

## СТЕСНЁННЫЙ ИЗГИБ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ КРИВОЛИНЕЙНЫХ БОРТОВ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

© 2012 В. А. Барвинок, А. Д. Комаров, В. Г. Кулаков,  
В. К. Моисеев, А. А. Шаров

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

Приведены сведения о разработках и исследованиях процесса стеснённого изгиба прямолинейных и криволинейных в плане бортов листовых деталей эластичной средой. Дано описание технических решений, защищённых патентами и свидетельством на изобретения Российской Федерации. Рассмотрено определение рабочего давления эластомера для реализации стеснённого изгиба криволинейных бортов полиуретаном в контейнере с замкнутым объёмом.

*Стеснённый изгиб, эластомер, листовая заготовка, давление, полиуретан, контейнер, прямолинейный борт, криволинейный борт, пружинение.*

Большую номенклатуру деталей каркасов самолётов, вертолётов и других летательных аппаратов изготавливают из листового материала штамповкой и гибкой эластичной средой — полиуретаном. Эти детали имеют прямолинейные или криволинейные борта обычно выпуклой формы в плане, которые служат для соединения с обшивкой или с другими деталями каркаса летательных аппаратов.

При гибке эластичной средой после снятия давления борт детали отпружинивает от гибочной оправки — формблока, величина угла борта изменяется. Для доводки угла борта до требуемой величины после гибки приходится вручную выполнять подгоночные работы. Для исключения или значительного уменьшения этих работ необходимо изготавливать формблоки с углами поднутрения, соответствующими углам пружинения бортов детали. Углы пружинения рассчитывают обычно по формулам из работы [1] или определяют по диаграммам, приведённым в работах [2,3].

Однако при корректировке углов формблоков на величину пружинения разброс механических свойств материалов заготовок и их толщин в пределах допуска приводит к нестабильным результатам. На кафедре производства ле-

тательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета разработаны способы уменьшения и стабилизации пружинения деталей при гибке эластичной средой, которые позволяют изгибать детали практически с требуемой точностью на гибочных оправках без корректировки их на величину пружинения [4]. Но все эти процессы требуют многократного воздействия на заготовку силовых факторов — многократной правки или нескольких последующих переформовок, в результате которых повреждаются поверхностные слои деталей. При этом в зонегиба материал утоняется, что значительно снижает жёсткость и прочность деталей. Это особенно опасно при пульсирующих и знакопеременных нагрузках, с которыми работают практически все детали планера летательного аппарата.

При увеличении радиусагиба утонение материала уменьшается. Но такое увеличение радиусагиба приводит к уменьшению жёсткости детали и увеличению её массы, так как ширина борта определяется требуемым размером для постановки крепёжного элемента и при увеличении радиусаизгиба высоту борта необходимо увеличивать.

Известно, что метод стеснённого изгиба листового материала позволяет

получать детали с очень малыми радиусамигиба [5, 6]. При этом в зонегиба материал утолщается и пружинениезначительно уменьшается. Особенноэффективен способ стеснённого изгиба сдополнительным радиальным давлением и локализацией очага пластической деформации в угловой зоне [7]. Однако для всех разработанных способов стеснённого изгиба требуются специальное оборудование и трудоёмкая оснастка.

В СГАУ разработан новый способ стеснённого изгиба, осуществляемый на традиционных прессах, оснащённых контейнерами для штамповки эластичной средой на обычных гибочных оправках. При этом стеснённый изгиб может производиться для деталей как с прямолинейными, так и с криволинейными бортами [8]. Один из способов такой штамповки реализован в «Устройстве для штамповки эластичной средой», на которое получен патент [9]. Схема реализации этого способа стеснённого изгиба полиуретаном представлена на рис. 1.

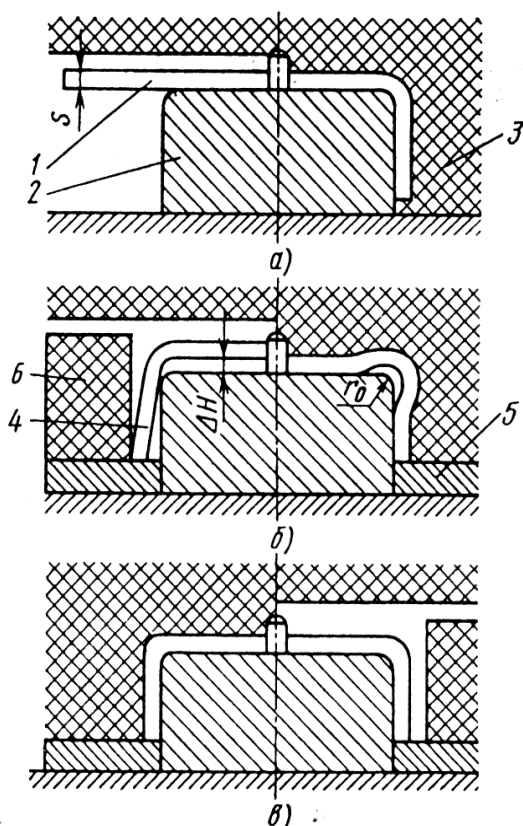


Рис. 1. Схема устройства для стеснённого изгиба эластичной средой с подпорами

Стеснённый изгиб на этом устройстве производится за два перехода. Вна-

чале (рис. 1, а) заготовка 1 изгибается по гибочной оправке 2 под действием давления эластичной среды 3, заключённой в контейнер (условно не показан). Затем под торец изогнутого борта заготовки 4 (рис. 1, б) устанавливается опорная пластина 5 для создания определённого зазора  $\Delta H$  между верхней плоскостью гибочной оправки и стенкой заготовки (рис. 1, б, слева). Для предотвращения потери устойчивости изогнутого борта заготовки 4 на опорную пластину 5 ставятся эластичные подпоры 6. Под действием давления эластичной среды стенка заготовки вначале прогибается в центральной части, а затем образуется волна избыточного материала в зоне скругления гибочной оправки с радиусом  $r_0$  (рис. 1, б, справа). При дальнейшем увеличении давления эластичной среды волна избыточного материала деформируется по радиусу гибочной оправки (рис. 1, в). В результате толщина заготовки в зоне радиусагиба увеличивается, а пружинение борта уменьшается за счёт изменения схемы напряжённо-деформированного состояния материала.

Кроме того, описываемая схема штамповки полиуретаном позволяет для деталей с угломгиба в  $90^\circ$  обходиться одним гибочным пуансоном для левой и правой деталей, так как пуансон 2 не дорабатывается на угол пружинения и может быть просто перевернут в процессе штамповки, так же переворачиваются и опорные пластины 5. Такая особенность этого процесса позволяет значительно сократить расходы на технологическую оснастку при сохранении качества – углагиба, обусловливаемого особенностью стеснённого изгиба, при котором материал заготовки принимает форму конечной детали в результате пластического деформирования под действием тангенциальных и радиальных сжимающих напряжений. Всё это, кроме ресурсосбережения и повышения точностигиба, может позволить уменьшить и радиусизгиба, что также является актуальной задачей, так как при этом повышается жёсткость деталей и снижается их масса в результате уменьшения необходимой для крепежа высоты борта.

Разработаны и запатентованы также устройства для стеснённого изгиба за один переход [10,11], схемы которых представлены на рис. 2. В устройстве с подпружиненной оправкой (рис. 2, а) при перемещении контейнера 2 под действием давления эластичной среды 1 заготовка изгибается по оправке 3, а пружина 4 сжимается (рис. 2, а, позиция 2).

При дальнейшем увеличении давления эластичной среды пружина будет сжиматься в большей степени, гибочная оправка опустится, торцы изогнутых бортов упрутся в подштамповую плиту 5 и в зоне радиусагиба образуется волна избыточного материала (рис. 2, а, позиция 3). При достаточном давлении эластичной среды 1 волна избыточного материала деформируется по радиусу гибочной оправки с образованием утолщения в этой зоне (рис. 2, а, позиция 4).

В устройстве с накладками (рис. 2, б) при опускании контейнера 4 с эластичной средой 3 накладки 5 изгибают борта заготовки с образованием волны избыточного материала с вершиной над средней частью гибочной оправки 1 (рис. 2, б, позиция 2). С увеличением усилия прессы, а следовательно и давления эластичной среды 3, вершина волны прогибается и избыточный материал перемещается в зоны радиусов гибочной оправки (рис. 2, б, позиция 3). Затем происходит посадка материала избыточных волн с образованием утолщения в зоне радиусагиба (рис. 2, б, позиция 4).

При штамповке деталей по разработанным схемам необходимо рассчитать высоту изгибаемых бортов так, чтобы создать необходимую высоту волны избыточного материала  $\Delta H$  и давление полиуретана, достаточное для осуществления процесса.

Давление эластичной среды в контейнере, необходимое для изгиба прямых или криволинейных бортов

выпуклой или вогнутой формы, в плане рассчитывают по формуле [12]

$$q = \frac{\sigma_b s_0^2}{2(H - r_0 - s_0)^2} + \frac{(\sigma_{0,2} + \sigma_b) s_0}{2R}, \quad (1)$$

где  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$  — предел прочности и условный предел текучести материала заготовки;  $H$  — высота изгибаемого борта;  $r_0$  — радиус ребра гибочной оправки;  $s_0$  — толщина стенки детали;  $R_0$  — радиус кривизны выпуклого или вогнутого борта.

Для расчёта необходимого давления при изгибе прямолинейных бортов, у которых  $R = \infty$ , в вычислениях используют только первое слагаемое формулы (1).

Определение давления эластомера, необходимого для обжима волны избыточного материала в случае прямолинейного борта, проведено в работе [13]. Определение давления эластичной среды, необходимого для обжима волны избыточного материала в случае криволинейного борта, можно провести, считая эту зону элементом торовой поверхности (рис. 3). Усилия в нагруженной постоянным давлением торовой оболочке, определяемые из условия равновесия сегмента оболочки, получены в работе [14]. Из этой работы следует, что напряжения в тангенциальном и меридиональном направлениях описываются зависимостями

$$\sigma_\theta = -\frac{qr}{2S} \cdot \frac{2(R-r) + r \sin \theta}{R-r + r \sin \theta}, \quad (2)$$

$$\sigma_m = -\frac{qr}{2S}. \quad (3)$$

В направлении радиуса  $r$  напряжения меняются от  $-q$  на наружной поверхности до нуля на внутренней поверхности по некоторому закону

$$\sigma_r = -f(q).$$

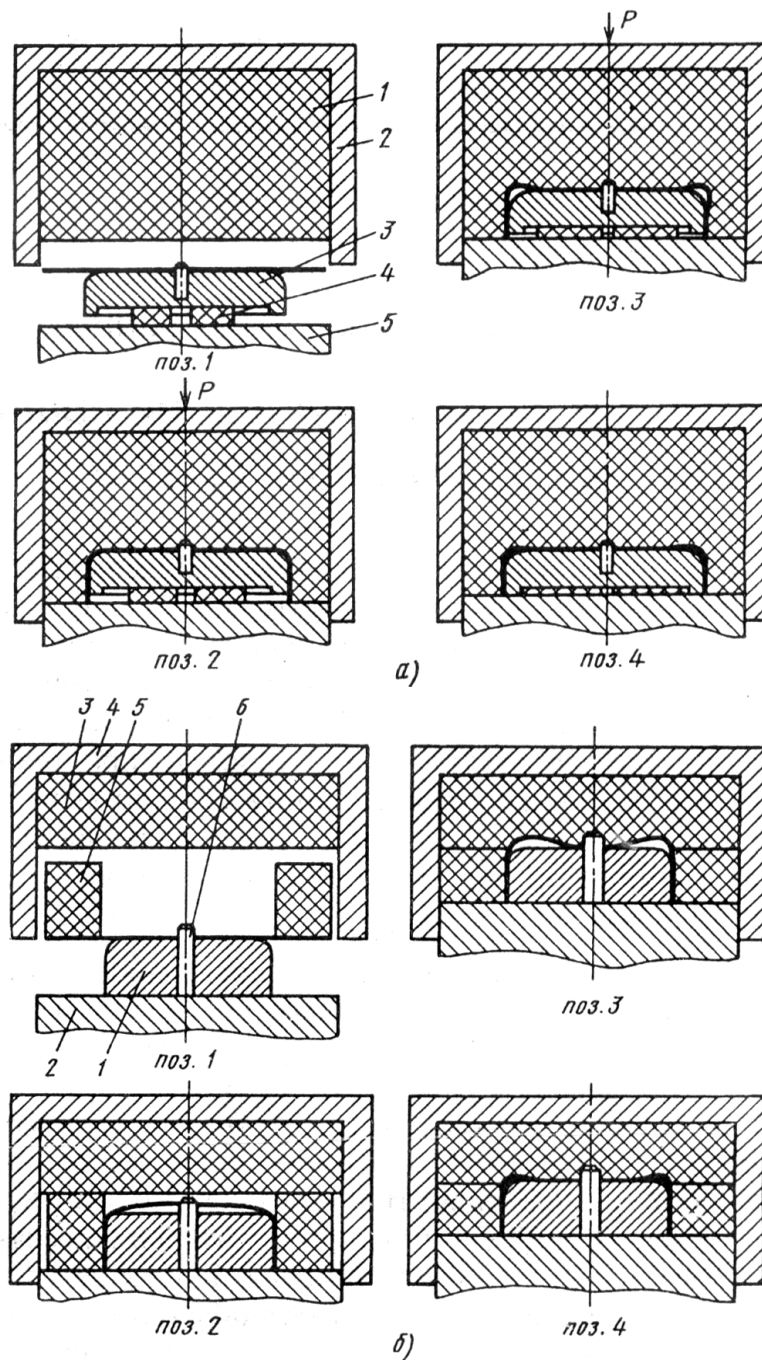


Рис. 2. Схемы устройств для стеснённого изгиба эластичной среды с подпружинённой оправкой (а) и накладками (б)

Из рис. 3 видно, что угол  $q$  изменяется от нуля до  $\pi/2$ , т.е. в выражении (2) всегда  $r \sin \theta > 0$ . Так как  $R > r$  по определению, то из сравнения выражений (2) и (3) следует, что по абсолютной величине  $|\sigma_\theta| > |\sigma_m|$ . Для рассматриваемых деталей  $r > 2S$  (в частности, типовым соотношением является  $r=3S$ ), поэтому  $|\sigma_m| > |\sigma_r|$ . Таким образом, с учётом знака (а все эти напряжения являются сжимающими), главными напряжениями следует считать:

$$\sigma_1 = \sigma_r = -f(q);$$

$$\sigma_2 = \sigma_m = -\frac{qr}{2S};$$

$$\sigma_3 = \sigma_\theta = -\frac{qr}{2S} \cdot \frac{2(R-r) + r \sin \theta}{R-r + r \sin \theta}.$$

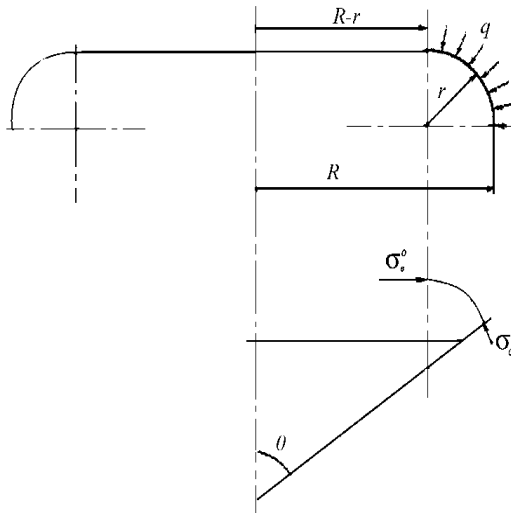


Рис. 3. Торový элемент зоны стеснённого изгиба

Известно, что условием пластичности является неравенство

$$\sigma_i \geq \sigma_s, \quad (4)$$

где  $S_i$  – интенсивность напряжений,  $S_s$  – предел текучести материала.

В общем случае

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}.$$

Однако с большой степенью точности (ошибка не более 8% [15], что вполне допустимо для технологических расчётов) можно принять

$$\sigma_i = 0,933(\sigma_1 - \sigma_3). \quad (5)$$

Подставив в выражение (5) значения главных напряжений  $S_1$  и  $S_3$ , легко получить, что

$$\sigma_i = 0,933 \left( -fq + \frac{qr}{2S} \cdot \frac{2(R-r) + r \sin \theta}{R-r+r \sin \theta} \right) \quad (6)$$

Так как интенсивность напряжений является величиной переменной, то в выражении (4)  $S_i$  должно иметь минимальное значение, т.е. для полного формообразования детали необходимо выполнение соотношения

$$\sigma_{i \min} \geq \sigma_s. \quad (7)$$

Учитывая, что  $\sigma_1 = -f(q)$  изменяется от нуля до  $-q$ , можно сделать вывод,

что меньшее значение интенсивность напряжений принимает при  $\sigma_1 = -q$ .

Интенсивность напряжений, зависящая от угла  $q$ , должна иметь меньшее значение при  $\theta = \frac{\pi}{2}$ , так как при этом угле оболочка имеет наибольшую кривизну. Для того, чтобы убедиться в этом, следует исследовать функцию (6) на экстремум, а конкретнее, необходимо определить угол  $q$ , при котором первая производная равна нулю, и знак второй производной в этой точке положителен.

Первая производная

$$\sigma'_i = 0,933 \frac{qr}{2S} \times \frac{r \cos \theta (R-r+r \sin \theta) - r \cos \theta (2R-2r+r \sin \theta)}{(R-r+r \sin \theta)^2} = 0, \quad (8)$$

откуда

$$Rr \cos \theta - r^2 \cos \theta + r^2 \cos \theta \sin \theta - 2Rr \cos \theta + 2r^2 \cos \theta - r^2 \sin \theta \cos \theta = 0$$

или

$$r \cos \theta (r - R) = 0,$$

$$\text{т.е. } \cos \theta = 0 \text{ и } \theta = \frac{\pi}{2}.$$

Вторая производная

$$\sigma''_i = 0,933 \frac{qr}{2S(R-r+r \sin \theta)^4} \times \left\{ -r \sin \theta (R-r+r \sin \theta) + r \cos \theta \cdot r \cos \theta - \left[ -r \sin \theta (2R-2r+r \sin \theta) + r \cos \theta \cdot r \cos \theta \right] \right\} (R-r+r \sin \theta)^2 - \left[ r \cos \theta (R-r+r \sin \theta) - r \cos \theta (2R-2r+r \sin \theta) \right] \times 2(R-r+r \sin \theta) \cdot r \cos \theta.$$

$$\text{В точке } \theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\sigma''_i = 0,933 \frac{qr}{2S} \cdot \frac{\{[-r(R-r)] - [-r(2R-2r+r)]\} R^2}{R^4} = 0,933 \frac{qr}{2S} \cdot \frac{(-rR+r^2+2Rr-r^2) R^2}{R^4} =$$

$$= 0,933 \frac{qr}{2S} \cdot \frac{R \cdot r \cdot R^2}{R^4} = 0,933 \frac{qr^2}{2SR} > 0.$$

Отсюда следует, что функция (6) имеет локальный минимум в точке  $\theta = \frac{\pi}{2}$ , что и требовалось доказать.

Таким образом, при значении угла  $\theta = \frac{\pi}{2}$  интенсивность напряжений будет иметь минимальное значение:

$$\begin{aligned} \sigma_{i \min} &= 0,933 \left( -q + \frac{qr}{2S} \cdot \frac{2(R-r) + r \sin \frac{\pi}{2}}{R-r+r \sin \frac{\pi}{2}} \right) = \\ &= 0,933 \left( -q + \frac{qr}{2S} \cdot \frac{2R-2r+r}{R-r+r} \right) = \\ &= 0,933q \left( \frac{r}{2S} \cdot \frac{2R-r}{R} - 1 \right) = \\ &= 0,933q \left( \frac{r(2R-r)}{2SR} - 1 \right) = 0,933q \left( \frac{2Rr-r^2}{2SR} - 1 \right) = \\ &= 0,933q \left( \frac{2Rr-r^2-2SR}{2SR} \right). \end{aligned}$$

Из условия пластичности (7) с учётом найденного выражения для  $\sigma_{i \min}$  следует:

$$0,933q \left( \frac{2Rr-r^2-2SR}{2SR} \right) \geq \sigma_s,$$

откуда величина давления эластомера, необходимого для обжима волны избыточного материала

$$\begin{aligned} q &\geq \frac{2SR\sigma_s}{0,933(2Rr-r^2-2SR)} = \\ &= \frac{2,14SR}{2Rr-r^2-2SR} \sigma_s. \end{aligned} \quad (9)$$

На практике зона изгиба практически всегда значительно нагартована, поэтому для технологических расчётов следует в этой формуле принимать  $S_s = S_B$ , а для деталей, отжигаемых перед обжимом,  $S_s = S_{02}$ .

Для точности расчётов в случае штамповки тонкостенных деталей с относительно большой толщиной необходимо за радиусы  $R$  и  $r$  принимать радиу-

сы кривизны срединной поверхности.

Из формулы (6) можно получить функцию распределения давления, необходимого для пластического формоизменения, по контуру зоны обжима.

Принимая во внимание, что для минимального значения интенсивности напряжений следует считать  $S_1 = -q$ , из выражения (6) с учётом неравенства (7), получим

$$q = \frac{2S\sigma_s(R-r+r \sin \theta)}{0,933[r(2R-2r+r \sin \theta) - (R-r+r \sin \theta)2S]}.$$

На рис. 4 представлен пример такого распределения для детали из алюминиевого сплава АМцМ (размеры указаны на рисунке) при  $S_s = S_B$ .

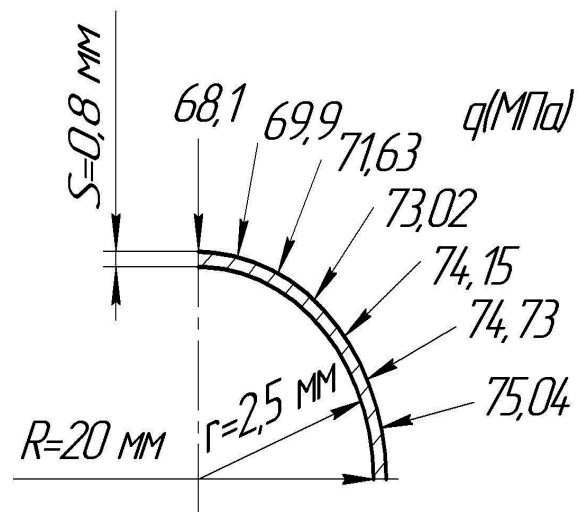


Рис. 4. Распределение давления, необходимого для обжима волны избыточного материала, по контуру зоны обжима

Из рисунка следует, что разница между наибольшим и наименьшим необходимым давлением составляет примерно 10%, наибольшее давление составляет около 75 МПа, требуется в точке с углом  $\theta = \frac{\pi}{2}$ , что было показано выше, и его следует принимать за расчётное для определения усилия прессового оборудования.

### Выводы

1. Разработан новый ресурсосберегающий способ стеснённого изгиба полиуретаном деталей различного наружного контура в плане.

2. Разработана методика расчёта рабочего давления полиуретана.

3. Детали, полученные стеснённым изгибом, обладают более высокими значениями надёжности, ресурса, жёсткости и точности.

### Библиографический список

1. Высокоэффективные технологические процессы изготовления элементов трубопроводных и топливных систем летательных аппаратов [Текст] / В. А. Барвинок, А. Н. Кирилин, А. Д. Комаров [и др.] – М.: Наука и технологии, 2002. – 394с.

2. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В. П. Романовский: 6-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, - 1979. - 520 с.

3. Зубцов, М. Е. Листовая штамповка [Текст] / М. Е. Зубцов: 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, - 1980. - 432 с.

4. Комаров, А. Д. Способы уменьшения и стабилизации пружинения деталей при гибке эластичной средой [Текст] / А. Д. Комаров, А. А. Шаров, В. К. Моисеев // Кузнечно-штамповочное производство. - 1993.-№7.-С. 13-16.

5. Проскураков, Г. В. Стеснённый изгиб [Текст] / Г. В. Проскураков // Авиационная промышленность. - 1963. - № 12. - С. 9—13.

6. Колганов, И. М. Формообразование листовых профилей повышенной жёсткости при волочении [Текст] / И. М. Колганов, Г. В. Проскураков, В. И. Колганов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1982. -№5. - С. 21—23.

7. Разработка и исследование процесса гибки профилей и панелей методом проглаживания [Текст] / Ю. М. Арышенский, Ф. В. Гречников, Г. В. Коновалов [и др.] // Оборудование, технология и организация цехов по производству профильной продукции и товаров народного потребления: материалы

конф. - Пенза, 1991. – С. 202-207.

8. Комаров, А. Д. Технология гибки полиуретаном деталей повышенной точности, надёжности и ресурса [Текст] / А. Д. Комаров, А. А. Шаров, В. К. Моисеев // Прогрессивные технологические процессы, оборудование и оснастка для холодноштамповочного производства: тез. докл. на II Всесоюз. науч.-техн. конф. - Пенза, 1994. - С. 6—8.

9. Свидетельство № RU 1647, МКИ<sup>6</sup>В21D22/10. Устройство для штамповки эластичной средой [Текст]/ А. Д. Комаров, А. А. Шаров, В. К. Моисеев [и др.] (РФ). – №94025900/08; заявл. 12.07.94; опубл. 16.02.96, Бюл. №2.-2 с.

10. Пат. RU 2089312, МКИ<sup>6</sup> В21D22/10. Устройство для штамповки эластичной средой [Текст] / А. Д. Комаров, В. А. Барвинок, А. А. Шаров, [и др.] (РФ) – №95102196/02; заявл. 15.02.95; опубл. 10.09.97, Бюл. №25.-2 с.

11. Пат. RU 2089313, МКИ<sup>6</sup> В21D22/10. Устройство для штамповки эластичной средой [Текст] / А. Д. Комаров, В. А. Барвинок, А. А. Шаров, В. К. Моисеев [и др.] (РФ) – №95102197/02; заявл. 15.02.95; опубл. 10.09.97, Бюл. №25.-2 с.

12. Комаров, А. Д. Достижения в области освоения в производстве новых процессов штамповки эластичной средой в условиях конверсии [Текст] / А. Д. Комаров, В. К. Моисеев, А. А. Шаров // Эффективные технологические процессы листовой штамповки: материалы семинара. - М.: ЦРДЗ, 1993. - С. 66—72.

13. Бидерман, В. Л. Механика тонкостенных конструкций [Текст] / В. Л. Бидерман. – М.: Машиностроение, 1977. – 488 с.

14. Пономарёв, С. Д. Расчёты на прочность в машиностроении [Текст] / С. Д. Пономарёв, В. Л. Бидерман, К. К. Лихарев [и др.] – М.: Машгиз, 1958. – Т. 2 – 974 с.

## CRAMPED BENDING OF SHEET METAL PIECE CURVED SIDES WITH AN ELASTIC MEDIUM

©2012 V. A. Barvinok, A. D. Komarov, V. G. Kulakov,  
V. K. Moissejev, A. A. Sharov

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

The paper presents data on the development and research of the process of cramped bending of straight and curved sides of sheet workpieces by an elastic medium. A description of design protected by patents and an invention certificate of the Russian Federation is given. The elastomer working pressure is determined for the implementation of curved side cramped bending by polyurethane in a closed-volume container.

*Cramped bending, elastomer, sheet workpiece, pressure, polyurethane, container, straight side, curved side, springing.*

### Информация об авторах

**Барвинок Виталий Алексеевич**, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [barvinok@ssau.ru](mailto:barvinok@ssau.ru). Область научных интересов: технология производства летательных аппаратов.

**Комаров Анатолий Дмитриевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [barvinok@ssau.ru](mailto:barvinok@ssau.ru). Область научных интересов: технология листовой штамповки эластомерами.

**Кулаков Виктор Геннадьевич**, аспирант кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [moiseevvk@mail.ru](mailto:moiseevvk@mail.ru). Область научных интересов: стеснённый изгиб эластомерами.

**Моисеев Виктор Кузьмич**, доктор технических наук, профессор кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [moiseevvk@mail.ru](mailto:moiseevvk@mail.ru). Область научных интересов: технология листовой штамповки эластомерами.

**Шаров Андрей Алексеевич**, кандидат технических наук, ассистент кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [moiseevvk@mail.ru](mailto:moiseevvk@mail.ru). Область научных интересов: стеснённый изгиб эластомерами.

**V. A. Barvinok**, Dr. Sc., professor, head of the department of aircraft production and quality control in mechanical engineering, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (national research university). E-mail: [barvinok@ssau.ru](mailto:barvinok@ssau.ru). Area of research: technology of aircraft production.



**A. D. Komarov**, candidate of technical science, professor, department of aircraft production and quality control in mechanical engineering, Samara State Aerospace University named after Academician S. P. Korolev (national research university). E-mail: [barvinok@ssau.ru](mailto:barvinok@ssau.ru). Area of research: technology of sheet forming by elastomers.

**V. G. Kulakov**, post-graduate student of the department of production of aircraft and quality control in mechanical engineering, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (national research university). E-mail: [moiseevvk@mail.ru](mailto:moiseevvk@mail.ru). Area of research: technology of sheet forming by elastomers.

**V. K. Moiseyev**, Dr. Sc., professor, department of aircraft production and quality control in mechanical engineering, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (national research university). E-mail: [moiseevvk@mail.ru](mailto:moiseevvk@mail.ru). Area of research: technology of sheet forming by elastomers.

**A. A. Sharov**, candidate of technical science, assistant professor of the department aircraft production and quality control in mechanical engineering, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (national research university). E-mail: [moiseevvk@mail.ru](mailto:moiseevvk@mail.ru). Area of research: technology of sheet forming by elastomers.