

структуры и гибкость) и пригодна для изготовления удерживающего устройства методом намотки непосредственно на металлический корпус.

Отличительной особенностью арамидного слоисто-тканого материала является то, что с целью снижения массы и повышения реализации баллистической стойкости ткани, соединение слоев ткани осуществляли не по всей поверхности, а локальными зонами (рис. 3).

Баллистическую стойкость арамидного слоисто-тканого материала различной структуры определяли на баллистическом измерительном комплексе ОАО «НИИ стали». Материал подвергали высокоскоростному удару стальным шариком массой 1 г, диаметром 6,35 мм из баллистического ствола калибром 7 мм по ГОСТ РВ 8470-001–2008 с определением v_{50} – скорости 50%-ного непробития (скорости шарика, при которой вероятность непробития преграды составляет 50%). Установлено, что в арамидном слоисто-тканом материале площадь зон соединения должна составлять 10–25% поверхности слоев. Реализация баллистической стойкости ткани в составе слоистого материала возрастает с 89 до 97% при уменьшении площади зон соединения со 100 до 10%.

Арамидный слоисто-тканый материал (также как органопластик ВКО-2ТВ) не является полностью монолитным композитом и содержит арамидные волокна, не защищенные связующим от воздействия факторов внешней среды, поэтому для обеспечения эксплуатационной надежности этих материалов разработаны способы защиты, включающие нанесение систем покрытий на основе эмалей ВЭ-69 и ФП-566 и применение пленочного герметика марки ВГМ-Л.

Таким образом, исследование особенностей разрушения арамидных органопластиков при низкоскоростном и высокоскоростном ударном воздействии подтверждает, что определяющее значение для ударной стойкости органопластиков имеет структура композита. Органопластики ВКО-2ТВ и арамидный слоисто-тканый материал, структура которых принципиально отличается от структуры традиционных композиционных материалов (частичное отсутствие монолитности, высокая степень армирования и т.д.), имеют повышенную в 3–4 раз стойкость к ударному воздействию по сравнению с типовыми конструкционными органопластиковыми материалами, но уступают им по конструкционной жесткости. Дальнейшее совершенствование структуры ударостойких арамидных органопластиков (использование принципа градиентной жесткости, оптимизация состава и т.д.) позволит разработать композиты, сочетающие в себе бронезащитные и конструкционные функции, и расширить область применения этих материалов.

*Г.М. ГУНЯЕВ, Л.В. ЧУРЦОВА,
О.А. КОМАРОВА, А.Г. ГУНЯЕВА*

КОНСТРУКЦИОННЫЕ УГЛЕПЛАСТИКИ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ

Наномодифицированные композиты на основе волокнистых армирующих наполнителей и полимерных связующих, содержащих в составе наночастицы, предназначены для использования в высоконагруженных и особо ответственных изделиях авиационной, ракетно-космической, атомной, энергетической и машиностроительной промышленности.

Учитывая высокую стоимость наночастиц и затраты, связанные с усложнением технологии производства таких нанокompозитов, обусловленные необходимостью диспергирования наночастиц и равномерного распределения их в объеме матрицы, использование такого рода модифицирования целесообразно в случае существенного повышения комплекса механических и эксплуатационных свойств нанокompозитов, или придания им дополнительно специальных физических характеристик. Вполне очевидно, что использование технологии наномодифицирования полимерных композитов экономически наиболее эффективно в случае введения в их состав минимального количества наночастиц. Вследствие этого весьма актуальным является проведение исследований по зависимости свойств волокнистых полимерных композитов от содержания в составе матрицы наночастиц и определения их минимального количества, обеспечивающего достижение оптимального комплекса свойств.

Целью данного исследования являлось установление зависимости физико-химических и механических свойств угленанокompозитов от содержания в составе эпоксидных матриц равномерно распределенных по их объему углеродных наночастиц астраленов марки HTS, определение оптимальной концентрации их в составе, разработка технологии получения угленанокompозита и изучение его упруго-прочностных, эксплуатационных свойств и ресурсных характеристик.

Используемые для модификации углепластиков астралены марки HTS представляют собой многослойные углеродные тороидальные наночастицы фуллероидного типа [1], изготавливаемые способом плазменно-дугового синтеза с последующей физико-химической обработкой. Производятся астралены в виде однородного порошка черно-серого цвета, содержание углерода в котором 99,99%. Характеристики астраленов марки HTS: индивидуальные линейные размеры частиц 50–150 нм, насыпная плотность 0,6–0,8 г/см³, пиктометрическая плотность 2–2,2 г/см³, межслоевое расстояние графеновых слоев $0,342 \pm 0,00035$ нм, рН водной суспензии 6–7, термоустойчивость (температура интенсивной потери массы на воздухе) 497 ± 10 °С, удельное электрическое сопротивление при давлении 120 МПа не более $2,5 \cdot 10^{-4}$ Ом·см. Они обладают анизотропией формы, высокой поверхностной энергией, электропроводностью, системой делокализации электронов. В зонах с неоднородным потенциалом астралены поляризуются и превращаются в диполи с моментом до 1000 Дб. Поле этих диполей влияет на взаимодействие высокоэнергетической твердой фазы (наполнитель) и низкоэнергетической фазы (матрица). Это приводит к увеличению адгезионного взаимодействия фаз, снижению сопротивления в зазорах между проводящими твердыми фазами и повышению плотности вещества окружающей среды в приграничной области. Поле ван-дер-ваальсовых сил астраленов воздействует на все структурные неоднородности модифицируемых систем. Большие, легко поляризуемые сообщества делокализованных электронов, характерные для несимметричных объемных углеродных кластеров фуллероидного типа, придают астраленам способность находить «удобные» в термодинамическом смысле позиции. В структуре углепластиков эти позиции как раз представляют собой структурные дефекты (поры, нарушения сплошности, полости свободного объема), связывание свободной энергии в которых способствует повышению термодинамической устойчивости системы, росту ее сопротивляемости внешнему силовому или термическому

воздействию. Астралены могут выполнять роль проводящих и армирующих элементов наноуровня, а также функцию физического стоппера микротрещин.

Поскольку в процессе производства астраленов они подвергаются обработке в азотной и серной кислотах, их поверхности окисляются и активизируются. На них образуются функциональные группы, типичные для окисленного углерода: С–СООН, С–ОН, С–О–С. Это придает им определенную химическую активность.

Углеродные наночастицы, обладая высокой удельной поверхностью и поверхностной энергией, чрезвычайно склонны к агрегированию. При этом они теряют большую часть своей активности. В этой ситуации дезинтеграция наноматериала, равномерное объемное распределение наночастиц, мобилизация их активного взаимодействия с объектом наномодифицирования (матрица и граница раздела с волокном) являются наиболее проблемными этапами нанотехнологии.

Трудность равномерного распределения связана не только с энергетическими особенностями углеродных наночастиц, но также с их склонностью к процессу седиментации в жидкой и вязкой средах. Эффективным и доступным средством преодоления седиментации углеродных наночастиц в вязких олигомерах является их обработка ультразвуком. При этом одновременно происходит и дезинтеграция частиц наноматериала с образованием суспензии. Режим обработки необходимо регламентировать, чтобы не допустить механодеструкции исходных компонентов.

Технологический процесс изготовления наномодифицированных углепластиков включает следующие операции.

– Дезинтеграция астраленов в среде растворителя с помощью погружаемого ультразвукового излучателя. Получение суперконцентрата: суспензии с высокой концентрацией астраленов.

– Изготовление связующих на основе модифицированных эпоксидных олигомеров и отвердителей введением в их состав суспензий астраленов в растворителе в количестве, необходимом для достижения требуемой концентрации.

– Пропитка тканей углеродных наполнителей наномодифицированным связующим.

– Сушка препрегов. Удаление растворителя.

– Раскрой препрегов и выкладка в пакеты в соответствии с требуемой схемой армирования.

– Формование и отверждение пакетов по ступенчатым температурно-временным режимам, уточненным по результатам кинетических и реологических исследований связующих и препрегов.

В качестве связующих угленанокомпозитов использованы растворы связующего ЭНФБ-2М, содержащего астралены NTS в количестве от 0 до 3% от массы отвержденной матрицы. Армирующим наполнителем служили равнопрочные углеродные ткани УТ-900-3К (РФ) и ткани арт. 3692 фирмы «Porcher Ind.» (Франция).

На образцах препрега связующего ЭНФБ-2М и углеродной ткани УТ-900-3К с концентрацией астраленов 0,01; 0,1; 0,5; 1,5 и 3% (по массе) определяли их свойства: концентрацию астраленов, массовые доли связующего и летучих, текучесть препрега.

Влияние изменения содержания наночастиц астралена в составе препрега на протекание реакции отверждения и изменения реологических

свойств связующего ЭНФБ-2М в препреге оценивалось по результатам термического анализа (ДСК) и термомеханического анализа (ТМА). Анализ ДСК проводили на калориметре DSK 822 с определением температуры начала реакции отверждения (T_0 , °С), температуры пика (T_m , °С), теплового эффекта реакции отверждения (ΔH , Дж/г)*.

На образцах углепластика определяли температуру стеклования (T_g , °С) и упруго-прочностные свойства: прочность при растяжении (σ_B , МПа), прочность при межслоевом сдвиге (τ_B , МПа) (методом изгиба короткой балки), модуль упругости при различных температурах испытаний (E , ГПа).

Реологические свойства связующего ЭНФБ-2М в составе препрега в процессе отверждения исследовали методом термомеханического анализа (ТМА) при нагревании в интервале температур от 25 до 200°С со скоростью 5°С/мин под действием переменной сжимающей нагрузки с частотой 1 Гц. Минимальное значение нагрузки 0,1 Н (максимальное: 0,3 Н). В качестве показателей, характеризующих реологические свойства, были выбраны температура гелеобразования при нагревании в указанных условиях ($T_{гел}$, °С), максимальное значение динамического модуля упругости (E' , МПа), характеризующее жесткость образцов при переходе связующего в состояние устойчивого геля, и минимальное значение динамического модуля потерь (E''), отражающего внутреннее трение (вязкую составляющую) в отверждающейся композиции. Полученные результаты приведены в табл. 1–4.

Таблица 1

Технологические характеристики препрегов углепластиков на основе равнопрочной углеродной ткани УТ-900-3К и связующего марки ЭНФБ-2М с различным содержанием астраленов NTS в его составе

Концентрация астраленов, %	Массовая доля связующего	Массовая доля летучих	Текучесть препрега, %
	% (по массе)		
0	41,9	1,5	18,2
0,01	42,0	1,7	11,9
0,1	44,8	1,9	12,6
0,5	44,9	2,1	14,4
1,5	43,9	1,8	14,4
3,0	43,6	1,7	–

Технологические характеристики препрегов на основе равнопрочной углеродной ткани УТ-900-3К и связующего марки ЭНФБ-2М, модифицированного УНЧ (астраленами) различных концентраций, приведены в табл. 1.

Результаты анализа ДСК, приведенные в табл. 2, показывают, что с увеличением содержания наночастиц астраленов в составе препрега температура начала реакции отверждения и температурный максимум

* В экспериментальной части работы принимали участие В.М. Алексашин и В.А. Большаков.

не изменяются, что свидетельствует об отсутствии каталитического или ингибирующего влияния наночастиц астраленов на протекание реакции отверждения связующего ЭНФБ-2М. При этом тепловой эффект реакции отверждения связующего увеличивается, достигая максимума в 316 Дж/г в интервале концентраций астраленов 0,5–1,5%.

Таблица 2

Параметры протекания реакции отверждения связующего в препрегах на основе углеродной ткани УТ-900-3К и связующего ЭНФБ-2М с различным содержанием астраленов NTS в его составе

Содержание астраленов в связующем, %	Температура начала отверждения препрега T_0	Температурный максимум T_m	Тепловой эффект реакции отверждения компонента ΔH_k	Тепловой эффект реакции отверждения связующего ΔH_c	Температура стеклования T_c , °C
	°C		Дж/г		
0	132,5	161,0	141,0	302,4	201,0
0,01	132,0	161,7	126,8	300,5	206,0
0,1	133,0	162,0	141,0	312,0	217,5
0,5	131,5	160,2	131,3	316,0	226,2
1,5	131,0	160,5	132,0	316,0	207,4
3,0	132,0	160,0	158,0	341,0	209,0

В результате исследований процесса отверждения методом ТМА установлено, что введение в состав связующего ЭНФБ-2М углеродных наночастиц астраленов в количестве от 0,01 до 3% (по массе) изменяет его реологические свойства. Увеличение концентрации наночастиц приводит к незначительному (на 3°C) снижению температуры гелеобразования при достижении максимальной концентрации и увеличению значений динамического модуля упругости образованного геля при концентрации астраленов >0,5%. При этом происходит монотонное увеличение логарифмического коэффициента механических потерь, что свидетельствует о снижении подвижности сегментов полимерных молекул, и, как следствие, повышению внутреннего трения. Упруго-вязкостные свойства образующегося геля начинают возрастать при достижении концентрации астраленов значения 0,5%.

Значение температуры стеклования углепластика проходит через максимум, соответствующий концентрации астралена 0,5% (рис. 1), при этом ее значение увеличивается на 13%, достигая значения 226,2°C. При дальнейшем увеличении концентрации астраленов температура стеклования понижается до 208°C и стабилизируется на этом значении.

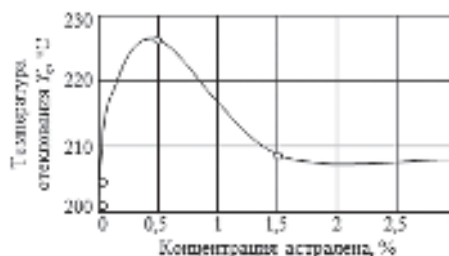


Рис. 1. Зависимость температуры стеклования угленанокмпозитов от содержания астралена NTS в составе связующего ЭНФБ-2М

Механические свойства углепластиков (пределы прочности при сжатии и межслоевом сдвиге), взятые для оценки эффективности воздействия наночастиц на свойства углекомпозиата, увеличиваются в диапазоне исследуемых концентраций до 1,5% при температурах испытаний от 20 до 150°C, проходя через максимум при концентрации 0,5%. В случае испытаний при 20°C предел прочности при сжатии увеличивается на 49%.

Таблица 3

Изменение упруго-вязкостных характеристик и температуры гелеобразования при увеличении содержания астраленов NTS в составе матрицы связующего ЭНФБ-2М

Содержание астраленов, %	Максимальный модуль упругости E'	Динамический модуль потерь E''	Минимальный модуль упругости E'_{min}	Температура гелеобразования $T_{гел}$, °C
	МПа			
0	0,45	0,0450	0,16	149
0,01	0,47	0,0551	0,15	148
0,1	0,45	0,0554	0,15	150
0,5	0,53	0,0461	0,14	147
1,5	0,51	0,0557	0,14	147
3,0	0,51	0,0636	0,15	147

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

- введение углеродных наночастиц астраленов в состав эпоксидных связующих (в частности связующего ЭНФБ-2М) оказывает влияние на протекание реакции их отверждения;
- зависимости изменения реологических, термодинамических характеристик отверждаемого связующего и упруго-прочностных свойств

Таблица 4

Механические свойства углепластиков на основе углеродной ткани УТ-900-3К и связующего ЭНФБ-2М с различным содержанием наночастиц астраленов NTS в связующем

Содержание астраленов, %	Предел прочности, МПа					
	при сжатии			при межслоевом сдвиге		
	при температуре, °C					
	20	80	150	20	80	150
0	382	366	282	25	23	20
0,01	410	380	285	26,5	24	21
0,1	430	385	295	28	25	21,5
0,5	515	420	305	30	27	23
1,5	472	412	295	26	25	22
3,0	462	350	282	25,5	24	21

углепластиков от количества вводимых в их состав астраленов носят экстремальный характер. Экстремум наблюдается при концентрации астраленов ~0,5%.

Объяснением этому факту может служить предположение о вторичной агломерации наночастиц астраленов марки NTS в растворах полимерных связующих. В результате вторичной агломерации наночастицы астраленов, диспергированные под ультразвуковым воздействием на отдельные наночастицы или кластерные образования, объединяются в агломераты, размер которых превышает наномасштаб. Увеличение размеров агломератов приводит к существенному уменьшению их удельной поверхности и поверхностной энергии. Этому способствует и понижение концентрации химически активных групп, образующихся на поверхности астраленов при кислотной обработке на стадии очистки от примесей, и как следствие – вероятность образования ковалентных и ван-дер-ваальсовых связей при взаимодействии астраленов, образующих кластеры и агломераты, между собой и с функциональными группами полимерных связующих.

С достижением агломератами некоего критического размера процесс агрегации замедляется. Стабилизируются размеры агломератов, величина их удельной поверхности и значение поверхностной энергии. Процессу стабилизации размеров агломератов в составе суспензии способствует повышенная вязкость раствора полимерного связующего, вследствие чего с увеличением размеров частиц уменьшается их подвижность. Увеличение расстояния между ними понижает вероятность их взаимодействия и степень агломерации.

По мере возрастания размеров агломератов наночастиц в составе суспензии понижается их количество в единице объема. Это приводит к снижению псевдоконцентрации суспензии и, следовательно, к снижению степени агломерации, что в совокупности с повышенной вязкостью растворов полимерных связующих приводит и к замедлению процесса седиментации и способствует стабилизации размеров агломератов.

На основании результатов проведенных исследований в ВИАМ разработан состав угленанокompозита, получившего марку ВКУ-18, и отработана технология его изготовления. На материал составлен паспорт и технологическая документация на его производство. В качестве компонентов для материала ВКУ-18 используются: связующее ЭНФБ-2М, равнопрочная ткань фирмы «Porcher Ind.» (арт. 3692) и наночастицы астралена в количестве 0,5% от массового содержания отвержденной матрицы.

С целью оценки эффективности модификации углепластиков углеродными наночастицами астралена производилось сравнение показателей его свойств с аналогом – углепластиком КМУ-4-2м-3692 на основе тех же компонентов: связующего ЭНФБ-2М, углеродной ткани арт. 3692, но не содержащего в составе наночастицы астраленов.

Результаты сравнения приведены в табл. 5 и на рис. 2.

Углепластик марки ВКУ-18 изготавливается методами прямого прессования и автоклавного формования препрегов по режиму с конечной температурой формования $175 \pm 5^\circ\text{C}$ при удельном давлении 0,7 МПа. Жизнеспособность препрега при хранении сохраняется в условиях хранения при 20°C в течение 6 мес.

Таблица 5

**Сравнительные свойства угленаполнителя ВКУ-18
и углепластика КМУ-4-2м-3692**

Свойства	Направление армирования в испытываемых образцах	Значения свойств углема-териала		Квота превос-ходства, %
		ВКУ-18	КМУ-4-2м-3692*	
Предел прочности при растяжении, МПа	[0°]	780	750	4
	[90°]	600	550	8
	[0°, 90°, ±45°]	640	490	23
Модуль упругости при растяжении, ГПа	[90°]	65,4	64	–
	[0°, 90°, ±45°]	55,5	45	–
Предел прочности при сжатии, МПа	[0°]	768	700	10
	[90°]	660	600	10
	[0°, 90°, ±45°]	450	405	11
Предел прочности при межслоевом сдвиге, МПа	[0°]	46	42	10
Предел прочности при сдвиге в плоскости листа, МПа	[±45°]	93	82	13
Рабочая температура, °С	–	170	120	42
Тропикостойкость после экспозиции в тропической камере в течение 3 мес, % сохранения свойств	[0°, 90°, ±45°]	96	55	41

* Не содержит в составе астраленов.

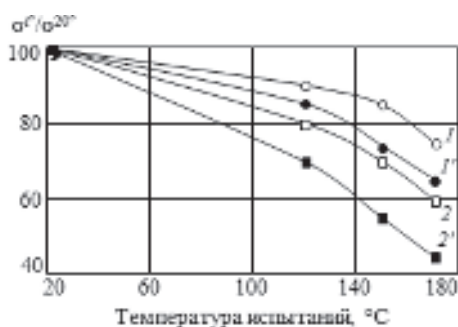


Рис. 2. Зависимость остаточной прочности σ^t/σ^{20} угленакомпозита ВКУ-18 (1 и 1') и углепластика КМУ-4-2м-3692 (2 и 2') при сжатии (1) и сдвиге (2) от температуры испытаний

Разработанный углепластик ВКУ-18 обеспечивает прочность при растяжении 700 МПа и модуль упругости 60 ГПа; при укладке [0°, 90°, ±45°] – длительную прочность на базе 500 ч: 450 МПа, малоцикловую усталость (при $R = -1$): 280 МПа, коэффициент теплопроводности (при рабочей температуре 170°С): 2,54 Вт/(м·К).

Углепластик марки ВКУ-18 обладает следующими квотами превосходства перед материалом-аналогом: повышенной рабочей температурой – на 42%, пределом прочности при растяжении при квазиизотропном армировании – на 22%, пределами прочности

при сжатии – на 11% и сдвиге – на 10%, пределом прочности при сдвиге в плоскости листа – на 13%, а также повышенными показателями эксплуатационных характеристик (тепловое старение – на 17%, тропикостойкость – на 41%).

По сравнению с материалом-аналогом углепластик обладает более высокими прочностными показателями при повышенных температурах: при температуре 170°C его прочность при сжатии выше на 54%, межслоевом сдвиге – на 32%, изгибе – на 20%, причем с повышением температуры испытаний степень увеличения прочностных свойств в зависимости от вида нагружения возрастает с 10–15% при комнатной температуре до 30–50% при температуре 170°C, при этом наиболее значительно возрастает прочность при сжатии. Приведенные на рис. 2 данные по сохранению уровня прочностных свойств при повышенных температурах показывают, что угленанокомпозит ВКУ-18 сохраняет более высокие значения: так, при температуре 170°C сохраняется 75% от прочности при температуре 20°C, в то время как для углепластика КМУ-4-2м-3692 только 45%. Темп снижения прочностных свойств с ростом температуры у углепластика КМУ-4-2м-3692 значительно выше.

Приведенные данные позволили установить для угленанокомпозита ВКУ-18 уровень рабочей температуры на 20°C выше, чем для углепластика КМУ-4-2м-3692. Высокий уровень сохранения механических свойств угленанокомпозита при длительном воздействии температуры подтвержден результатами теплового старения.

Угленанокомпозит ВКУ-18 с укладкой [0°, 90°, ±45°] сохраняет прочность неизменной в течение 2000 ч выдержки: 450 МПа при температуре испытаний 150°C и 380 МПа при испытаниях при температуре 170°C, что соответственно на 90–75 МПа выше, чем для углепластика КМУ-4-2м-3692.

Снижение разрыхленности материала матрицы, модифицированной наночастицами астраленов, повышение прочности упаковки сегментов полимерных цепей, увеличение количества узлов полимерной сетки приводит к снижению его свободного объема [3] и, как следствие, понижению водо- и влагопоглощения и насыщения влагой угленанокомпозита, что положительно сказывается на сохранении прочностных и других свойств углепластика КМУ-18 после экспозиции в камере тропиков.

Модифицированный угленанокомпозит ВКУ-18 после экспозиции в тропической камере в течение 3 мес сохраняет 95% прочности при сжатии при температуре 20°C и 87% при температуре 150°C, что говорит о высоком уровне его стабильности при термовлажностном воздействии.

Эффект повышения механических, эксплуатационных характеристик, теплостойкости и стабилизации значений свойств углепластиков при модифицировании их путем введения в состав матрицы углеродных наночастиц астраленов, был подтвержден на целом ряде углепластиков, таких как ВС-2526К/3692, ВС-2526К/УТ-900, ЭНФБ-2м/УТ-900, ПЦ-1Элур-П.

Материал рекомендован в авиационной промышленности для изготовления высоконагруженных агрегатов планера, подверженных ударам молниевых разрядов, – кессон и концевые части крыла, элементы управления, стабилизаторы, рули, отсеки фюзеляжа. Материал может эксплуатироваться при температурах от –60 до +170°C, в том числе при температуре +150°C в течение не менее 2000 ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев А.Н. Нанотехнология и наноструктурные материалы // Индустрия. 2002. № 1. С. 12.
2. Гуняев Г.М., Комарова О.А., Ильченко С.И., Алексахин В.М., Пономарев А.Н., Деев И.С., Никитин В.А. Фуллероидные наноматериалы – активные структурные модификаторы полимеров и полимерных композитов // Пластические массы. 2003. № 10. С. 15.
3. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Алексахин В.М. Модифицирование конструкционных углепластиков углеродными наночастицами // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. № 1. С. 5.

А.Е. РАСКУТИН, В.А. ГОНЧАРОВ

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПКМ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ

Одним из основных преимуществ полимерных композиционных материалов (ПКМ) является то, что материал, технология и конструкция создаются одновременно. Этим определяется высокая степень инноваций на всех этапах жизненного цикла материала и конструкции из него. В связи с этим требуется применение новых подходов к проектированию и созданию конструкций из ПКМ на основе сложных математических моделей и IT технологий. Для получения новых знаний о моделируемом объекте или для приближенной оценки поведения математических систем, слишком сложных для аналитического исследования, применяют компьютерное моделирование.

Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить так называемые вычислительные эксперименты в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий либо могут дать непредсказуемый результат. Компьютерные модели позволяют выявить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта – оригинала, в частности, исследовать «отклик» моделируемой физической системы на изменения ее параметров и начальных условий.

Моделирование технологии получения конструкций из ПКМ является эффективным инструментом решения многих актуальных задач, стоящих перед промышленностью сегодня, и позволяет значительно снизить материальные и временные затраты на создание и отработку новых изделий и технологий.

Первоначально композиционные материалы применялись в оборонной промышленности – авиа- и ракетостроении. Применение деталей из КМ ограничивалось высокой трудоемкостью проектирования и изготовления методами ручной выкладки, что, в свою очередь, обуславливало высокую стоимость изделий. По мере развития вычислительной техники стали возможны методы изготовления конструкции из КМ на укладочных и намоточных станках с ЧПУ. Стоимость изделия существенно снизилась, что привело к резкому росту применения КМ в самых различных областях: военная и гражданская авиация, космос и ракетостроение,