

магнитной проницаемости μ_r , позволяют исследовать оптимальные режимы работы микроволновых устройств и тем самым повысить качество обработки диэлектрических материалов при реализации микроволновых технологий.

5. Перспективным направлением исследований является создание автоматизированных систем управления и контроля температурных параметров при реализации микроволновых технологий, на базе первичных тепловых вихретоковых преобразователей.

Список литературы: 1. Кудрявцев В.Н. Усовершенствование микроволновой технологической камеры / Заплетников И.Н., Кудрявцев В.Н. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. Сб. науч. Тр. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып. 26.-С. 136-144. 2. Заплетников И.Н., Кудрявцев В.Н. О результатах воздействия электромагнитного поля на процесс сушки орехового сырья // Управлінські та технологічні аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі: Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 65-річчю з дня народження доктора техн. наук, проф., члена-кореспондента ВАСГНГІЛ Беляева М.І. / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2003. С. 243-245. 3. Юрчик Г.В., Водотовка В.І. Інформаційно-вимірювальна система мікрохвильового технологічного процесу: канал вимірювання швидкості повітряного потоку / Г.В. Юрчик, В.І. Водотовка // Вісник національного університету «Львівська політехніка». - 2002.-№468.-С. 10-18. 4. Юрчик Г.В. Підвищення точності вимірювання при контролі енергетичних і теплофізичних параметрів мікрохвильових технологій: Монографія. / Юрчик Г.В.- Львів: Тріада плюс, 2008.-176 с. 5. Герасимов В.Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с. 6. Себко В.В. Экранное трубчатое многопараметровое вихретоковое устройство // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006. – Вып. 39. – С. 18-29. 7. Себко В.П., Кириченко Р.И. Определение пределов измерений сигналов электромагнитного преобразователя с плоским проводящим изделием // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2000. – Вип. 12. – С. 403-406. 8. Себко В.П., Кириченко Р.И. К теории работы трансформаторного электромагнитного преобразователя с плоским проводящим изделием // Технічна електродинаміка. – Київ: Ін-т електродинаміки НАНУ. – 2000. – Тем. випуск, Ч. 1. – С. 93–98. 9. Себко В.П., Глоба С.Н. Определение критических значений частот магнитного поля и толщин плоских изделий. – Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1999. -Вып. 24. - С. 21-25. 10. Себко В.В. Трансформаторный вихретоковый датчик с пластиной, зондируемой полемкратных частот // Український метрологічний журнал. -Харків. – 2007. – Вип. 2. – С. 26-29. 11. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин. -Л.:Энергоатомиздат,1987. – 320 с. 12. Дунаев Б.Б. Точность измерений при контроле качества. –К.: Техніка, 1981. – 150 с.

Надійшла до редакції 17.12.2013

УДК 621.981.06

В. Т. СИКУЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, доц., проф., НАУ «ХАИ», Харьков

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПАНЕЛЕЙ С ПРОДОЛЬНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ МЕСТНОЙ ГИБКОЙ С ПОСАДКОЙ (РАЗВОДКОЙ)

Приведено описание нового процесса получения панелей сложных форм местным деформированием с использованием оригинального устройства, в котором реализуется местный изгиб ребра с совместной деформацией посадки и разводки. На примере получения панелей двойной кривизны

приведены сравнительные характеристики процесса посадки и разводки. Приведена инженерная методика расчета распределения локальных воздействий, описаны результаты испытания процесса на образцах из алюминиевых сплавов и приведены основные технологические рекомендации.

Ключевые слова: формообразование, посадка, разводка, изгиб, доводка формы, двойная кривизна.

Введение. В конструкции самолетов и других машин используются панели с продольным оребрением, получаемые прокаткой или прессованием в плоском виде. Для применения в конструкции машин панели должны быть отформованы по требуемым формам с высокой точностью. Формообразование панелей с оребрением известными методами – сложный и трудоемкий процесс, при котором используется специальная оснастка. Процессы формообразования характеризуются большим объемом доводочных работ каждого изделия, что объясняется технологическими отклонениями поперечного сечения панелей при получении заготовок или после последующей механической обработки.

Постановка задачи исследования. Анализ публикаций, направленных на совершенствование технологического процесса формообразования панелей, показывает, что для успешного применения их на предприятиях они должны обладать следующими качествами [1].

1. Возможность правки и доводки панелей как самостоятельно, так и в сочетании с другими методами деформирования;
2. Универсальность устройства, обеспечивающего формообразование разнообразных форм и с широким диапазоном размеров поперечных сечений;
3. Формообразование панелей с положительной и отрицательной кривизной;
4. Местную правку и доводку панелей с отклонениями формы в разные стороны;
5. Минимальное технологическое усилие в целях использования прессов, применяемых в отрасли;
6. Малые припуски на зачистку после формообразования или отсутствие процесса зачистки;
7. Возможность гибки отдельных ребер, в том числе и в разные стороны [2];
8. Возможность монотонного изменения формы с целью поэтапного контроля формы, корректировки процесса и повышения точности формы;
9. Приемлемые сроки разработки процесса и изготовления оснастки и инструмента.

Для создания технологического процесса, удовлетворяющего заданным требованиям, было невозможно использовать процессы деформирования с нагревом, так как для большинства алюминиевых сплавов использование нагрева до температур эффективного деформирования запрещено действующими инструкциями. По этой же причине нельзя использовать процессы, в основе которых применяются явления ползучести или сверхтекучести. Использование процессов вытяжки и других процессов холодного деформирования ограничено отсутствием технологических припусков по ширине панели, что связано с особенностями получения заготовок. Кроме того, при деформировании таким образом большое влияние на процесс деформирования оказывают ребра панелей, жесткость которых существенно больше жесткости полотна.

Используемые в отрасли процессы дробеударного формообразования обеспечивают получение панелей с одинарной кривизной поперек оребрению, либо небольшой двойной кривизны при маложестком или прерывистом оребрении.

Цель исследования. Развитие самолетостроения и других отраслей ставит задачу получения целого ряда сложных форм панелей с оребрением, что, в свою очередь, требует создания технологических процессов, удовлетворяющих приведенным требованиям [3].

Материалы исследований. Для решения заданной задачи был выбран метод местного деформирования участка ребра с прилегающим полотном, при этом схема деформирования представляла собой местный изгиб в сочетании с посадкой или разводкой.

Сущность процесса получения панели сложной формы состоит в поэтапном придании панели обобщенного поля деформаций, состоящего из отдельных местных (локальных) деформаций. Эти местные деформации должны быть распределены определенным образом по панели и по времени их приложения, чтобы обобщенные деформации соответствовали постепенному приближению к требуемой форме панели при условии образования минимальных остаточных напряжений в полотне и ребрах панели. Исследования показали, что обеспечить эти условия только посадкой или разводкой невозможно. Поэтому в качестве местной деформации было решено применять деформацию участка полотна и ребра панели в направлении оси ребра и совместный изгиб этого участка в плоскости ребра.

Для реализации данного процесса был создан специальный штамп, внешний вид которого приведен на рис. 1. Штамп содержит две пары верхних губок и одну пару нижних губок, укрепленных подвижно соответственно на верхних и нижних плитах.

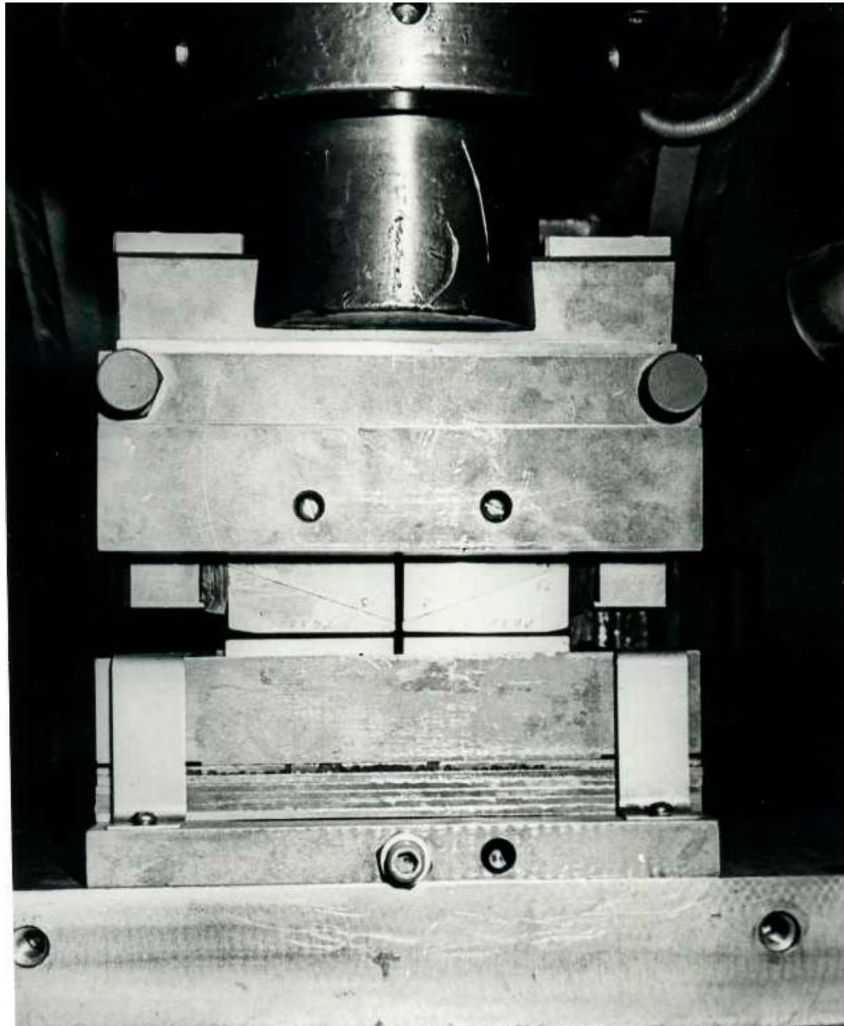


Рис. 1 – Штамп для формоизменения панелей посадкой с изгибом

В исходном положении верхние губки допускают свободное перемещение панели вдоль штампа, который устанавливается в одностоечный пресс. При нажатии прессы и увеличении усилия до 5-10 Кн верхние пары губок захватывают ребро панели. В таком положении верхние губки поддерживают ребро в течение всего процесса деформирования. При возрастании усилия до 200-300 Кн штамп изгибает участок ребра с прилегающим участком полотна на угол до нескольких градусов. При столь малых прогибах соседние ребра не оказывают заметного влияния на процесс в очаге деформации. Для изменения

величины прогиба штамп снабжен клиновым регулятором с винтовым приводом, установленным под нижними губками.

При дальнейшем увеличении усилия до 1500-2000 Кн верхние и нижние губки совместно сближаются при посадке, либо раздвигаются при разводке. В конструкции штампа предусмотрено осуществление обоих режимов, причем, время переналадки с одного режима на другой занимает не более нескольких минут. Совместное действие изгибающих и сжимающих (или растягивающих) напряжений уменьшает величину пружинения и положительно отражается на качестве гибки.

Рассмотрим упрощенную методику расчета приложения местных воздействий на примере получения панели двойной кривизны. Представим получение двойной кривизны в два этапа. На первом этапе получаем одинарную кривизну поперек продольному оребрению R_c , на втором – создаем поле деформации с изгибом панели с продольным радиусом R_p . В случае использования процесса разводки с изгибом средние зоны панели должны быть удлинены в зависимости от радиуса R_p . При использовании процесса посадки с изгибом для получения радиуса R_p периферийные части панели должны быть сокращены (рис. 2, б).

На рис. 2 представлены возможные поля деформаций при получении двойной кривизны разводкой средних зон (рис. 2, а) и посадкой периферийных зон (рис. 2, б).

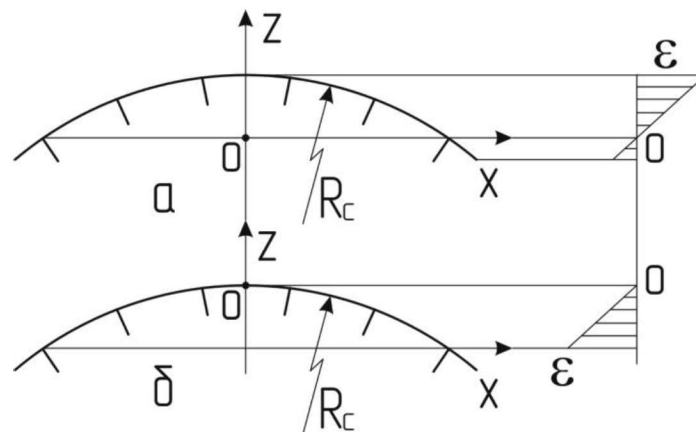


Рис.2 – Относительные деформации при образовании двойной кривизны методом:
а – разводки; б – посадки

Расстояние между точками воздействия штампа на каждом ребре при получении панелей двояковыпуклой формы разводкой могут быть определены по следующей методике. В этом случае крайние ребра панели не деформируют,

а главные относительные деформации вдоль продольных осей средних ребер в точке пересечения вертикальной оси ребра и срединной плоскости полотна

$$\varepsilon_i = (\sqrt{R_c^2 - x^2} - \sqrt{R_c^2 - l^2}) / R_n, \quad (1)$$

где R_n, R_c – продольный и поперечный радиусы кривизны панели;

$2l$ – расстояние между крайними ребрами в поперечном сечении панели;

x – расстояние от оси симметрии поперечного сечения панели до деформируемого ребра.

Величина деформации вдоль оси ребра при одном воздействии штампа

$$e = t_i \varepsilon_i, \quad (2)$$

где t_i – расстояние между двумя соседними точками воздействия при одном ребре.

С другой стороны величина деформации при одном воздействии может быть представлена

$$e = ks, \quad (3)$$

где k – допускаемая относительная деформация, устанавливаемая директивными документами;

s – величина растягиваемого участка панели в направлении оси ребра при разводке. Обычно эта величина составляет 15-25 мм.

Расстояние между точками воздействия на одном ребре определяется из зависимости (2) с учетом (1) и (3):

$$t_i = ksR_n(\sqrt{R_c^2 - x^2} - \sqrt{R_c^2 - l^2})^{-1} \quad (4)$$

Аналогично при получении панелей двояковыпуклой формы посадкой периферийных ребер расстояние между точками воздействия

$$t_i = ksR_n(R_c - \sqrt{R_c^2 - x^2})^{-1} \quad (5)$$

Здесь s – величина сжимаемого участка панели в направлении оси ребра. При посадке эта величина лежит в пределах 4-8 мм.

Результаты вычисления по формулам (4) и (5) показывают, что расстояние между точками воздействия при посадке в 3-4 раза больше, чем при формообразовании с посадкой. Следовательно, число воздействий при разводке во столько же раз меньше, что выгодно отличает этот процесс при получении панелей двойной кривизны.

Результаты исследования. Полученные образцы панелей (рис. 3) размерами 500x1000 мм и ребрами высотой 30 мм имели гладкую поверхность без огранки. Дополнительная обработка или зачистка мест разводки двояковыпуклых панелей не требуется. Места посадки с внешней стороны требуется зачищать, так как выступание материала достигает 0,05-0,1 мм над уровнем полотна панели. Зачистка ребра в обоих случаях не требуется, так как деформация ребра не локализуется в пространстве между губками. На образцах были достигнуты минимальные радиусы продольной кривизны 6,5 м, поперечной – 3 м.

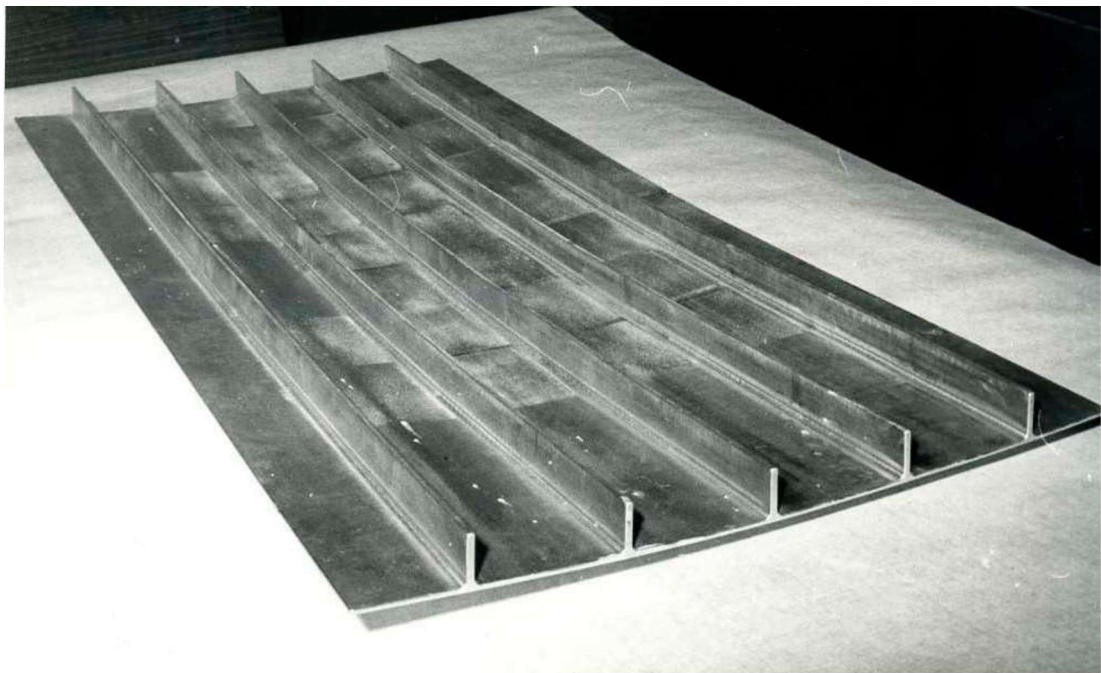


Рис.3 –Образец панели двойной кривизны, отформованный методом местного изгиба с разводкой

Двойная кривизна панели достигалась как из плоских образцов, так и с панелей одинарной кривизны. Схема технологического процесса в этом случае оставалась прежней.

Экспериментальная проверка технологии и штампа на образцах панелей из сплава Д16Т показала, что двояковыпуклые панели целесообразно получать

разводкой средней части панели, а двояковогнутые – посадкой периферийных участков панелей с соответствующим углом гибки ребер.

Штамп может найти широкое применение при доводке формы панели. Он позволяет подгибать на малые углы отдельные ребра панели на базе 10-20 мм, что весьма сложно осуществить другими методами.

Наиболее предпочтительным является использование штампа и технологии формообразования панелей двойной кривизны применительно к роботизированному комплексу на базе прессы с ЧПУ. В этом случае пресс должен быть оснащен позиционирующим устройством, обеспечивающим перемещение панели в соответствии со схемой распределения элементарных воздействий, а также установку панели по нормали к оси плунжера прессы в месте приложения воздействия. Пресс должен быть оснащен системой ограничения рабочего усилия, а более предпочтительно, – устройством контроля величины деформации материала панели. Последнее условие необходимо для обеспечения повторяемости и стабильности процесса.

Для исключения доводочных работ целесообразно оснастить комплекс измерительной системой, контролирующей форму панели в реальном масштабе времени.

Выводы. В перспективе возможно создание гибкого производственного модуля формообразования панелей, в котором возможно получение панелей и других форм, например, конической и цилиндрической, когда ребра панели не совпадают с образующими, и др. Модуль может быть оснащен сменным инструментом, в состав которого будет входить как упомянутый штамп, так и другой инструмент, разработанный авторами; например, инструмент для правки и доводки формы монолитных панелей.

Список литературы: 1. Веричев С. Н., Максименко В. Н., Левяков С. В. Forming of monolithic stiffened double-curvature panels of aircraft structures. В кн.: Proceedings of 2009 International Forum on Strategic Technologies, October 21-23. Ho Chi Minh City, Vietnam: Vietnam National University, Ho Chi Minh City Publishing House. с.185-187. 2. В.Т. Сикульский. Создание технологии правки и доводки формы монолитных панелей без использования прессы. В кн.: Авиационно-космическая техника и технология, №3/100, 2013, с. 31-35. 3. В.Т. Сикульский. Формообразование монолитных панелей сложных форм. В кн.: Авиационно-космическая техника и технология, №5-102, 2013, с. 15-19.

Поступила в редколлегию 28.10.2013