

УДК 621.983.044:658.56(075.8)

М. Е. ТАРАНЕНКО

ПОСТРОЕНИЕ ШКАЛ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЗЕРКАЛ АНТЕНН КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

В статье предложен подход к построению шкал параметров качества группы таких свойств, как толщина детали, используемый материал и сложность геометрической формы, определяющие технологичность крупногабаритной листоштампованной детали. Выполнена попытка сравнения значения комплексного показателя качества технологичности зеркала антенны космической связи с ее радиотехническими характеристиками. Проанализировано влияние механических свойств современных высокопрочных сплавов на показатели качества штамповки.

Ключевые слова: показатели качества, технологичность, крупногабаритные листоштампованные детали.

Введение. Зеркала антенн космической связи (АКС) являются особо точными деталями достаточно большого габарита (0,6...2,5 м). Необходимость высокой точности рабочей поверхности зеркала обусловлена высокой частотой принимаемого сигнала от единиц до десятков гигагерц. Высокая точность рабочей поверхности зеркала или отклонение формы этой поверхности от теоретической поверхности параболоида позволяет получать высокие коэффициенты усиления сигнала и достаточно узкую диаграмму направленности.

Анализ состояния проблемы оставление алгоритма формирования показателей качества (ПК) таких деталей позволяет количественно определить величины этого показателя. А это может быть использовано потребителем этой продукции при выборе того или иного поставщика (изготовителя), а последним – для выбора того или иного технологического процесса изготовления подобных деталей.

Как показано в работе [1] одним из основных свойств листовых деталей определяющих их качество (этот термин, в данном случае, принимается в широком понимании) является свойство их технологичности. Это комплексное свойство формируется из ряда частных свойств. К ним, в частности, относятся форма детали в плане, относительная толщина и точность формы рабочей поверхности. В случае рассмотрения листового днища параболического сечения в свойство точности включают суммарное отклонение рабочей поверхности от теоретического профиля, прямолинейность оси параболоида и минимальная депланация входного сечения.

Цель работы. Целью настоящей работы является обоснование и построение шкал показателей качества для комплексного свойства технологичности и ее частных свойств, их граничных (реперных) точек и, по возможности, градации.

В соответствии с положениями теоретической квалиметрии более удобно рассматривать ПК в диапазоне 0...1,0, причем более высокому качеству должно соответствовать большее значение ПК. Для квалиметрического анализа используется ряд шкал: наименований (не количественная), порядка (баллы), интервалов (начало отсчета произвольное,

но уже можно пользоваться цифровой мерой), отношений и абсолютная шкала. Более совершенными являются две последние.

При рассмотрении процессов листовой штамповки автором [1] установлен ряд форм листовых деталей в плане и обоснован ряд количественных показателей формы от круглых в плане деталей до деталей сложной формы.

Методы исследования. Предлагается для ПК формы в плане использовать по оси соотношения площадей величину обратную показателю формы. Тогда такая шкала будет выглядеть следующим образом:

– круглая форма – ПК=1,0;

– шестиугольник – 0,91;

– квадрат – 0,79;

– треугольник (от равностороннего до прямоугольного – 0,60...0,53;

Для сложной формы – 0,5...0,25.

По оси «соотношение сторон» (эллиптическая форма) ПК равен отношению меньшей полуоси эллипса к большей. Для офсетных зеркал ПК формы в плане равен 0,6...0,8.

Детали названного назначения представляют собой днища указанного выше диапазона диаметров и отношением глубины детали к ее диаметру 0,2...0,4. По периферии днища располагается жесткий рифт, препятствующей большой депланации (короблению) ее выходного сечения. Для повышения точности и поводов поверхности от действия остаточных напряжений для их формообразования предпочтительно применять процесс вытяжки, а не формовки. Возможности такого процесса характеризуются коэффициентом вытяжки, равным отношению необходимого диаметра заготовки к диаметру днища.

Теоретически предельным коэффициентом вытяжки является величина 2,72, которая для большинства штампуемых материалов не достижима. При значениях этого параметра равного 1,42 формообразуется полусфера. Можно предложить в качестве нулевой точки и шкалы ПК по глубине взять величину обратную значению 2,72, т.е. 0,368. В качестве единичной точки шкалы можно выбрать плоскую деталь, которую не нужно деформировать. При этом надо учитывать некоторое отступление: листовые детали с очень малыми прогибами штамуются очень трудно из-за действия

сил упругості. Но в практиці штамповка таких деталей зустрічається рідко.

В итоге установленны две крайние точки шкалы отношений ПК по глубине штампуемой детали. Тогда значение ПК по глубине любой детали можно представить к отношению ее коэффициента вытяжки к значению 2,72. Этот параметр является минимизируемым, т.е. его меньшее значение соответствует более высокому качеству. Для его перевода в более удобную форму – максимизируемых его значение следует отнять от единицы.

Требования к точности листоштампованных деталей определяются их функциональным назначением и устанавливаются конструктором. Общеизвестных нормативов точности таких деталей не установлено. Для относительно узкой номенклатуры листовых деталей, а именно днищ, установлено четыре категории точности. Примеры предельных параметров точности приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Величины предельных параметров днищ по точности в зависимости от категорий точности (для крупногабаритных деталей)

Категория точности	Диаметр, мм	I*	II*	III*	IV*
I. Особо точные	300...1000 1000...2000	± 0,8 ± 1,5	1,0 2,0	0,5 0,8	До 10
II. Повышенной точности	300...1000 1000...2000	±1,0 ±2,0	До 1,5 До 4,0	До 0,8 До 1,5	До 15
III. Нормальной точности	1000...2000	±5,0	До 7,0	До 2,0	До 25
IV. Пониженной точности	1000...2000	±5,0	>7,0	>2,0	>25

I* – Допуск на диаметр, мм;

II* – Отклонение контура сечения от теоретических обводов, мм;

III* – Высота гофров или местных вмятин, выпучин, волнистостей, мм;

IV* – Уменьшение исходной толщины стенки днища (утонение), %.

Современная радиотехника требует применения днищ еще более высокой точности. Например, отклонение контура сечения (любого по окружности) параболических антенн не должно превышать 5...10 длин волны электромагнитного сигнала, а это при частоте такого сигнала порядка 10...20 ГГц составляет несколько десятых долей миллиметра.

Если для изготовления днища пониженной точности можно использовать в качестве матрицы только вытяжное кольцо, то для штамповки днищ повышенной точности требуется несколько переходов и несколько комплектов оснастки повышенной точности. По данным НАКУ «ХАИ», показатель $P_{точ}$ сильно зависит от категории точности (рис. 1).

Зависимость построена по данным трудоемкости процесса штамповки и стоимости изготовления оснастки в процессах импульсной штамповки. За единицу показателя $P_{точ}$ принят показатель технологичности пониженной точности. Показатель технологичности по точности детали

достаточно весом, т.к. он зависит от схемы штамповки и количества необходимой оснастки.

Эта шкала в силу недостатка статистических данных дает несколько заниженные значения ПК на участке, соответствующем деталям первой категории.

Относительная толщина заготовки детали, т. е. отношение (увеличенное в 100 раз) толщины S к максимальному габаритному размеру детали D_d , определяет схему штамповки, точность применяемой оснастки, требует достаточной жесткости прижимных элементов и отсутствия перекосов.

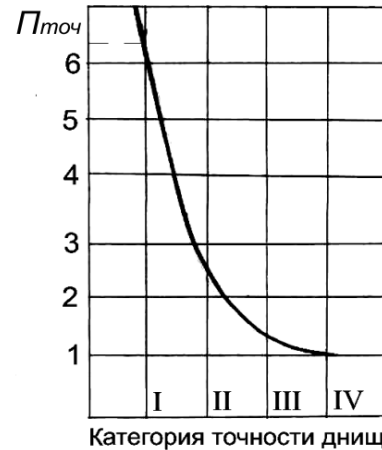


Рис. 1 – Зависимость показателя технологичности по точности листовых днищ

В практике листовой штамповки днищ принята следующая классификация:

- 1) особо тонкостенные – $(S/D_d)100 < 0,15$;
- 2) тонкостенные – $(S/D_d)100 = 0,15 \dots 1,50$;
- 3) среднестенные – $(S/D_d)100 = 1,5 \dots 5,0$;
- 4) толстостенные – $(S/D_d)100 = 5 \dots 50$;
- 5) особо толстостенные – $(S/D_d)100 > 50$.

Наиболее сложна штамповка особо тонкостенных деталей, т.к. при их формообразовании велика возможность потери устойчивой формы, что выражается в возникновении гофров, складок, выпучин и вмятин, которые сложно устранить при калибровке. Деформирование таких деталей нужно вести таким образом, чтобы в заготовке возникали и поддерживались только растягивающие напряжения. При этом возникает опасность появления больших утонений и, как следствие, разрывов заготовки. С другой стороны, при штамповке толстолистовых и особо толстостенных деталей необходима тяжелая и прочная штамповая оснастка, которая часто выполняется составной из нескольких элементов. Это приводит к усложнению и удорожанию процесса штамповки и снижению технологичности детали.

Сложность штамповки тонкостенных деталей демонстрируют следующие примеры.

На рис. 2 показан первый этап формообразования днища диаметром ~1,0 мм и толщиной 1,5 мм из стали X18H9T. По приведенной

классификации это днище относится к группе особо тонкостенных. На первом этапе при центральном нагружении заготовки на ее фланце образовались многочисленные складки, затрудняющие дальнейшую штамповку-вытяжку. На купольной части в сжато-растянутой кольцевой зоне появились крупные волны (бухтины), примыкающие к перетяжному ребру матрицы. Дальнейшее их выравнивание трудноосуществимо.



Рис. 2 – Первый этап формообразования особо тонкостенного днища

В качестве второго примера рассмотрим отштамповку носка воздухозаборника (рис. 3). Ориентировочная зависимость $\Pi_{\text{тол}}$ от относительной толщины заготовки показана на рис. 4. Более или менее приемлемый диапазон показателя технологичности по толщине соответствует диапазону относительных толщин 1,0...5,0.

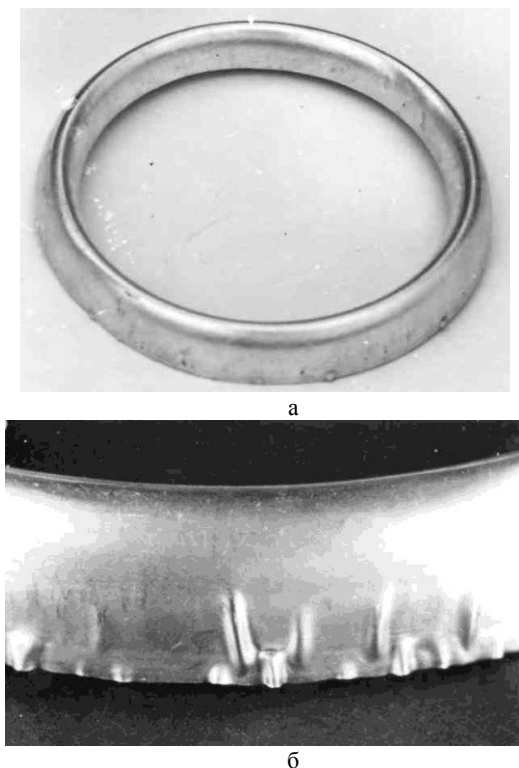


Рис. 3 – Носок воздухозаборника $\varnothing 600$ мм и толщиной 1,8 мм из материала АК4-1: а – общий вид детали; б – участок наружной стенки

Такая деталь относится к нижней границе группы тонкостенных деталей. Ее штамповка по схеме «в матрицу» была усложнена. Поэтому была

предложена отштамповка по схеме «на пуансон» из кольцевой заготовки. Относительная толщина заготовки оценивалась в диапазоне 2...3. Процесс оказался достаточно нестабильным: некоторые детали оказывались некондиционными, а в зонах сжатия на внешней поверхности части деталей появились складки. В период проведения экспериментов был сделан вывод о неустойчивости схемы формообразования. Более подробного анализа проведено не было. Поэтому можно сделать вывод, что технологичность таких деталей невысокая. Для количественной оценки технологичности требуются дополнительные исследования.

Анализ причин возникновения брака показал недостаточную точность прижимающих поверхностей фланца и малую жесткость прижимных устройств. Затем была использована методика локального последовательного нагружения заготовки с дальнейшей калибровкой. Все это значительно усложнило процесс и существенно снизило технологичность таких деталей.

Построение шкалы этого ПК проводится аналогичным образом.

Шкала ПК по КИМ наиболее проста, т.е. сама величина является показателем. Значению 1,0 шкалы соответствует равное единице значение коэффициента использования материала, что в свою очередь, соответствует самому высокому качеству по этому свойству.

На основании теории деформации этот параметр можно оценить, как отношение предела прочности к пределу текучести или к условному пределу пропорциональности (σ_B/σ_T или $\sigma_B/\sigma_{0,2}$). Условия штамповки улучшаются при увеличении такого отношения, при невысоких значениях σ_B (но это противоречит соображениям прочности конструкции) и высоких значениях пластичности материала.

Новые сплавы, разработанные для листовой штамповки, штампуются достаточно хорошо.

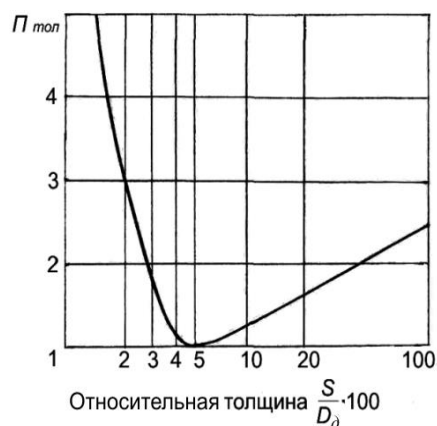


Рис. 4 – Зависимость показателя технологичности по точности от толщины заготовки

Для этих материалов $\sigma_B/\sigma_{0,2} > 1,50$ (за исключением HSLA 50 и ВН 250), но они обладают повышенным деформационным упрочнением и склонны к увеличенному короблению, что связано с высоким и неравномерным полем остаточных напряжений. Более того, для их деформирования требуется оборудование с более высокой энерговооруженностью по сравнению с существующими прессами. Новые сплавы обладают еще рядом положительных свойств, и их начинают широко использовать в производстве автомобильных кузовов. Из традиционных углеродистых сплавов хорошей штампуемостью обладают материалы 08кп, 30ХГСА, для которых отношение $\sigma_B/\sigma_{0,2} > 1,60$. Из алюминиевых сплавов хорошей штампуемостью обладают сплавы АА 5182 ($\sigma_B/\sigma_{0,2} > 2,23$), АМг6М ($\sigma_B/\sigma_{0,2} > 2,00$), АМцАМ ($\sigma_B/\sigma_{0,2} > 2,36$). Исходя из приведенного краткого обзора, можно сделать вывод о том, что показателем технологичности можно считать отношение $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ с учетом абсолютных значений временного предела прочности.

ПК по этому свойству удобно считать зависимость $ПК = (1 - \sigma_{0,2}/\sigma_B)$;

Рассмотренные по этой зависимости величины являются значениями такой шкалы. Диапазон шкалы по наиболее принимаемым для листовой штамповки материалов находится в пределах от 0,10 (титановые сплавы) до 0,552 (алюминиевый сплав АА5182).

Комплексный показатель технологичности определенный с помощью разработанных шкал по зависимости

$$P_{\text{компл}}^{\text{техн.}} = (1 - \sum_{i=0}^n P_i),$$

где P_i – ПК по отдельным составляющим

технологичности, равен 0,62.

В работах [2, 3] описаны техпроцессы штамповки зеркал антенн диаметром 900 мм и результаты их экспериментальной радиотехнической проверки. Измеренный коэффициент усиления равен $39,7 \pm 1,2$ дБ для рабочей частоты 12,2 ГГц при ширине диаграммы направленности по уровню 3дБ – 1,8 градуса. Эти значения для указанного диаметра являются достаточно высокими.

Выводы. Разработан подход к построению шкал частных показателей качества технологичности листовых деталей. В настоящее время он косвенно проверен на одном примере – электрогидравлической штамповки зеркал антенн космической связи. Сопоставимость расчетных и экспериментальных значений качества удовлетворительная.

Список литературы: 1. Тараненко, М. Е. Квалиметрия в листовой штамповке [Текст]: учебник / М. Е. Тараненко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского “Харьк. авиац. ин-т”, 2015. – 133 с. 2. Тараненко, М. Е. Изготовление высокоточных зеркал антенн космической связи [Текст] / М. Е. Тараненко. – М.: Кузнечно-штамповочное производство, 1998, № 11, С. 33-35. 3. Тараненко, М. Е. Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы [Текст]: монография в 2 ч. / М. Е. Тараненко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского “Харьк. авиац. ин-т”, 2011. – 272 с.

Bibliography (transliterated): 1. Taranenko, Mykhailo. *Kvalimetrija v listovoj shtampovke*. Kharkiv: National Aerospace University “KhAI”. 2015. Print. 2. Taranenko, Mykhailo. “Izgotovlenie vysokotochnyh zerkal antenn kosmicheskoi svjazi”. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo* No11 (1998): 33-35. Print. 3. Taranenko, Mykhailo. *Jelektrogidravlicheskaja shtampovka: teorija, oborudovanie, tehprocessy*. 2 vols. Kharkiv: National Aerospace University “KhAI”. 2011. Print.

Поступила (received) 05.11.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Тараненко Михаил Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии производства летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “Харьковский авиационный институт”, тел. +38(096)287-43-08, igoregor@mail.ru.

Taranenko Michael E., Ph.D., Professor, Department of production technology of aircraft of the National Aerospace University. NE Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", tel. +38(096)287-43-08, igoregor@mail.ru.