

УДК 621.7.044

С.И. МОЛОДЫХ, В.В. ТРЕТЬЯК, Л.С. МОЛОДЫХ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИМПУЛЬСНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ФРЕЗЕРОВАННЫХ ПАНЕЛЕЙ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ

Исследован и апробирован способ импульсной штамповки оребренных панелей двойной кривизны. Для обеспечения равномерного разгона всех частей панели, исключения опережающего перемещения полотна, усиления зоны сопряжения, повышения устойчивости ребер и улучшения возможностей управления пружинением на панели при фрезеровке ребер выполнялись специальные выступы. Положение выступов относительно нейтральной оси и величина сечения определялись расчетом в зависимости от упругой деформации, характеристик металла и кривизны панели. Проведены эксперименты на масштабной модели панели двойной кривизны с сечениями близкими к реальным. Предложенная технология может быть использована для статических методов нагружения - прессовой штамповки.

Ключевые слова: импульсная штамповка, панели двойной кривизны, ударная волна, фрезерованная заготовка, специальные выступы.

Введение

Фрезерованные панели двойной кривизны занимают значительное место в конструкции летательных аппаратов благодаря своей высокой весовой отдаче, несмотря на низкий КИМ и высокую трудоёмкость. Процесс их изготовления до настоящего времени представляет сложную технологическую задачу. Для больших габаритов эта задача многократно увеличивается. Высокая прочность и жесткость заготовки из высокопрочных алюминиевых сплавов требуют мощного и габаритного пресового оборудования и сложной оснастки.

Этот процесс многостадийный и трудоёмкий, не обеспечивает точности и стабильности размеров, высокого качества ответственных изделий. Упрощенные технологии базируются на последовательном деформировании гибкой посадку поперечных ребер, с дробеструйной обработкой внутренней поверхности межреберных полотен и ручной доработке с поэтапным контролем формы плоскими и объемными шаблонами. Они требуют уникальной квалификации и таких же затрат рабочего времени.

Существующие сегодня импульсные методы обработки материалов потенциально позволяют решить задачу обработки материалов с высокой оцностью, точностью и малой трудоёмкостью [1].

Первые попытки быстро разрешить проблему применением импульсных технологий столкнулись с новыми сложностями – скачкообразное и неравномерное распределение массы по сечению, недостаточная устойчивость ребер жесткости, относи-

тельно малая прочность межреберного полотна, большая удельная масса панели и значительное пружинение.

Типичные дефекты панелей с продольно-поперечным оребрением, штампованных взрывом – перештамповка полотен, особенно в центральной части панели, недоштамповка ребер, значительные сдвиговые деформации в зоне сопряжений ребер и полотна, появление микротрещин, гофры на центральных ребрах и уход из плоскости на периферийных ребрах.

На первом этапе нагружения происходит передача энергии от ударной волны взрыва массивной заготовке большой строительной высоты.

Поскольку масса ударной волны незначительная, и в широком диапазоне величин зарядов меняется слабо, КПД передачи энергии крайне мал и измеряется долями процента.

Увеличение заряда повышает динамичность процесса и приводит к откольной перештамповке и разрушению полотен. Следовательно, необходимо изменение характера передачи импульса с волнового на режим метания массы предающей среды. Это возможно с помощью дистанционных, пористых прокладок с малой акустической плотностью.

На втором этапе идет разгон всех частей заготовки до скоростей обратно пропорциональных их массе.

Но, поскольку масса рассматриваемой панели распределена неравномерно по поверхности, скорости и импульсы также скачкообразно распределены по поверхности.

Это приводит к предельным напряжениям и деформированию зоны сопряжения полотна и ребер в процессе штамповки до касания поверхности матрицы.

Если при этом разрыв сплошности не происходит, то оставшаяся кинетическая энергия заготовки расходуется на выравнивание перештамповки полотна за счет локальных сдвиговых деформаций противоположного знака.

Металл в зоне сопряжения полностью исчерпывает ресурс пластичности, который не восстанавливается термообработкой.

Большая площадь полотна приводит к смещению нейтральной оси в направлении полотна, и увеличению высоты ребер и, как следствие, значительным сжимающим напряжениям и потере устойчивости даже при малой кривизне панели. После разгрузки большое пружинение ведет к уменьшению кривизны и точность панели снижается. Из этого следует необходимость решить пять задач: обеспе-

чить равномерный, не волновой, разгон всех частей панели, исключить опережающее перемещение полотна, усилить зоны сопряжения, повысить устойчивость ребер и управлять пружинением.

Авторами статьи после глубокого анализа процесса и поиска технологических приемов предложен, исследован и апробирован способ штамповки оребренных панелей двойной кривизны, позволяющий разрешить перечисленные задачи [2].

Решение задачи

Суть решения состоит в том, что на панели при фрезеровке ребер выполняют специальные выступы, положение, которых относительно нейтральной оси и величина сечения определяются расчетом в зависимости от упругой деформации, характеристик металла и кривизны панели. Принципиальная схема типового фрагмента специального полуфабриката для такого изделия представлена на рис. 1.

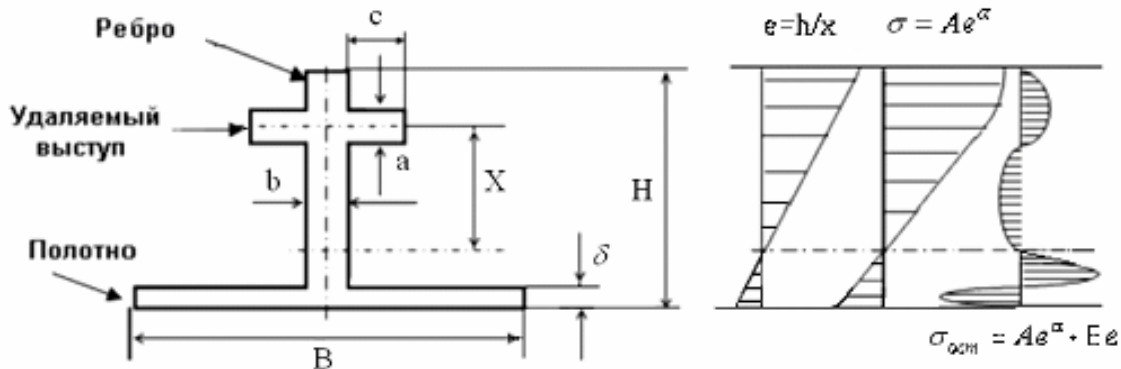


Рис. 1. Принципиальная схема типового фрагмента полуфабриката

Технологический выступ служит для замыкания деформируемого наполнителя, повышения устойчивости ребер и одновременно для упрочнения зоны сопряжения с полотном.

После выплавления наполнителя и удаления выступа, удаляется часть $[F = 2 \cdot c \cdot a]$ напряженного сжатием металла с одной стороны нейтральной оси.

Это приводит к росту кривизны, чем и компенсируется пружинение. Оно становится управляемой величиной.

Для определения необходимой величины выступа воспользуемся теоремой Ильюшина о разгрузке и запишем соотношение кривизны матрицы χ_m и детали $\chi_d = 1/R_d$ после снятия напряжений:

$$\chi_d = \chi_m - \chi_y. \quad (1)$$

где $\chi_y = M_{из}/E \cdot J_{\Sigma}$ – фиктивная кривизна пружинения, должна быть равна изменению кривизны χ_t при срезании технологического выступа, поскольку срезание технологического выступа эквивалент-

но воздействию изгибающего момента M_T определённого знака:

$$\chi_T = M_T/E \cdot J_d, \quad (2)$$

где J_d – момент инерции сечения детали;

$$M_T = 2 \cdot \sigma_{ост} \cdot a \cdot c \cdot x. \quad (3)$$

Остаточные напряжения отштампованного полуфабриката в зоне выступа после разгрузки, но до удаления выступа

$$\sigma_{ост} = \sigma_m - \sigma_y = A \cdot \chi^{\alpha} \cdot x^{\alpha} - E \cdot \chi \cdot x, \quad (4)$$

где A и α – показатели упрочнения при степенном законе. При этом считаем, что момент инерции выступа намного меньше всего сечения и нейтральная ось смещается несущественно. Из условия отсутствия отклонения от теоретического контура получим расстояние выступа от нейтральной оси

$$x = (J_d/J_{\Sigma}) \cdot a \cdot c. \quad (5)$$

Предполагая материал панели жесткопластическим (что хорошо описывает алюминиевые сплавы), запишем величину изгибающего момента, необхо-

димого для деформирования полуфабриката панели, без наполнителя.

Как показал анализ, наполнитель не оказывает влияния на конечную кривизну панели и в рассмотрении может не участвовать.

$$M_{из} = \int \sigma_x \cdot x \cdot dF = 0.5 \cdot W \cdot \sigma_s + J_{\Sigma} \cdot \Pi / 3 \cdot R, \quad (6)$$

где W – момент сопротивления сечения.

Потребная величина выступа, исходя из аналогичных условий отсутствия отклонений от заданного контура, находится из (5) с учетом (6) по формуле

$$a \cdot c = 0.25 \cdot W \cdot \sigma_s / x \cdot \sigma_{ост} + J_{\Sigma} \cdot \Pi / 6 \cdot R_x \cdot \sigma_{ост} = \\ = k \cdot [W \cdot \sigma_s / 2 + J_{\Sigma} \cdot \Pi / 3R] / 2 \cdot x \cdot \sigma_{ост}, \quad (7)$$

где k – безразмерный коэффициент коррекции, определяемый экспериментально и учитывающий разброс механических характеристик партий металла, неточность аппроксимации физического закона и пр.

Следует заметить, что очень строгим параметром является положение выступа относительно нейтральной оси x .

Как видно из графика распределения остаточных напряжений (рис. 1), необходимо располагать его в зоне максимального сжатия. В случае более низкого положения выступа он может попасть в зону перемены напряжений и эффекта компенсации пружинения не будет.

Для проверки правильности выдвинутой гипотезы, были проведены эксперименты на масштабной модели панели двойной кривизны с сечениями близкими к реальным.

Фрезерованная заготовка с технологически выступающими по контуру ребер заполнялась легкоплавким металлом типа ПОС-80, и деформировалась по безбассейновой схеме нагружения энергией взрыва сферического заряда в воде, в разовой емкости из полиэтиленовой пленки.

При этом непосредственно на заготовку укладывали коврик из микропористой резины для исключения волновой составляющей взрыва.

После деформирования заготовка полностью прилегала к сферической матрице диаметром 700 мм.

Перетяжек сдвига в зоне сопряжения полотна и ребер, а также потери устойчивости формы не наблюдалось.

Это свидетельствует о том, что выступ-припуск надежно связывает наполнитель с панелью и подкрепляет устойчивость ребер.

Кривизну определяли по величине прогиба плоским индикаторным кривизномером с базой 50 мм в двух перпендикулярных плоскостях.

Одна из проекций кривизны изображена на рис. 2.

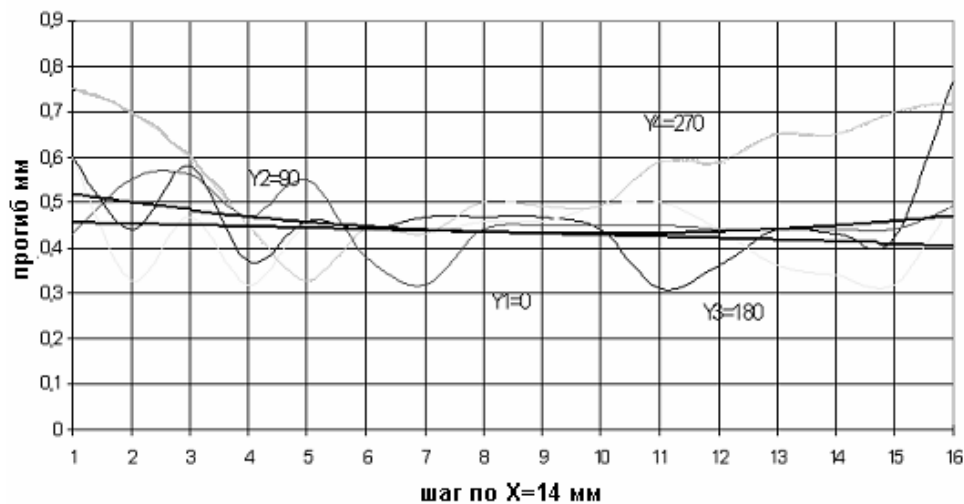


Рис. 2. Характеристики кривизны

Как видно из графика отклонения локализируются в концевых сечениях и углах панели, во многом из-за краевых эффектов разгрузки и неудобства измерений. После удаления, выплавки наполнителя кривизна панели не изменилась, как ранее и предполагалось. На текущем этапе технологические припуски удалили путем прямолинейного фрезерования вдоль плоских ребер.

Кривизна панели возросла на величину пружинения и стала равной кривизне матрицы 1/350 мм

($f = 0,46$; линия тренда). Распределение кривизны выравнивалось при удалении заряда и изменении его вида (линейно-сферический). Краевой эффект снижался, а переход полотна панели к ребру сглаживался. На рис. 3 представлена экспериментальная панель перед удалением припусков. Анализ энергоемкости процессе показал, что она не велика по сравнению с вытяжкой и даже малые и распределенные заряды могут деформировать крупногабаритные панели большой высоты.

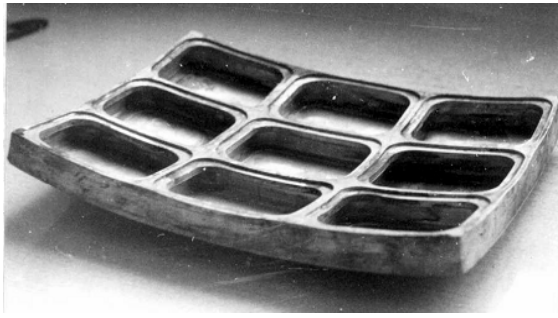


Рис. 3. Отштампованная панель двойной кривизны из материала Д16

Вывод

Таким образом, можно утверждать, что для толщин заготовки более 15 мм, схема «метания» передающей среды с использованием изолирующих

прокладок более эффективна, чем прямая схема, а для исключения откола полотна от наполнителя она не имеет себе равных.

Следует также заметить, что предложенная технология может быть использована и для других, статических методов нагружения-прессовой штамповки.

Литература

1. Пихтовников Р.В. Штамповка листового металла взрывом / Пихтовников Р.В., Завьялова В.И. – М.: Машиностроение, 1964. – 175 с.

2. Розробка безбасейнової технології штампування вибухом оболонок подвійної кривини: звіт по темі № ДЗ / 69-2006, (МИНТ- 15/06); рук. Борисевич В.К.; исп. Молодых С.І., Третьяк В.В., Павиченко В.П. Харьков, 2007. – 135 с., Г.Р. № 0106U006055.

Поступила в редакцию 2.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Я. Мовшович, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков

ПРОЕКТУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІМПУЛЬСНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ФРЕЗЕРОВАНИХ ПАНЕЛЕЙ ПОДВІЙНОЇ КРИВИЗНИ

С.І. Молодих, В.В. Третьяк, Л.С. Молодих

Досліджений і апробований спосіб імпульсного штампування панелей подвійної кривизни. Для забезпечення рівномірного розгону всіх частин панелі, виключення випереджаючого переміщення полотна, посилення зони сполучення, підвищення стійкості ребер і поліпшення можливостей управління пружиння на панелі при фрезеруванні ребер виконувалися спеціальні виступи. Положення виступів щодо нейтральної осі і величина перетину визначалися розрахунком залежно від пружної деформації, характеристик металу і кривизни панелі. Проведені експерименти на масштабній моделі панелі подвійної кривизни з перетинами близькими до реальних. Запропонована технологія може бути використаний для статичних методів навантаження – пресового штампування.

Ключові слова: імпульсне штампування, панелі подвійної кривизни, ударна хвиля, фрезерована заготовка, спеціальні виступи.

PROBLEMS OF MULTIFACTOR DESIGN OF IMPULSIVE PROCESSES AT MAKING OF SHELLS DOUBLE CURVATURE

S.I. Molodiyh, V.V. Tretyak, L.S. Molodiyh

It is explored and approved method of the impulsive stamping of panels of double curvature. For providing of even acceleration of all parts of panel, exceptions of the anticipatory staging of linen, strengthening of area of interface, the rises of stability of ribs and improvement of possibilities of management on a panel at milling of ribs were executed the special ledges. Position of ledges in relation to a neutral axis and size of section were determined by computation depending on resilient deformation, descriptions of metal and curvature of panel. The experiments on the scale model of panel of double curvature with the sections near to the real are conducted. The offered technology can be used for the static methods of loading – press stamping.

Key words: impulsive stamping, panels of double curvature, shock wave, milled purveyance, special ledges.

Молодых Сергей Иванович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник МИНТ Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mai:lmint_xai@ Rambler.ru.

Третьяк Владимир Васильевич - канд. техн. наук, докторант кафедры производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mai: lmint_xai@ Rambler.ru.

Молодых Людмила Сергеевна – аспирант кафедры программного обеспечения Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mai: lmint_xai@ Rambler.ru.