

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

*на диссертационную работу Колесникова Алексея Владимировича  
«Пневмотермическая формовка трёхслойных клиновидных панелей из титановых  
сплавов»,*

*представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство  
летательных аппаратов*

Диссертация Колесникова Алексея Владимировича посвящена исследованию процессов изготовления многослойных конструкций переменной высоты, к которым могут относиться несущие конструкции крыла, оперения, либо других элементов планера летательных аппаратов пневмотермической формовкой в режиме сверхпластичности, совмещенной с диффузионной сваркой. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и трех приложений. Полный объем работы составляет 215 страниц машинописного текста, иллюстрирована 114 рисунками и 13 таблицами. Библиографический список насчитывает 114 наименований.

### **Актуальность темы диссертационной работы.**

В последние годы применение титановых сплавов находят всё большее распространение в авиационной и космической технике. Одним из эффективных способов производства конструкций из таких сплавов является пневмотермическая формовка в режиме сверхпластичности, совмещенная с диффузионной сваркой (ПТФ/ДС). Процесс позволяет изготавливать многослойные конструкции сложной формы, обладающими несомненными преимуществами по сравнению с изготовленными традиционным способом. Однако данный процесс сопряжен с большими трудностями его реализации, таких как необходимость поддержания высоких температур процесса, подачи и контролем рабочего газа по сложному закону, а также проблемы, связанные с определением технологических параметров процесса для производства конкретного изделия. Особенно остро данный вопрос встает при изготовлении многослойных конструкций переменной высоты, к которым могут относиться несущие конструкции крыла, оперения, либо других элементов планера летательных аппаратов.

Появление современных средств виртуального моделирования процесса ПТФ и соответственного оборудования под ПТФ/ДС открывают перед предприятиями новые возможности по использованию этого технологического процесса. В этой связи поиск путей оптимизации, как конструктивных параметров трёхслойных панелей, так и технологических режимов обработки становится актуальным.

В соответствии с вышеизложенным, диссертационная работа Колесникова А.В., посвящённая решению проблем изготовления трёхслойных клиновидных панелей из титановых сплавов совмещенным технологическим процессом

пневмотермической формовки и диффузионной сварки, несомненно подтверждает свою актуальность и значимость.

### **Обоснованность и достоверность результатов диссертации.**

Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные диссертационной работе Колесникова А.В., обоснованы и достоверны. В диссертации грамотно используются положения теории пластичности, допущения теории листовой штамповки, методы математического анализа. Теоретические положения подтверждаются результатами компьютерного моделирования и натуральных экспериментов. Положения и вывод диссертационного исследования были представлены на различных научных технических конференциях, в том числе международных. Имеется шесть публикаций в изданиях ВАК.

### **Научная новизна работы заключается в следующем:**

- установлены основные закономерности процесса пневмотермической формовки клиновидных трёхслойных конструкций в режиме сверхпластичности на основе исследования механики и особенностей процесса;
- разработан метод определения конструктивно-геометрических параметров трёхслойных панелей, позволяющий прогнозировать условия бездефектной формовки;
- разработана методика расчета технологических параметров пневмотермической формовки клиновидных трёхслойных панелей с учётом способа изготовления.

### **Практическая ценность работы:**

- разработана программа для расчёта технологических параметров пневмотермической формовки трёхслойных клиновидных панелей из титановых сплавов на стадии свободной формовки заполнителя;
- разработан алгоритм выбора способа изготовления трёхслойных клиновидных панелей в зависимости от параметров гофрированного заполнителя;
- определены свойства сверхпластичности титановых сплавов;
- сформулированы рекомендации по проектированию оснастки.

Автор диссертации демонстрирует высокий уровень компетенций в области использования современных программно-аппаратных комплексов, одним из которых является MSC «Marc». В работе большое внимание уделено моделированию ПТФ многослойных трёхслойных панелей, где анализировались условия возникновения дефектов, и осуществлялась оценка полученных теоретических зависимостей. Широкое использование моделирования позволило значительно сократить количество необходимых натуральных испытаний.

Математические выкладки и практические расчеты выполнены на высоком уровне, а их результаты подтверждают умение автора решать сложные научные задачи.

А.В. Колесниковым на высоком уровне проделан большой объём работы при подготовке к натурным испытаниям. Следует отметить, что вопросы, связанные с этой работой и настройкой нового оборудования - пресс французской фирмы АСВ «FSP 60Т», а также вопросы, связанные с проектно-конструкторской работой по экспериментальным образцам и создания трафаретов для нанесения антисварочного покрытия, заслуживают более полного изложения, чем это приведено в диссертации.

Структура и оформление диссертации и автореферата соответствуют национальному стандарту РФ.

Содержание автореферата достаточно полно отражает материалы диссертации.

В публикациях автора изложены основные положения, выводы и рекомендации диссертации. Уровень публикаций высокий, он соответствует требованиям ВАК.

### **Замечания по диссертационной работе:**

1. В работе не рассмотрены панели с количеством листов в пакете больше трёх, которые обеспечивают большую высоту конструкции панели и могут быть востребованы в реальных изделиях.

2. В работе (стр. 46, табл. 2.1) представлены четыре основные схемы расположения внутреннего силового набора в клиновидных панелях. При этом теоретические исследования (п. 2.2) направлены на изучение закономерностей формообразования для схемы с поперечным расположением элементов силового набора. Стоит отметить, что в таблице 2.2 сведены формулы для определения параметров формовки для панелей с продольным и поперечным расположением ребер. В п. 3.2.5-3.2.6 рассмотрено построение графиков формовки для панелей как с продольным, так и поперечными наборами и их изготовленные образцы. Остальные схемы в работе более не упоминаются.

3. В работе не отражены сведения о влиянии параметров технологического процесса на качество сварных соединений.

4. Раздел «конструктивно-технологические рекомендации по выбору параметров клиновидных панелей» (п. 4.2) проблематично использовать на практике в конструкторских бюро и на производстве из-за сложного описания процесса формообразования, во многом повторяющего предварительные теоретические исследования. Данный раздел требует доработки и структурирования.

5. В работе отсутствуют сведения о регистрации авторских прав на технические решения, полученные в результате работы.

### **Заключение.**

Диссертация Колесникова А.В. представляет собой законченную научно квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические разработки, имеющие существенное значение для авиакосмической отрасли.

Диссертационная работа по уровню научной новизны, практической ценности, по объему и содержанию теоретических и экспериментальных исследований соответствует требованиям ВАК РФ, а ее автор **Колесников Алексей Владимирович** заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

кандидат технических наук,  
доцент каф. «Технологии самолетостроения»

26.12.2014

Белых  
Сергей Викторович



Подпись официального оппонента заверяю

