

Чубченко С.М.

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". Украина, Харьков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДКРЕПЛЕННОЙ ОСНАСТКИ ОБОЛОЧЕЧНОГО ТИПА С ЗАДАНЫМ РЕСУРСОМ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анотація

Розроблено методику проектування композиційного підкріпленого оснащення із заданим ресурсом для формування виробів оболонкового типу із полімерних композиційних матеріалів. Алгоритм визначення залишкових деформацій ґрунтується на застосуванні до системи формотворча поверхня + пакет, що формується розрахункової схеми тонких несиметричних оболонок з урахуванням реологічних процесів, що з'являються під час формування. Задача розв'язується перебором по товщині формотворчої поверхні та кількості підкріплення. Проведено дослідження залежностей оптимальних параметрів оснащення від вхідних даних.

Abstract

The technique of designing composite equipments with stiffened elements with the specified life for formation of shell details from composite materials is developed. The algorithm of definition of residual deformations is based on application to system a forming surface + moldable package of the model of thin asymmetrical shells which accounted rheological processes proceeding during molding. The problem is solved by search on thickness of a forming surface and on number of stiffen elements. Analysis of dependences of optimum parameters of equipment from the initial data is carried out.

Введение

В условиях сегодняшней экономики, когда стоимость производственных площадей и топливно-энергетических затрат значительно возросла, и их доля в себестоимости изготавливаемой продукции, тем более изделий аэрокосмической техники, превысила ранее установившиеся в мировой практике критерии, вопросы поиска новых конструкционных материалов приобрели особую актуальность. Внедрение композиционных материалов (КМ) в различные отрасли промышленности основывается на высоких прочностных и жесткостных характеристиках, а также низком, по отношению к металлам, весе. Для удовлетворения

требований, предъявляемых к деталям из КМ, необходимы не только рациональная конструкция формообразующей оснастки (ФО), но и возможность ее реализации в производстве с заданной точностью. Постоянство заданных размеров, легкость сборки и установки оснастки, достаточная жесткость каркаса, экономичность, технологичность и малый вес конструкции — главные требования, предъявляемые при проектировании формообразующего оборудования.

В литературе предлагается множество способов проектирования оснастки, однако, в большинстве источников [1–3] представлены обзорные вопросы, а проектирование проводится при больших допущениях, сводящихся к упрощенным моделям. Поэтому создание полномасштабной методики проектирования оснастки является актуальной задачей, и данная работа посвящена ей.

Постановка задачи

Как правило, конструкция формообразующей оснастки представляет собой: формообразующую поверхность (ФП) 1 оболочечного типа, лежащую на жестком многоячеечном каркасе 2 (рис. 1). Подкрепляющий элемент (рис. 2) сделан из металла, и его жесткость существенно превышает жесткость контурозадающего элемента оснастки (КЗЭО) для обеспечения условия недеформируемости каркаса. Подкрепляющие элементы к оснастке крепятся таким образом, чтобы выполнялось условие механического соединения. Минимальная толщина КЗЭО принимается равной двум толщинам монослоя.

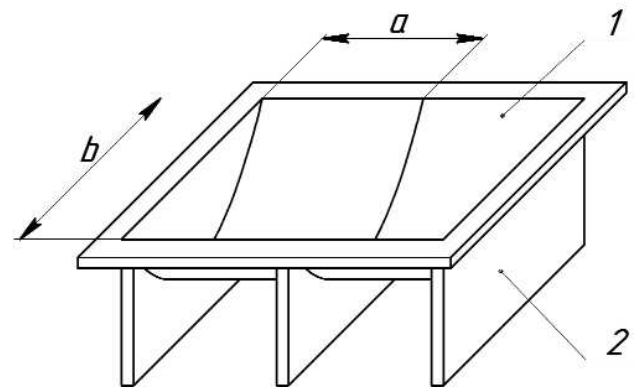


Рис. 1. Подкрепленная оснастка

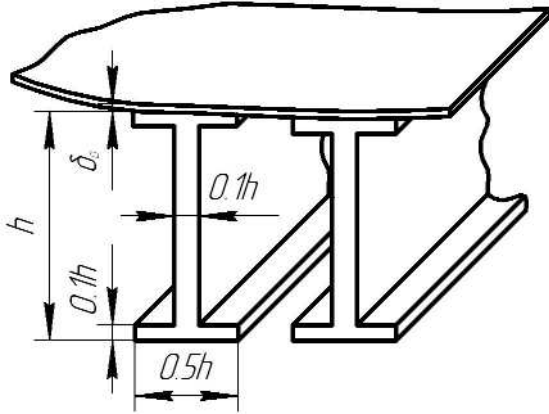


Рис. 2. Элемент жесткости

При подъеме температуры в автоклаве пакет из КМ и ФП начинают расширяться (или сужаться) в соответствии со своими коэффициентами линейного температурного расширения (КЛТР). Вследствие различия этих КЛТР КМ стремится сдвинуться относительно ФП, однако, этому препятствует сила трения, возникающая между ФП и КМ. Для дальнейших исследований будем считать, что сила трения достаточна для обеспечения отсутствия проскальзывания КМ относительно ФП (что обычно имеет место [4]). Вследствие этого, в КМ и ФП будут возникать температурные напряжения. Эти напряжения можно определить, рассматривая систему КМ + ФП как слоистую пластину, получившую приращение температуры. Поскольку пластина (КМ + ФП) не симметрична относительно своей срединной плоскости, возникновение температурных напряжений будет сопровождаться ее изгибом. Известно, что при длительном нагружении при повышенной температуре возникает явление ползучести материала. Поэтому, система КМ + ФП в некоторых случаях процесса формования не вернется в исходное (недеформированное) состояние, иными словами, она будет иметь некоторый остаточный прогиб. При каждом последующем формовании ФП будет получать аналогичный прогиб, следовательно, после прохождения n циклов формования остаточный прогиб ФП составит:

$$w_{ост} = w_{ост}^0 n. \quad (1)$$

После того как остаточный прогиб превысит допустимый прогиб формуемой детали, считаем, что ресурс ФО исчерпан.

Пусть N — заданное число циклов формования, тогда для обеспечения заданного ресурса ФО остаточный прогиб после одного цикла формования не должен превышать величины $w_{дон}/N$, где $w_{дон}$ — допустимый прогиб формуемой детали. В качестве критерия проектирования

следует выбрать условие минимума массы ФО, который обеспечивает снижение теплоемкости и стоимости оснастки.

Для изготовления большинства конструкций используются тонколистовые оснастки, которые позволяют получать сложную форму детали, а также обеспечивают равномерный прогрев по всему изделию. Поэтому расчетная схема представляет собой две композиционные пластины размером $A \times B$ с толщинами δ_1, δ_2 — соответствующие толщинам ФП оснастки и детали. Деформирование происходит совместно под действием постоянного температурного поля, которое заменяется действием моментов и растягивающих нагрузок. Нижняя пластина шарнирно опирается по контуру (рис. 3).

Система координат принята таким образом, чтобы плоскость xu совпала с нижней плоскостью оснастки; начало координат совмещено с точкой середины основания оснастки. Ось y направлена по ширине пластины, а ось x — по длине, ось z — вертикально вверх.

Для определения остаточного прогиба необходимо знать максимальный действительный и упругий прогиб ФО, так как остаточный прогиб находится как их разность

$$w_{ост} = w_{max} - w_{упр} \quad (2)$$

Следовательно, алгоритм определения ресурса проектируемой оснастки сводится к определению упругого и максимального прогибов. Вычисление полного прогиба отличается от вычисления упругого прогиба учетом ползучести материала оснастки и формуемого пакета.

Проектирование ФО

В предыдущих работах [5–6] было показано, что проектирование гладкой оснастки не является оптимальным вариантом конструкции оснастки по массе, именно поэтому была предложена методика проектирования металлической подкрепленной оснастки [6]. Замена металлической ФП на композиционную позволяет удовлетворять не только условию минимума массы, а также экономичности и технологичности. С единства этих позиций проектируемая оснастка оболочеч-

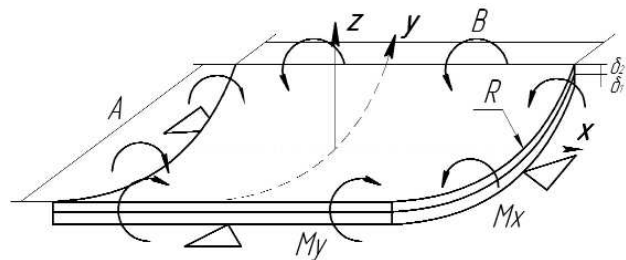


Рис. 3. Расчетная модель

ного типа будет рассматриваться как тонколист-
овая ФП, подкрепленная металлическими реб-
рами.

В работе [6] был предложен алгоритм расчета
ресурса подкрепленной плоской композиционной
оснастки, построенный на определении остаточ-
ного прогиба ФП. Однако при переходе к оснаст-
ке для формования деталей оболочечного типа
алгоритм получил некоторые изменения.

Представим перемещения в виде,
удовлетворяющем геометрическим и статическим
условиям:

$$\begin{aligned} u &= (y^2 - b^2)(A_1 + A_2x + A_3y + A_4x^2 + \\ &\quad + A_5y^2 + A_6x^3 + A_7y^3), \\ v &= (x^2 - a^2)(B_1 + B_2x + B_3y + B_4x^2 + \\ &\quad + B_5y^2 + B_6x^3 + B_7y^3), \\ w &= (x^2 - a^2)(y^2 - b^2)(C_1 + C_2x + C_3y + C_4x^2 + \\ &\quad + C_5y^2 + C_6x^3 + C_7y^3), \end{aligned} \quad (3)$$

где a, b — размеры ячейки оснастки,

A_i, B_i, C_i — неизвестные коэффициенты, опре-
деляемые из условия минимума полной энергии
системы:

$$\begin{aligned} U &= \iint_s (N_x - B_{T1})\varepsilon_x + (N_y - B_{T2})\varepsilon_y + N_{xy}\gamma_{xy} + \\ &+ (M_x - D_{T1})\chi_x + (M_y - D_{T2})\chi_y + M_{xy}\chi_{xy} ds \rightarrow 0, \end{aligned} \quad (4)$$

При этом моменты и силы, действующие в
системе, будут равны [8]:

$$\begin{aligned} N_x &= B_{11}\varepsilon_x + B_{12}\varepsilon_y + C_{11}\chi_x + C_{12}\chi_y - B_{T1}, \\ N_y &= B_{12}\varepsilon_x + B_{22}\varepsilon_y + C_{12}\chi_x + C_{22}\chi_y - B_{T2}, \\ N_{xy} &= B_{33}\gamma_{xy} + C_{33}\chi_{xy}, \\ M_x &= C_{11}\varepsilon_x + C_{12}\varepsilon_y + D_{11}\chi_x + D_{12}\chi_y - D_{T1}, \\ M_y &= C_{12}\varepsilon_x + C_{22}\varepsilon_y + D_{12}\chi_x + D_{22}\chi_y - D_{T2}, \\ M_{xy} &= C_{33}\gamma_{xy} + D_{33}\chi_{xy}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\chi_x, \chi_y, \chi_{xy}$ — кривизна ФП:

$$\begin{aligned} \chi_x &= \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \chi_y = \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \\ \chi_{xy} &= -\frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial x} - 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \end{aligned} \quad (6)$$

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}$ — деформации ФП:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{w}{R}, \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}, \quad (7)$$

R — радиус кривизны; B_{mn}, C_{mn}, D_{mn} —
мембранные, смешанные, изгибные жесткости;
 B_{Tn}, D_{Tn} — мембранные и изгибные температурные
коэффициенты:

$$\begin{aligned} B_{mn} &= \sum_{i=1}^k b_{mn}^i (z_i - z_{i-1}), C_{mn} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k b_{mn}^i (z_i^2 - z_{i-1}^2), \\ D_{mn} &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^k b_{mn}^i (z_i^3 - z_{i-1}^3), B_{Tn} = \Delta T \sum_{i=1}^k a_{Tn}^i (z_i - z_{i-1}), \end{aligned} \quad (8)$$

$$D_{Tn} = \frac{\Delta T}{2} \sum_{i=1}^k a_{Tn}^i (z_i^2 - z_{i-1}^2); m, n = 1..3; i = 1..k,$$

b_{mn}^i, a_{mn}^i — жесткостная и температурная состав-
ляющая i -го слоя формуемого пакета [9]:

$$\begin{aligned} b_{11}^i &= \bar{E}_{1i} \cos^4 \varphi_i + 2\bar{E}_{1i}\mu_{21i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \\ &\quad + \bar{E}_{2i} \sin^4 \varphi_i + G_{12i} \sin^2 2\varphi_i, \\ b_{12}^i &= b_{21}^i = (\bar{E}_{1i} + \bar{E}_{2i}) \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \\ &\quad + \bar{E}_{1i}\mu_{21i} (\sin^4 \varphi_i + \cos^4 \varphi_i) - G_{12i} \sin^2 2\varphi_i, \\ b_{22}^i &= \bar{E}_{1i} \sin^4 \varphi_i + 2\bar{E}_{1i}\mu_{21i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \\ &\quad + \bar{E}_{2i} \cos^4 \varphi_i + G_{12i} \sin^2 2\varphi_i, \\ b_{31}^i &= b_{13}^i = \sin \varphi_i \cos \varphi_i (\bar{E}_{1i}(1 - \mu_{21i}) \cos^2 \varphi_i - \\ &\quad - \bar{E}_{2i}(1 - \mu_{12i}) \sin^2 \varphi_i) - 2G_{12i} \cos 2\varphi_i, \end{aligned} \quad (9)$$

$$b_{33}^i = (\bar{E}_{1i} + \bar{E}_{2i} - 2\bar{E}_{1i}\mu_{21i}) \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + G_{12i} \cos^2 2\varphi_i,$$

$$b_{32}^i = b_{23}^i = \sin \varphi_i \cos \varphi_i (\bar{E}_{1i}(1 - \mu_{21i}) \sin^2 \varphi_i -$$

$$- \bar{E}_{2i}(1 - \mu_{12i}) \cos^2 \varphi_i) + 2G_{12i} \cos 2\varphi_i,$$

$$a_{T1}^i = \alpha_{1i} \bar{E}_{1i} (\cos^2 \varphi_i + \mu_{21i} \sin^2 \varphi_i) +$$

$$+ \alpha_{2i} \bar{E}_{2i} (\sin^2 \varphi_i + \mu_{12i} \cos^2 \varphi_i),$$

$$a_{T2}^i = \alpha_{1i} \bar{E}_{1i} (\sin^2 \varphi_i + \mu_{12i} \cos^2 \varphi_i) +$$

$$+ \alpha_{2i} \bar{E}_{2i} (\cos^2 \varphi_i + \mu_{21i} \sin^2 \varphi_i),$$

$$a_{T3}^i = \sin \varphi_i \cos \varphi_i (\alpha_{1i} \bar{E}_{1i} (1 - \mu_{21i}) - \alpha_{2i} \bar{E}_{2i} (1 - \mu_{12i})),$$

k — количество слоев в формуемом пакете,
 z_i — высота от начальной поверхности до рас-
сматриваемого слоя в формуемом пакете,

δ_i, φ_i — толщина и угол укладки i -го слоя в
формуемом пакете,

μ_{12i}, μ_{21i} — коэффициенты Пуассона i -го слоя,
зависящие от коэффициентов Пуансона волокна
 μ_{bi} и матрицы μ_{mi} композита:

$$\mu_{12i} = \mu_{bi} \cdot \theta_i + \mu_{mi} \cdot (1 - \theta_i), \quad (10)$$

θ_i — процентное содержание волокна в i -ом
слое,

$\bar{E}_{1i}, \bar{E}_{2i}$ — приведенные модули упругости i -го слоя
в формуемом пакете, зависящие от модулей упру-
гости волокна E_{bi} и матрицы E_{mi} :

$$\begin{aligned} \bar{E}_{1i} &= \frac{E_{bi} \cdot \theta_i + E_{mi} \cdot (1 - \theta_i)}{1 - \mu_{bi} \cdot \mu_{mi}}; \\ \bar{E}_{2i} &= \frac{E_{bi} \cdot E_{mi}}{(1 - \mu_{bi} \cdot \mu_{mi}) \cdot (E_{mi} \cdot \theta_i + E_{bi} \cdot (1 - \theta_i))}, \end{aligned} \quad (11)$$

G_{12i} — модуль сдвига, определяемый через
сдвиговые модули волокна G_{bi} и матрицы G_{mi}
композита:

$$G_{12i} = \frac{G_{bi} \cdot G_{mi}}{(G_{mi} \cdot \theta_i + G_{bi} \cdot (1 + \mu_{bi} \cdot \mu_{mi}))}, \quad (12)$$

α_{1i}, α_{2i} — КЛТР i -го слоя в формуемом пакете, определяемые через КЛТР волокна α_{bi} и матрицы α_{mi} композита:

$$\alpha_{1i} = \frac{E_{bi} \cdot \alpha_{bi} + E_{mi} \cdot \alpha_{mi} \cdot (1 - \theta_i)}{E_{bi} \cdot \theta_i + E_{mi} \cdot (1 - \theta_i)},$$

$$\alpha_{2i} = \frac{((\alpha_{bi} + \alpha_{mi}(1 - \theta_i))(E_{bi} \theta_i + E_{mi}(1 - \theta_i)))}{E_{bi} \theta_i + E_{mi}(1 - \theta_i)} + \frac{\theta_i(1 - \theta_i)(\alpha_{mi} - \alpha_{bi})(E_{bi} \mu_{mi} - E_{mi} \mu_{bi})}{E_{bi} \theta_i + E_{mi}(1 - \theta_i)}. \quad (13)$$

Формуемый пакет является слоистым материалом, и определение общих характеристик пакета идет через характеристики слоя, которые зависят от свойств волокон и связующего, входящих в состав монослоя [9]. Кроме того, для определения полного прогиба важно учесть влияние ползучести на упругие характеристики материалов ФП оснастки и детали. Поведение компонентов композиционного материала при выдержке под высокой температурой неодинаково. Температура отверждения не вызывает пластических деформаций в волокне, что нельзя сказать о связующем. В литературе [10–12] приводится множество вариантов учета ползучести материала, но все они сводятся к общему диапазону поправочного коэффициента упругости — $\lambda = 0,7..0,9$. Умножая данный коэффициент на модуль упругости материала связующего, получаем его новое значение с учетом явления высокотемпературной ползучести. Повторив расчет по формулам (3–13) получим максимальное значение полного прогиба — w_{max} . Подставив полученные значения прогибов в формулу (2) и (1), определим возможное количество съемов с анализируемой оснастки. В случае про-

ектирования гладкой оснастки заданного ресурса необходимо задать количество допустимых формовок детали, и решая обратную задачу приведенного алгоритма, можно определить минимальную толщину ФП.

Задача проектирования подкрепленной оснастки решается перебором по размерам ячейки ФП относительно ребер жесткости, расположенных вдоль и поперек. Начальные значения толщины ФП выбираются из условия обеспечения оптимальности для гладкой оснастки заданного ресурса при максимальном размере оснастки, равного габаритам изделия. При изменении количества ребер по направлениям (уменьшением размера ячейки) определяется новая толщина ФП и высота ребер жесткости. При выбранных конструктивных параметрах, определяется масса оснастки. Перебором количества ребер жесткости до предельного значения толщины ФП, можно выявить наиболее выгодные по массе варианты конструкции оснастки.

По методике, приведенной выше, рассмотрим пример расчета композиционной (материал № 2 в таблице 1) панельной и оболочечного типа оснастки для формования деталей с габаритными размерами $A \times B \times 1,28$ мм из материала № 1. Оснастка проектируется на ресурс 20 съемов. Максимальное заданное значение подкрепляющих элементов по продольному (А) и поперечному (В) направлениям оснастки — 30:30 шт. Представим зависимость сторон ФП оснастки через $k = A/B$, при первоначальном $B = 1000$ мм. Радиус кривизны соответствует половине А.

Из рис. 4 видно, что при увеличении габаритов оснастки толщина КЗЭО возрастает, как для гладкой панельной, так и для гладкой оболочечной оснастки, что ведет за собой увеличение массы оснастки (рис. 5).

Таблица 1

№ (КМ)	$E_1, ГПа$	$E_2, ГПа$	$G_{12}, ГПа$	μ_{12}	$\alpha_1, 10^{-6}/К$	$\alpha_2, 10^{-6}/К$	$\delta_0, мм$
1(углепластик)	100	10	6	0,35	0	30	0,08
2(стеклопластик)	24	16	4	0,26	12	16	0,25

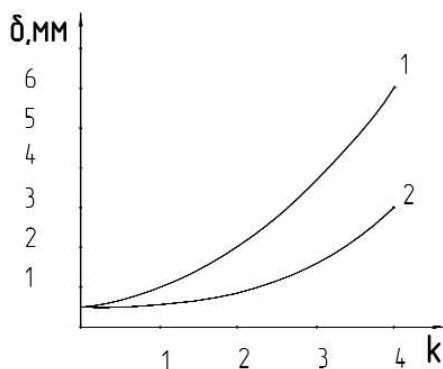


Рис. 4. Зависимость толщины ФП гладкой оснастки от габаритов детали:
1 — панельная ФП; 2 — оболочечная ФП

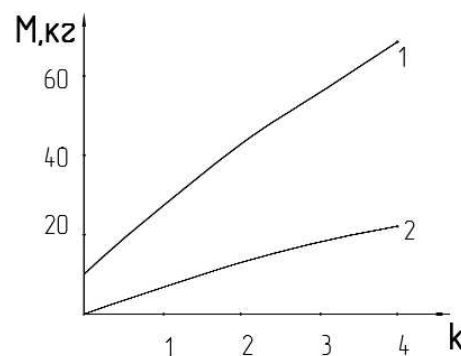


Рис. 5. Зависимость массы ФП гладкой оснастки от габаритов детали:
1 — панельная ФП; 2 — оболочечная ФП

Однако масса оснастки, а также толщина ее КЗЭ у панельной оснастки больше. При введении подкрепляющих элементов жесткости характер графиков зависимости толщины от размеров изготавливаемой детали изменяется (рис. 6). Скачок, возникающий в случае нехватки подкрепляющих элементов хотя бы по одному из направлений, в панельной оснастке наблюдается еще на малых габаритах детали. В то время как для оснастки оболочечного типа скачок появляется много позже и его амплитуда меньше чем у панельной оснастки.

При расчете подкрепленной оснастки выявлено, что с увеличением ее размеров, масса оснастки возрастает: в зоне скачка — за счет увеличения толщины ФП, в регулярной зоне — за счет увеличения количества подкрепляющих элементов (рис. 7). Кроме того, для обеспечения необходимой жесткости оснастки с ФП оболочечного

типа, элементов жесткости требуется вдвое меньше, чем для панельной оснастки.

С увеличением радиуса кривизны параметры оснастки оболочечного типа будут приближаться к плоской оснастке, и панельная оснастка будет иметь большую массу и более громоздкую конструкцию оснастки (таблица 2).

Таким образом, анализ результатов вышеприведенной методики показал, что:

1. Для уменьшения массы оснастки (толщины, количества подкрепляющих элементов) направление кривизны и большего модуля упругости ФП должны быть взаимно перпендикулярны.

2. При уменьшении радиуса кривизны до значения равного половине изгибаемой стороны необходимость постановки подкрепляющих элементов по окружности отпадает.

3. Для снижения массы оснастки лучше выбрать позитивную ФП, чем негативную.

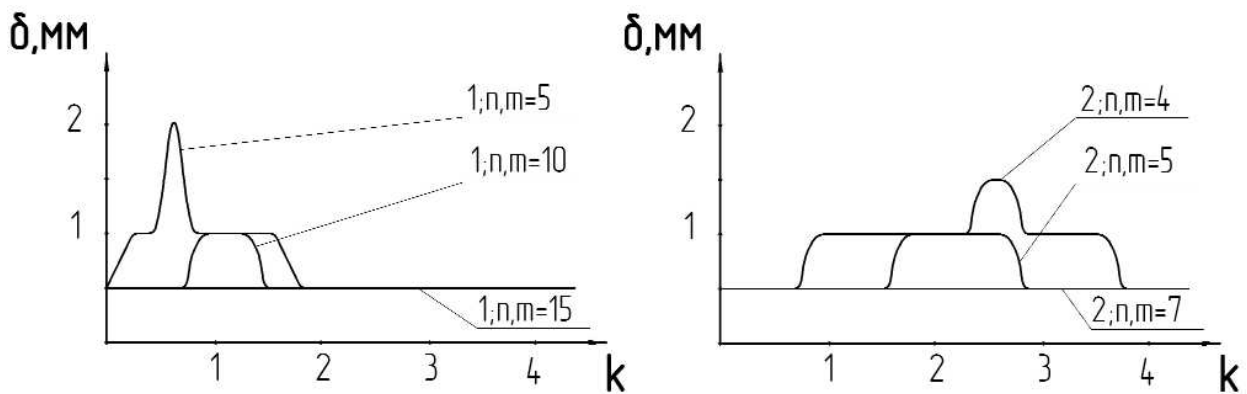


Рис. 6. Зависимости толщины ФП подкрепленной оснастки от габаритов детали:
1 — панельная ФП; 2 — оболочечная ФП

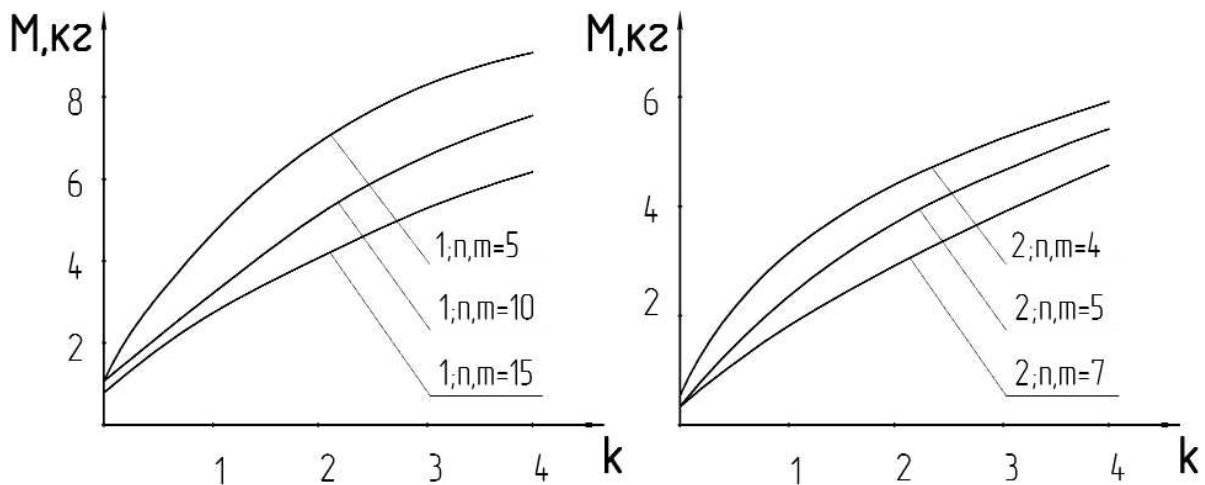
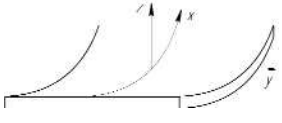
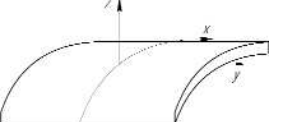
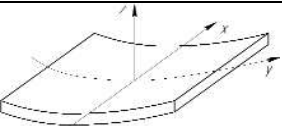
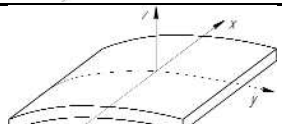


Рис. 7. Зависимости массы ФП подкрепленной оснастки от габаритов детали:
1 — панельная ФП; 2 — оболочечная ФП

Таблица 2

	Направление кривизны (знак кривизны)		R, мм	δ, мм	M, кг	m:n, шт
	оболочка	по x (+)		500	0,5	4,15
1000				0,5	4,30	7:2
2000				0,5	5,07	9:3
20000				0,5	5,44	10:3
по x (-)			500	0,5	4,05	6:2
			1000	0,5	4,27	6:2
			2000	0,5	5,05	9:3
			20000	0,5	5,44	10:3
по y (+)			500	0,5	3,92	2:2
			1000	0,5	4,33	2:4
			2000	0,5	4,95	3:5
			20000	0,5	5,21	3:7
по y (-)		500	0,5	3,87	2:2	
		1000	0,5	4,30	2:3	
		2000	0,5	4,95	3:6	
		20000	0,5	5,22	3:7	
пластина	-	-	∞	0,5	5,63	12:3

Литература

1. Боголюбов В.С. Расчет тонкостенных конструкций оснастки из КМ // *Механика композитных материалов*. – Рига, № 6, 1989. – С. 851–862.
2. Савин А.Г., Игнатенко Г.К. Роль оснастки в обеспечении заданного теплового воздействия на конструкции из КМ при автоклавном формовании // *Авиационная промышленность*. – М.: 1985. – № 5. – С. 988–997.
3. Амиро И.Я., Заруцкий В.А. Теория ребристых оболочек – К.: "Наукова думка", 1980. – 367 с.
4. Шевцова М.А. Разработка эффективных способов совершенствования основных технологических процессов производства элементов авиационных конструкций из ПКМ. – Дисс. к.т.н. – Х.: "ХАИ", 1995. – 183 с.
5. Чубченко С.М., Шевцова М.А. Проектирование тонколистовой оснастки с заданным ресурсом для формования изделий из КМ // *Авиа-*

- ционно-космическая техника и технология – Х.: 2006. – № 4. – С. 11–17.
6. Чубченко С.М. Проектирование подкрепленной оснастки с заданным ресурсом для формования изделий из КМ // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов* – Х.: 2006. – № 4(47). – С. 79–86.
7. Васильев В.В. Механика конструкционных КМ – М.: "Машиностроение", 1988. – 271 с.
8. Карпов Я.С. Механика композиционных материалов: Учебное пособие. – Х.: "ХАИ", 2001. – 122 с.
9. Безухов Н.И. Примеры и задачи по теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: "Высшая школа", 1965. – 320 с.
10. Зубчаников В.Г. Основы теории упругости и пластичности. – М.: "Высшая школа", 1990. – 368 с.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. – М.: "Наука", 1965. – 202 с.

ОСНАСТКА, ИНСТРУМЕНТ, ОБОРУДОВАНИЕ