УДК 621.981

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ И ЛИСТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© 2018 М.В. Илюшкин, В.А. Марковцев, В.В. Марковцева

АО "Ульяновский НИАТ"

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

В настоящее время многие технологии изготовления деталей применяемых в авиационной промышленности несовершенны и проводят к увеличению стоимости, как самой продукции, так и летательного аппарата в целом. Поэтому совершенствование технологий является актуальной и необходимой задачей в настоящее время. АО "Ульяновский НИАТ" уже долгое время занимается разработкой технологий применяемых в авиационной промышленности. Производство новых самолетов, таких как МС-21, Ил-112, Суперджет 100 требует использования новых методов обработки, которые соответствовали бы развитию техники на настоящий момент времени. В статье рассматривается разработка технологий изготовления профилей для фюзеляжа самолета МС-21 и Суперджет-100 с помощью моделирования в конечно-элементной программе динамического анализа LS-DYNA. Исследования позволили определить возможность и технологические режимы для изготовления профилей типа шпангоут с продольной кривизной. Проведенные практические испытания подтверждают результаты моделирования, что позволяет более достоверно относится к полученным результатам.

Ключевые слова: шпангоут, прессованный, гнутый, моделирование, ls-dyna, НИАТ, самолет, фюзеляж, фрезерование.

В настоящее время многие технологии изготовления деталей применяемых в авиационной промышленности несовершенны и проводят к увеличению стоимости, как самой продукции, так и летательного аппарата в целом. Поэтому совершенствование технологий в настоящее время является актуальной и необходимой задачей.

Одна из актуальных задач это усовершенствование технологии производства профилей заготовок шпангоута (рис. 1) для самолетов МС-21, Ил-112, Superjet 100 и др.

Особенностью профиля шпангоута является наличие продольного радиуса R (рис. 1в), который, в ряде случаев, может быть переменным, что значительно усложняет процесс производства такого шпангоута.

Профиль с продольной кривизной, представленный на рис. 1а, может быть получен несколькими способами:

- механическим фрезерованием из плиты;
- механическим фрезерованием из предварительно согнутого прутка прямоугольного или двутаврового сечения;
- гибкой или обтяжкой прессованного профиля.

Илюшкин Максим Валерьевич, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по науке АО "Ульяновский НИАТ". E-mail: fzbm@mail.ru

Марковцев Владимир Анатольевич, доктор технических наук, генеральный директор АО "Ульяновский НИАТ".

Марковцева Валерия Владимировна, научный сотрудник АО "Ульяновский НИАТ".

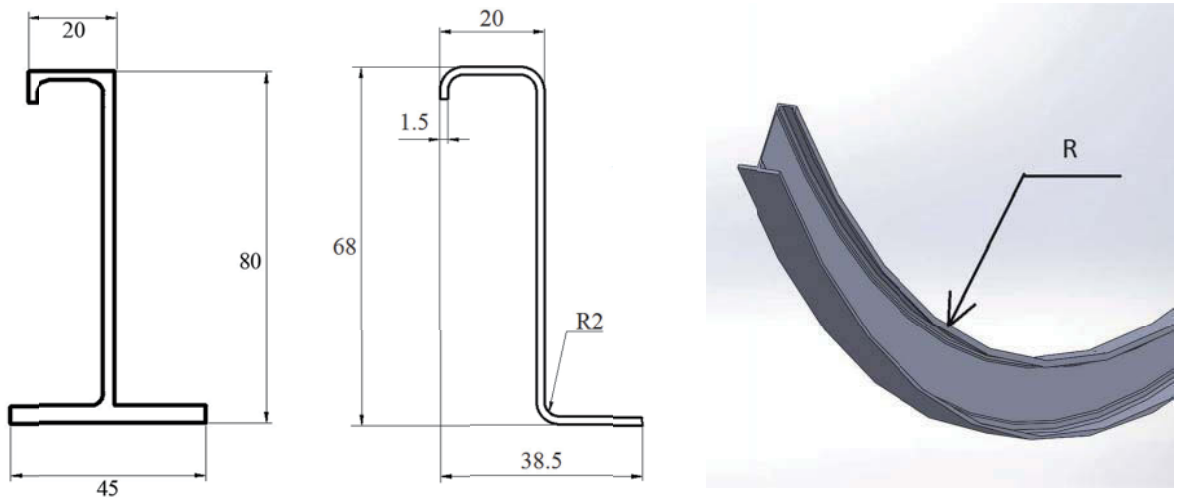
Способ изготовления профиля фрезерованием из плиты является самым низкоэффективным способом изготовления, при котором КИМ составляет менее 1%. Его применять не рекомендуется.

Альтернативным способом является вариант с фрезерованием уже согнутого прутка прямоугольного или двутаврового сечения. В этом случае КИМ составляет 10-20%, что значительно выше предыдущего способа. Вариант гибки по данному способу приведен на рис. 2. Данная технология уже хорошо отработана на предприятии АО «Ульяновский НИАТ» [1] и заключается в постепенной формовке продольного радиуса нужной величины за счет вращения нижнего (2) и верхнего ролика (3). Вращение осуществляется поочередно то в одну, то в другую сторону. При этом одновременно осуществляется подъем боковых роликов 4.

При отработке новых технологий АО "Ульяновский НИАТ" начиная с 2010 г. использует коммерческую версии программы динамического анализа LS-DYNA [2]. В этой программе и были смоделированы рассматриваемые процессы изготовления профилей [3].

В программе задавались все необходимые параметры для выполнения моделирования: модели материалов заготовки и роликов, параметры нагружения, контактные взаимодействия, контрольные и выходные параметры.

В качестве материала использовался сплав В95 в отожженном состоянии. Для получения точных параметров использовалась диаграмма одноосного растяжения (рис. 3).



а б в

Рис. 1. Примеры сечение профилей заготовок шпангоутов самолета:
а – профиль прессованный или фрезерованный,
б – гнутый профиль, в – общий вид профиля с продольным радиусом R

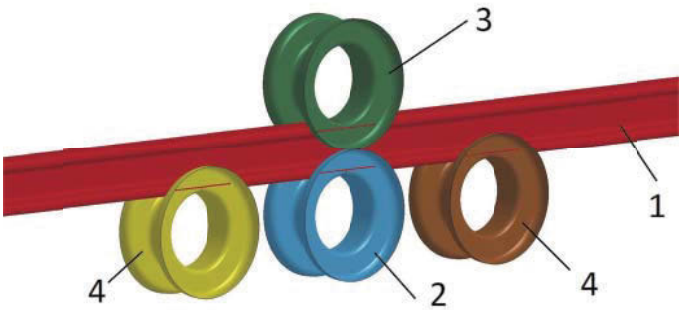


Рис. 2. 3D модель гибки прутка прямоугольного или двутаврового сечения в 4-х роликовой машине:
1 – пруток прямоугольного или двутаврового сечения, 2 – нижний ролик,
3 – верхний ролик, 4 – боковой ролик

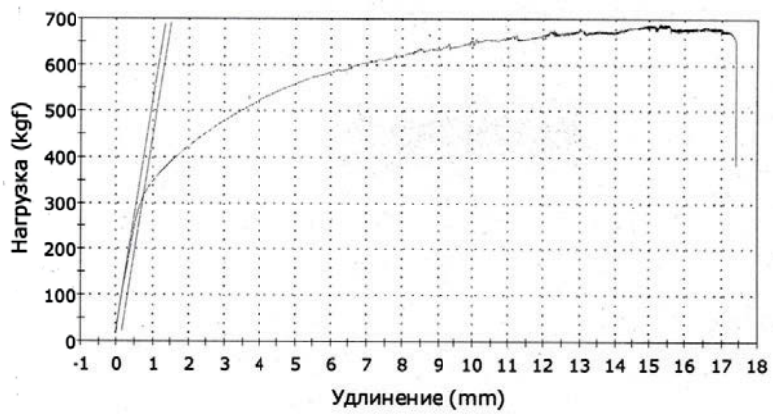


Рис. 3. Диаграмма одноосного растяжения материала В95М

Результаты моделирования приведены на рис. 4-6.

Как видно из рисунка 4 и 5 в процессе гибки прутка происходит уменьшение величины радиуса до значения 1100 мм (рис. 6а) и постепенное накопление пластических деформаций (рис. 4, 5). Величина пластических деформаций по зонам прутка различна. На внутренней зоне прутка максимальная деформация соответствует 4,2%, на наружной 5,1%, что позволяет говорить об отсутствии разрушения в процессе гибки (предельная деформация для сплава В95М значительно выше этой величины).

Распределение усилия по роликовому инструменту (рис. 6б) позволяет оценить величины усилий и моментов требуемые для гибки данного

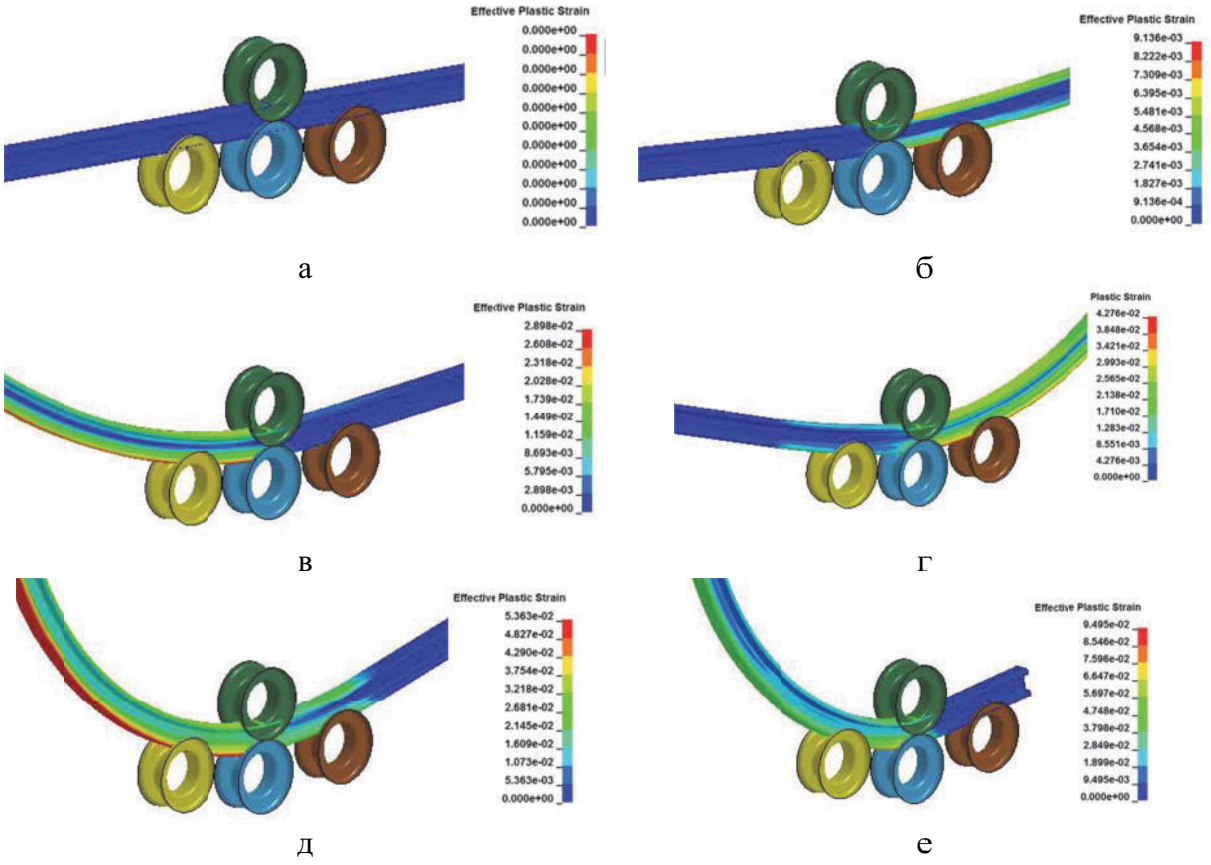


Рис. 4. Этапы гибки прутка с распределением пластических деформация:
а – 0 сек, б – 4,5 сек, в – 9 сек, г – 13,5 сек, д – 17,5 сек, е – 22 сек

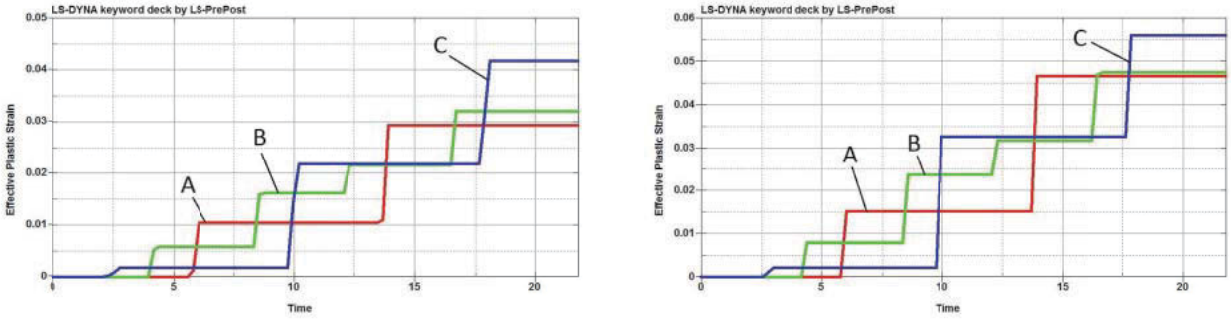


Рис. 5. Графики распределения пластических деформаций для крайних точек по внутренней (а) и наружной (б) зоне профиля (А – начало профиля, В – середина профиля, С – конец профиля)

прутка, что позволит выбрать соответствующее гибочное оборудование и диаметры валов.

После получения прутка с нужной величиной радиуса производится его механическая обработка на которой получается сечение требуемое чертежом детали (рис. 1а, 1в).

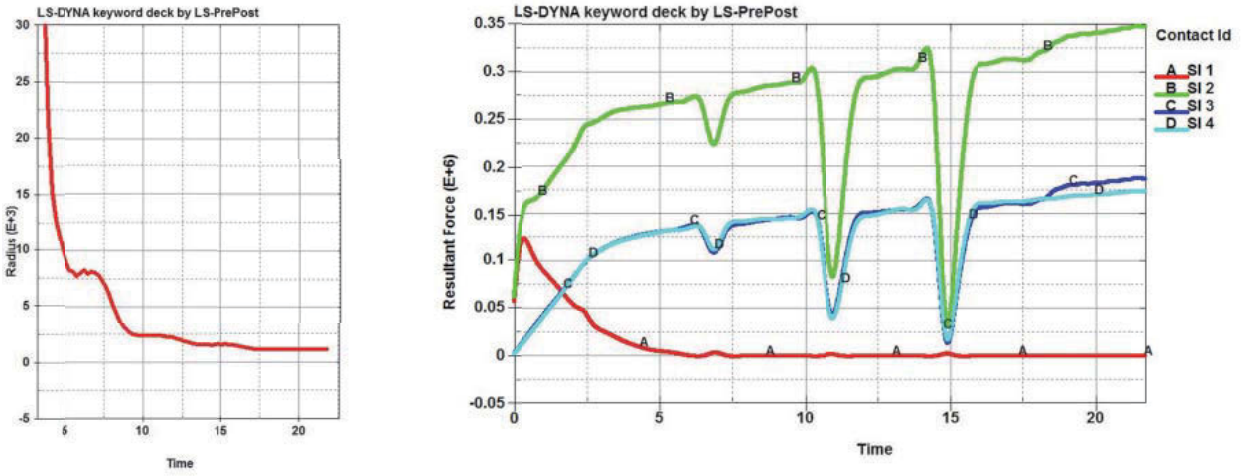
Главный недостаток данного способа наличие механической обработки и малый КИМ.

Увеличить значения КИМ позволяет использование операции обтяжки прессованного профиля по требуемому контуру (с данном случае с постоянным радиусом), что позволит увеличить КИМ до 90-95%, и в этом случае последующая обработка будет минимальна.

Модель процесса обтяжки включает в себя прессованный профиль 1 (рис. 7), обтяжной пуансон 2 по которому обтягивается профиль. В ряде случаев для уменьшения поводок профиля в процессе обтяжки применяют полиуретановую вставку 3.

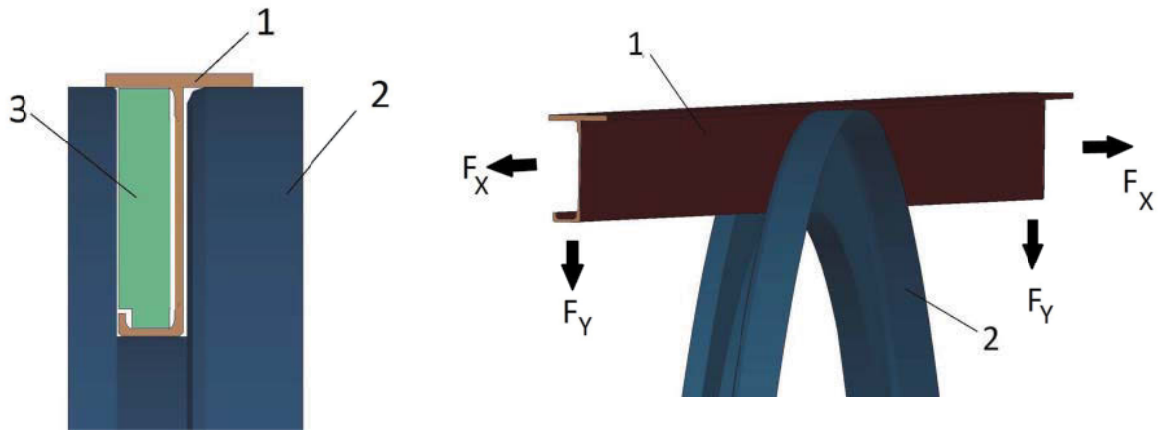
Обтяжка осуществляется за счет приложения сил Fx и Fy (рис. 7).

Для установления параметров обтяжки с целью получения качественного профиля было также выполнено компьютерное моделирование в программе конечно-элементного анализа LS-DYNA. Параметры модели материала соответствовали предыдущему расчету. Задавались



а б

Рис. 6. Изменение величины продольного радиуса (а) и усилия (б) в процессе получения изделия с продольной кривизной (A – нижний ролик, B – верхний ролик, C, D – боковые ролики)



а б

Рис. 7. 3D модель обтяжки прессованного профиля:
1 – прессованный профиль; 2 – обтяжной пуансон, 3 – полиуретановая вставка

также параметры нагружения в виде перемещения края профиля по осям X и Y, контактные и все другие необходимые для расчета параметры. Перемещение на края профиля задавались таким образом, чтобы была плавная обтяжка пуансона с введением дополнительной растягивающей силы.

В процессе моделирования контролировались параметры растяжения так чтобы максимальная главная деформация, направленная вдоль профиля, имела положительное значение по всему сечению, поскольку наличие сжимающих деформаций приведет к искажению сечения профиля. С другой стороны растягивающие деформации также не должны быть слишком велики, чтобы не превысить предельную деформацию разрушения.

Результаты моделирования приведены на рис. 8-10.

В процессе расчета было установлено, что дополнительная растягивающая деформация на конечном шаге составляет 4%. В этом случае главные деформации имеют положительные значения как по наружной (рис. 10а), так и по внутренней (рис. 10б) зоне профиля.

Анализ максимальной главной деформации по сечению профиля (рис. 9) также показал присутствие только положительных значений. При этом было выявлено увеличение пластических деформации по ходу обтяжки профиля. Если в начале (угол 15^0) деформация соответствует 3%, то в конце обтяжки (угол 75^0) деформация соответствует 6%.

Кроме этого выявлено, что форма сечения практически не меняется и остается постоянной на всем протяжении обтяжки. Если все же небольшие поводки не допускаются, то необходимо применить полиуретановую вставку (рис. 7а).

Прессованный профиль, рассмотренный выше, имеет ряд существенных недостатков, а имеемо большой вес, низкий ресурс и др.

Этих недостатков не имеет гнутый профиль (рис. 1б). Технология изготовления гнутого профиля методом стесненного изгиба, разрабо-

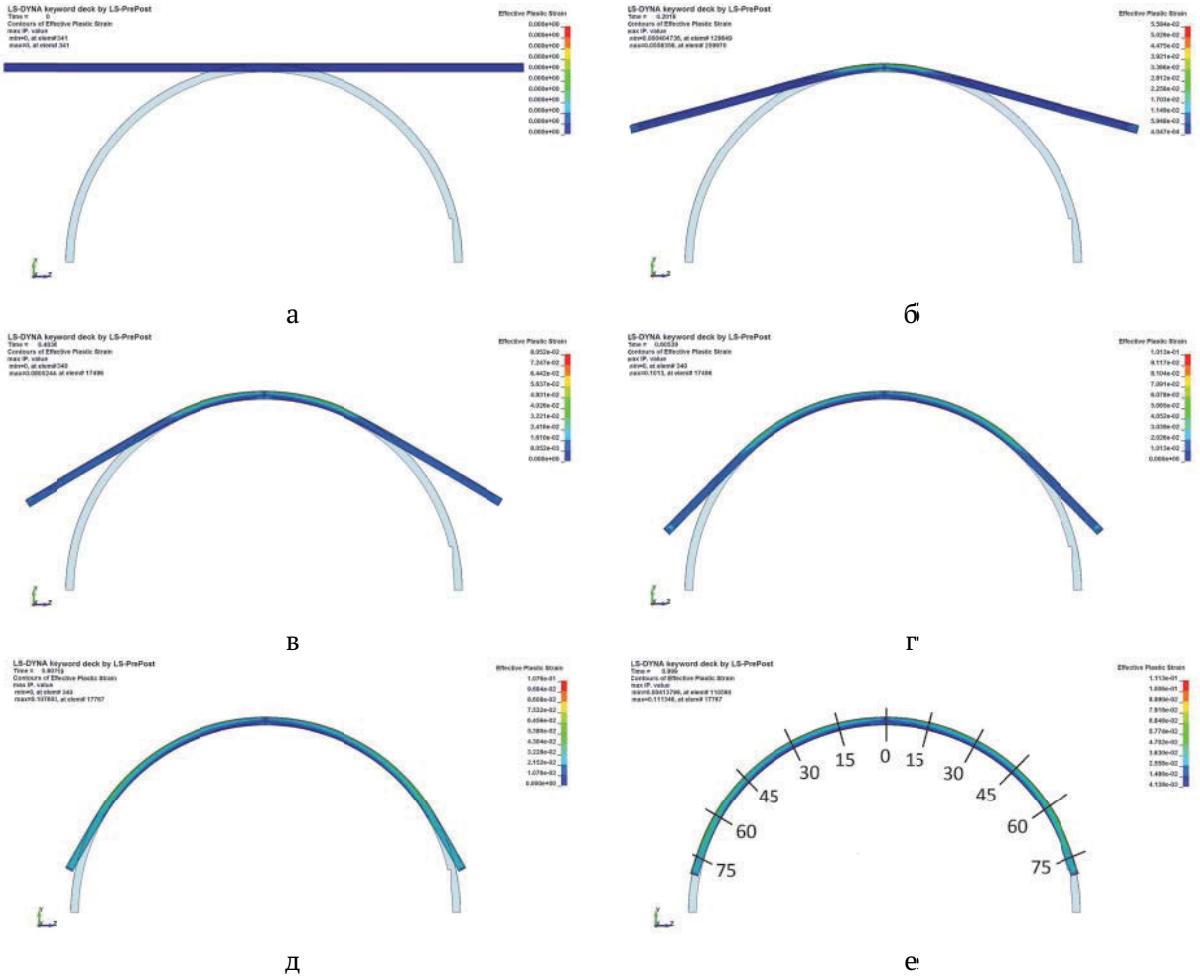


Рис. 8. Результаты моделирования процесса обтяжки прессованного профиля по временным этапам:
а – 0 сек, б – 0,2 сек, в – 0,4 сек, г – 0,6 сек, д – 0,8 сек, е – 1 сек

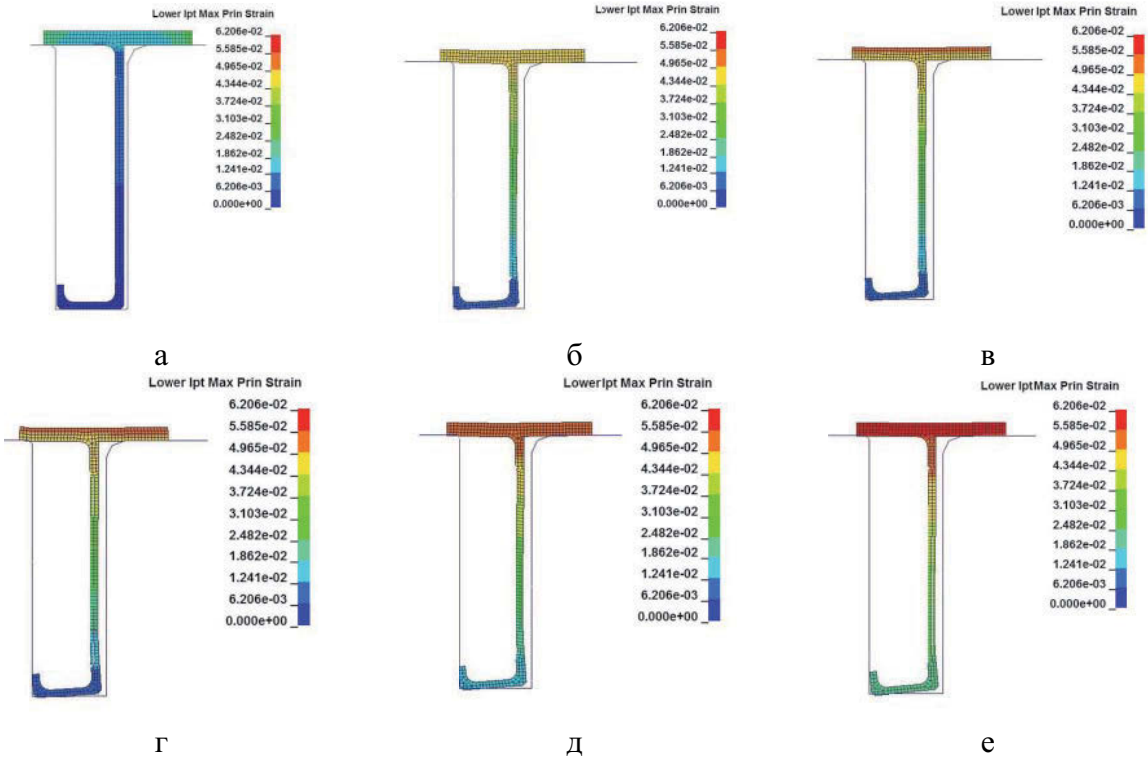
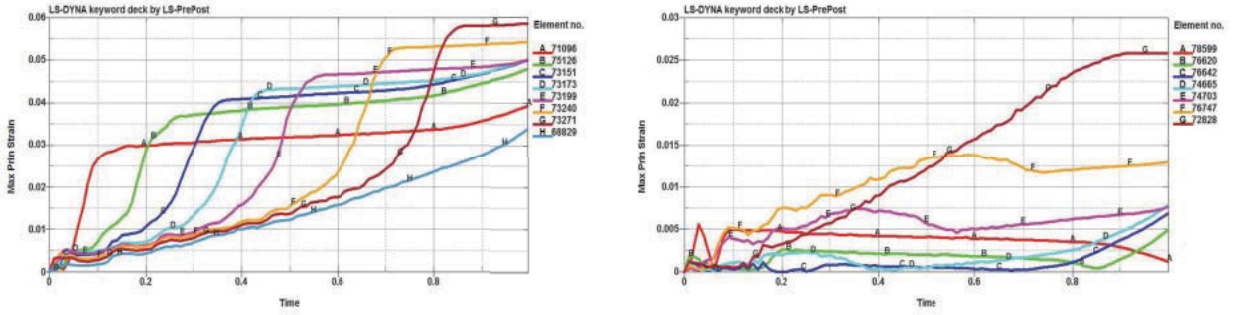


Рис. 9. Сечение профиля по различным участкам обтяжки пуансона (см. рис. 8е):
а – 0°; б – 15°; в – 30°; г – 45°; д – 60°; е – 75°



а б

Рис. 10. Графики главных деформаций по наружному (а) и внутреннему контуру профиля

танная на АО "Ульяновский НИАТ", уже много десятков лет применяется при изготовлении гнутых профилей для фюзеляжей летательных аппаратов.

Коэффициент использования металла в этом случае составляет так же 90-95%, но высокий ресурс и коррозионная стойкость при малом весе позволяют говорить, что это лучший на данный момент времени способ изготовления.

Модель процесса изготовления (рис. 11) включает в себя исходную листовую заготовку 1 (имеющий защитный плакированный слой), формующую оснастку 2, где за 6-8 переходов формуется сечение профиля требуемой формы и правильной фильеры 3, предназначенной для формовки продольного радиуса.

Исходный плоский лист 1 проходит через роликовую оснастку 2, где приобретает требуемое поперечное сечение, а в правильной фильере 3 формуется продольный радиус нужной величины.

Для определения НДС в процессе формообразования, а также параметров для получения продольного радиуса, использовалось компьютерное моделирование в программе LS-DYNA. В качестве исходного материала также применялся сплав В95М. Аналогично задавались все другие необходимые параметры для проведения конечно-элементного расчета.

Особый интерес представляла осадка волнообразной заготовки (рис. 12) в процессе формообразования, что является основным отличием от процесса гибки. В процессе моделирования рассматривалось напряженно-деформированное состояние зон сгиба, где деформации сжатия играют положительную роль, предотвращая разрушения малопластичных материалов при больших пластических деформациях. Варьированием ширины заготовки исследовалось НДС в зонах сгиба профиля.

Также в программе было проведено моделирование процесса изготовления профиля шпангоут с различным продольным радиусом (рис. 13а). Обработка полученных результатов позволил установить НДС по сечению профиля, зависимость от величины продольного радиуса и установить критические значения радиуса, при которой возникает дефект кромкой волнистости. На рис. 13б приведены значения продольной деформации в зависимости от продольного радиуса профиля.

На АО «Ульяновском НИАТ» была изготовлена соответствующая технологическая оснастка [5] и проведены ее испытания на гибочно-прокатном стане ГПС-500М8 (рис. 14а), с соответствующим правильным блоком (рис. 14б). Результаты моделирования и практических испытаний показали аналогичные результаты.

Исследования показали, что геометрия профиля соответствует чертежу. Исследование микроструктуры и величин зерен показал отсутствие увеличения зерна по зонам сгиба [4], что является основой для долгой работы данного профиля. Исследование плакирующего слоя по-

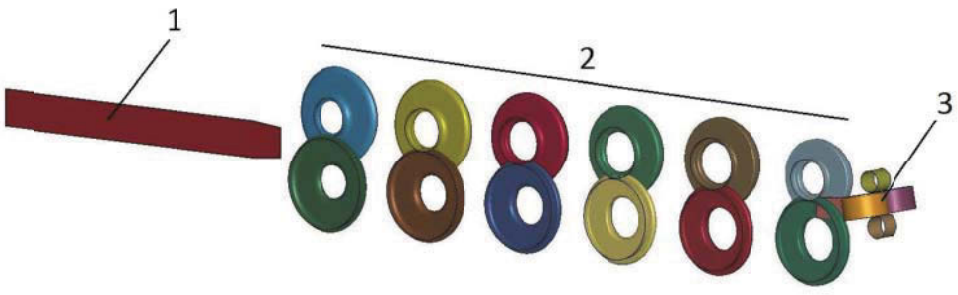
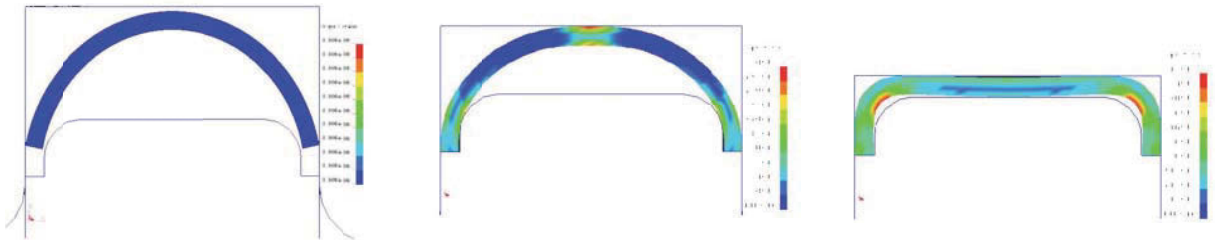
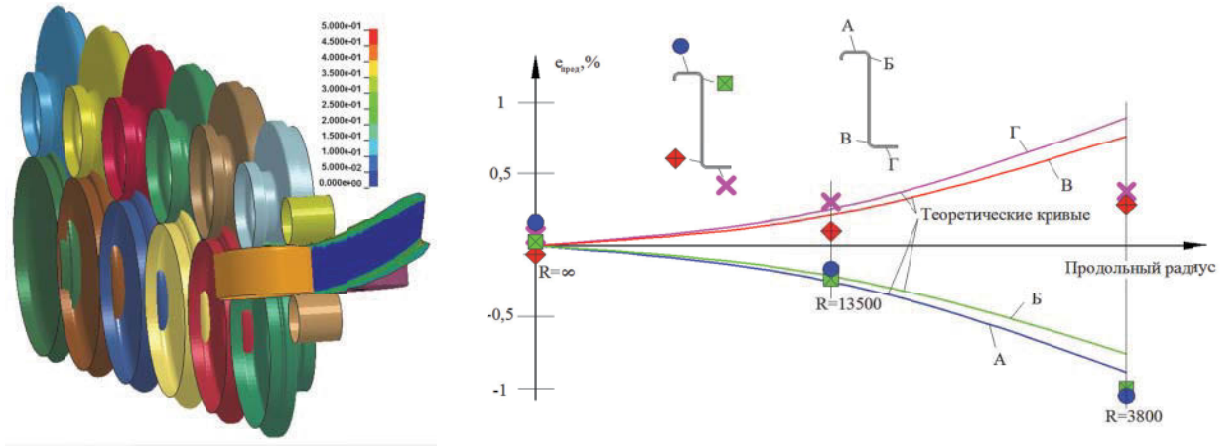


Рис. 11. 3D модель изготовления гнутого профиля в роликовой оснастке:
1 – листовая плакированная заготовка; 2 – формующие ролики, 3 – правильная фильера



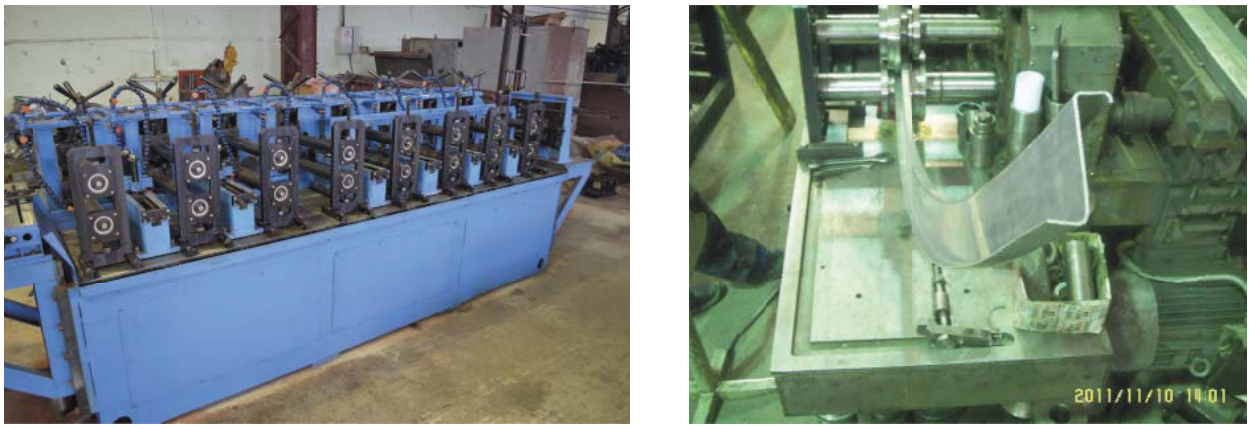
а б в

Рис. 12. Этапы формования верхней части профиля шпангоута методом стесненного изгиба



а *б*

Рис. 13. Моделирование процесса изготовления профиля шпангоут с продольным радиусом (а) и значение продольной деформации в зависимости от продольного радиуса (б)



а б

Рис. 14. Изготовления профиля шпангоут с продольной кривизной:
а – роликовая оснастка на профилегибочном станке с правильным блоком,
б – шпангоут с продольной кривизной

казало отсутствие его нарушения по всему сечению профиля.

В статье были рассмотрены варианты изготовления профиля шпангоут для фюзеляжа самолета. Наименьший КИМ имеют способы, связанные с механической обработкой и не рекомендуется к применению.

Наиболее высокий КИМ более 90% имеют прессованные и гнутые профили. Но гнутые профиля дополнительно имеют более высокий ресурс и меньшую металлоемкость по сравнению с прессованными. Поэтому гнутый профиль и рекомендуется для внедрения в фюзеляжи летательных аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марковцев В.А., Илюшкин М.В., Попов А.Г.* Расчет технологических режимов продольной гибки в роликах тонкостенных профилей из листовых заготовок // Авиационная промышленность. – 2016. - №1. – С. 33-37.

2. *Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Баранов А.С.* Опыт применения инженерного анализа при разработке технологий обработки давлением и механообработки на АО «Ульяновский НИАТ» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 4(3). – С. 557-563.
3. Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением (осадка цилиндрической заготовки): учебно-методическое пособие. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 112 с.
4. Гнутые листовые профили из перспективных алюминиевых сплавов в конструкциях летательных аппаратов / *В.А. Марковцев, О.Г. Сенаторова, М.В. Илюшкин, В.И. Филимонов, А.С. Баранов* // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2013 г.): Сборник научных трудов [под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В.И. Филимонова]. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – С. 117-124..
5. *Марковцев В.А., Илюшкин М.В., Попов А.Г.* Разработка технологии изготовления профилей из листовых заготовок в свежезакаленном состоянии для панелей фюзеляжа самолете МС-21 // I Всероссийская научно-производственная конференция, приуроченная ко Дню науки (г. Ульяновск, 10 февраля 2016 г.): сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – С. 60-62..

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF ROLL-FORMED PROFILES AND SHEET PRODUCTS FOR THE AVIATION INDUSTRY

© 2018 M.V. Ilyushkin, V.A. Markovtsev, V.V. Markovtseva

JSC “Ulyanovsk NIAT”

Currently, many manufacturing techniques used in the aircraft industry parts are imperfect and lead to an increase in the cost of both the product and the aircraft as a whole. Therefore, the improvement of technologies is an urgent and necessary task at the present time. JSC «Ulyanovsk NIAT» has long been engaged in the development of technologies used in the aviation industry. Production of new aircraft MS-21, Il-112 and Superjet 100 requires the use of the most advanced methods of metal processing. The article studies the development of technologies for manufacturing profiles for the fuselage of the aircraft MS-21 and Superjet-100, obtaining details of double curvature by modeling in the CAE program of dynamic modeling LS-DYNA. Studies have allowed to determine the possibility and technological conditions for the manufacture of profiles such as stringer and frame with longitudinal curvature. The conducted practical tests confirm the results of modeling, which allows more reliable attitude to the obtained results.
Keywords: frame, pressed, curved, modeling, ls-dyna, NIAT, aircraft, fuselage, milling.

Maxim Ilyushkin, Candidate of Technics, Deputy General Director for Science JSC “Ulyanovsk NIAT”.
E-mail: fzbm@mail.ru
Vladimir Markovtsev, Doctor of Technics, General Director of JSC “Ulyanovsk NIAT”.
Valeria Markovtseva, Researcher, JSC «Ulyanovsk NIAT».