

ОТЗЫВ

официального оппонента, начальника НТЦ Научно-производственного комплекса ФАУ «ЦАГИ», профессора МФТИ, заслуженного машиностроителя РФ, д.т.н., Вермеля Владимира Дмитриевича на диссертационную работу Султановой Альбины Руслановны по теме: «Технология обработки отверстий в смешанных пакетах при сборке крупногабаритных узлов на модульном оборудовании», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. «Технология машиностроения»

Диссертация А.Р. Султановой посвящена совершенствованию изготовления отверстий, технологических и основных, в металло-композитных узлах соединений компонентов конструкции консоли крыла средне-магистрального пассажирского самолета с использованием автоматизированных сверлильных машин с ЧПУ в процессе последовательной модульной сборки.

1. Актуальность работы

В современных условиях освоение изготовления конструкции крыла средне-магистрального пассажирского самолета МС-21, с объемом применения полимерных композиционных материалов более 50%, стало принципиально новой научно-технической проблемой в области производственных технологий. Завершающая этап изготовления сборка консоли крыла, является одним из ключевых процессов, обеспечивающих геометрическую точность и долговечность соединений в конструкции. Принципиальной задачей при сборке конструкции крыла с широким применением деталей из ПКМ в сборочных узлах, является совершенствование организации процесса сборки с внедрением автоматизации, направленное на снижение трудоемкости при обеспечении необходимого уровня качества. В значительной степени эффективность сборочных операций крупногабаритных узлов деталей силовой конструкции консоли крыла магистрального самолета определяется технологией изготовления отверстий в слоистых металло-композитных пакетах.

В этой связи диссертационная работа А.Р. Султановой, направленная на разработку технологии изготовления отверстий в крупногабаритных металло-композитных узлах конструкции крыла средне-магистрального пассажирского самолета МС-21 в процессе модульной сборки является актуальной и практически важной.

2. Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 14 приложений. Объем работы составляет 171 страницу машинописного текста, включая 74 рисунка, 18 таблиц, списка цитируемой литературы из 119 наименований.

3. Анализ и оценка содержания диссертации

Во введении А.Р. Султанова обосновала выбор темы диссертационной работы, укрупненно наметила содержание и последовательность ее выполнения, сформулировала цель работы и перечень решаемых задач. Определила ее научную новизну, достоверность полученных результатов, а также научную и практическую значимость. Она показала, что расширенное внедрение ПКМ в конструкцию крыла повышает ее интегральность и обуславливает рациональность использования модульной сборки крупногабаритных деталей и сборочных единиц на отдельных технологических позициях. В этой связи А.Р. Султанова правильно выделила, как одну из важнейших технологических задач, изготовление отверстий в смешанных металло-композитных пакетах, отвечающих требованиям поэтапной сборки, включая промежуточную разборку для проведения герметизации. Как необходимое условие А.Р. Султанова определила снижение трудоемкости при повышении производительности процесса. Выполнив рассмотрение предшествующих исследований, направленных на изготовление отверстий в смешанных металло-композитных пакетах, она верно отметила необходимость установления связи процесса крупноузловой

модульной сборки и автоматизированного сверления, обуславливающими необходимость специализированного развития, предшествующих разработок.

Перечислив положения, выносимые на защиту, А.Р. Султанова привела сведения, подтверждающие достоверность полученных результатов и апробацию работы.

Публикации по работе соответствуют требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу проблем сборки смешанных металло-композитных конструкций и обоснованию задач исследования.

Рассмотрев конструкции типовых смешанных пакетов узлов соединения металло-композитных конструкций кессона крыла, диссертант определила их специфические особенности, влияющие на изготовление отверстий в узлах. Исходя из сравнительно меньшей точности и жесткости композитных деталей, по сравнению с металлическими, в качестве существенного требования А.Р. Султанова правильно определила необходимость в повышенной жесткости их фиксации, а также точности позиционирования сверлильных машин относительно собираемых крупногабаритных узлов и деталей. Анализируя традиционные процессы сборки авиационных конструкций, она показала, что они не в полной мере отвечают требованиям к сборке смешанных конструкций. Поскольку основным типом соединений смешанных металло-композитных пакетов, вследствие различия свойств металлов и композитов, являются соединения с использованием металлических соединительных элементов - болтов и болт-заклепок, необходимо выполнение объемного сверления отверстий для размещения крепежа.

В результате выполненного рассмотрения А.Р. Султанова обратила внимание на существенную разницу в технологических режимах обработки металлических слоев (алюминиевые и титановые сплавы) и композитных. По результатам проведенного исследования А.Р. Султанова сделала важные выводы, определяющие последующую технологию сборки металло-

композитных конструкций крыла. Производительное изготовление отверстий с требуемым уровнем качества в смешанных пакетах требует вариации технологических параметров сверления по слоям из определенных материалов, что может быть обеспечено при применении автоматизированных сверлильных машин с ЧПУ. Необходима отработка технологии сверления смешанных пакетов, направленная на устранение повреждаемости кромок отверстий и расслоений в композитных слоях. Требуется введение контроля позиционирования и фиксации собираемых пакетов конструкции, автоматизированной сверлильной машины с ЧПУ, осей отверстий что наиболее эффективно обеспечивается с использованием современных средств лазерных измерений.

В завершении А.Р. Султановой подготовлены перечни необходимых инструментальных средств контроля качества изготовления отверстий и точности позиционирования при проведении сборочных операций. Сформулированы новые задачи, требующие решения для достижения целей работы.

Во второй главе выполняется исследование технологии модульной сборки крыла средне-магистрального пассажирского самолета с расширенным применением в конструкции деталей и агрегатов из ПКМ.

Выполнив рассмотрение основ модульной сборки агрегатов авиационных конструкций, А.Р. Султанова конкретизировала метод модульной сборки применительно к консоли крыла средне-магистрального пассажирского самолета с большим объемом деталей из ПКМ. В нем сборка производится на последовательности технологических позиций (в тексте диссертации «рабочие станции»), в которых собираются отдельные составляющие узлы и отъемная часть крыла (ОЧК), закрепляемая на мобильной раме, перемещаемой по линии сборки. По мере перемещения рамы на ней осуществляется формирование финишного стапеля сборки ОЧК и присоединение узлов, собираемых на определенных технологических позициях. Данное решение включает оснащение средствами локального

управления сборочными процессами отдельных технологических позиций, а также использование колесной рамы, с автоматизированным управлением ее перемещения, по мере проведения сборки стапеля и консоли крыла.

В последовательность выполняемых сборочных операций включено изготовление технологических и основных отверстий в металло-композитных узлах соединений, координаты расположения которых и технология изготовления, обосновываются в диссертационном исследовании А.Р. Султановой. Реализованная организация сборки консоли крыла отличается принципиальной новизной, подтверждаемой патентами на изобретение РФ, в которых А.Р. Султанова входит в число патентообладателей.

Необходимым условием обеспечения модульной сборки стало выполненное исследование точности собираемых сборочных единиц и консоли крыла в целом А.Р. Султановой был рассмотрен подход, основанный на приложении теории вероятностей и математической статистики. В нем оценивается вероятность сочетания предельных производственных отклонений изготовленных компонентов конструкции, позволяющая получить достоверные оценки точности сборок. В отсутствие статистических данных она правильно решила перейти к применению известного метода «Максимума-минимума». В соответствии с ним, для заданных предельных производственных допусков на геометрические параметры собираемых компонентов конструкции, а также используемой при сборке технологической оснастки, она оценила суммарное отклонение и допуски на замыкающие звенья. В результате получен важнейший практический результат, подтверждающий, что установленные допуски на изготовление деталей консоли крыла обеспечивают проведение модульной автоматизированной сборки и автоматизацию изготовления технологических и основных отверстий с использованием сверлильных машин с ЧПУ.

В третьей главе А.Р. Султановой выполняется разработка методики экспериментальных исследований, направленных на определение

рациональных технологических параметров изготовления отверстий с использованием автоматизированных сверлильных машин с ЧПУ в металлокомпозитных соединениях крупногабаритных узлов консоли крыла в процессе модульной сборки. Методически целесообразным является предложение о выделении в отдельный этап экспериментальной оценки рациональных технологических параметров сверления отверстий в смешанных пакетах. Для его проведения диссертантом определена структура смешанных металлокомпозитных пакетов, в соответствии с которой были изготовлены конструктивно-подобные образцы. Для сокращения количества переходов сверления подобран комбинированный инструмент (сверла и развертки с зенковкой), а также сверла меньших диаметров для сверления отверстий в 2 перехода из условия обеспечения требуемого качества при выполнении заключительного развертывания. Выбор наиболее рациональных технологических параметров изготовления отверстий должен основываться на анализе полученных при сверлении повреждений кромок композитных слоев, их шероховатости, а также точности отверстий. Для повышения уровня оценки предложено выполнение препарирования образцов, с разрезом по оси отверстий.

Учитывая направленность выполняемого исследования на обеспечение одной из важнейших составляющих технологического процесса серийной сборки инновационной конструкции крыла с большим объемом деталей из ПКМ, А.Р. Султанова обоснованно предложила провести исследование и отработку технологии изготовления отверстий на макете-демонстраторе (в тексте работы «тестовый кессон»), имитирующим натурный кессон крыла, изготавливаемого самолета.

Несомненную практическую значимость представляет предложенная последовательность сборки с использованием базовых отверстий и технологического крепежа. Научной новизной отличается разработанная схема базирования узлов в сборочных приспособлениях и совмещения локальных систем координат сверлильных машин с ЧПУ с самолетной

системой координат, в которой задаются основные отверстия сборки крыла. Необходимой составляющей методического обеспечения экспериментального исследования точности, стали разработанные А.Р. Султановой технологические карты обработки отверстий.

Правильно отметив рост погрешности позиционирования шпинделя сверлильного станка при удалении от центра станочной системы координат, А.Р. Султанова предложила выделить ряд зон в крупногабаритных узлах конструкции консолей крыла. Задание локального центра координат в зонах обеспечивает точность положения осей изготавливаемых отверстий. Выполненные А.Р. Султановой методические разработки сопровождаются детальными по-шаговыми рабочими планами проведения экспериментов.

В главе 4 представлены результаты экспериментальных исследований изготовления отверстий в смешанных металло-композитных пакетах конструкции крыла средне-магистрального пассажирского самолета. Проведенное на конструктивно-подобных образцах экспериментальное исследование позволило определить наиболее рациональные технологические параметры изготовления (сверление, развертывание) отверстий в смешанных металло-композитных пакетах. Практическим результатом стало выявление достаточности одного перехода сверления для сочетания слоев из алюминиевых сплавов и ПКМ, двух- для сочетания слоев титанового сплава и ПКМ.

Исследование изготовления отверстий на макете-демонстраторе позволило определить минимально-необходимое количество технологического крепежа для обеспечения соединения без зазора слоев в пакетах. Экспериментальное исследование точности положения изготавливаемых отверстий позволило А.Р. Султановой предложить важную технологическую рекомендацию по максимальному размеру локальных зон для привязки координат сверлильных машин с ЧПУ.

Особую ценность проеденным исследованиям придает основанное на их результатах внедрение разработанной технологии в процесс серийной модульной сборки конструкции крыла средне-магистрального самолета.

Сделанные по работе общие выводы правильно отражают ее научные и практические результаты.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Основное содержание диссертации достаточно полно освещено в 6 печатных работах (из них: 1 в издании, включенном в SCOPUS, 2 - из перечня ВАК). При выполнении диссертационной работы получено 2 патента РФ.

4. Обоснованность научных положений и выводов диссертации.

Определяется использованием классических и современных научных и практических результатов в данной области, результатами собственных исследований, включая экспериментальные исследования на конструктивно-подобных образцах, макете-демонстраторе натурной конструкции крыла изготавливаемого самолета, внедрением в серийный процесс сборки крыла.

5. Новые результаты, полученные в диссертационной работе

1. Расчет предельных отклонений положения базовых отверстий, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины с ЧПУ относительно крупногабаритных узлов конструкции крыла при проведении модульной сборки, а также деление на технологические зоны крупногабаритных узлов и деталей, по условиям точности положения осей изготавливаемых отверстий.

2. Обоснование установления рациональных режимов сверления в смешанных металло-композитных узлах соединения с оценкой по слоям

рациональных технологических параметров, обеспечивающих требования к точности и качеству изготовления отверстий.

3. Технология автоматизированной обработки отверстий для смешанных металло-композитных пакетов в соединениях крупногабаритных узлов и деталей конструкции крыла средне-магистрального пассажирского самолета, внедренная в серийный процесс модульной сборки.

Имеются замечания к содержанию работы:

1. В работе исследовано влияние технологических параметров сверления на повреждаемость кромок отверстий в слоях из ПКМ для инструмента с определенной геометрической формой режущей части. Однако, на повреждаемость кромок также определяющее влияние оказывает упрочняющее покрытие режущей части, которое А.Р. Султановой не рассматривалось.

2. При обработке ПКМ характерен абразивный износ инструмента, ограничивающий срок его службы, что сокращает в свою очередь сроки стабильности технологического процесса. Влияние данного фактора на время гарантированной обработки отверстий до смены инструмента, в работе не рассмотрены.

3. Отсутствуют пояснения к принятым качеству и показателям качества отверстий в слоях ПКМ в металло-композитных пакетах, тогда как они непосредственно влияют на долговечность соединений, а также компенсационный дополнительный объем материала, необходимый в конструкции.

4. В тексте работы неоднократно упоминается повышение производительности модульной сборки за счет введения автоматизации и сокращения переходов при изготовлении отверстий. Однако, по-видимому в связи с инновационностью процесса оценка повышения не приводится.

Сделанные замечания не умоляют результатов диссертационной работы, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне, содержит законченное решение актуальной научно-технической задачи.

