

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Комарова Валерия Андреевича на диссертацию Чэнь Янян на тему «Разработка методики оптимизации технологических режимов отверждения полимерного связующего при производстве деталей летательных аппаратов из композиционных материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

Актуальность темы. В настоящее время полимерные композиционные материалы применяются в конструкциях практически всех современных летательных аппаратов. Технологии формования зависят от свойств используемых материалов и геометрических особенностей конструкций, однако обязательной технологической операцией для всех конструкций является отверждение. Практический опыт использования традиционных технологий формования и освоение новых показывает, что продолжительность операции отверждения влияет на себестоимость конструкций, а не оптимально выбранные технологические режимы отверждения снижают механические характеристики. В процессе отверждения термореактивных связующих выделяется тепло, что необходимо учитывать при разработке режимов отверждения. Поэтому, для успешного внедрения в практику новых полимерных композиционных материалов и технологий их формования, необходимы глубокие междисциплинарные исследования, направленные на совершенствование технологических процессов изготовления таких сложнейших изделий, какими являются конструкции из полимерных композитов.

Поэтому работа Чэнь Янян, направленная на совершенствование процесса производства деталей летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов с учетом ряда технологических аспектов, безусловно, актуальна.

Достоверность и новизна выводов и результатов исследования

Полученные автором результаты и выводы по работе показывают, что все задачи, сформулированные в ходе проведенных научных исследований, полностью и успешно решены.

Научную новизну имеют следующие полученные автором результаты:

- 1) Разработана кинетическая и теплофизическая модели процесса перехода связующего из жидкого состояния в гелеобразное и твердое, которые позволяют учесть изменение агрегатного состояния используемого материала.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

25 10 20 21.

- 2) Разработана экспериментально-аналитическая методика учета влияния скорости процесса нагрева и тепловых эффектов на кинетику процесса отверждения.
- 3) Разработан алгоритм оптимизации продолжительности процесса отверждения, позволяющего сократить время изготовления изделий из полимерных композиционных материалов и исключить существенный перегрев отдельных участков конструкций.

Практическая значимость. В работе получены актуальные данные о влиянии степени отверждения на теплофизические свойства полимерной матрицы. В работе для конкретных конструкций ЛА определены оптимальные скорости нагрева в процессе отверждения, что позволило продемонстрировать на двух примерах из ракетной и авиационной техники выбор рациональных технологических режимов.

Таким образом, технологам предлагается инструмент для выявления резервов повышения качества композитов, армированных тканями или лентами.

Значимость выполненной работы для науки и техники

Диссертационная работа представляет научный и практический интерес. Такое заключение обосновано следующими причинами.

Во-первых, разработанные в диссертации методики позволяют априори обеспечить качество процесса отверждения при сокращении временных затрат, что повышает экономическую эффективность технологии в целом. Таким образом, диссертация вносит вклад в разработку новой проектной парадигмы – «точного попадания» (concurrent design).

Во-вторых, разработанные диссертантом инструментальные подходы к оценке теплофизических характеристик связующих в процессе отверждения, имеют принципиальное значение для выбора режимов отверждения. Эта часть работы представляет одновременно научный и практический интерес.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Рекомендации по использованию результатов исследования состоят в следующем:

- предложенные модели целесообразно использовать при разработке технологических режимов отверждения деталей из полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих;
- разработанные автором методики целесообразно использовать на предприятиях аэрокосмической отрасли при изготовлении, например, монолитных крупноразмерных панелей крыла самолета МС-21;

- предложенные автором комплексные технологические решения, направленные на повышение качества композитных конструкций при снижении их себестоимости, могут быть использованы в учебном процессе при подготовке магистров и аспирантов в ВУЗах и учреждениях РАН по направлениям «Химическая технология», «Материаловедение и технологии материалов» и «Технология и переработка полимеров и композитов», в области разработки новых полимерных композиционных материалов, а также на курсах повышения квалификации и переподготовки специалистов технических отраслей народного хозяйства.

Соответствие содержания публикаций и автореферата основным положениям и выводам диссертации

Публикации автора имеют достаточно высокий научно-технический уровень и отражают основное содержание диссертации. К их числу относятся 16 научных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ по данной специальности. Указанные научные публикации достаточно полно отражают содержание диссертационной работы. Автореферат Чэнь Янян в полной мере соответствует диссертации.

Достоверность научных положений и выводов диссертационной работы Чэнь Янян подтверждается использованием математических моделей, основанных на фундаментальных законах теплофизики, высоким уровнем метрологического обеспечения экспериментальных исследований, а также высокой корреляцией теоретических и обширных экспериментальных данных.

Оценка содержания диссертации

Структура диссертации Чэнь Янян является традиционной и соответствует требованиям ВАК РФ. Она состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы из 149 наименований. Диссертация изложена на 134 стр., включает 26 таблиц и 71 рисунок. Принципиальных замечаний к оформлению диссертации и автореферата нет. Диссертация и автореферат написаны хорошим, четким, научным языком. При этом имеется ряд неточных использований терминов и понятий в данной работе. Например, вместо слова «альтернативы» более уместно в данном тексте было бы использование слова «варианты» (теплового режима). Однако, имеющиеся неточности не искажают смысла выполненной работы, а только затрудняют чтение. Эти ошибки объясняются тем, что русский язык не является для соискателя основным.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и задачи, намечена методология и методы исследования с

использованием новейшего экспериментального оборудования и программного обеспечения.

В первой главе научные задачи формулируются на основании проведенного обзора литературы. Автор рассматривает области применения стекло- и углепластиков в России и Китайской народной республики, используемые материалы и технологии. Основное внимание уделено технологии выполнения операции отверждения, в том числе и механизму перехода связующего из жидкого состояния в твердую матрицу. Автор рассматривает существующие методы определения кинетических параметров реакции отверждения, методы моделирования процессов теплопереноса в процессе отверждения, методы оптимизации и дает анализ существующих методик. Завершается глава четкой формулировкой задач исследования.

Вторая глава – основная теоретическая в диссертации и посвящена исследованию теплофизических характеристик эпоксидных связующих в процессе изменения их фазового состояния. Последовательно анализируются температура и время гелеобразования и факторы, влияющие на них. Исследуется влияние скорости процесса нагрева на количество теплоты, выделяемой в процессе отверждения. В работе подробно описаны методики оценки теплоемкости и теплопроводности и учтено влияние степени отверждения. В этой части работы представлены результаты экспериментальных исследований свойств широко используемых полимерных матриц на основе эпоксидных связующих. В результате проведенных исследований автором получены значения теплофизических характеристик полимерных матриц в зависимости от степени их отверждения, которые использованы в дальнейшей работе при проведении моделирования.

Третья глава посвящена разработке методики определения рационального теплового режима отверждения, в которой автор рассмотрел распределение температурных полей и кинетики процесса отверждения в зависимости от теплофизических свойств армирующих наполнителей и количества теплоты, выделяемой матрицей в процессе ее отверждения. Проведено сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований, которое показало расхождение всего в несколько процентов, что можно считать очень хорошим результатом для таких сложных процессов. На примере двухступенчатого режима отверждения рассмотрена оптимизация скорости процессов нагрева на участках до и после гелеобразования, которая позволила автору разработать эффективный и экономичный режим нагрева.

Четвертая глава посвящена разработке технологических режимов отверждения с учетом всех полученных автором результатов. В качестве объектов исследования автор выбрал углепластиковые конструкции: баллон высокого

давления, предназначенный для беспилотного летательного аппарата, и стрингер крыла самолета А319. Автором выполнен обширный цикл расчетов, который позволил определить значения температур в зависимости от геометрических особенностей конструкций.

Замечания по диссертации и автореферату:

- 1) Задача оптимизации в работе сформулирована недостаточно четко. Работа читалась бы гораздо легче, если бы эта задача была сформулирована в терминах нелинейного математического программирования с четким указанием целевой функции, проектных переменных и ограничений (стр. 83).
- 2) Основная рабочая формула (3.1) написана, по-видимому, с ошибкой. Последнее слагаемое, выражающее разность между некоторым временем отверждения и его «идеальным» значением, должно рассматриваться отдельно.
- 3) Оценка влияния высоких температур на отдельных участках конструкций в процессе полимеризации на механические характеристики композита по прочности и по остаточным напряжениям не приводится, а высказана только на вербальном уровне.
- 4) В работе применена трудно читаемая кодировка тепловых режимов (на стр. 74-79), видимо, по строкам и столбцам таблицы 3.6. Однако, необходимые пояснения отсутствуют.
- 5) В работе отсутствует список условных обозначений и сокращений.
- 6) В примере расчета авиационной конструкции рассмотрен по существу фрагмент подкрепленной монолитной обшивки крыла из композиционного материала. Видимо для краткости автор диссертации использует термин «стрингер», что умаляет значимость выполненного исследования.

Высказанные замечания не затрагивают существа выполненных исследований и сделанных выводов. В ряде случаев они несколько затрудняют чтение диссертации или носят характер опечаток.

Заключение

Полученные автором результаты достоверны и соответствуют поставленной цели и задачам. Научные положения, выносимые на защиту, обоснованы, достоверны и отличаются новизной. В общей оценке работы считаю необходимым отметить, что выполненное комплексное исследование вносит существенный методологический вклад в повышение качества разработки технологических

процессов в соответствии с новой проектной парадигмой «точного попадания» - concurrent design. Обращаю также внимание на высокую значимость выполненного в работе исследования по влиянию масштабного фактора на температуры внутри толстостенных композитных конструкций. По актуальности темы, научной новизне, практической значимости и достоверности результатов диссертация «Разработка методики оптимизации технологических режимов отверждения полимерного связующего при производстве деталей летательных аппаратов из композиционных материалов» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 и паспорту специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов, а ее автор, Чэнь Янян, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор, директор научно-образовательного центра авиационных конструкций, профессор кафедры конструкции и проектирование летательных аппаратов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

 В.А. Комаров

20 октября 2021 г.

Комаров Валерий Андреевич
адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34
Тел.: 8(846) 267-46-50;
e-mail: vkomarov@ssau.ru

Докторская диссертация защищена по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.



Необходимые сведения предоставляю и даю согласие на размещение этих сведений и отзыва на официальном сайте МАИ в сети «Интернет» в соответствии с порядком размещения в сети «Интернет» информации, необходимой для обеспечения порядка присуждения ученых степеней, утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 16.04.2014 № 326.

 В.А. Комаров