

УДК 629.735.33.023.25

В. Т. СИКУЛЬСКИЙ, В. В. ВОРОНЬКО, И. А. ВОРОНЬКО*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»***МЕТОД ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МОНОЛИТНЫХ ПАНЕЛЕЙ
С Т-ОБРАЗНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЖЕСТКОСТИ**

Рассмотрены существующие методы получения крупногабаритных монолитных панелей с перегибом, применяемые в производстве современных авиалайнеров средних и больших размеров с целью обеспечения заданной точности формообразования. Приведено описание оправки, с помощью которой производится гибка и обеспечивается сохранение формы изделия. Проведен эксперимент гибки панели с Т-образным ребрением с использованием предложенной оправки, а также построен графический рисунок изменений формы панели до и после гибки. Оправка для гибки упростила процесс формообразования и обеспечила необходимую точность геометрии и качество изделия.

Ключевые слова: монолитные панели, формообразование, двойная кривизна, пластическая деформация, нормальное напряжение, касательное напряжение, пластичность, гибка, оправка для гибки.

Введение

С увеличением грузо- и пассажироперевозок в авиастроении появилось стремление к изготовлению крупных лайнеров, а это, в свою очередь, ставит задачи по изготовлению крупногабаритных заготовок. В авиации при изготовлении панелей применяются подкрепляющие элементы - ребра жесткости. Ребрение повышает прочность и жесткость изделия. За годы развития авиации обшивка крыла эволюционировала от листов с прикрепленными усиливающими элементами до монолитных панелей.

Монолитные панели крыла и фюзеляжа широко применяются при создании современных самолетов и имеют свои преимущества по сравнению со сборной конструкцией. Такие панели имеют не только большие габариты, но и двойную знакопеременную кривизну, нерегулярную внутреннюю гравюру, разновысотность и разнотолщинность участков жесткости. Эти конструктивные особенности значительно затрудняют применение основных методов формообразования.

Заготовка, почти всегда, изначально изготавливается в плоском виде. Получаемая обычными методами кривизна не редко недостаточная, а точность окончательной геометрической формы во многом зависит от квалификации рабочего. Задача формообразования не решена окончательно и поиски необходимого эффективного метода в настоящее время актуальны.

Анализ публикаций и постановка задачи

Главной проблемой формообразования панелей с жесткими Т-образными ребрами является труд-

ность обеспечения совместности деформирования полотна панели и ребер. Именно этот фактор обуславливает точность внешних обводов самолета и качество процесса формообразования [1].

Сплавы имеют ограниченный ресурс пластичности, поэтому при формовке ресурс материала может исчерпаться уже на стадии изготовления панели, которая из-за этого приобретает недопустимые повреждения и трещины, ведущие к браку. Перспективным для сохранения ресурса материала, минимизации его повреждений и остаточных напряжений, обеспечения качества изготовленной панели является формование в медленных режимах установившейся ползучести, когда напряжения ограничены окрестностью предела упругости, и формообразующей является постепенно накапливающаяся деформация ползучести [2].

С уменьшением скорости деформации «ресурс пластичности», т.е. величина деформации в момент разрушения, как правило, возрастает, что приводит к существенному сохранению эксплуатационного ресурса на стадии изготовления деталей. Релаксационные процессы, протекающие при медленных режимах деформирования, приводят к снижению усилий формообразования, значительному уменьшению «распружинивания» деталей, существенному ослаблению влияния начальных и граничных условий на получение конечной геометрической формы детали [3].

Но такой метод предусматривает нагрев заготовок, что увеличивает стоимость производства панелей в случае их больших габаритов.

Сопротивление тела различным видам деформации зависит не только от его материала и его геометрических размеров, но и от формы поперечных

сечений. Судить о деформируемости панели с Т-образным оребрением можно по главным напряжениям σ и касательным напряжениям τ .

При медленных режимах деформирования в панелях с ребрами жесткости возникают упругие напряжения (рис. 1).

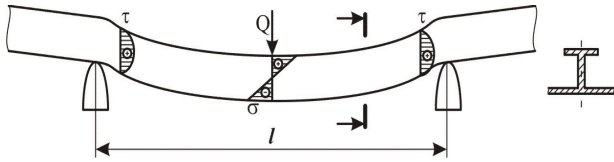


Рис. 1. Эпюры напряжений в поперечном сечении: эпюра касательных напряжений τ и эпюра нормальных напряжений σ

В местах соприкосновения панелей с опорами возможно возникновение явления "чайка" (нежелательный прогиб между опорами), из-за доминирования сдвиговых деформаций поперечного изгиба над изгибающими напряжениями от момента. Чтобы избежать подобных явлений, необходимо изменить расстояние между опорами или распределить создаваемое прессом усилие.

Оправка для гибки панелей с Т-образными выступами

Для обеспечения сохранения формы изделия при гибке было предложено устройство, которое позволяет изгибать и формовать панель как монолитную плиту. Для достижения повышенного качества изделия предлагается оправка, снабженная силовым элементом и дополнительными призматическими вставками с наклонными поверхностями. Профилированные призматические вставки выполнены с наклонными поверхностями, взаимодействующими с наклонными поверхностями дополнительных призматических вставок. Силовой элемент - в виде упругого клина и установленных симметрично относительно его оси призм, взаимодействующих с дополнительными призматическими вставками.

На рис. 2 изображен общий вид предлагаемой оправки, на рис. 3 - сечение А-А.

В плоскость, образованную Т-образными выступами панели 1, установлены профилированные призматические вставки 2, соединенные гибким шлангом 3. Профилированные призматические вставки 2 выполнены с наклонными поверхностями дополнительных призматических вставок 4. Силовой элемент выполнен в виде упругого клина 5, установленного между призмами 6. Панель 1 вместе с оправкой подвергается гибке между пуансоном 7 и

матрицей 8.

Оправка работает следующим образом (рис. 4 и рис. 5):

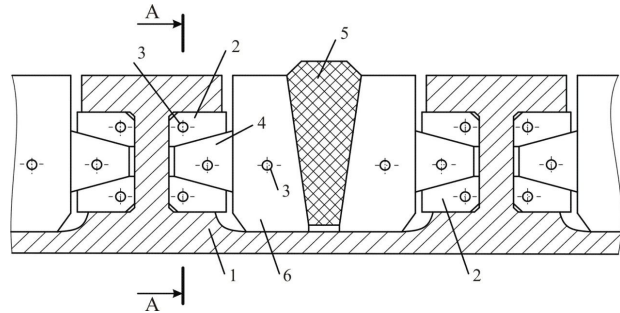


Рис. 2. Оправка для гибки панелей с Т-образными выступами

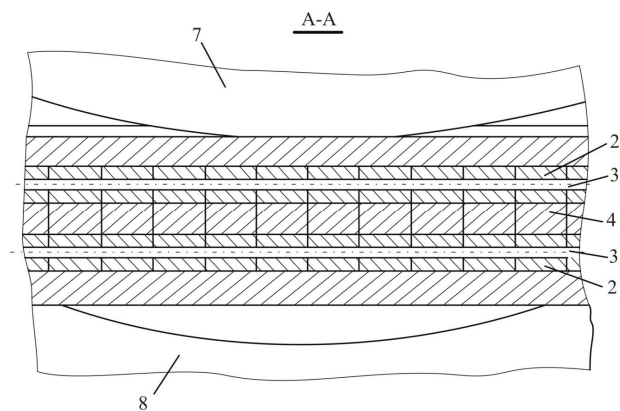


Рис. 3. Оправка для гибки в сечении А-А

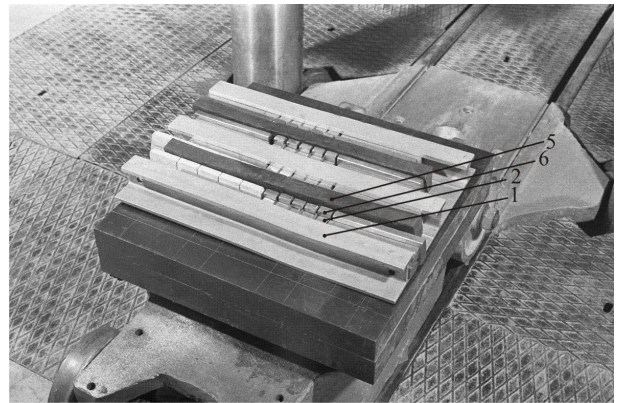


Рис. 4. Образец панели с Т-образным оребрением с установленной оправкой

При действии давления от пуансона 7 упругий клин 5 сжимается и воздействует через призмы 6 на дополнительные призматические вставки 4, которые, в свою очередь, перемещаясь, раздвигают профилированные призматические вставки 2.

Таким образом, осуществляется подпор Т-образных выступов панели, которые сохраняют форму в процессе ее изгибания. По окончании про-

процесса гибки упругий клин легко извлекается, и вынимаются все остальные элементы оправки.

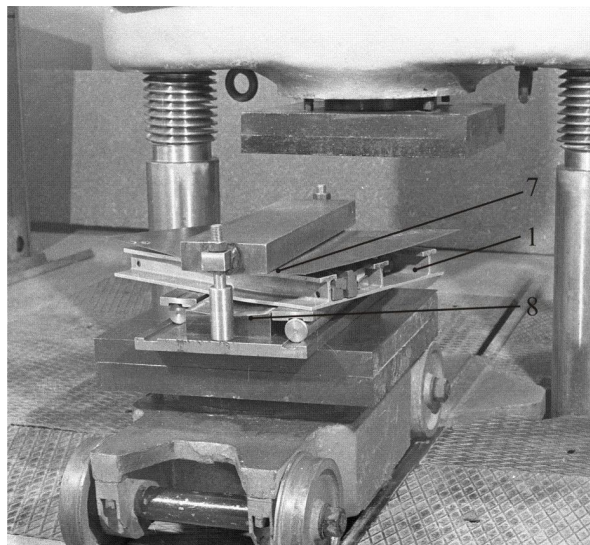


Рис. 5. Внешний вид штампа для формовки с использованием оправки

По окончании процесса гибки элементы оправки, с помощью которых осуществлялся подпор, были извлечены.

После проведенного формоизменения поверхность панели снова измерили. Показания до и после эксперимента представлены в табл. 1.

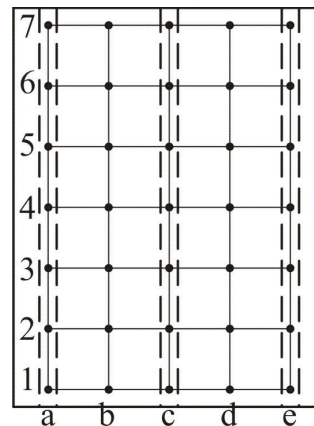


Рис. 7. Схема замера поверхности панели

Описание хода экспериментального исследования

Задача заключалась в том, чтобы изогнуть панель по оси перегиба, создавая при этом необходимую геометрическую форму. Схема необходимого изгиба и сечение панели изображены на рис. 6.

Для исследования использовалась панель размером LxH из материала Д16Т. Перед началом формоизменения поверхность панели измерили на отклонение от плоскости. Для этого поместили ее на контрольную плиту, замеры проводились с помощью индикатора на измерительной стойке. Схема замера точек панели представлена на рис. 7.

Ранее описанную оправку для гибки поместили на панель между Т-образными ребрами, саму же панель установили между пуансоном и матрицей. После чего прессом было создано необходимое уси-

Таблица 1

Измерение точек поверхности панели до и после деформации

	адрес точек замера	a	b	c	d	e
до деф.	7	0,0	+0,53	+0,31	+0,67	+1,18
после		0,0	-0,93	-2,36	-3,2	-3,7
до деф.	6	+0,12	+0,69	+0,31	+0,6	+1,12
после		+1,88	+0,5	-1,63	-2,6	-2,1
до деф.	5	+0,16	+0,64	+0,27	+0,63	+1,0
после		+3,28	+2,3	0,0	-1,48	-2,5
до деф.	4	+0,2	+0,68	+0,22	+0,5	+0,9
после		+1,0	+2,02	+1,63	+0,57	-1,52
до деф.	3	+0,1	+0,49	+0,14	+0,36	+0,69
после		-0,45	-0,1	-0,35	+0,15	-0,05
до деф.	2	+0,05	+0,3	-0,6	-0,15	+0,5
после		-1,65	-1,5	-1,95	-1,56	-1,2
до деф.	1	+0,05	+0,22	-0,16	-0,04	+0,3
после		-2,48	-2,42	-2,27	-2,68	-2,25

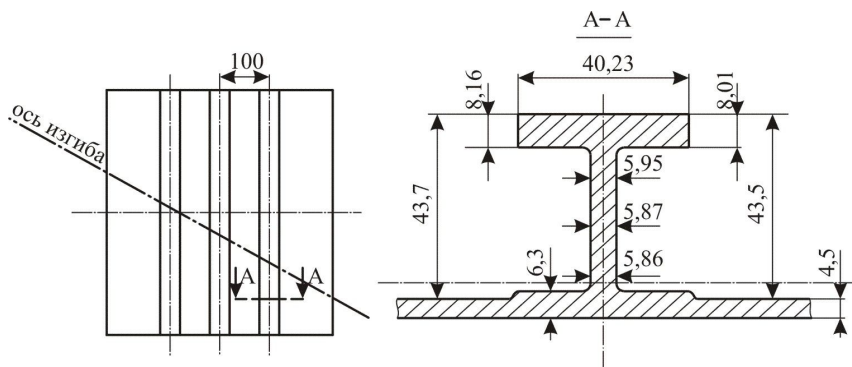


Рис. 6. Схема изгиба и сечения панели

По результатам, записанным в табл. 1, из точек была построена сетка изменений поверхности панели с Т-образным оребрением до и после деформации (рис. 8).

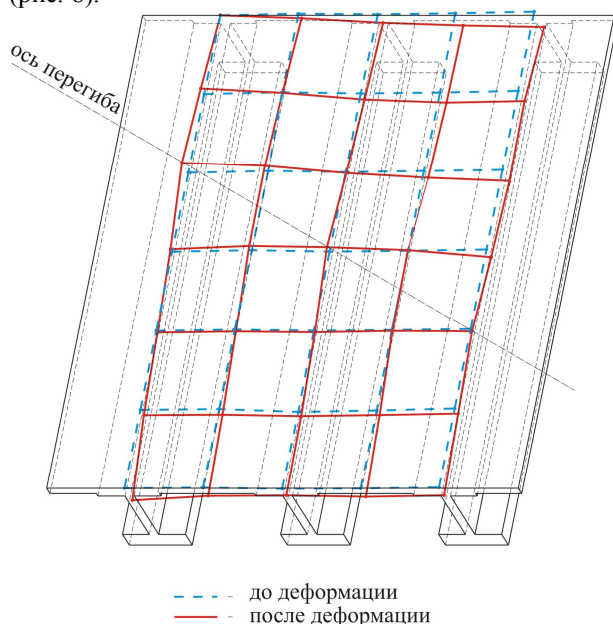


Рис. 8. Результат изменений поверхности панели

Преимущества применения оправки для гибки

Экспериментальные исследования показали, что используя оправку можно избежать сразу нескольких негативных моментов.

Процесс изготовления крупногабаритных панелей крыла и фюзеляжа гражданских самолетов, которые достигают в длину более 10 метров и имеют очень сложные формы, является затруднительным. Для совмещения этих крупных отформованных элементов необходима высокая точность их геометрических характеристик, в противном случае требуется большой объем доводочных работ.

На авиационных заводах для придания деталям продольной кривизны применяют свободную гибку на прессе в ручном режиме. Это очень трудоемкий и сложный процесс, требующий высокой квалификации рабочих. Также трудность представляет формообразование на прессе зоны перегиба панелей крыла, так как требуется выполнить точное положение линии гибки. Применение для данной операции пресса с ЧПУ не всегда приносит ожидаемый результат из-за больших отклонений геометрических размеров панелей.

Данный метод, в отличие от горячей штамповки, для деформирования не требует местного нагрева панели и многочисленных ходов для завершения расчетного прогиба, а также использования автоклава. Благодаря отсутствию нагрева не происходит

такое неприятное явление, как "поводки" ребер панелей (эффект при термическом изменении формы). В то же время оправка может использоваться при деформировании с нагревом.

Простая холодная штамповка не может применяться в подобных случаях, так как такая формовка может использоваться для формирования изгибов одинарной кривизны. Двойную кривизну она обеспечить не может, из-за опасных растягивающих напряжений и потеков в растянутом слое.

Применяя данную оправку, удалось также избежать эффекта "чайки", который проявляется из-за внутренних напряжений, возникающих в опасных местах (точках соприкосновения панели с опорами). Увеличение жесткости системы "панель-оправка" обеспечило равномерное распределения усилия пресса.

Также предложенный метод предотвратил появление волнистости на наружной поверхности обшивки крыла. Она возникала, как следствие стремления материала полотна панели к нейтральной поверхности при гибке [4].

Заключение

Новое устройство, относящееся к обработке металлов давлением, позволяет расширить технологические возможности процесса формообразования панелей, повысить качество изделий, получаемых гибкой.

Достигнуть необходимого качества помогают силовые элементы и дополнительные призматические вставки с наклонными поверхностями, которыми снабжена оправка. При действии давления нагрузки распределяются таким образом, чтобы осуществлялся подпор Т-образных выступов панели, которые могут сохранить свою форму после ее изгиба. Это, в свою очередь, позволяет сохранить ресурс материала, предотвратить появление неравномерностей деформаций.

Распределение усилия пресса в целом повлияло на уменьшение концентраторов, в которых чаще всего начинают возникать разрушения, что негативно для всей конструкции.

Оправка для гибки упростила процесс формообразования, обеспечив необходимую точность геометрии: гладкость поверхности обшивки панели, уменьшение концентрации напряжений, точность при сборке конструкции.

Литература

1. Сиккульский, В. Т. Формообразование монолитных панелей сложных форм [Текст] / В. Т. Сиккульский // *Авиационно-космическая техника и технология*

нология. – 2013. – № 5/102. – С. 15-19.

2. Горев, Б. В. *Высокотемпературная ползучесть конструкционных сплавов и ее приложение к формообразованию крупногабаритных деталей [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 01.02.04 / Горев Борис Васильевич. – Новосибирск : Ин-т гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 2003. – 32 с.*

3. Пекари, А. И. *Напряженное состояние и прочность крыльевых панелей в процессе их формо-*

образования для современных конструкций пассажирских самолетов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.02.06 / Пекари Александр Иванович. – Комсомольск-на-Амуре : Гос. техн. ун-т, 2007. – 19 с.

4. Ramati, S. *Single Piece Wing Skin Utilization Via Advanced Peen Forming Technology [Text] / S. Ramati, G. Levasseur, S. Kennerknecht // International shot peening conference in Warsaw, September 28-30. – Poland, 1999. – P. 18.*

Поступила в редакцию 12.01.2015, рассмотрена на редколлегии 20.01.2015

МЕТОД ФОРМОУТВОРЕННЯ МОНОЛІТНИХ ПАНЕЛЕЙ З Т-ПОДІБНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЖОРСТКОСТІ

В. Т. Сікульський, В. В. Воронько, І. О. Воронько

Розглянуто існуючі методи отримання великогабаритних монолітних панелей з перегином, які застосовуються у виробництві сучасних авіалайнерів середніх і великих розмірів з метою забезпечення заданої точності формоутворення. Наведено опис оправки, за допомогою якої проводиться гнуття й забезпечується збереження форми виробу. Проведено експеримент гнуття панелі з Т-подібними ребрами з використанням запропонованого оправлення, а також побудовано графічний малюнок змін форми панелі до і після гнуття. Оправлення для згинання спростило процес формоутворення і забезпечило необхідну точність геометрії та якість виробу.

Ключові слова: монолітні панелі, формоутворення, подвійна кривизна, пластична деформація, нормальне напруження, дотичне напруження, пластичність, гнуття, оправка для гнуття.

METHOD OF FORMING OF INTEGRAL PANELS WITH T-SHAPED STIFFENERS

V. T. Sikulskiy, V. V. Voronko, I. A. Voronko

Considered were existing methods of obtaining large-scale integral panels with a bend applied in production of modern large and mid-sized aircraft to provide specified forming accuracy. Given was the mandrel description with the help of which the bending was realised and product shape retained. Carried out was the experiment of bending panel with T-shape finned surface implying offered bending mandrel which simplified the forming process and provided necessary geometric accuracy and product quality. Graphical representation of panel shape changes before and after bending was created.

Key words: integral panels, double curvature, plastic deformation, normal stress, shear stress, plasticity, bending, bending mandrel.

Сікульський Валерій Терентьевич – канд. техн. наук, доцент, проф. кафедри технології виробництва летательних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харьковский авиационный институт», Харьков, Україна e-mail: vsikulskiy@mail.ru.

Воронько Віталій Владимирович – д-р техн. наук, доц., проф. кафедри технології виробництва летательних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАИ», Харьков, Україна, e-mail: vitaliy.voronko@gmail.com.

Воронько Ірина Алексеевна – асистент кафедри технології виробництва летательних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харьковский авиационный институт», Харьков, Україна e-mail: irina-voronko@ukr.net.