

На правах рукописи

Турундаев Константин Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ
ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Специальность 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство
летательных аппаратов**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Ульяновск – 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО “Ульяновский государственный технический университет”

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Колганов Иван Михайлович
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Демин Феликс Ильич кандидат технических наук, доцент Родин Николай Петрович
Ведущая организация	Закрытое акционерное общество “АВИАСТАР-СП”, г.Ульяновск

Защита состоится 17 июня 2009 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.04 при ГОУ ВПО “Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва”, по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.

Автореферат разослан 8 мая 2009 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

Прохоров А.Г.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Актуальность проблемы. Важной проблемой при производстве изделий **авиакосмической** техники является изготовление профилей, обладающих высокими ресурсными и жесткостными характеристиками. Это определяется требованиями снижения массы, увеличение срока эксплуатации летательных аппаратов (ЛА).

Вопросы повышения ресурса и жесткости продольно – поперечного силового набора ЛА определяют применение гнутолистовых профилей, изготовленных из низкопластичных материалов, с радиусом по зонам сгиба, равном толщине листа. Применение гнутых из листа профилей позволяет увеличить ресурс до 60 тысяч часов, что в 2-3 раза выше, чем у прессованных.

Наиболее эффективным и прогрессивным способом изготовления таких профилей для ЛА является метод стесненного изгиба (СИ), разработанный Г. В. Проскураковым, и его разновидность - метод интенсивного деформирования (МИД).

Методика проектирования технологического процесса СИ и МИД предусматривает определение количества переходов, угловгиба для каждого перехода и геометрических параметров роликов по заданным размерам профиля.

При этом отсутствие теоретической модели, связывающей величины угловгиба с величиной относительного удлинения кромки профиля, не позволяет оценить правильность выбора угловгиба по критерию отсутствия пластических деформаций на кромке профиля, приводящих к появлению дефектов: кромковой волнистости, излому боковой полки, продольной кривизне, поперечной крутке.

Отсутствие модели правки ограничивает использование возможностей прокатных станов для совмещения процессов прокатки и правки.

Отсутствие модели взаимодействия заготовки профиля с вертикальным буртом профилегибочной оснастки ограничивает возможности оценки правильности выбора радиуса буртов ролика по критерию целостности защитного покрытия профиля.

Соответственно разработка данных моделей является **актуальной** научной и технической проблемой, востребованной производством ЛА.

Цель работы - повышение качества, сокращение сроков и стоимости технологической подготовки производства гнутолистовых профилей для летательных аппаратов.

В соответствии с этим определены следующие **целевые задачи исследования**:

1. Разработка теоретической модели зоны плавного перехода, описывающей поведение боковой полки профиля в межклетьевом пространстве.
2. Разработка теоретической модели, описывающей зону контакта боковой полки профиля с вертикальным буртом профилегибочной оснастки и получаемое там напряженно-деформированное состояние.
3. Разработка теоретической модели, описывающей деформацию профиля при правке во время профилирования.

4. Разработка методики проектирования технологических процессов СИ и МИД на основе предложенных моделей.

5. Оценка адекватности и эффективности предложенной методики.

Объектом исследования являются гнутолистовые профили для летательных аппаратов, с поперечным незамкнутым сечением.

Предметом исследования является технологический процесс (стесненный изгиб и метод интенсивного деформирования) изготовления гнутолистовых профилей для летательных аппаратов.

Методологической и теоретической основой исследования явились классические труды по механике деформируемого твердого тела (механика материалов, механика контактного взаимодействия и т.д.), теории профилирования и обработки металлов давлением следующих авторов:

Ю. Н. Алексеева, Ю. М. Арышенского, В. А. Барвинка, К. Н. Богоявленского, М. Н. Горбунова, Б. А. Горлача, Ф. В. Гречникова, Г. Я. Гуна, В. И. Давыдова, К. Джонсона, М. Е. Докторова, В. И. Ершова, И. М. Колганова, В. В. Колмогорова, А. Д. Комарова, В. А. Костышева, М. И. Лысова, Е. Н. Мошнина, В. Ф. Павлова, Г. С. Писаренко, Е. А. Попова, Г. В. Проскурякова, И. П. Ренне, Н. П. Родина, Г. А. Смирнова - Аляева, С. П. Тимошенко, И. С. Тришевского, В. И. Филимонова, Р. Хилла и др.

Научная новизна данной работы заключается в следующих результатах:

1. Впервые разработана теоретическая модель поведения профиля в межклетьевом пространстве и на входе в рабочий калибр, учитывающая, в отличие от других моделей, наличие и влияние вертикальных буртов профилирующей оснастки.

2. Разработана теоретическая модель поведения профиля в межклетьевом пространстве (зона плавного перехода) и на входе в рабочий калибр с учетом конусных посадок профилирующей оснастки.

3. Впервые разработана теоретическая модель, характеризующая напряженно-деформированное состояние при контакте боковой полки профиля с оснасткой (на входе в рабочий калибр), учитывающая, в отличие от других моделей, влияние вертикальных буртов профилирующей оснастки.

4. Впервые разработана теоретическая модель деформации профиля во время правки, когда правка происходит во время профилирования (в потоке) и с применением (помощью) правильных роликов, а также предложена методика учета существующей кривизны профиля (до правки) при правке и получении прямолинейного профиля.

5. Впервые разработаны новый способ и устройство для изготовления профилей, а также теоретическая модель, описывающая энергосиловые параметры процесса профилирования при совместном использовании инструментальной фильеры и линейного электродвигателя.

6. Разработаны классификаторы параметров применяемых профилей и параметров профилирующего оборудования, а также выведен алгоритм оптимизации профилирующего оборудования под задаваемые профили.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Достигнут высокий показатель экономического качества профилей:
 - а) применение более точной методики проектирования профилегибочной оснастки сокращает сроки и стоимость технологической подготовки производства профилей;
 - б) повышение производительности труда изготовления профилей за счет совмещения операции гибки и правки;
 - в) расширение технологических возможностей новых профилегибочных станков, проектируемых на основе классификаторов параметров применяемых профилей и параметров профилегибочного оборудования.

2. Достигнуты высокие показатели качества профилей - надежность, технологичность.

Апробация результатов диссертационного исследования. Результаты диссертационного исследования докладывались на пяти научно-технических конференциях УлГТУ в 2004-2008 гг.

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

По данным исследования было **опубликовано** 9 научных работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК, получено 2 патента и положительное решение на 1 заявку на изобретение.

Объем диссертации: 146 страниц текста, 38 рисунков, 13 таблиц, 109 источников.

Основная часть исследований произведена на базе УлГТУ, ООО “НПО “Интенсивное деформирование материалов”, ОАО “Ульяновский НИАТ”.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описаны актуальность проблемы, цель работы, целевые задачи исследования, объект исследования, предмет исследования, методологическая и теоретическая основа, информационная база исследования, научная новизна, практическая значимость работы, апробация работы.

Первая глава посвящена критическому анализу состояния существующей проблемы. Проведен анализ применения гнутолистовых профилей в **авиакосмической** отрасли промышленности, а также рассмотрены показатели качества профильной продукции.

Проведен анализ методов изготовления профилей. При штамповке, в связи с ограниченностью длины штампа и применяемой номенклатуры оборудования, существует ограничение по длине получаемого профиля. Кроме того, штамповка имеет малую производительность и обеспечивает изготовление профилей только простой конфигурации. При изготовлении на кромкогибе к перечисленным отрицательным сторонам штамповки добавляется невозможность на каждом профиле получить идентичное сечение. При использовании прессования нарушается плакированный слой металла, ограничена возможность получения профилей из труднодеформируемых материалов с толщиной стенки менее 1,5 мм. Кроме того, прессованные профили имеют низкий ресурс (25 - 30 тысяч часов), что не обеспечивает потребности по ресурсу в 60 тысяч часов.

При волочении через инструментальную фильеру к перечисленным отрицательным сторонам штамповки добавляется утонение профиля, нарушение качества поверхностного слоя. При традиционном профилировании невозможно изготовить профиль с внутренним радиусом менее 3 - 5 толщин листа. Наиболее перспективными методами изготовления профилей являются СИ и МИД, при использовании которых осуществляется прокатка заготовки через несколько последовательно расположенных роликовых пар с приложением торцевого поджатия по кромке. Однако процессы СИ и МИД исследованы в недостаточной степени.

Анализ существующих теоретических моделей зоны плавного перехода при СИ и МИД показал, что они не учитывают влияния вертикальных буртов профилирующей оснастки, в недостаточной степени учитывают относительное удлинение по кромке боковой полки профиля, а также по предельным угламгиба на каждом переходе. Недостатки моделей проявляются в ухудшении качества профилей: кромковой волнистости, излому боковой полки, продольной кривизне, поперечной крутке.

Проведенный анализ существующих методов правки профилей показал перспективность процесса правки во время профилирования. Однако при реализации такого процесса существует ряд проблем: дестабилизация периферийных участков профиля при правке, знакопеременный характер правки. Существующие модели правки профилей не учитывают этих особенностей.

Вторая глава посвящена разработке теоретических моделей деформирования профиля и методики проектирования технологических процессов СИ и МИД.

Модель зоны плавного перехода профиля, учитывающая влияние вертикальных буртов профилирующего инструмента (рис.1а), основана на допущениях:

1. Нейтральная линия боковой полки профиля любого поперечного сечения является прямолинейным отрезком (рис.1б).
2. Кромка профиля в межклетьевом пространстве между точками опоры n и $(n+1)$ перехода представлена в виде S-образной балки АВ (рис.1в, г).
3. Зона контакта боковой полки профиля с вертикальным буртом ролика представляет собой непрерывную линию ВВ₂ (рис.1г).
4. Боковая полка профиля представлена в виде независимых друг от друга продольных S-образных балок (рис.1в, г).

При использовании этих допущений были получены соответствующие зависимости, характеризующие поведение боковой полки профиля в межклетьевом пространстве.

После соответствующих преобразований была определена длина упругой линии первого участка балки (кромки боковой полки профиля) АВ:

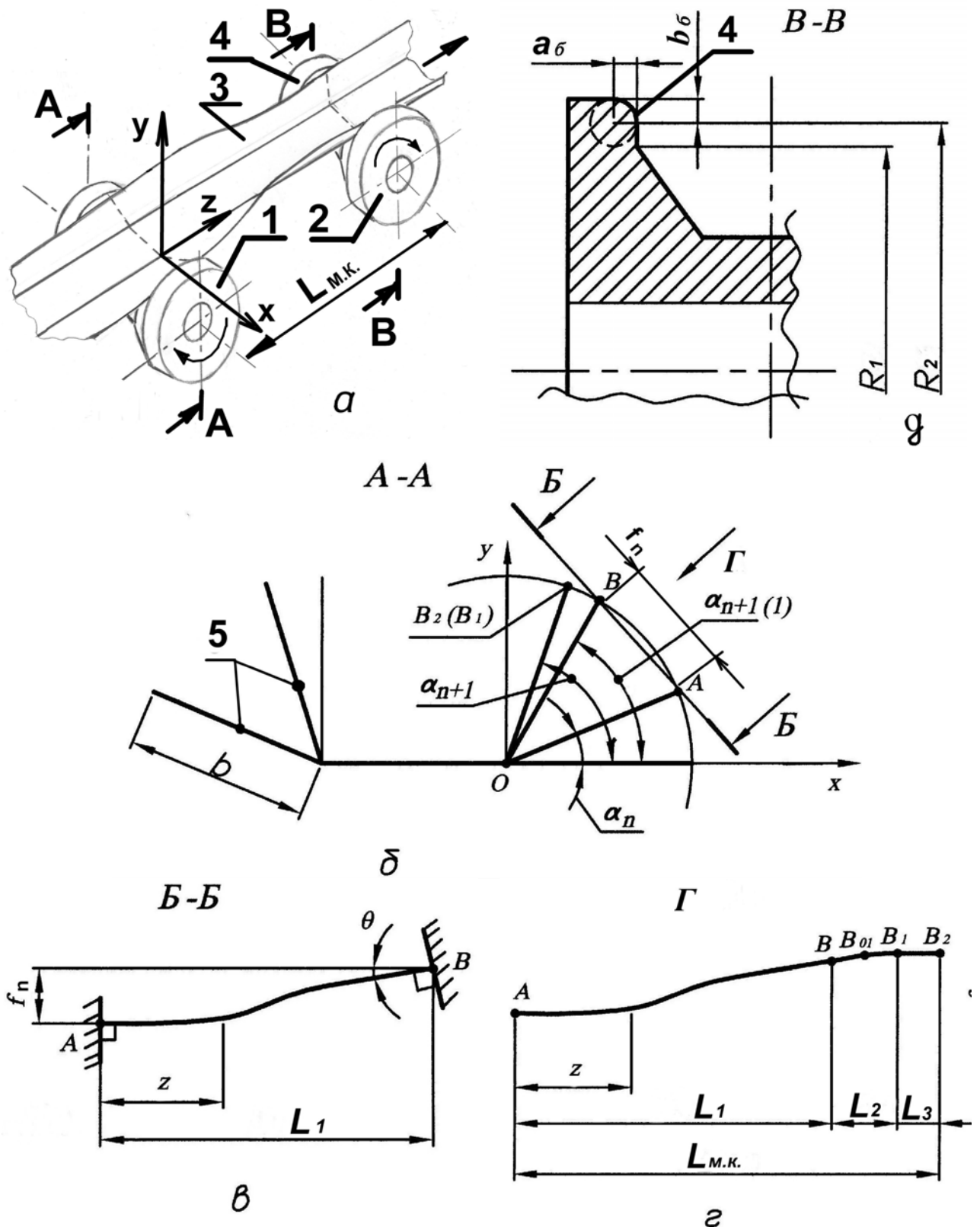


Рис.1. Межклетьевое пространство, образованное роликами с вертикальными буртами: а – аксонометрическая проекция (показан только профиль, нижние ролики); б – сечение А-А (показана только нейтральная линия профиля n -го и $(n+1)$ -го перехода); в – сечение Б-Б; г – вид А; д – сечение В-В (показан только нижний ролик). 1-нижний ролик n -го перехода; 2-нижний ролик $(n+1)$ -го перехода; 3-боковая полка профиля; 4-вертикальный бурт оснастки; 5 - нейтральная линия боковой полки профиля

$$L_{y.l.b.1} = L_1 + \left(\left(6 \cdot f_n / L_1^2 \right) - \left(2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_n / L_1 \right) \right)^2 \cdot (L_1^3 / 60) + \\ + \left(\left(6 \cdot f_n / L_1^2 \right) - \left(2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_n / L_1 \right) \right) \cdot (L_1^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_n / 20) + \left(\operatorname{tg}^2 \alpha_n \cdot L_1 / 10 \right), \quad (1)$$

где f_n – смещение концов крайней балки (кромки) АВ боковой полки на смежающей плоскости Б-Б (рис.1б, в), равное $f_n = 2 \cdot b \cdot \sin((\alpha_{n+1(1)} - \alpha_n) / 2)$;

n – номер перехода;

b – высота полки профиля (рис.1б);

α_n – угол подъема полки профиля в n -ом переходе (рис.1б);

$\alpha_{n+1(1)}$ – угол подъема полки профиля в точке В $(n+1)$ -го перехода (рис.1б);

L_1 – длина нормали первого участка АВ криволинейной балки (рис.1в, г);

θ – угол захода балки в т.В (рис.1в).

Длина упругой линии балки второго участка плавного перехода равна:

$$L_{y.l.b.2} \approx L_2, \quad (2)$$

где L_2 – длина нормали 2-го участка криволинейной балки (рис.1г).

Длина упругой линии балки третьего участка плавного перехода равна:

$$L_{y.l.b.3} = L_3 = B_1 B_2 = \sqrt{R_2^2 - R_1^2}, \quad (3)$$

где L_3 – длина нормали 3-го участка криволинейной балки (рис.1г);

R_1, R_2 – радиусы, характеризующие профилигибочную оснастку (рис.1д).

Относительное удлинение зоны плавного перехода крайней балки (кромки боковой полки профиля) относительно дна профиля, с использованием при вычислении выражения (1, 2, 3), будет равно:

$$e_{y.l.b.} = \frac{L_{y.l.b.} - L_{м.к.}}{L_{м.к.}} \cdot 100\% = \frac{L_{y.l.b.1} + L_{y.l.b.2} + L_{y.l.b.3} - L_{м.к.}}{L_{м.к.}} \cdot 100. \quad (4)$$

Для удобства практических расчетов $e_{y.l.b.}$ при различных значениях разницы углов ($\alpha_{n+1} - \alpha_{n+1(1)}$), являющейся функцией угла гиба α_{n+1} и высоты полки b , а также значение угла захода профиля θ , являющегося функцией α_{n+1} и b , представлены в виде номограмм (рис.2, 3).

При использовании роликов с конусным замыканием разработанная ранее теоретическая модель зоны плавного перехода упростится с учетом следующих допущений: значение угла наклона θ в т.В равно нулю; длина нормали первого участка равна межклетьевому расстоянию, второго и третьего участка балки нет, следовательно, т.В совпадает с т.В₂.

С учетом этих допущений длина упругой линии балки $L_{y.l.b.}$ и относительное удлинение $e_{y.l.b.}$ кромки боковой полки относительно дна профиля с использованием выражения (1, 4) будут равны:

$$L_{y.l.b.} = L_{м.к.} + \left(0,6 \cdot f_n^2 / L_{м.к.} \right) \quad (5)$$

$$e_{y.l.b.} = \left(L_{y.l.b.} - L_{м.к.} \right) \cdot 100\% / L_{м.к.} = 60 \cdot f_n^2 / L_{м.к.}^2. \quad (6)$$

Используя формулы (4, 6), можно на проектной стадии определить углы гиба по переходам, обеспечивающие получение качественного профиля.

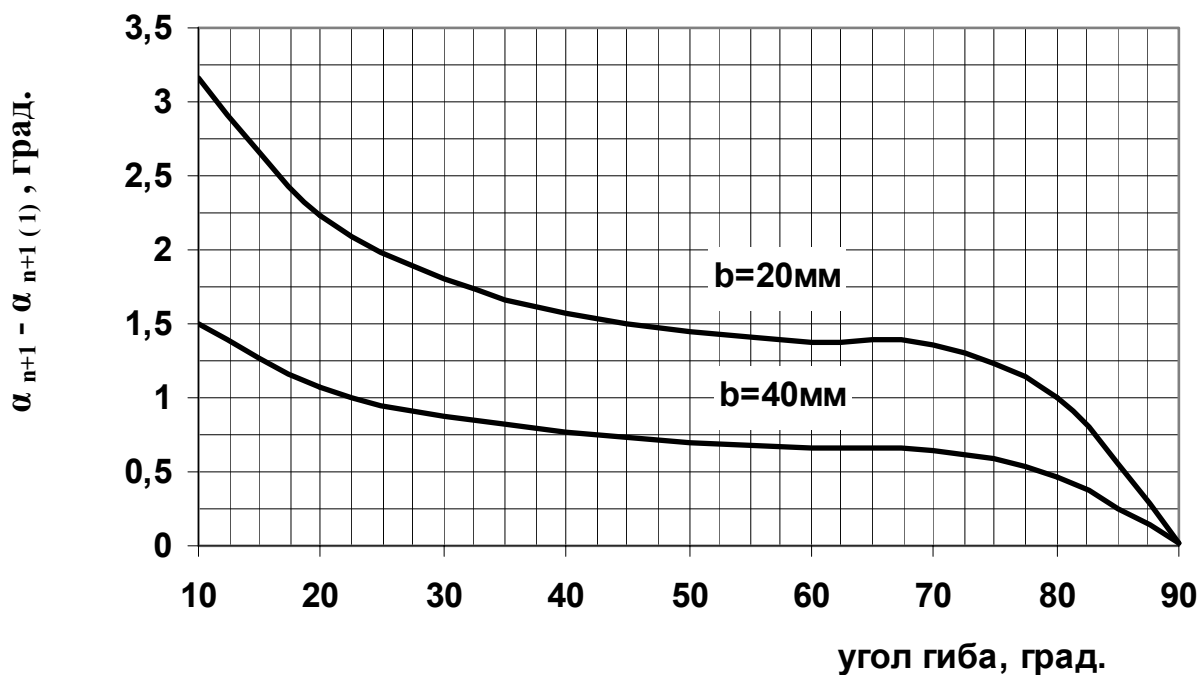


Рис.2. Номограмма для определения разницы по углам ($\alpha_{n+1} - \alpha_{n+1(1)}$) на конце первого участка профиля по углугиба ($n+1$)-го перехода α_{n+1} и высоте его полки b , при $a_6 = b_6 = 5\text{мм}$ (ширина и высота кривизны бурта (рис.1д))

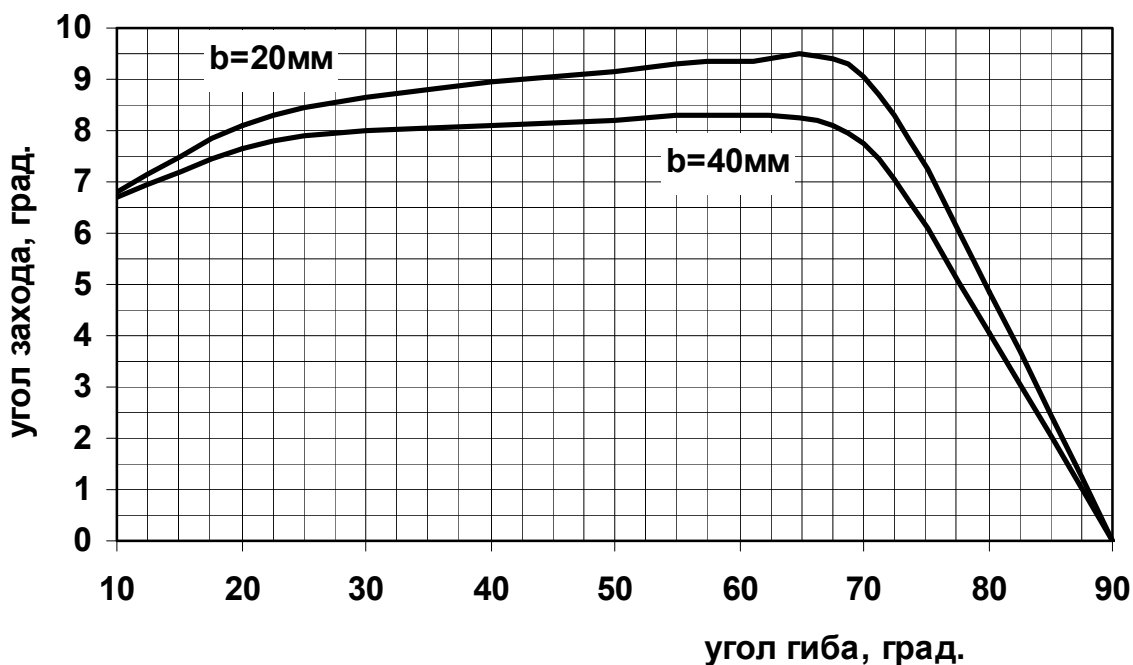


Рис.3. Номограмма для определения угла захода θ профиля по углугиба полки α_{n+1} и ее высоте b , при $a_6 = b_6 = 5\text{мм}$ (ширина и высота кривизны бурта (рис.1д))

Использование выражений (5, 6) дает сравнимые с другими моделями результаты (рис.4).

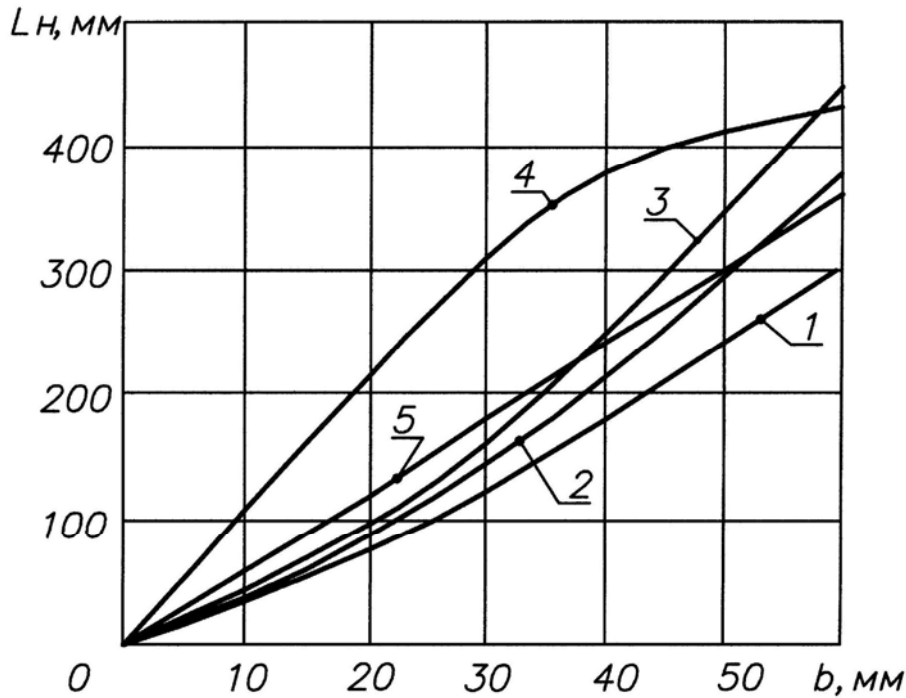


Рис.4. Зависимость протяженности зоны плавного перехода от высоты полки профиля b по моделям: 1 - Гуна Г. Я.; 2 - Филимонова В. И., Филимонова С. В.; 3 - Бхаттачария Д., Коллинза И. Ф.; 4 - Тришевского И. С., Докторов М. Е.; 5 – автора

Модель напряжено-деформированного состояния боковой полки профиля на входе в рабочий калибр инструмента, учитывающая влияние вертикальных буртов профилегбочной оснастки, основана на допущениях:

1. Наибольшие напряжения и, соответственно, деформации будут в первоначальной точке контакта боковой полки профиля с вертикальным буртом профилегбочной оснастки (рис.1).

2. Действие касательных сил, вызванных трением скольжения, из-за их малости по сравнению с нормальными силами P не учитывается.

3. Зависимость главных напряжений от формы области контакта и нагрузки P соответствует теории упругого контакта Герца.

С учетом принятых допущений условие целостности защитного покрытия профиля может быть задано в соответствии с третьей теорией прочности, основное соотношение которой принимает вид:

$$[\phi] \geq \phi_{\max} = \frac{y_1 - y_3}{2} = \frac{y_z - y_x}{2} = -0,6 \cdot \left(6 \cdot P \cdot E^* / p^3 \right)^{1/3} \cdot F_{\phi}(R', R''), \quad (7)$$

где E^* - приведенный модуль упругости Юнга;

$F_{\phi}(R', R'')$ - функция, зависящая от радиусов кривизны в зоне контакта.

При использовании четвертой теории прочности, основное соотношение условия целостности защитного покрытия профиля принимает вид:

$$\begin{aligned}
[y] \geq y_{\text{ЭКВ.IV}} &= \sqrt{\frac{1}{2} \left((y_1 - y_2)^2 + (y_2 - y_3)^2 + (y_3 - y_1)^2 \right)} = \\
&= \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot \left(6 \cdot P \cdot E^{*2} / p^3 \right)^{1/3} \cdot F_{yIV}(R', R''), \quad (8)
\end{aligned}$$

где $F_{\sigma IV}(R', R'')$ – функция, зависящая от радиусов кривизны R' и R'' в зоне контакта.

Анализ выражений (7, 8) выявляет возможность изменения контактных напряжений путем изменения радиуса кривизны вертикального бурта. Для удобства практического использования, зависимости $F_{\sigma IV}(R', R'')$ и $F_{\tau}(R', R'')$ от угла гйба α_{n+1} при различных значениях кривизны бурта (a_6, b_6) представлены в виде номограмм (рис.5, 6).

На основе учета и анализа геометрических параметров профиля до, во время, после правки и учета упрочнения материала профиля, была разработана **модель правки профиля** во время профилирования. Получены выражения для описания относительного удлинения дна профиля до правки по отношению к дну профиля во время и после правки. После правки:

$$e = \left(\left(\frac{R - R_{\text{н.л.}} \cdot R_{\text{н.л.1}}}{R_{\text{н.л.}} \cdot R_1} \right) \cdot \frac{E}{K} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (9)$$

где $R_1, R_{\text{н.л.1}}$ – радиус кривизны профиля по дну и по нейтральному слою на выходе из последней роликовой пары (без правки);

$R, R_{\text{н.л.}}$ – радиус кривизны профиля по дну и по нейтральному слою во время правки;

K, n – константы упрочнения металла.

Во время правки:

$$e = \frac{R}{R_{\text{н.л.}}} \cdot \frac{R_{\text{н.л.1}}}{R_1} - 1. \quad (10)$$

Условием прямолинейности профиля после правки является равенство выражений (9) и (10). Решение уравнений (9) и (10) позволяет вычислить требуемый радиус правки R по известным параметрам $R_1, R_{\text{н.л.1}}, K, n$.

Упрощенная модель процесса правки основана на дополнительных допущениях:

1. Напряжения, возникающие при правке в профиле, принимаются равными σ_T .
2. Нейтральная линия профиля проходит через центр тяжести его сечения.
3. Кривизна профиля до правки не влияет на процесс правки ($R_1 = R_{\text{н.л.1}} = \infty$).

При использовании этих допущений было получено удобное для использования выражение:

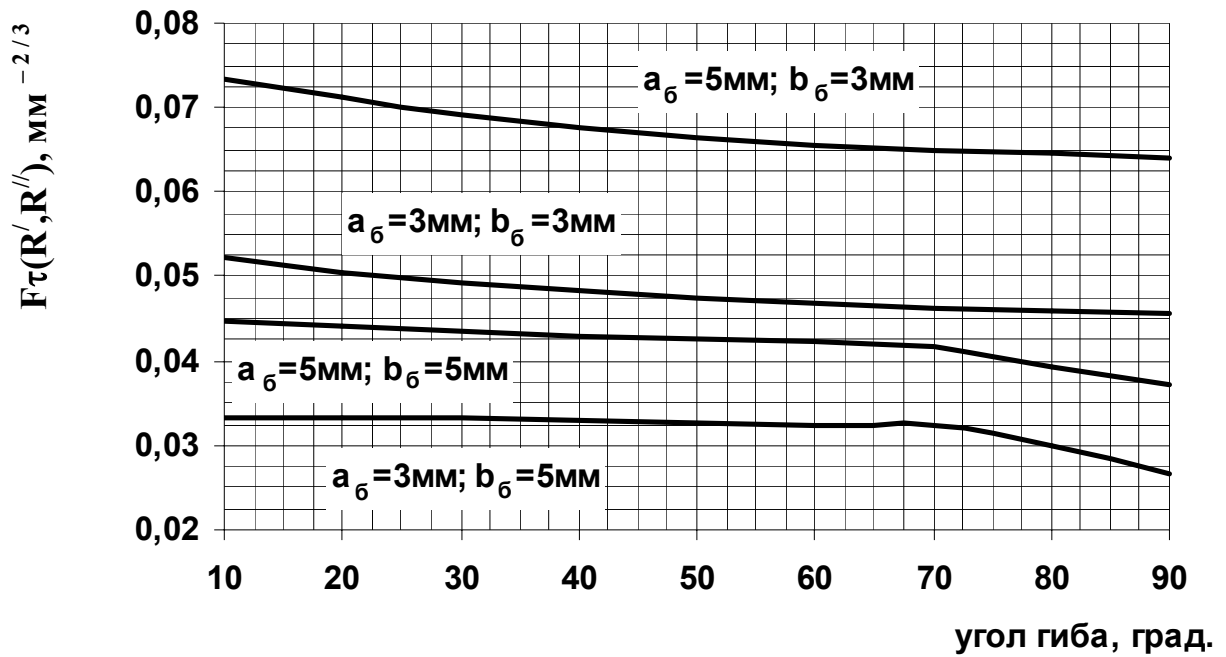


Рис.5. Номограмма для определения $F\tau(R', R'')$ по углугиба полки α_{n+1} и разных вариациях a_δ и b_δ , при высоте полки профиля $b=40$ мм

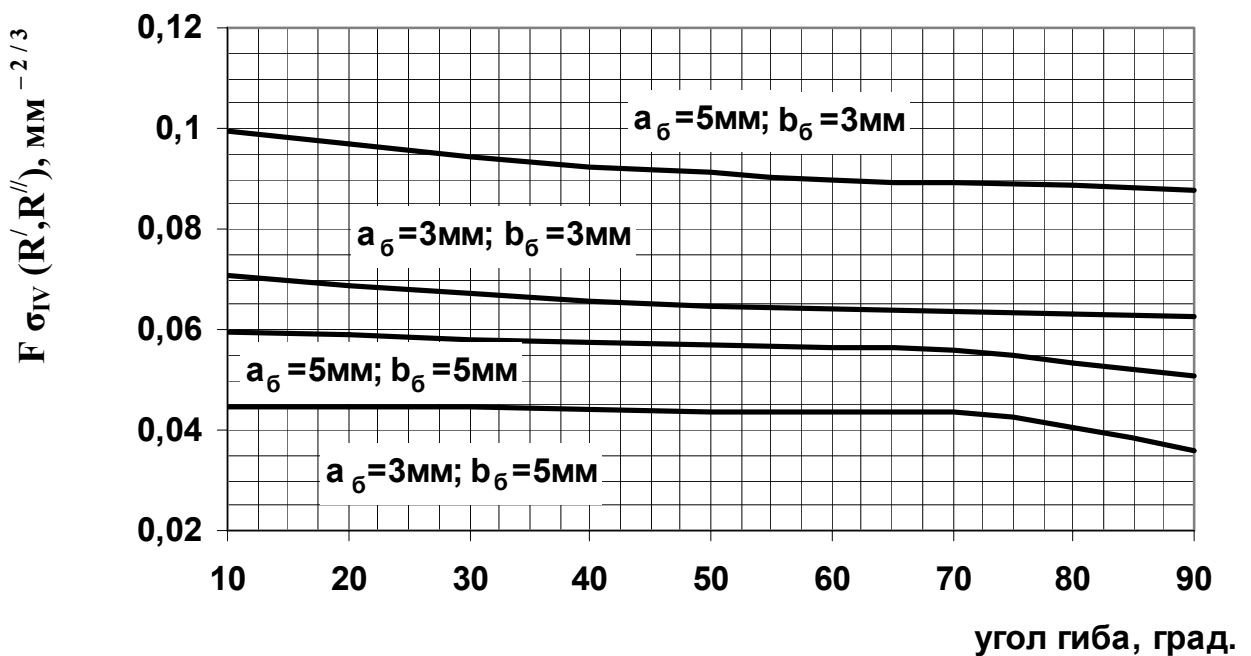


Рис.6. Номограмма для определения $F\sigma_{IV}(R', R'')$ по углугиба полки α_{n+1} и разных вариациях a_δ и b_δ , при высоте полки профиля $b=40$ мм

$$R_{y.t.} = k_{пр.} \cdot (y_{ц.т.} + (E/y_T) \cdot y_{ц.т.}), \quad (11)$$

где $R_{y.t.}$ – теоретический радиус правки;

$k_{пр.}$ – поправочный коэффициент, подобранный экспериментально, учитывающий кривизну профиля (до правки) и механические свойства материала;

$y_{ц.т.}$ – центр тяжести профиля;

σ_T – предел текучести;

E – модуль Юнга.

На основе модели был разработан и запатентован новый способ и устройство правки профилей во время профилирования (рис.7).

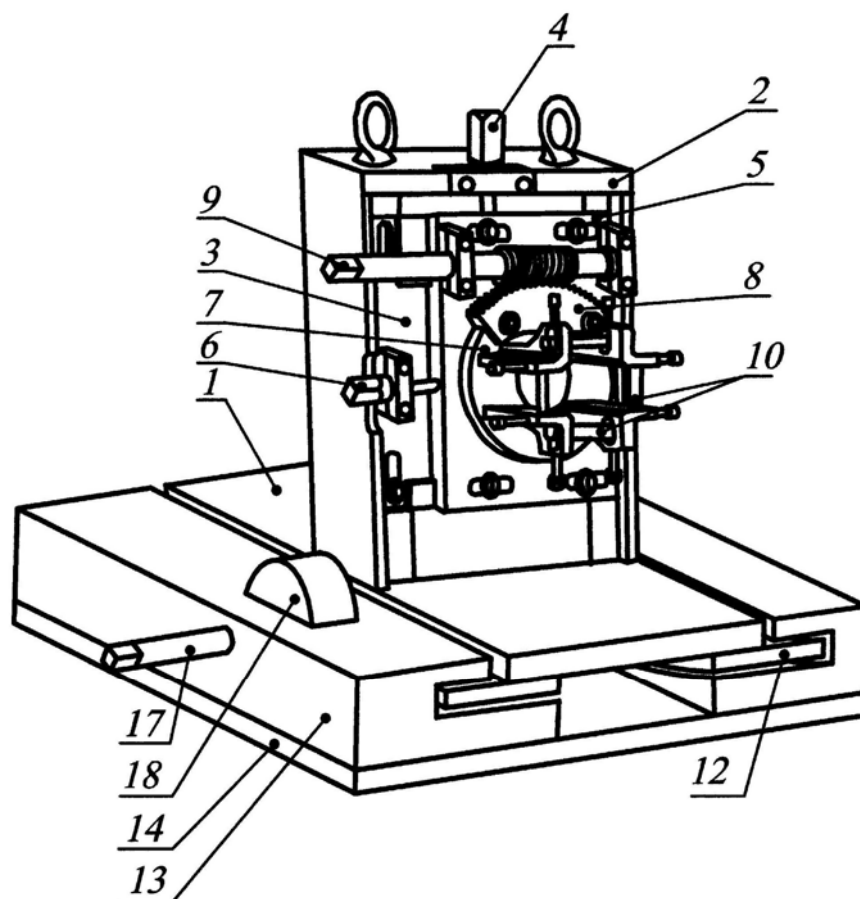


Рис.7. Правильное устройство, аксонометрическая проекция:

1 – основание; 2 - станина; 3 - плита; 4 - болт; 5 - плита; 6 - болт; 7 - обойма; 8 – зубчатый сектор; 9 - червяк; 10 - оси; 11 – правильные ролики; 12 - ползун; 13 - направляющие; 14 – плита; 15 – правильный блок; 16 – поворотный стол; 17 - вал; 18 – зубчатое колесо

Предложена методика проектирования технологических процессов СИ и МИД, которая предусматривает использование разработанных моделей для расчетов относительного удлинения, контактных напряжений, радиуса правки профиля.

Третья глава посвящена экспериментальному подтверждению разработанных теоретических моделей и методике проектирования профилегибочной оснастки. Исследования проводились на гибочно прокатном стане (ГПС) и станке профилирующем универсальном (СПУ), для профилей швеллерного сечения из материалов ВТ6, Д16.

Для подтверждения теоретической модели зоны плавного перехода в процессе прокатки производились замеры положения кромки профиля в межклетьевом пространстве через заданные расстояния по оси профилирования. Для замеров использовался стрелочный индикатор. Расхождение теоретических и экспериментальных значений не более 4%.

Для подтверждения теоретической модели правки в процессе прокатки-правки производились замеры радиуса кривизны профиля: получаемого готового профиля без правки; во время правки, совмещенной с прокаткой; после совмещенного процесса прокатки-правки. Расхождение теоретических и экспериментальных значений радиуса правки не более 5%.

Также были произведены экспериментальные работы для подтверждения теоретической модели напряжено-деформированного состояния боковой полки профиля при входе в рабочий роликовый инструмент. При этом изначально были созданы наихудшие условия по кривизне радиусной части вертикального бурта. После прокатки профиля визуально было зафиксировано наличие или отсутствие дефектов защитного покрытия профиля и измерены их количественные характеристики. Далее, путем токарной операции, были созданы более благоприятные условия по радиусной части бурта и эксперимент был повторен. Экспериментальные данные подтвердили теоретическую модель.

В ходе эксперимента применялись следующие методы исследования: прямые измерения; косвенные измерения; математическая обработка результатов эксперимента; визуальная оценка.

Четвертая глава посвящена разработке и внедрению технологии изготовления профилей, а также оценке их экономической эффективности.

Составлен алгоритм по оптимизации станов под выпускаемую номенклатуру профилей, количеством их в партии и т.д. При проработке данного вопроса в связи с множеством существующих и рассматриваемых параметров, применяются классификаторы параметров профилей и параметров профилегибочного оборудования. Классификаторы позволяют расширить технологические возможности существующих и вновь проектируемых прокатных станов.

Также был разработан способ и устройство по изготовлению профилей протягиванием через фильеру с применением линейного электродвигателя, якорем которого является заготовка профиля.

Разработанная методика проектирования профилегибочного инструмента позволяет экономить более 70 тысяч рублей с одного комплекта роликовой оснастки, что достигается благодаря сокращению затрат при проектировании, отработке и внедрению в производство оснастки. При этом повышаются показатели качества производимых профилей, такие, как надежность, ресурс, долговечность и т.д.

Основные результаты и выводы по работе:

1. Разработанные теоретические модели поведения профиля в межклетьевом пространстве и на входе в рабочий калибр, учитывающие наличие и

влияние вертикальных буртов и конусных посадок профилегибочной оснастки, позволяют задавать оптимальные параметры роликового инструмента и гибки по критерию геометрической точности сечения профиля.

2. Разработанная теоретическая модель, характеризующая напряженно-деформированное состояние при контакте боковой полки профиля с оснасткой (на входе в рабочий калибр), и учитывающая влияние вертикальных буртов профилегибочной оснастки, позволяет оптимизировать параметры роликового инструмента и гибки по критерию целостности защитного покрытия профиля.

3. Разработанная теоретическая модель процесса совмещенной операции гибки и правки профилей позволяет оптимизировать параметры настройки прокатных станов по критерию прямолинейности получаемых профилей.

4. Разработанная на основе предложенных теоретических моделей методика проектирования технологических процессов СИ и МИД позволяет сократить длительность и стоимость процессов технологической подготовки производства, связанных с доводкой профилегибочной оснастки, и обеспечивает экономический эффект 70 тысяч рублей на один вновь запускаемый в производство профиль.

5. Разработанные классификаторы параметров применяемых профилей и параметров профилегибочного оборудования позволяют расширить технологические возможности существующих и вновь проектируемых прокатных станов.

6. Экспериментальные исследования выявили хорошую сходимость теоретических моделей с эмпирическими данными, полученными в постановочных опытах, наиболее полно отражающих различные аспекты профилирования.

7. Проведенные теоретические исследования позволили разработать новый способ и устройство для изготовления профилей, роликовую оснастку для получения профилей, и новое устройство для правки профилей, что подтверждается соответствующими патентами.

Основное содержание работы опубликовано:

в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных высшей аттестационной комиссией:

1. Колганов, И. М. Влияние кривизны бурта формирующего роликового инструмента на качество профиля [Текст] / И. М. Колганов, К. В. Турундаев, М. В. Илюшкин // Авиационная промышленность. – 2005. – №3. – С. 35 – 37.

2. Колганов, И. М. Классификация параметров профилегибочного оборудования [Текст] / И. М. Колганов, К. В. Турундаев // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск. Том 1. - Самара: РАН, 2006. - С. 151 - 155.

В других изданиях:

3. Патент №2294256 РФ, МПК⁷ В 21 D 5/06. Роликовая оснастка для получения профилей из листовых заготовок [Текст] / Колганов И. М., Турундаев К. В., Илюшкин М. В. - Опубл. в Б.И. 27.02.2007 № 6.

4. Патент №2245205 РФ, МПК⁷ В 21 D 5/06. Способ изготовления профилей из электропроводящих материалов и устройство для его осуществления [Текст] / Колганов И. М., Турундаев К. В., Марковцев В. А. и др.- опубл. в Б.И. 27.01.2005 № 3.

5. Колганов, И. М. Решение одной из задач повышения качества гнуто-листовых профилей [Текст] / И. М.Колганов, К. В. Турундаев, М. В. Илюшкин, Д. В. Яковлев // Современные технологии производства и управления в авиастроении: сборник научных трудов.– Ульяновск: УлГТУ, 2005. - С.69-74.

6. Колганов, И. М. Использование электродвижущей силы при изготовлении тонколистовых профилей [Текст] / И. М. Колганов, К. В. Турундаев // Тезисы докладов XXXVIII научно-технической конференции УлГТУ. Часть 1. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – С. 53.

7. Турундаев, К. В. Изготовление профилей с применением линейного электродвигателя [Текст] / К. В. Турундаев / Тезисы международной молодежной научной конференции “XXX Гагаринские чтения”. - М., 2004.

8. Илюшкин, М. В. Расчет параметров бездефектного изготовления при формовке в роликах профилей из материалов с покрытием [Текст] / М. В. Илюшкин, К. В. Турундаев // Актуальные вопросы промышленности и прикладных наук (ЗНТК-2004): Сборник статей международной заочной научно-технической конференции (1окт.–20дек.). – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – С. 48.