

УДК 621.961.2

## ТРУБЧАТЫЕ И ПОЛЫЕ ДЕТАЛИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ШТАМПУЕМЫЕ ЭЛАСТИЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ, И ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

© 2009 С.Г. Рыжаков

Ульяновский филиал конструкторского бюро ОАО "Туполев"

Поступила в редакцию 20.07.2009

В настоящей статье авторы отмечают, что номенклатура деталей аэрокосмической техники из трубчатых и полых заготовок и методы их изготовления представлены во многих литературных источниках. В основном они приведены в виде классификаторов, из которых следует, что штамповка эластомерами с успехом применяется при их изготовлении, но имеются ограничения и недостатки, суживающие круг использования этой эффективной технологии. В частности, большим препятствием, сдерживающим расширение внедрения техпроцессов штамповки эластичным материалом, является равномерное приложение давления на всю поверхность заготовки.

Ключевые слова: трубчатые и полые заготовки, классификаторы, штамповка эластомерами.

Во многих случаях это приводит к нежелательным результатам и требует совершенствования схем приложения деформирующих сил и конструкции инструмента с точки зрения специального создания неравномерности силового воздействия эластичной среды на поверхность заготовки, причем неравномерности оптимальной.

На рис. 1 представлена номенклатура трубчатых и полых деталей летательных аппаратов, для которых разработаны и внедрены либо опробованы схемы нагружения и конструкции инструментов, обеспечивающих такую неравномерность и управление за счет этого формоизменением заготовок:

- рифтованные трубы, имеющие поперечные рифты для увеличения жесткости либо рифты на законцовках для соединения труб;
- трубы перфорированные, т.е. имеющие большое количество пазов либо отверстий сравнительно небольшого диаметра;
- редуцированные трубы или переходники для стыковки труб различного диаметра;
- гнутые трубы большой длины либо патрубки;
- трубы либо оболочки с разбортовкой отверстий под сварку;
- трубы, имеющие надрезанные выштамповки;
- оживальные оболочки;
- стаканы и колпачки с плоским дном.

Диапазон габаритов этих деталей составляет от 10 мм до 860 мм в диаметре и до 4000 мм по длине деформируемого участка, толщина стенки достигает 3,6 мм, детали изготавливаются из алюминиевых сплавов, сталей, титана.

На рис. 2 представлен классификатор типовых операций, выполняемых эластичным инст-

рументом при изготовлении трубчатых и полых деталей летательных аппаратов.

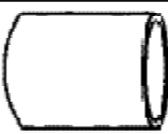
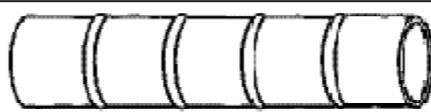
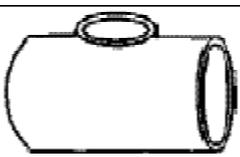
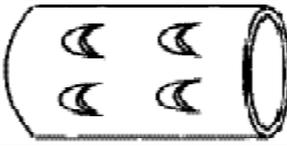
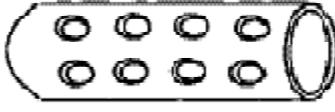
Операции, выполняемые эластичным инструментом на трубах и полых заготовках, делятся на разделительные, подразумевающие деформирование с разрушением целостности материала деталей, и формоизменяющие, приводящие к изменению формы и размеров полуфабриката.

К разделительным операциям относятся пробивка отверстий и пазов, а также надрезка, поддерживающая и элементы формообразования.

Формоизменяющие операции предусматривают локальную формовку элементов конструкции деталей со штамповочными радиусами, сравнимыми с толщиной стенки и менее, формовку с приложением деформирующего усилия эластичного инструмента строго к внутренней поверхности полуфабриката, т.е. формовку на раздачу заготовки, и гибку труб и патрубков.

Локальным формоизменением можно оформлять выштамповки с надрезом (здесь формоизменяющие операции совмещаются с разделительными), а также выполнять стесненную формовку, т.е. обеспечивать набор толщины стенки и уменьшение штамповочных радиусов на деталях за счет всестороннего сжатия локальных участков полуфабриката.

Формовка на раздачу заключается в формообразовании поперечных рифтов, редуцировании, т.е. увеличении диаметра полуфабриката, и отбортовки отверстий. Редуцирование, в свою очередь, предусматривает формовку переходников либо законцовок для стыковки труб различного диаметра, а также формовку оживальных оболочек двойной кривизны типа обтекателей выступающих в аэродинамический поток частей конструкций летательных аппаратов, сопел двигателей и др.

	Оболочки двойной кривизны
	Цилиндрические оболочки, стаканы, колпачки
	Переходники
	Рифтованные трубы
	Трубы с разбортовкой отверстий
	Трубы с выштамповкой и надрезкой
	Перфорированные трубы
	Гнутые трубы

**Рис. 1.** Трубчатые и полые детали летательных аппаратов, штампуемые эластичным инструментом с управляемым формоизменением заготовок

Гибка труб и патрубков может осуществляться по схеме прокатки трубы-заготовки между двумя роликами, один из которых изготовлен из эластомера либо имеет эластичное покрытие, или по схеме вдавливания полуфабриката жесткой оправкой в эластичное полупространство.

Для выполнения показанных на рис. 2 формообразующих операций при штамповке трубчатых и полых деталей используются различные методы. Среди них штамповка эластичной средой отличается в выгодную сторону универсальностью и укороченными сроками подготовки производства. Кроме того, существуют и другие преимущества по сравнению с конкретными методами формовки.

Для изготовления переходников и оживальных оболочек двойной кривизны используется наибольшее количество разнообразных методов, которые можно разделить на высокоскоростные

и квазистатические, различающиеся, соответственно, скоростью деформирования. Эти методы применяются при формообразовании деталей из листовых плоских заготовок, из сварных конусных и цилиндрических полуфабрикатов, предварительно свернутых из листа, и из цельнотянутых (либо других) труб.

При изготовлении оживальных оболочек из листовых плоских заготовок обычно применяются квазистатические способы:

- вытяжка;
- штамповка на листоштамповочных молотах;
- ротационная вытяжка или выдавливание на токарно-давильных станках;
- обтяжка на обтяжных прессах.

При изготовлении оболочек из сварных заготовок и труб применяются как высокоскоростные способы:

- штамповка взрывом;

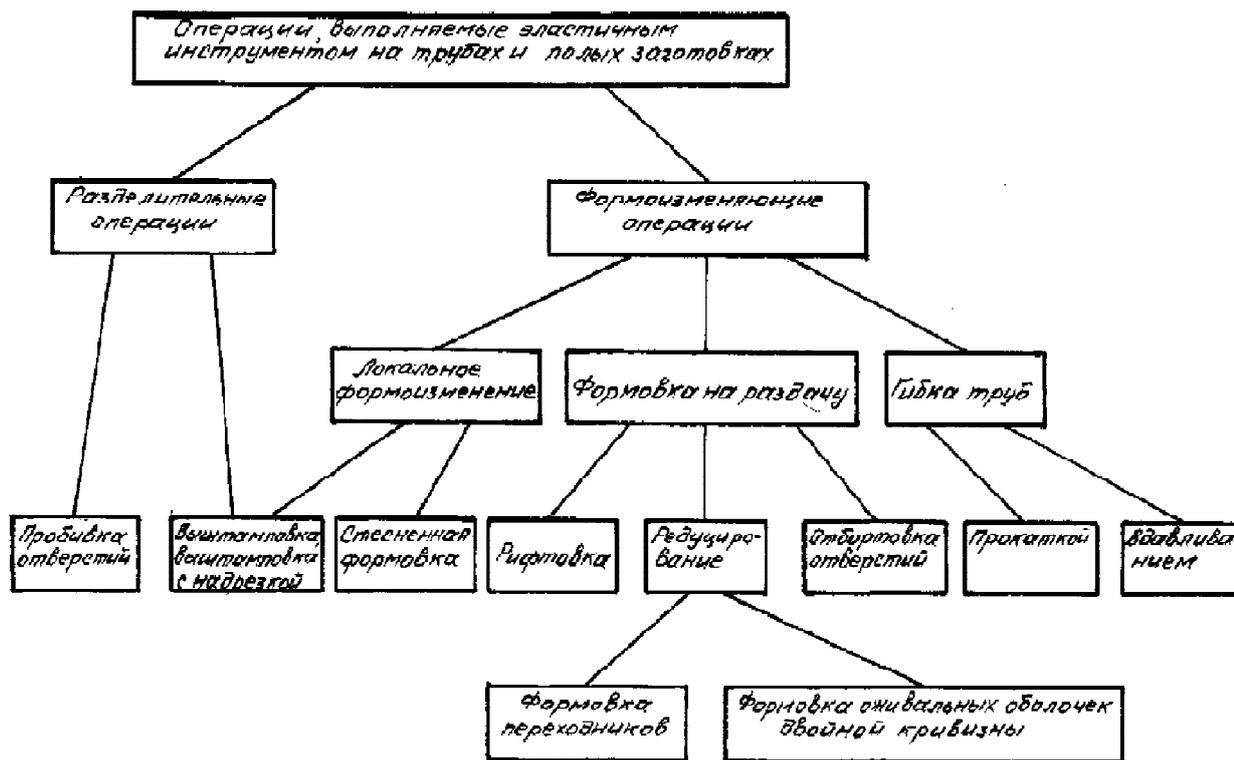


Рис. 2. Классификатор типовых операций, выполняемых эластичным инструментом при изготовлении трубчатых и полых деталей летательных аппаратов с управляемым формоизменением заготовок

- электрогидравлическая штамповка;
  - магнитно-импульсная штамповка,
- так и квазистатические способы:
- раздача по жесткому пуансону;
  - формовка давлением жидкости;
  - кольцевая обтяжка разжимными пуансонами;
  - штамповка эластичной средой.

На основании перечисленного можно составить классификатор методов изготовления переходников и оживальных оболочек двойной кривизны, представленный в табл. 1.

Существуют и другие способы штамповки деталей типа оболочек (термоформовка, штамповка энергией колеблющихся шариков, штамповка нагревом газовой среды и т.д.), но они не имеют широкого распространения в производстве летательных аппаратов. По этой причине в классификаторе не оказалось представителей высокоскоростных способов изготовления деталей из плоских заготовок.

Поперечные кольцевые рифты на трубах выполняются в настоящее время, главным образом, прокаткой между жесткими роликами соответствующего профиля, штамповкой импульсным магнитным полем и давлением эластичного пуансона по жесткой матрице.

Недостатком прокатки является неточность контура детали из-за локального приложения усилий, существенная разнотолщинность, зачас-

тую сопровождающаяся подрезкой профиля рифта, сложность рифтовки труб большой длины из-за трудности доступа инструмента к очагу формоизменения на внутренней поверхности заготовки.

Штамповка импульсным магнитным полем имеет ограничения применимости для труб диаметром менее 30...50 мм и для деталей из стали из-за ее невысокой электропроводности.

Оформление контура рифта происходит за счет утонения стенки детали, так же как и при штамповке эластичной средой без управления процессом формоизменения полуфабриката.

Крупногабаритные трубы с рифтами жесткости в связи с отмеченными недостатками зачастую изготавливаются сваркой из штампованных из листа частей трубы соответствующей конфигурации. Эта технология требует большого объема ручных доводочных и подгоночных работ.

Отбортовка отверстий и выштамповка на трубах и оболочках выполняются жестким пуансоном на жесткой матрице, штамповкой импульсным магнитным полем, давлением эластичного инструмента по жесткой матрице. Так же, как и при рифтовке, процессы затруднены сложностью доступа инструмента к внутренней поверхности заготовки, в особенности это касается штамповки жестким пуансоном. Формообразование контура детали происходит за счет

**Таблица 1.** Классификатор методов изготовления переходников и оживальных оболочек двойной кривизны

		Для плоских заготовок	Для конусных и цилиндрических заготовок
По скорости деформирования	Квазистатические	<ul style="list-style-type: none"> <li>- на листоштамповочных молотах</li> <li>- вытяжка</li> <li>- обтяжка по пуансону</li> <li>- ротационная вытяжка</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- формовка давлением жидкости</li> <li>- обтяжка разжимными пуансонами</li> <li>- раздача по жесткому пуансону</li> <li>- штамповка эластичной средой</li> </ul>
	Высоко-скоростные	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- магнитно-импульсная штамповка</li> <li>- электрогидравлическая штамповка</li> <li>- штамповка взрывом</li> </ul>

изменения толщины стенки, при этом предельные возможности формоизменения ограничиваются из-за существенного утонения и разнотолщинности. Наибольшее утонение наблюдается на кромках отбортовок и на вершинах выштамповок, там же появляются трещины при деформировании материала за пределами его пластических возможностей.

Наиболее распространенными способами выполнения отверстий, пазов, надрезов являются сверление, фрезерование, растачивание, штамповка жестким либо эластичным инструментом, магнитно-импульсная штамповка. Основные сложности при этом обусловлены небольшой жесткостью и затрудненным доступом внутрь изделий. Тонкостенные конструкции от воздействия локальных технологических усилий коробятся и сминаются, режущий инструмент ломается, пуансоны и матрицы, особенно для длинных изделий небольшого диаметра, отклоняются от соосности, заусенцы на внутренней поверхности труб требуют специальных процедур их удаления, стойкость инструмента ввиду тяжелых условий эксплуатации является весьма низкой.

Так, например, при изготовлении фильтров топливозаборников для космической техники необходимо получать отверстия диаметром 8 мм в трубах диаметром от 60 мм до 80 мм с толщиной стенки 1 мм. Элементы топливозаборника имеют длину от 200 мм до 400 мм и насчитывают сотни отверстий, расположенных в шахматном порядке. Первая партия этих деталей изготавливалась по следующей технологии. Сверлились предварительные отверстия в криволинейной поверхности, далее отверстия растачивались специальным резцом до заданного размера и этим же резцом снимались заусенцы на внутренней криволинейной поверхности. Перемещение инструмента, обеспечивающее обработку криволинейных поверхностей, задавалось программой для обрабатывающего центра с числовым программным управлением. Время изготовления одной

детали составляло до 8 часов.

Пробивка отверстий эластичным инструментом по жесткой матрице при изготовлении этих деталей штамповкой полиуретаном занимает по времени несколько минут на деталь. Но при этом полиуретановый пуансон начинает выкрашиваться и разрушаться после нескольких циклов нагружений, что требует специальных мероприятий для реализации этого способа обработки в промышленных масштабах.

По характеру взаимодействия внешних силовых факторов, действующих в процессе деформирования на заготовку, различают следующие основные методы гибки труб:

- гибка в роликах по трех- или четырехроликовой схеме;
- гибка обкаткой;
- гибка намоткой;
- гибка на прессах в штампах;
- гибка проталкиванием;
- гибка на оправках вручную.

Все эти методы предусматривают использование жесткого инструмента, к которому предъявляются противоречивые требования по шероховатости, так как инструмент должен обеспечивать и проскальзывание, и удержание заготовки и не должен портить ее поверхности.

Сложными для изготовления являются крутоизогнутые патрубки, трубопроводы с переменной кривизной, с изгибом в разных плоскостях, конструкции, не имеющие прямолинейных участков. Механизация и автоматизация процессов для преодоления этих трудностей оправдывает себя при серийном производстве, но в авиаракетостроении является экономически невыгодной, поэтому при изготовлении аэрокосмических изделий гибка трубопроводов осуществляется большей частью вручную. Известная своей выгодностью для мелкосерийного производства штамповка эластичной средой в гибке трубопроводов не нашла применения, судя по публикациям в технической периодике, учебникам и справочникам. Пробные экспериментальные и

теоретические исследования гибки труб с применением эластичного инструмента показали перспективность этого метода, но для промышленного использования требуются более подробные дальнейшие проработки этой технологии.

Из анализа состояния вопроса изготовления трубчатых и полых деталей летательных аппаратов штамповкой эластомерами следует, что в условиях мелкосерийного производства, как-вым является авиаракетостроение, широко распространена высокоэффективная технология

штамповки листовых деталей эластичной средой, а штамповка трубчатых и полых деталей требует совершенствования схем нагружения и процесса формоизменения полуфабриката для повышения эффективности и расширения ее использования.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Проектно-технологическая документация на специальные изделия (летательные аппараты). ГНП ЦСКБ "Прогресс". 2006 – 2008 г.г.

### **THE TUBULAR AND HOLLOW DETAILS OF FLYING MACHINES STAMPED BY THE ELASTIC TOOL, AND TRADITIONAL METHODS OF THEIR MANUFACTURING**

© 2009 S.G. Ryzhakov

Ulyanovsk Branch of Design Office of Open Society "Tupolev"

In present clause authors mark, that the nomenclature of details of space technics from tubular both hollow preparations and methods of their manufacturing are presented in many references. Basically they are resulted in the form of qualifiers from which follows, that elastomers punching with success is applied at their manufacturing, but there are restrictions and the lacks narrowing a circle of use of this effective technology. In particular, the greater obstacle constraining expansion of introduction of technological processes of punching by an elastic material, is the uniform appendix of pressure upon all surface of preparation.

Key words: tubular both hollow preparations, form of qualifiers, elastomers punching.