

Акционерное общество  
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
СПЕЦИАЛЬНОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ  
(АО ЦНИИСМ)

ул.Заводская, д. 34, г.Хотьково, Сергиево-  
Посадский г.о.,  
Московская обл., 141371  
тел.8-495-993-00-11, факс 8-496-543-82-94  
e-mail: tsniism@tsniism.ru  
http://www.tsniism.ru  
ИНН/КПП 5042003203/ 504201001



№ \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

ведущей организации - акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» на диссертационную работу Курносова Артема Олеговича «Стеклопластик на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа для деталей авиационной техники с повышенной надежностью эксплуатации при температурах до 320 °С», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

### 1. Актуальность темы исследования для науки и практики

Объем применения полимерных композиционных материалов в изделиях современной техники постоянно увеличивается благодаря таким характеристикам как высокая удельная прочность и жёсткость, низкая плотность, коррозионная стойкость, длительный ресурс эксплуатации, технологичность изготовления деталей и т.д. По прогнозам данная тенденция будет сохраняться и в дальнейшем. Повышение рабочей температуры эксплуатации ПКМ позволяет расширить область их применения, в том числе в элементах конструкций изготавливаемых из металлических сплавов, за счет снижения весовых характеристики изделий.

Среди ПКМ работоспособных при температурах свыше 200 °С особый интерес представляют ПКМ на основе полиимидных связующих, которые характеризуются высокими физико-механическими показателями,

радиационной и химической стойкостью, хорошей термостабильностью в широком температурном интервале.

В отечественной практике достаточно широкое применение нашли стеклопластики на основе полиимидного связующего СП-97С. Однако при формировании ПКМ на основе данного связующего происходит существенное выделение летучих продуктов вследствие реакции поликонденсации, а также ввиду удаления остаточного растворителя из препрега. В связи с этим композиционные материалы на основе связующего марки СП-97С имеют высокую пористость (до 20 %), а также низкое сохранение прочностных характеристик в условиях повышенной влажности и при длительном воздействии повышенных температур.

Представленная работа направлена на разработку нового полимерного композиционного материала на основе полиимидного связующего полимеризационного типа, работоспособного при температурах до 320 °С и перерабатываемого по расплавной препреговой технологии. Это позволит существенно снизить пористость и повысить упруго-прочностные характеристики материала в изделии. Таким образом, выбранная Курносовым А.О. тема диссертационного исследования является актуальной задачей для современного материаловедения.

## **2. Цель и задачи работы**

Целью своей диссертационной работы автор ставит разработку и исследование свойств стеклопластика на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа для деталей авиационной техники с повышенной надежностью эксплуатации при температурах до 320 °С.

Для достижения поставленной цели решает следующие задачи:

- анализ имеющихся литературных данных по высокотемпературным полимерным связующим и ПКМ на их основе;
- исследование свойств расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа;
- выбор параметров и оптимизация технологического процесса изготовления препрега стеклопластика на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа;
- исследование влияния температурно-временных параметров отверждения стеклопластика на основе расплавного полиимидного связующего на его физикомеханические характеристики;
- разработка технологии формирования стеклопластика на основе

полиимидного связующего полимеризационного типа, работоспособного при температурах до 320°C;

- исследование микроструктуры и физико-механических характеристик образцов стеклопластиков на основе полиимидных связующих поликонденсационного и полимеризационного типов;

- исследование влияния внешних воздействующих факторов на характеристики и структуру стеклопластика на основе полиимидного связующего полимеризационного типа и оценка сохраняемости его свойств.

### **3. Основные научные результаты**

Научная новизна работы заключается в установлении и научном обосновании оптимальных технологических параметров формования стеклопластика на основе полиимидного связующего полимеризационного типа. Автором показано, что для достижения более высокой степени конверсии двойных связей концевых групп олигомеров процесс полимеризации связующего ВС-51 необходимо проводить при избыточном давлении. Также, в представленной работе впервые в отечественной практике было исследовано влияние внешних воздействующих факторов на микроструктуру и физико-механические характеристики стеклопластика на основе полиимидного связующего полимеризационного типа.

### **4. Практическая значимость результатов диссертационной работы**

Практическая значимость работы очевидна. Разработан состав и технология изготовления полуфабриката и высокотемпературного стеклопластика ВПС-72 на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа, который обладает в 2 раза меньшей пористостью, в 1,5 раза меньшим водопоглощением, а также более высоким (до 30 %) уровнем механических характеристик по сравнению с серийно применяемым стеклопластиком на основе полиимидного связующего поликонденсационного типа. При этом показано, что разработанная расплавная технология изготовления препрега стеклопластика на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа позволяет обеспечить меньший разброс объемно-массовых характеристик полуфабриката (точность нанесения связующего  $\pm 2$  масс. %) по сравнению с растворной технологией изготовления препрега стеклопластика на основе полиимидного

связующего поликонденсационного типа (точность нанесения связующего  $\pm 5$  масс. %).

Также в работе было проведено опробование разработанного стеклопластика ВПС-72 в условиях промышленного производства предприятий авиационно-космической отрасли с положительным результатом.

#### **4. Содержание диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, выводов, списка использованной литературы из 117 наименований, приложений, содержит 48 рисунков, 26 таблиц, изложена на 144 страницах машинописного текста.

**Во введении** обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цели и задачи исследований, отражены основные достигнутые результаты, отмечена научная новизна, практическая и теоретическая значимость диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена литературному обзору научно-технической литературы по проблематике диссертационной работы, освещены основные направления и аспекты разработки и применения высокотемпературных ПКМ в авиационной отрасли. Рассмотрены основные типы высокотемпературных термореактивных полимерных связующих и разработанных ПКМ на их основе, описаны преимущества и недостатки этих материалов. Показано, что особый интерес представляют ПКМ на основе полиимидных связующих, которые характеризуются высокими физико-механическими показателями в широком температурном интервале.

Также в литературном обзоре рассмотрены технологии переработки ПКМ и показано, что создание высокотемпературных ПКМ перерабатываемых по препрегофвой технологии на основе современных полимерных связующих расплавного типа с целью реализации наиболее высоких физико-механических характеристик в изделиях является перспективным направлением исследований.

**Во второй главе** приведены объекты исследований и используемые методы испытаний. В качестве объектов исследований было выбрано расплавное полиимидное связующее марки ВС-51 (ТУ 1-595-12-1682-2017), конструкционная стеклоткань Т-10-14 (ГОСТ 19170-2001). В работе использованы широко применяемые методы исследования, выполняемые в соответствии с требованиями действующих стандартов на современном

оборудовании.

**В третьей главе** представлена экспериментальная часть, которая посвящена исследованию и разработке состава и технологии изготовления препрега и стеклопластика на его основе, комплексному исследованию его характеристик, а также исследованию влияния различных факторов на структуру и свойства разработанного композиционного материала.

Проведено исследование реологических и термомеханических свойств расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа. Главным отличием полиимидных связующих полимеризационного типа от полиимидных связующих поликонденсационного типа является наличие в их составе ненасыщенных концевых групп, способных на конечной стадии формования изделия полимеризоваться без выделения летучих веществ с образованием сетчатого полиимида.

Разработана технология изготовления препрега на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа и стеклянного армирующего наполнителя и исследованы технологические параметры формования стеклопластика на его основе.

По результатам проведенных работ установлено влияние режимов переработки на комплекс свойств стеклопластика на основе связующего ВС-51. Показано, что выбранный режим формования обеспечивает более однородную и равномерную структуру материала, тем самым позволяя достигать более высокого уровня физико-механических свойств, как при комнатной, так и при повышенных температурах. На основании проведенных исследований была разработана технологическая рекомендация на изготовления стеклопластика, разработанному стеклопластику была присвоена марка ВПС-72.

Проведены сравнение и анализ свойств стеклопластиков на основе полиимидных связующих растворного и расплавного типов. На основании полученных результатов исследований и оценки влаго- и водопоглощения стеклопластиков на основе полиимидных связующих растворного типа СП-97С и расплавного типа ВС-51 в течение 3-х месяцев установлено, что стеклопластик на основе растворного связующего СП-97С более чувствителен к воздействию влаги и имеет повышенные значения влагопоглощения и водопоглощения в сравнении со стеклопластиком на основе расплавного связующего ВС-51, что напрямую связано с наличием пор и пустот (пористость порядка 10%) в материале на основе растворного связующего.

Исследованы физико-механические и диэлектрические характеристики стеклопластика ВПС-72 на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа. А так же исследовано влияние внешних воздействующих факторов на характеристики стеклопластика, построены топографические модели поверхности. Исследованы характеристики пожаробезопасности. Проведена оценка сохраняемости его свойств и показана возможность эксплуатации материала при температурах до 320 °С.

**В четвертой главе** посвященной практической реализации полученных результатов указана оформленная нормативно-техническая документация на разработанный стеклопластик и приведены положительные результаты опробования стеклопластика ВПС-72 на предприятиях авиационно-космической отрасли (ПАО НПО «Наука», ОКБ Сухого, ПАО «ОАК»).

**В заключении** диссертации изложены основные выводы и результаты работы.

#### **5. Соответствие автореферата диссертационной работе**

Автореферат в полной мере соответствует диссертационной работе, в достаточной степени отражает научную новизну, содержание, результаты и полученные выводы.

#### **6. Обоснование и достоверность**

Все научные положения, сформированные в работе Курносова А.О., и сделанные на их основе выводы вполне обоснованы и достоверны, так как базируются на экспериментальном материале, выполненном на высоком научном уровне с применением надежных современных методов исследований.

Результаты приведенных исследований имеют апробацию и отражены в 8 научных публикаций в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК.

#### **7. Рекомендации по использованию результатов исследования**

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при создании новых и при модернизации существующих изделий авиационной и ракетно-космической техники.

Применение разработанного материала целесообразно на предприятиях входящие в структуры ПАО «ОАК», АО «ОДК», АО «Вертолёты России» и АО «КТРВ».

#### **7. Замечания по диссертационной работе**

1. По содержания диссертационной работы имеются следующие замечания:

2. В литературном обзоре достаточно широко рассмотрены высокотемпературные ПКМ на основе термореактивных композиций, однако не приведена информация про высокотемпературные термопластичные материалы.

3. В литературном обзоре рассмотрены в основном достижения ФГУП «ВИАМ» и некоторых иностранных фирм в области разработки высокотемпературных материалов, но отсутствуют результаты других отечественных организаций.

4. В диссертационной работе приведено большое количество экспериментальных данных, однако статистическая обработка результатов приведена только для показателей в главе 3.3.

5. На страницах 84 и 85 диссертации есть противоречия: из анализа рисунка 28 сделан вывод, что степень конверсия связующего составляет более 95% и дополнительная термообработка не влияет на процесс доотверждения стеклопластика. На странице 85 анализ рисунка 30 показал обратное, что при дополнительной термообработки протекает процесс доотверждения с ростом температуры стеклования.

6. В автореферате на странице 6 и в диссертационной работе на странице 8 допущена опечатка в указании общего количества рисунков и страниц работы.

Отмеченные замечания не подвергают сомнению новизну, основные выводы и результаты работы.

## **8. Общая оценка диссертации**

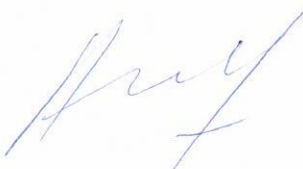
Представленная диссертационная работа Курносова Артема Олеговича на тему: «Стеклопластик на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа для деталей авиационной техники с повышенной надежностью эксплуатации при температурах до 320 °С» представляет собой законченное целенаправленное исследование, которое по своему содержанию, научному уровню, объему выполнения, достоверности и обоснованности полученных результатов, актуальности решенных задач в полной мере удовлетворяет требованиям и критериям, установленным в п. 9 – 14 «Положения о порядке присуждения научных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской

Федерации от 24.09.2013 года № 842; отвечает требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям, а ее автор Курносов А.О. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – «Материаловедение».

Отзыв на диссертационную работу Курносова Артема Олеговича «Стеклопластик на основе расплавного полиимидного связующего полимеризационного типа для деталей авиационной техники с повышенной надежностью эксплуатации при температурах до 320°C» рассмотрен и утвержден на Секции Научно-технического совета № 7-2023 от 04.08.2023 АО «ЦНИИСМ».

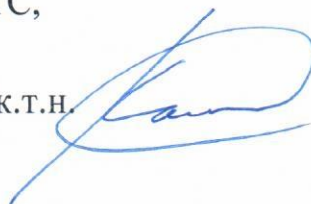
Отзыв на диссертационную работу составили:

Главный химик - заместитель  
главного конструктора по  
материаловедению, к.х.н.



Ю.В. Антипов

Руководитель секции № 3 НТС,  
заместитель главного  
конструктора по прочности, к.т.н.



В.О. Каледин

**Наименование организации:** Акционерное Общество  
«Центральный научно-исследовательский институт специального  
машиностроения» (АО «ЦНИИСМ»)

**Адрес:** 141371, Московская обл., Сергиево-Посадский г.о.,  
г.Хотьково, ул.Заводская, д. 34.

**e-mail:** [tsniism@tsniism.ru](mailto:tsniism@tsniism.ru)

**Тел.:** 8-495-993-00-11, **факс** 8-496-543-82-94

**Сайт:** [www.tsniism.ru](http://www.tsniism.ru)