

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗОГНУТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛНОВОДНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

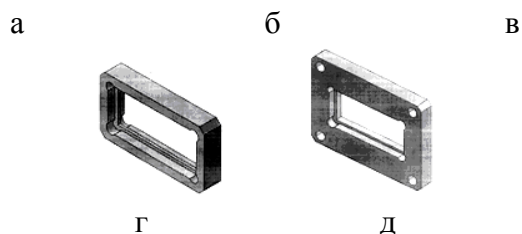
Овсянников С.В.

Научные руководители - Сильченко П.Н., Кудрявцев И.В.

*Сибирский федеральный университет*

Одной из важнейших систем космического аппарата (КА), от которой во многом зависит качество передаваемой информации, является волноводно-распределительная система (ВРС), которая служит для передачи информации между антеннами КА и блоками его бортовой системы связи.

Для различных типов космических аппаратов вид волноводно-распределительной системы будет отличаться размерами, числом и конфигурацией составляющих ее отдельных элементов. В общем случае, конструкция ВРС КА связи состоит из прямых и изогнутых тонкостенных элементов прямоугольного поперечного сечения, соединительных муфт и фланцев, а также гибкой секции, соединенных между собой посредством пайки (рис. 1)



а – прямой элемент, б – изогнутый элемент, г – муфта, д – фланец

Рисунок 1 – Пример исполнения участка и элементы ВРС

С целью обеспечения прочностных и улучшенных функционально-эксплуатационных характеристик конструкции ВРС необходимо в течении всего срока активного существования обеспечить прочность каждого ее элемента на всех этапах жизненного цикла: при изготовлении, монтаже и эксплуатации.

Рассмотрим особенности процесса изготовления с обеспечением прочности и устойчивости изогнутых элементов ВРС из прямолинейных труб прямоугольного поперечного сечения, которые могут быть изогнуты в плоскости узкой (рис.1, б) или широкой (рис.1, в) стенок, в зависимости от требований к распространению по ним электромагнитных волн.

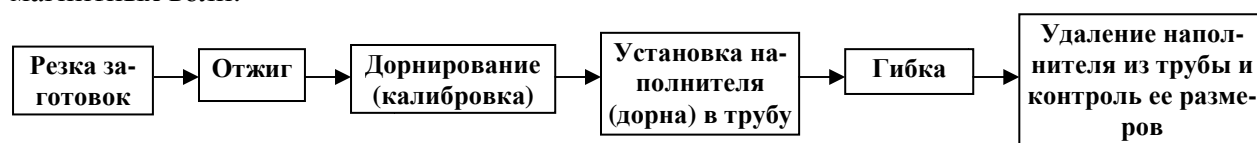


Рисунок 2 – Этапы изготовления изогнутых элементов ВРС

Основные этапы изготовления изогнутых элементов схематично представлены на рис.2 и включают в себя:

1 резку заготовки трубы в виде прямого элемента на мерные длины согласно требованиям ТП и КД со снятием заусениц и промывкой трубы;

2 на этапе термообработки заготовки проводится ее отжиг для повышения пластичности материала перед гибкой;

3 дорнирование (калибровка) труб производится дорнами соответствующих сечений для придания прямолинейности внутреннего канала и выдерживания размеров с требуемой шероховатостью согласно КД;

4 установка наполнителя в трубе заполняет всю внутреннюю полость и обеспечивает стабильность внутренних размеров волноводной трубы. В качестве наполнителя могут использоваться стальные пластины, оправки, жидкость под давлением и др.;

5 процесс гибок прямого элемента, который может выполняться различными способами:

- путем наматывания заготовки на вращающийся копир;
- гибка заготовки в штампах;
- проталкиванием заготовки через канал матрицы;
- с помощью трех роликов;
- гидростатическая гибка – формовкой.

6 после гибки, из изогнутой трубы удаляют наполнитель и производится контроль размеров трубы.

Наиболее ответственным и сложным является этап гибки прямого элемента, на котором возникают пластические деформации, приводящие к изменению прямолинейной формы заготовки на изогнутую.

Все существующие в настоящее время способы получения гнутых деталей имеют свои достоинства и недостатки, определяющие область их применения. На практике хорошо освоена гибка заготовок осесимметричного поперечного сечения. При этом минимальное значение радиуса изгиба составляет:

$$R_{u \min} \sim 1.0-1.5D,$$

где  $D$  – наружный диаметр трубы.

При изгибе тонкостенных заготовок неосесимметричного поперечного сечения возникает ряд особенностей, усложняющих этот процесс. К ним, в первую очередь, относятся разрывы на наружной стенке, потеря устойчивости внутренней и боковых стенок заготовки, что приводит к искажению прямоугольной формы поперечного сечения, появлению гофра на внутренней и сечения в локальном месте гибок.

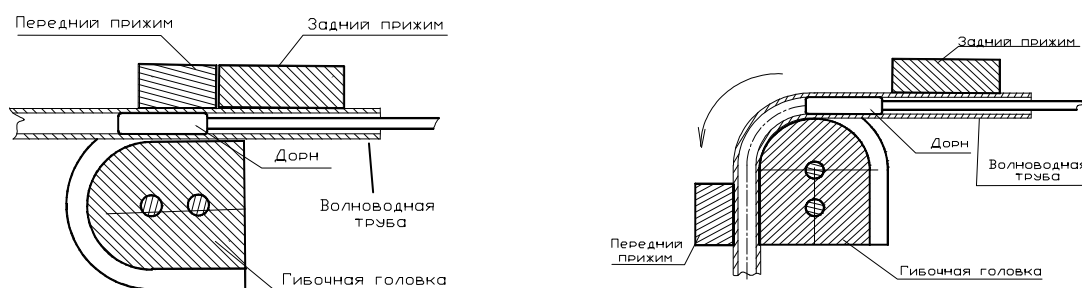
Подобные дефекты являются недопустимыми при изготовлении тонкостенных изогнутых элементов волноводно-распределительных систем КА, к которым предъявляются высокие требования по геометрической точности и стабильности размеров поперечного сечения на всем их протяжении, поскольку искажения правильной прямоугольной формы сечения приводит к ухудшению радиотехнических параметров волноводов. Указанные условия приводят к необходимости использования значительно больших значений минимально допустимого радиуса изгиба  $R_{u \min}$  при изготовлении изогнутых элементов прямоугольного тонкостенного поперечного сечения, что отрицательно сказывается на массогабаритных параметрах ВРС.

Однако, требования по минимизации массы и габаритов всех элементов различных систем КА требует создания изогнутых элементов с малым радиусом изгиба при больших поперечных размерах трубы. На практике установлено, что чем меньше радиус гибок  $R_{ги}$  и больше угол изгиба  $\varphi_{ги}$ , тем больше вероятность возникновения потери устойчивости. Следовательно, необходимо определить наименьшие допустимые значения радиуса гибок  $R_{ги}$  и соответствующую им верхнюю границу угла изгиба  $\varphi_{ги}$ .

В настоящее время, основным источником для определения этих допускаемых значений используют книгу Бушминского И.П. «Изготовление элементов конструкций СВЧ». Однако, при переходе на новый материал элементов ВРС с уменьшенной толщиной стенки в ОАО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф.Решетнева» столкнулись с проблемой применимости основных зависимостей этого автора, поскольку рассчитанные по методикам Бушминского И.П. допускаемые значения радиуса и углагиба на практике привели к потере устойчивости сечения с образованием гофр.

Следовательно, для получения качественного изделия, необходимо создать методики расчета прочностных и технологических параметров процесса гибки, которые обеспечат получение изогнутых элементов с требуемыми качественными параметрами.

Для анализа возможных подходов к решению данной задачи, рассмотрим процесс гибки (рис.3) прямого элемента одним из распространенных способов - намоткой заготовки на вращающийся копир с применением оснастки – переднего и заднего прижимов, складкодержателя, гибочной головки и дорна.



а – в начале процесса гибки

б - в конце гибки

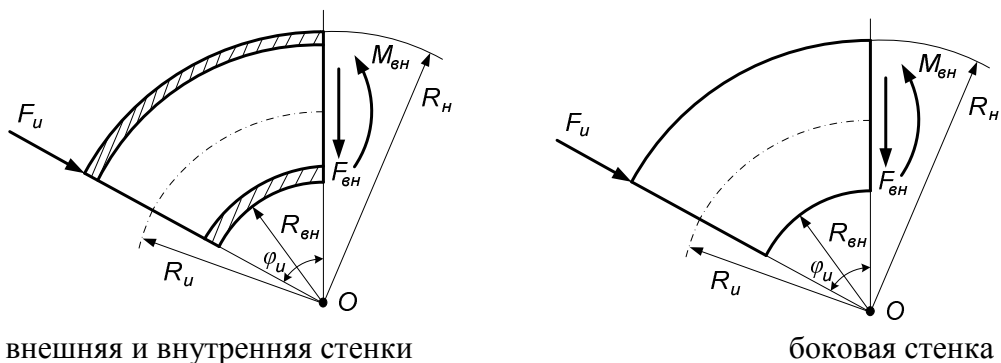
Рисунок 3 – Процесс гибки на станке путем наматывания заготовки на вращающуюся гибочную головку (копир)

Гибочная головка станка выполнена в виде ролика с определенным радиусом, соответствующим радиусугиба и имеющая специальный паз (ручей), соответствующий сечению обрабатываемой трубы и сторонегибки (по узкой или широкой стороне).

Передний прижим служит для плотного прижима трубы к ручью гибочной головки и в процессегибки поворачивается на заданный угол вокруг головки, чем обеспечивает «намотку» трубы на гибочную головку. Задний прижим служит для поддержки заднего конца трубы в процессегибки и неподвижен в процессегибки.

Складкодержатель (не показан) служит для регулировки потока металла пригибке, предотвращая образование складок на наружной стенке трубы, прилегающей к ручью гибочной головки. Дорн служит наполнителем внутренней полости трубы в процессегибки и в отличие от наполнителя, заполняет собой внутреннюю полость трубы только в зоне деформации, что может приводить к смятию стенок трубы из-за потери ею устойчивости из-за неравномерности деформаций тонких стенок заготовки.

Составим расчетную схему элемента заготовки (трубы), нагруженную всеми силовыми воздействиями пригибе на станке (рис.3). В первом приближении ее можно рассматривать по схеме изгиба консольной балки с приложенной сосредоточенной силой на конце от действия переднего прижима (рис.4). Совместное деформирование всех стенок сечения заготовки пригибе будет иметь весьма сложную картину.

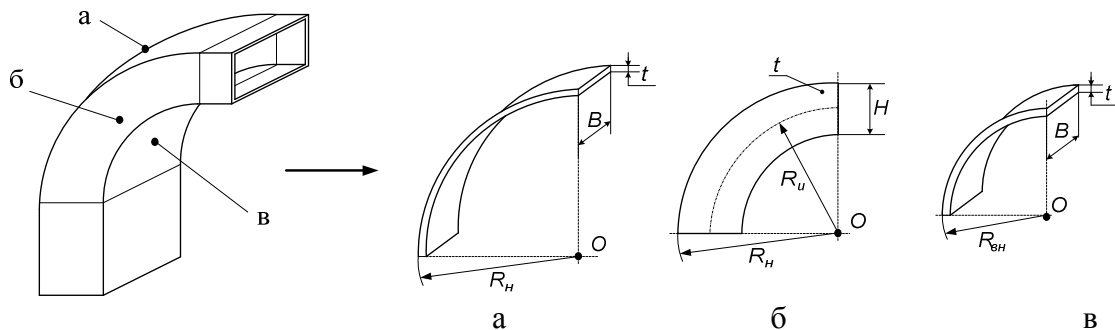


внешняя и внутренняя стенки

боковая стенка

Рисунок 4 – Расчетная схема нагружения стенок элемента заготовки при гйбе

Анализ напряженно-деформированного состояния выделенного элемента заготовки при гйбе показывает, что каждая составляющая его сечения будет находиться в разных условиях нагружения. Поэтому, выделим из элемента заготовки ее составляющие и рассмотрим их напряженно-деформированное состояние (рис.4).



а - внешняя стенка, б - боковая стенка, в - внутренняя стенка

Рисунок 5 – Основные составляющие элемента заготовки

Внешняя стенка (рис.5,а) заготовки при гйбе подвергается деформации растяжения, внутренняя стенка (рис5,в) – сжатию, а боковые стенки (рис.5,б) при этом изгибаются в своей плоскости.

Наибольший момент сопротивления при гйбе создают боковые стенки заготовки. Поэтому результат выполнения операции гйба будет во многом определяться типом деформации этих стенок. При превышении изгибающей нагрузки некоторого критического значения, может произойти потеря устойчивости боковых стенок элементов, что приводит к сминанию поперечного сечения.

Анализ методики Бушминского И.П. показал, что он определяет допускаемые значения радиуса и угла гйба на основе допускаемого утонения внешней стенки заготовки без учета силовых факторов и, таким образом, не учитывает возможность потерю устойчивости боковых стенок. Следовательно, для получения гнутых элементов прямоугольного поперечного сечения требуемого качества, необходимо учитывать напряженно-деформированное состояние заготовки при гйбе, что позволит уточнить выражения для определения допускаемых значений радиуса и угла гйба.

Литературный обзор по данной тематике показал, что данное направление исследований изучено только с экспериментальной стороны, теоретическая же составляющая изучена недостаточно хорошо, содержит многочисленные упрощения и может быть использована только для приближенной оценки.

Необходимо провести уточненные теоретические исследования и получить корректные выражения для определения напряженно-деформированного состояния заготовки при гйбе, что позволит уточнить допускаемые значения радиуса и угла гйба.