

**В.Е. Зайцев, А.М. Андриенко, В.П. Сабелькин, С.Г. Домбровская**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт», Украина*

## **ОТРАБОТКА ОПЫТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОБОЛОЧЕК ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ**

На основании проведенного анализа существующих методов производства высокоточных оболочек деталей предложен двухпереходный метод их изготовления – взрывная штамповка с предварительной вытяжкой. Этот метод позволяет на стадии разработки технологического процесса отказаться от корректировки оснастки и увеличить точность детали.

**технология производства летательных аппаратов, штамповка деталей взрывом**

### **Вступление**

Приёмо-передающие устройства, особенно устанавливаемые на летательных аппаратах, должны обладать высокими характеристиками при минимальных размерах и массе. Этого можно добиться только повышением точности изготавливаемых зеркал антенн.

Анализ деталей, применяемых при изготовлении вышеуказанной продукции, показал, что большой объём занимают осесимметричные оболочки двойной кривизны с периферийным рифтом различных радиусов кривизны с габаритными размерами от 1,2 до 2,5 метра, относительной глубиной до 17 %, относительной толщиной 0,0012...0,0009.

В качестве типового представителя деталей рассматриваемого класса рассмотрим рефлектор антенны спутниковой системы, форма которого – параболоид вращения. Рефлекторы антенн спутниковой связи и телевидения, как правило, характеризуются большими габаритами и требуют высокой точности изготовления (отклонение от теоретического контура сечения  $\pm 0,5 \dots 1$  мм). Традиционными методами изготовления это обеспечить трудно.

Основная задача данной работы – исследование выбранной схемы формообразования деталей, динамического поведения листовой заготовки

и экспериментальное определение её напряжённо-деформированного состояния, определение оптимальных параметров технологических процессов и обработка типовых технологических процессов в лабораторных условиях в целях выработки рекомендаций для практического внедрения в производство.

### **1. Комбинированный метод изготовления высокоточных оболочечных деталей**

Существуют (и применяются сегодня на производстве) следующие способы изготовления зеркал антенн спутникового телевидения:

- вытяжка с прижимом фланца заготовки,
- штамповка на прессах эластичными средами,
- обтяжка на обтяжном пуансоне,
- обкатка,
- изготовление сегментов зеркала антенны с последующей сборкой в стапеле с помощью разъемных (болтовые) или неразъемных (клепка, сварка и т.п.) соединений,
- электрогидравлическая штамповка,
- гидровзрывная штамповка.

На основании проведенного анализа существующих методов изготовления указанных выше деталей предложен комбинированный метод формообразования оболочек двойной кривизны высокой точности.

Деталь изготавливается за два этапа.

На первом этапе с помощью традиционного способа вытяжки изготавливается полуфабрикат заданной глубины.

На втором этапе из полуфабриката формовкой по пуансону (матрице) изготавливается окончательная деталь.

Сочетание традиционной и импульсной технологий позволило создать оптимальную схему формообразования крупногабаритных высокоточных антенных конструкций спутниковых систем, учитывающую возможность изготовления различных видов зеркальных антенн: длиннофокусных, среднефокусных, короткофокусных, офсетных.

## 2. Определение параметров внешней нагрузки

Основным технологическим параметром при вытяжке полуфабриката из листовой заготовки является величина давления среды. Для определения величины давления была использована безмоментная теория расчёта тонкостенных оболочек, а также уравнение Лапласа. Как показали эксперименты, разница между расчетной величиной давления и величиной давления, определенной экспериментально, составила не более 5 %.

Одними из основных технологических параметров процесса импульсного формообразования являются величины заряда взрывчатого вещества и дистанция от заряда до заготовки. На этапе формовки следует обеспечить максимальное прилегание всех точек полуфабриката к поверхности матрицы, соблюдая жёсткие требования к точности геометрических размеров оболочек двойной кривизны. При этом скорости, с которыми точки заготовки должны подходить к поверхности пуансона, должны быть минимально возможными, что необходимо для увеличения срока службы дорогостоящей штамповочной оснастки.

На основе метода деформируемого многогранника [1] проведен расчет оптимальных величин энергетических и геометрических параметров импульсной штамповки оболочек двойной кривизны.

Целью работы являлось нахождение оптимальных величин энергетических и геометрических параметров системы «заряд – заготовка», таких, как масса заряда и дистанция от заряда до заготовки, которые обеспечат заданный характер деформирования заготовки и соответствие окончательных геометрических форм детали требуемым по техническим условиям, т.е. совпадение с заданной точностью потребных и расчетных прогибов заготовки. В общую блок-схему расчёта включена процедура численного расчёта напряжённо-деформированного состояния заготовки, введены ограничения на дистанцию заряда взрывчатого вещества до заготовки и на величину массы заряда. Результаты расчетов оптимальных геометрических и энергетических параметров импульсной штамповки детали типа зеркала антенны с учетом начальных и граничных условий показали отличие расчётных значений технологических параметров от экспериментальных в интервале 15...20 %, что объясняется принятыми допущениями, которые были положены в основу методик расчёта [2].

Комбинированный метод формообразования для рассматриваемого класса деталей позволяет отказаться при отработке технологии от корректирования профиля матрицы и увеличить точность за счёт:

- бегущей волны от импульсного нагружения;
- схемы формообразования;
- отсутствия зависимости от поставляемого проката;
- отсутствия зависимости от утонения заготовки.

Технология изготовления отрабатывалась на деталях из алюминиевых сплавов АМцМ и АМг6М толщиной 1,5...2,5 мм, стального листа 08кп толщиной 1,0 мм. Габариты деталей – 1,2, 1,5, 1,8 и 2,5 метра (рис. 1).



Рис. 1. Изготовленные антенны диаметром 2,5, 1,8, 1,5 и 1,2 метра

Детали, отштампованные по предложенному технологическому процессу, изображены на рис. 2.

В условиях отсутствия в Украине производства листового алюминия актуальным является вопрос замены материала для изготовления зеркал параболических антенн приемопередающих систем. В этой связи были проведены эксперименты



Рис. 2. Изготовленные параболические антенны диаметром 2,5 метра

по гидровзрывной штамповке зеркал антенн из черного металла, в частно-

сти, из стального листа. Из-за трудности с наличием проката листа требуемой ширины, особенно для деталей больших габаритов отработана технология изготовления деталей из сварной листовой заготовки – лист сварен встык и внахлест (рис. 3).

Как показала отработка технологии изготовления и проведенная штам-



Рис. 3. Деталь, отштампованная из сварной заготовки, сталь 08кп

повка деталей из стального листа [3], отличие технологических процессов изготовления деталей из алюминиевого и стального листов состоит в следующем:

– перед операцией вытяжки лист из материала сталь 08кп

необходимо подвергнуть отжигу;

– после предварительной вытяжки полученный полуфабрикат также необходимо отжечь.

Величина потребных зарядов взрывчатого вещества при штамповке зеркала антенны из стального листа выше на 25...30 %, чем при штамповке из листа АМцМ.

При штамповке детали из предварительно сваренного листа установлено, что сварной шов не накладывает каких-либо ограничений на процесс изготовления детали. При этом на рабочей поверхности зеркала антенны не остаётся каких бы то ни было утяжек материала или отклонений от теоретического профиля поверхности, которые бы в дальнейшем влияли на работу приёмо-передающих комплексов.

Для контроля геометрических параметров изготовленных деталей предложен оптический метод. При этом дешёвый и простой в применении способ обладает высокой точностью получаемых результатов. Профиль оболочки измеряется с помощью точного угломерного прибора, который устанавливается на некотором расстоянии от детали и на возвышении, с которого обеспечивается оптическая видимость поверх-

ности детали в требуемом сечении. Измеряются углы между струной, натянутой в плоскости, пересечение которой с контролируемым профилем определяет контролируемую кривую, и проекцией этой струны на поверхность детали.

Методика обработки результатов контроля позволяет перевести результаты угловых измерений в линейные величины при контроле профиля. Точность измерений составляет  $\pm 0,01$  мм.

Кроме того, указанный метод измерения позволяет контролировать качество и точность геометрии гидровзрывной штамповочной оснастки непосредственно по изготовленным на этой оснастке деталям.

Результаты обмера зеркал параболических антенн больших габаритов (диаметром 1,8 и 2,5 метра) показали:

- высокую точность геометрии профиля (отклонение от теоретического не более  $\pm 0,5$  мм в центральной части рефлектора и не более  $\pm 1,0$  мм по краю), что соответствует заданным условиям;
- высокое качество внутренней поверхности.

С изготовленной партией антенн разных диаметров проведены испытания приёмных комплексов на спутниковых системах в различных широтных и климатических регионах и при различных условиях эксплуатации.

Антенны, изготовленные комбинированным способом, показали более высокое качество в сравнении с изделиями, изготовленными традиционными способами.

### **3. Рекомендации для осуществления натурального технологического процесса**

Проведенные серии экспериментов позволили выработать ряд рекомендаций, существенно влияющих на ход технологического процесса изготовления крупногабаритных высокоточных оболочек двойной кривизны. Все рекомендации были условно разбиты на ряд крупных подгрупп:

#### *1. Выбор геометрии оболочки двойной кривизны.*

В эту подгруппу объединены геометрические параметры, влияющие на ход технологического процесса:

- диаметр листовой заготовки;
- высота вытяжки полуфабриката на первом технологическом пере-

ходе;

- геометрия борта готового изделия (высота борта и радиусы закругления, угол борта).

### *2. Выбор геометрии оснастки первого технологического перехода.*

В эту подгруппу объединены геометрические параметры оснастки первого перехода, влияющие на ход технологического процесса вытяжки полуфабриката [4]:

- толщина плиты основания и прижимного кольца оснастки первого технологического перехода;
- геометрия прижимного кольца.

### *3. Выбор геометрии оснастки для гидровзрывной штамповки.*

В эту подгруппу объединены геометрические параметры оснастки второго перехода, влияющие на ход технологического процесса калибровки:

- толщина плиты основания и прижимного кольца оснастки второго технологического перехода;
- количество колонок для прижима клиновыми зажимами.

## **Заключение**

1. Разработана новая технология, которая позволяет получать высокоточные детали двойной кривизны больших габаритов. Исследована возможность изготовления оболочек двойной кривизны из сварной листовой заготовки.

2. Предложены методики расчёта оптимальных параметров технологического процесса формообразования оболочек двойной кривизны больших габаритов высокой точности и основных элементов технологической оснастки. Благодаря этому удалось снизить себестоимость изделий на 15...25 %.

3. Экспериментальные исследования энергетических и геометрических параметров разработанного технологического процесса позволили установить, что разница между данными, полученными расчётом, и экспериментальными данными составляет до 5 % для первого технологического перехода и до 20 % для перехода гидровзрывной формовки.

4. Приведенные рекомендации по выбору геометрии оболочек двойной кривизны, пневмостамповочной оснастки и оснастки для гидровзрывной штамповки дают возможность наиболее правильно спроектировать технологический процесс изготовления высокоточных крупногабаритных оболочек двойной кривизны.

5. Показана возможность изготовления зеркал параболических антенн из более прочных материалов, в частности, из материала сталь 08кп.

6. Разработан типовой технологический процесс гидровзрывной формовки оболочек с предварительной вытяжкой полуфабриката, который, по сравнению с традиционными технологиями формообразования, позволил:

- снизить массу детали и повысить ее точность на 0,2...0,3 мм,
- сократить сроки подготовки производства в 1,5...2 раза,
- снизить себестоимость детали в целом в 1,4...1,6 раза.

### Литература

1. Борисевич В.К., Сабелькин В.П., Солодянкин С.Н. Расчет оптимальной нагрузки при штамповке взрывом деталей сложной конфигурации // Импульсная обработка металлов давлением. – Х., 1979. – Вып. 8. – С. 60-64.

2. Сабелькин В.П., Зайцев В.Е. Технология изготовления гидровзрывной штамповкой крупногабаритных листовых деталей двойной кривизны // Кузнечно-штамповочное производство. – 1994. – № 9. – С. 15-16.

3. Сабелькин В.П., Кривцов В.С., Зайцев В.Е. и др. Проведение научно-исследовательских работ по разработке технологии изготовления оболочек двойной кривизны // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 1997. – С. 68-72.

4. Сабелькин В.П., Кривцов В.С., Зайцев В.Е., Беланов А.В. Методика расчета оснастки для штамповки деталей двойной кривизны // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 1995. – С. 150-155.

*Поступила в редакцию 1.06.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Я.С. Карпов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.