

## **«Технология изготовления цельнотянутого крутоизогнутого трубопровода летательных аппаратов»**

**Филиал ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина»  
Заместитель главного технолога Кремза Иван Васильевич**

В конструкции современных гражданских самолетов и военной авиационной техники нового поколения используется большой объем трубопроводных систем от функционирования которых зависит её надежность и безотказная эксплуатация. Обеспечение ресурса, а также механических характеристик, в первую очередь определяется технологией изготовления деталей входящих в трубопровод. Немаловажную роль в этом играет степень влияния человеческого фактора на качество деталей. В идеале данное влияние необходимо сводить к нулю, а производственный процесс строить полностью автоматизированным. В силу конструктивных особенностей трубопроводных систем самолета, детали трубопровода имеют индивидуальную, геометрически сложную форму, что делает практически невозможным процесс их автоматизированного изготовления.

По этой причине реализовать производственный процесс, обеспечивающий изготовление высокоресурсного трубопровода для авиационной техники в настоящее время возможно только через разработку новых и совершенствование старых технологических методов, добиваясь их полной формализации.

Наиболее устаревшими технологиями, применяемыми при изготовлении деталей трубопровода, являются формообразование полупатрубок на листоштамповочных молотах, гибка патрубков с нагревом и наполнителем, гибка патрубков вручную по оснастке. Качество изготовленных таким образом деталей полностью зависит от квалификации рабочего. Одно из наиболее узких мест в изготовлении трубопровода является процесс создания неразъемного соединения деталей сваркой. Ослабление прочности в зоне сварного шва, большой объем подгоночных работ, вероятность получения «непроваров», необходимость в рентгенконтроле сварных швов – основные отрицательные характеристики процесса сварки.

Снижение количества сварных швов в трубопроводе за счет совершенствования методов и технологий даст большой положительный эффект, как в его ресурсе и механических характеристиках, так и в экономических показателях.

В перспективе стоит задача перейти на более совершенные техпроцессы. Полупатрубки и патрубки (то из чего состоит трубопровод) возможно изготавливать формообразованием эластичными и гидросредами, изотермическим формообразованием, а наиболее сложные – формообразованием в режиме сверхпластичности с применением диффузионной сварки. Также широкие возможности открываются в машинной гибки цельнотянутого трубопровода.

Работа по совершенствованию методов и технологий изготовления высокоресурсного трубопровода летательных аппаратов разбита на несколько этапов. На первом этапе запланирован перевод от 50 до 80 процентов номенклатуры деталей на формообразование эластичной средой и формообразование с применением машинной гибки. Оставшийся объем деталей планируется изготавливать изотермическим и сверхпластичным формообразованием.

В рамках данной темы разработан новый способ изготовления, значительно расширивший возможности применения технологии формообразование полупатрубок эластичной средой давлениями до 100 МПа. Отработка велась на прессе Я06017 (рис. 1)



Рис. 1 – Пресс формования эластичной средой Я06017

Предложена универсальная схема конструкции оснастки, позволяющей комбинированием операций формовки-вытяжки изготавливать полупатрубки сложной геометрии (переходные формы сечения, тройники и т.п.), требующие глубокой вытяжки и имеющие зоны с резким переходом кривизны (как выпуклые, так и вогнутые). Конструкция оснастки формирует искусственные жесткости на теле заготовки для дополнительного набора материала с целью повышения коэффициента вытяжки за переход (рис. 2). Также это позволяет предотвращать потерю устойчивости материала с образованием гофр в зонах сжатия.



Рис. 2 – Конструкция оснастки и получаемая деталь для формования на прессе Я06017

Данным способом изготавливаются детали из нержавеющей сталей типа 12X18H10T и алюминиевых сплавов 1163, В95, АМг6БМ. В перспективе его можно использовать для изготовления деталей из алюминий-литиевых сплавов нового поколения 1424 и В-1461. Применение разработанного способа снижает трудоемкость изготовления, минимизирует доводочные работы, устраняя влияние человеческого фактора на качество детали, обеспечивает заданные механические и ресурсные характеристики. Сложность, количество и стоимость оснащения формообразования эластичной средой, по сравнению с оснасткой для формообразования на листоштамповочных молотах, у данного способа ниже.

Для увеличения объема деталей элементов трубопровода, изготавливаемых с применением машинной гибки, проанализирована конфигурация трубопровода, выявлены и систематизированы элементы имеющие повторяемость по технологическим признакам.

Одни из наиболее часто встречающихся и сложным в изготовлении элементов трубопровода являются крутоизогнутые патрубки с радиусомгиба равному диаметру трубы

$R=1D$ . Эти детали диаметром от 20 мм с угломгиба  $90^\circ$  изготавливаются на прессах типа ПГФП 20/100 (рис. 3), а детали с угломгиба отличным от  $90^\circ$  – штамповкой полупатрубок листового материала на гидравлических прессах или листоштамповочных молотах с последующей их сваркой (рис. 4). Для уменьшения сварных швов и изготовления цельнотянутого трубопровода была инициирована разработка и внедрение технологии машинной гибки деталей, включающих в себя зоны с радиусами изгибов равными диаметру трубы.

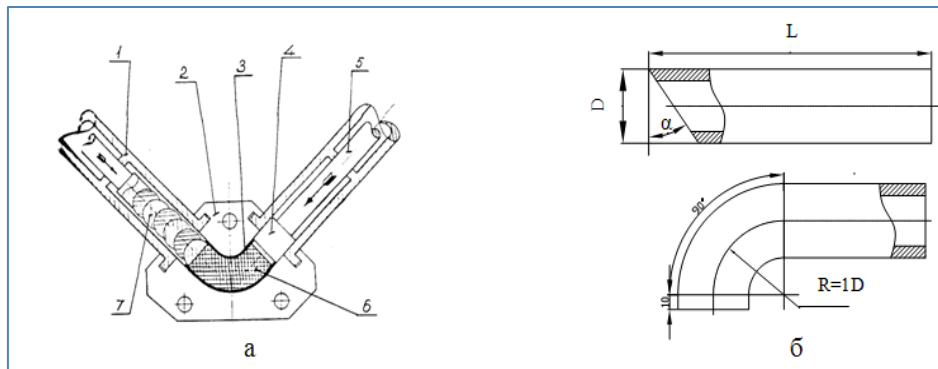


Рис. 3 – а) схема процесса формообразования крутоизогнутого патрубка: 1 – гидроцилиндр, 2 – матрица фильера, 3 – заготовка, 4 – пуансон, 5 – шток, 6 – эластичный наполнитель, 7 – шариковая опавка; б) конструкция заготовки и крутоизогнутого патрубка

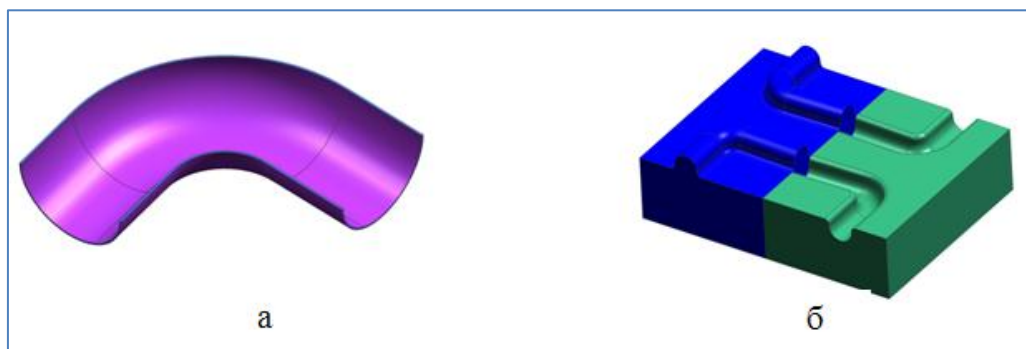


Рис. 4 – а) электронная модель полупатрубка, б) электронная модель пуансона и матрицы

Ввиду отсутствия в России наработок по данной тематике в части машинной гибки для материалов, применяемых в авиастроении, отсутствует нормативная документация с режимами гибки, а также не разработан технологический процесс. Ранее имеющееся на предприятии советское оборудование ТГСП-24 и ТГСП-40, а также швейцарское RB90 не имеет возможности гнуть трубы на радиуса близкие к  $R=1D$ , в виду отсутствия бустера для создания усилия на трубу в момент гибки, многоручьевого оснастки для гибки на различные радиуса за одну установку, автоматической смазки дорна и складковыглаживателя и управления усилием на складковыглаживатель. Наличие перечисленных возможностей при условии отработки режимов позволит реализовать гибку труб радиусами  $R=1D$  без потери устойчивости трубы в зоне сжатия и её разрыва в зоне растяжения. Для разработки управляющих программ гибки с учетом компенсации пружинения после разгрузки трубы, необходимо иметь возможность производить в ходе отработки измерение полученной геометрии. Реализация перечисленных технических возможностей осуществлена приобретением измерительного комплекса TubeInspectAICON и высокотехнологичных трубогибочных станков DBM-50 (рис. 5) и DBM-90 немецкой фирмы ARCOR, имеющих по 9 управляемых сервоприводами осей фирмы Siemens.



Рис. 5 – Электрический трубогибочный станок DBM-50

С целью разработки технологии производства из авиационных материалов элементов трубопровода из цельнотянутых труб, имеющих зоныгиба  $R=1D$ , проведена отработка режимов машинной гибки для всех типоразмеров труб от 18 до 85 мм, что уже превышает возможности прессы ПГФП 20/100. Планируется освоить гибку  $R=1D$  для диаметров 16 мм.

Отработка велась поэтапно с увеличением угла изгиба начиная с 15 градусов с шагом 15 градусов до максимально возможного угла изгиба, но не более 120 градусов. В ходе отработки подбором режимов устранялись дефекты в виде гофры, разрыв труб и т.п. Гибка наиболее сложных деталей анализировалась в программах конечно-элементного анализа. В процессе отработки была выполнена гибка образцов с вращением на 180 градусов после каждого изгиба в виде «змейки» (рис. 6).



Рис. 6 – Типовой образец «змейка»

Каждый образец выполнялся с четырьмя гибоми на углы 30, 60, 90 и 120 градусов (или на максимально возможный для данного материала) для набора статистики. Далее четвертый гиб отрезался для проверки утонения внешней стенки трубы. У оставшегося образца с тремя изгибами выполнялась заделка концов под установку заглушек с проведением испытания на прочность с последующим разрушением (рис. 7).



Рис. 7 – Образцы, подготовленные для испытания на разрушение



Для разработки нормативной документации и подтверждения прочностных характеристик элементов трубопровода для каждого типоразмера проводилось испытание образцов до разрушения. Давление разрушения превосходит четырехкратный запас прочности. Изготовленные образцы и результаты испытаний направлялись в ОАО НИАТ, которое совместно с ОКБ «Сухого» проводило исследование структуры деформированной зоны образцов, изогнутых по новой технологии (рис. 8, рис. 9).

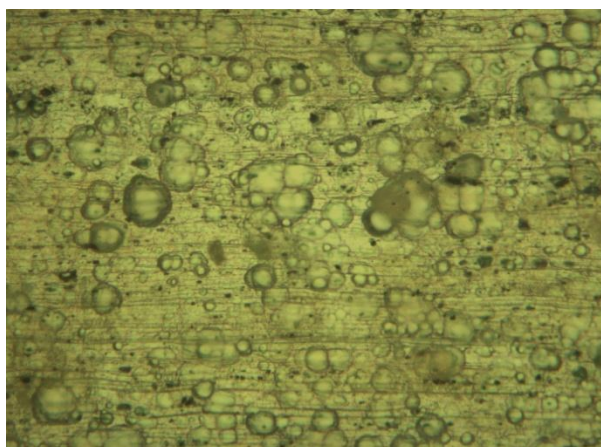


Рис. 8 – Исследование макроструктуры алюминиевых образцов

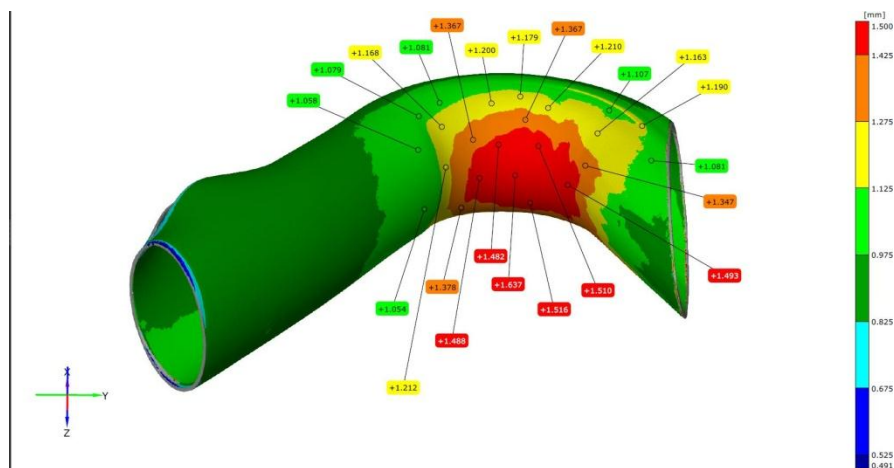


Рис. 9 – Цветовые карты толщин стенок полигональной модели фрагмента образца, полученные в программе ATOS Professional v8

По результатам исследований, при участии ОАО НИАТ и ОКБ «Сухого», были разработаны Технологические рекомендации «Производство гнутых труб и элементов трубных заготовок с радиусомгиба 1 (один) диаметр трубы и большим на трубогибочных станках с ЧПУ» (на 37 страницах), которые были утверждены ОАО НИАТ за номером ТР 1.4.2365-2015 (рис. 10) и введены в действие с 01.11.2015 г.

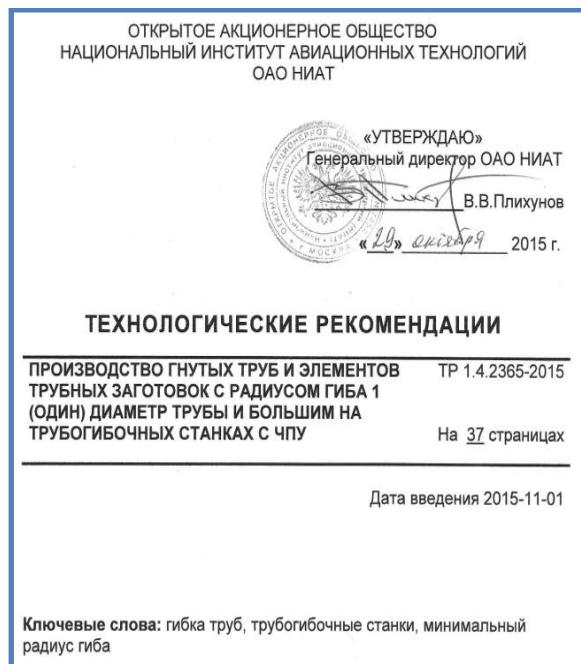


Рис. 10 – Новые Технологические рекомендации

На сегодняшний день изменена конструкторская документация (с исключением или уменьшением сварных соединений) более чем на 2 сотни трубопроводов по изд. Су-35С, SSJ-100, Т-50 (рис. 11, рис. 12, рис. 13)



Рис. 11 – «Новая» конструкция труб с 1D



Рис. 12 – «Новая» конструкция труб с 1D



*Рис. 13 – «Новая» конструкция труб с 1D*

Реализованная в настоящее время работа направлена на снижение количества сварных швов в трубопроводных системах самолетов, повышение надежности и эксплуатационных характеристик трубопроводов, снижение себестоимости выпускаемой продукции. Кроме того разработка методики и интеграция трубогибочных станков с измерительным комплексом по локальной сети в единый трубогибочный комплекс, уже сейчас в полной мере дает возможность реализовать технологию изготовления цельнотянутого трубопровода по электронным моделям, что впервые для российского авиапрома.

Проведенная работа позволила не только произвести изменение и улучшение конструкции существующих элементов трубопровода, но и дает возможность применять новые для самолетостроения методы при проектировании новых изделий, в том числе и самолетов пятого поколения.