УДК 669.715

ИЗОМЕТРИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ОБТЯЖКОЙ ОБОЛОЧКИ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ МИНИМАЛЬНОЙ РАЗНОТОЛЩИНОСТИ

© 2013 В.А. Михеев[1], С.Г. Дементьев[2], В.П. Самохвалов[1], Д.В. Савин[1], С.В. Сурудин[1]

[1] Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)
[2] ЗАО “Авиастар – СП”, г. Ульяновск

Поступила в редакцию 06.09.2013

Впервые правомерно поставлен вопрос о разработке специализированного метода параметрического представления поверхности оболочки двойной кривизны, которая может быть оформлена в виде теоретического чертежа с указанием законов образования в определенной системе координат, например, в системе координат основного базиса изометрических координат. Перенос данных между этой системой и системой координат, принятой для увязки элементов конструкции изделия можно осуществить через унифицированный формат в межкомпьютерных обменах. Расчетная методика процессов формообразования обтяжкой оболочки минимальной разнотолщинности при оптимизации кинематической схемы последовательной обтяжки базируется на изометрических условиях, связанной определенной степенью вероятности приближения расчетной толщины в характерных точках поверхности оболочки заданной на обшивке в конструкции самолета.

Ключевые слова: оболочка двойной кривизны, теоретический чертеж, изометрические координаты, формообразование обтяжкой.

Сложность внешних форм современных самолетов, несмотря на внедрение в авиационное производство систем математического моделирования, не позволяет до сих пор задавать геометрические свойства сопрягаемых деталей и увязывать их, согласовывая форму и размеры оболочек двойной кривизны. Данные системы математического моделирования позволили пока модифицировать плазово-шаблонный метод производства и автоматизировать ряд трудоемких процедур. Математическая модель поверхности стала использоваться для построения контуров сечений при разбивке плазов и разработке управляющих программ изготовления обводообразующей оснастки на оборудовании с ЧПУ.

Под точностью изготовления обводообразующей оснастки на оборудовании с ЧПУ стали понимать их соответствие математической модели поверхности (ММП), полученной расчетным путем на основе аналитически заданных теоретических контуров. Система контроля была увязана с системами расчета геометрической и управляющей информации. При этом метод контроля стал абсолютным. Контроль обводообразующей оснастки производится путем замеров координат отдельных точек контура или поверхности и сопоставления результатов сравнения с расчетными данными ММП.

Обшивки обводообразующих поверхностей летательных аппаратов (ЛА) представляют собой наиболее крупногабаритные и тонколистовые детали. К самой обшивке предъявляются повышенные требования по качеству аэродинамической поверхности, связанной с формой, толщиной и размерами оболочки двойной кривизны. Многие эффективные по массогабаритным, прочностным и функциональным характеристикам формы, толщины и размеров оболочки двойной кривизны просто невозможно изготовить по существующей технологии обтяжки.

На основании анализа технологии формообразования обтяжкой оболочек в связи с более жесткими требованиями к эксплуатационным показателям обшивок показал, что разработка оптимальных кинематических схем сводится к анализу отдельных формообразующих операций, набор которых позволил бы из листовой заготовки заданных размеров и толщины получит оболочку двойной кривизны точной формы и минимальной разнотолщинности [1-3]. Одним из основных требований, предъявляемым к этим операциям, является их раздельное осуществление по последовательной схеме в условиях симметрии геометрического и физического свойства. Такая организация и управление технологическими процессами формообразования обтяжкой оболочки минимальной разнотолщинности являются сложными и мало изученными.

Михеев Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор. E-mail: vamicheev@rambler.ru
Дементьев Сергей Геннадьевич, генеральный директор. E-mail: d002a@aviastar-sp.ru
Самохвалов Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор. E-mail: Volovik.Lud.@yandex.ru
Савин Дмитрий Валерьевич, инженер. E-mail: newchex2n@mail.ru
Сурудин Сергей Викторович, инженер, аспирант. E-mail: innosam63@gmail.com

Впервые аналитическое представление поверхности оболочки двойной кривизны для расчета технологических параметров процесса обтяжки было сделано в работе одного из авторов данной статьи [4]. В статье предложен метод параметрического представления поверхности оболочки в главных осях и плоскостях симметрии, обеспечивающей изометрические условия для обтяжки и задание формообразующего контура обтяжного пуансона в виде кривой второго порядка, совмещенного с направлением обтяжки и с одной из осей анизотропии листовой заготовки.

Отдавая себе отчет о некоторой идеализированности наших подходов, отметим лишь то, что совершенствование алгоритма расчета процессов формообразования обтяжкой оболочки минимальной разнотолщинности в условиях симметрии геометрического и физического свойства, во многом, могут определить успех перехода на бесплазовую подготовку производства. Отказ от шаблонов возможен только после перехода от теоретических контуров к геометрическим контурам, соответствующим нормальным сечениям вдоль двух главных ортогональных направлений X_0 и Y_0, проходящих через “полюс” поверхности оболочки двойной кривизны. Согласно теореме о существовании главных кривизн радиусы кривизн R_{1o} и R_{2o} этих сечений являются главными, значение одного из них максимальное, а другое – минимальное из множества значений радиусов линий всех нормальных сечений, проходящих через точку касания, а произведение этих кривизн соответствуют первой метрике поверхности в этой же точке, т.е. полной гауссовой кривизне [5].

Для определения геометрических параметров оболочки двойной кривизны необходимо построить ее пространственную 3D модель на ЭВМ, при этом направление обтяжки совместим с одной из ортогональных плоскостей симметрии F_1, которая определяет продольный формообразующий контур поверхности оболочки, проходящий через точку O, являющейся “полюсом” поверхности оболочки двойной кривизны. При этом вторая плоскость симметрии F_2, ортогональная первой, определяет положение центрального поперечного сечения поверхности оболочки, прогиб f_o которой в ортогональной плоскости симметрии F_2 определяет двояковыпуклую форму оболочки двойной кривизны. На рис. 1 показана оболочка двояковыпуклой формы значительной двойной кривизны.

Для центрального поперечного контура установим цилиндрическую систему координат: r, φ и “мнимая” ось вращения c-c данного контура. Такую систему можно установить отдельно для любого поперечного контура сечения поверхности оболочки, определяемого углом α : r_α , φ_α и “мнимой” осью вращения $c_\alpha - c_\alpha$ контура.

Считаем, что точка O, находящаяся на пересечении контуров сечений поверхности плоскостями симметрии F_1 и F_2, является началом координат основного базиса X_0 и Y_0.

К числу основных геометрических параметров оболочки отнесем:

• радиусы кривизны контуров сечений поверхности плоскостями симметрии F_1 и F_2 в районе

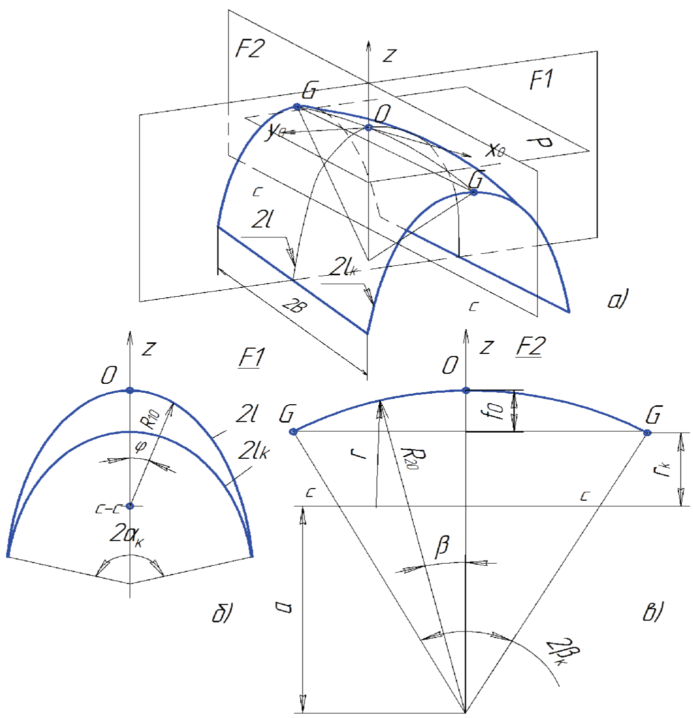


Рис. 1. Оболочка двояковыпуклой формы значительной двойной кривизны

точки O: R_{1o} (продольный) и R_{2o} (поперечный);

• длину формообразующего контура продольного сечения поверхности $2l$ плоскостью симметрии F_1;

• длина контура краевого сечения поверхности $2l_к$ плоскостью, параллельной F_1;

• прогиб центрального контура поперечного сечения поверхности f_o плоскостью симметрии F_2;

• продольный $2\alpha_к$ и поперечный $2\beta_к$ углы охвата;

• величина a, равная (R_{2o} - R_{1o}) на рисунке 1 для оболочки двояковыпуклой формы;

• ширина оболочки $2B$.

Контуры сечений поверхности оболочки плоскостями симметрии F_1 и F_2 представляют собой кривые, пересекающиеся в точке O с радиусами R_{1o} и R_{2o}. Величины, обратные радиусам:

$$k_{1o} = \frac{1}{R_{1o}};\ k_{2o} = \frac{1}{R_{2o}}, \tag{1}$$

являются главными кривизнами поверхности в точке O, обладающими свойствами экстремальности: одна из них максимальная, а другая – минимальная. При этом произведение главных кривизн:

$$K_o = k_{1o} \cdot k_{2o}, \tag{2}$$

определяет полную гауссову кривизну в точке O. Известно, что полная гауссова кривизна сохраняет свое значение при свободном разгибании с разверткой поверхности оболочки двойной кривизны из-за своей малой жесткости, приобретая изометрическую форму поверхности по отношению к поверхности обтяжного пуансона. Изометрическая форма оболочки будет иметь другие радиусы кривизны R'_{1o} и R'_{2o}, меняя местами значения максимальной и минимальной величины и оставляя их произведение постоянной величиной.

Тогда геометрическая форма оболочки двойной кривизны локально характеризуется в точке O знаком гауссовой кривизны: эллиптическая (двояковыпуклая форма с положительной гауссовой кривизной $K_o > 0$) и гиперболическая (выпукло-вогнутая форма с отрицательной гауссовой кривизной $K_o < 0$). Направления касательных к контурам сечений поверхности оболочки плоскостями симметрии F_1 и F_2 в точке O определяют главные оси поверхности X_0 и Y_0.

В системе координат основного базиса $\{x_0, y_0, z_0\}$ поверхность оболочки в окрестности точки O можно представить в виде функции:

$$z_o = \frac{1}{2} \cdot \left(k_{1o} \cdot x_o^2 + k_{2o} \cdot y_o^2\right). \tag{3}$$

Явная форма задания поверхности в виде (3) используется для нахождения характеристик геометрической формы оболочки. Подобно тому, как в бесконечной близости к точке кривой близка некоторая окружность, так и к поверхности оболочки в окрестности точки O близка некоторая квадратичная поверхность (3).

Поэтому здесь правомерно ставить вопрос о разработке специализированного метода параметрического представления поверхности оболочки двойной кривизны, которая может быть оформлена в виде теоретического чертежа с указанием законов образования в определенной системе координат, например, в системе координат основного базиса X_0 и Y_0. Перенос данных между этой системой и системой координат, принятой для увязки элементов конструкции агрегатов самолета можно осуществить через унифицированный формат в межкомпьютерных обменах. Строятся изометрические линии новой сетки минимальной и максимальной кривизн (сетки гауссовой кривизны) с определением локальной формы поверхности в ее “полюсе”.

В результате создаются условия геометрической увязки сопрягаемых поверхностей обводообразующих оболочек и обтяжных пуансонов по принципу симметрии, определяемому плоскостями симметрии F_1 и F_2. Тогда под математической моделью поверхности оболочек будем понимать совокупность алгоритмов и числовых данных, необходимых и достаточных для однозначного определения дифференциально-геометрических параметров характерных сечений и точек поверхности анализируемой оболочки.

В связи с необходимостью решения новых геометрических задач выгодно разработать “настоящую” трехмерную аналитическую модель поверхности. Выше отмечено, что комбинация главных кривизн в точке O характеризует локальную форму поверхности и форму соприкасающейся квадратичной поверхности в целом.

Зададим квадратичную поверхность в окрестности точки O с учетом того, что точка является эллиптической или гиперболической в трехмерном эвклидовом пространстве XYZ, оси которого совмещены с осями основного базиса X_0 и Y_0. Тогда контуры поверхности оболочки, например кривая S в общем виде имеет вид кубической параметрической кривой (рис. 1):

$$\boldsymbol{r}(u) = \boldsymbol{a_0} + \boldsymbol{a_1}u + \boldsymbol{a_2}u^2 + \boldsymbol{a_3}u^3, \tag{4}$$

где u – параметр равный $u = \frac{S}{\Delta S}$ (S – длина участка от узла i до промежуточной точки на сегменте кривой, ΔS – длина участка кривой), а касательная к ней.

$$\dot{\boldsymbol{r}}_u = \frac{\partial \boldsymbol{r}}{\partial S} \cdot \frac{\partial S}{\partial u} = \dot{\boldsymbol{r}}_S\, \dot{\mathbf{S}}, \tag{5}$$

где $\dot{\boldsymbol{r}}_S$ – единичный вектор касательной в точке.

Тогда нормаль к кривой будет:

$$\ddot{\boldsymbol{r}}_u = \ddot{\boldsymbol{r}}_S \dot{S} + \dot{\boldsymbol{r}}_S \ddot{S} = \boldsymbol{n} k \dot{S}^2 + \boldsymbol{t} \ddot{S}, \tag{6}$$

где $\boldsymbol{n}$, $\boldsymbol{t}$ – единичные векторы нормали и касательной;

k – кривизна (всегда положительна, а направление приписывается вектору $\boldsymbol{n}$).

Для любой линии $\boldsymbol{u} = \boldsymbol{u}(p)$, лежащей на поверхности $\boldsymbol{r}(u, v)$, запишем:

$$\dot{\boldsymbol{r}} = \dot{\boldsymbol{r}}_u \dot{u}_p + \dot{\boldsymbol{r}}_v \dot{v}_p = A \cdot \dot{\boldsymbol{u}}, \tag{7}$$

$$\ddot{\boldsymbol{r}} = \ddot{\boldsymbol{r}}_u \dot{u}_p^2 + 2\ddot{\boldsymbol{r}}_{uv} \dot{u}_p \dot{v}_p + \ddot{\boldsymbol{r}}_v \dot{v}_p^2 + \dot{\boldsymbol{r}}_u \ddot{u} + \dot{\boldsymbol{r}}_v \ddot{v}, \tag{8}$$

Дифференцирование (8) ведется по параметру p, приравниваем правые части (6) и (8) и определяем компоненту вектора $\ddot{\boldsymbol{r}}$ из скалярного произведения

$$\ddot{\boldsymbol{r}} \cdot \dot{\boldsymbol{p}} = \dot{S}^2 k \boldsymbol{np} = \boldsymbol{p} \ddot{\boldsymbol{r}}_u \dot{u}_p^2 + 2\boldsymbol{p} \ddot{\boldsymbol{r}}_{uv} \dot{u}_p \dot{v}_p + \boldsymbol{p} \ddot{\boldsymbol{r}}_v \dot{v}_p^2 \tag{9}$$

в матричной форме

$$\dot{S}^2 k \boldsymbol{np} = \dot{\boldsymbol{u}}^{\mathrm{T}} Д \dot{\boldsymbol{u}}, \tag{10}$$

где

$$Д = \begin{pmatrix} \boldsymbol{n}\ddot{\boldsymbol{r}}_n & \boldsymbol{n}\ddot{\boldsymbol{r}}_{uv} \\ \boldsymbol{n}\ddot{\boldsymbol{r}}_{uv} & \boldsymbol{n}\ddot{\boldsymbol{r}}_v \end{pmatrix};$$

$$\dot{S}^2 = |\dot{\boldsymbol{r}}|^2 = \dot{\boldsymbol{u}}^{\mathrm{T}} A^{\mathrm{T}} A \dot{\boldsymbol{u}} = \dot{\boldsymbol{u}}^{\mathrm{T}} G \dot{\boldsymbol{u}}.$$

Для такой кривой вектор $\boldsymbol{n}$ параллелен нормали к поверхности, поэтому нормальная кривизна определится:

$$k_n = \frac{\dot{\boldsymbol{u}}^{\mathrm{T}} Д \dot{\boldsymbol{u}}}{\dot{\boldsymbol{u}}^{\mathrm{T}} G \dot{\boldsymbol{u}}}. \tag{11}$$

Направления, для которых k_n принимает максимальное и минимальное значения, являются главными осями поверхности в рассматриваемой точке.

Из (11) вытекает, что главные направления имеют место, когда:

$$(Д - k_n G)\dot{\boldsymbol{u}} = 0 \tag{12}$$

или

$$\begin{aligned} (d_{11} - k_n g_{11})\dot{\boldsymbol{u}} + (d_{12} - k_n g_{12})\dot{\boldsymbol{v}} = 0; \\ (d_{21} - k_n g_{21})\dot{\boldsymbol{u}} + (d_{22} - k_n g_{22})\dot{\boldsymbol{v}} = 0; \end{aligned} \tag{13}$$

где: d_{ij}, g_{ij} $(i = j = 1,2)$ – компоненты матриц $Д$ и G, исключая $\dot{\boldsymbol{u}}$ и $\dot{\boldsymbol{v}}$, получим:

$$|G| k_n^2 - (g_{11} d_{22} + d_{11} g_{22} - 2 g_{12} d_{12}) k_n + |Д| = 0. \tag{14}$$

Можно найти главные значения кривизн k_1, k_2 и гауссову кривизну K:

$$K = \frac{|Д|}{|G|}. \tag{15}$$

Для определения направлений главных осей X_0 и Y_0 в точке O рассмотрим поверхность оболочки в целом, когда она определена как однопараметрическое семейство кривых поперечных контуров, расположенных центральной точкой вдоль кривой l в нормальных плоскостях. Причем в окрестности точки O к поверхности оболочки близка квадратичная поверхность (3), которая принадлежит к поверхности эллиптического типа (рис. 1).

Процедура определения направлений X_0 и Y_0 достаточна простая и может быть реализована графическим образом. Для этого построим в касательной плоскости окружность радиуса $r(1)$ с центром в точке O и определим расстояние d точек окружности до поверхности оболочки (рис. 2*а*).

Существование двух значений d_1 и d_2, соответствующих максимуму и минимуму из множества расстояний от точек окружности в касательной плоскости до поверхности оболочки доказывается аналогично существованию главных кривизн. Поясним данное доказательство.

Пусть в плоскости P, касательной к поверхности в точке O проведена ось v из точки O с направляющими косинусами: $l = \cos\varphi$ и $m = \sin\varphi$. Значение d в нормальной плоскости проходящей через ось v, выражается формулой:

$$d_v = d_x \cdot l^2 + d_y \cdot m^2 + 2 d_{xy} \cdot l \cdot m. \tag{16}$$

Отложим вдоль оси v вектор длиной $\dfrac{1}{\sqrt{d_v}}$,

координаты его конца обозначим:

$$x = \frac{l}{\sqrt{d_x}}; y = \frac{m}{\sqrt{d_y}}. \tag{17}$$

Подставим значения (17) в (16). Разделив после этого все члены на d_v, получим уравнение центральной кривой второго порядка:

$$d_x \cdot x^2 + d_y \cdot y^2 + 2 d_{xy} \cdot x \cdot y = 1. \tag{18}$$

В главных осях уравнение (18) не содержит члена с произведением разных координат, т.е. оно будет иметь вид:

$$d_1 x_0^2 + d_2 y_0^2 = 1. \tag{19}$$

Следовательно, в главных осях X_0 и Y_0 получили уравнение эллипса (19), большая и малая оси которого совпадают с X_0 и Y_0.

Предложенный метод параметрического представления поверхности в главных осях, позволяет обеспечить условия симметричной обтяжки с помощью ЭВМ, а именно:

- обеспечить перпендикулярность плоскости, в которой лежит центральная зажимная губка обтяжного пресса, к касательной в точке схода формообразующего контура обтяжного пуансона;
- удерживать постоянно положение этого контура в вертикальной продольной плоскости симметрии F_1;
- задавать аналитически формообразующий кон-

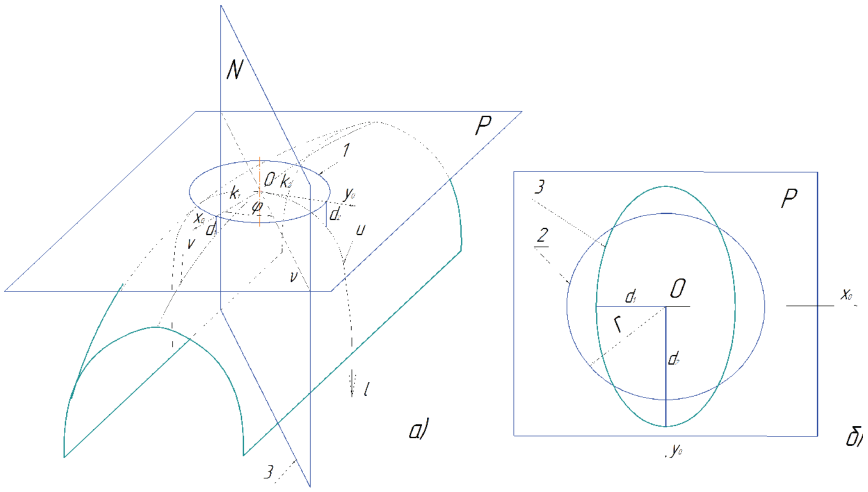


Рис. 2. Графический метод определения направлений главных осей X_0 и Y_0 поверхности эллиптического типа

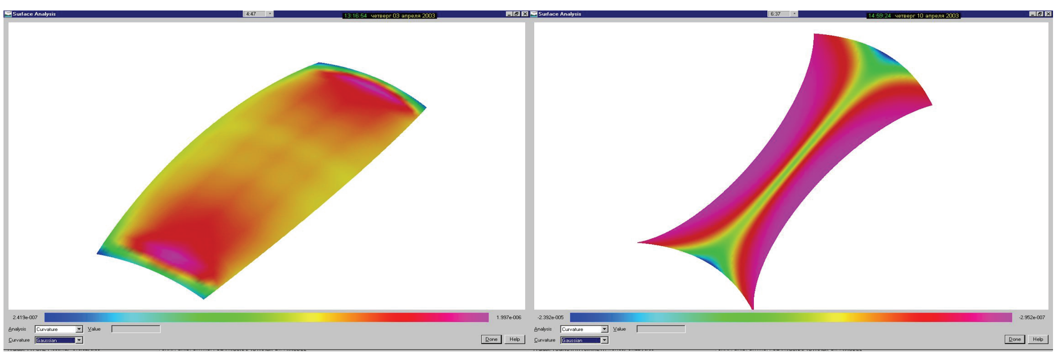
тур в виде кривой второго порядка, приведенной к стандартному виду (эллипсу, гиперболе, параболе).

При обработке геометрической информации содержательная часть сообщений относится к геометрическому моделированию поверхности оболочки при нахождении “полюса” (точка *O*), главных осей поверхности (оси X_0 и Y_0), аппроксимирующих выражений кривых формообразующих контуров обтяжного пуансона (линии l и $l_к$), значений кривизн и прогибов. Отмечается продольный или поперечный набор контуров по возможному направлению обтяжки. Находится поперечная линия кривой с максимальным прогибом точки до прямой, соединяющей первую и последнюю точки. Данная точка запоминается, как центральная точка *O*. Графическим способом определяются главные оси касательных в точке *O*. Строятся изометрические линии новой сетки минимальной и максимальной кривизн (сетки гауссовой кривизны) с определением локальной формы поверхности.

Далее для преобразования данных в графическую модель необходим интерпретатор на языке программирования CAD/CAM системы. Постпроцессор осуществляет привязку результатов в виде системных таблиц к среде конкретной CAD/CAM системы, например в формате VDA. После этого постпроцессор служит для визуализации результатов в удобной форме. Наиболее эффективным является кодирование изображений гауссовой кривизны в растровом изображении, например, центральной части поверхностей оболочек (рис. 3). Данные изображения наиболее наглядно показывают свойства поверхностей, их симметрию и нарушение их гладкости. Для работы на пульте АРМ используем растровые изображения поверхностей с положительной и отрицательной гауссовой кривизной.

Диапазон изменения гауссовой кривизны был разделен на ряд одинаковых интервалов, соответствующих достигнутому диапазону интенсивностей. Изображение закодированной гауссовой кривизны более наглядно показывают свойства поверхностей. Резко уменьшается время для анализа и преобразования поверхности в главных осях.

Разработанные изометрические условия легли в основу нового способа формообразования обтяжкой, обеспечивающего получение равнотолщинной оболочки двойной кривизны. Была исследована кинематическая схема последовательной обтяжки в условиях симметричной обтяжки, совмещающая следующие процессы: предварительная обтяжка плоской заготовки на полный угол охвата формо-



а) б)

Рис. 3. Растровые изображения центральной части поверхностей оболочек положительной (*а*) и отрицательной (*б*) гауссовой кривизны образующего контура пуансона и последующая обтяжка заготовки изометрической формы, полученной после свободного разгибания с разверткой предварительно отформованной оболочки до определенного угла по формообразующему контуру пуансона. Более подробно приведенная кинематическая схема нового способа обтяжки показана в предыдущих работах авторов [1-3].

Совмещение предварительной и последующей обтяжки рассматриваемой кинематической схемы, разъединенных разгрузкой и разгибанием с разверткой поверхности для получения изометрической формы оболочки для последующей обтяжки, обеспечивает возможность управления кинетикой “встречного” развития по ширине заготовки границ очага деформации в этих процессах и получение равномерного утонения оболочки двойной кривизны.

Кинематическая схема последовательной обтяжки реализуется на прессе, оснащенном системой автоматизации, например на прессе типа FEKD, за счет синхронного движения левого и правого балансиров с зажимами и стола пресса с установленным на нем обтяжным пуансоном. Положение пуансона определено на столе обтяжного пресса, обеспечивающее установку листовой заготовки в зажимы балансиров пресса в условиях совмещения направления обтяжки и одной из осей анизотропии листовой заготовки в вертикальной плоскости симметрии F_1, которая определяет продольный формообразующий контур поверхности оболочки, проходящий через точку O.

Создана расчетная модель обтяжки направленного изменения толщины листовой заготовки при формообразовании оболочки минимальной разнотолщинности, что позволяет увеличить степень формоизменения, практически за один переход при минимальной вероятности обрыва листовой заготовки на одном из свободных ее участков между краем пуансона и зажимами пресса [2, 3]. Кроме того, расчетная модель при оптимизации кинематической схемы последовательной обтяжки базируется на изометрических условиях, связанной определенной степенью вероятности приближения расчетной толщины в характерных точках поверхности оболочки заданной на обшивке в конструкции ЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование процессов формообразования обтяжкой оболочек двойной кривизны / *В.А. Михеев, А.Ф. Гречникова, А.А. Кузина* // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. т. 13. №4 (42). С. 217-224.
2. Моделирование последовательной схемы формообразования обтяжкой обводообразующих оболочек двойной кривизны минимальной разнотолщинности / *В.А. Михеев, Ю.С. Клочков, А.А. Кузина, А.Ф. Гречникова, Д.В. Савин* // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. № 6-1. С. 260-267.
3. Выбор кинематической схемы формообразования обтяжкой обводообразующих оболочек сложной пространственной формы / *В.А. Михеев, Ю.С. Клочков, А.А. Кузина, А.Ф. Гречникова, Д.В. Савин* // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. № 6-1. С. 253-260.
4. *МихеевВ.А., Щуровский Д.В.* Аналитическое представление поверхности оболочковой детали в векторном пространстве для расчета технологических параметров процесса обтяжки // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2006. №1 (19). С. 14-21.
5. *Филин А.П.* Элементы теории оболочек. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ние, 1987. 384 с.

ISOMETRIC CONDITIONS IN SHAPING OF SHELLS STRETCH FORMING OF DOUBLE CURVATURE MINIMUM POLYTHICKNESS

© 2013 V.A. Miheev[1], S.G. Dementyev[2], V.P. Samohvalov[1], D.V. Savin[1], S.S. Surudin[1]

[1] Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)
[2] "Aviastar-SP", Ulyanovsk

First legitimately raised the question of the development of a specialized method of parametric representation of the surface shell of double curvature, which can be issued in the form of a theoretical drawing showing the laws of education in a particular coordinate system, for example, in the coordinate system of the main base of isometric coordinates. Transferring data between this system and the coordinate system adopted for the linkage of the product design can be achieved through a unified format to-computer exchange. The calculation method for shaping of shell stretch forming minimum polythickness is based on the optimization of the kinematic scheme consistent stitched associated with the approach of a certain degree of probability calculated thickness at characteristic points of the surface of the shell specified in the aircraft structure.

Key words: shells double-convex, theoretical drawing, isometric coordinates, shaping stretch forming.

Vladimir Miheev, Doctor of Technics, Professor:
E-mail: vamicheev@rambler.ru
Sergey Dementyev, General Manager. E-mail: d002a@aviastar-sp.ru
Vladimir Samohvalov, Doctor of Technics, Professor:
E-mail: Volovik.Lud.@yandex.ru
Dmitriy Savin, Engineer. E-mail: newchex2n@mail.ru
Sergey Surudin, Engineer, Graduate Student.
E-mail: innosam63@gmail.com