

УДК 669.715

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБТЯЖКИ ОБОЛОЧЕК ДВОЯКОВЫПУКЛОЙ ФОРМЫ НА ОБТЯЖНОМ ПРЕССЕ FEKD

© 2014 В.А. Михеев¹, Ф.В. Гречников¹, С.Г. Дементьев²,
В.П. Самохвалов¹, Д.В. Савин¹, С.В. Сурудин¹

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)

²ЗАО “Авиастар – СП”, г. Ульяновск

Поступила в редакцию 14.11.2013

Рассматриваемая кинематическая схема выявила новый способ формообразования обтяжкой. В новом способе выполняются последовательно два этапа формообразования на одном и том же обтяжном пулансоне и на одном и том же прессе с программным управлением типа FEKD при установке зажимов пресса для обтяжки прямолинейной листовой заготовки. Такая последовательность формообразующих операций, разделенных разгрузкой и разгибанием с разверткой поверхности оболочки относительно поверхности обтяжного пулансона, приводит к получению равномерного утонения стенки детали. Кинематическая схема последовательной обтяжки реализуется на прессе, оснащенном системой автоматизации на прессе типа FEKD за счет синхронного движения левого и правого балансиров с зажимами и стола пресса с установленным на нем обтяжным пулансоном.

Ключевые слова: способ формообразования обтяжкой, пресс программного управления, кинематическая схема.

Наиболее распространенными из зарубежных обтяжных прессов на предприятиях нашей страны являются прессы FEKD, имеющие числовое программное управление ЧПУ по четырём координатам [1]. Программируемыми координатами на прессах FEKD являются: 1 - вертикальное перемещение стола пресса; 2, 3 – выдвижение штоков гидроцилиндров, соответственно левого и правого балансиров пресса с зажимами; 4 – наклон стола пресса в вертикальной плоскости.

Данные прессы предназначены для формообразования деталей обшивок одинарной и двойной кривизны со значительными продольными углами облегания обеих сторон обтяжного пулансона около 180°. Предложенная кинематическая схема процесса обтяжки на этих прессах осуществляется в следующей последовательности. Заготовка предварительно растягивается и обертывается вокруг обтяжного пулансона, а затем подвергается дополнительному растяжению с целью вывода всех ее элементов за предел текучести.

Михеев Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор. E-mail:vamicheev@rambler.ru

Гречников Федор Васильевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор. E-mail:gretch@ssau.ru

Дементьев Сергей Геннадьевич, генеральный директор. E-mail: d002a@aciastar-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

Схема пресса FEKD, с помощью которого реализуются названные операции, приведена на рисунке 1, где показаны: каретки пресса, которые могут перемещаться по направляющим станины с помощью приводных винтовых пар 2; поворотная плита 3, на которой шарнирно закреплены “балансир” с зажимными устройствами 4 и цилиндр поворота балансира 5; рабочий стол 6 с двумя цилиндрами привода 7; обтяжной пулансон 8 и обтягиваемая листовая заготовка 9.

Аналитический метод построения управляющих программ основывается на результатах теоретической аппроксимации продольного формообразующего контура обтяжного пулансона, кривых перемещения краев листовой заготовки относительно формообразующего контура и на результатах расчета оптимальных технологических режимов, например, с использованием математической модели процесса формообразования обтяжкой оболочки двояковыпуклой формы. Последующий синтез результатов этих расчетов позволит получить оптимальную управляющую программу для ЧПУ пресса.

Первоначальным этапом в расчете движений исполнительных органов пресса FEKD является определение исходных данных элементов пресса FEKD, для которых будет произведен расчет, а именно перемещения балансиров с зажимами и стола пресса с обтяжным пулансоном. Так как обтяжной пулансон является прототипом детали, то геометрические параметры оболочки можно рассматривать так же как размеры пулансона (рис. 2).

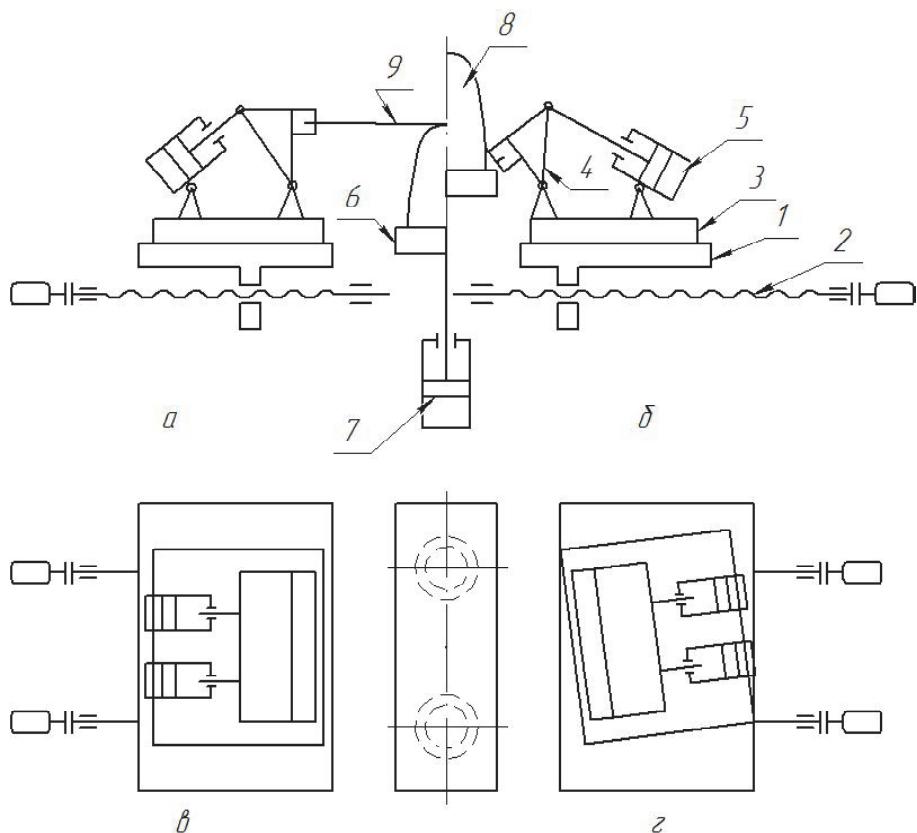


Рис. 1. Различные положения элементов пресса FEKD:

а – исходное положение нижнего стола и балансира (листовая заготовка натянута и касается верхнего гребня пuhanсона в районе “полюса”); б – конечное положение нижнего стола и балансира (конец процесса обтяжки); в – установка зажимов при обтяжке деталей из прямоугольных заготовок; г – установка зажимов при обтяжке конических деталей

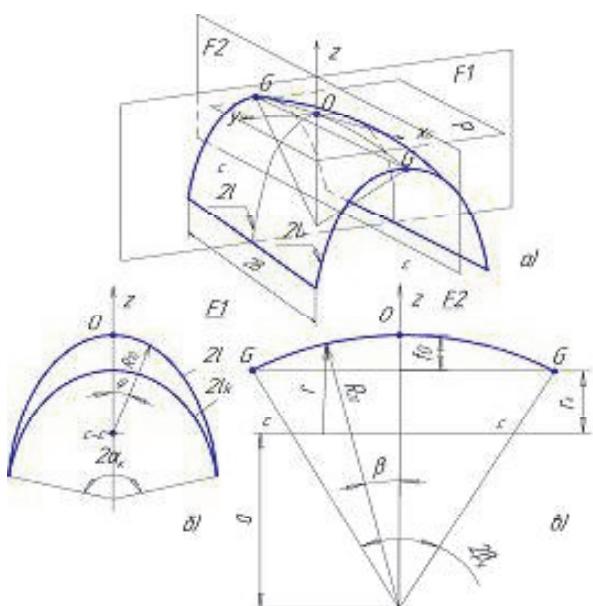


Рис. 2. Оболочка двойной кривизны двояковыпуклой формы

При этом радиусы главных кривизн линий контуров, пересекающихся в “полюсе” поверхности оболочки (точка O) соответственно равны: продольный по формообразующему контуру $R_{1_0} = 766$ мм, а поперечный по второй кривизне $R_{2_0} = 9187,6$ мм

мм. Прогиб поперечного контура оболочки в точке O равен $f(O) = 71$ мм. Длина формообразующего контура обтягиваемого пuhanсона равна 2616 мм, а ширина листовой заготовки равна 2280 мм.

Геометрические параметры балансира и стола пресса FEKD в исходном положении показаны на рис. 3, а именно: начальное положение штока гидроцилиндра поворота балансира S_0 , осей от центра вращения балансира до соответствующих элементов (центры радиусов закругления верхней губки и “ключев” S_1 и S_2 , центры головки штока и поворота гидроцилиндра S_3 и S_4 , упора для заправки листа в зажим S_5 , от оси S_5 до радиуса закругления губок), а также угловые параметры соответствующих расстояний S_3 и S_4 от горизонтали, проходящей через центр вращения балансира F_{10} и F_{20} .

Геометрические параметры балансира и стола пресса FEKD в текущем положении показаны на рис. 4, где изменяют значение положение S_0 , оси S_3 и S_4 и углы F_{10} и F_{20} на F_1 и F_2 . Были получены необходимые кинематические соотношения между геометрическими параметрами балансира и стола пресса для трех положений листовой заготовки: лист лежит на нижней губке, листгибаются верхнюю губку и лист касается и

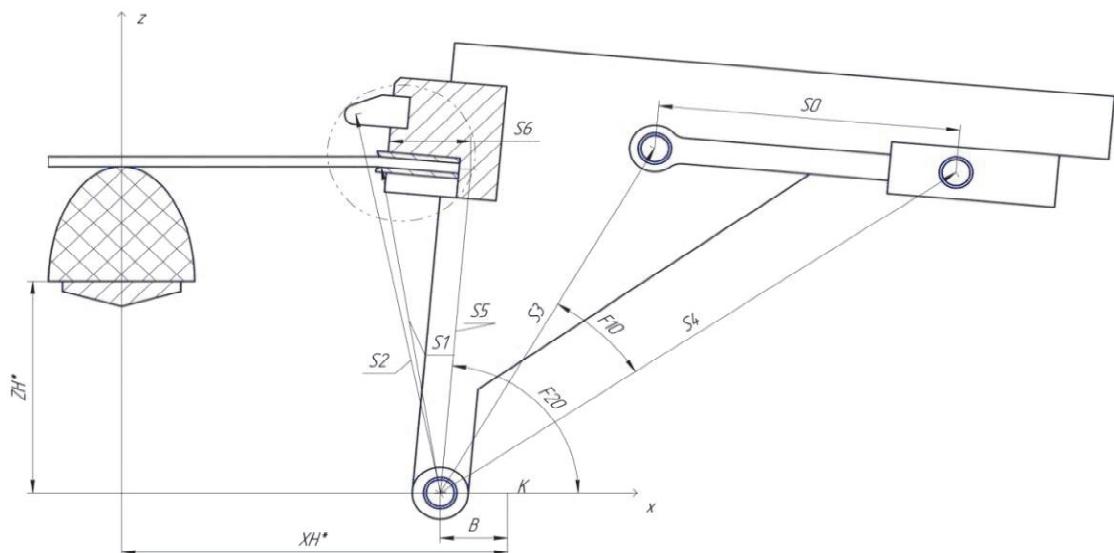


Рис. 3. Геометрические параметры балансира пресса FEKD
(исходное положение стола и балансира пресса)

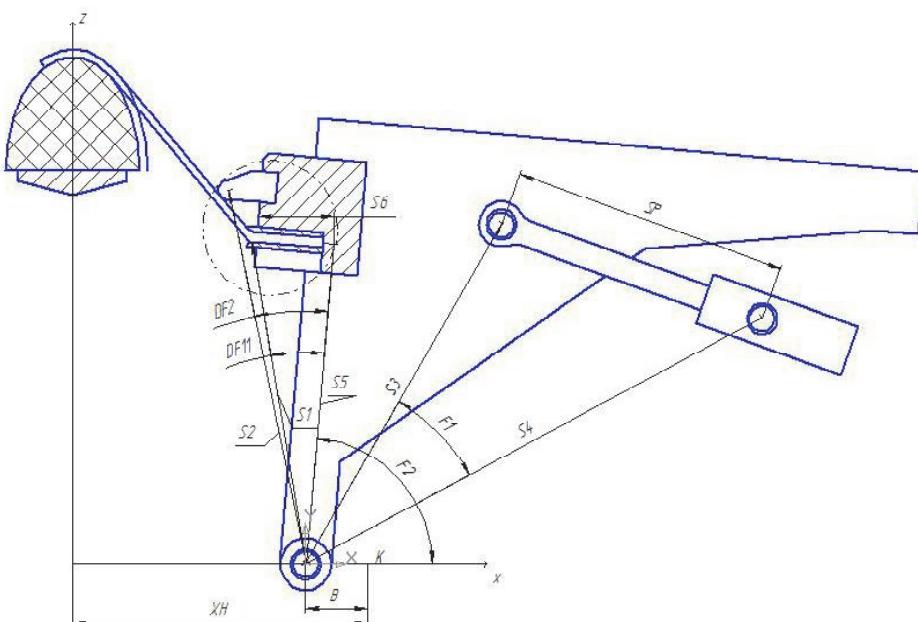


Рис. 4. Геометрические параметры балансира пресса FEKD
(текущее положение стола и балансира пресса в процессе обвертки обтяжного пuhanсона)

огибает “клюв” балансира. Данные соотношения приведены в [2], а для удобства и ускорения расчетов используем электронные таблицы Microsoft Excel (рис. 5). Расчеты были выполнены для пресса FEKD 550-1100 с длиной зажимных губок 3000 мм.

Наиболее важными из всех расчетных данных для начала процесса обтяжки являются исходная высота подъема стола ZH^* и начальная позиция каретки балансира XH^* при горизонтальном положении листовой заготовки после заправки ее в зажимы пресса и растяжении порядка 0,5% (см. рис. 3).

После определения начального положения балансира и стола пресса FEKD можно переходить к непосредственному расчету величин пе-

ремещений рабочих органов пресса в процессе обтяжки листовой заготовки по разрабатываемой кинематической схеме, которая предполагает определенную последовательность операций обтяжки, разделенных разгрузкой и разгибанием с разверткой тонколистовой оболочки. Первональным этапом в моделировании кинематической схемы последовательной обтяжки является подготовка геометрических моделей элементов, участвующих в процессе: заготовки, оболочки, обтяжного пuhanсона, а также основных элементов пресса FEKD, которые имеют непосредственное отношение к формируемой заготовке. Построение и сборка геометрических 3D моделей пресса FEKD и различное положение его элементов выполнялось в Solid Works.

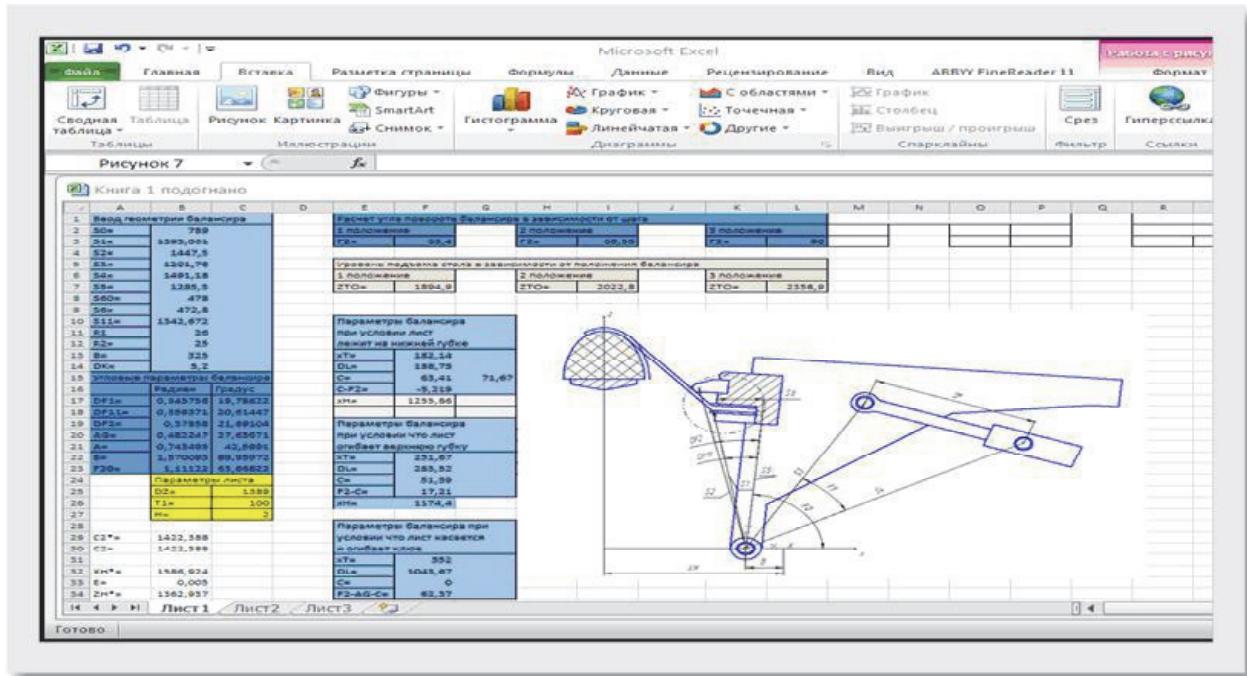


Рис. 5. Вид оконек автоматизированного расчета Excel величины перемещений рабочих органов пресса FEKD

В предполагаемой кинематической схеме последовательной обтяжки выполняются друг за другом два этапа формообразования на одном и том же обтяжном пuhanсоне и на одном и том же прессе с программным управлением типа FEKD при установке зажимов пресса для обтяжки прямолинейной листовой заготовки:

Одним из основных требований, предъявляемых к этому способу, является разделное и последовательное осуществление этапов формообразования, разделенных разгрузкой без освобождения детали из зажимов пресса.

На рисунке 6 представлен первый этап формообразования - схема предварительной обтяжки после обвертки плоской листовой заготовки обтяжного пuhanсона по формообразующему контуру на полный угол охвата α_k равным 90° . На первом этапе листовая заготовка 1 закрепляется в неподвижных прямолинейных зажимных устройствах 4 и изгибаются на полный угол охвата α_k обтяжного пuhanсона 2 за счет синхронизации движений балансиров и стола пресса типа FEKD (рис. 6а). Затем выполняется обтяжка за счет подъема стола пресса 3 при неподвижных балансирах для получения геометрической формы участка оболочки в районе центрального поперечного сечения, проходящем через "полюс" детали в окрестности точки А, но желательно без избыточного деформирования плоского участка схода листовой заготовки с обтяжного пuhanсона (рис. 6б). На рис. 6в и 6г показаны два вида: штриховой линией – изгибание листовой заготовки с охватом обтяжного пuhanсона; сплошной линией – окончание предварительной обтяжки.

Избыточное деформирование при простой обтяжке деталей оболочек значительной двойной кривизны двояковыпуклой формы связано с тем, что формообразование в различных сечениях под углом b заканчивается не одновременно. При этом процесс формообразования в сечениях ближе к "полюсу" детали сопровождается избыточным деформированием плоского участка схода листовой заготовки с обтяжного пuhanсона согласно формуле:

$$e_u = (e_0 - e_n) \exp(f\alpha_k/n), \quad (1)$$

где e_u – деформация на стадии избыточного деформирования плоского участка схода листовой заготовки с обтяжного пuhanсона под углом b_k после получения двояковыпуклой формы в районе "полюса", соответствующей полному прогибу центрального поперечного сечения детали оболочки;

e_0 – деформация после формообразования двояковыпуклой формы в районе "полюса" детали, соответствующей полному прогибу центрального поперечного сечения детали оболочки;

e_n – деформация на стадии нестационарного формообразования двояковыпуклой формы в районе "полюса" детали, соответствующей неполному прогибу центрального поперечного сечения, до момента избыточного деформирования плоского участка схода листовой заготовки с обтяжного пuhanсона;

f – коэффициент внешнего трения;

n – константа упрочнения материала листовой заготовки.

Это вполне достижимо на стадии нестационарного деформирования, несмотря на влияние

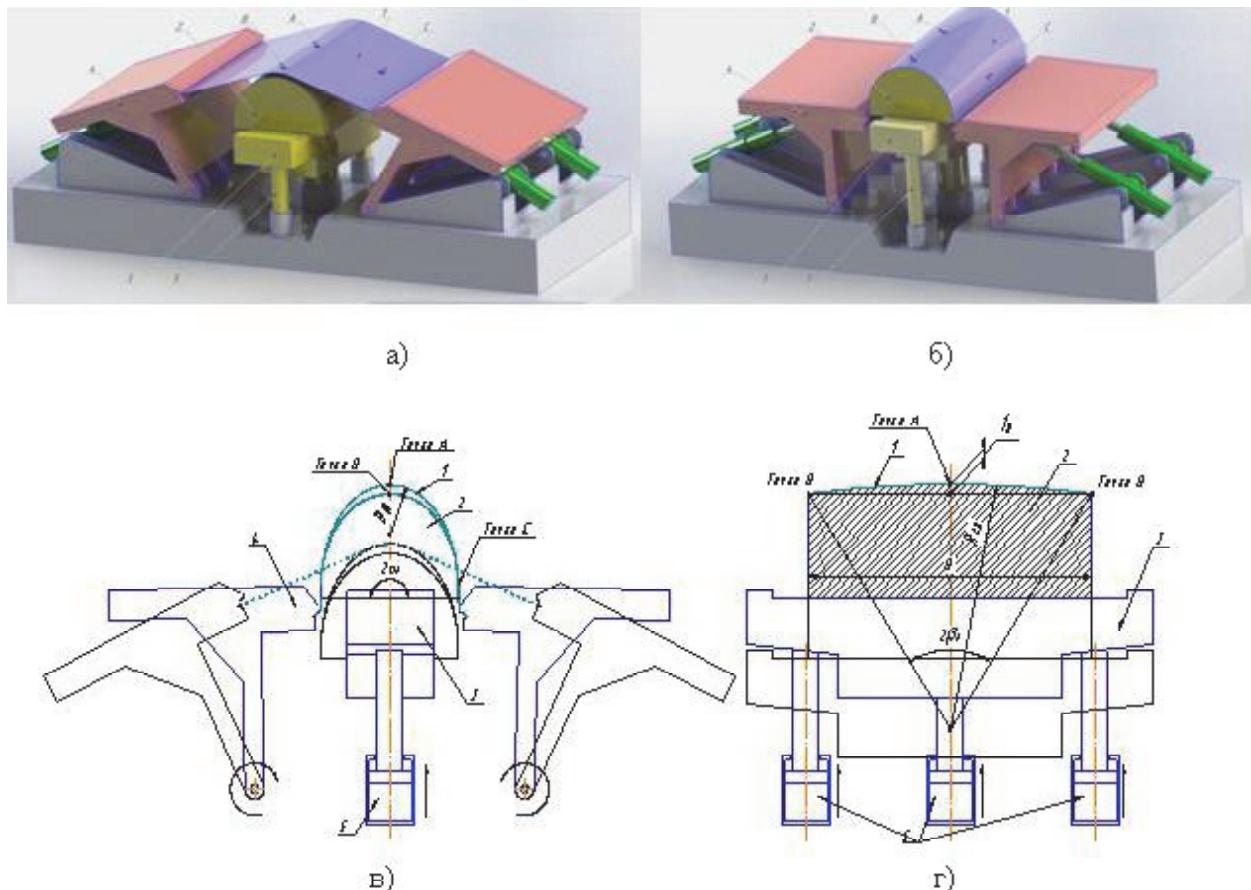


Рис. 6. Схема предварительной обтяжки после обвертки плоской листовой заготовки обтяжного пуансона по формообразующему контуру на полный угол охвата α_k равным 90°

внешнего трения при обтяжке тонколистовой оболочки значительной двойной кривизны двояковыпуклой формы. Для оболочки значительной двойной кривизны двояковыпуклой формы при наличии плоского участка схода листовой заготовки с обтяжного пуансона и пресса типа FEKD, имеющего прямолинейный ряд зажимных устройств согласно формуле (1) вероятнее всего избыточная деформация e_u участка схода листовой заготовки с обтяжного пуансона в окрестности точки С несколько меньше или больше деформации формообразования e_o оболочки двояковыпуклой формы в районе “полюса” детали.

Для обеспечения предварительной обтяжки на полный угол α_k равный 90° зажимы балансиров 4 пресса сближаются по программе к столу 3 пресса без растяжения листовой заготовки, которая деформируется при подъёме стола З пресса за счёт гидроцилиндров 5. Полученная двояковыпуклая форма детали оболочки соответствует продольному и поперечному радиусам R_{10} и R_{20} главных кривизн линий контуров, проходящих через “полюс” в окрестности точки А и связанных соотношением через гауссову кривизну K_o :

$$R_{20} = \frac{K_o}{R_{10}}, \quad (2)$$

где K_o полностью определяется коэффициентами первой квадратичной формы поверхности второго порядка, а коэффициенты первой квадратичной формы поверхности определяет ее внутреннюю геометрию, т.е. при переходе от некоторой поверхности к другой поверхности путем только изгибаания детали оболочки, при которой длины нанесенных на нее линий сохраняются, коэффициенты первой квадратичной формы поверхности и, следовательно, и гауссова кривизна остаются неизменными [6].

В способе предлагается разгрузить деталь оболочки после предварительной обтяжки и, не освобождая ее из зажимов пресса, осуществить ее разгибание на угол α_p , например, равным 15° за счет синхронизации движений балансиров и стола пресса FEKD по расчетной траектории. Гауссова кривизна при разгибании поверхности в свободном состоянии сохраняет свое значение, хотя главные кривизны в “полюсе” в окрестности точки А будут меняться. Это понятие играет важную роль в теории тонких оболочек.

На рис. 7а представлено свободное разгибание с разверткой поверхности оболочки после ее разгрузки за счет синхронизации движений балансиров и стола пресса по соответствующей программе с углом α_k равным 90° на угол α_p , на-

пример, равным 15° . В результате получим, так называемую изометрическую форму поверхности оболочки по отношению к поверхности обтягиваемого пулансона с радиусами кривизны в "полюсе" в окрестности точки А соответственно R'_{1o} и R'_{2o} , связанных соотношением при постоянном значении самой гауссовой кривизны K_o :

$$R'_{2o} = \frac{1}{\kappa_o R'_{1o}}, \quad (3)$$

где, если R_{1o} при разгибании на угол α_p увеличивается до R'_{1o} , то R_{2o} , наоборот, уменьшается до R'_{2o} , а поверхность оболочки отступает от поверхности пулансона в районе центрального сечения на величину f_p , касаясь обтягиваемого пулансона только боковыми свободными участками в окрестности точки В.

На рис. 7б представлен второй этап формообразования - схема последующей обтяжки детали оболочки изометрической формы с углом разгиба α_p . На рис. 7в и 7г показаны два вида: штриховой линией – разгибание с разверткой поверхности оболочки; сплошной линией – окончание последующей обтяжки.

В результате при последующей обтяжке детали оболочки с изометрической формой поверх-

ности с углом δ_p обеспечивается растяжение боковых практически недеформируемых участков листовой заготовки, которые касаются поверхности обтягиваемого пулансона. В результате растяжения боковые свободные участки заготовки начинают прилегать к поверхности обтягиваемого пулансона. Данное растяжение сопровождается утонением этих участков, и создаются условия выравнивания толщины оболочки в поперечном направлении до момента неполного прилегания поверхности участка "полюса" оболочки к поверхности обтягиваемого пулансона.

На рис. 8а представлено свободное изгибание детали оболочки с окончательным охватом обтягиваемого пулансона после ее разгрузки до полного прилегания поверхности оболочки к поверхности обтягиваемого пулансона за счёт придания ей изначальной изометрической формы при постоянном значении самой гауссовой кривизны K_o и при обратной замене значений радиусов R_{1o} и R_{2o} главных кривизн контуров, проходящих через "полюс" в окрестности точки А за счёт синхронизации движений балансиров и стола пресса по соответствующей программе с углом α_p , примерно, равным 15° на угол α_k равным 90° с конечной фиксацией геометрической формы детали оболоч-

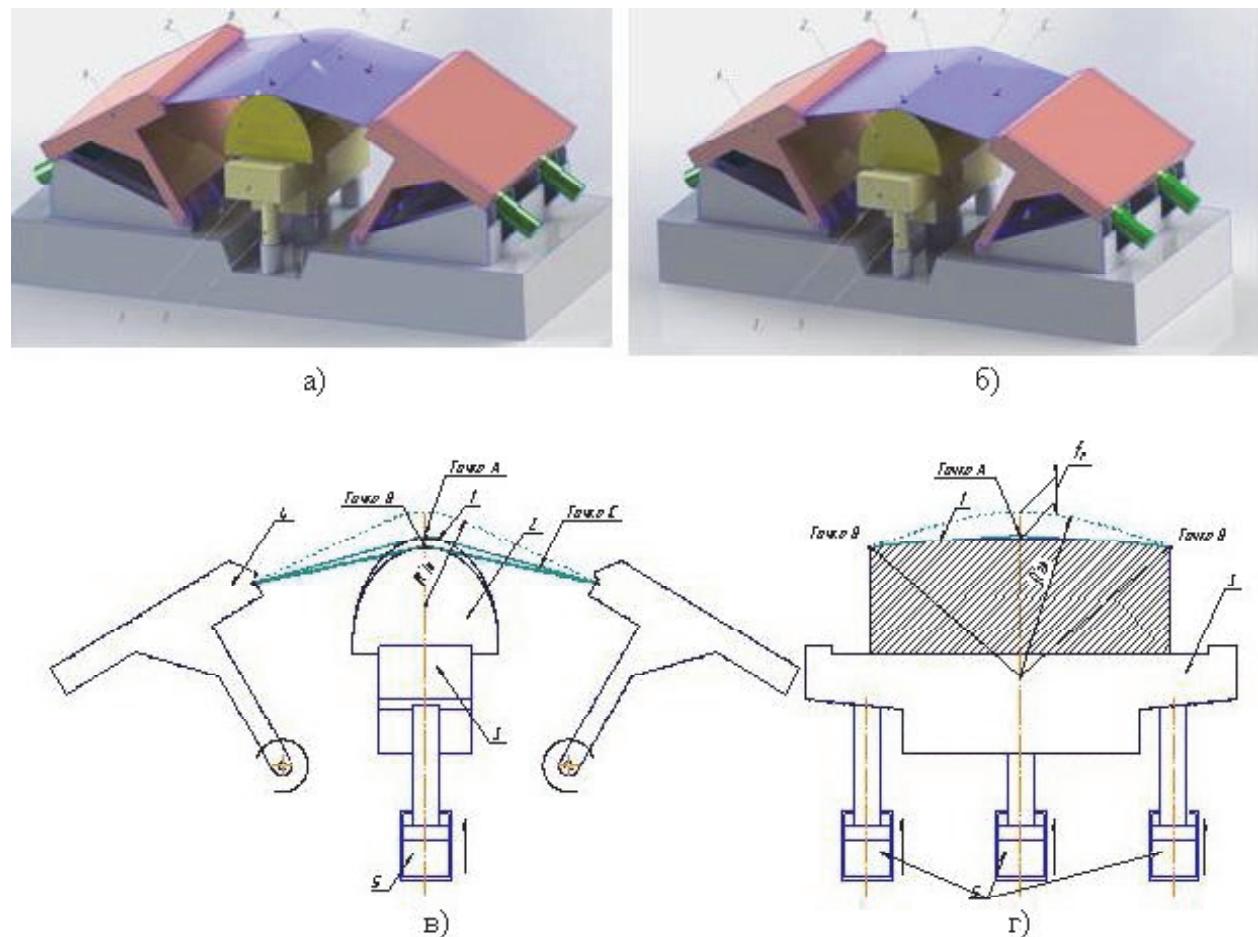


Рис. 7. Схема свободного разгибания с разверткой поверхности оболочки после ее разгрузки и последующей обтяжки детали оболочки изометрической формы с углом разгиба

ки (рисунок 8б). На рис. 8в и 8г показаны два вида: штриховой линией – повторное изгибание листовой заготовки с охватом обтяжного пuhanсона; сплошной линией – окончание формообразования при последовательной обтяжке.

При этом избыточное деформирование других участков готовой детали оболочки, постепенно прилегаемых к поверхности обтяжного пuhanсона 2 будет отсутствовать. В результате поверхность оболочки будет соответствовать поверхности обтяжного пuhanсона, соответствующей изначальной изометрической форме с гауссовой кривизной в точке А, равной произведению R_{1o} и R_{2o} без локализации растяжения на свободном участке заготовки между пuhanсоном 2 и зажимными устройствами балансиров 3 пресса.

Деформация, которая обеспечивает получение двояковыпуклой формы детали оболочки в районе “полюса”, соответствующей полному прогибу центрального поперечного сечения детали оболочки, равна:

$$e_{1o} = \ln\left(\frac{R_{1o}}{R_{1o} - f_0}\right), \quad (4)$$

где R_{1o} – продольный радиус главных кривизн линий контуров, проходящих через точку О, а f_0 –

прогиб поверхности оболочки в центральном поперечном сечении, равный $f_o = R_{2o}(1 - \cos\beta_k)$, где R_{2o} – поперечный радиус главных кривизн линий контуров, проходящих через “полюс” в окрестности точки А, а β_k – поперечный угол охвата пuhanсона при формообразовании второй кривизны.

В результате разгиба радиус R_{1o} увеличивается до значения R'_{1o} , а радиус R_{2o} , наоборот, уменьшается до значения R'_{2o} при сохранении гауссовой кривизны K_o , т.е. $R'_{01} \cdot R'_{02} = K_o$. “Полюс” оболочки 1 в окрестности точки А приподнимается над поверхностью обтяжного пuhanсона 2 на величину f_p . Эта величина определяется из формулы 5 при условии равенства значений деформаций e_o и e_A :

$$e_{1\beta_k}^{(A)} = \ln\left(\frac{R'_{1o} + f_p}{R'_{1o}}\right), \quad (5)$$

где R'_{1o} – продольный радиус кривизн линии контуров после разгиба детали, равный: $R'_{1o} = \frac{R_{2o} \cdot R_{1o}}{R'_{2o}}$, где R'_{2o} – поперечный радиус кривизн линий контуров после разгиба, рав-

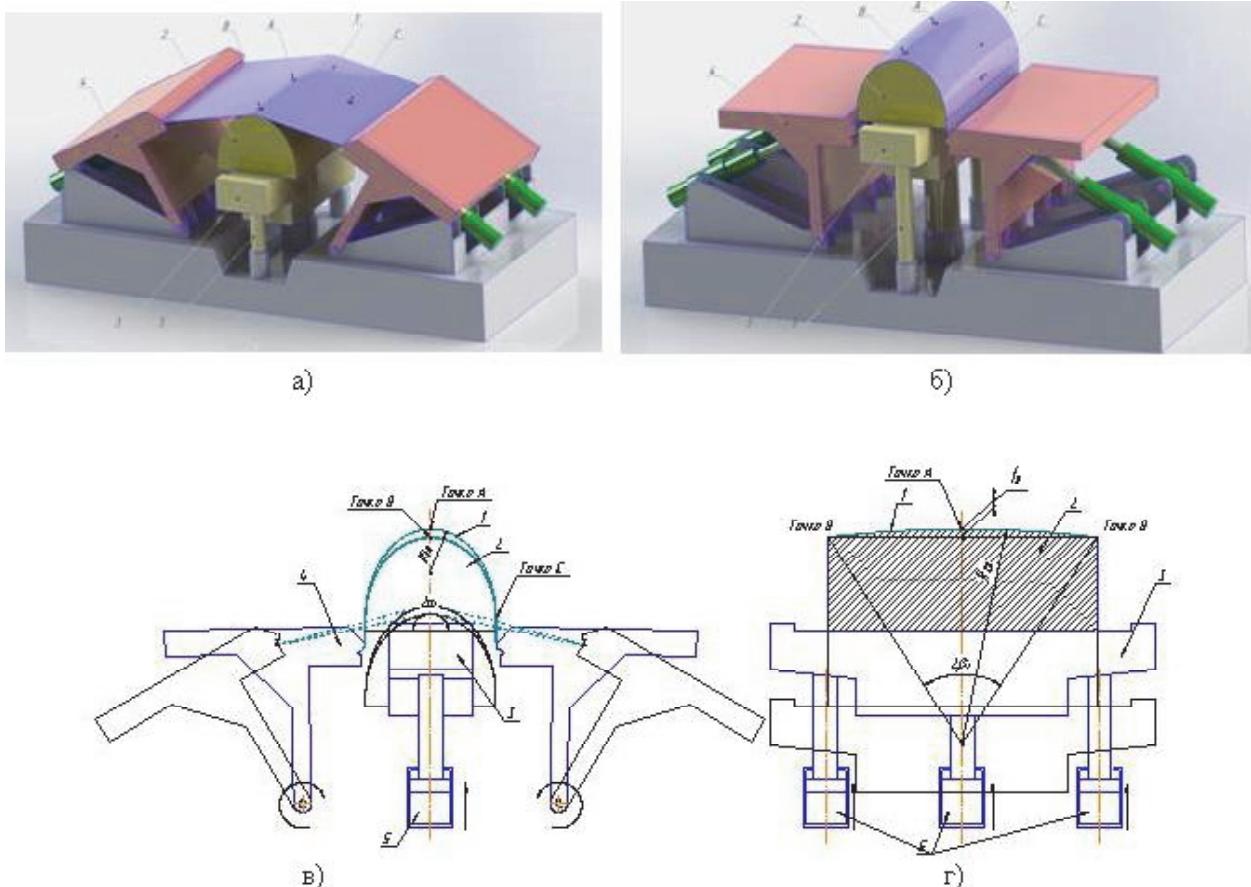


Рис. 8. Схема свободного изгиба детали оболочки с окончательным охватом обтяжного пuhanсона после ее разгрузки до полного прилегания поверхности оболочки к поверхности обтяжного пuhanсона

$$\text{ный: } R'_{2o} = \frac{B^2(R_{1o} - f_o)}{2f_o R_{1o} R_{2o}}, \text{ где } B - \text{ширина листа.}$$

На втором этапе, при последующей обтяжке, выполняется растяжение боковых свободных участков оболочки в окрестности точки В, полученной в результате разгибания с разверткой, в новом изометрическом положении по отношению к поверхности обтяжного пuhanсона, то есть под углом δ_p . При этом обеспечивается деформирование не участка в районе “полюса” оболочки в окрестности точки А, а боковых свободных участков в окрестности точки В, имеющих контакт с поверхностью обтяжного пuhanсона.

Этот процесс можно довести до равномерного деформирования всех участков поверхности детали в окрестностях точек А, В, и С, что приводит к получению детали оболочки минимальной разнотолщинности. Предложенный способ реализуется на прессе FEKD, который имеет возможность перемещать зажимы, установленные на балансирах, для обтяжки под углом α или α_p .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нefедова Т.И., Maцneв B.H. Технология и оборудование для формообразования обшивок одинарной и двойной кривизны. Реферативная подборка по материалам зарубежной печати. М.: НИАТ, 1988. 28 с.
2. Программирование процесса формообразования обшивок на прессе / B.A. Mихеев, M.I. Хасьянов, A.I. Деркачев // Куйб. Авиац. Ин-т. Куйбышев. Деп. в ЦНИИ цветмет экономики и информации 08.04.1986 г., 1986. 8 с.
3. Филип A.P. Элементы теории оболочек // 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. 384 с.
4. Mихеев B.A. Направленное изменение толщины заготовки при формообразовании обтяжкой обводообразующих оболочек двойной кривизны // Труды международной научно-техн. конф. “Проблемы и перспективы развития двигателестроения”. Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2003. С. 192-198.
5. Оптимальные деформации при формообразовании оболочек двойной кривизны обтяжкой / Ф.В. Гречников, В.А. Михеев, Д.В. Щуровский // Заготовительные производства в машиностроении. 2004. №7. С. 23-27.
6. Гондайвейзер A.L. Теория тонких оболочек. М.: Наука, 1976. 512 с.

SIMULATION OF KINEMATICS SCHEME SERIAL OF SHELLS STRETCHFORMING DOUBLE-CONVEX FORM ON STRETCHFORMING PRESS FEKD

© 2014 V.A. Miheev¹, F.V. Grechnikov¹, S.G. Dementyev², V.P. Samohvalov¹, D.V. Savin¹, S.V. Surudin¹

¹ Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

²“Aviastar-SP”, Ulyanovsk

Considered kinematic scheme identified a new method of stretchforming. In the new method are executed sequentially two stages shaping at the same stretch punch and on the same press with software control type FEKD when installing clips of the press for covering the straight-line sheet preparation. This sequence of forming operations, separated unloading and extension from scanning the surface of the shell on the surface of the stretch punch, leads to a uniform wall thinning details. Kinematic scheme consistent leather is implemented on the press, equipped with an automation system on the press type FEKD due to the simultaneous movement of the left and right balance weights with clips and press table with installed stretch punch.

Key words: shapingstretch forming, press with software control, kinematic scheme.

Vladimir Miheev, Doctor of Technics, Professor.

E-mail: vamicheev@rambler.ru

Fyodor Grechnikov, member-correspondent of RAS, Doctor of Technics, Professor; E-mail: gretch@ssau.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