



На правах рукописи

**Перфильев Олег Владимирович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ  
АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СТЕСНЁННЫМ ИЗГИБОМ**

Специальность

05.07.02 - Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

24 ФЕВ 2011

Ульяновск – 2010

Работа выполнена в Институте авиационных технологий и управления Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет» на кафедре «Самолетостроение».

**Научный руководитель**

доктор технических наук, профессор  
**Колганов Иван Михайлович.**

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор  
**Моисеев Виктор Кузьмич,**

кандидат технических наук, доцент  
**Марковцев Владимир Анатольевич.**

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

Защита состоится 25 февраля 2011 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.04, созданном при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)» (СГАУ) по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.

Автореферат разослан 21 января 2011 г.

**Ученый секретарь  
диссертационного совета**



**А. Г. Прохоров**

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Актуальность проблемы.** В конструкциях современных летательных аппаратов (ЛА) наблюдается тенденция перехода на новые материалы с высокими показателями относительной прочности и жесткости, а также тенденция перехода на использование гнутолистовых профилей взамен прессованных. Указанные тенденции обусловлены необходимостью снижения массы и повышения долговечности ЛА и обеспечиваются совершенствованием технологических процессов, средств их оснащения и моделирования. Поэтому тема диссертационной работы, направленной на совершенствование оборудования и технологии изготовления гнутолистовых профилей из труднодеформируемых алюминисево-литиевых сплавов, является актуальной.

**Цель работы** - совершенствование технологии изготовления гнутолистовых профилей авиационных конструкций методом волочения – прокатки из труднодеформируемых материалов на основе стесненного изгиба.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования:

1. Разработать математическую модель процесса стесненного изгиба при волочении-прокатке профилей с учетом особенностей деформирования труднодеформируемых алюминисево-литиевых сплавов 1430, 1451.

2. На основе математической модели разработать новые способы стесненного изгиба при волочении-прокатке профилей из труднодеформируемых сплавов и инженерную методику расчета параметров технологического процесса волочения-прокатки, обеспечивающих реализацию разработанных способов стесненного изгиба.

3. Разработать методику экспериментальных исследований процесса стесненного изгиба при волочении-прокатке.

4. Провести экспериментальную проверку адекватности разработанной математической модели и инженерной методики расчета параметров технологического процесса волочения-прокатки.

5. Разработать рекомендации по совершенствованию конструкции серийного оборудования для обеспечения возможности реализации разработанных способов стесненного изгиба при волочении-прокатке.

6. Внедрить методику проектирования технологического процесса стесненного изгиба при волочении-прокатке. Оценить эффективность результатов исследований.

**Объектом исследования** являются тонкостенные профили из труднодеформируемых алюминисево-литиевых сплавов.

**Предметом исследования** являются технологический процесс и оборудование для изготовления тонкостенных профилей методом стесненного изгиба.

**Методы исследований.** Теоретические исследования базировались на уравнениях механики деформируемого твердого тела, методе математического моделирования, методе конечных элементов.

Экспериментальные исследования проводились с применением метода математического планирования экспериментов.

**Научная новизна** работы заключается в следующих результатах:

1. Разработана математическая модель процесса стесненного изгиба при волочении-прокатке профилей, учитывающая особенности деформирования труднодеформируемых алюминисево-литиевых сплавов (зависимость коэффициента трения от параметров инструмента).

2. Разработаны новые способы стеснённого изгиба при волочении-прокатке профилей из труднодеформируемых материалов.

3. Уточнён коэффициент трения и определено его влияние на проектные параметры технологического процесса волочения-прокатки труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов.

**Автор выносит на защиту:**

1. Математическую модель процесса стеснённого изгиба при волочении-прокатке гнутолистовых профилей, учитывающую особенности деформирования труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов (зависимость коэффициента трения от параметров инструмента).

2. Способ изготовления тонкостенных профилей и устройство для стеснённого изгиба профилей из труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов на волочильно-прокатной установке, защищенные патентами и внедренные в производство.

3. Инженерную методику проектирования технологического процесса волочения-прокатки, учитывающую особенности деформирования труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов и уточнённый при численных исследованиях (при моделировании) коэффициент трения.

4. Рекомендации по совершенствованию конструкции серийного оборудования для стеснённого изгиба гнутолистовых профилей при волочении-прокатке запатентованными автором способами.

5. Результаты экспериментальных исследований процессов изготовления корытообразных профилей из труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов 1430, 1451, адекватные результатам численного моделирования.

**Практическая значимость работы.**

1. По результатам численных и экспериментальных исследований разработаны научно-обоснованные рекомендации по расчёту и проектированию оборудования для изготовления тонкостенных профилей из труднодеформируемых материалов.

2. Разработаны технологические процессы для производства гнутолистовых профилей из труднодеформируемых материалов на основе алюминиево-литиевых сплавов.

**Реализация результатов работы**

1. На базе проведённых исследований изготовлены экспериментальные волочильно-прокатные установки для производства гнутолистовых профилей из труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов, которая использованы на предприятиях авиастроения: ЗАО «Авиастар-СП» (Ульяновск) и ОАО «Авиакор – авиационный завод» (Самара).

2. Методика определения основных технологических параметров гнутолистовых профилей в виде методических указаний используется в учебном процессе в Ульяновском государственном техническом университете и передана на авиационные предприятия: ЗАО «Авиастар-СП», ОАО «Авиакор – авиационный завод», Димитровградский агрегатный завод, ОАО «Комсомольский-на-Амуре авиационный завод».

**Апробация результатов диссертационного исследования.** Основные результаты диссертации докладывались на научно-технических конференциях Ульяновского государственного технического университета (в 2004-2010 г.г., г. Ульяновск); на Гагаринских и Туполевских чтениях (г. Казань, 2007 г. и г. Ульяновск, 2008 г.); на Всероссийской научно-технической конференции «Наследие А. Н. Туполева развивается и воплощается в жизнь» (г. Ульяновск, 2009 г.).

Результаты данной работы внедрены на двух предприятиях России, на что имеются акты внедрения.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 3 статьи - в рецензируемом научном издании, определённом перечнем Высшей аттестационной комиссии. Получено 5 патентов.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав основного текста на 149 стр., списка использованных источников из 92 наименований; включает 94 рисунка, 21 таблицу и приложения.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, изложена общая характеристика проблемы, поставлена цель исследований, выбраны методы, на основе которых проводятся исследования.

**В первой главе** выполнен обзор работ, посвящённых вопросам получения гнутых тонкостенных профилей, современное состояние теории, технологии и оборудования для их производства.

Анализ литературных и интернет-источников выявил постоянное увеличение доли гнутолистовых профилей из малопластичных труднодеформируемых материалов в конструкциях ЛА, что делает проблему производства гнутых тонкостенных профилей актуальной.

Анализ технологических процессов изготовления гнутолистовых профилей путем гибки в кромкогибочных устройствах, в штампах, волочением через инструментальную фильеру и прокаткой – волочением применительно к труднодеформируемым алюминиево-литиевым сплавам показал преимущества волочения-прокатки, заключающиеся в повышении точности, уменьшении относительного радиуса, снижении вероятности образования трещин.

Наиболее перспективным методом изготовления гнутолистовых тонкостенных профилей является метод стесненного изгиба. При его использовании осуществляется гибка с созданием в очаге деформаций условий трёхосного сжатия, что позволяет вести формование профилей из труднодеформируемых материалов в холодном состоянии. Однако процесс стеснённого изгиба с использованием волочения-прокатки исследован в недостаточной степени.

Технологическими процессами изготовления гнутых профилей занимались Г. В. Проскуряков, В. И. Ершов, В. И. Филимонов, И. И. Калужский, И. М. Колганов, П. Н. Куприн, Ю. Н. Алексеев, Ю. М. Арышенский, В. А. Барвинок, М. Н. Горбунов, Б. А. Горлач, Ф. В. Гречников, А. Д. Комаров, Е. А. Попов и др. На основе результатов их работ разработана и используется в производстве методика проектирования данных технологических процессов и инструмента. Указанная методика обеспечивает высокое качество профилей из алюминиевых сплавов. Однако, переход на труднодеформируемые алюминиево-литиевые сплавы выявил недостаток указанной методики, поскольку в производстве не достигаются требуемые параметры размера и качества.

Обзор работ теоретического характера отечественных и зарубежных ученых, работающих в данной области, показал целесообразность использования конечно-элементного моделирования для реализации стесненного изгиба, в том числе процесса волочения-прокатки.

Из анализа рассмотренных источников следует, что:

отсутствует конечноэлементная модель, учитывающая особенности стеснённого изгиба при волочении-прокатке профилей из труднодеформируемых материалов и контактного взаимодействия заготовки с роликовым инструментом;

не разработана инженерная методика расчёта параметров технологического процесса волочения-прокатки.

На основании проведенного в главе анализа установлена актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований.

**Во второй главе** представлены результаты математического моделирования и численных исследований процесса волочения-прокатки при стеснённом изгибе. Исследования проводились методом конечно-элементного моделирования с применением программного комплекса ANSYS/Is-Dyna.

**Основные допущения при моделировании:** волочение-прокатка считается холодной и принимается, что сопротивление деформации не зависит от скорости деформации; принимаются изотермические условия деформации, т.е. разогрев деформируемого материала и роликов не рассматривается.

Моделирование проведено для материала 1451 (модуль упругости  $E = 79 \cdot 10^3$  МПа, плотность  $\rho = 2630$  кг/м<sup>3</sup>, предел текучести принят  $\sigma_T = \sigma_{0.2} = 390$  МПа) при угловой скорости для верхнего ролика  $\omega_{вр} = 8$  рад/сек и нижнего ролика  $\omega_{нр} = 10$  рад/сек. (рисунок 1). При моделировании учитывались свойства симметрии профиля.

В диссертации рассмотрены профили корытообразного сечения, являющиеся широко распространёнными в отечественном авиастроении (рисунки 2, 3).

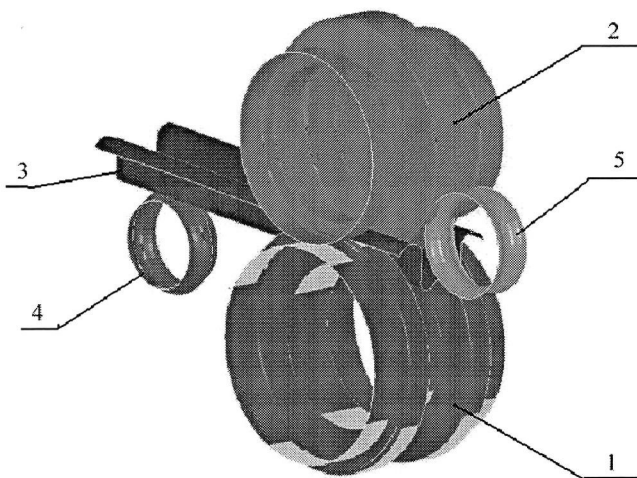


Рисунок 1 - Твёрдотельная модель заготовки и роликов: 1 – нижний ролик; 2 – верхний ролик; 3 – заготовка; 4, 5 – направляющие

За счёт давления в торцы профиля и осадки дугообразной части заготовки возникают деформации и напряжения сжатия, при этом увеличиваются деформации сжатия по внутреннему слою и уменьшаются деформации растяжения на наружном слое.

Модель заготовки с зонами сгиба представлена на рисунке 4.

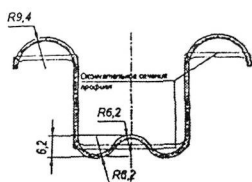


Рисунок 2 - Сечение заготовки профиля

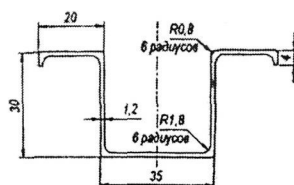


Рисунок 3 - Сечение корытообразного профиля

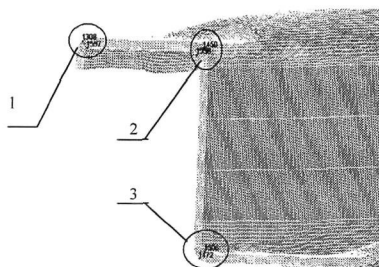


Рисунок 4 - Общий вид 1/2 полной модели заготовки с зонами сгиба

В результате моделирования получено значение главных деформаций по зонам сгиба и главных напряжений по этим зонам. Максимальные значения главных радиальных напряжений по внутреннему контуру достигают значения до -250 МПа, в связи с чем возникают значительные деформации, величины напряжений по внутренней зоне сгиба превышают величины по наружной зоне. Наибольшие деформации и напряжения наблюдаются в зоне сгиба профиля заготовки (таблицы 1,2).

Таблица 1 - Распределение главных деформаций по зонам сгиба

№ зоны/элементов	Значения главных деформаций по внутреннему контуру, %			Значения главных деформаций по наружному контуру, %		
	Радиальные, $\varepsilon_r$	Аксиальные, $\varepsilon_a$	Тангенциальные, $\varepsilon_t$	Радиальные, $\varepsilon_r$	Аксиальные, $\varepsilon_a$	Тангенциальные, $\varepsilon_t$
1.1308;1597	+40	2,5	-40	-10	4,0	+10
2.1450;1558	+8	4,5	-8	-8	4,0	+8
3.1472;1506	+25	6,0	-25	-3	7,0	+3

Таблица 2 - Распределение главных напряжений по зонам сгиба

№ зоны/ элементов	Значения главных напряжений по внутреннему контуру, МПа			Значения главных напряжений по наружному контуру, МПа		
	Радиальные, $\sigma_r$	Аксиальные, $\sigma_a$	Тангенциальные, $\sigma_t$	Радиальные, $\sigma_r$	Аксиальные, $\sigma_a$	Тангенциальные, $\sigma_t$
1.1308;1597	-220	0	-80	+150	0	+150
2.1450;1558	-250	0	-100	+80	0	+120
3.1472;1506	-80	0	-200	+80	0	+80

В результате моделирования получены также графические зависимости изменения толщины материала в процессе профилирования (рисунки 5-10), максимальное утолщение составило 20%.

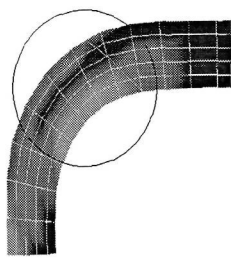


Рисунок 5 - Изменения толщины по уголковой зоне у отбортовки

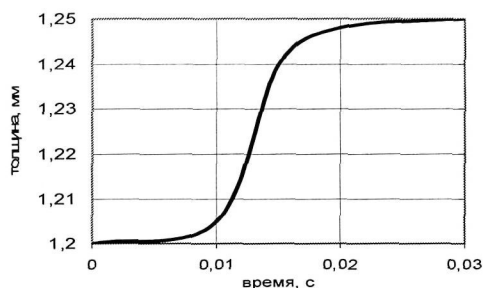


Рисунок 6 - Изменение толщины в процессе профилирования у отбортовки

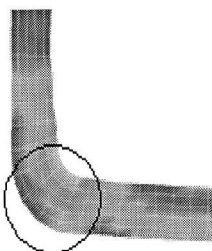


Рисунок 7 - Изменения толщины по уголковой зоне у нижней полки

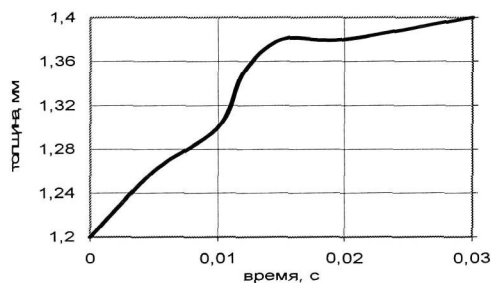


Рисунок 8 - Изменение толщины в процессе профилирования по уголковой зоне у нижней полки



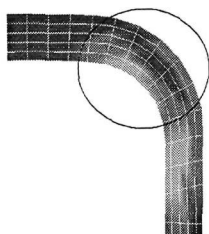


Рисунок 9 - Изменения  
толщины по уголкового зоне у  
верхней полки

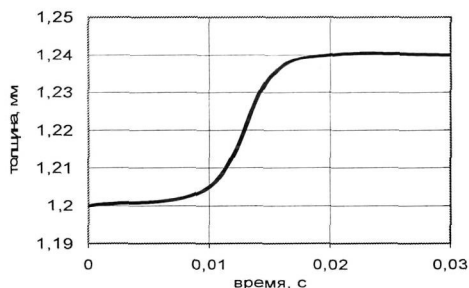


Рисунок 10 - Изменение толщины  
в процессе профилирования по уголкового зоне  
у верхней полки

Определение величины усилия волочения для симметричного швеллера из плоской заготовки толщиной  $s_0$  в роликовой фильере рассмотрено профессором И. М. Колгановым. Аналогичные выкладки проведены в диссертации для корытообразного профиля.

Рассматривается процесс формообразования корытообразного профиля из плоской заготовки толщиной  $s_0$  (рисунок 11) на длине  $L$ . Вследствие симметричности профиля исследуется процесс деформирования половины полосы.

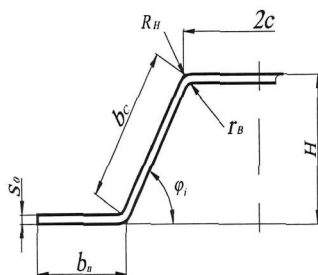


Рисунок 11 - Геометрические параметры корытообразного профиля без  
отбортовок

На рисунке 12 представлена схема формообразования корытообразного профиля.

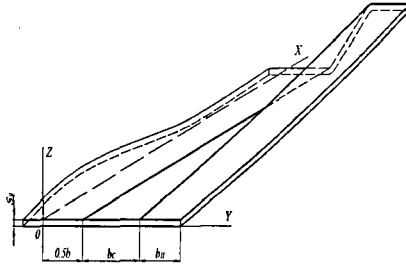


Рисунок 12 - Схема формообразования корытообразного профиля без отбортовок

В случае классической схемы волочения полное усилие волочения:

$$P_e = 2(P_d + P_T), \quad (1)$$

где  $P_d$  – усилие деформирования половины полосы без учета действия сил трения,  
 $P_T$  – усилие, направленное на преодоление действия сил трения.

Усилие  $P_d$  складывается из усилий деформирования угловой зоны  $P_{yz}$  и деформирования полки  $P_{\Pi}$ , то есть:

$$P_d = P_{yz} + P_{\Pi}. \quad (2)$$

Таким образом полное усилие волочения:

$$P_e = 2(P_{yz} + P_{\Pi} + P_T). \quad (3)$$

Усилие  $P_{\Pi}$  определяется через работу деформации полки ( $A_d = P_d L$ ) и может быть записано соотношением:

$$P_{\Pi} = 2\sigma_T s_0 b_0 - \sigma_T s_0 b_0 \sqrt{1 + \lambda_i^2} - \frac{1}{\lambda_i} \ln(\lambda_i + \sqrt{1 + \lambda_i^2}) \sigma_T s_0 b_0 + \\ + \frac{2}{3} \lambda_i^2 \sigma_T s_0 b_0 + \frac{1}{8} \sigma_T s_0^2 \left[ \lambda_i \sqrt{1 + \lambda_i^2} + \ln(\lambda_i + \sqrt{1 + \lambda_i^2}) \right], \quad (4)$$

где  $s_0$  – начальная толщина стенки;  $b_0$  – начальная ширина рабочей части фильеры по полке (ширина полки профиля);  $\lambda_i$  – коэффициент, учитывающий изменение геометрии профилируемой заготовки по длине (в работе принято  $\lambda_i = \pi b_0 / 2L$ ).  
 Усилие для преодоления силы трения определяется из условия идеальной пластичности в процессе деформирования профиля:

$$P_T = T \approx 2M_k (1 + \lambda_i^2) / (1 - f_i \lambda_i) (1,86 - 0,785 f_i), \quad (5)$$

где  $M_k = \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \sigma_T s_0^2 \cdot \eta^2 \left[ 2 - \lambda + 2(\lambda - 1)(1 - \sqrt{1 - k^2}) / k^2 \right]$  – момент на биссектрисе углагиба при выходе из фильеры;  $f_i$  – коэффициент трения;  $k = (R_n - r_e) / (R_n + r_e)$  – коэффициент, учитывающий геометрию зоны сгиба, зависящий от радиусов наружной  $R_n$  и внутренней  $r_e$  поверхности;  $\eta$  – утолщение в зоне сгиба.

Трением в данном случае является трение качения, сила которого записывается в следующем виде:

$$T_k = P_T = 1/2 \cdot \sigma_T l_a s_0 \cdot \left( \sqrt{2Rs_0 - s_0^2} \right) / (R - s_0), \quad (6)$$

где  $l_a = \sqrt{R^2 \cdot \sin^2 \alpha + s_0^2}$  – длина участка контакта заготовки и инструмента при угле наклона зоны контакта с роликом к продольной оси  $\alpha$ ;  $R$  – радиус роликов.

Полное усилие волочения корытообразного профиля:

$$\begin{aligned} P_s = & \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \varphi_i \cdot \sigma_T \cdot s_o^2 \cdot \eta^2 \cdot \left[ \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{1+k}{1-k} - 1 \right] + 4 \cdot \sigma_T \cdot s_o \cdot b_n - 2 \cdot \sigma_T \cdot s_o \cdot b_n \cdot \sqrt{1 + \lambda_i^2} - \\ & - \frac{2}{\lambda_i} \cdot \ln(\lambda_i + \sqrt{1 + \lambda_i^2}) \cdot \sigma_T \cdot s_o \cdot b_n + 4 \cdot \sigma_T \cdot s_o \cdot \frac{H}{\sin \varphi_i} - 2 \cdot \sigma_T \cdot s_o \cdot \frac{H}{\sin \varphi_i} \cdot \sqrt{1 + \lambda_i^2} - \\ & - \frac{2}{\lambda_i} \cdot \ln(\lambda_i + \sqrt{1 + \lambda_i^2}) \cdot \sigma_T \cdot s_o \cdot \frac{H}{\sin \varphi_i} + \frac{1}{4} \cdot \sigma_T \cdot s_o^2 \cdot [\lambda_i \cdot \sqrt{1 + \lambda_i^2} + \ln(\lambda_i + \sqrt{1 + \lambda_i^2})] + \\ & + \frac{4}{3} \cdot \lambda_i^2 \cdot \sigma_T \cdot s_o \cdot \frac{H}{\sin \varphi_i} + \sigma_T \cdot s_o \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot R \cdot s_o - s_o^2}}{R - s_o} \cdot \sqrt{R^2 \cdot \sin^2 \varphi_i^2 + s_o^2} \end{aligned} \quad (7)$$

где  $H$  – высота профиля;  $\varphi_i$  – угол наклона профиля.

Эта зависимость проиллюстрирована графиком (рисунок 13), построенным по расчётам с применением программы MatCad.

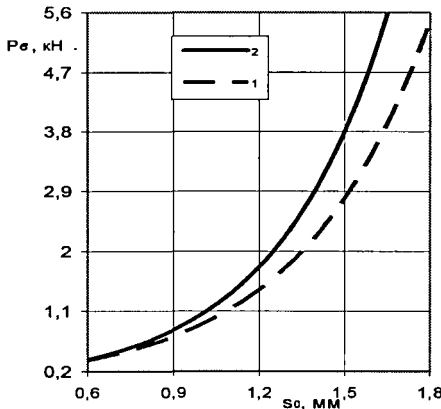


Рисунок 13 - Графические зависимости усилия волочения  $P_b$  от толщины материала заготовки  $s_0$ : 1- корытообразный профиль из материала 1451 с углом гибки  $\varphi = 60^\circ$ ; 2- корытообразный профиль с углом гибки  $\varphi = 90^\circ$

Во второй главе представлены также результаты сравнения экспериментальных данных с результатами конечноэлементного моделирования по определению изменения толщины (утолщения) стенок и полок профиля при волочении-прокатке.

Варьируемыми параметрами при исследованиях явились: коэффициент запаса материала по ширине заготовки ( $B/B_T$ ), предел текучести материала (принято допущение  $\sigma_T = \sigma_{0,2}$ ) и толщина заготовки ( $s_0$ ). С использованием разработанной конечно-элементной модели исследовалось влияние коэффициента запаса материала по шири-

не заготовки на утолщение материала в зонах сгиба ( $s/s_0$ ). Исследования были проведены для алюминиево-литиевых сплавов 1430, 1451 толщиной от 1,2 мм до 1,5 мм.

Численные исследования проводились для различных значений коэффициента трения  $f$  между заготовкой и роликами, приведённых в различных источниках. Наилучшее совпадение с экспериментальными данными по разнотолщинности было получено при  $f = 0,2$ , в связи с чем эта его величина была принята как наиболее точная.

На рисунке 14 показано сравнение экспериментальных данных и результатов конечно-элементного моделирования.

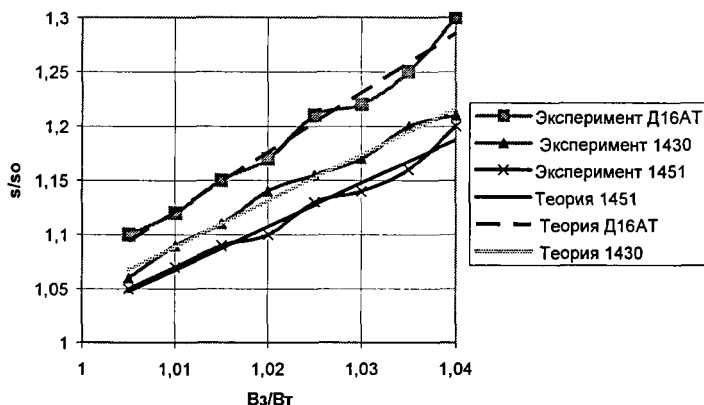


Рисунок 14 - Сравнение результатов экспериментальных данных и данных конечно-элементного моделирования для утолщения корытообразного профиля с отбортовками : —■— Сплав D16AT; —▲— сплав 1430; —×— сплав 1451

На основании проведённых исследований сделан вывод, что конечно-элементная модель процесса волочения - прокатки имеет в целом хорошую сходимость с экспериментальными результатами с погрешностью в пределах 5...8 %, что подтверждает адекватность разработанной модели реальному процессу формообразования.

В третьей главе разрабатываются технические условия на оборудование для изготовления гнутолистовых профилей на основе проектных параметров волочильно-прокатной установки; выдаются рекомендации по обеспечению твёрдости поверхности рабочего калибра для роликов и точности размеров по рабочему контуру роликов окончательного и предварительного формообразования. Отмечается, что усовершенствование конструкции волочильно-прокатной установки расширяет возможности производственно-технологической системы по изготовлению гнутолистовых профилей для авиационных конструкций за счёт:

- вариантного управления скоростью профилирования;
- изменения межосевого расстояния клетей в значительном диапазоне;
- регулировки зазора калибра на толщину профилируемой заготовки (рисунки 15, 16).

Для определения межклетьевого расстояния предлагается использовать эмпирическую зависимость:

$$L = \sqrt{\frac{8\varphi_K \cdot b^3}{3 \cdot \{s_0 \sqrt{2 \cdot (1 - \mu_{1-2})} \cdot (2 - \frac{r_K^h}{r_{K-1}}) + B(\frac{R_K}{R_{K-1}} - 1) \cdot r_K\}}}, \quad (8)$$

где  $\varphi_K$  – угол подгибки текущего перехода,  $r_K^h$  – радиус кривизны профилируемой заготовки,  $R_K$  – радиус формирующего ролика;  $r_{K-1}$  и  $R_{K-1}$  – соответственно радиусы на переходе;  $b$  – ширина подгибаемой полки профиля. Скорость профилирования  $V_{\text{проф}} = 6 \dots 12 \text{ м/мин} = 0,1 \dots 0,2 \text{ м/с}$ .

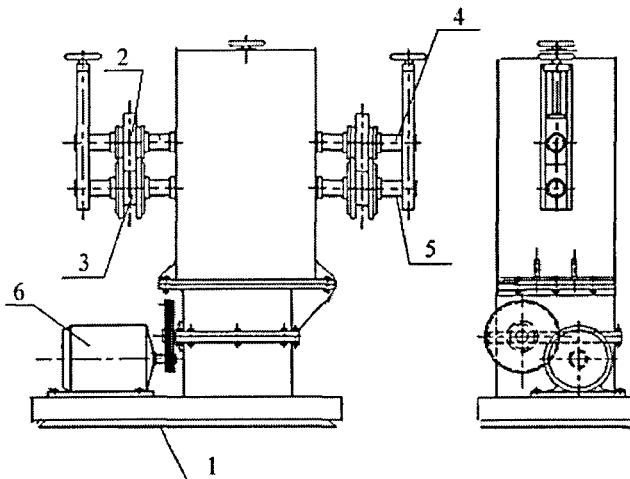


Рисунок 15 - Общий вид модели клетки волоочно-прокатной установки по патенту № 2226441: 1 – основание; 2,3 – ролики формирующие; 4 – верхний вал; 5 – нижний вал; 6 – электродвигатель

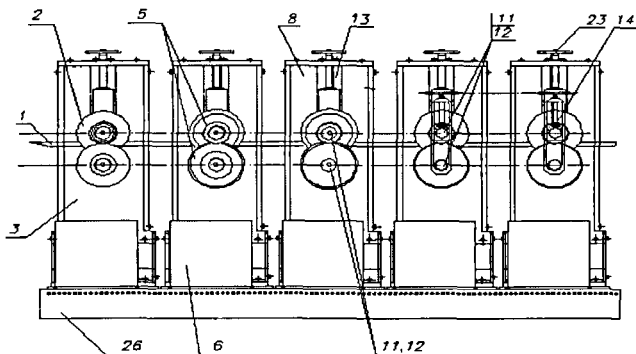


Рисунок 16 - Общий вид волоочно-прокатной установки (ВПУ), вид спереди: 1- плоская листовая заготовка; 2- роликовая пара; 3- рабочая клеть, 5- неприводная роликовая пара, 6,8 (приводная) - рабочая клеть, 9 - вращающаяся роликовая пара, 11, 12 - рабочие валы; 13 - втулки-ползуны, 14- хомуты, 23 – ходовой винт, 26 – направляющие рамы

На рисунке 17 изображён график зависимости результирующей силы от времени деформирования. Расчёты позволяют определить оптимальные значения величин результирующей силы между верхним роликом и заготовкой на окончательном переходе. Из графика видно, что до момента времени 0, 015 с. происходит резкое увеличение результирующей силы.

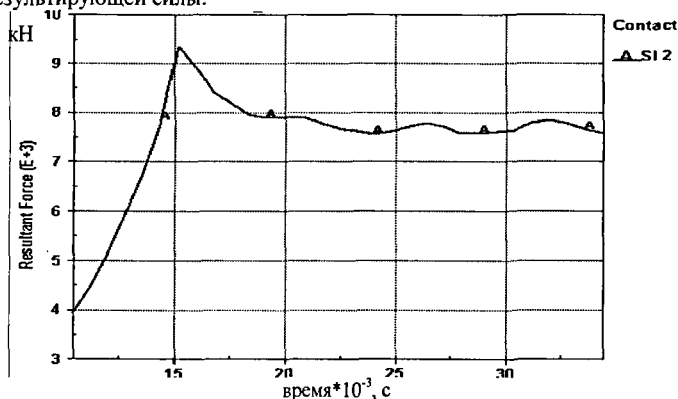


Рисунок 17 - Распределение результирующей силы между верхним роликовым инструментом и заготовкой

В этой же главе проведены расчеты по замене подкрепляющего стрингерного набора фюзеляжа самолета Ту-204, чем обосновывается выигрыш по массе от использования гнутолистового профиля.

В четвертой главе описываются производственно-технологические процедуры по внедрению гнутолистовых профилей в авиационные конструкции взамен пресованных на основе проведенных исследований и экспериментов. Рассматриваются характеристики материалов на основе алюминиевых сплавов, рассчитываются варианты замены профилей стрингерного набора, подбираются равнопрочные элементам прототипа составные элементы силовой конструкции фюзеляжа из труднодеформируемых материалов на основе алюминийево-литиевых сплавов типа 1430 и 1451 взамен Z-образных пресованных стрингеров. Для оценки эффективности результатов исследований используется методика определения технико-экономического уровня разработок в условиях автоматизации проектирования и управления производственно-технологическими процессами. Экономический эффект определяется через показатели научно-технического и технико-экономического уровней и при условии внедрения средств автоматизации проектирования и управления производственно-технологическим процессом изготовления гнутолистовых профилей с учетом функционирования АСУП и САПР/АСТПП предприятия.

При внедрении гнутолистовых профилей из материала 1451 экономический эффект составил 39 600 рублей в расчете на один фюзеляж самолета Ту-204.

### **Основные результаты и выводы по работе:**

1. Разработана математическая модель процесса стеснённого изгиба при волочении-прокатке профилей, учитывающая особенности деформирования труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов (зависимость коэффициента трения от параметров инструмента).
2. Разработаны новые способы стеснённого изгиба при волочении-прокатке профилей из труднодеформируемых сплавов.
3. Разработана инженерная методика проектирования технологического процесса волочения-прокатки, учитывающая особенности деформирования труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов путём использования уточнённого при численных исследованиях (при моделировании) коэффициента трения.
4. Экспериментальные исследования процессов изготовления корытообразных профилей из труднодеформируемых алюминиево-литиевых сплавов 1430, 1451 подтвердили достоверность модели процесса. Расхождение между результатами моделирования и экспериментальными данными не превышает 5...8 %.
5. Конечно-элементным моделированием показана возможность применения инженерных расчётов параметров технологического процесса волочения-прокатки при условии использования значений коэффициента трения  $f = 0,2$ . Расчётные значения технологических параметров и роликового инструмента, полученные при использовании уточнённой методики, обеспечивают получение бездефектных качественных профилей из труднодеформируемых материалов, что подтверждено исследованиями процессов изготовления корытообразных профилей непосредственно в производстве.
6. Разработаны рекомендации по совершенствованию конструкции серийного оборудования для стеснённого изгиба при волочении-прокатке запатентованными способами.
7. Усовершенствованная технология стеснённого изгиба апробирована в условиях производства. Достигнуто снижение массы профилей планера на 8% по сравнению с прессованными профилями при внедрении гнутолистовых профилей из материала 1451.

### **Основное содержание диссертации опубликовано:**

**в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определённых Высшей аттестационной комиссией:**

1. Колганов, И. М. Графические зависимости параметров деформирования от толщины и механических свойств авиационных материалов [Текст] / И. М. Колганов, О. В. Перфильев // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 2. – Самара: СамНЦ РАН, 2007. – С. 51-55.
2. Колганов, И. М. Процедуры моделирования процессов изготовления тонкостенных профилей стеснённым изгибом методом конечных элементов [Текст] / И. М. Колганов, О. В. Перфильев // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 12 № 4(2). – Самара: СамНЦ РАН, 2010. – С. 390-393.
3. Перфильев, О.В. Замена в перспективных летательных аппаратах прессованных профилей гнутолистовыми повышенной жесткости - важная задача конструкторских бюро и производства [Текст] / И. М. Колганов, О. В. Перфильев // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 12 № 4(2). – Самара: СамНЦ РАН, 2010. - С. 390-395.

**в других изданиях:**

3. Колганов, И. М. Новые варианты волочильно-прокатного оборудования для изготовления тонкостенных профилей из листовых заготовок [Текст] / И.М. Колганов, О.В. Перфильев О. В., А. Г. Абаськин // Современные технологии производства и управления в авиастроении: Сборник научных трудов, посвященный 60-летию победы в ВОВ 1941-1945 г.г. / Ульян. гос. техн. ун-т, ИАТУ. - Ульяновск: УлГТУ, 2005. – С. 74-79.

4. Перфильев, О.В. Обобщенные результаты исследований при отработке технологии изготовления тонкостенных гнутых профилей [Текст] / О.В. Перфильев, И.М. Колганов, П.Ю. Пакшин // Новые технологии в авиастроении: Сборник научных трудов / Ульян. гос. техн. ун-т. - Ульяновск: УлГТУ, 2002. – С. 85-91.

5. Патент № 2226441, МПК<sup>7</sup> B21D/06. Способ изготовления тонкостенных профилей из труднодеформируемых листовых материалов [Текст]/ Колганов И. М., Перфильев О. В., Тюнькин А. В., Пакшин П. Ю., Филлимонов С. В. - Оpubл. в Б.И., 2004, № 10.

6. Патент № 2267374, МПК<sup>7</sup> B21D/06. Клетевой модуль волочильно-прокатной установки [Текст] / Колганов И. М., Перфильев О. В., Абаськин А. Г. - Оpubл. в Б.И., 2006, №1.

7. Патент № 2269392, МПК<sup>7</sup> B21D/06. Способ изготовления тонкостенных профилей из труднодеформируемых листовых заготовок и автоматизированная линия для его реализации [Текст]/Колганов И. М., Перфильев О. В., Небольсин А. Ю., Максимов М. С. - Оpubл. в Б.И., 2006, № 4.

8. Патент № 2275264, МПК<sup>7</sup> B21D/06. Клетевой модуль волочильно-прокатной установки [Текст] / Колганов И. М., Перфильев О. В., Петров Д. В. - Оpubл. в Б.И., 2006, № 12.

9. Патент № 2292250, МПК<sup>7</sup> B21D/06. Способ регулировки зазора калибра на толщину профилируемой заготовки и устройство для его реализации [Текст] / Колганов И. М., Перфильев О. В., Абаськин А. Г., Яковлев Д. В. - Оpubл. в Б.И., 2007, №3.

**Перфильев Олег Владимирович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ  
АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СТЕСНЕННЫМ ИЗГИБОМ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

Подписано в печать 12 января.2011г. Формат 60х84/16.  
Тираж 100 экз. Отпечатано с готового оригинал-макета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34, СГАУ