

УДК 629.7.023

М. Е. ХАРЧЕНКО

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ, ТЕРМОНЕРАВНОВЕСНОСТИ И ФОРМОСТАБИЛЬНОСТИ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ ОБШИВОК И ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С УГЛЕСОТОПЛАСТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Проведен комплекс исследований самоуравновешенного технологического напряженно-деформированного состояния, возникающего после высокотемпературного формования обшивок из углепластика и трехслойных панелей с углесотопластом термонеровесной структуры на базе конечно-элементных моделей. Приводятся результаты взаимосвязей напряженности, формостабильности и термонеровесности структуры обшивок и трехслойных панелей, сформированных из монослоев различных схем армирования и толщины. Показано, что толщина монослоев не влияет на уровень максимальной напряженности, в то время как формостабильность существенно снижается пропорционально суммарной толщине вследствие увеличения жесткости обшивки.

Ключевые слова: обшивки и трехслойные панели, углепластик, углесотопласт, технологическое напряженно-деформированное состояние, конечноэлементные модели, напряженность, формостабильность.

Введение

Как показано в работах [1–4], специфическим требованием к конструкциям, эксплуатируемым в условиях открытого космоса, является их формо-размеростабильность при силовых и температурных воздействиях.

Наиболее полно отвечают этим требованиям изделия из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе углеродных волокон, обладающих высокой удельной жесткостью и прочностью, низким коэффициентом линейного температурного расширения при рациональном выборе конструктивно-технологических решений агрегата, включающих схемы армирования, структуры слоев, технологию формования и тип конструкции [5–7]. В этом классе изделий широко используются трехслойные панели с углесотопластовым наполнителем [3, 5–6].

Особенностью обшивок и трехслойной панели в целом является тот или иной уровень напряженно-деформированного состояния (НДС), возникающего в процессе их изготовления и эксплуатации – напряженность, снижающая несущую способность конструкции при силовых и температурных воздействиях. Напряженность и формостабильность взаимосвязаны между собой и с термонеровесностью структуры изделия.

В связи с этим, ниже, на основе конечноэлементных математических моделей, успешно апробированных нами ранее, проведены исследования

этих взаимосвязей для обшивок из углепластика и трехслойных панелей с углесотопластом.

Постановка задачи

Поиск рационального варианта конструкции обшивки возможен в рамках регламентированного критерия совершенства (как правило, это минимум массы) при конструктивных параметрах толщины монослоя δ_1 и угла армирования его в пакете φ_1 , которые удовлетворяют ограничениям по уровню напряженности ψ и формостабильности W . Уровень напряженности конструкции ψ в основном зависит от характеристик материала монослоя и внешних воздействий.

При технологических воздействиях НДС многослойной обшивки зависит от способа ее формования.

Для холодного отверждения характерно отсутствие технологического НДС и нарушения геометрических характеристик обшивки. При эксплуатационных нагрузках ψ и W определяются только эксплуатационными внешними воздействиями, граничными условиями, внешней геометрией конструкции и характеристиками распределения материала δ_1, φ_1 .

Для горячего отверждения технологическое НДС определяется режимом отверждения (ΔT), характеристиками материала монослоя и распределением материала φ_1 .

При эксплуатации НДС изделия складывается из суммы трех НДС: технологического σ_T , которое присутствует в конструкции при отсутствии внешних воздействий на нее и является следствием технологического процесса получения изделия, силового эксплуатационного σ_{Σ}^C и силового теплового σ_{Σ}^T .

Технологическое воздействие при горячем отверждении может быть смоделировано равномерным охлаждением конструкции на перепад температур ΔT от температуры формования до нормальной температуры.

В качестве базового варианта рассматривается обшивка размерами 500x500 мм, состоящая из двух монослоев $\delta = 0,12$ мм, подверженная охлаждению на температуру $\Delta T = 100^\circ\text{C}$.

Коэффициентом напряженности является численное значение критерия прочности Хилла [10]

$$\psi = \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_{B1}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{B2}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{xy}}{\tau_{B12}} \right)^2 - \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_{B1}^2}, \quad (1)$$

где σ_x , σ_y , τ_{xy} и σ_{B1} , σ_{B2} , τ_{B12} - соответственно напряжения, действующие в осях ортотропии ПКМ и пределы прочности однонаправленного монослоя вдоль и поперек армирования в его плоскости.

В качестве показателя (уровня) формостабильности принято максимальное линейное перемещение в поперечном направлении W .

Характеристики материала монослоя приняты равными приведенным в работе [11]:

- модуль упругости при растяжении вдоль волокон $E_1 = 100$ ГПа;

- модуль упругости поперек волокон $E_2 = 10$ ГПа;

- модуль сдвига $G_{12} = 6$ ГПа;

- коэффициент Пуассона $\mu_{12} = 0,35$;

- коэффициент температурного линейного расширения вдоль волокон $\alpha_1 = 0$;

- коэффициент температурного линейного расширения поперек волокон $\alpha_2 = 30 \cdot 10^{-6} 1/\text{град}$;

- предел прочности при растяжении вдоль волокон $\sigma_{B1}^{\oplus} = 900$ МПа;

- предел прочности при сжатии вдоль волокон $\sigma_{B1}^{-} = 700$ МПа;

- предел прочности при растяжении поперек волокон $\sigma_{B2}^{\oplus} = 500$ МПа;

- предел прочности при сжатии поперек волокон $\sigma_{B2}^{-} = 120$ МПа;

- предел прочности при сдвиге $\tau_{B12} = 75$ МПа.

Моделирование производилось с использованием конечноэлементного пакета многослойными четырехузловыми элементами.

Результаты исследований

1. В качестве базовой структуры обшивки рассматривается укладка монослоев под углами $\varphi = 0^\circ$, 90° . Толщина клеевого слоя не учитывалась.

Максимальные коэффициенты напряженности ψ и уровни формостабильности W в двухслойной обшивке при различных углах укладки монослоев при заневоленном в оснастке и освобожденном из нее состоянии (здесь и далее – закрепление на все степени свободы в центральном узле) приведены в табл. 1, а картины ее деформирования показаны на рисунке.

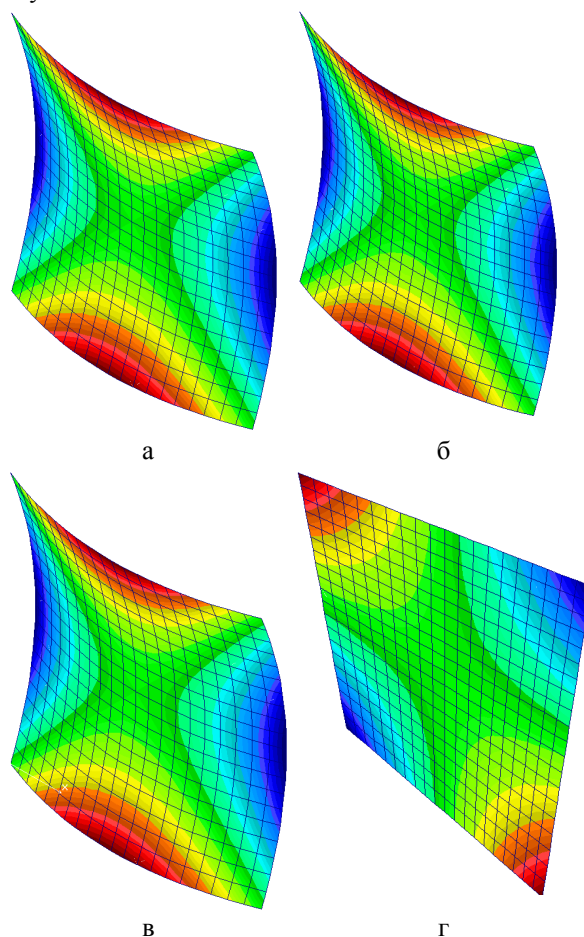


Рис. Картина деформированного состояния обшивки при различных углах укладки монослоев после освобождения из оснастки:

а – $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$; б – $\varphi = \pm 15^\circ$;

в – $\varphi = \pm 30^\circ$; г – $\varphi = \pm 45^\circ$

2. Влияние толщины монослоев на технологическое НДС обшивки. В качестве базовой структуры обшивки рассматривалась укладка монослоев под углами $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$. В табл. 2 приведены максималь-

ные коэффициенты напряженности и уровни формостабильности при различных толщинах монослоев двухслойной обшивки в заневоленном и освобожденном состояниях.

Таблица 1

Максимальные коэффициенты напряженности и уровни формостабильности двухслойной обшивки при различных углах укладки монослоев в заневоленном и свободном состоянии

Углы укладки	Заневоленное состояние		Свободное состояние	
	Ψ_{\max}	W_{\max} , мм	Ψ_{\max}	W_{\max} , мм
0°, 90°	0,052	0	0,033	387
±15°	0,0144			387
±30°	0,04			387
±45°	0,0477			775

Таблица 2

Максимальные коэффициенты напряженности и уровни формостабильности двухслойной обшивки при различной толщине монослоев в заневоленном и свободном состоянии

Толщина монослоев, мм	Заневоленное состояние		Свободное состояние	
	Ψ_{\max}	W_{\max} , мм	Ψ_{\max}	W_{\max} , мм
0,06	0,052	0	0,033	775
0,12				387
0,2				194

3. Влияние размеров обшивки на технологическое НДС обшивки.

3.1. В качестве базовой структуры обшивки рассматривается толщина монослоев $\delta=0,12$ мм, укладка монослоев под углами $\varphi=0^\circ, 90^\circ$.

Для панели размерами 500x500 мм получено:

– в заневоленной обшивке максимальный коэффициент напряженности $\psi=0,052$ ($W=0$);

– в освобожденной из оснастки обшивке $\psi=0,033$; $W=387$ мм.

Для панели размерами 1000x1000 мм имело место:

– в заневоленной обшивке максимальный коэффициент напряженности $\psi=0,052$ ($W=0$);

– в освобожденной из оснастки обшивке $\psi=0,033$; $W=1550$ мм.

3.2. Для обшивки размерами 500x500 мм состоящей из шести монослоев подверженной охлаждению на температуру $\Delta T=100^\circ\text{C}$ при укладке монослоев под углами $\varphi=\pm 45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, \mp 45^\circ$, получено:

– в заневоленной обшивке максимальный коэффициент напряженности $\psi=0,186$ ($W=0$);

– в освобожденной из оснастки обшивке $\psi=0,049$; $W=28,2$ мм;

– для свободно опертой по кромкам обшивки (монтаж на каркас) $\psi=0,048$; $W=0,434$ мм.

4. Формирование трехслойной панели с углестопластовым наполнителем. В случае сборки, состоящей из двух обшивок, углестопласта (УСП) и клеевых слоев, использована модель слоистой пластины. Характеристики монослоя, как и ранее, приняты в соответствии с работой [11]. Характеристики УСП соответствуют приведенным в [8]: $a_c=5$ мм; $h=10$ мм; схема армирования УСП $\pm 45^\circ$; $E_3=2,68$ ГПа; $G_{13}=1210$ МПа; $G_{23}=842$ МПа.

Остальные недостающие характеристики приняты такими: $E_1=100$ МПа; $E_2=100$ МПа; $G_{12}=100$ МПа; $\mu_{12}=0,1$; $\alpha_1=0$; $\alpha_2=0$; $\sigma_{B1}^{\oplus}=0,5$ МПа; $\sigma_{B1}^{-}=0,5$ МПа; $\sigma_{B2}^{\oplus}=0,5$ МПа; $\sigma_{B2}^{-}=0,5$ МПа; $\tau_{B12}=0,25$ МПа.

Для клеевого слоя характеристики приняты в соответствии с приведенными в работе [13]: $E_1=3,5$ ГПа; $G_{12}=1,46$ ГПа; $\mu_{12}=0,2$; $\alpha_1=0$; $\alpha_2=0$.

Остальные характеристики приняты такими: $\sigma_{B1}^{\oplus}=20$ МПа; $\sigma_{B1}^{-}=20$ МПа; $\sigma_{B2}^{\oplus}=20$ МПа; $\sigma_{B2}^{-}=20$ МПа; $\tau_{B12}=20$ МПа.

Трехслойная панель размерами 500x500 мм рассматривалась в соответствии со следующей КСС:

– толщина монослоев $\delta=0,12$ мм и схема их армирования $0^\circ; 90^\circ$;

– высота УСП $h=10$ мм; схема армирования УСП $\pm 45^\circ$;

– толщина клеевого слоя $\eta=0,12$ мм.

Анализ НДС этой трехслойной панели как термоморавновесной структуры с последовательностью расположения монослоев, клея и УСП ($[0^\circ, 90^\circ, \text{клей}, \text{УСП}, \text{клей}, 90^\circ, 0^\circ]$), так и термонравновесной ($[0^\circ, 90^\circ, \text{клей}, \text{УСП}, \text{клей}, 0^\circ, 90^\circ]$) показал, что изменение коэффициентов напряженности по слоям заневоленной и освобожденной из оснастки панели одинаково (табл. 3).

4.1. В случае высокомодульного (жесткого) клея с характеристиками [12]: $E_1=15,6$ ГПа; $G_{12}=6,5$ ГПа; $\mu_{12}=0,2$; $\alpha_1=0$; $\alpha_2=0$ и остальными характеристиками, равными $\sigma_{B1}^{\oplus}=20$ МПа; $\sigma_{B1}^{-}=20$ МПа; $\sigma_{B2}^{\oplus}=20$ МПа; $\sigma_{B2}^{-}=20$ МПа; $\tau_{B12}=20$ МПа), получены также результаты, выявившие одинаковый характер изменения в занево-

ленной конструкции и свободной максимального коэффициента напряженности по слоям (табл. 4, укладка $[0^\circ, 90^\circ, \text{клей}, \text{УСП}, \text{клей}, 90^\circ, 0^\circ]$).

Таблица 3

Изменение коэффициента напряженности по слоям заневоленной и свободной трехслойной панели

Номер слоя	ψ
1	0,048
2	0,048
3	0,005
4	0,0055
5	0,005
6	0,048
7	0,048

Таблица 4

Изменение коэффициента напряженности по слоям заневоленной и свободной трехслойной панели

Номер слоя	ψ
1	0,05
2	0,05
3	0,079
4	0,004
5	0,079
6	0,05
7	0,05

4.2. В случае сборки, состоящей из двух обшивок, УСП и клеевых слоев, которыми соединяются обшивки с наполнителем, и использовании для УСП модели массива, а для обшивок – модели многослойной обшивки, для характеристик монослоя, УСП и клея, приведенных выше, получены следующие результаты.

В заневоленной конструкции максимальный коэффициент напряженности по слоям приведен в табл. 5 (укладка $[0^\circ, 90^\circ, \text{клей}, \text{УСП}, \text{клей}, 90^\circ, 0^\circ]$).

Таблица 5

Коэффициент напряженности по слоям заневоленной конструкции

Номер слоя	ψ
1	0,048
2	0,048
3	0,005
4	0,005
5	0,005
6	0,048
7	0,048

Для освобожденной из оснастки конструкции коэффициент напряженности по слоям приведен в табл. 6 (укладка $[0^\circ, 90^\circ, \text{клей}, \text{УСП}, \text{клей}, 90^\circ, 0^\circ]$).

Для освобожденной из оснастки конструкции изменение коэффициента напряженности по слоям идентично приведенному в табл. 6.

Таблица 6

Коэффициент напряженности по слоям свободной конструкции

Номер слоя	ψ
1	0,05
2	0,05
3	0,05
4	0,0075
5	0,05
6	0,05
7	0,05

5. Исследование термонеровесных обшивок размерами 500x500 мм, состоящих из шести монослоев с различными толщинами. Для обшивок с различными толщинами монослоев значения ψ одинаковы и приведены в табл. 7.

Таблица 7

НДС тонкой обшивки в зависимости от термонеровесности ξ структуры ПКМ

Граничные условия	Структура обшивки	$[\pm 45^\circ; 0^\circ; 0^\circ; \mp 45^\circ]$	$[\pm 45^\circ; 0^\circ; 90^\circ; \mp 45^\circ]$	$[45^\circ; 0^\circ; -45^\circ; -45^\circ; 90^\circ; 45^\circ]$	$[0^\circ; \pm 45^\circ; \mp 45^\circ; 90^\circ]$	
	ξ	0	0,167	0,334	0,5	
Заневоленная	ψ_z	0,048	0,048	0,048	0,05	
	ψ_c	0,048	0,049	0,055	0,047	
Свободная	W, мм	$\delta = 0,02$ мм	0	169	342	346
		$\delta = 0,03$ мм	0	109	228	227
		$\delta = 0,06$ мм	0	56	114	115
		$\delta = 0,12$ мм	0	28	57	58

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы по соответствующим пунктам результатов.

1. В освобожденной из оснастки обшивке коэффициент напряженности сохраняется, снижаясь для случая, рассмотренного в п.1 в 2,575 раза.

2. При различных углах укладки структуры из двух монослоев в заневоленном состоянии обшивки после формования и охлаждения на $\Delta T=100^\circ\text{C}$ коэффициент напряженности сначала снижается в 3,6 раза при переходе от структуры $[0^\circ, 90^\circ]$ к структуре $[\pm 15^\circ]$, а затем снова возрастает, приближаясь при структуре $[\pm 45^\circ]$ к значению структуры $[0^\circ, 90^\circ]$, оставаясь ниже нее в 1,09 раза. При этом формостабильность W остается постоянной до структуры $[\pm 45^\circ]$, при которой она снизилась в 2 раза.

3. Толщина монослоев не влияет на уровень максимальной напряженности в заневоленной и свободной обшивках, в то время как формостабильность существенно снижается пропорционально суммарной толщине вследствие увеличения жесткости обшивки.

4. Напряженность не изменяется при пропорциональном изменении размеров панели, в то время как ее формостабильность с ростом размеров растет.

5. В исследованных пределах уровней термонеровновесности трехслойной структуры панели коэффициент напряженности в слоях остается постоянным, а формостабильность остается абсолютной ($W=0$) у панели, извлеченной из оснастки.

Характеристики высокомодульного клея не приводят к изменению выводов о характере деформирования панели, однако уровень термонапряженности в клее существенно растет (в 15 раз) по сравнению с низко модульным клеем.

6. У обшивок, состоящих из одинакового числа монослоев различной толщины и степени термонеровновесности ξ (0; 0,167; 0,384; 0,5) в заневоленном состоянии уровень напряженности ψ одинаков, а в свободном состоянии изменяется в пределах 12...17 % от наибольшей величины.

При этом формостабильность снижается, приближаясь при степени термонеровновесности $\xi=0,5$ к постоянному значению вследствие роста жесткости пакета при соответствующем увеличении его толщины. Так, при увеличении толщины монослоя и общей толщины пакета в 6 раз, формостабильность при $\xi=0,5$ увеличивается в 8 раз.

Литература

1. Халиманович, В. И. Сотовые конструкции для космических аппаратов связи и навигации: опыт проектирования и изготовления [Текст] / В. И. Халиманович, Ф. К. Синьковский, Н. Н. Ишенина // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов III междунар. науч.-практич. конф., Днепропетровск 27 – 29 мая 2009 г. Укр. НИИ технологии машиностроения. – Днепропетровск, 2009. – С. 161 – 171.

2. Лихачев, А. Н. Проблемы моделирования размеро- и формостабильных конструкций из композиционных материалов с учетом особенностей технологии их изготовления [Электронный ресурс] / А. Н. Лихачев // Тр. 1-ой междунар. науч.-практич. конф. «Компьютерные технологии в проектировании и производстве конструкций из композиционных материалов». 7 – 8 апреля 2009 г. – СПб. : СП ЗАО «Би Питон». – 32 с. – Режим доступа: <http://www.bee-piton.ru/VOLENMEN.pdf>. – 1.12.2012.

3. Перспективы создания размеростабильных прецизионных конструкций космического назначения [Текст] / В. А. Коваленко, А. М. Потапов, Л. М. Потапович и др. // Перспективы космических исследований Украины: сб. статей. – К. : Академперіодика, 2011. – С. 202 – 205.

4. Сотовые конструкции космических аппаратов [Текст] / М. Г. Добрушина, В. В. Кавун, Ю. А. Кореннов и др. // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов IV междунар. науч.-практич. конф., Днепропетровск 1 – 3 июня 2011 г. Укр. НИИ технологии машиностроения. – Днепропетровск, 2011. – С. 123 – 129.

5. Соты на основе углеродного наполнителя для космической техники [Текст] / В. И. Сливинский, В. Е. Гайдачук, А. В. Кондратьев, В. В. Гаврилко, М. Е. Харченко // Решетневские чтения: сб. материалов XVI междунар. науч. конф. – Красноярск : 7 – 9 ноября 2012. – Ч. 1. – С. 89 – 91.

6. Carbon honeycomb plastics as light-weight and durable structural material [Text] / V. I. Slyvynskiy, A. I. Alyamovskiy, A. V. Kondratjev, M. E. Kharchenko // 63-th International Congress 2012. – Naples, Italy. – IAC-12, C2, 4, 6. – P. 1 – 11.

7. Харченко, М. Е. Обзор и анализ состояния разработки формостабильных композитных конструкций космического назначения [Текст] / М. Е. Харченко // Системні технології. Регіональний міжзுவівський збірник наукових праць. – Вип. 4(87). – Дніпропетровськ, 2013. – С. 180 – 186.

8. Гайдачук, Определение рациональной схемы армирования углесотопласта при помощи МКЭ-поддержки [Текст] / В. Е. Гайдачук, В. И. Сливинский, А. В. Кондратьев, М. Е. Харченко // Системні технології. Регіональний міжзுவівський збірник наукових праць. – Вип. 2(79). – Дніпропетровськ, 2012. – С. 3 – 12.

9. Сливинский, В. И. Влияние схемы армирования наполнителя на свойства углестопласта [Текст] / В. И. Сливинский, А. В. Кондратьев, М. Е. Харченко // Композиционные материалы: междунар. науч.-техн. сб. – 2012. – Т. 6. – № 1. – С. 33 – 40.

10. Композиционные материалы [Текст]: справ. / под ред. Д. М. Карпиноса. – К.: Наукова думка, 1985. – 592 с.

11. Коваленко, В. А. Исследование температурного напряженно-деформированного состояния композитных панелей при различной степени термодинамической устойчивости их структуры [Текст] / В. А. Коваленко, А. В. Кондратьев, А. А. Кичка // Во-

просы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2 (70). – Х., 2012. – С. 20 – 33.

12. Карпикова, О. А. Технологические методы повышения функциональных свойств сотовых заполнителей и конструкций из полимерных композиционных материалов для изделий авиакосмической техники пособие [Текст] / О. А. Карпикова // Эффективность сотовых конструкций из изделий авиационно-космической техники: сб. материалов V междунар. науч.-практич. конф., Днепропетровск 5 – 6 июня 2013 г. – Днепропетровск, 2013. – С. 129 – 137.

Поступила в редакцию 7.10.2013, рассмотрена на редколлегии 11.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. проектирования ракетно-космических аппаратов В. Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОСТІ, ТЕРМОНЕУРІВНОВАЖЕНОСТІ І ФОРМОСТАБІЛЬНОСТІ ВУГЛЕПЛАСТИКОВИХ ОБШИВОК І ТРИШАРОВИХ ПАНЕЛЕЙ З ВУГЛЕСОТОПЛАСТОВИМ ЗАПОВНЮВАЧЕМ КОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

М. Є. Харченко

Проведено комплекс досліджень самоурівноваженого технологічного напружено-деформованого стану, що виникає після високотемпературного формування обшивок з вуглепластика і тришарових панелей з вуглестільнікопластом термонерівноважної структури на базі скінченоелементних моделей. Приводяться результати взаємозв'язків напруженості, формостабільності і термонерівноважності структури обшивок і тришарових панелей, сформованих з моношарів різних схем армування, товщини. Показано, що товщина моношарів не впливає на рівень максимальної напруженості, тоді як формостабільність істотно знижується пропорційно сумарній товщині внаслідок збільшення жорсткості обшивки.

Ключові слова: обшивки і тришарові панелі, вуглепластик, вуглестільнікопласт, технологічний напружено-деформований стан, скінченоелементні моделі, напруженість, формостабільність.

TENSION, THERMAL NONEQUILIBRIUM AND DIMENSIONSTABILITY OF CARBON FIBER SKINS AND SANDWICH PANELS WITH HONEYCOMB CARBON FIBER SPACE PURPOSES RESEARCH

M. E. Kharchenko

Complex of studies self-balanced technological the stress-strain state that occurs after high temperature-forming of carbon fiber skins and sandwich panels with honeycomb carbon fiber thermal nonequilibrium structure based on finite element model was held. The results of the relationship of tension, dimensionstability and thermal nonequilibrium structures skin and sandwich panels formed from monolayers of various schemes of reinforcement, thickness are given. It is shown that the thickness of the monolayer is not affected by the maximum intensity level, while substantially dimensionally stable reduced proportionally by increasing the total thickness of the plating hardness.

Keywords: skin and sandwich panels, carbon fiber, honeycomb carbon fiber, process stress-strain state, finite element model, tension, dimensionstability

Харченко Максим Евгеньевич – аспирант каф. технологии производства летательных аппаратов, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина