатки с применением пластического спутника накладки

Формообразование деталей методом обкатки из высокопрочных упрочняющихся металлов характеризуется тем, что происходит большая упругая отдача заготовки от оправки, которая определяет геометрическую форму детали. Для устранения этого недостатка в работе предлагается на листовую заготовку изделия дополнительно устанавливать идентичную по периметру листовую легко деформируемую накладку, которую совместно с заготовкой закрепляют прижимом на торце оправки и последовательно осаживают на оправку круговыми проходами давилного ролика с подачей вдоль оправки [З. №20191087716]. При этом накладка пластичными деформациями выполняет механический обжим листовой заготовки на оправке.

Экспериментальная проверка способа обкатки с применением пластического спутника – накладки.

Выполняли ротационную вытяжку из листовой заготовки из алюминиевого сплава марки Д16Т толщиной $b_1 = 1,5$ мм с идентичной по периметру накладкой из легкодеформируемого листа марки АМЦ, толщиной $b_2 = 5,0$ мм, выбранной в зависимости от степени пластичности листовой заготовки, которые устанавливали на торец оправки и закрепляли их на торце оправки прижимом с усилием $P = 200...300$ Н. Затем последовательно круговыми проходами давилного ролика относительно оправки с шагом 2...3 мм/об, выбранным в зависимости от ширины цилиндрического пояса давилного ролика, с поперечной подачей давилного ролика относительно оправки осаживали листовую заготовку вместе с накладкой на оправку.

2.3. Процесс обкатки с использованием кольцевых фиксаторов В этой схеме обкатки пластический спутник – пластину заменяют перемещающимся упругим кольцом.

Фиксатор в виде упругого кольца устанавливается на торце оправки с возможностью изменения поперечного размера и последовательного осаживания на оправку.

Экспериментальную проверку способа ротационной вытяжки тонкостенных деталей с кольцевым фиксатором выполняли обкаткой листовой заготовки, из алюминиевого сплава марки Д16Т толщиной $b_1 = 1,5$ мм, которую устанавливали на торец оправки и закрепляли на торце оправки прижимом с усилием $P = 200...300$ Н. По мере смещения давилного ролика вдоль оправки нижней торцевой поверхностью выступа с натягом на осаженную часть листовой заготовки смещали упругое кольцо, фиксируя осаженную часть листовой заготовки на оправке. После выполнения ротационной вытяжки с заготовки удаляли прижим и заготовку изделия снимали с оправки.

Экспериментальную проверку изготовления полой детали с криволинейной образующей с использованием кольцевого фиксатора выполняли обкаткой листовой заготовки из алюминиевого сплава марки Д16 толщиной $b_1 = 1,5$ мм, на оправке, на которой концентрично было установлено упругое кольцо. На торце оправки закрепляли листовую заготовку с прижимом. Затем круговыми проходами с шагом 3...5 мм/об, выбранным в зависимости от ширины цилиндрического пояса давилного ролика, с поперечной подачей давилного ролика относительно оправки осаживали заготовку на оправку с изменением поперечного размера упругого кольца.

Предложенные технологии позволяют повысить качество ротационной вытяжки тонкостенных изделий из малопластичных листовых заготовок.

2.4. Способ обкатки с цилиндрическими вставками

Для изготовления глубоких полых деталей цилиндрической формы с произвольным поперечным сечением наряду с однопереходной схемой обкатки используется многопереходная обкатка [2].

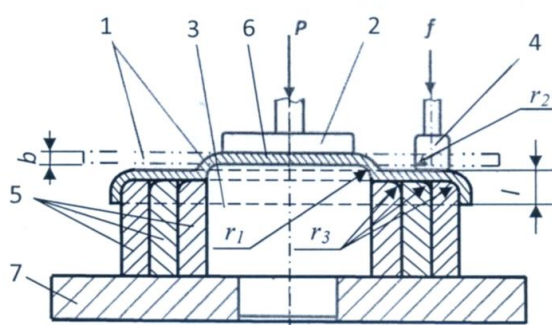


Рис.3 Многопереходная обкатка при изготовлении полых деталей: 1- деформируемая листовая заготовка; 2- прижимное устройство; 3- оправка; 4- деформирующий ролик; 5- удаляемые по переходам технологические цилиндры; 6- донная часть заготовки; 7- корпус

Вытяжку детали ведут из плоской тонколистовой заготовки 1 толщиной b , зафиксированной прижимом 2 на торце профильной оправки 3 с радиусом r_1 округления её торца и технологическими насадками 5 цилиндрической формы, концентрично установленными на профильной оправке 3 за несколько технологических переходов продольными и радиальными движениями давилной головки 4. При этом между технологическими переходами вытяжки детали заготовку 1 раскрепляют прижимом 2, снимают заготовку 1 с торца оправки 3 и удаляют очередную цилиндрическую насадку 5, затем заготовку 1 фиксируют выступом 6 на торце оправки 3, закрепляют её прижимом 2, и выполняют следующий технологический переход вытяжки тонкостенной детали.

Цилиндрические насадки 5 могут быть выполнены набором концентричных колец 8 с радиусом r_3 округления на торцах верхних колец с наружной их стороны, изготовленных из плиты, и установленных пакетами одна в другую на профильной оправке 3.

Экспериментальная проверка многопереходной обкатки с цилиндрическими вставками. Вытяжку тонкостенной детали сложной коробчатой формы с габаритами 75x50x60 мм выполняли из плоской тонколистовой заготовки 1 из алюминиевого сплава марки Д16М толщиной $b = 1,5$ мм на матрице с оправкой 3, имеющей сложный профиль в поперечном сечении и радиус $r_1 = 2$ мм округления торца, соответствующий коробчатой форме изделия, закреплённой в основании матрицы 7. Вытяжку тонкостенной детали выполняли за четыре последовательных перехода давилной головкой 4 диаметром 50 мм.

Предложенная технология глубокой вытяжки не требует дорогостоящего оборудования и позволяет более эффективно изготавливать тонкостенные изделия сложной формы в мелкосерийном и единичном производствах.

2.5 Формообразование полых деталей способом обкатки с коническими элементами

Формообразование полых цилиндрических деталей с использованием конических технологических элементов выполняется на сопряженных между собой и с формообразующей оправкой концентрических конусообразных насадок [3] (рис. 4).

Последним технологическим переходом, при необходимости, получают плоский фланец 7 в основании детали путем радиального смещения давяльной головки 6 от периферии тонколистовой заготовки 1 к центру формообразующей оправки 3 и обратно с разглаживанием образующихся гофров на основании матрицы .

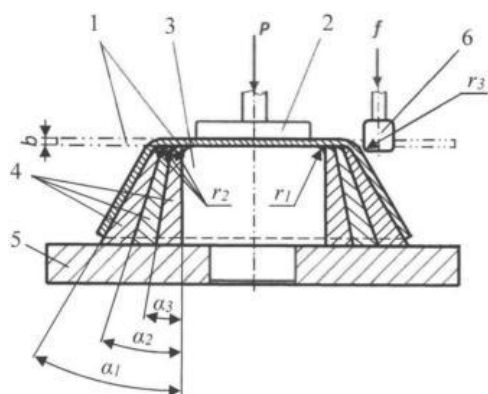


Рис. 4 Многопереходная обкатка с применением конических элементов: 1- листовая заготовка ; 2- прижим; 3- оправка; 4- технологические конусные насадки; 5- корпус; 6- деформирующий ролик

Экспериментальная формовка с коническими элементами.

Формовку тонкостенной детали сложной формы с габаритами $75 \times 50 \times 40$ мм выполняли способом обкатки плоской тонколистовой заготовки 1 из алюминиевого сплава марки Д16М толщиной $b=1,0$ мм на оправке 3, имеющей сложный профиль в поперечном сечении и радиус $r_1=2$ мм скругления при торце, соответствующей форме детали, закрепленной в основании 5. Формовку тонкостенной детали выполняли на конусообразных насадках 4, выполненных из стали марки Ст20 с радиусом r_2 скругления верхнего торца, равным радиусу r_1 скругления на торце формообразующей оправки 3, и углами $\alpha_1=45^\circ$, $\alpha_2=30^\circ$ и $\alpha_3=15^\circ$ отклонения образующих конусов, и на формообразующей оправке 3 за четыре технологических перехода формообразования радиусом $r_3=2$ мм давяльной головки 6 диаметром 50 мм. В случае выполнения конусообразных насадок 4 набором из концентричных плиточных колец 8 между технологическими переходами с формообразующей оправки 3 последовательно удаляли очередной пакет колец 8 формообразующей насадки 4.

Предложенная технология формовки полых тонкостенных деталей не требует дорогостоящего оборудования и позволяет эффективно изготавливать тонкостенные изделия из тонколистовой заготовки в мелкосерийном и единичном производствах.

Глава 3. Конструкторско-технологические разработки по формообразованию полых деталей способом обкатки

3.1. Конструкция и технология изготовления оснастки для обкатки

В качестве оснастки для формообразования деталей способом обкатки предлагается наборная конструкция, которая состоит из пластин заданной геометрии [4].

Геометрическую точность наборной оснастки можно получить механической обработкой после сборки. Если поверхность оправки имеет одинарную кривизну, то точность лазерного раскроя позволяет оставить минимальный припуск на чистовую механообработку до 0,1мм. Если поверхность имеет двойную кривизну, то припуск на обработку будет равен высоте гребня над теоретическим контуром.

Одним из факторов, влияющих на производительность изготовления оснастки, является скорость обработки заготовки.

На графиках (рис.5 и рис. 6) приведены зависимости скорости резания лазерного и гидроабразивного оборудования в зависимости от толщины листа.

Наряду с лазерным и гидроабразивным раскроем в промышленности широко применяется плазменная резка листового металла. Она имеет высокие скорости резания (до 6м/мин при толщине металла до 10мм.). Однако у этого вида резки есть существенные

недостатки, которые могут повлиять на качество изготовления наборных штампов из-за оплавления кромок.

Оправку и специальные технологические пластины рационально изготавливать из листового металла одновременно, так как за один переход получается и пластина, и элемент оправки.

Использование наборной оснастки значительно сокращает время на подготовку производства холодной листовой штамповки. Ее применение особенно эффективно в условиях мелкосерийного, опытного и экспериментального производства.

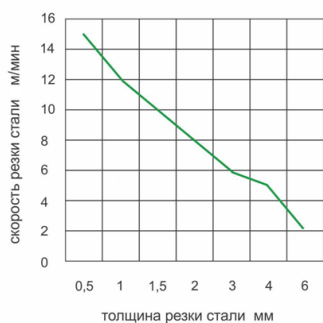


Рис.5 Зависимость скорости лазерной резки стальных листов от толщины

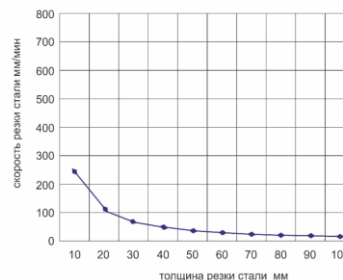


Рис.6 Зависимость скорости гидроабразивной резки стальных листов от толщины

3.2. Конструкция обкатной головки для формообразования полых деталей способом обкатки

В работе предлагается конструкции обкатных головок [5].

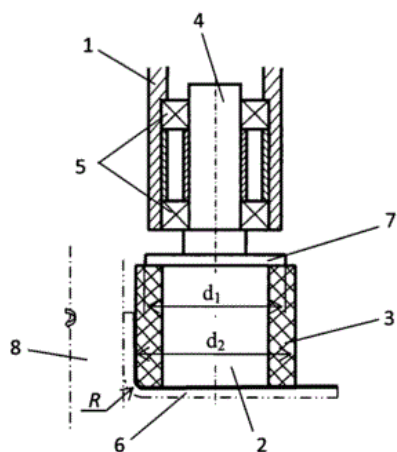


Рис.7 Конструкция обкатной головки: 1- державка; 2-ролик; 3-коаксиальный давящий элемент из полиуретана; 4- хвостовик; 5- радиально упорный подшипник; 6- деформируемая заготовка; 7- упорный элемент; 8- оправка

основной частью обкатной головки.

Обкатная головка работает следующим образом. На оправке 8 цилиндрической или конической формы либо с двойной кривизной производят формование изделий из листовых заготовок 6 методом обкатки стальным полированным роликом 2 или роликом с коаксиальным давящим элементом 3 из жесткого или твердого полиуретанового эластомера с плотностью 930-1260 кг/м³ с усилием давления Р от 200-300 Н до 400-600 Н на оправку 8, в зависимости от толщины и предела прочности материала листовой заготовки. При этом радиально-упорные подшипники 5 исключают отклонение ролика 2 и обеспечивают ему свободное вращение вокруг своей оси. Обкатку поверхности заготовки 6 производят обкатной головкой перемещением ее вокруг оправки 8 на вертикально-фрезерном станке, в том числе по программе на станках с ЧПУ.

Использование предложенных конструкций обкатных головок позволяет расширить технологические возможности процессов формообразования полых изделий способ обкатки, повысить качество и производительность формования листовых металлических изделий.

3.3 Конструкция прижимного устройства листовой заготовки к оправке при обкатке Учитывая, что процесс обкатки при формообразовании полых деталей предусматривает использование вертикально-фрезерных станков с ЧПУ, то закрепление заготовки на оправке требует специальной конструкции прижимного устройства. На рис.8 показана компоновка такого устройства [6].

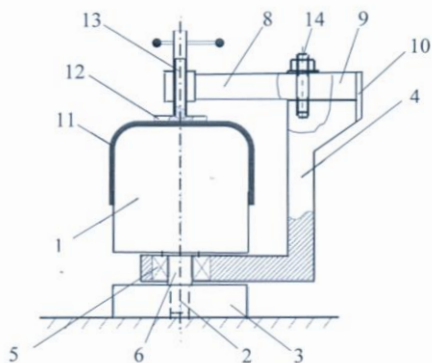


Рис. 8 Прижимное устройство для закрепления листовой заготовки на оправке при формообразовании полых деталей способом обкатки: 1- оправка; 2- шип; 3- основание; 4- струпщина; 5-радиально упорный подшипник; 6- цапфа; 8- верхний рычаг струпщины; 9 – крепежная часть рычага; 10- накладка; 11- деталь; 12- опорная пята; 13- винт

При ротационной вытяжке полых деталей струпщина 4 вращается вокруг оправки в разных направлениях в зависимости от перемещения давящего ролика. Это обеспечивает прижатие заготовки к торцу оправки и не создает препятствия для обхода контура оправки обкатной головкой.

3.4 Разработка конструктивной схемы станка для формообразования способом обкатки глубоких полых деталей

Станок для формования (рис.9) полого цилиндрического изделия из тонколистовой заготовки[7] содержит плоскую матрицу 1 с центральным отверстием в виде планшайбы токарного станка, консолью закрепленной на шпинделе 2 передней бабки 3, установленной на станине 4 станка. В центральном отверстии матрицы 1 размещена цилиндрическая профильная оправка 5 для формования изделия из тонколистовой заготовки 6 с возможностью вращения вокруг своей оси и аксиального смещения через отверстие матрицы 1 на длину l выступа, равную глубине вытяжки изделия технологическим переходом. Станок содержит прижимной элемент с прижимной пятой 7 с возможностью вращения и аксиального прижатия заготовки 6 к торцу оправки 5 для выполнения технологических переходов вытяжки изделия и синхронного отвода после их выполнения, и обкатной ролик 8 с возможностью продольных и поперечных перемещений относительно матрицы 1 и оправки 5. Оправка выполнена с хвостовиком 9, установленным в механизме 10 подачи и фиксирования оправки 5, расположенном в шпинделе 2 передней бабки 3 станка с возможностью выступа оправки 5 из матрицы 1 на длину l , равную глубине вытяжки полого цилиндрического изделия из наружного участка тонколистовой заготовки 6 за технологический переход, с фиксированием оправки 5 в таком положении. Прижимная пята 7 установлена в пиноли 11 задней бабки 12 станка, расположенной на станине 4 станка, с возможностью вращения, синхронного подвода или отвода прижимной пяты 7 и фиксирования заготовки 6 на торце оправки 5 посредством привода 13. Обкатной ролик 8 выполнен с возможностью свободного вращения вокруг своей оси и снабжен виброударным устройством 15 с возможностью сообщения обкатному ролику 8 аксиальные возвратно-поступательные пульсирующие движения относительно матрицы 1 станка. Обкатной ролик 8 установлен виброударным устройством 15 на суппорте 14 станка, осью свободного вращения параллельно оси вращения матрицы 1 с возможностью сообщения ему продольной подачи относительно матрицы 1 и поперечной подачи относительно оправки 5. Прижимная пята 7 выполнена подпружиненной посредством пружины 16.

Пример осуществления способа вытяжки полого цилиндрического изделия из тонколистовой заготовки на примере работы вытяжного станка.

Вытяжку полого цилиндрического изделия коробчатой формы с габаритами 40×40×20 мм выполняли на токарном станке из тонколистовой заготовки 6 алюминиевого сплава марки Д16М толщиной 1,5 мм на цилиндрической профильной оправке 5, соответствующей форме изделия, за пять технологических переходов обкатным роликом 8 диаметром 15 мм и радиусом при торце, равным 3 мм, установленного на суппорте 14 станка. Первым технологическим переходом получили частично выдавленную заготовку 6 глубиной 4 мм с круговым участком в основании. Между технологическими переходами оправку 5 раскрепляли и аксиальным смещением выдвигали ее из матрицы 1 при синхронном смещении прижимной пяты 7 на длину $l=4$ мм, равную глубине вытяжки изделия, следующими технологическими переходами.

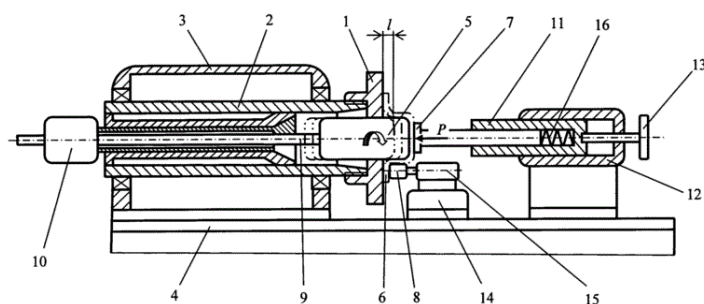


Рис. 9 Конструктивная схема станка для формообразования полых деталей способом обкатки: 1- плоская матрица; 2-шпindelь передней бабки; 3- передняя бабка; 4- станина станка; 5- профильная оправка; 6- тонколистовая заготовка; 7- прижимная пята; 8- обкатной ролик; 9- хвостовик оправки; 10 – механизм ступенчатой подачи и фиксирования оправки; 11- пиноль задней бабки; 12- задняя бабка; 13 – привод прижима; 14- суппорт; 15- виброустройство; 16- прижим

Предложенные способ вытяжки полого цилиндрического изделия из тонколистовой заготовки и вытяжной станок для формования полого цилиндрического изделия из тонколистовой заготовки позволяют более эффективно изготавливать полые цилиндрические изделия из тонколистовых заготовок при мелкосерийном и единичном производствах

Глава 4 Определение параметров процесса формообразования полых деталей способом обкатки

4.1 Расчет параметров процесса формообразования деталей из упрочняющихся металлов способом обкатки с использованием жестких роликов Схема формообразования полых детали с произвольным поперечным сечением способом обкатки из плоской заготовки приведена на (рис.10).

Выделим на контуре с переменной кривизной донной части листовой заготовки дифференциальномалую дугу ds_g :

$$ds_g = r_g d\alpha, \quad ds_n = r_n d\alpha, \quad ds = r d\alpha,$$

где r_g, r_n, r – соответственно радиус кривизны внутреннего, наружного и произвольного промежуточного контура,

$d\alpha$ – дифференциальномалый угол.

Относительная деформация ε_s дуги ds после формообразования детали будет:

$$\varepsilon_s = -\left(1 - \frac{r_g}{r}\right). \quad (1)$$

В общем случае можно записать:

$$\varepsilon_z = i \left(1 - \frac{r_6}{r} \right), \quad \varepsilon_r = \left(1 - \frac{r_6}{r} \right) (1 - i), \quad (2)$$

где коэффициент i изменяется в пределах: $i = 0 \div 0,5$.

Параметр i определяет деформацию по толщине листа.

Относительная деформация ε_r через перемещения точек u по радиусу запишется:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}. \quad (3)$$

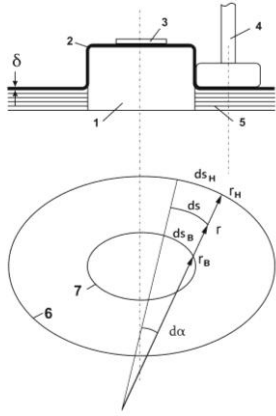


Рис. 4.1 Схема ротационной обкатки при неподвижной заготовке:

1 – неподвижная оправка; 2 – деформируемая листовая заготовка; 3 – прижим, закрепляющий заготовку на оправке; 4 – обкатной ролик, перемещающийся по программе; 5 – набор пластин, удаляемых по мере обхода контура обкатным роликом; 6 – контур исходной листовой заготовки

Из совместного рассмотрения соотношений (2) и (3) получим:

$$u = (1 - i) \left[r - r_6 \left(1 - \ln \frac{r_6}{r} \right) \right]. \quad (4)$$

При $r = r_n$ получаем перемещение точек наружного контура заготовки:

$$u_n = (1 - i) \left[r_n - r_6 \left(1 - \ln \frac{r_6}{r_n} \right) \right]. \quad (5)$$

Из этого соотношения следует, что расстояние по радиусу между контуром донной части и наружным контуром плоской заготовки необходимо уменьшить на эту величину u_n .

Определим обобщенную деформацию ε_i в произвольной точке рассматриваемого деформируемого элемента заготовки:

$$\varepsilon_i = a \left(1 - \frac{r_6}{r} \right), \quad \text{где } a = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1 + i^2} - i. \quad (6)$$

Зависимость между обобщенным напряжением σ_i запишем в форме степенного закона:

$$\sigma_i = K \varepsilon_i^n, \quad \text{где } n = \frac{\ln \frac{\sigma_6}{\sigma_T}}{\ln \frac{\varepsilon_6}{\varepsilon_T}}, \quad K = \frac{\sigma_6}{\varepsilon_6^n}, \quad (7)$$

где $\sigma_6, \sigma_T, \varepsilon_6, \varepsilon_T$ – соответственно временное сопротивление и предел текучести металла по напряжению и по деформации.

Из совместного решения (6) и (7) получаем:

$$\sigma_i = K a^n \left(1 - \frac{r_6}{r} \right)^n. \quad (8)$$

Рассмотрим равновесие дифференциально малого элемента, выделенного в заготовке (рис. 11):

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_s}{r} = 0 \quad (9)$$

При условии несжимаемости металла равенство направляющего тензора напряжений направляющему тензору деформаций запишется:

$$\sigma_r - \sigma_{cp} = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} \varepsilon_r, \quad \sigma_s - \sigma_{cp} = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} \varepsilon_s, \quad \sigma_z - \sigma_{cp} = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} \varepsilon_z. \quad (10)$$

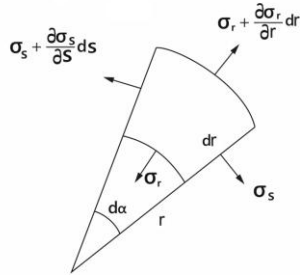


Рис.11 Напряжение на гранях дифференциально малого элемента

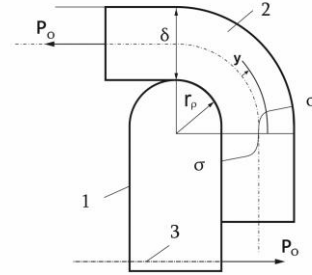


Рис. 12 Схема огибания ролика листовой заготовкой: 1 – ролик; 2 – листовая заготовка; 3 – ось вращения обкатного ролика

Из соотношений (10) имеем:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} (2-i) \varepsilon_s. \quad (11)$$

Из соотношения (10) определим радиальное напряжение

$$\sigma_r = -\frac{2(2-i)K(r-r_g)^n}{3a^{1-n}(n+1)^2 r_g^n} + c. \quad (12)$$

Константу интегрирования определим из условия при $r = r_H$ $\sigma_r = 0$.

При этом условии окончательно получим:

$$\sigma_r = \frac{2(2-i)K}{3a^{1-n}(n+1)^2 r_g^n} \left[(r_H - r_g)^n - (r - r_g)^n \right]. \quad (13)$$

Величина напряжений σ_s согласно (10) будет:

$$\sigma_s = \sigma_r - \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} (2-i) \left(1 - \frac{r_g}{r} \right). \quad (14)$$

Из совместного решения (10) и (2) определится напряжение при нажатии ролика на заготовку

$$\sigma_z = \sigma_s + \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} \left[\left(1 - \frac{r_g}{r} \right) (1+i) \right]. \quad (15)$$

Соотношения (13), (14), (15) определяют максимальные напряжения, возникающие в заготовке в процессе деформирования. Усилие P_z , действующее на элемент заготовки, зависит от пятна контакта ролика с заготовкой:

$$P_z = \sigma_z l_k r_p, \quad (16)$$

где l_k – длина контакта по окружности ролика,

r_p – радиус закругления ролика.

В процессе огибания ролика (рис. 12) элемент листовой заготовки испытывает изгибные деформации:

$$\varepsilon_i = \alpha y, \text{ где } \alpha = \frac{1}{r_p + \frac{\delta}{2}}, \quad (17)$$

δ - толщина листа,

y – координата волокна относительно срединной линии листа.

После изгиба элемент заготовки подвергается разгибанию. Исходя из энергетического условия, определим напряжение σ_r^* , обусловленное этой деформацией изгиба с разгибанием:

$$\sigma_r^* = \frac{K\delta^{n+1}}{2^{n+2}(n+1)(n+2)} \alpha^{n+1}. \quad (18)$$

Помимо этого напряжения в процессе обкатки возникает напряжение σ_r^{**} , обусловленное трением между заготовкой и поверхностью ролика (рис. 13).

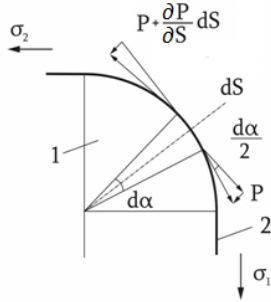


Рис. 13 Сила трения между обкатным роликом и заготовкой: 1- ролик, 2- листовая заготовка.

Сила P , обусловленная трением, является переменной по дуге s контура ролика. Запишем уравнение равновесия дуги ds через эту силу:

$$P + \frac{\partial P}{\partial s} ds - P - P d\alpha f = 0,$$

где f – коэффициент трения между листом и роликом.

Из этого уравнения имеем:

$$\sigma_r^{**} = \sigma_r \left(e^{f \frac{\pi}{2}} - 1 \right), \quad (19)$$

где f - коэффициент трения между заготовкой и роликом.

Таким образом, осевое усилие ролика P_0 , направленное параллельно оси формообразующей детали определяется пятном контакта ролика с заготовкой и напряжениями $\sigma_r, \sigma_r^*, \sigma_r^{**}$, определяемое по формулам (13), (18), (19):

$$P_0 = (\sigma_r + \sigma_r^* + \sigma_r^{**}) \kappa r_p. \quad (20)$$

Таким образом, деформированное состояние заготовки определяется относительными деформациями $\varepsilon_r, \varepsilon_s, \varepsilon_z$, которые вычисляются по соотношениям (1), (2). Перемещение u точек заготовки в процессе деформации находятся из выражения (4). Наружный контур исходной заготовки, эквидистантный донной части детали, должен быть скорректирован на величину u_n , определяемую по выражению (5) наружный контур заготовки определяется соотношением (6).

В процессе формообразования возникающие напряжения $\sigma_r, \sigma_s, \sigma_z$ могут быть вычислены соответственно по формулам (13), (14), (15).

Усилия деформирования имеют составляющее P_z, P_0 направленное соответственно перпендикулярно поверхности оправки и параллельно оси оправки. Они находятся из соотношений (16) и (20).

4.2 Расчет параметров процесса формообразования способом обкатки жестким роликом деталей из пластичных материалов Зависимость (11) тензора напряжений от тензора деформаций для этого случая будет:

$$\sigma_r - \sigma_{cp} = \frac{2\sigma_T}{3\varepsilon_i} \varepsilon_r, \quad \sigma_s - \sigma_{cp} = \frac{2\sigma_T}{3\varepsilon_i} \varepsilon_s, \quad \sigma_z - \sigma_{cp} = \frac{2\sigma_T}{3\varepsilon_i} \varepsilon_z. \quad (21)$$

При обкатке заготовки жестким роликом $\varepsilon_z = 0$. С учетом этого условия из соотношений имеем:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_r + \sigma_s}{2}, \quad \varepsilon_r = -\varepsilon_s, \quad \sigma_{cp} = \frac{\sigma_r + \sigma_s}{2}, \quad \sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_r - \sigma_s), \quad \varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}}\varepsilon_r.$$

Усилие нажатия P_z ролика на заготовку определяется следующим образом:

$$P_z = \frac{\sigma_r + \sigma_s}{2} F_k, \quad (22)$$

где F_k – площадь контакта ролика с заготовкой.

Уравнение равновесия (9) дифференциально малого элемента для пластичного материала имеет вид:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = -\frac{\sigma_r - \sigma_s}{r}.$$

В процессе формообразования плоская часть заготовки находится в пластическом состоянии. При условии пластичности по наибольшим касательным напряжениям находим:

$$\sigma_r = -\sigma_T \ln r + c,$$

Константу c определим из граничного условия: при $r = r_n$ $\sigma_r = 0$.

С учетом этого граничного условия окончательно находим:

$$\sigma_r = \sigma_T \ln \frac{r_n}{r}. \quad (23)$$

Из формулы (23) определим напряжение сжатия дуги S , расположенной на расстоянии r :

$$\sigma_s = -\sigma_T \left(1 - \ln \frac{r_n}{r} \right). \quad (24)$$

Радиальные σ_r и тангенциальные σ_s нормальные напряжения можно представить, исходя из (23), (24) в следующем виде:

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_T, \quad \sigma_r = \sigma_T (\varepsilon_r - \varepsilon_{sn}), \quad \sigma_s = \sigma_T (1 - \varepsilon_r + \varepsilon_{sn}). \quad (25)$$

Напряжение растяжения в листе σ_r^* , изгибом, исходя (18), будет:

$$\sigma_r^* = \frac{\sigma_T \delta}{2} \varkappa. \quad (26)$$

Напряжение, обусловленное силой трения, согласно (19) определится соотношением:

$$\sigma_r^{**} = \sigma_{r_0} \left(e^{\frac{f\pi}{2}} - 1 \right). \quad (27)$$

Усилие, необходимое для перемещения ролика, параллельно оси формуемой детали согласно (20) будет:

$$P_0 = (\sigma_r + \sigma_r^* + \sigma_r^{**}) l_k r_p. \quad (28)$$

Таким образом, при рассмотрении процесса формообразования способом обкатки, определяем силовые параметры процесса по соотношениям (22), (28).

4.3 Расчет параметров процессов формообразования способ обкатки деталей из пластичных материалов эластичным роликом Уравнение равновесия для рассматриваемого случая имеет вид:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = -\frac{\sigma_T}{r}. \quad (29)$$

После интегрирования этого дифференциального уравнения получаем:

$$\sigma_r = \sigma_T \ln \frac{r_n}{r}. \quad (30)$$

Из условия пластичности по наибольшим касательным напряжениям имеем:

$$\sigma_s = \sigma_T - \sigma_r. \quad (31)$$

Обобщенное напряжение для рассматриваемого случая определится следующим образом:

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_T \sqrt{1 + \left(\ln \frac{r_n}{r} - 1 - \frac{\sigma_z}{\sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_T} - \ln \frac{r_n}{r} \right)^2}.$$

Отсюда получим:

$$\frac{\sigma_z}{\sigma_T} = -\frac{1 - 2 \ln \frac{r_n}{r}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(1 - 2 \ln \frac{r_n}{r} \right)^2 - 4 \ln \frac{r_n}{r} \left(\ln \frac{r_n}{r} - 1 \right)}, \quad \sigma_r = \sigma_T \left(\ln \frac{r_n}{r} - 1 \right). \quad (32)$$

Равенство направляющих девиаторов напряжений деформаций для процесса обкатки эластичным роликом пластичных материалов имеет вид:

$$\sigma_r - \frac{\sigma_r + 2\sigma_s}{3} = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} \varepsilon_r, \quad \sigma_s - \frac{\sigma_r + 2\sigma_s}{3} = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} \varepsilon_s, \quad \sigma_z - \frac{\sigma_r + 2\sigma_s}{3} = \frac{2\sigma_i}{3\varepsilon_i} \varepsilon_z \quad (33)$$

Из выражений (37) для пластичных металлов имеем:

$$\sigma_r - \sigma_s = \frac{2}{3} \frac{\sigma_T}{\varepsilon_i} (\varepsilon_r - \varepsilon_s), \quad \sigma_r - \sigma_s = \frac{2\sigma_T}{3\varepsilon_i} (\varepsilon_r - \varepsilon_s), \quad \sigma_z - \sigma_r = \frac{2\sigma_T}{3\varepsilon_i} (\varepsilon_z - \varepsilon_r).$$

Из этих соотношений с учетом условия пластичности получаем:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3} (\varepsilon_r - \varepsilon_s), \quad \varepsilon_r = -\varepsilon_s - \varepsilon_z, \quad \varepsilon_z = -\frac{1}{4} \varepsilon_s, \quad \varepsilon_r = -\frac{3}{4} \varepsilon_s. \quad (34)$$

Напряжение σ_r^* , обусловленное двойным изгибом, дифференциально малого элемента из пластичного материала, исходя из соотношения (18) получаем:

$$\sigma_r^* = \frac{\sigma_T \delta}{4} \varkappa. \quad (35)$$

Напряжение σ_r^{**} , обусловленное силами трения между поверхностью ролика и поверхностью заготовки, исходя из соотношения (19) запишется

$$\sigma_r^{**} = \sigma_T \ln \frac{r_n}{r} \left(e^{f \frac{\pi}{2}} - 1 \right). \quad (36)$$

Осевое усилие P_0 ролика согласно (20) определится соотношением:

$$P_0 = (\sigma_r + \sigma_r^* + \sigma_r^{**}) l_k r_p.$$

Усилие P_z , с которым ролик действует перпендикулярно поверхности заготовки, определится (22).

Определим геометрическую форму исходной заготовки.

С этой целью запишем радиальные растягивающие деформации через радиальные перемещения:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}. \quad (37)$$

Перемещения точек наружного контура будут:

$$u_n = 2 \left[r_n - r_e \left(1 + \ln \frac{r_n}{r_e} \right) \right]. \quad (38)$$

Соотношение (38) определяет величину, на которую уменьшается высота заготовки по сравнению с высотой отформованной детали.

Таким образом, определены компоненты напряжений и деформаций при пластическом деформировании листовых заготовок из пластичных металлов способом обкатки эластичным роликом. Это определило силовые факторы P_0 и P_z процесса обкатки для этого случая.

4.4 Расчет параметров процесса обкатки эластичным роликом деталей из упрочняющихся металлов

Исходя из соотношений (13), (14), (15), напряжение σ_z может быть записано в следующем виде:

$$\sigma_z = \frac{2^n K}{3^{\frac{1+n}{2}} (1+i^2+i)^{\frac{1-n}{2}}} \left\{ \left(1 - \frac{r_e}{r} \right)^n (2i-1) + \frac{2-i}{(n+1)^2} \left[\left(\frac{r_n}{r_e} - 1 \right) - \left(\frac{r}{r_e} - 1 \right)^m \right] \right\}. \quad (39)$$

Это уравнение не разрешается относительно параметра i . Поэтому зависимость $i = f(\sigma_z)$ целесообразно представлять в графическом виде.

Заключение по работе

1. Разработан новый способ формообразования полых тонкостенных деталей летательных аппаратов из листового металла, позволяющий получать более глубокие детали благодаря раскатке возникающих гофр на фланцевой части.

2. Разработаны разновидности предложенного способа обкатки: обкатка с использованием спутника из пластического материала, способа обкатки с применением фиксирующих колец цилиндрических и конических переходных элементов.

3. Разработана новая конструктивная схема станка для предложенного способа обкатки.

4. Предложены сборные конструкции оправок, варианты конструкций обкатных головок, сборные конструкции технологических элементов.

5. Получены расчетные уравнения для определения напряженно-деформированного состояния заготовки для различных вариантов конструкций деформирующих роликов и разных применяемых листовых материалов.

6. Получены уравнения для нахождения силовых факторов процессов обкатки при формообразовании деталей из пластичных и упрочняемых металлических сплавов.

7. Получены уравнения определяющие геометрическую форму заготовок необходимую для формообразования полых тонкостенных деталей с произвольным контуром поперечного сечения из листового металла способом обкатки.

8. Эффективность разработанных схем формообразования полых тонкостенных деталей из листового металла способом обкатки и конструкций формообразующего инструмента и технологической оснастки проверены экспериментальным путем и подтверждены семью патентами на изобретения РФ.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Основное содержание и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Леонтьев В.В. Ротационная вытяжка полых деталей летательных аппаратов с произвольным поперечным сечением/ В.В.Леонтьев, М.С.Салина, Ю.П.Катаев// М.: Авиационная промышленность № 3-4. 2018. – С 42-46.

2. Леонтьев В.В. Изготовление деталей коробчатой формы методом локального формообразования/ В.В.Леонтьев// Вестник РГАТУ им.П.А.Соловьева №4(47). 2018. – С 132-137.

Патенты на изобретения РФ по теме диссертации

1. Леонтьев В.В. Способ вытяжки тонкостенных деталей сложной формы/В.В. Леонтьев, Ю.П. Катаев, А.А. Лизунов// Патент РФ на изобретение № 2620219 от 23 мая 2017 г.

2. Леонтьев В.В. Способ глубокой вытяжки тонкостенных деталей сложной формы и матрица для его осуществления/ В.В. Леонтьев, Ю.П. Катаев, И.Н. Ларионов, А.А. Лизунов// Патент РФ на изобретение №2688041 от 17 мая 2019 г.

3. Леонтьев В.В. Способ формовки полых тонкостенных деталей сложной формы/В.В.Леонтьев, Ю.П.Катаев, И.Н.Ларионов, А.А.Лизунов// Патент на изобретение РФ № 2685832 от 7 мая 2018 г.

4. Карась Л.В. Гибочный штамп и способ его изготовления /Л.В.Карась, В.В. Леонтьев, А.А. Лизунов, Л.Г.Хурамшин// Патент РФ на изобретение №2623939 от 29 июня 2017 г.

5. Леонтьев В.В. Обкатная головка /В.В. Леонтьев, Ю.П. Катаев, А.А. Лизунов// Патент РФ на изобретение № 2632747 от 19 октября 2017 г.

6. Леонтьев В.В. Устройство ротационной вытяжки./ В.В. Леонтьев,Ю.П. Катаев// Патент РФ на изобретение №_2688065 от 17 мая 2019 г.

7. Леонтьев В.В. Способ вытяжки полых цилиндрических изделий и вытяжной станок для его осуществления/В.В. Леонтьев, Ю.П. Катаев, И.Н. Ларионов, А.А.Лизунов// Патент РФ на изобретение № 2639202 от 20 декабря 2017 г.

Статьи в прочих изданиях:

1. Леонтьев В.В. Формообразование полых коробчатых деталей методом ротационной вытяжки/ В.В.Леонтьев// К.: Вестник КГТУ им.А.Н.Туполева № 1. 2017. – С 68-73.

2. Леонтьев В.В. Изготовление прессово-штамповочной оснастки из листовых материалов/ В.В.Леонтьев// К.: Вестник КГТУ им.А.Н.Туполева № 4. 2017. – С 56-59.

3. Леонтьев В.В. Изготовление полых деталей с прямоугольным поперечным сечением из листового металла методом локального формообразования/ В.В.Леонтьев, Ю.П.Катаев// К. : Вестник КГТУ им.А.Н.Туполева № 4. 2017. – С 67-70.

4. Леонтьев В.В. Способ ротационной вытяжки тонкостенного изделия /В.В. Леонтьев, М.С. Салина, Ю.П. Катаев, И.Н. Ларионов, А.А.Лизунов, С.В. Котов // Заявка на изобретение РФ № 2019108716 от 12 апреля 2019 года.