

## Отзыв официального оппонента

на диссертацию Орлова Максима Андреевича  
«Разработка технологии создания элементов газотурбинного двигателя  
из полимерных композиционных материалов с применением  
автоматизированной нашивки ровингом», представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 –  
«Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Диссертация Орлова М.А. посвящена актуальной научно-технической проблеме – разработке новых технологических процессов создания изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) с применением автоматизированной нашивки. Актуальность работы обуславливается не только постоянным ростом объемов применения ПКМ в аэрокосмической отрасли и в авиационном моторостроении в частности, но и многообразием конфигураций и геометрических размеров проектируемых изделий. В частности, в работе сделан акцент на изделиях, входящих в состав газотурбинных двигателей (ГТД).

Диссертация Орлова М.А. состоит из введения, шести глав, заключения, списка источников и приложения на двух листах. Общий объем диссертации составляет 122 страницы машинописного текста, содержит 54 рисунка, 17 таблиц и 102 наименования литературных источников. Структура диссертации логичная и сформирована по традиционной схеме, принятой среди соискателей ученых степеней.

Во введении описываются актуальность работы, поставленная цель и решаемые задачи, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, отмечены практическая значимость работы, степень достоверности и апробация полученных результатов.

Первая глава посвящена анализу современного состояния вопроса применения ПКМ в авиационном двигателестроении. Приведено обозрение современных методов изготовления деталей, узлов и сборочных единиц ГТД

из полимерных композитов, выявлены их основные достоинства и недостатки, показаны имеющиеся тенденции в развитии технологий. Проанализирован отечественный и зарубежный опыт применения КМ при производстве ГТД. Большая часть рассмотренной литературы, посвященных вопросу, относится к периоду 1970х гг. – до нынешнего времени, в том числе материалы иностранных периодических изданий, что свидетельствует о хорошей проработке и многостороннем изучении отечественного и зарубежного опыта. Исходя из анализа литературы, обоснованы и сформулированы цели и поставлены задачи, требующие решения для достижения поставленной цели. Показано, что главной перспективной технологией на данный момент считается метод изготовления предварительных заготовок ГТД в виде объемно-армированных заготовок (так называемых преформ).

Вторая глава посвящена описанию объектов и методов исследований. В частности, для отработки изготовления преформ в качестве волокнистых наполнителей углеродные волокна HTS 45 12K и IMS 65 24K, органические арамидные волокна Русар-С. Нашивка преформ выполнялась на автоматических вышивальных машинах с ЧПУ JCW 0100-500 (ZSK Stickmaschinen GmbH, ФРГ). Заготовки вышитых преформ формовали методом вакуумной пропитки.

Механические свойства (испытания на трех- и четырехточечный изгиб, кручение, на ударную вязкость при трехточечном изгибе) изучались с помощью проведения испытаний стандартизованными методами. Необходимо отметить, что для подтверждения применимости разработанной технологии были изготовлены образцы рабочего колеса центробежного компрессора (РКЦК) состоящего из пяти силовых колец из углепластика ВКУ-38ТР (ФГУП «ВИАМ», Россия) и 20 лопаток, выполненных с применением высокотемпературного фталонитрильного связующего PN-3М (ИТЕКМА, Россия) и испытаны в поле центробежных сил на

специализированном разгонном стенде РС-1Д при нормальной и повышенной температурах.

Третья глава посвящена описанию исследований эффективности существующих способов создания заготовок и сравнению показателей качества разработанной технологией автоматизированной нашивки ровингом, количественной оценке технологичности предлагаемого технического решения.

Четвертая глава отражает результаты исследования физико-механических свойств плоских образцов, изготовленных с разными технологическими параметрами режимов нашивки. В частности, по результатам исследований было выявлено, что свойства нашивных материалов сопоставимы со свойствами прессованных углепластиков с высокоориентированной структурой. При этом однозначной зависимости физико-механических свойств от технологических параметров нашивки не выявлено.

Пятая глава содержит результаты моделирования зависимостей физико-механических свойств изделий от параметров процесса получения заготовок (преформ). Показано, что расчет физико-механических и теплофизических свойств материалов, получаемых методом автоматизированной нашивки можно производить с использованием формул смеси с учетом формирования композитных структур.

Шестая глава описывает проведение натурных разгонных испытаний рабочего колеса центробежного компрессора.

В целом, текст диссертации написан на высоком профессиональном уровне с соблюдением всех требований к научно-технической документации и является законченным научным исследованием. Результаты диссертации опубликованы в научно-технических журналах, в том числе из перечня ВАК. Материалы работы доложены на всероссийских и международных конференциях.



Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

**Научная новизна.** Выявлено повышение прочности на сдвиг до 30 %. Разработанная математическая модель позволяет адекватно оценивать распределение механических напряжений в подложке, контактном слое и по толщине композита. Выявлены параметры прошивки, при которых происходит критическое воздействие иглы на углеродное волокно, приводящее к разрушению внутренних слоев заготовки. Выявлена величина содержания арамидного волокна, начиная с которой прекращается рост сдвиговой прочности, а также начинается снижение прочности на разрыв.

**Практическая значимость полученных результатов.** Автором была проведена обширная экспериментальная работа, достоверность результатов которой подтверждается использованием современного высокотехнологичного оборудования и широкого спектра методов исследований. Результаты работы докладывались и обсуждались на различных конференциях, в том числе и международных, а также отражены в публикациях и защищены патентами.

Автору удалось установить оптимальные технологические режимы нашивки преформ, при которых обеспечивается существенное (до 30-50 %) повышение упруго-прочностных свойств углепластиков. Лопатки компрессора ГТД, изготовленные с применением установленных режимов, успешно прошли испытания в реальных условиях эксплуатации, что подтверждает пригодность разработанной технологии и её целесообразность для изготовления элементов газотурбинных двигателей.

**Достоверность и обоснованность результатов.** Подтверждается использованием аттестованного, современного и поверенного оборудования

при проведении экспериментов, должным метрологическим обеспечением, удовлетворительным согласованием расчетных и экспериментальных данных.

**Замечания к диссертации.** По диссертации имеются следующие замечания:

1 Целесообразно при использовании термина «преформа» дать его понятие, отличие от термина «заготовка» и обосновать его применение. Так в работе (с. 17) указано, что выкладка при изготовлении преформ может осуществляться как из монослоев сухого тканого наполнителя, так и из тканевых препрегов.

2 В первой главе приведено, что в авиастроении на основе объемно-армированных преформ изготавливаются в числе прочих элементы силового набора оперения, крыла, фюзеляжа, мотогондолы. Если речь идет о серийных образцах авиационной техники, то необходимо привести конкретные примеры, если имеется соответствующая информация.

3 При анализе современного опыта двигателестроительных иностранных производителей, упущен опыт (или не указано о его отсутствии в данной сфере) фирмы Pratt & Whitney.

4 Не уточнено, проводилась ли оценка количества поглощенной воды при операции вымывания подложки с образцов преформ и количества остаточной воды после сушки при указанном режиме (с. 34). Чем обеспечивается схожесть этих показателей для разных образцов?

5 При оперировании понятиями «облой», «припуск» и их учете для материалоемкостей технологических процессов при реализации различных методов целесообразно ввести и оценить показатель КиМ (коэффициент использования материала).

6 В п. 2.3.2 и части главы 3 не ясно, учитывались ли трудоемкости операций формообразования водорастворимой подложки, а также ее

вымывания, последующая сушка при определении сравнительных показателей трудозатрат и трудоемкости.

7 Требуют уточнения рисунки 17 - 20 с индексом «д». К какому режиму изготовления образцов они относятся? Если эти образцы являются контрольными, можно ли утверждать, что разрушение при испытании короткой балки имеет механизм преимущественно межслоевого?

8 В подразделе 5.1 (в нескольких местах) обязательно наличие прилагательного «отвержденное» применительно к существительному «связующее». В выводах к пятой главе говорится в том числе о том, что появляются напряжения (технологические), которые неравномерно распределяются по толщине преформы. В слоях ближе к подложке возникают сжимающие напряжения, в отдаленных от подложки слоях - растягивающие. Необходимо пояснить, могут ли эти остаточные напряжения перейти в остаточные в деталях и повлиять на искажение их формы и геометрической точности.

9 Текст диссертации содержит незначительное количество оформительских и пунктуационных неточностей, не влияющих на восприятие информации.

Некоторые отмеченные замечания, безусловно, выходят за рамки заявленной темы, но большая корректность в отражении представленных в замечаниях вопросов помогла бы еще более успешному и эффективному внедрению ПКМ в современных и перспективных изделиях авиамоторостроения, да и вообще всей авиационной техники. Вместе с тем, перечисленные замечания не подвергают сомнению новизну, основные выводы и результаты работы, представленной на соискание ученой степени кандидата наук.



## Общая оценка диссертации

Своей работой диссертант продемонстрировал, что может ставить и решать сложные научно-технические задачи в области авиационного материаловедения и науке о технологии. Диссертация является законченным научно-квалификационным трудом. Работа имеет большое практическое значение, поскольку нашла воплощение в том числе в полученном патенте «Способ изготовления преформ для лопаток компрессора ГТД», ее результаты применяются в испытаниях и использованы при изготовлении РКЦК малогабаритного ГТД в ЦИАМ им. П.И. Баранова, а также используются на опытном производстве МИЦ «Композиты России» при МГТУ им. Н.Э. Баумана. Достаточное количество публикаций по теме, в том числе в рецензируемых изданиях, делают доступными к ознакомлению с результатами работ для научной общественности. Замечания никак не снижают положительной и высокой оценки диссертационной работы М.А. Орлова, которая содержит новые научно-технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие авиационного материаловедения и авиастроения в целом, соответствует комплексу требований пп. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Орлов Максим Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

**Официальный оппонент,  
инженер-технолог 1 категории  
отд. 48 НИО-21 ОКБ Сухого,  
кандидат технических наук  
05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)»**

  
10.11.20

**Ф.А. Насонов**

Публичное акционерное общество «Компания «Сухой»

Россия, 125284, Москва, ул. Поликарпова, 23Б. ☎ (495) 941-76-65, (915) 406-52-92

nasonovf2006@mail.ru

Подпись и/т 1 кат., к.т.н.

Насонова Федора Андреевича заверяю

**Первый заместитель генерального директора-  
директор ОКБ Сухого**



  
**М.Ю. Стрелец**