

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ БОРТАМИ ДАВЛЕНИЕМ ЭЛАСТОМЕРА

© 2021 М.Н. Мантусов², В.К. Моисеев¹, А.А. Шаров¹, Е.Г. Громова¹, С.Г. Рыжаков²

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,
Самара, Россия

Ульяновский филиал конструкторское бюро имени А.Н. Туполева, Ульяновск, Россия

Статья поступила в редакцию 10.12.2020

В статье авторы представляют метод стесненного изгиба листовых деталей с криволинейными бортами эластичной средой. Приводят описание процесса стесненного изгиба и схему проведения эксперимента. Изготовление детали осуществляется за два перехода, в результате первого перехода получается деталь с утонением в радиусной части. При втором переходе, на оснастке сниженной высоты, вначале формируется волна избыточного материала в радиусной зоне, которая осаживается на контур оправки с набором толщины. Приведены этапы формоизменения полуфабриката. Проведенный эксперимент показал осуществимость стесненного изгиба криволинейных бортов, измерения толщины стенки показали, что в результате второго перехода образуется утолщение стенки детали. Проводится конечно-элементное моделирование стесненного изгиба для исследования влияния превышения борта на утолщение в зонегиба. Проведены численные исследования происходящих деформационных процессов. Приведен пример диаграммы изменения толщины детали для различных этапов деформирования в результате проведенных численных исследований. Установлена зависимость превышения высоты борта с потерей устойчивости при формообразовании. Приведены примеры дефектов - складок.

Ключевые слова: криволинейный борт, эластичная среда, стесненный изгиб, избыточный материал, толщина стенки, моделирование, диаграмма.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-1-55-59

Значительная часть листоштампованных деталей ЛА изготавливается методами гибки. До 60% деталей, задающих форму наружному контуру (нервюры, шпангоуты, диафрагмы, двери, люки, накладки, и др.) и многие детали внутреннего оборудования летательного аппарата выполнены гибкой и гибкой-формовкой из листа. Особенностью их конструкций является наличие стенок, бортов и выштамповок различной формы, повышающих жесткость и уменьшающих массу. Многие детали содержат такие конструктивные элементы как подсечки, скосы, борта имеют переменный по длине угол малки.

Перспективным направлением совершенствования технологии гибки криволинейных бортов деталей ЛА давлением эластомера является стесненный изгиб. Он успешно реализован для длинномерных деталей прокаткой в жестком

технологическом оснащении, а также для деталей небольших габаритов с прямолинейным в плане бортом, штампуемых с применением высоконагруженной эластичной среды. В настоящее время на кафедре производства ЛА Самарского университета имени С.П. Королева проводится работа по исследованию штамповки эластичной средой деталей с криволинейными бортами.

Конструктивными параметрами деталей, полученных с помощью операций гибки, являются высота борта, угол гибки и радиус гибки. Основными дефектами гнутых из листа деталей могут считаться величина отклонения угла малки борта и величина утонения стенки детали в зоне радиуса. Для исключения вышеуказанных дефектов в Самарском университете имени академика С.П. Королёва разрабатываются и исследуются различные способы штамповки-гибки эластомерами листовых деталей с приложением тангенциального сжатия к очагу деформации (стесненный изгиб). Хорошие результаты штамповки показывают схемы изготовления деталей гибкой с приложением тангенциального сжатия материала в зонегиба, что приводит к повышению точности детали и увеличению толщины материала в радиусной зоне между бортом и стенкой.

В проводимых исследованиях штамповались детали из алюминиевого сплава Д16АМ толщиной 1,5 мм, радиусгиба – 4 мм на форм-

Мантусов Михаил Николаевич, ведущий инженер-конструктор. E-mail: mnmantusov@ya.ru

Моисеев Виктор Кузьмич, доктор технических наук, профессор. E-mail: moiseevvk@mail.ru

Шаров Андрей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: aa.sharov@ssau.ru

Громова Екатерина Георгиевна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: pla.gromova@ya.ru

Рыжаков Станислав Геннадьевич, кандидат технических наук, директор – заместитель главного конструктора. E-mail: ryzhakovsg@mail.ru

блоке с криволинейными бортами в стальном контейнере путем вдавливания пластины в эластичную среду – полиуретан СКУ-7Л твердостью 86-88 единиц по Шору А (цилиндр высотой 60 мм и диаметром 100 мм).

На рисунке 1 показана разработанная схема стесненного изгиба криволинейных бортов инструментом из эластичного материала.

Согласно представленной схеме формообразование осуществляется за два перехода. На первом переходе заготовка (1) изгибается по формблоку-пуансону (3) под действием давления эластичной среды (полиуретана) (2), заключенной в контейнер (условно не показан). На втором переходе для обеспечения зазора между заготовкой и формблоком следует убрать проставку (4). Для предотвращения потери устойчивости изогнутого борта заготовки устанавливаются эластичные подпоры (5). Затем под действием полиуретана происходит окончательное

формирование детали с утолщением материала по зоне радиусагиба.

По схеме, представленной на рисунке 1, были проведены эксперименты по стесненному изгибу выпуклых криволинейных бортов полиуретаном. На рисунке 2 представлено поэтапное формоизменение заготовки при нарастании усилия пресса. Предварительное формирование заготовок для последующего стесненного изгиба производилось с постепенным увеличением давления q_k эластомера, действующего на образец. Для первого этапа формовки достаточное усилие составило 700 кН. На втором переходе вначале формируется волна избыточного материала в радиусной зоне, которая осаживается на контур оправки с набором толщины. В ходе экспериментов было выявлено, что для реализации стесненного изгиба достаточное усилие пресса составляет 800 кН, что соответствует давлению 100 МПа.

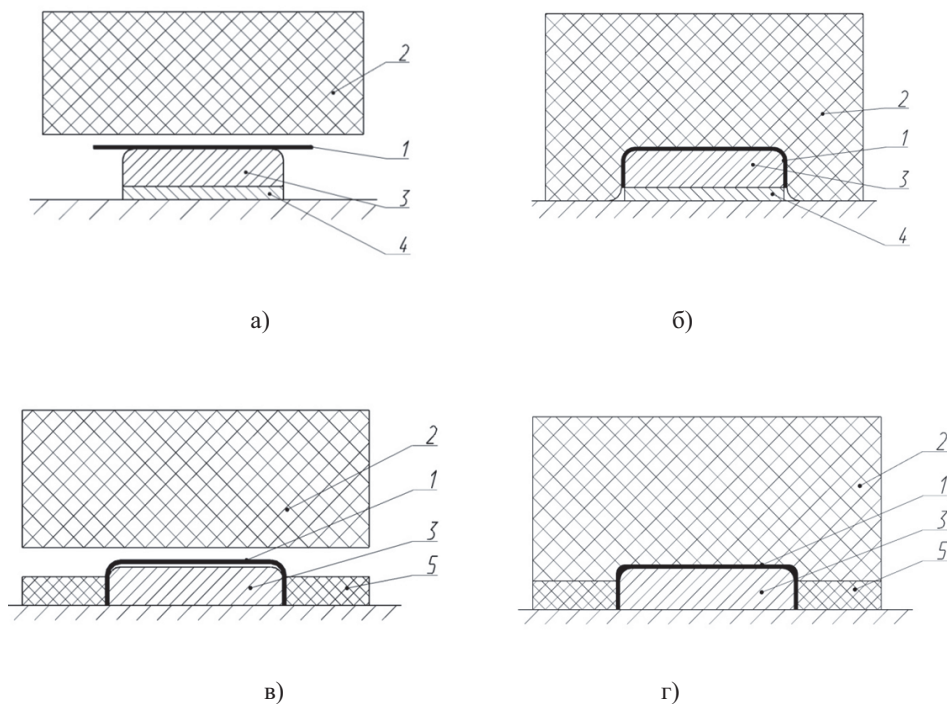
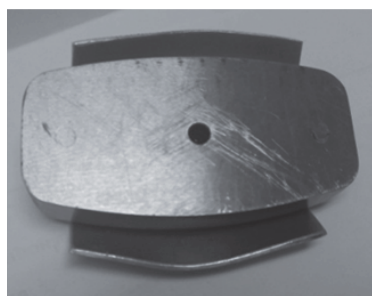
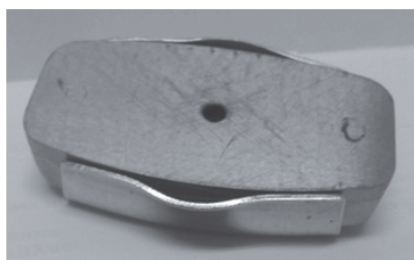


Рис. 1. Схема процесса стесненного изгиба:

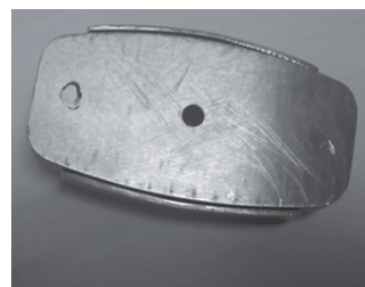
а) до деформирования; б) в конце первого перехода; в) до начала второго перехода; г) в конце второго перехода



$P_{пр}=25 \text{ кН}$, $q_k=3,2 \text{ МПа}$

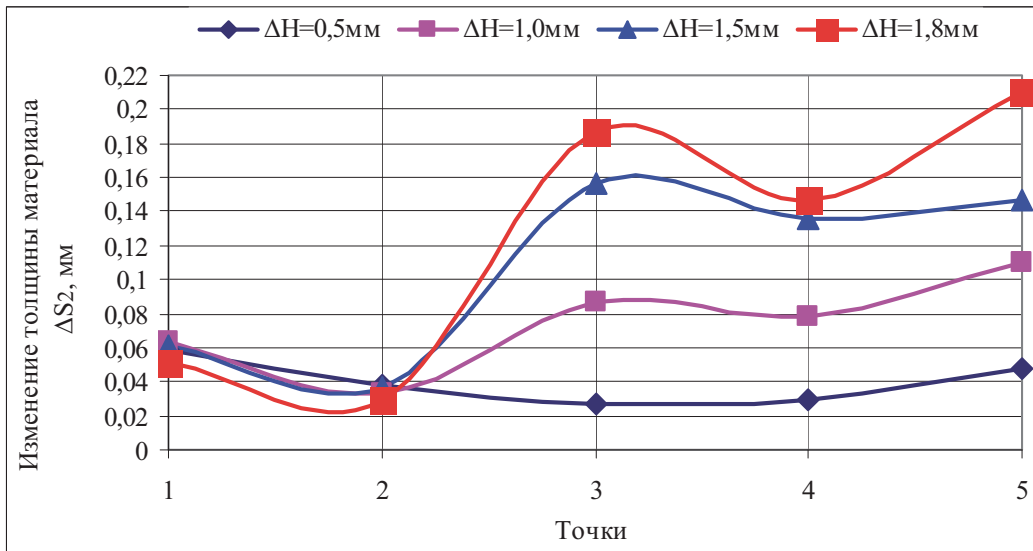


$P_{пр}=82,5 \text{ кН}$, $q_k=10,5 \text{ МПа}$

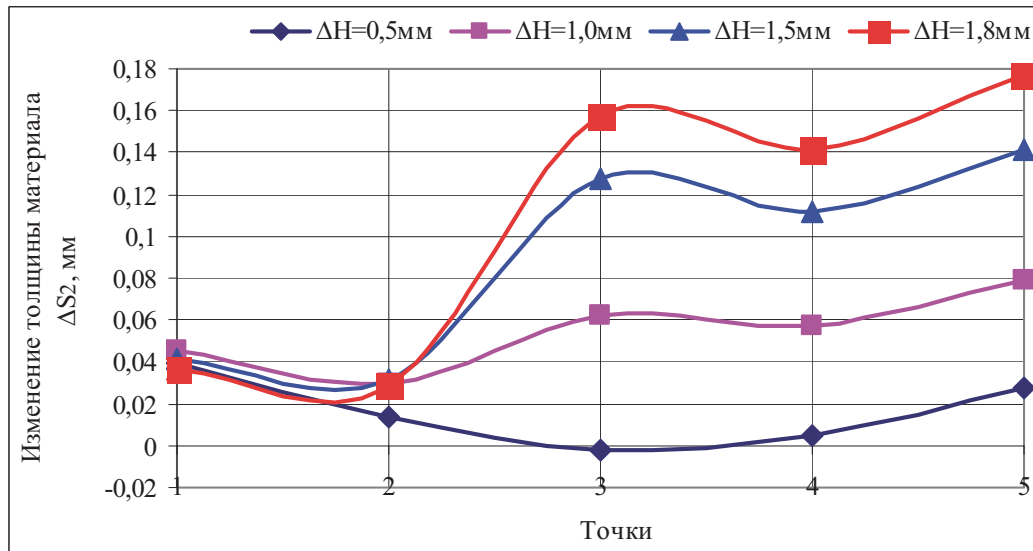


$P_{пр}=700 \text{ кН}$, $q_k=87,5 \text{ МПа}$

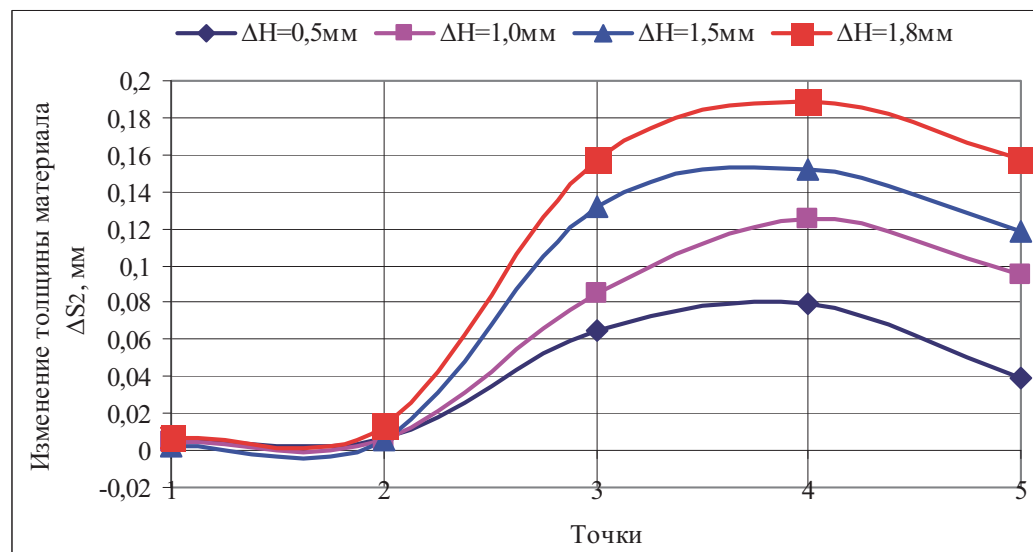
Рис. 2. Этапы формоизменения полуфабриката



а)



б)



в)

Рис. 3. Изменение толщины материала ΔS_2 в измеряемых точках, для различных значений превышения борта, при $r = 4$ мм, $S = 1,5$ мм, $R = 150$ мм для материала Д16АМ:
а) в сечении 1; б) в сечении 2; в) в сечении 3

Проведенный эксперимент показал осуществимость стесненного изгиба криволинейных бортов, измерения толщины стенки показали, что в результате второго перехода образуется утолщение стенки детали на величину до 10% относительно начальной толщины, а в прилегающих к торцу зонах наблюдается краевой эффект максимального увеличения толщины.

Помимо эксперимента, проведено конечно-элементное моделирование стесненного изгиба с применением программного комплекса «ANSYS/LS-DYNA». В частности, исследовано влияние превышения борта на утолщение в зонегиба. В результате проведенной работы создана математическая модель процесса стесненного изгиба листовой заготовки с учетом воздействия эластичной матрицы. На базе разработанной математической модели проведены численные исследования происходящих деформационных процессов с учетом контактного взаимодействия эластичного инструмента с листовой заготовкой. В результате численных исследований получены диаграммы изменения толщины детали для различных этапов деформирования, пример диаграммы представлен на рисунке 3.

Установлено, что с увеличением превышения борта наблюдается рост утолщения в зонегиба. Для материала Д16АМ наиболее равномерное распределение утолщения наблюдается при превышении борта $\Delta H = 1,5 \dots 1,8$ мм с толщиной

$S = 1,5$ мм. А при превышении высоты борта более чем на 1,8 мм возникает потеря устойчивости борта, складкообразование в радиусной зоне (рисунок 4).

При экспериментальной штамповке деталей полиуретаном были также получены бракованные детали. Если высота борта слишком велика, то борт детали теряет устойчивость и на его поверхности появляются гофры, а увеличенная волна избыточного материала превращается в неисправимую складку (рисунок 5). Такие дефекты требуют дополнительных мер по их ликвидации, потому следует не допускать завышенных припусков.

Дополнительно проводятся исследования зависимости давления необходимого для реализации процесса от радиуса кривизны борта и превышения высоты борта.

Полученные на сегодняшний день результаты являются частью разрабатываемой методики проектирования технологического процесса стесненного изгиба деталей с криволинейными бортами эластомером, обеспечивающей утолщение стенки детали при минимизации радиусагиба и уменьшение угла пружинения борта. Методика позволяет рассчитать параметры технологического процесса, определить размеры заготовки-полуфабриката. Область использования технологии охватывает листовое холодное заготовительно-штамповочное производство деталей прежде всего из цветных алюминиевых

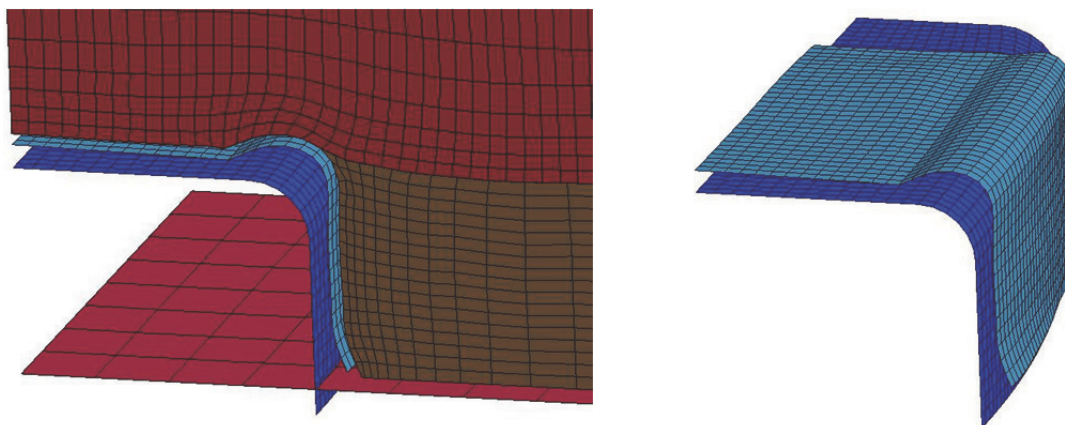


Рис. 4. Дефект (складка) при превышении высоты борта $\Delta H=2$ мм

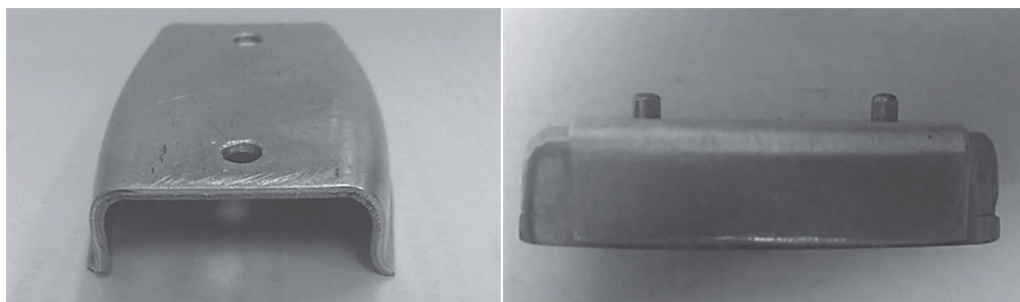


Рис. 5. Пример детали с дефектом (складка) в нижней части борта

сплавов с толщиной стенки до 3 мм, габаритами до 500 мм и более в зависимости от имеющегося оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаров А.А. Совершенствование технологии изготовления листовых деталей летательных аппаратов гибкой эластомерам: дисс. ... канд. техн. наук. Самара, 2011. 147 с.
2. Стеснённый изгиб эластичной средой криволинейных бортов листовых деталей / В. А. Барвинок, А. Д. Комаров, В. Г. Кулаков, В. К. Моисеев, А. А. Шаров // Вестник СГАУ.- 2012.- № 1(32). - С.77-86.
3. Стеснённый изгиб в холодной листовой штамповке эластомером / В. Г. Кулаков, В. К. Моисеев, А. А. Шаров, О. В. Ломовской, А. Н. Плотников // Известия Самарского научного центра РАН.- 2013. Т.15.- № 6(4). - С.855-860.
4. Штамповка листовых деталей с криволинейными бортами эластичным материалом / М.Н. Мантусов, В.К. Моисеев, А.А. Шаров, Е.Г. Громова, С.Г. Рыжаков // Известия Самарского научного центра РАН.- 2018. Т. 20. № 4(3). - С.332-336.

FORMING OF SHEET DETAILS WITH CURVILINEAR SIDES WITH ELASTOMER PRESSURE

© 2021 M.N. Mantusov², V.K. Moiseev¹, A.A. Sharov¹, E.G. Gromova¹, S.G. Ryzhakov²

¹ Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

² Ulyanovsk Affiliate of Tupolev Design Bureau, Ulyanovsk, Russia

In the article, the authors present a method of constrained bending of sheet parts with curvilinear sides by the elastic media. They describe the process of constrained bending and the scheme of the experiment. After the first transition, a part with thinning in the radius and high side springing is obtained. The second transition, on a low-height rigging, a wave of excess material is first formed in the radius zone, which settles on the contour of the mandrel with a set of thickness. The stages of forming a semi-finished product are given. The experiment showed the feasibility of constrained bending of curved sides, wall thickness measurements showed that the second transition results in a thickening of the part wall. Finite element modeling of a constrained bend is performed to study the effect of excess of the Board on the thickening in the bending zone. Numerical studies of deformation processes have been carried out. An example of a diagram of the part thickness change for various deformation stages as a result of numerical studies is given. Dependence of part height exceeding with loss of stability during shaping is established. Examples of defects - folds are given.

Keywords: curvilinear side, elastic media, constrained bend, excess material, wall thickness, modeling, diagram.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-1-55-59

Mikhail Mantusov, Lead Design Engineer.

E-mail: mnmantusov@ya.ru

Viktor Moiseev, Doctor of Technical Science, Professor.

E-mail: moiseevvk@mail.ru

Andrey Sharov, PhD of Technical Science, Associate Professor.

E-mail: aa.sharov@ssau.ru

Ekaterina Gromova, PhD of Technical Science, Associate

Professor. E-mail: pla.gromova@ya.ru

Stanislav Ryzhakov, PhD of Technical Science, Director.

E-mail: ryzhakovsg@mail.ru