

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский национальный исследовательский технический университет»

На правах рукописи



Султанова Альбина Руслановна

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ
В СМЕШАННЫХ ПАКЕТАХ
ПРИ СБОРКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ УЗЛОВ
НА МОДУЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Специальность 2.5.6. Технология машиностроения

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Громашев Андрей Геннадьевич

Иркутск – 2026

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние проблемы, постановка цели и задач исследования	13
1.1 Конструктивные особенности крупногабаритных узлов со смешанными пакетами, содержащими композиционные материалы и металлические сплавы	13
1.2 Методы сборки авиационных конструкций	22
1.3 Особенности технологии обработки отверстий в смешанных пакетах	25
1.4 Анализ технологических процессов по обработке отверстий в смешанных пакетах.....	28
1.5 Методы исследования качества отверстий при обработке отверстий в смешанных пакетах и контроля положения отверстий.....	34
1.6 Цель и задачи исследования	42
2 Технология модульной сборки	45
2.1 Метод модульной сборки авиационных конструкций и оборудование для его реализации	45
2.2 Расчет точности геометрических параметров ОЧК.....	59
2.3 Расчет предельных отклонений геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины.....	66
2.4 Расчет предельных отклонений геометрического положения обработанных отверстий при разборке пакета и обратном точном позиционировании	73
Выводы по главе.....	74
3 Методика экспериментального исследования технологии обработки отверстий в крупногабаритном узле со смешанными пакетами при сборке на модульном оборудовании.....	75
3.1 Методика и условия проведения эксперимента по подбору режимов резания на образцах, имитирующих типовые смешанные пакеты.....	75

3.1.1	Образцы для проведения исследования	75
3.1.2	Оборудование и инструмент для проведения исследования	78
3.1.3	Контрольно-измерительный инструмент для проведения	81
	исследования	81
3.1.4	План эксперимента	84
3.2	Методика и условия проведения эксперимента по исследованию процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле	85
3.2.1	Сборка тестового кессона	85
3.2.2	Методика и условия проведения эксперимента по подбору количества технологического крепежа при обработке отверстий.....	88
3.2.3	Карта обработки отверстий.....	88
3.2.4	Привязка.....	90
3.2.5	Зоны обработки отверстий.....	91
3.2.6	Контрольно-измерительное оборудование для проведения исследования	93
3.2.7	План эксперимента	95
3.3	Методика и условия проведения эксперимента по подбору габаритов зоны привязки для длинномерных деталей.....	96
3.3.1	Образцы для проведения исследования	96
3.3.2	Карта обработки отверстий.....	96
3.3.3	План эксперимента	98
3.4	Методика и условия проведения эксперимента по исследованию повторяемости положения и точности отверстий после разборки пакета и обратном точном позиционировании	98
3.4.1	План эксперимента	98
	Выводы по главе.....	99
4	Результаты экспериментальных исследований и их реализация	100
4.1	Исследования по подбору режимов резания.....	100
4.2	Исследования процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле	101

4.2.1 Исследования по подбору количества технологического крепежа при обработке отверстий.....	101
4.2.2 Исследования качества и точности геометрического положения отверстий.....	101
4.3 Исследования по подбору габаритов зоны привязки для длинномерных деталей.....	106
4.4 Исследования повторяемости положения и точности отверстий после разборки пакета и обратном точном позиционировании	108
4.5 Практическая реализация результатов исследования.....	109
Выводы по главе.....	111
Заключение	113
Библиографический список.....	115
Список сокращений и условных обозначений.....	128
Приложение А	129
Приложение Б.....	130
Приложение В.....	131
Приложение Г	133
Приложение Д.....	136
Приложение Е.....	138
Приложение Ж.....	145
Приложение З	147
Приложение И	149
Приложение К.....	151
Приложение Л.....	153
Приложение М.....	154
Приложение Н	156
Приложение О	170

Введение

В настоящее время все мировые производители авиационной техники предпочитают в своих конструкциях использовать полимерные композиционные материалы (ПКМ). Это легко объяснить рядом преимуществ, которыми обладают конструкции из ПКМ. Высокие показатели у ПКМ модуля упругости и удельной прочности при малой плотности позволяют [25], [41]:

– снизить массу конструкции без ухудшения летных характеристик, что способствует уменьшению расхода топлива и увеличению полезной нагрузки.

– увеличить жесткость при снижении стоимости изготовления в сравнении с конструкциями из металлов. Снижение стоимости связано с тем, что доля механической обработки изделия уменьшается, а коэффициент использования материала увеличивается.

– получить крыло с большим удлинением, что дает значительный эффект в улучшении топливной эффективности за счет уменьшения аэродинамического сопротивления.

Примером широкого использования ПКМ в авиационной технике служат американская корпорация Boeing и европейский авиастроительный концерн Airbus. В конструкциях их самолетов Boeing 787 Dreamliner и Airbus A350 XWB доля ПКМ составляет более 50% от общей массы самолета.

Примером использования ПКМ в российской промышленности является ближнемагистральный самолет Sukhoi Superjet 100, который на 18% по массе состоит из композиционных материалов, среднемагистральный пассажирский самолет МС-21, в конструкции планера которого использовано около 35% композиционных материалов, а также учебно-тренировочный самолет УТС-800, планер которого на 95% состоит из ПКМ.

Наряду с деталями, изготовленными из ПКМ, применяются детали из металлических сплавов. В подавляющем большинстве это алюминиевые и титановые сплавы. Соединение деталей из ПКМ с деталями из металлических сплавов

называют смешанными пакетами (СП). Основная сложность соединения таких пакетов заключается в разности свойств материалов деталей, входящих в СП.

Одной из важнейших задач при сборке является получение надёжных соединений деталей. В случае СП методы и решения, эффективно применяемые при соединении металлических деталей между собой (сварка), а также ПКМ (склеивание) оказываются неприменимы. Таким образом в большинстве случаев единственно возможным способом соединений конструкций металл+ПКМ является установка крепежных элементов в предварительно обработанные отверстия окончательного диаметра. Надежность этих соединений, прежде всего, зависит от параметров качества поверхности отверстий и точности их геометрического положения в соединяемых деталях. Поэтому процесс обработки отверстий в деталях из ПКМ и их конструктивных сочетаниях с деталями из металлов требует особого внимания и составляют не малую долю в общей трудоемкости сборочного процесса.

Традиционно качество точных отверстий достигалось при последовательном выполнении операций сверления, зенкерования и развёртывания. Однако, в настоящее время, появились инструментальные и технологические решения, позволяющие значительно повысить точность при обработке сверлением. Эти достижения позволяют предположить, что в ряде случаев возможно исключение из технологического процесса многократных переходов сверления, зенкерования и развёртывания. Требуемое качество отверстий в рассматриваемых пакетах может быть достигнуто при выполнении гораздо меньшего количества переходов, а в некоторых случаях оно может быть достигнуто и вовсе за один переход. Однако такой подход предусматривает определенные технологические решения при организации сборочного процесса конструкций с СП.

В случае герметичных крупногабаритных конструкций со смешанными пакетами данное достижение может потерять смысл, так как существующие технологии сборки не позволяют выполнять отверстия в таких пакетах в окончательный диаметр перед процессом герметизации.

Актуальность темы исследования: Развитие метода модульной сборки авиационных конструкций типа кессон крыла из крупногабаритных деталей и сборочных единиц (ДСЕ) (ПКМ-панели, ПКМ-лонжероны, металлические нервюры и металлические кронштейны) выдвинуло на передний план решение задачи повышения эффективности процессов образования окончательных отверстий за один-два перехода в крупногабаритных узлах со смешанными пакетами с последующей разборкой и возвратным точным позиционированием собираемых ДСЕ с постановкой окончательного крепежа в герметизируемые пакеты. На решение данной задачи направлены разрабатываемые в диссертации методы и технические средства, которые в конечном итоге позволяют обеспечить необходимое качество отверстий и выполнения соединений в СП, а также повышение производительности процессов сборки кессонов крыла.

Степень разработанности темы исследования. Проанализировав ряд источников по теме исследования, было выявлено, что процесс обработки отверстий в ПКМ и их конструктивных сочетаниях с деталями из металлических сплавов изучался многими авторами. Так в работах Криворучко Д.В. рассмотрен ряд методов обработки отверстий в СП, содержащих слои ПКМ, титановые или алюминиевые сплавы. В работах автора Иванова Ю.Н. описана оптимизация процесса сверления, позволившая установить режимы резания для обработки отверстий с точностью по девятому качеству в трехслойном СП, состоящим из двух слоёв титанового сплава и слоя из ПКМ. Автор Чащин Н.С. описывает оптимизацию процесса развёртывания отверстий в СП из углепластика, титановых и алюминиевых сплавов, на основе которой найдены: эффективные режимы резания и рациональные методы охлаждения зоны резания.

Однако в этих и других трудах не рассматривается обработка отверстий с помощью автоматизированных сверлильных машинах с ЧПУ при сборке на модульном оборудовании, что имеет влияние на еще один немаловажный параметр – точность геометрического положения рассверливаемого отверстия в собираемых деталях.

Существует ряд способов сборки консолей крыла, описанные в работах Аюпян Г. Х., Халилова А. С., Калимуллина Р.Г. Однако эти способы не обеспечивают возвратное точное позиционирования деталей с сохранением точности обработанных отверстий по девятому качеству.

Исходя из вышеизложенного, была сформулирована **цель диссертационной работы:** Обеспечение собираемости герметичных конструкций из крупногабаритных ДСЕ из ПКМ и металлических сплавов при сборке на модульном оборудовании с обработкой окончательных отверстий под крепежные элементы с помощью автоматизированной сверлильной машины с ЧПУ.

Достижение этой цели возможно при решении следующих задач:

1. Установить взаимосвязь технологических процессов обработки окончательных отверстий за один-два перехода и автоматизированного позиционирования ДСЕ с условием разборки пакета и последующего точного позиционирования собираемых деталей при выполнении сборки крупногабаритных узлов со смешанными пакетами на модульном оборудовании, обеспечивающем необходимое качество изделий и эффективность процесса сборки крупногабаритных узлов.

2. Рассчитать предельные отклонения геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины к конструкции собираемого узла.

3. Рассчитать предельные отклонения геометрического положения обработанных отверстий при разборке пакета собираемого узла и обратном точном позиционировании деталей в сборочное положение.

4. Определить параметры режимов резания при обработке отверстий различного диаметра в смешанных пакетах с различными комбинациями слоев на автоматизированной сверлильной машине.

5. Провести исследования процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле на автоматизированном сверлильном оборудовании при модульной сборке.

6. Провести исследования повторяемости положения собираемых деталей и точности отверстий после разборки пакета и обратного точного позиционирования деталей.

Потребность в решении перечисленных задач обусловлена запросами производства, что подтверждает актуальность представленной работы.

Методология и методы исследования. Теоретическая база исследования построена на научных основах технологии машиностроения, теории размерных цепей, математической статистики, теории планирования эксперимента и оптимизации технологических процессов. Данные экспериментальных исследований получены с помощью современных методов измерения. Исследование точности положения отверстий проводилось с помощью лазерного трекера, измерение точности отверстий проводилось с помощью нутромера микрометрического трехточечного, измерение шероховатости отверстий проводилось с помощью контактного и оптического профилометров.

Научная новизна работы:

1. Впервые установлена взаимосвязь технологических процессов обработки отверстий в окончательный размер за один-два перехода и автоматизированного позиционирования ДСЕ с требованиями условий разборки пакета и последующего точного позиционирования собираемых деталей при выполнении сборки крупногабаритных конструкций со смешанными пакетами на модульном оборудовании, обеспечивающем необходимое качество изделий и эффективность процесса получения крупногабаритных сборочных конструкций (п. 2, п.4, п. 9 паспорта специальности 2.5.6).

2. Предложена математическая модель привязки автоматизированной сверлильной машины к собираемой конструкции в виде зон с набором базовых точек и разработан метод определения предельных отклонений геометрического положения базовых точек для привязки оборудования к собираемой конструкции при модульной сборке агрегатов (п. 5 паспорта специальности 2.5.6).

3. Обоснована возможность определения расчётным путем предельных отклонений геометрического положения окончательно обработанных отверстий при

разборке собираемого пакета для обратного точного позиционирования деталей в заданное положение с целью обеспечения собираемости конструкции методом модульной сборки (п. 5 паспорта специальности 2.5.6).

4. Определены режимы резания, необходимое количество технологического крепежа, позволяющие выполнять отверстия окончательного размера (диаметра) в смешанных пакетах деталей (ПКМ+металл) за минимальное количество переходов с помощью автоматизированной сверлильной машины с ЧПУ при сборке на модульном оборудовании (п. 7 паспорта специальности 2.5.6).

5. На основе теоретических и экспериментальных исследований установлена взаимосвязь режимов обработки отверстий с условиями позиционирования инструмента относительно деталей собираемого пакета при сборке с применением автоматизированного модульного оборудования, позволяющая выполнять отверстия в окончательный размер по 9-му качеству с точностью геометрического положения до 0,5 мм с последующей разборкой и обратным точным позиционированием собираемых деталей смешанного пакета (п. 8 паспорта специальности 2.5.6).

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Представленные способы и технические средства выполнения технологических процессов сборки и обработки точных отверстий окончательного диаметра за минимальное количество переходов в смешанных пакетах в условиях применения модульного сборочного оборудования с ЧПУ легли в основу разработки технологических инструкций и технических рекомендаций для технологического процесса модульной сборки, внедренного на АО «АэроКомпозит-Ульяновск».

2. Использование данных технологических инструкций и технических рекомендаций в реальном сборочном производстве обеспечило сокращение цикла и трудоемкости сборки крупногабаритных узлов со смешанными пакетами (детали ПКМ+металл) типа крыло пассажирского самолета.

3. Разработан и защищен патентом РФ на изобретение способ модульной сборки стыковой нервюры самолета для соединения консолей крыла с центропланом и устройство для осуществления способа.

4. Разработан и защищен патентом РФ на изобретение способ модульной сборки кессона консоли крыла самолета с деталями из углеродных полимерных материалов и металлов и сборочная линия с устройствами для осуществления способа.

По результатам проделанных работ автор выносит на защиту:

1. Технологические рекомендации по процессу сборки крупногабаритных узлов со смешанными пакетами, которые обеспечивают повышение эффективности процесса сборки и качества изделий за счет технологии обработки отверстий, а также точного позиционирования ДСЕ с условием разборки пакета и возвратным точным положением собираемых деталей.

2. Расчет предельных отклонений геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины к собираемой конструкции.

3. Расчет предельных отклонений геометрического положения обработанных отверстий при разборке пакета и обратном точном позиционировании собираемых деталей.

4. Методика исследования процесса обработки отверстий в крупногабаритных узлах на автоматизированном сверлильном оборудовании при модульной сборке.

5. Параметры режимов резания при обработке отверстий различного диаметра в смешанных пакетах деталей из ПКМ и металлов с различными комбинациями слоев.

6. Результаты исследований процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле.

7. Параметры зоны для привязки при обработке отверстий с помощью автоматизированного станка с ЧПУ при сборке на модульном оборудовании для достижения точности геометрического положения в собираемом узле обработанного отверстия до 0,5 мм.

8. Результаты исследования повторяемости положения и точности окончательно обработанных отверстий после разборки пакета и обратного точного позиционирования собираемых деталей.

Достоверность подтверждена сходимостью результатов экспериментальных и производственных испытаний. Обоснованность выводов подтверждается опытом практической реализации результатов исследования в производстве. Экспериментальные результаты получены с использованием современного высокоточного аналитического оборудования: лазерного трекера, нутромера микрометрического трехточечного, профилометра.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на X Международной научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (ИРНИТУ, г. Иркутск, 21.05-26.05.2018 г.), на XII Международной научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (ИРНИТУ, г. Иркутск, 27.05-01.06.2019 г.), на XIV Международной научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (ИРНИТУ, г. Иркутск, 21.09-26.09.2020 г.), на Международной конференции «Композитные материалы и конструкции» (МАИ, г. Москва, 10.11.2020 г.), на XV Всероссийской научно-технической конференции «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (ИРНИТУ, г. Иркутск, 22.12.2020 г.).

Результаты работы отражены в 8 публикациях. В журналах рекомендуемого ВАК перечня опубликовано 2 статьи; 1 статья – в международном журнале, индексируемом в системе Scopus; получено два патента РФ на изобретение.

Диссертация подготовлена на кафедре технологии и оборудования машиностроительных производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Структура и объем работы. Диссертация имеет введение, пять глав, заключение, список литературы, насчитывающий 119 источников, и 14 приложений. Работа содержит 18 таблиц и 74 рисунка. Общий объем работы 171 страница.

1 Состояние проблемы, постановка цели и задач исследования

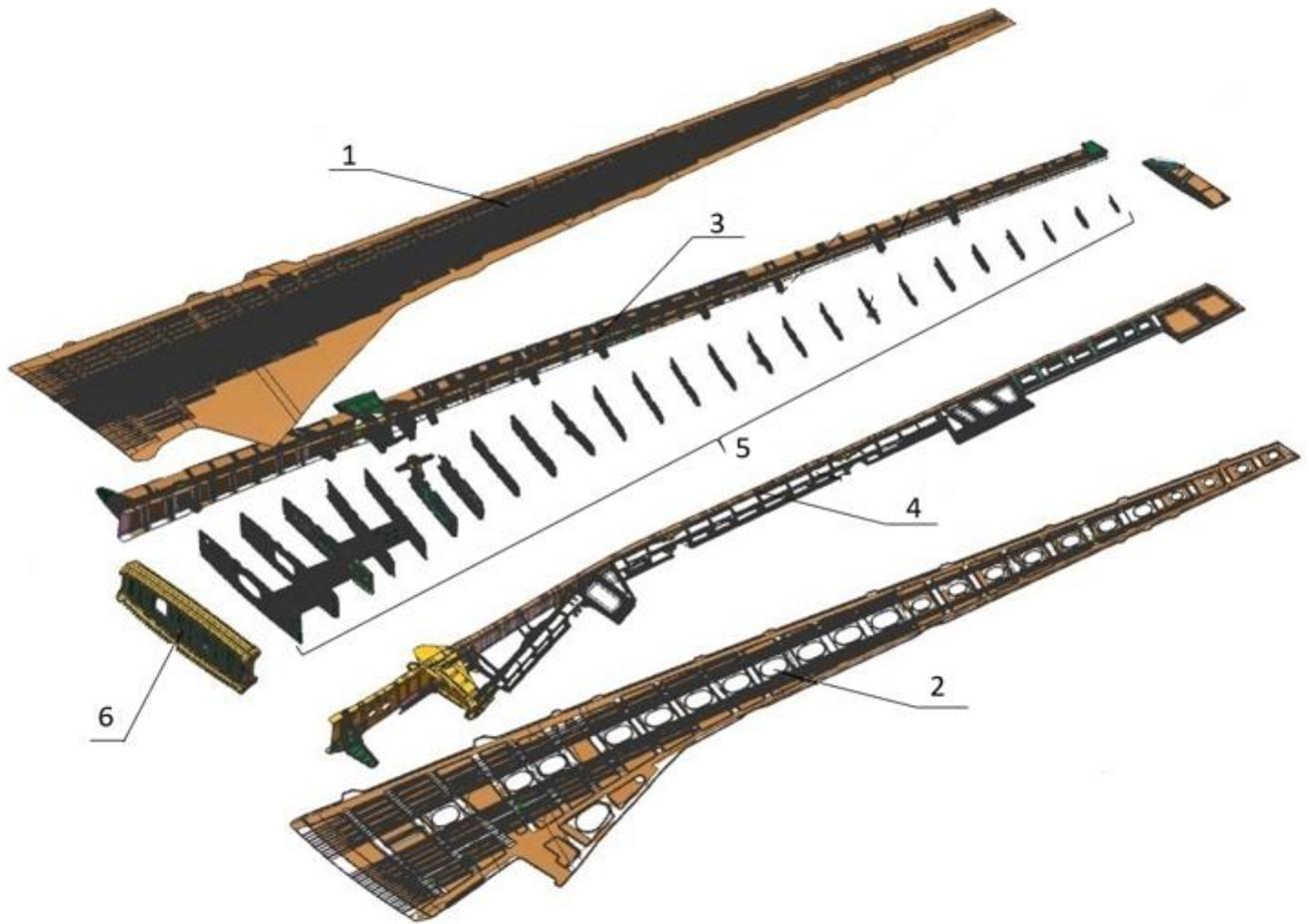
1.1 Конструктивные особенности крупногабаритных узлов со смешанными пакетами, содержащими композиционные материалы и металлические сплавы

Крупногабаритные узлы со смешанными пакетами чаще всего встречаются в авиастроении, ракетостроении и судостроении. Для этих отраслей характерно изготовление внутреннего силового каркаса из металлических сплавов, а панелей, обтекателей, обшивок, элементов навесного оборудования и т.д. из ПКМ [2], [32].

В конструкции кессона крыла самолета нового поколения, консоль которого по длине достигает 17 метров, детали, изготовленные из полимерных композиционных материалов, применяются наряду с деталями, изготовленными из металлических сплавов. Наиболее частое применение среди металлических деталей находят детали из алюминиевых и титановых сплавов.

На рисунке 1.1 изображены составные части кессона крыла самолета, в котором из композиционных материалов выполнены панели и лонжероны, а также лобовики и зашивки; из титановых сплавов выполнены пояса бортовой нервюры, корневая часть заднего лонжерона, а также зона шассийной балки; из алюминиевых сплавов выполнены нервюры и диафрагмы (поперечный силовой набор).

Соединения между собой вышеупомянутых деталей из ПКМ и деталей из металлических сплавов образуют смешанные пакеты. В большинстве случаев количество разнородных материалов в пакете не превышает трех (ПКМ, титановый сплав, алюминиевый сплав), но суммарное количество слоев в пакете может достигать пяти и более. Состав смешанного пакета и последовательность расположения слоев зависит от конструктивных особенностей и назначения соединяемых деталей [22], [23], [26], [28], [34]. Наиболее типовые конструктивные решения представлены в таблице 1.1.



1 – панель верхняя; 2 – панель нижняя; 3 – передний лонжерон;
4 – задний лонжерон; 5 – нервюры; 6 – бортовая нервюра.

Рисунок 1.1 – Кессон крыла самолета нового поколения.

Таблица 1.1 – Типовые составы смешанных пакетов в кессоне крыла

Номер	Состав пакета	Место расположения
1	ПКМ+Al	Наиболее часто встречается в местах соединения панелей кессона крыла с нервюрами.
2	Al+ПКМ	Чаще всего это места соединения фитингов с лонжеронами.
3	Al+ПКМ+Al	Типовое соединение элементов каркаса кессона с лонжеронами и каркасом носовой или хвостовой части крыла.
4	ПКМ+Ti	Места соединения панелей кессона крыла с поясами заднего лонжерона

5	Ti+ПКМ	Места соединения накладки с нижней панелью кессона крыла
6	Ti+ПКМ+Ti	Зона стыка консолей крыла и центроплана, а также зона балки траверсы.
7	Ti+ПКМ+Al	Узлы навески пилона на панель кессона крыла.
8	Al+ПКМ+Ti	Место соединения кронштейна под обтекатель балки закрылка, панели и стыкового фитинга.
9	ПКМ+Ti+Al	Места соединения нижней панели кессона крыла, накладки и нервюры
10	Ti+ПКМ+Ti+Al	Места соединения накладки, нижней панели кессона крыла, пояса корневой части лонжерона и фитинга.

ПКМ – композиционный материал с полимерной матрицей; **Ti**– титановый сплав; **Al**– алюминиевый сплав

Рассмотрим особенности материалов, используемых в составе смешанных пакетов крупногабаритных узлов.

Композиционный материал с полимерной матрицей представляет собой объемную гетерогенную систему, состоящую из различных по свойствам материалов, которые взаимно нерастворимы [5], [13]. Строение таких систем позволяют использовать преимущества каждого из входящих в состав компонентов.

Структура ПКМ состоит из двух основными компонентами:

- полимерная матрица: эпоксидные полимерные смолы, пластики;
- наполнитель: углеродные, стеклянные, базальтовое и др. волокна.

По методу армирования ПКМ делятся на три основных типа: частицами, волокном и листовым материалом [71].

На рисунке 1.2 изображены типовые схемы строения ПКМ. Каждый из них представляет собой матрицу с распределенной в ней армирующей фазой, которая обеспечивает общее улучшение свойств полимера.

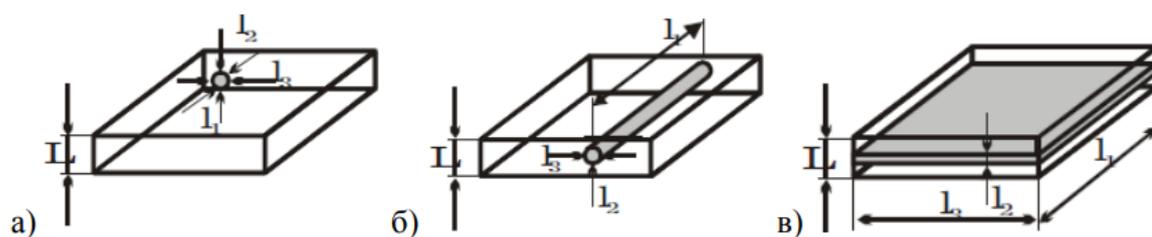


Рисунок 1.2 – Схемы строения композиционных материалов:

а) частицы; б) волокнистые; в) слоистые [3]

На основе этих вариантов возможно применение гибридных структур (т.е. укладка материалов с различными механическими свойствами в виде слоёв).

ПКМ, упрочненные частицами, является полимерной матрицей, в которой армирующие частицы распределены по всему объему материала. В основном используют частицы размерами более 1 мкм в соотношении до 25% от общего объема ПКМ.

Для ПКМ, армированным волокнистым материалом, ключевую особенность, оказывающую влияние на прочность изделия, имеет направление армирования волокнами (рисунок 1.3 а, б, в). ПКМ, армированные листовым материалом, представлены на рисунке 1.3 г.

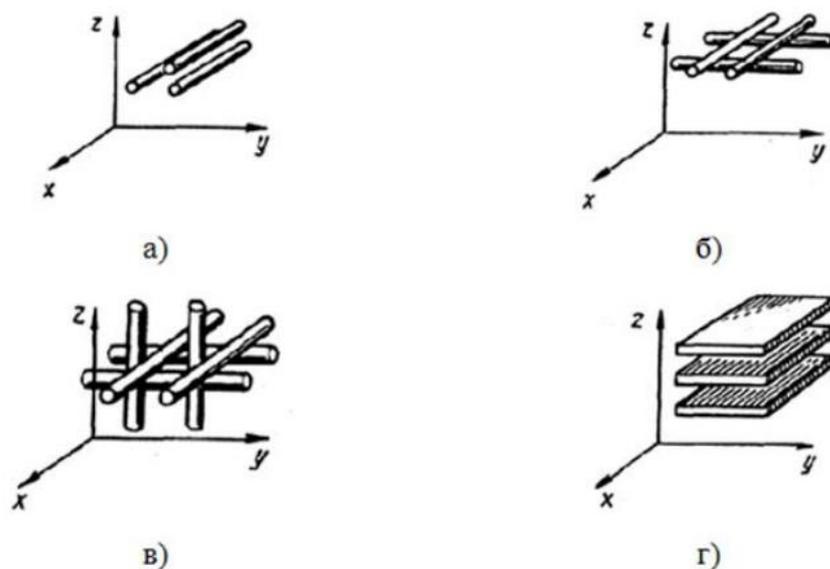


Рисунок 1.3 – Схемы армирования волокнистых ПКМ:

а) однонаправленные; б) двунаправленная; в) трёхнаправленная (пространственная); г) слоистая [18]

Повышенные показатели прочности ПКМ связаны с появлением в материале поверхности раздела сред. Пограничный материал в этой зоне обладает высокими характеристиками прочности. В связи с этим, чем больше зон раздела, тем больше прочность композита. Следовательно, для армирования используют максимально тонкие нити, так как удельная прочность волокон увеличивается с уменьшением сечения. Таким образом, содержание волокон может достигать более 70% от объема изделия.

Практика показала, что путем подбора состава и свойств компонентов композиционных материалов (матрицы и наполнителя, их соотношения, ориентации наполнителя) можно обеспечить получение практически любых изделий с заранее заданным сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. Традиционные материалы (главным образом, металлы) не всегда отвечают потребностям современной инженерной практики. Например, в особо жестких условиях эксплуатации незаменимость композитов обеспечивается сочетанием таких важнейших характеристик, как высокая механическая прочность, теплостойкость, коррозионная стойкость, малая плотность. Во-вторых, многообразие комбинаций различных исходных материалов и их компонентов, а также технологий их переработки в композитные материалы и изделия практически бесконечны и ограничены только уровнем развития науки и техники [25].

Различают основные способы получения изделий из ПКМ:

- контактное формование;
- инъекция/инфузия связующего в закрытую форму;
- формование из препрегов и премиксов;
- прессование;
- изготовление изделий протяжкой;
- намотка;
- магнито-импульсное формование;
- интегральные конструкции;
- объемное формование;
- изделия из полимербетонов;

- детали, получаемые механической обработкой;
- сборные конструкции;
- футеровка;
- литье;
- ремонтные технологии [71].

Одним из наиболее часто используемых прямых методов формования изделий из ПКМ является инфузия или вакуумная инфузия (технология VARTM) [30], [40], [43], [44], [48]. В основе метода лежит процесс пропитки армирующего наполнителя связующим, движущимся за счет разницы давления. Эту разницу давлений обеспечивает разрежение, создаваемое в вакуумном мешке, в котором находятся формирующая оснастка и наполнитель, с помощью вакуумного насоса. В результате возникновения градиента давлений связующее из емкости поступает в формирующую полость и равномерно пропитывает находящийся там сухой армирующий материал.

Если сравнивать данный метод с контактными методами формования, то следует отметить более высокое качество изделий вследствие меньшей пористости и равномерного содержания связующего по объему ПКМ благодаря наличию более легко контролируемых технологических параметров процесса.

Сам технологический процесс состоит из нескольких стадий: выкладка на формирующую полость сухого армирующего наполнителя, а на него специальной сетки, обеспечивающей равномерное движение связующего внутри вакуумного пакета [31]. В формовочном пакете может присутствовать также разделительная ткань, отделяющая формирующуюся часть наполнителя и связующего от самой оснастки, но при определенных требованиях она может быть заменена на антиадгезионную смазку, которой предварительно промазывают формирующую оснастку. Затем, когда связующее полностью пропитало наполнитель, начинается этап отверждения связующего. Однако в связи с конструктивными особенностями оснастки невозможно обеспечить равномерный обогрев всего изделия, поэтому для обеспечения температуры отверждения терморезактивной смолы формирующую полость с наполнителем, упакованную в вакуумный мешок, до процесса

пропитки помещают в тепловой шкаф. На рисунке 1.4 представлена технологическая схема процесса вакуумной инфузии [17].

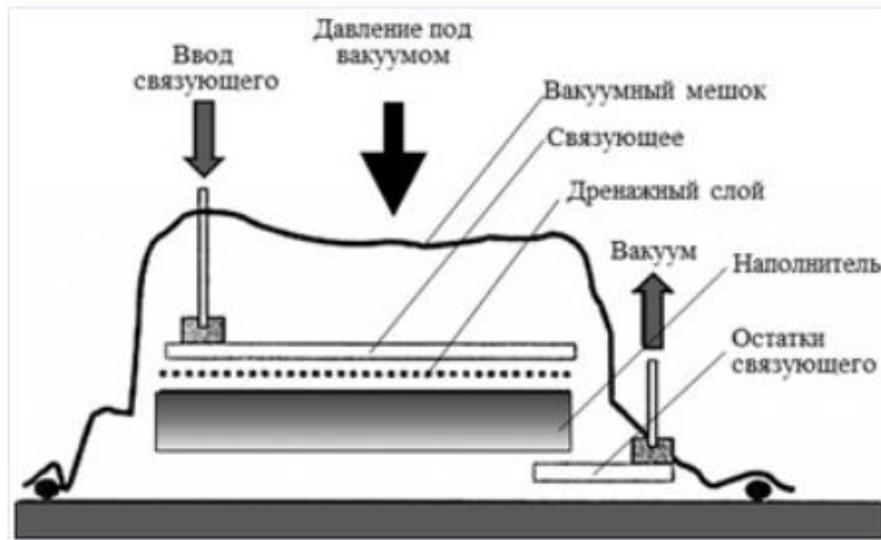


Рисунок 1.4 – Схема процесса изготовления изделий из ПКМ методом вакуумной инфузии (технология VARTM)

Вакуумная инфузия в целом не используется для изготовления конструктивных изделий авиационного назначения, которые должны работать при высоких нагрузках. Однако при изготовлении «черного» крыла для самолета МС-21 использована доработанная технология инфузии, то есть VAP-процесс (Vacuum Assisted Process) формования изделий из ПКМ, основанный на вакуумной инфузии, но с использованием полупроницаемой мембраны [48]. Данная мембрана позволяет улучшать качество готового изделия за счет значительного уменьшения вероятности образования зон армирующего наполнителя, непропитанных связующим до 0,2%, и, помимо этого, за счет создания равномерно распределенного давления, позволяющего снижать разнотолщинность изделий [118]. На рисунке 1.5 изображена технологическая схема процесса вакуумной инфузии с использованием полупроницаемой мембраны [19].

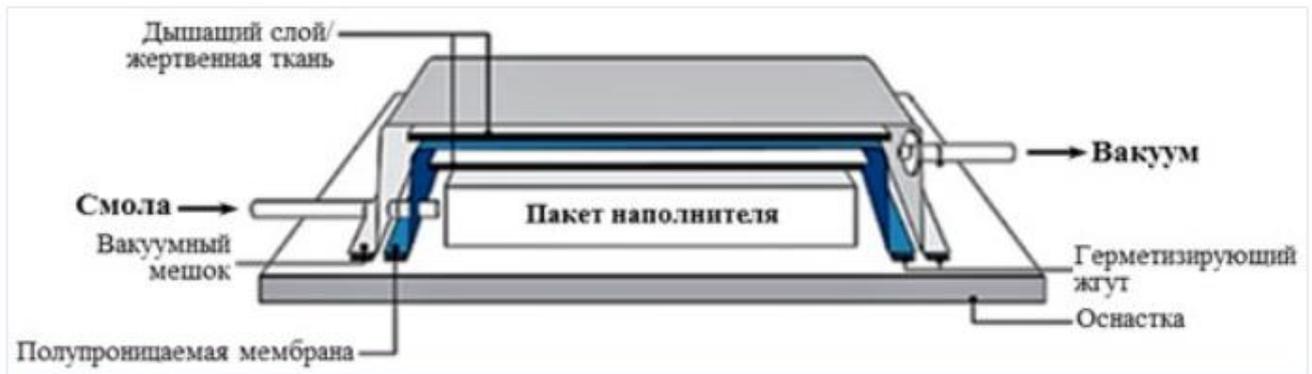


Рисунок 1.5 – Схема изготовления детали методом вакуумной инфузии с использованием полупроницаемой мембраны

Преимуществами данного метода является:

- отсутствие в необходимости разработки дорогостоящей оснастки, так как формование происходит в формующей полости с закрепленным на ней вакуумным мешком, а не в форме типа «пуансон/матрица»;
- отсутствие в необходимости специализированного оборудования для создания избыточного давления, так как связующее поступает за счет разрежения.

Недостатком данного метода является необходимость использования специализированной полупроницаемой мембраны для выполнения необходимого соотношения содержания связующего в армирующей матрице для обеспечения заданных свойств материала и требуемых геометрических размеров формируемого изделия.

Таким образом при изготовлении углеродных композитных панелей и лонжеронов консоли крыла методом вакуумной инфузии их внешний контур имеет высокое качество поверхности и соответствие заданному теоретическому контуру (так как производятся от оснастки и копируют ее контур). А внутренние поверхности данных деталей в связи с природой композиционного материала и технологией изготовления имеет заранее неизвестные отклонения от теоретического контура и неровности в виде волнистостей, которые суммарно находятся в пределах конструкторского допуска, но дают итоговое колебание по толщине $\pm 8,42\%$ от заданного конструктивного размера (рисунок 1.6).

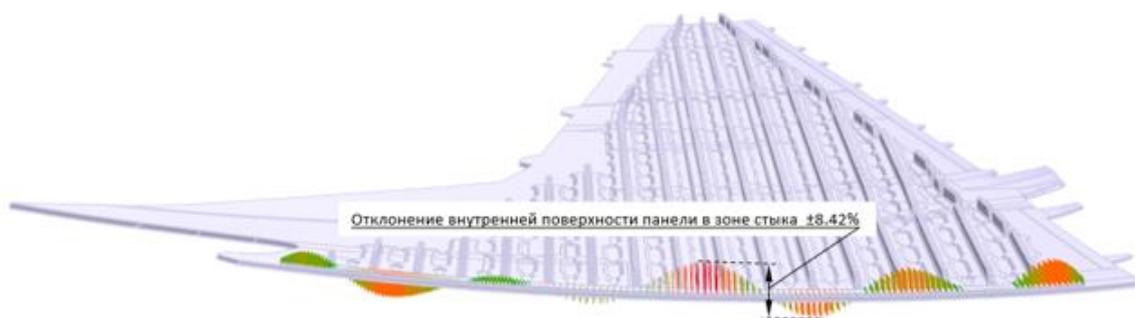


Рисунок 1.6 – Пример колебаний по толщине в панели из ПКМ, изготовленной методом вакуумной инфузии

Для компенсации колебаний по толщине $\pm 8,42\%$ в зоне соединения композитных панелей и лонжеронов кессона крыла с особо ответственными деталями из металлических сплавов в конструкторской документации введен постоянный размер, поглощающий возможные колебания по толщине панелей из композиционного материала.

Для обеспечения известного из конструкторской документации постоянства по толщине на внутренние поверхности панелей и лонжеронов кессона крыла наклеиваются жертвенные слои из стеклопластикового композиционного материала, а затем внутренние поверхности фрезеруются эквидистантно внешним поверхностям до заданного конструктором размера толщины композитных углеродных панелей и лонжеронов (рисунок 1.7).

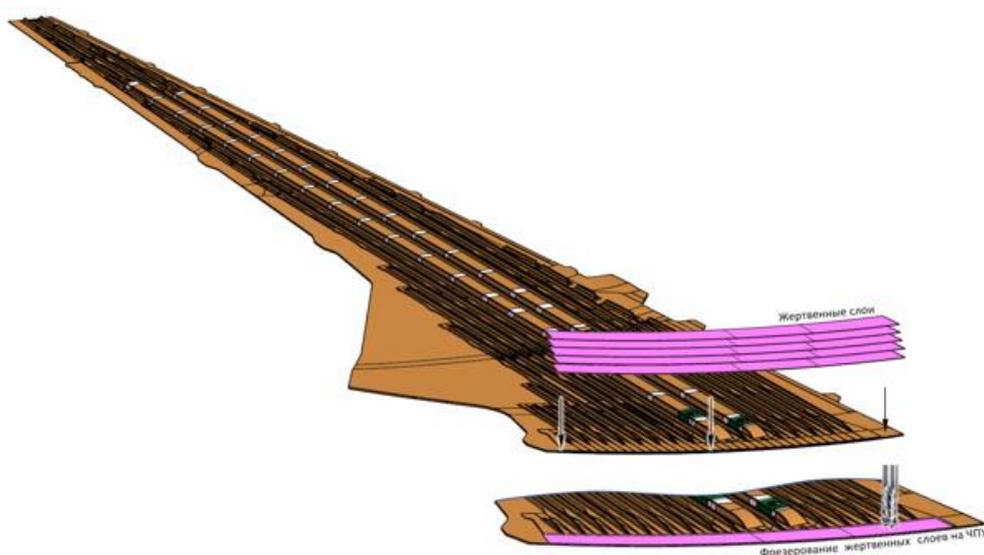


Рисунок 1.7 – Верхняя панель кессона крыла с жертвенными слоями стеклоткани

Детали, изготавливаемые из металлических сплавов, выполняются с более высокой точностью (контуры в пределах $\pm 0,2$ мм).

Для обеспечения требуемой геометрической точности и герметичности конструкции кессона крыла возникает необходимость в точном позиционировании и жесткой фиксации крупногабаритных деталей, а также ответственных узлов на протяжении всего процесса сборки. Существующие методы сборки решают данную проблему лишь частично.

1.2 Методы сборки авиационных конструкций

Из литературного анализа известен ряд способов сборки консолей крыла [45], [46], [47], [48].

Известно устройство для сборки агрегатов летательных аппаратов [45], в котором продольные балки выполнены в виде линеек с возможностью их съема с опор, съемные ложементы по нижней панели закреплены к опорам, а роликовые опоры выполнены в виде тележек с опорой на рельсы, закрепленными к полу цеха. При этом металлоемкие и съемные фиксирующие элементы выполнены с опорой на пол цеха. Предлагаемое устройство позволяет выполнять сборку лонжеронов носового и хвостового отсеков, комплектование и сборку верхних и нижних панелей, установку нервюр кессона, верхних и нижних панелей и узлов навески закрылков. При этом предлагаемое устройство не исключает возможность установки собранных лонжеронов, носового и хвостового отсеков.

Известное устройство имеет следующий недостаток. В описанном устройстве сборка проходит в одном едином стапеле, при этом последовательность сборки крыла предусматривает предварительную установку и присверловку собираемых элементов кессона крыла, по разметке рисок на ложементах стапеля уточняют и корректируют при необходимости положение панели, разделяют отверстия крепления панелей к поясам лонжеронов и нервюр, снимают фиксацию панели и выкатывают из под крыла для сборки по стыкам, затем панель вводят под крыло с установкой по ложементам и производят сборку панели с крылом, что удлиняет цикл сборки крыла и требует выполнения значительного количества

подгоночных работ. Устройство включает в себя домкраты, поворотные узлы и механизмы для перемещения по высоте и фиксации в рабочем положении элементов для крепления лонжеронов и нервюр, устройство имеет в своем составе макетные нервюры, что удорожает стапель, усложняет доступ к собираемым элементам и может быть исключено при соответствующем технологическом проектировании кессона консоли крыла.

Известен способ сборки крыла летательного аппарата[46], по которому сборка кессона консоли крыла включает сборку переднего лонжерона с носовой частью заднего лонжерона с хвостовой частью, каркаса кессона с нервюрами, установку панелей и их герметизацию, в том числе замыкающей панели в последнюю очередь, каркас кессона с нервюрами собирают в вертикальном стапеле общей сборки на базе заранее собранных и установленных в нем переднего лонжерона с носовой частью, заднего лонжерона с хвостовой частью и одной из панелей, При этом собранный каркас кессона и заложенные панели из стапеля не вынимаются. Панели для подготовки привалочных поверхностей к окончательной сборке и герметизации лишь отодвигают от каркаса кессона, перемещая в горизонтальной плоскости, сохраняя пространственную ориентацию относительно взаимных с каркасом стыков. В результате ни каркас, ни панели дополнительным деформациям не подвергаются. Недостатками описанного способа сборки является отдельная сборка лонжеронов и соответственно носовой и хвостовой частей крыла, их соединение в отдельном стапеле и перенос в стапель общей сборки без дополнительной фиксации узлов навески механизации крыла; сборка каркаса крыла и установка нервюр выполняется по лонжеронам и нижней панели, что требует специальных приспособлений для обеспечения и удержания теоретической геометрии нижней панели, а значит каркас кессона не является базой для сборки крыла; затем необходимо отвести нижнюю панель от каркаса кессона и последовательно установить и выполнить сборку верхней панели, что показывает невозможность параллельной расверловки обеих панелей.

Основным недостатком перечисленных способов сборки и устройств для этих способов является искажение заданного в конструкторской документации

геометрического положения в пространстве и формы узлов навески агрегатов механизации крыла после снятия их со сборочного приспособления на промежуточных этапах сборки из-за имеющихся в конструкции собираемых узлов внутренних напряжений, возникающих из-за не жёсткостей и отклонений форм входящих деталей собираемого узла. Кроме того, описанные способы сборки относятся к сборке крыла транспортных самолетов только из металлических деталей, имеющие к тому же сборные верхние и нижние панели. Сборка кессонов консолей крыла с силовыми деталями лонжеронами и цельными интегральными верхней и нижней панелями из полимерных композиционных материалов, которые, кроме подобно с металлическими конструкциями приобретают внутренние напряжения в процессе сборки, имеют колебания по толщине от 0% до 3,5%, связанные с природой композиционного материала, требует критического анализа и пересмотра подходов к способу и устройствам для сборки подобных конструкций.

Известен способ сборки крыла летательного аппарата, патент [47], который включает сборку переднего, заднего лонжеронов, сборку кессона каркаса силовой части крыла с нервюрами, осуществляемую в вертикальном стапеле общей сборки отъемной части крыла (ОЧК) путем закладки заднего и переднего лонжеронов, собранных в отдельных приспособлениях; установки нервюр, панелей, подготовки привалочных поверхностей панелей, лонжеронов, нервюр к окончательной сборке и их герметизации. Верхние и нижние панели подаются на сборку по отдельности. Используют комплекточные стенды. Устанавливают нервюры на стойки лонжеронов. Компенсаторы нервюр и панели берут на технологический крепеж. Нижние панели снимают в обратной последовательности и устанавливают на тележки. Нижние панели готовят к окончательной закладке, компенсаторы окончательно устанавливают на герметики, наносят герметик по привалочным поверхностям на поясах лонжеронов, нервюр, панелей и нижних панелей. Работы ведутся со стороны верхнего контура и изнутри кессона. Снимаются макетные нервюры, установленные между крыльевых нервюр. Основание стапеля содержит направляющие для тележек, расположенных между собираемым кессоном с нижней балкой и основными колоннами с одной стороны, с обратной стороны

между кессоном и дополнительными колоннами. Изобретение направлено на сокращение трудоемкости сборочных работ.

Недостатком описанного способа является изолированная сборка переднего и заднего лонжеронов без носовой и хвостовой частей крыла соответственно, увеличение цикла работ в стапеле общей сборки крыла; отдельная подача панелей на сборку кессона консоли крыла; использование макетных нервюр и значительное количество подвижных регулируемых элементов стапеля; стапель является стационарным и предусматривает значительный объем подгоночных работ; установка панелей выполняется по макетным нервюрам, которые должны обеспечивать внешний контур кессона консоли крыла; верхняя балка стапеля, расположенная на основных колоннах, смещенная в горизонтальной плоскости на величину, достаточную для закладки лонжеронов и панелей, на ней размещены откидные фиксаторы для базирования и фиксации переднего лонжерона, откидные, шарнирно соединенные с ними или съемные фиксаторы кареток рельсов, носков крыла и узлов навески пилонов, расположенные на переднем лонжероне, а также грузоподъемные механизмы для вертикального перемещения панелей.

1.3 Особенности технологии обработки отверстий в смешанных пакетах

Основная сложность соединения СП заключается в разности физико-механических свойств материалов, из которых состоит пакет. Также из-за разности свойств ограничивается и выбор метода соединения этих материалов. Методы и решения, применяемые при соединении металлических деталей между собой (например, сварка) не приемлемы для элементов из ПКМ, и наоборот – методы, применяемые для сборки ПКМ (например, склейка) не подходят для металлических слоев, так как не будет требуемой адгезии [34], [75], [109].

Таким образом в большинстве случаев единственно возможным способом соединений конструкций, в которых присутствуют детали из ПКМ и металлических сплавов, является установка крепежных элементов (болтов, болт-заклепок) в

предварительно обработанные отверстия. Однако данный способ имеет свои особенности.

В первую очередь, сложность заключается в противоречивости требований к разделке отверстий в ПКМ и требований к разделке отверстий в титановых сплавах или алюминиевых сплавах, таких как, например, режимы резания или применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

С целью минимизации дефектов в ПКМ необходимо устанавливать высокие скорости резания и низкие подачи, но при совместной обработке ПКМ с титановым сплавом данное требование является противоречивым из-за значительного тепловыделения. Повышение температуры в зоне резания до значений температуры стеклования ПКМ вызывает оплавление полимерной матрицы и образования прижогов на обработанных поверхностях. Термические повреждения снижают межслоевую прочность и прочность на границе раздела волокно-смола, что в свою очередь ведет к образованию расслоений, сколов и разломачиваний. Ввиду расположенности к водопоглощению использование СОЖ в пакетах, содержащих ПКМ, не допускается. Компромиссным решением является применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), использование которых в минимальном количестве в виде тумана при работе с труднообрабатываемыми материалами значительно увеличивает срок службы инструмента и качество получаемых отверстий [95].

Основным фактором, снижающим эффективность лезвийной обработки ПКМ, является абразивная природа наполнителя [70], [99]. Обилие углеродных, или других типов волокон в структуре ПКМ вызывает быстрый износ инструмента (преимущественно по задней поверхности) [16], [51]. Развитие данного процесса чаще приводит к увеличению пятна контакта по задней поверхности инструмента с поверхностью обрабатываемого отверстия, что в свою очередь приводит к росту температуры в зоне резания. Рост температуры приводит к разрушению матрицы (деструкции) композиционного материала [68], [74].

Титановые сплавы, входящие в СП также имеют влияние на эффективность обработки [27]:

– титан обладает низкой теплопроводностью, как следствие, недостаточная скорость отвода тепла из зоны резания приводит к нагреву инструмента. Разогретый инструмент при переходе в следующий слой СП может привести к ухудшению параметров отверстий;

– высокая температура в зоне резания способствует образованию α -слоя, следовательно, повышению твердости обрабатываемого материала, что отрицательно сказывается на стойкости инструмента;

– титановые сплавы подвержены адгезии при резании, что приводит к образованию нароста на режущем инструменте.

Алюминиевые сплавы – хорошо поддаются лезвийной механообработке. Обладают высокой теплопроводностью, что благоприятно сказывается на отводе выделяемого тепла при механообработке. Рекомендуемые режимы резания значительно превосходят режимы для титановых сплавов [60], [61].

Основными факторами, снижающими эффективность механообработки алюминиевых сплавов, являются [37], [87]:

– высокая вязкость, приводящая к появлению сливной стружки. Это может привести к забиванию стружечных каналов, ухудшению параметров отверстий;

– склонность к наростообразованию на режущем инструменте, что приводит к увеличению радиуса округления режущей кромки, вследствие чего происходит ухудшение параметров отверстия, увеличение температур и сил резания.

Как правило, обработку отверстий в смешанных пакетах выполняют на заключительных этапах изготовления изделия, в том числе в процессе агрегатной сборки. Высокая цена устранения брака на данных этапах способствует занижению режимов обработки и использованию большого числа переходов для минимизации дефектов. Данные действия способствуют значительному удорожанию сборочных операций, а также увеличению трудоемкости. Только обоснованное назначение режимов резания и минимизация количества переходов позволит снизить себестоимость и трудоемкость операций обработки отверстий в смешанных пакетах.

1.4 Анализ технологических процессов по обработке отверстий в смешанных пакетах

Для того, чтобы соединения в СП были надежными, особое внимание уделяется качеству отверстий, а именно точности диаметра, шероховатости поверхности и соосности отверстий в слоях смешанного пакета. Поэтому такие отверстия рекомендуется обрабатывать за один рабочий ход через все слои пакета, чтобы минимизировать погрешности расположения отверстий [6], [79], [85].

Различают три способа обработки отверстий:

- сверление;
- зенкерование;
- развертывание.

Сверление применяется для получения отверстий в сплошном материале, а также для рассверливания уже имеющих отверстия. Сверлением обеспечивается точность обработки 11-12 квалитетов и параметры шероховатости R_a в диапазоне 3,2-23 мкм. В качестве инструментов используются сверла различных конструкций. Геометрия и конструктивные элементы сверла отображены на рисунке 1.8.

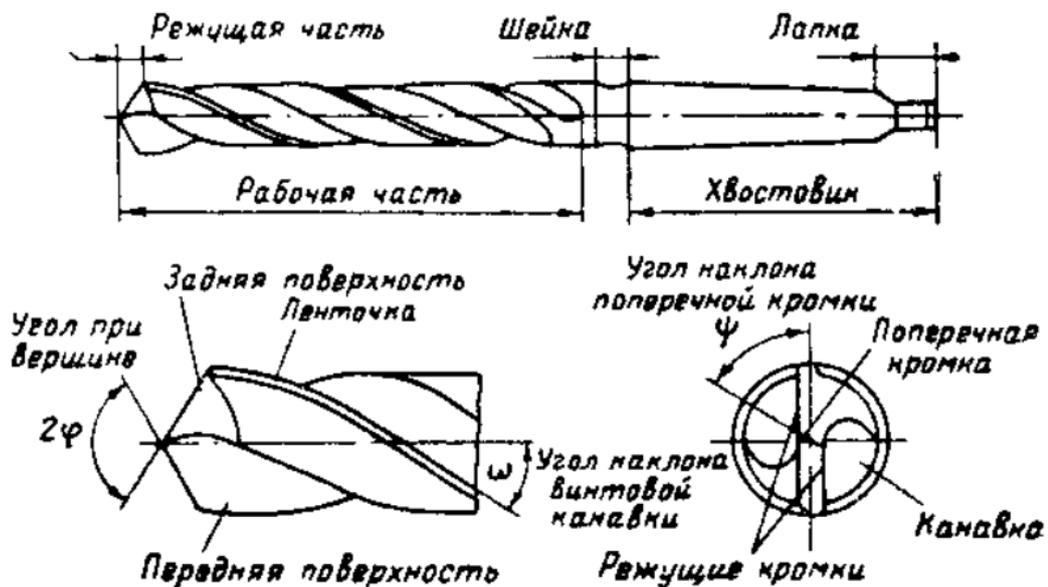


Рисунок 1.8 – Геометрия и конструктивные элементы сверла.

Зенкерование – процесс увеличения зенкером предварительно подготовленного отверстия (литого, штампованного, просверленного) с целью придания его стенкам более правильной геометрической формы и меньшей шероховатости. Эта операция может быть окончательной (при получении отверстия с точностью в пределах 8-9 квалитетов и с шероховатостью R_a в диапазоне 3,2-6,4 мкм) или предварительной (получистовой) – перед развертыванием. Средние значения припусков под зенкерование (после сверления) 0,5-3 мм на сторону.

По форме режущей части зенкер (рисунок 1.9) напоминает спиральное сверло, но в отличие от сверла он имеет не две, а три или четыре главные режущие кромки, расположенные на режущей части; кроме того, зенкер не имеет поперечной кромки.

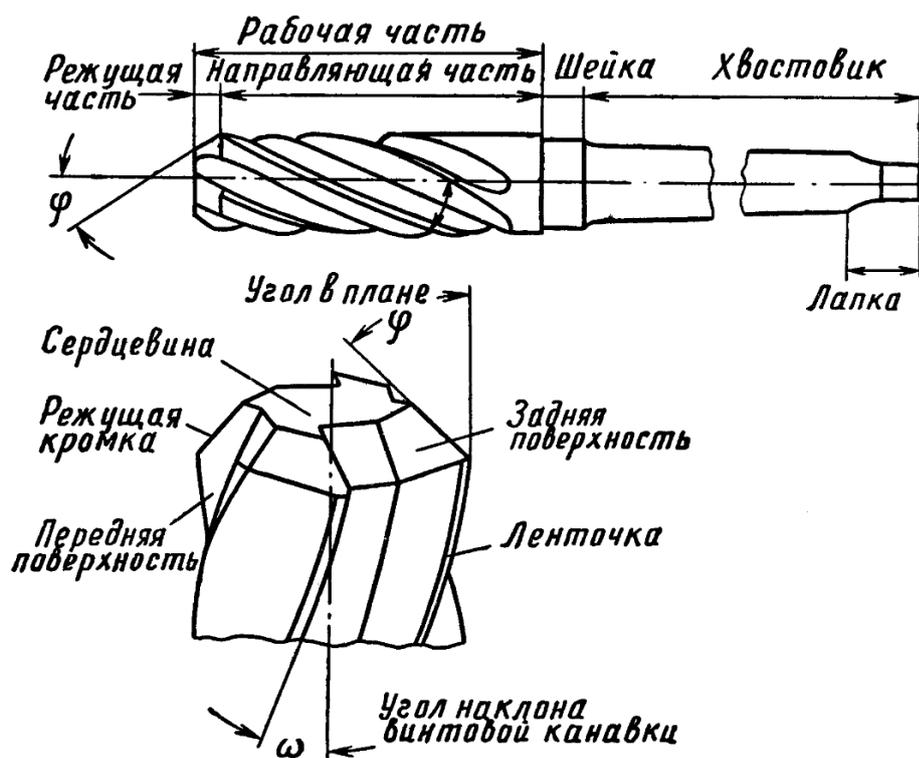


Рисунок 1.9 – Геометрия и конструктивные элементы зенкера

Развертывание – процесс окончательной обработки отверстия разверткой для получения более точных размеров (до 5-7 квалитетов) и шероховатостью обработанной поверхности R_a в пределах 0,5-1,6 мкм. Припуск под развертывание принимается в среднем 0,15-0,5 мм на сторону для черновых разверток и 0,05-0,25 мм – для чистовых.

Развертка (рисунок 1.10) внешне похожа на зенкер, но отличается от него большим числом режущих кромок (от 6 до 12) и более пологой режущей (заборной) частью; нагрузка, приходящаяся на режущие кромки развертки, значительно меньше, чем у зенкера. Все это влияет на повышение точности и уменьшение шероховатости стенок отверстия после развертывания.

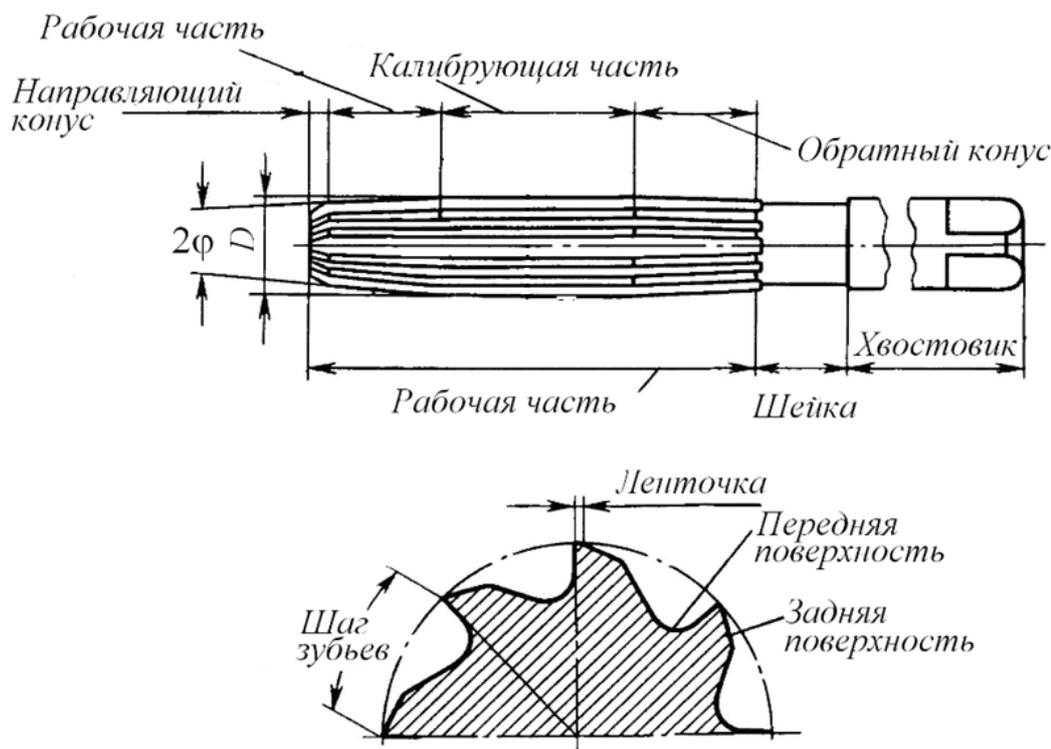


Рисунок 1.10 – Геометрия и конструктивные элементы зенкера

Для обработки отверстий применяются следующие типы технологического оснащения:

- ручные дрели;
- сверлильные машины с автоматической подачей (СМАП);
- робототехнические комплексы (РТК) [34], [38];
- станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

Выбор оборудования обусловлен экономической эффективностью.

Ручные дрели (рисунок 1.11) чаще всего применяются при обработке отверстий в несложных пакетах с небольшими диаметрами, а также в местах ограниченного подхода, куда невозможно подобраться автоматизированной сверлильной машиной.



Рисунок 1.11 – Пример ручной пневматической дрели

Недостатками ручного сверления является:

- трудность в достижении качества отверстий;
- при обработке больших диаметров приходится делать множество переходов, что влечет за собой износ дорогостоящего инструмента.

Сверлильные машины с автоматической подачей режущего инструмента (СМАП) делятся на два типа: пневматические и электрические (рисунок 1.12).



а)

б)

Рисунок 1.12 – СМАП:

а) с пневматическим приводом; б) – с электроприводом

Чаще встречаются пневматические СМАП, потому как они проще в обслуживании. Их недостатком является отсутствие возможности изменять режимы резания (скорость резания, подача) в процессе работы.

Электрические СМАП позволяют изменять режимы резания, что рекомендуется для обработки отверстий в смешанных пакетах. Таким образом, можно оптимизировать обработку для каждого слоя, что приведет к уменьшению машинного времени, а также улучшению параметров отверстий.

Недостатком всех СМАП является необходимость в дополнительном дорогостоящем оснащении (кондукторах) для позиционирования СМАП и инструмента в зоне резания (в зоне образования отверстия).

В технологии обработки отверстий на роботизированном технологическом комплексе (РТК) реализуется координирование в зоне резания и подача инструмента за счет движения звеньев робота. Преимущество данного метода заключается в использовании шпиндельного узла с минимальными габаритами и массой. Таким образом, этот метод подходит для обработки отверстий в труднодоступных местах, где невозможен подход крупногабаритным шпинделем (рисунок 1.13) [72].



Рисунок 1.13 – Роботизированная система

Недостатками такой технологии являются: низкая точность получаемых отверстий особенно больших диаметров (диаметров отверстия больше 10мм) из-за недостаточной жесткости звеньев робота, зависимость параметров отверстия от жесткости робота, так как нагрузки, возникающей в процессе резания, приходится на узлы робота и влияют на параметры отверстия.

Технология обработки отверстий на автоматизированных сверлильных машинах с ЧПУ позволяет с помощью комбинированного инструмента сверлить отверстия окончательного диаметра за один переход в крупногабаритных узлах со смешанными пакетами по заранее запрограммированному маршруту обработки отверстий (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Автоматизированная сверлильная машина

1.5 Методы исследования качества отверстий при обработке отверстий в смешанных пакетах и контроля положения отверстий

При изготовлении деталей самолетных конструкций одним из массовых процессов механической обработки ПКМ является обработка отверстий. При обработке отверстий необходимо учитывать их функциональное назначение – отверстия для сборки силовых элементов конструкций, функциональные (для перелива топлива, в шумопоглощающих панелях, слива конденсата и т. п.) и технологические. В каждом из этих случаев требования к качеству отверстий определяются требованиями конструкторской документации. Качество получаемых отверстий по входным и выходным кромкам, точность и чистота поверхности цилиндрической части отверстия чрезвычайно важны с точки зрения надежности, долговечности и работоспособности конструкции.

Процесс обработки отверстий в смешанных пакетах может сопровождаться возникновением дефектов, как в металлическом, так и композиционном слое смешанного пакета. Параметры качества отверстий в металлических сплавах хорошо известны и обычно определяются погрешностями диаметра, формы отверстия и параметрами микрогеометрии поверхности. Основными дефектами, возникающими при механической обработке ПКМ, являются: растрескивание связующего, расслоение, выдергивание волокон, непрорез волокон, термическая деструкция связующего. [58], [90], [119]. На рисунке 1.12 показаны дефекты, которые встречаются при сверлении отверстия в ПКМ.

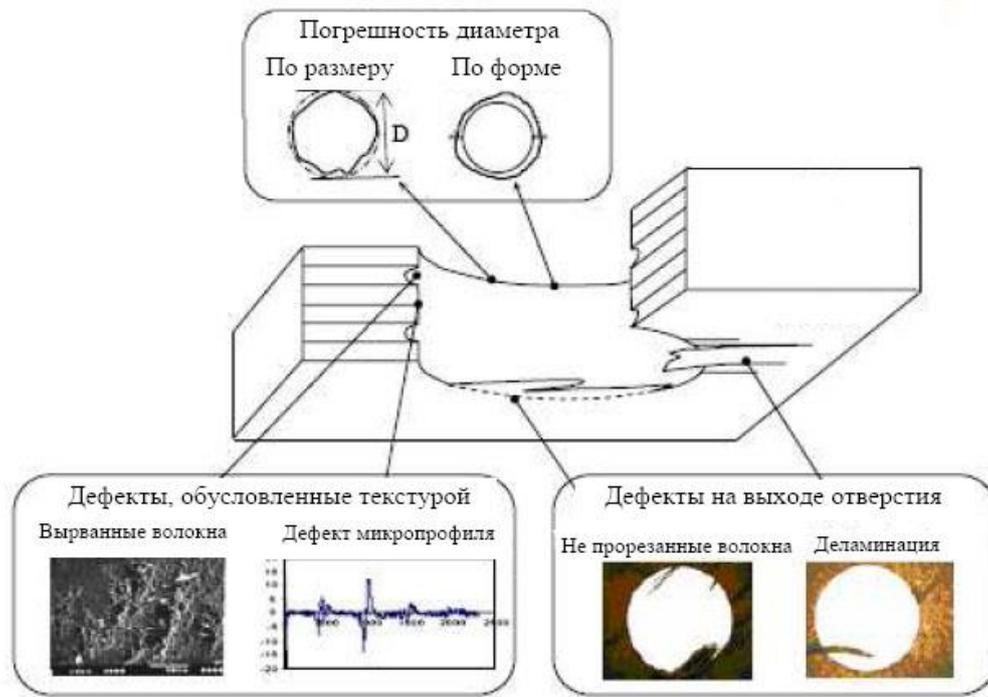
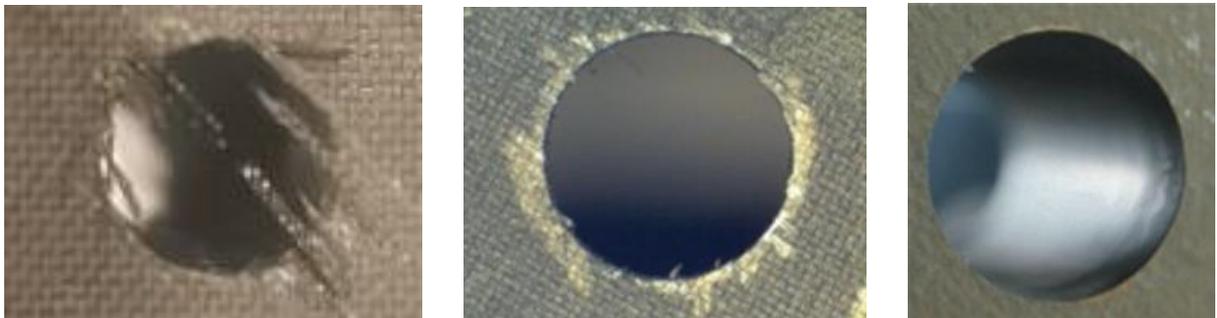


Рисунок 1.12 – Дефекты ПКМ

Исходя из вышеизложенного, исследовать качество отверстия можно в первую очередь визуально (рисунок 1.13).



а)

б)

в)

Рисунок 1.13 – Визуальный контроль отверстия на выходе режущего инструмента:

а), б) – некачественное отверстие; в) – качественное отверстие

Следующий параметр, который можно исследовать визуально, это качество внутренней поверхности отверстия (рисунок 1.14)

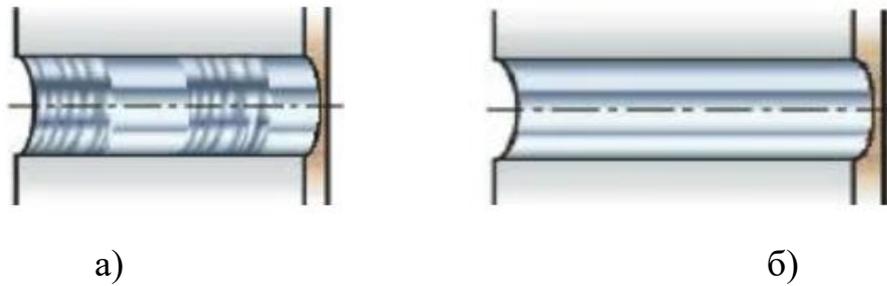


Рисунок 1.14 – Визуальный контроль внутренней поверхности отверстия:
а) – некачественное отверстие; б) – качественное отверстие

Причины некачественной внутренней поверхности отверстия в ПКМ могут быть разными, начиная от неподходящих режущего инструмента и режимов резания, заканчивая эвакуацией металлической стружки в СП.

Процессы образования и эвакуации стружки имеют важное значение при обработке отверстия и зависят от материала заготовки, параметров сверла, геометрии пластин, давления/расхода СОЖ и режимов резания. Пакетирование стружки может провоцировать радиальное смещение сверла, как следствие, ухудшать качество отверстий, стойкость и надёжность инструмента и даже вызывать поломку сверла/пластин.

Образование стружки считается нормальным, если стружка беспрепятственно эвакуируется от сверла из отверстия. Проще всего понять это, прислушавшись к звукам во время сверления. Равномерный звук означает, что стружка эвакуируется хорошо, в то время как прерывистый указывает на пакетирование стружки [112].

Также стружку можно проконтролировать визуально (рисунок 1.15)



Рисунок 1.15 – Визуальный контроль стружки
а) – нормальная; б) – пакетирование

После того, как визуальный контроль показал, что отверстие качественное, имеет смысл переходить к инструментальному контролю.

Измеряют и проверяют размеры отверстий различными контрольно-измерительными инструментами, которые выбирают в зависимости от требуемой точности измеряемого размера и характера производства [65].

Определение внутренних параметров отверстий является очень сложной процедурой, трудоемкость выполнения которой значительно выше, чем при наружных замерах. Самые большие сложности возникают при измерении отверстий с малым диаметром, с отклонениями от круглой формы и большой длиной. По этой причине инструментальные методы и способы для определения внутренних размеров имеют свои особенности.

Во время проведения замеров рабочая часть инструмента должна быть внутри детали, что приводит к увеличению сложности конструкции измерительного инструмента. Подобные требования приводят к значительному усложнению конструкции измерительных приборов.

Одним из самых распространенных универсальных приборов для измерения внутреннего диаметра отверстия является нутромер (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16 – Нутромер

а) – индикаторный; б) – микрометрический трехточечный

В серийном или массовом производстве для контроля правильности изготовления отверстий главным образом используются бесшкальные измерительные

инструменты – гладкие калибры. Они обеспечивают быстроту и точность измерений и делятся на нормальные и предельные.

Нормальные калибры имеют размеры, равные только номинальному размеру проверяемого элемента изделия. Эти калибры входят в проверяемую деталь с большей или меньшей степенью плотности.

В настоящее время применяют в основном предельные калибры. Их изготавливают двусторонними: одна сторона имеет наибольшие, а другая – наименьшие предельные размеры отверстия в детали. Одна сторона называется проходной (ПР), а вторая – непроходной (НЕ) (рисунок 1.17).

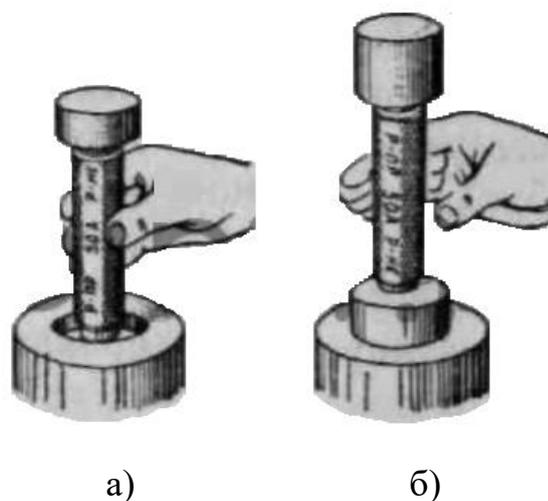


Рисунок 1.17 – Калибр-пробка

а) – проходная сторона; б) – непроходная сторона

Еще одним немаловажным параметром качества получаемых отверстий является шероховатость. Шероховатость влияет на износостойкость, прочность, качество гальванических связей, герметичность соединений, и в конечном итоге на ресурс собираемой конструкции.

В машиностроении для оценки шероховатости отверстий наиболее распространены параметры, связанные с высотными свойствами неровностей:

- арифметическое отклонение профиля R_a (мкм);
- высота неровностей профиля по 10 точкам R_z (мкм).

Для измерения шероховатости в деталях из металлических сплавов используют контактные профилометры (рисунок 1.18).



Рисунок 1.18 – Контактный профилометр

Измерение шероховатости в ПКМ контактным методом не позволяет получить достоверную информацию, так как в отличие от металлической поверхности ПКМ после механообработки представляет собой совокупность микровырывов и несрезанных волокон, которые могут исказить результат при измерении щупом.

Для измерения шероховатости в деталях из ПКМ используют оптические профилометры (рисунок 1.19).

Однако проведение измерений в отверстиях оптическим методом требует разрезки образцов для подвода объектива.



Рисунок 1.19 – Оптический профилометр

В связи с этим зачастую в конструкторской документации шероховатость отверстий в ПКМ не регламентируется. Качество отверстий контролируется визуально и сравнивается с эталоном.

При обработке отверстий под потайные крепежные элементы необходимо также контролировать глубину зенковки.

Глубина гнезд под потайные головки крепежных элементов контролируется при помощи специального калибра и индикаторного приспособления (рисунок 1.20). Форма и геометрические параметры калибра – в соответствии с нормативной документацией на выполнение соединений крепежными элементами.

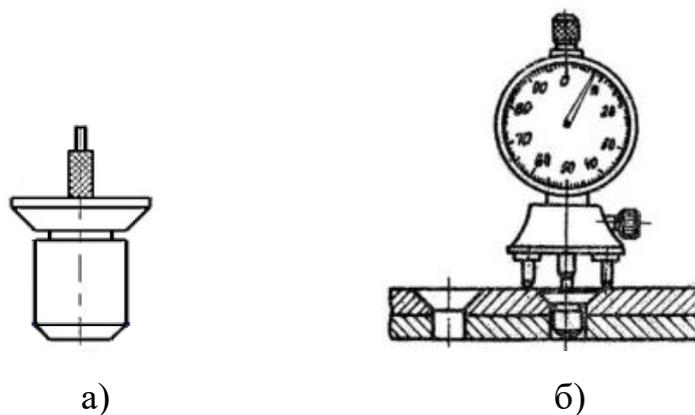


Рисунок 1.20 – Контроль выступания потайных головок болтов

а) – калибр-болт; б) – индикаторное приспособление

В случаях, когда отверстия выполняются в силовых конструкциях для базирования, контроля или под крепежные элементы, важно не только качество поверхности отверстия, но его положение в пространстве. Например, расстояние до обреза детали, соседнего отверстия или до каких-либо баз. И если в первых двух случаях для определения геометрического положения отверстия на соединяемых деталях зачастую можно обойтись измерительной линейкой, то в случае, базовых или контрольных отверстий в крупногабаритных деталях нужно более современное и точное оборудование. Во многих случаях таким оборудованием служит лазерный трекер (рисунок 1.21).

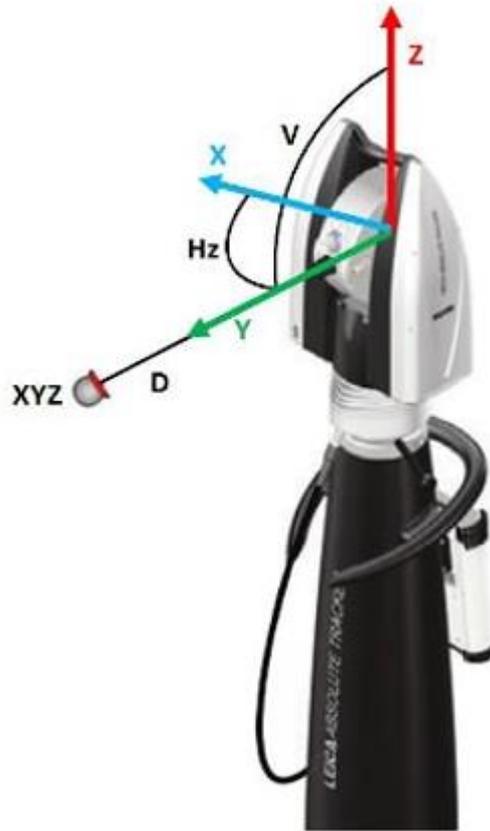


Рисунок 1.21 – Лазерный трекер:

H_z – Горизонтальный угол; **V** – Вертикальный угол; **D** – Расстояние

Три сферические координаты H_z , V , D (см. рисунок 1.21) трансформируются в прямоугольные координаты ($X/Y/Z$). Углы измеряются с точностью угловых энкодеров, датчиков, встроенных в трекер. Расстояние до цели определяется с помощью технологии абсолютного интерферометра (AIFM). AIFM совмещает в себе интерферометр (IFM) для измерений относительных расстояний с высокой скоростью в динамике и абсолютный дальномер (ADM) для определения абсолютных расстояний. Две системы работают одновременно, что позволяет трекеру зафиксировать луч на движущемся отражателе и отслеживать его перемещения с высокой точностью и высокой частотой замеров, до 1000 Гц (1000 измерений в секунду).

Принцип измерений и работы с лазерным трекером следующий: прибор подключается к компьютеру, на котором установлено метрологическое программное обеспечение для сбора и анализа данных. (Без компьютера подобными

устройствами обычно не работают, т.к. сбор самих данных измерений осуществляется непосредственно в программном обеспечении.) Так как трекер следит за отражателем и подключен к компьютеру, управляющая программа “знает” положение центра отражателя в системе координат трекера (или любой другой). Далее с помощью отражателя, посредством контактных измерений (отражатель помещается прямо на измеряемую поверхность) набираются точки на изделии, по которым программа строит геометрические элементы, описывающие измеряемую деталь, например цилиндры (отверстия), плоскости (грани, фланцы), конусы и т.п. Далее уже эти элементы оцениваются в программе на предмет размеров, допусков и т.п. (габаритный размер изделия между плоскостями, межосевое расстояние, соосность, параллельность и т.п.) [110].

1.6 Цель и задачи исследования

Подводя итоги проведённого анализа теории и практики в отношении технологий выполнения механических соединений в пакетах из композиционных и металлических сплавов следует отметить, что для обеспечения требуемой геометрической точности и герметичности конструкции кессона крыла с деталями из ПКМ и металлических сплавов возникает необходимость в точном позиционировании и жесткой фиксации крупногабаритных деталей, а также ответственных узлов на протяжении всего процесса сборки. Существующие методы сборки решают данную проблему лишь частично.

Актуальной является проблема обеспечения качества отверстий в пакетах, содержащих ПКМ и титановые, алюминиевые сплавы, поскольку доля ПКМ в авиационной технике неуклонно растет, а единственным эффективным методом соединения деталей из ПКМ и металлов остаются болтовые и болт-заклепочные соединения, требующие обработки отверстий.

Взаимоисключающие требования к процессу резания ПКМ, титановых и алюминиевых сплавов обуславливают сложность в подборе режимов резания за минимальное количество переходов.

Одним из перспективных направлений является обработка отверстий в пакетах содержащих ПКМ и титановые сплавы с помощью автоматизированных сверлильных машин с ЧПУ. Повышение точности и качества обработки отверстий в смешанных пакетах (ПКМ+металл) достигается совмещением прорывных инструментальных разработок с научно обоснованным назначением режимов резания, учитывающим особенности обработки ПКМ, титановых и алюминиевых сплавов.

Для контроля точности и повторяемости позиционирования отверстий в собираемых крупногабаритных деталях необходимо использовать современные и точные контрольно-измерительные приборы.

Отсутствуют методики экспериментального исследования технологии обработки отверстий в смешанных пакетах при сборке на модульном оборудовании.

Целью диссертационной работы является обеспечение собираемости герметичных конструкций из крупногабаритных ДСЕ из ПКМ и металлических сплавов при сборке на модульном оборудовании с выполнением механических соединений с предварительным образованием отверстий окончательного диаметра с помощью автоматизированной сверлильной машины с ЧПУ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать технологический процесс выполнения механических соединений в крупногабаритных узлах со смешанными пакетами, который повышает эффективность процесса сборки и обеспечивает качество изделий за счет технологии обработки отверстий, а также точного позиционирования ДСЕ с условием разборки пакета и возвратным точным сборочным положением.

2. Рассчитать предельные отклонения геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины к конструкции собираемого узла.

3. Рассчитать предельные отклонения геометрического положения обработанных отверстий при разборке пакета собираемого узла и обратном точном позиционировании деталей в сборочное положение.

4. Определить параметры режимов резания при обработке отверстий различного диаметра в смешанных пакетах с различными комбинациями слоев на автоматизированной сверлильной машине.

5. Провести исследования процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле на автоматизированном сверлильном оборудовании при модульной сборке.

6. Провести исследования повторяемости положения собираемых деталей и точности отверстий после разборки пакета и обратного точного позиционирования деталей.

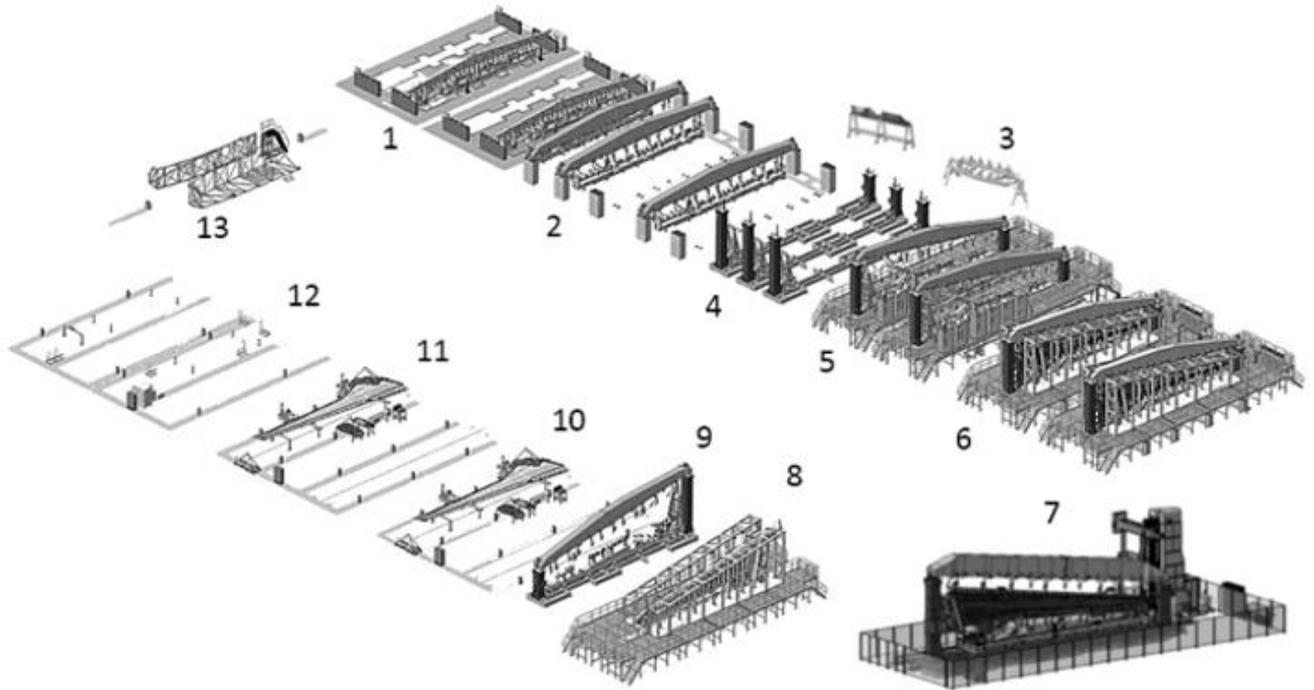
2 Технология модульной сборки

2.1 Метод модульной сборки авиационных конструкций и оборудование для его реализации

Модульная сборка – технологический процесс, при котором отдельные составные части ОЧК (носовая часть крыла (НЧК), хвостовая часть крыла (ХЧК), бортовая нервюра (БН), кессон ОЧК) собираются в отдельных сборочных модулях. В свою очередь, сборочные модули являются составными частями общего сборочного приспособления (стапеля сборки ОЧК), целостность которого формируется при установке отдельных сборочных модулей составных частей ОЧК в базовое сборочное приспособление (мобильную раму) по мере перемещения мобильной рамы по линии сборки консоли крыла. При этом точность геометрических параметров ОЧК определяется точностью позиционирования и сборки отдельных составных частей ОЧК и их деталей в соответствующих модулях сборки и точностью позиционирования отдельных модулей в базовом сборочном приспособлении (мобильной раме) стапеля сборки ОЧК. Сборка составных частей консолей крыла выполняется на соответствующих рабочих местах (станциях сборки) линии сборки ОЧК. Особенностью сборочной линии является то, что окончательное формирование стапеля сборки ОЧК, и соответственно кессона ОЧК происходит по мере сборки (в процессе сборки) консоли крыла. При этом базовое сборочное приспособление (мобильная рама) консоли крыла полуавтоматически перемещается от одного рабочего места (рабочей станции) к другому рабочему месту, т.е. стапель сборки ОЧК не является статической конструкцией, а сборочные модули, составляющие сборочное приспособление ОЧК, перемещаются от одного рабочего места к другому в зависимости от тех операций, которые необходимо выполнять на данном этапе сборки.

Принцип сборки агрегатов планера летательных аппаратов методом модульной сборки рассмотрен на примере построения линии сборки консоли крыла перспективного гражданского среднемагистрального самолета. Схема модульной

сборки и линия сборки консоли крыла показаны на рисунке 2.1. Линия сборки консоли крыла состоит из 13 рабочих станций. Каждая станция предназначена для специализированных сборочных операций.



- 1 – Станция сборки заднего лонжерона и ХЧК; 2 – Станция сборки переднего лонжерона и НЧК; 3 – Станция сборки бортовой нервюры; 4 – Участок установки мобильных модулей на мобильную раму;*
- 5 – Станция сборки внутреннего каркаса кессона консоли крыла; 6 – Станция предварительной установки панелей кессона крыла; 7 – Станция автоматического сверления панелей кессона крыла; 8 – Станция окончательной установки панелей кессона крыла и выполнения соединений; 9 – Участок разборки оснастки и выемки кессона из мобильной рамы; 10 – Станция окончательной сборки и монтажа систем в конструкцию консоли крыла; 11 – Станция испытания систем и контроля герметичности кессона крыла; 12 – Станция контроля геометрии; 13 – Участок упаковки и отгрузки.*

Рисунок 2.1 – Линия сборки консоли крыла

Перемещение производимого продукта и его составных частей по производственной линии для сборки ОЧК осуществляется с помощью цеховых кранов, управляемых локальными пультами управления и автоматически управляемой напольной колесной системой AGV, управляемой локальным пультом управления.

Работы по сборке ОЧК начинаются на станции сборки заднего лонжерона и хвостовой части крыла (ХЧК). Станция сборки заднего лонжерона и ХЧК предназначена для сборки корневой и концевой частей заднего лонжерона, их стыковки между собой, установки балки траверсы основной опоры шасси (ООШ) и

кронштейна подкоса, а также для установки узлов навески и приводов воздушного тормоза, секций интерцептора, закрылка, элерона по базовым элементам мобильной балки хвостовой части крыла (ХЧК). Станция состоит из стационарной балки и мобильной балки (модуль сборки) ХЧК (рисунок 2.2).

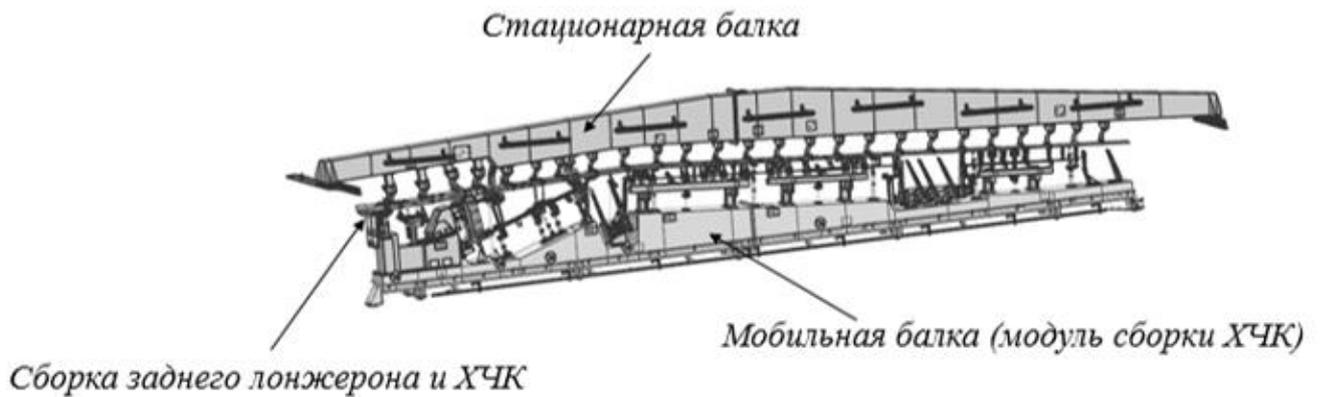


Рисунок 2.2– Станция сборки заднего лонжерона и ХЧК

Конечным результатом работ на станции сборки заднего лонжерона и ХЧК является ХЧК, находящаяся в модуле сборки ХЧК (рисунок 2.3).

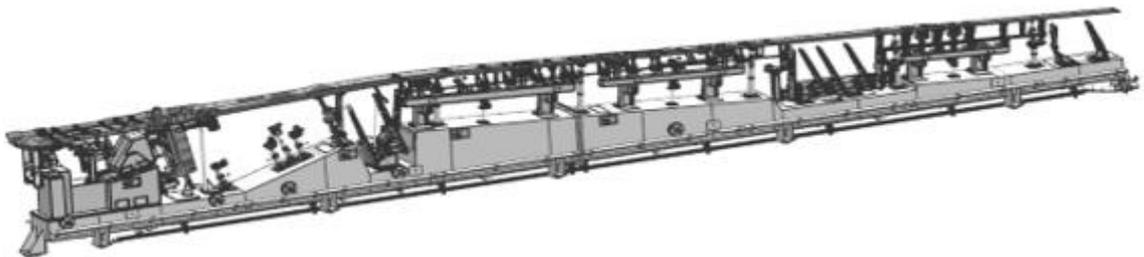


Рисунок 2.3 – ХЧК крыла самолета по окончании работ на станции модульной сборки ХЧК

Параллельно со сборкой ХЧК проводятся работы на станции сборки переднего лонжерона и носовой части крыла (НЧК). Станция сборки переднего лонжерона и НЧК предназначена для сборки переднего лонжерона, установки кареток секций 1–5 предкрылков и установки кронштейнов навески пилона, а также для установки каркасных деталей НЧК. Станция состоит из стационарной балки и мобильной балки (модуль сборки) НЧК (рисунок 2.4).

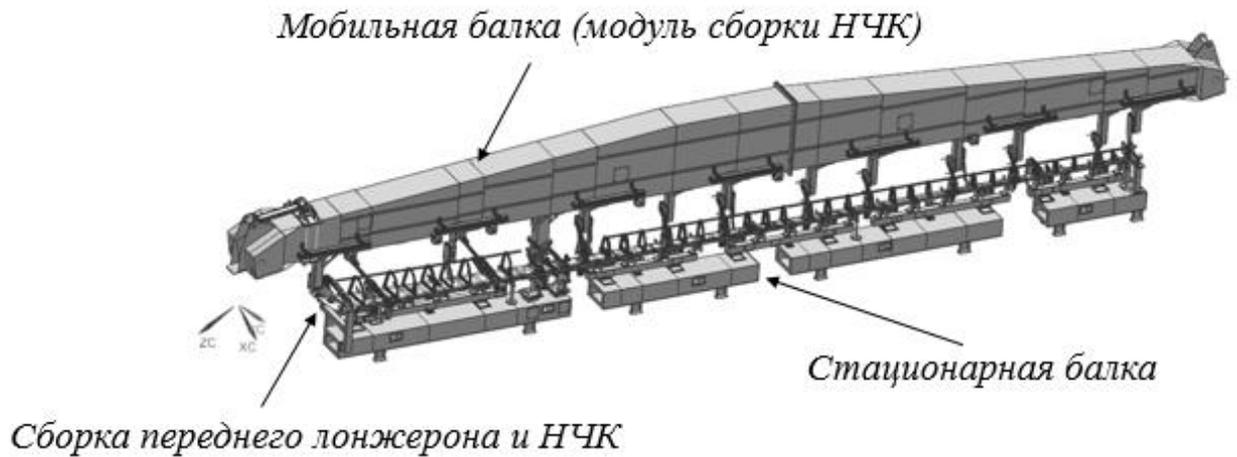


Рисунок 2.4 – Станция сборки переднего лонжерона и НЧК

Конечным результатом работ на станции сборки переднего лонжерона и НЧК является НЧК, находящаяся в модуле сборки НЧК (рисунок 2.5)

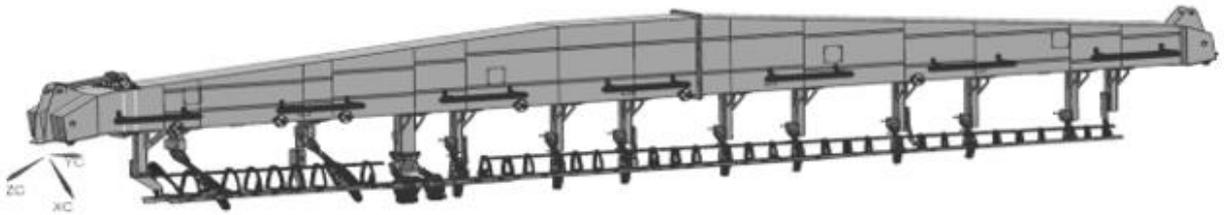


Рисунок 2.5 – НЧК крыла самолета по окончании работ на станции модульной сборки НЧК

Параллельно со сборкой ХЧК и НЧК на станции сборки бортовой нервюры (БН) выполняются работы по сборке бортовой нервюры и концевой нервюры. Станция сборки БН (рисунок 2.6) позволяет точно позиционировать и зафиксировать металлические детали стыка ОЧК и центроплана в составе БН, чтобы гарантировать исключение любых возможных деформаций накладок и поясов БН в процессе установки панелей кессона ОЧК и сборки консоли крыла в целом.

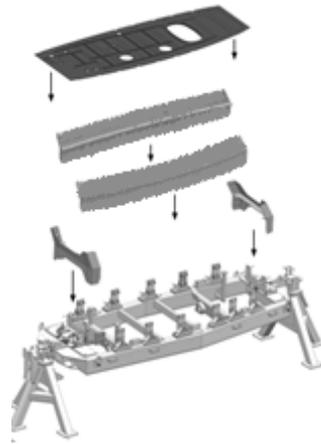


Рисунок 2.6 – Станция сборки бортовой нервюры

Конечными результатом работ на станции сборки БН является бортовая нервюра, находящаяся в модуле сборки БН (рисунок 2.7).

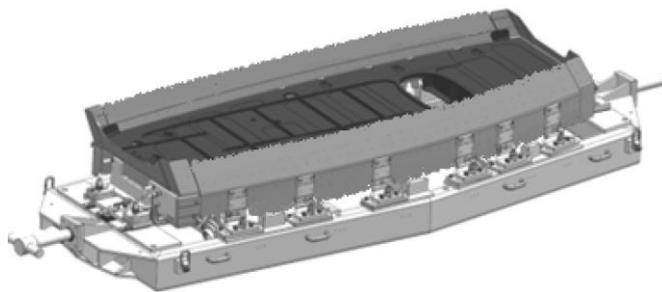


Рисунок 2.7 – Готовая к установке в каркас ОЧК бортовая нервюра (БН) в сборочном модуле

Описанный способ модульной сборки стыковой нервюры самолета для соединения консолей крыла с центропланом и устройство для осуществления способа защищено патентом РФ на изобретение (приложение А) [49].

Концевая нервюра собирается в отдельном сборочном приспособлении с законцовкой, после сборки вынимается из этого приспособления и переносится на следующую станцию – станцию сборки каркаса ОЧК (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Сборка концевой нервюры с законцовкой

После окончания сборки ХЧК, НЧК и БН названные части кессона крыла необходимо разместить в пространстве друг относительно друга в соответствии с требованиями конструкторской документации. При этом как отдельные составные элементы крыла, не соединенные друг с другом в единую конструкцию, ХЧК, НЧК и БН ещё не обладают достаточной жесткостью, чтобы сохранять с заданной точностью необходимое пространственное положение входящих в них интерфейсных узлов, а именно, узлы навески воздушного тормоза, интерцепторов, закрывков, элерона, каретки предкрылков, поверхности стыка с центропланом и др. Для сохранения гарантированного пространственного расположения интерфейсных элементов ХЧК, НЧК и БН не должны расфиксироваться и извлекаться из своих сборочных приспособлений (сборочных модулей). А значит задача заданного расположения ХЧК, НЧК, БН друг относительно друга должна решаться таким образом, что вместе с заданным расположением ХЧК, НЧК, БН в заданном пространстве располагаются и соответствующие им сборочные модули. Физически поставленная задача решается в обратном порядке – решена задача заданного расположения в пространстве сборочного модуля ХЧК, сборочного модуля НЧК, сборочного модуля БН, и таким образом собранные в этих модулях составные части кессона крыла (с гарантированным заданным геометрическим расположением входящих в крыло деталей) занимают требуемое по конструкторской документации пространственное положение друг относительно друга.

Для размещения в пространстве сборочного модуля ХЧК, сборочного модуля НЧК, сборочного модуля БН применено специальное базовое сборочное приспособление – мобильная рама (рисунок 2.9), в которую соответствующие сборочные модули устанавливаются с помощью цехового крана на центрирующие позиционеры (центродоры) с высокой точностью (точность позиционирования сборочных модулей в мобильной сборочной раме лежит в пределах $\pm 0,15$ мм). На сборочной линии для этого организован участок установки мобильных модулей на мобильную раму (рисунок 2.10).

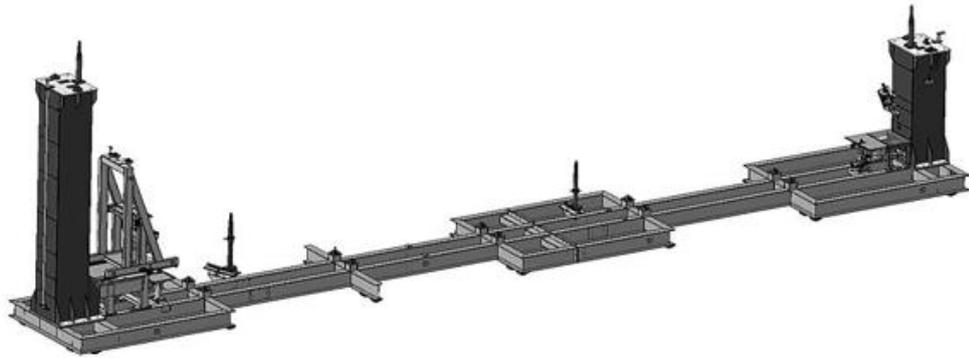


Рисунок 2.9 – Мобильная сборочная рама
(базовое сборочное приспособление)

Затем мобильная рама с установленными в неё мобильной балкой ХЧК, сборочным модулем БН и мобильной балкой НЧК перемещается с помощью автоматически управляемой напольной колесной системы AGV из участка установки мобильных модулей на мобильную раму в станцию сборки внутреннего каркаса ОЧК.

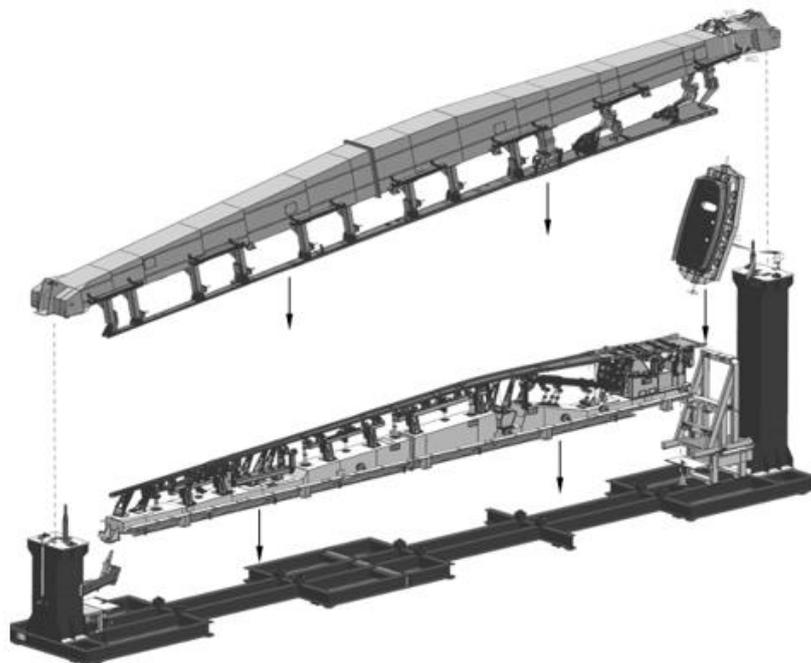


Рисунок 2.10 – Участок установки мобильных модулей на мобильную раму

На станции сборки внутреннего каркаса ОЧК (рисунок 2.11) выполняется соединение бортовой нервюры с лонжероном 1 и лонжероном 2, установка и соединение с лонжероном 1 и лонжероном 2 концевой нервюры, установка нервюр

каркаса ОЧК с помощью системы ручной загрузки нервюр с пневматическим приспособлением, а также установки на нервюры стенки расходного отсека. При этом в станции в мобильной сборочной раме формируется каркас кессона ОЧК, который является базой для дальнейшей установки панелей кессона ОЧК.

Мобильная сборочная рама позиционируется в станции на поддерживающие центрирующие интерфейсы для мобильной рамы (центродоры мобильной рамы).

Модульный принцип организации сборочной линии предусматривает не только крупно узловую сборку отдельных частей крыла в специализированных модулях, но и глубокую специализацию отдельных сборочных станций, расположенных в технологическом порядке сборки крыла. Уже показано, что названная выше станция сборки внутреннего каркаса специализируется только на обозначенных операциях, но не заканчивает окончательно сборку консоли крыла. Установка и сборка панелей кессона крыла с каркасом и окончательная сборка крыла выполняются на других специализированных сборочных станциях линии сборки.

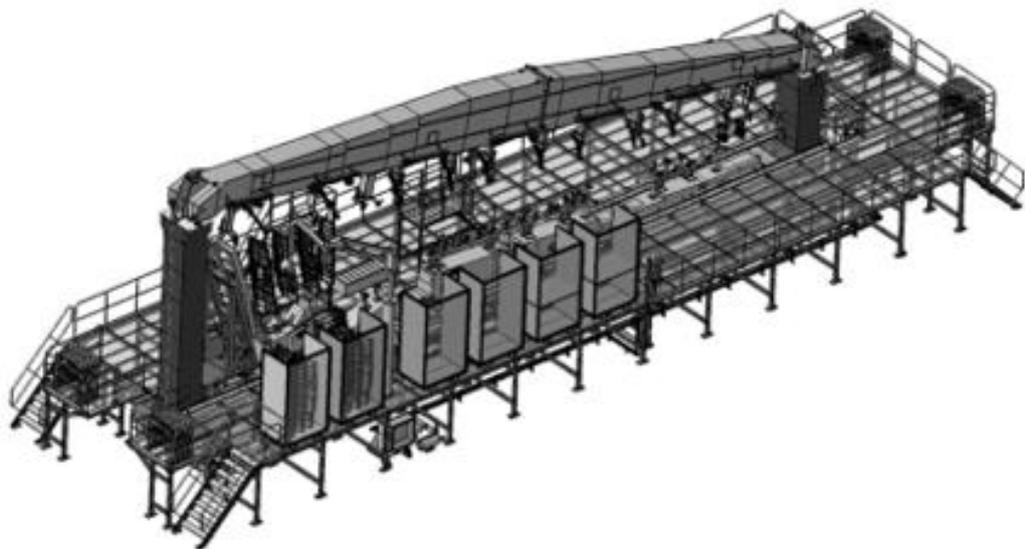


Рисунок 2.11 – Станция сборки внутреннего каркаса кессона консоли крыла

Для обеспечения технологической последовательности сборки в соответствии с рисунком 2.1 после выполнения всех сборочных операций на станции сборки каркаса ОЧК мобильная сборочная рама с собранным каркасом ОЧК

перемещается с помощью автоматически управляемой системы AGV (напольная автоматизированная колесная тележка) в станцию предварительной установки панелей кессона крыла (рисунок 2.12). Станция предварительной установки панелей кессона крыла предназначена для транспортировки и установки в рабочее положение верхней и нижней панелей кессона с помощью гибкой системы удерживания панелей (с вакуумными присосками) посредством основного пульта управления работой вакуумных присосок и системы позиционирования панелей. Также в данной станции выполняется разделка базовых отверстий для автоматического сверления и отверстий для установки технологического крепежа. Сначала в верхней панели, затем – в нижней. Образование предварительных отверстий производят ручным механизированным инструментом.

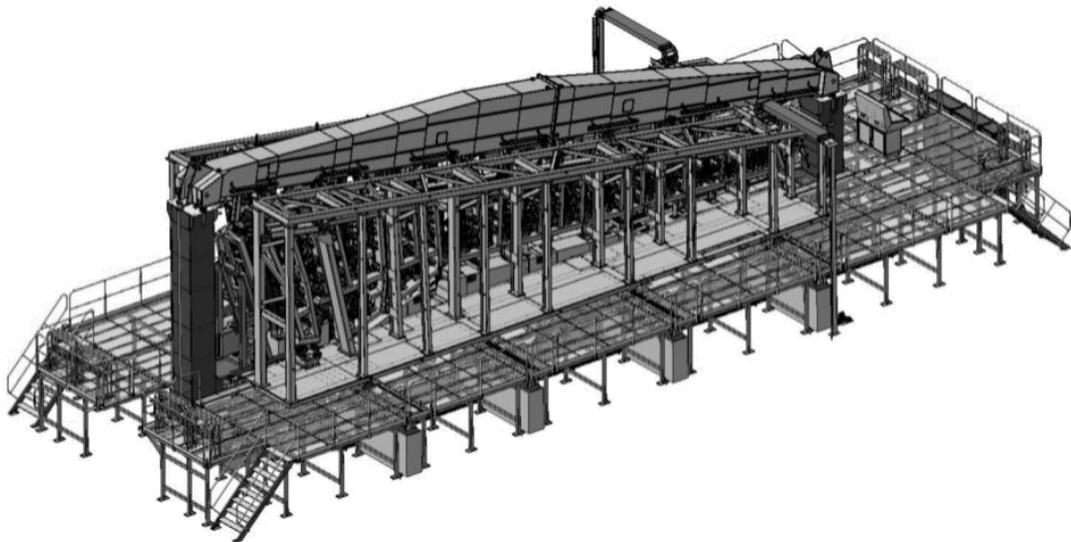


Рисунок 2.12 – Станция предварительной установки панелей кессона крыла

После выполнения всех сборочных операций мобильная сборочная рама с собранным каркасом ОЧК и предварительно установленными верхней и нижней панелями кессона ОЧК перемещается с помощью автоматически управляемой системы AGV в станцию сверления.

Станция сверления предназначена для проведения процесса обработки отверстий окончательного диаметра в панелях и деталях каркаса (лонжеронах и нервюрах) с помощью автоматизированной сверлильной машины с комбинированным инструментом (рисунок 2.13).

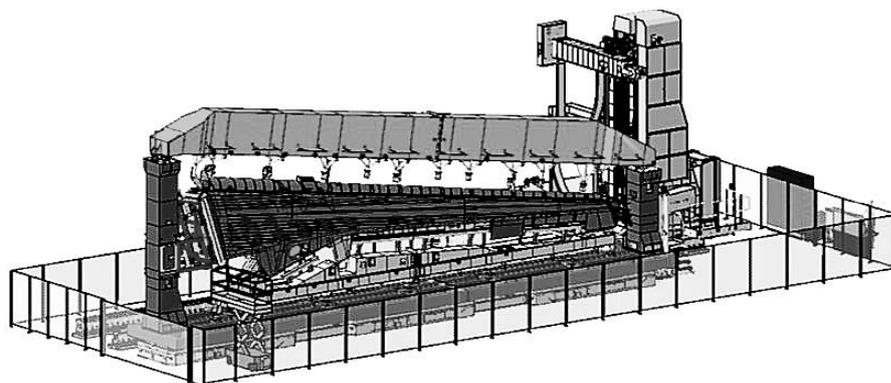


Рисунок 2.13 – Станция автоматического сверления панелей кессона крыла

Посредством автоматизированной сверлильной машины с комбинированным инструментом происходит разделка 100% отверстий окончательного диаметра под крепеж верхней и нижней панелей кессона по заранее запрограммированному маршруту обработки отверстий. Особенностью станции является образования отверстий окончательного диаметра с точностью до девятого квалитета за один-два перехода в смешанных пакетах, сочетающих детали из полимерных композиционных материалов (ПКМ), титановые (Ti) и алюминиевые (Al) сплавы, например, места соединений нервюр и лонжеронов с панелями кессона крыла, стык консолей крыла с центропланом, узлы навески пилона, узлы навески балок закрылков, узлы навески механизации.

Обработка отверстий под выполнение механических соединений верхней и нижней панелей кессона в станции автоматического сверления происходит в следующей последовательности:

1. Многофункциональная мобильная рама позиционируется для обработки отверстий по верхней панели.
2. Первый цикл обработки отверстий: по заранее подготовленной программе с заданными режимами происходит обработка отверстий в окончательный диаметр под выполнение механических соединений с верхней панелью кессона крыла.
3. Технологический крепеж переустанавливается в обработанные отверстия.

4. Второй цикл обработки отверстий: происходит обработка освободившихся и базовых отверстий по заранее подготовленной программе сверления с заданными режимами в окончательный диаметр.

5. После обработки всех отверстий по верхней панели происходит переустановка многофункциональной мобильной рамы для обработки отверстий по нижней панели.

6. Первый цикл обработки отверстий: по заранее подготовленной программе с заданными режимами происходит обработка отверстий в окончательный диаметр под выполнение механических соединений с нижней панелью кессона крыла.

7. Технологический крепеж переустанавливается в обработанные отверстия.

8. Второй цикл обработки отверстий: происходит обработка освободившихся и базовых отверстий по заранее подготовленной программе сверления с заданными режимами в окончательный диаметр.

После выполнения всех сверлильных операций мобильная сборочная рама с собранным каркасом ОЧК, предварительно установленными верхней и нижней панелями ОЧК с окончательно обработанными отверстиями под крепеж перемещается с помощью автоматически управляемой системы AGV в станцию окончательной установки панелей кессона крыла и выполнения соединений (рисунок 2.14).

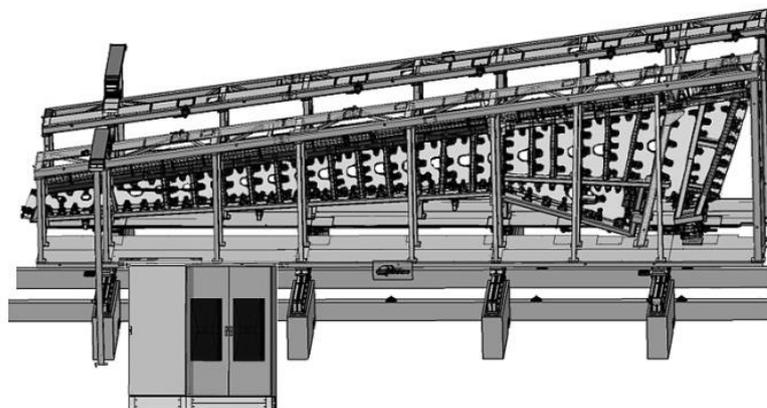


Рисунок 2.14 – Станция окончательной установки панелей кессона крыла и выполнения соединений

Особенностью станции окончательной сборки кессона является то, что на станции копируется пространственной положение панелей кессона и обеспечивается возвратное перемещение панелей кессона с точностью, обеспечивающей постановку крепежа и выполнение соединений по девятому качеству с условием разборки пакета после образования отверстий окончательного диаметра, очистки пакета, нанесения герметика, возвратного совмещения деталей в пакете и постановки окончательного крепежа. В станции производится постановка крепежа на внутришовный герметик в соответствии с конструкторской документацией (болты и болт-заклепки) в верхней и нижней панелях кессона крыла.

После выполнения всех сборочных операций мобильная сборочная рама с собранным кессоном ОЧК (рисунок 2.15) перемещается с помощью автоматически управляемой системы AGV на участок разборки оснастки и выемки кессона из мобильной рамы.

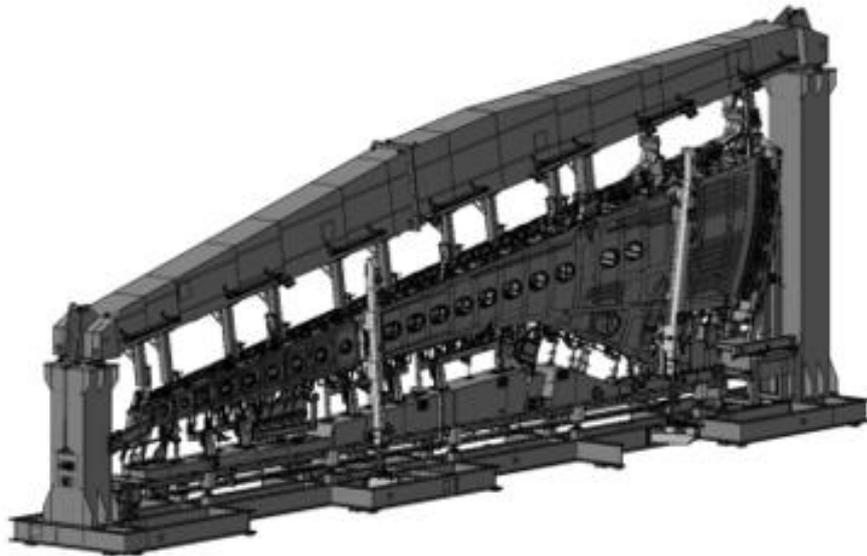


Рисунок 2.15 – Мобильная сборочная рама с собранным ОЧК на полуавтоматической платформе для перемещения по сборочным станциям

Участок разборки оснастки и выемки кессона из мобильной рамы предназначен для демонтажа мобильной балки НЧК, мобильной балки ХЧК и модуля для сборки НБ (рисунок 2.16), а также для переворота консоли из вертикального положения в горизонтальное (рисунок 2.17).

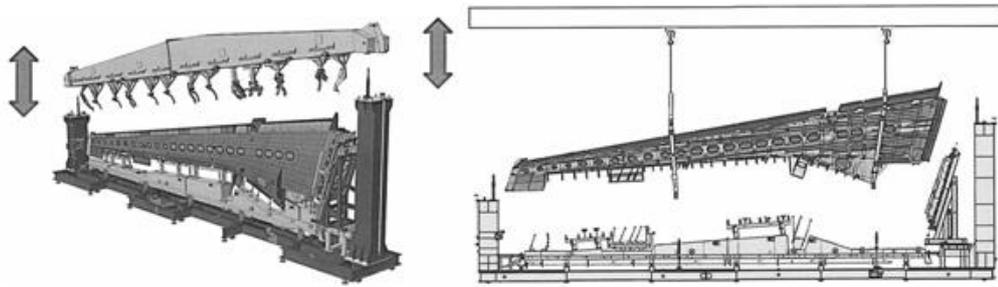


Рисунок 2.16 – Участок разборки оснастки и выемки кессона из мобильной рамы

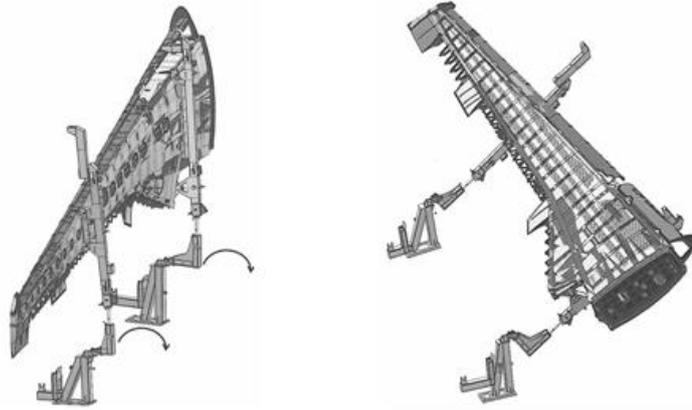


Рисунок 2.17 – Переворот консоли из вертикального положения
в горизонтальное

Далее по технологическому процессу следует станция окончательной сборки и монтажа систем в конструкцию консоли крыла (рисунок 2.18), в которой производится установки панели основной опоры шасси, окончательной установки крышек и съемных панелей НЧК, установки крышек люков нижней панели кессона, установки законцовки, а также монтажа систем (электрической, гидравлической, топливной, нейтрального газа, противообледенительной) в кессоне крыла.

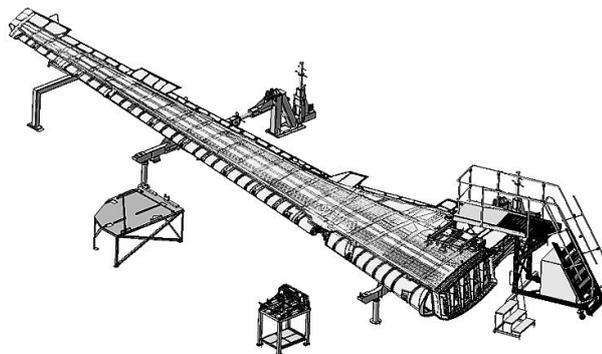


Рисунок 2.18– Станция окончательной сборки и монтажа систем в конструкцию
консоли крыла

После выполнения всех сборочных операций консоль крыла перемещается в станцию испытания систем и контроля герметичности кессона крыла, предназначенную для проведения контроля гидравлической системы, трубопроводных систем, электрических систем, а также для контроля герметичности.

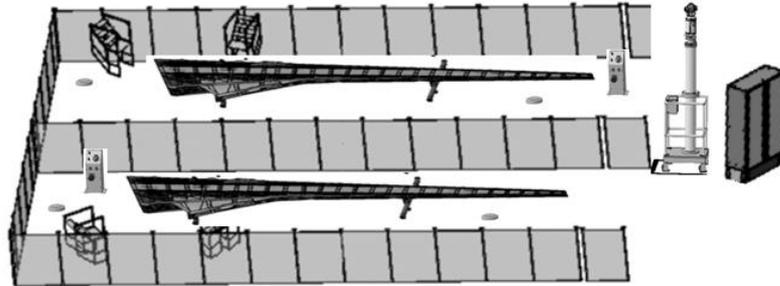


Рисунок 2.19 – Станция испытания систем и контроля герметичности кессона крыла

Затем станция контроля геометрии, в которой производится контроль геометрии зоны бортовой нервюры, контроль аэродинамического обвода ОЧК, контроль точности расположения узлов навески механизации и управления ОЧК.

Завершающей технологической процесс станцией является участок упаковки и отгрузки, который предназначен для установки консоли крыла в транспортировочную раму и упаковки консоли ОЧК для отправки на линию окончательной сборки самолета (рисунок 2.20).

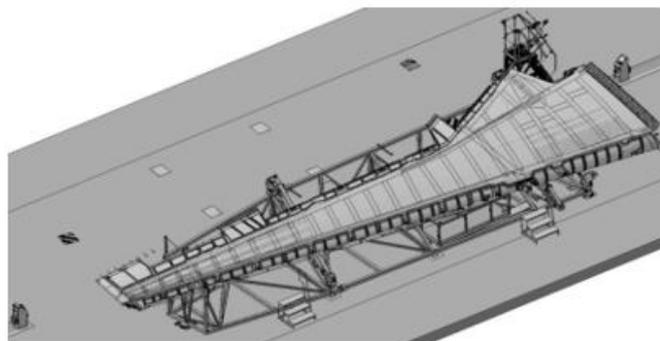


Рисунок 2.20 – Участок упаковки и отгрузки

Конечным продуктом, производимым на производственной линии для модульной сборки, является ОЧК без механизации (рисунок 2.21). Конструктивно ОЧК состоит из следующих СЧ – НЧК; ХЧК; верхней панели; нижней панели;

нервюр №№ 1–26; корневая нервюра (по стыку центральной части крыла центроплана с ОЧК); законцовки; крышек люков-лазов; прочих деталей каркаса – кронштейнов; фитингов крепления нервюр к лонжеронам 1 и 2; гермофитингов нервюр; элементов соответствующих систем: топливной, гидравлической, электрической, ПОС.



Рисунок 2.21 – ОЧК самолета по окончании работ на линии модульной сборки (верхняя панель не показана)

Описанный способ модульной сборки кессона консоли крыла самолета с деталями из углеродных полимерных материалов и металлов и сборочная линия с устройствами для осуществления способа защищено патентом РФ на изобретение (приложение Б) [50].

2.2 Расчет точности геометрических параметров ОЧК

Расчет точности геометрических параметров ОЧК проводится с целью оценки взаимной согласованности требований к точности ОЧК, допусков на отклонения входящих деталей и элементов оснастки, а также технологической последовательности и технологической реализуемости сборки ОЧК.

К отклонениям геометрических параметров ОЧК относятся:

а) аэродинамические отклонения ОЧК:

- отклонения положения аэродинамических поверхностей ОЧК;
- уступы между аэродинамическими поверхностями СЧ ОЧК;

б) отклонения положения осей стыковых узлов ОЧК;

- в) зазоры между СЧ ОЧК,
- г) отклонения геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины;
- д) отклонения геометрического положения обработанных отверстий при разборке пакета и обратном точном позиционировании.

При расчете точности ОЧК (отклонений геометрических параметров ОЧК от заданных величин) учитываются основные положения принятого метода сборки ОЧК и требования к точности изготовления и монтажа элементов сборочной оснастки. Расчет точности ОЧК также включает в себя определение точности геометрических параметров деталей, входящих в конструкцию ОЧК, необходимой для обеспечения заданных геометрических параметров ОЧК в целом.

При расчете точности ОЧК используется аппарат теории размерных цепей [8], [29], [82], [83], [84], [85], [89], [93], [94], [103], [116] и соответствующая методика, позволяющая проводить расчет точности с применением двух методов:

1) метод «минимума-максимума» предусматривает расчет точности ОЧК, с учетом максимальных величин предельных отклонений форм и размеров деталей, входящих в конструкцию ОЧК. Данный метод позволяет выполнить расчет, с обеспечением гарантированной необходимой точности геометрических параметров ОЧК;

2) теоретико-вероятностный метод предусматривает расчет точности ОЧК, с учетом рассеяния размеров и вероятности различных сочетаний отклонений форм и размеров деталей, входящих в конструкцию ОЧК. Данный метод позволяет выполнить расчет, с обеспечением необходимой точности ОЧК, с определенной (программируемой) величиной риска.

При отсутствии соответствующих статистических данных о фактических отклонениях размеров и форм поверхностей, для расчета точности ОЧК целесообразно применять метод «минимума-максимума».

Исходными данными для расчета точности ОЧК являются:

- конструкторская документация на СЧ ОЧК;
- технологическая документация на ОЧК;

– технические условия на допустимые предельные отклонения параметров точности ОЧК;

– технические условия на допустимые предельные отклонения параметров точности СЧ;

– данные о допустимых предельных отклонениях параметров точности элементов стапеля сборки ОЧК.

На основании данных конструкторской документации на СЧ ОЧК, выделяются характерные сечения и проводится их типизация.

На основании данных технологической документации на ОЧК, для каждого характерного сечения формируется таблица, содержащая укрупненную технологическую последовательность установки и способы базирования СЧ, входящих в соответствующее сечение, при сборке ОЧК.

Для каждого характерного сечения формируется таблица, содержащая требования к точности контролируемых геометрических параметров ОЧК в соответствующем сечении, а также таблица, содержащая допустимые предельные отклонения параметров точности СЧ, входящих в соответствующее сечение.

На основании данных о допустимых предельных отклонениях параметров точности элементов стапеля сборки ОЧК, для каждого характерного сечения необходимо сформировать таблицу, содержащую допустимые предельные отклонения параметров точности элементов стапеля сборки ОЧК, входящих в соответствующее сечение.

Размерные цепи формируются в процессе изготовления СЧ и сборки ОЧК и отражают существующие связи между геометрическими параметрами ОЧК, СЧ ОЧК и элементов стапеля сборки ОЧК.

Для расчета точности контролируемых геометрических параметров ОЧК необходимо выявить соответствующие связи и построить схемы размерных цепей. При этом для каждой размерной цепи в качестве замыкающего звена необходимо назначить контролируемый параметр, а соответствующие геометрические параметры СЧ и элементов стапеля сборки ОЧК – в качестве составляющих звеньев.

Расчет точности геометрических параметров предусматривает решение двух задач:

1) Прямой задачи – определение требуемых (допустимых) значений номинальных размеров, допусков, координат середин полей допусков и предельных отклонений всех составляющих звеньев, исходя из установленных техническими условиями требований к геометрической точности замыкающего звена.

2) Обратной задачи – определение ожидаемой (расчетной) геометрической точности замыкающего звена, исходя из заданных значений номинальных размеров, допусков, координат середин полей допусков, предельных отклонений составляющих звеньев.

Расчет точности замыкающего звена проводится в соответствии с следующей последовательностью:

Определение координат середин полей допусков (2.1) и половины величин допусков (2.2) составляющих звеньев размерных цепей.

$$\Delta_{o_i} = \frac{\Delta_{\hat{a}_i} + \Delta_{\hat{t}_i}}{2} \quad (2.1)$$

$$\delta_i = \frac{\Delta_{\hat{a}_i} - \Delta_{\hat{t}_i}}{2} \quad (2.2)$$

Определение расчетным путем или выбор по справочным таблицам значений коэффициента относительной асимметрии α_i и коэффициента среднеквадратического отклонения λ_i погрешностей составляющих звеньев размерных цепей, или коэффициентов относительного рассеяния (2.3):

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_n}, \quad (2.3)$$

где $\lambda_n = 1/3$ – коэффициент относительного среднеквадратического отклонения, рассеяние которого подчинено нормальному закону.

Расчет координаты середины поля допуска Δ_{o_Δ} и половины величины допуска δ_Δ замыкающего звена основной размерной цепи по следующим зависимостям:

– при расчете по методу «максимума-минимума»:

$$\Delta_{o_\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \cdot \Delta_{o_i}, \quad (2.4)$$

$$\delta_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \cdot \frac{\delta_i}{2}; \quad (2.5)$$

– при расчете по «теоретико-вероятностному» методу:

$$\Delta_{o_\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \cdot \left(\Delta_{o_i} + \alpha_i \cdot \frac{\delta_i}{2} \right), \quad (2.6)$$

$$\delta_\Delta = t_\Delta \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \cdot \lambda_i^2 \cdot \left(\frac{\delta_i}{2} \right)^2} = \frac{t_\Delta}{3} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \left(\frac{\delta_i}{2} \right)^2}, \quad (2.7)$$

где ξ_i – передаточное отношение, характеризующее влияние данного этапа переноса размера на конечное значение размера (различают звенья увеличивающие с $\xi_i > 0$ и уменьшающие с $\xi_i < 0$; для линейных цепей $\xi_{увел} = 1$ и $\xi_{умен} = -1$);

$m - 1$ – количество этапов переноса размеров (m – количество носителей размера);

t_Δ – коэффициент риска, выбираемый из таблиц значений функции Лапласа $\Phi(t)$ в зависимости от принятой величины риска P или по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения коэффициента риска t_Δ

Риск P , %	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
Коэффициент риска t_Δ	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Расчет необходимой точности составляющих звеньев из условия обеспечения точности замыкающего звена по методу максимума-минимума проводится в соответствии со следующей последовательностью:

1. Определение, исходя из технико-экономических соображений, допуска каждого из составляющих звеньев δ_i , исходя из условия:

$$\delta_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \cdot \delta_i; \quad (2.8)$$

2. Определение координат середин полей допусков составляющих звеньев Δ_{o_i} , за исключением одного, для которого координату середины поля допуска следует рассчитывать решением уравнения с одним неизвестным:

$$\Delta_{o_\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{\Delta}_{o_i} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{\Delta}_{o_i}, \quad (2.9)$$

где: $\vec{\Delta}_{o_i}$ – координата середины поля допуска увеличивающего звена;

$\overleftarrow{\Delta}_{o_i}$ – координата середины поля допуска уменьшающего звена;

3. Проверка правильности установленных допусков составляющих звеньев решением обратной задачи.

Расчет необходимой точности составляющих звеньев из условия обеспечения точности замыкающего звена по теоретико-вероятностному методу проводить в соответствии со следующей последовательностью:

1. Определение, исходя из технико-экономических соображений, допустимого процента риска P .

2. Выбор предполагаемого закона распределения допуска каждого из звеньев, исходя из особенностей технологического процесса обработки данной детали, и соответствующих им усредненных значений коэффициентов относительной асимметрии α_i и коэффициентов среднеквадратического отклонения λ_i (коэффициентов относительного рассеяния K_i).

3. Определение, исходя из технико-экономических соображений, допуска δ_i каждого из составляющих звеньев, исходя из условия:

$$\delta_\Delta = t_\Delta \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \cdot \lambda_i^2 \cdot \delta_i^2} = \frac{t_\Delta}{3} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta_i^2}. \quad (2.10)$$

4. Определение координат середин полей допусков составляющих звеньев Δ_{o_i} , за исключением одного, для которого координата середины поля допуска рассчитывается решением уравнения с одним неизвестным (2.11).

5. Проверка правильности установленных допусков решением обратной задачи.

Результатами расчета точности ОЧК являются:

- координата середины поля допуска $\Delta_{0.A}$;
- половина величины допуска δ_A ;
- ожидаемые предельные отклонения замыкающего звена основной размерной цепи:

$$\Delta_{B_A} = \Delta_{i_A} + \delta_A, \quad \Delta_{H_A} = \Delta_{i_A} - \delta_A, \quad (2.11)$$

где Δ_{B_A} и Δ_{H_A} – верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена.

При анализе результатов расчета точности геометрических параметров ОЧК проводится оценка взаимной согласованности требований к точности ОЧК, допусков на отклонения входящих деталей и элементов оснастки, а также технологической последовательности и технологической реализуемости сборки ОЧК.

В случае, если расчетные предельные отклонения не превышают допустимые отклонения геометрических параметров ОЧК, корректировка требований к точности ОЧК, допусков на отклонения входящих деталей и элементов оснастки, а также технологической последовательности сборки ОЧК не требуется.

В случае, если расчетные предельные отклонения превышают допустимые отклонения геометрических параметров ОЧК, требуется принятие дополнительных конструктивно-технологических решений:

- корректировка требований точности ОЧК;
- корректировка допусков на отклонения деталей, входящих в конструкцию ОЧК;
- корректировка допусков на отклонения элементов оснастки для сборки ОЧК;
- увеличение упругих деформаций сопрягаемых поверхностей СЧ (уменьшение коэффициентов фиксации СЧ);
- уточнение технологической последовательности сборки ОЧК (способов базирования СЧ);

– уточнение конструкции ОЧК (введение конструктивной компенсации зазоров между СЧ).

2.3 Расчет предельных отклонений геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины

В рамках настоящего исследования необходимо определить точность геометрического положения точек, которые являются базовыми для привязки автоматизированной сверлильной машины. Данные точки являются центрами отверстий, которые были заблаговременно выполнены в деталях каркаса, выведены из деталей каркаса в панель ОЧК и рассверлены со стороны внешнего теоретического контура до необходимого диаметра.

Согласно рекомендациям для работ на автоматизированной сверлильной машине предельные отклонения положения базовых точек для привязки не должны превышать 7 мм.

Очевидно, что геометрическое положение точки определяется тремя координатами (X , Y , Z). В данном случае положение базовой точки по координатам X (направление полета) и Z (направление размаха) определяется положением оси отверстия, выведенного из деталей каркаса. Координата Y определяется положением внешнего теоретического контура панели ОЧК.

Таким образом, задача определения предельных отклонений геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины делится на 2 части:

1. Определить предельные отклонения положения оси отверстия в деталях каркаса после сборки ОЧК.

2. Определить предельные отклонения положения внешней поверхности панели ОЧК от теоретического.

В связи с отсутствием соответствующих статистических данных о фактических отклонениях размеров и форм поверхностей целесообразно использовать

метод «максимума-минимума» (2.4), (2.5) для определения ожидаемой геометрической точности замыкающего звена, описанный в разделе 2.2.

Допустимые предельные отклонения параметров точности СЧ и элементов стапеля сборки ОЧК приведены в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 – Допустимые предельные отклонения параметров точности СЧ

Параметр	Обозначение	Предельные отклонения, мм
Лонжерон 1	B1	
Форма внешней поверхности	B1.1	$\pm 0,1$
Положение БО	B1.2	$\pm 0,1$
Форма БО	B1.3	$\pm 0,02$
Зазор по БО	B1.4	$\pm 0,02$
Положение БО для привязки	B1.5	$\pm 0,1$
Лонжерон 2	B2	
Форма внешней поверхности	B2.1	$\pm 0,1$
Положение БО	B2.2	$\pm 0,1$
Форма БО	B2.3	$\pm 0,02$
Зазор по БО	B2.4	$\pm 0,02$
Положение БО для привязки	B2.5	$\pm 0,1$
Бортовая нервюра (БН)	B3	
Положение БО в поясе	B3.1	$\pm 0,1$
Форма БО в поясе	B3.2	$\pm 0,02$
Зазор по БО в поясе	B3.3	$\pm 0,02$
Положение БО для привязки	B3.4	$\pm 0,1$
Фитинг внутренний	B4	
Форма базовой поверхности	B4.1	$\pm 0,1$
Нервюра	B5	
Форма поверхности	B5.1	$\pm 0,1$
Положение БО в нервюре	B5.2	$\pm 0,1$
Форма БО в нервюре	B5.3	$\pm 0,02$
Зазор по БО в нервюре	B5.4	$\pm 0,02$
Положение БО для привязки	B5.5	$\pm 0,1$
Панель ОЧК	B6	
Форма внешней поверхности	B6.1	$\pm 0,1$
Положение БО	B6.2	$\pm 0,1$
Форма БО	B6.3	$\pm 0,02$
Зазор по БО	B6.4	$\pm 0,02$

Таблица 2.3 – Допустимые предельные отклонения параметров точности элементов стапеля сборки ОЧК

Параметр	Обозначение	Предельные отклонения, мм
Сборочный модуль НЧК	C1	
Положение центрирующих устройств для установки в станцию сборки НЧК	C1.1	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки в станцию сборки НЧК	C1.2	$\pm 0,1$
Положение центрирующих устройств для установки в мобильную раму	C1.3	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки в мобильную раму	C1.4	$\pm 0,1$
Положение БО для установки лонжерона 1	C1.5	$\pm 0,1$
Зазор по БО установки лонжерона 1	C1.6	$\pm 0,02$
Форма БО установки лонжерона 1	C1.7	$\pm 0,02$
Положение базового упора для установки лонжерона 1	C1.8	$\pm 0,2$
Форма поверхности базового упора для установки лонжерона 1	C1.9	$\pm 0,1$
Сборочный модуль ХЧК	C2	
Положение центрирующих устройств для установки в станцию сборки ХЧК	C2.1	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки в станцию сборки ХЧК	C2.2	$\pm 0,1$
Положение центрирующих устройств для установки в мобильную раму	C2.3	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки в мобильную раму	C2.4	$\pm 0,1$
Положение БО для установки лонжерона 2	C2.5	$\pm 0,1$
Зазор по БО установки лонжерона 2	C2.6	$\pm 0,02$
Форма БО установки лонжерона 2	C2.7	$\pm 0,02$
Форма поверхности базового упора для установки лонжерона 2	C2.8	$\pm 0,1$
Сборочный модуль БН	C3	
Положение центрирующих устройств для установки в мобильную раму	C3.1	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки в мобильную раму	C3.2	$\pm 0,1$
Положение БО для установки пояса БН	C3.3	$\pm 0,1$
Зазор по БО установки пояса БН	C3.4	$\pm 0,02$
Форма БО установки пояса БН	C3.5	$\pm 0,02$

Параметр	Обозначение	Предельные отклонения, мм
Мобильная рама	C4	
Положение центрирующих устройств для установки в станцию	C4.1	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки в станцию	C4.2	$\pm 0,1$
Положение центрирующих устройств для установки сборочного модуля НЧК	C4.3	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки сборочного модуля НЧК	C4.4	$\pm 0,1$
Положение центрирующих устройств для установки сборочного модуля ХЧК	C4.5	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки сборочного модуля ХЧК	C4.6	$\pm 0,1$
Станция предварительной установки панелей	C5	
Положение центрирующих устройств для установки мобильной рамы	C5.1	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки мобильной рамы	C5.2	$\pm 0,1$
Положение присосок	C5.3	$\pm 0,2$
Положение БО для установки панели ОЧК	C5.4	$\pm 0,1$
Зазор по БО установки панели ОЧК	C5.5	$\pm 0,02$
Форма БО установки панели ОЧК	C5.6	$\pm 0,02$
Точность перемещения подвижной рамы	C5.7	$\pm 0,05$
Станция сверления	C6	
Положение центрирующих устройств для установки мобильной рамы	C6.1	$\pm 0,1$
Форма поверхности центрирующих устройств для установки мобильной рамы	C6.2	$\pm 0,1$
Станция окончательной установки панелей	C7	
Положение БО для установки панели	C7.1	0
Точность перемещения подвижной рамы по оси X	C7.2	0
Точность перемещения подвижной рамы по оси Y	C7.3	$\pm 0,05$
Точность перемещения подвижной рамы по оси Z	C7.4	0

Параметр	Обозначение	Предельные отклонения, мм
Станция сборки НЧК	С8	
Положение центрирующих устройств для установки сборочного модуля НЧК	С8.1	± 0,1
Форма поверхности центрирующих устройств для установки сборочного модуля НЧК	С8.2	± 0,1
Положение БО для установки нервюр	С8.3	± 0,1
Зазор по БО для установки нервюр	С8.4	± 0,02
Форма БО для установки нервюр	С8.5	± 0,02
Положение базового упора для установки фитинга внутреннего	С8.6	± 0,2
Форма поверхности базового упора для установки фитинга внутреннего	С8.7	± 0,1
Станция сборки ХЧК	С9	
Положение центрирующих устройств для установки сборочного модуля ХЧК	С9.1	± 0,1
Форма поверхности центрирующих устройств для установки сборочного модуля ХЧК	С9.2	± 0,1
Положение БО для установки нервюр	С9.3	± 0,1
Зазор по БО для установки нервюр	С9.4	± 0,02
Форма БО для установки нервюр	С9.5	± 0,02
Положение базового упора для установки фитинга внутреннего	С9.6	± 0,2
Форма поверхности базового упора для установки фитинга внутреннего	С9.7	± 0,1

Определение предельных отклонений положения оси отверстия в лонжероне 1(2) по координате X.

В соответствии с технологией сборки, описанной в разделе 2.1, на положение оси отверстия в лонжероне по координате X влияют следующие параметры: В1.2; В1.3; В1.4; В1.5; С1.3; С1.4; С1.5; С1.6; С1.7; С4.1; С4.2; С4.3; С4.4; С6.1; С6.2.

Таким образом, координата середины поля допуска замыкающего звена $\Delta_{o_{A1}}$:

$$\Delta_{o_{A1}} = 0 \quad (2.12)$$

Величина половины поля допуска замыкающего звена δ_{A1} :

$$\delta_{A1} = 1,18 \text{ мм} \quad (2.13)$$

Определение предельных отклонений положения оси отверстия в лонжероне 1(2) по координате Z.

В соответствии с технологией сборки, описанной в разделе 2.1, на положение оси отверстия в лонжероне по координате Z влияют следующие параметры: В1.1; В1.5; С1.3; С.1.4; С.1.8; С.1.9; С4.1; С.4.2; С4.3; С.4.4; С6.1; С.6.2.

Координата середины поля допуска замыкающего звена $\Delta_{o_{A2}}$:

$$\Delta_{o_{A2}} = 0 \quad (2.14)$$

Величина половины поля допуска замыкающего звена δ_{A2} :

$$\delta_{A2} = 1,3 \text{ мм} \quad (2.15)$$

Определение предельных отклонений положения оси отверстия в нервюрах 1-25 по координате X.

В соответствии с технологией сборки, описанной в разделе 2.1, на положение оси отверстия в нервюрах 1-25 по координате X влияют следующие параметры: В5.1; В5.5; В4.1; С8.1; С8.2; С8.6; С1.1; С1.2; С1.3; С.1.4; С4.1; С.4.2; С4.3; С.4.4; С6.1; С.6.2.

Координата середины поля допуска замыкающего звена $\Delta_{o_{A3}}$:

$$\Delta_{o_{A3}} = 0 \quad (2.16)$$

Величина половины поля допуска замыкающего звена δ_{A3} :

$$\delta_{A3} = 1,7 \text{ мм} \quad (2.17)$$

Определение предельных отклонений положения оси отверстия в нервюрах 1-25 по координате Z.

В соответствии с технологией сборки, описанной в разделе 2.1, на положение оси отверстия в нервюрах 1-25 по координате Z влияют следующие параметры: В5.2; В5.3; В5.4; В5.5; С8.1; С8.2; С8.3; С8.4; С8.5; С1.1; С1.2; С1.3; С.1.4; С4.1; С.4.2; С4.3; С.4.4; С6.1; С.6.2.

Координата середины поля допуска замыкающего звена $\Delta_{o_{A4}}$:

$$\Delta_{o_{A4}} = 0 \quad (2.18)$$

Величина половины поля допуска замыкающего звена δ_{A4} :

$$\delta_{A4} = 1,58 \text{ мм} \quad (2.19)$$

Определение предельных отклонений положения оси отверстия в поясе бортовой нервюры по координатам X, Z.

В соответствии с технологией сборки, описанной в разделе 2.1, на положение оси отверстия в поясе бортовой нервюры по координатам X, Z влияют следующие параметры: В3.1; В3.2; В3.3; В3.4; С3.1; С3.2; С3.3; С3.4; С3.5; С4.1; С4.2; С4.3; С4.4; С6.1; С6.2.

Координата середины поля допуска замыкающего звена $\Delta_{o_{A5}}$:

$$\Delta_{o_{A5}} = 0 \quad (2.20)$$

Величина половины поля допуска замыкающего звена δ_{A5} :

$$\delta_{A5} = 1,18 \text{ мм} \quad (2.21)$$

Определение предельных отклонений положения внешнего теоретического контура панели ОЧК (базовой точки для привязки на оси отверстия в собранном кессоне по координате Y).

В соответствии с технологией сборки, описанной в разделе 2.1, на положение внешнего теоретического контура панели ОЧК (координата Y) влияют следующие параметры: В6.1; С5.1; С5.2; С5.3; С5.7; С4.1; С4.2; С6.1; С6.2.

Координата середины поля допуска замыкающего звена $\Delta_{o_{A6}}$:

$$\Delta_{o_{A6}} = 0 \quad (2.22)$$

Величина половины поля допуска замыкающего звена δ_{A6} :

$$\delta_{A6} = 0,9 \text{ мм} \quad (2.23)$$

Анализ результатов показывает, что расчетные предельные отклонения не превышают допустимых. Следовательно, способ модульной сборки позволяет

использовать автоматизированную сверлильную машину при обработке отверстий под крепеж.

2.4 Расчет предельных отклонений геометрического положения обработанных отверстий при разборке пакета и обратном точном позиционировании

В настоящем исследовании разборка пакета подразумевает собой отведение панели ОЧК от каркаса (лонжероны+нервюры) для очистки пакета от стружки и подготовки к герметизации.

Так как отверстия под крепеж в панелях, лонжеронах и нервюрах обработаны в окончательный диаметр, способ модульной сборки предполагает возвратное точное положение панели ОЧК.

Отведение панели ОЧК от каркаса и ее возвратное точное положение происходит в станции окончательной сборки кессона. Копирование положения и перемещение панели происходит с помощью автоматизированного оборудования, которое позволяет двигаться раме с зафиксированной панелью только вдоль одной координаты (Y).

Соответственно можно утверждать, что предельные отклонения обработанных отверстий при разборке пакета и обратном точном позиционировании по координатам X и Z равны нулю.

Определение предельных отклонений геометрического положения обработанных отверстий при разборке пакета и обратном точном позиционировании по координате Y.

В соответствии с технологией сборки, описанной в разделе 2.1, на положение обработанных отверстий при разборке пакета и обратном точном позиционировании по координате Y влияют следующие параметры: C7.1; C7.2; C7.3; C7.4.

Координата середины поля допуска звена A7:

$$\Delta_{o_{A7}} = 0 \quad (2.24)$$

Величина половины поля допуска звена A7:

$$\delta_{A7} = 0,05\text{мм} \quad (2.25)$$

Выводы по главе

Технология модульной сборки и оснащение для этой технологии позволяют собирать крылья самолетов нового поколения, включающие в себя крупногабаритные узлы со смешанными пакетами, которые состоят из деталей, выполненных из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и металлических сплавов.

Несмотря на разность свойств, отклонений и деформаций деталей из ПКМ и металлических сплавов, данная технология сборки гарантирует требуемую геометрическую точность и герметичность конструкции ОЧК.

1. В связи с отсутствием соответствующих статистических данных о фактических отклонениях размеров и форм поверхностей для расчета геометрической точности ОЧК был выбран метод «максимума-минимума».

2. В результате исследования размерных цепей положения базовых отверстий по осям X , Y , Z и их погрешностей установлено, что предельные отклонения геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины, не превышают 1,7 мм, в свою очередь это свидетельствует о том, что модульный способ сборки позволяет использовать автоматизированную сверлильную машину для обработки отверстий.

3. В результате исследования размерных цепей положения обработанных отверстий при разборке пакета и обратном позиционировании установлено, что предельные отклонения по координатам X и Z равны нулю, а предельные отклонения по координате Y равны 0,05 мм. Полученные значения говорят о том, что точность отверстий сохраняется, и модульный способ сборки позволяет выполнять отверстия в окончательный диаметр перед процессом герметизации.

3 Методика экспериментального исследования технологии обработки отверстий в крупногабаритном узле со смешанными пакетами при сборке на модульном оборудовании

Для исследования технологии обработки отверстий в крупногабаритной узле со смешанными пакетами при сборке на модульном оборудовании в первую очередь необходимо подобрать режимы резания для смешанных пакетов.

3.1 Методика и условия проведения эксперимента по подбору режимов резания на образцах, имитирующих типовые смешанные пакеты

3.1.1 Образцы для проведения исследования

Для решение этой задачи были выявлены составы смешанных пакетов, а также типовые диаметры, которые встречаются в кессоне крыла гражданского самолета при обработке отверстий со стороны внешнего теоретического контура панелей ОЧК (таблица 3.1). Качество отверстия, который необходимо получить Н9, шероховатость в металлических слоях Ra 1,6 мкм, шероховатость в слоях ПКМ Ra 6,3 мкм.

Таблица 3.1 – Типовые составы смешанных пакетов и диаметры отверстий, используемые в кессоне крыла

№ п/п	Состав пакета	Толщина пакета, мм	Диаметры, мм							
			6,35	7,94	9,52	11,11	12,7	–	–	–
1	ПКМ+Al	19..24	6,35	7,94	9,52	11,11	12,7	–	–	–
2	ПКМ+Ti	20..25	–	7,94	9,52	11,11	–	–	–	–
3	ПКМ+Ti	26..30	–	–	–	–	12,7	–	14,29	15,87
4	ПКМ+Ti+Al	30..33	–	7,94	9,52	11,11	12,7	–	14,29	–
5	Ti+ПКМ	20..24	6,35	7,94	9,52	11,11	12,7	–	–	–
6	Ti+ПКМ+Ti	28..32	–	–	9,52	11,11	12,7	14	14,29	15,87
7	Ti+ПКМ+Al	28..32	–	7,94	9,52	11,11	12,7	–	–	–
8	Ti+ПКМ+Ti+Al	36..38	–	–	–	–	–	14	14,29	–

ПКМ – композиционный материал с полимерной матрицей; Ti– титановый сплав; Al– алюминиевый сплав

Одна из самых сложных зон с точки зрения обработки отверстий отображена на рисунке 3.1.

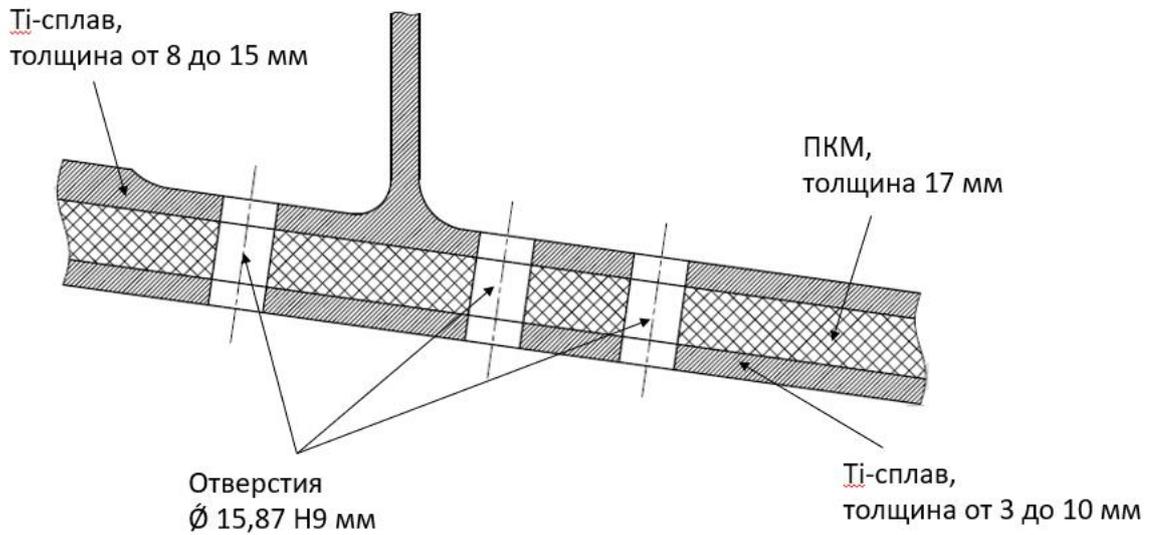


Рисунок 3.1 – Типовой смешанный пакет в зоне установки балки траверсы

На основании таблицы 3.1 для проведения исследований были изготовлены 21 пластина размером 300×210 мм. Эскиз пластины изображен на рисунке 3.2. Материалы и толщины пластин в соответствии с таблицей 3.2.

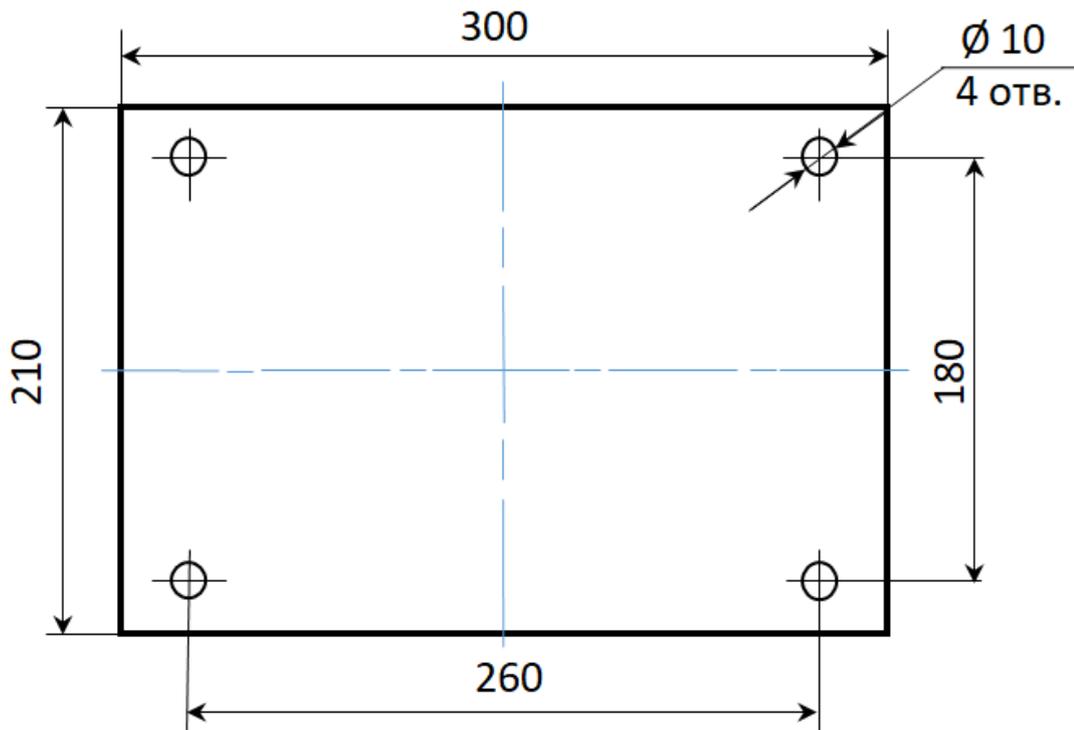


Рисунок 3.2 – Эскиз пластины

Таблица 3.2 – Параметры и количество пластин для изготовления образцов

Материал пластины	Толщина, мм	Количество
ПКМ PRISM EP2400/ TX1100 IMS65-24K-UD-196-6.35	17	8
Плита ВТ6Ч 30 ТУ 1-805-391-2015	5	5
Плита ВТ6Ч 30 ТУ 1-805-391-2015	10	4
Плита 1163.Т ТУ 1-92-161-903	5	2
Плита 1163.Т ТУ 1-92-161-903	10	2

Далее из пластин было собрано 8 образцов, имитирующих смешанные пакеты кессона крыла. Параметры образцов для проведения испытаний указаны в таблице 3.3.

Диаметры отверстий, для которых подбирались режимы резания на соответствующих образцах, отражены в таблице 3.4.

Таблица 3.3 – Параметры образцов для проведения испытаний

№ образца	I слой		II слой		III слой		IV слой	
	Материал	Толщина, мм	Материал	Толщина, мм	Материал	Толщина, мм	Материал	Толщина, мм
1	ПКМ	17	Al	5	–	–	–	–
2	ПКМ	17	Ti	5	–	–	–	–
3	ПКМ	17	Ti	10	–	–	–	–
4	ПКМ	17	Ti	10	Al	5	–	–
5	Ti	5	ПКМ	17	–	–	–	–
6	Ti	5	ПКМ	17	Ti	10	–	–
7	Ti	5	ПКМ	17	Al	10	–	–
8	Ti	5	ПКМ	17	Ti	10	Al	5

Таблица 3.4 – Диаметры отверстий

№ образца	Диаметры, мм							
	6,35	7,94	9,52	11,11	12,7	–	–	–
1	6,35	7,94	9,52	11,11	12,7	–	–	–
2	–	7,94	9,52	11,11	–	–	–	–
3	–	–	–	–	12,7	–	14,29	15,87
4	–	7,94	9,52	11,11	12,7	–	14,29	–
5	6,35	7,94	9,52	11,11	12,7	–	–	–
6	–	–	9,52	11,11	12,7	14	14,29	15,87
7	–	7,94	9,52	11,11	12,7	–	–	–
8	–	–	–	–	–	14	14,29	–

3.1.2 Оборудование и инструмент для проведения исследования

Обработка отверстий в образцах с целью определения режимов резания осуществлялась на станции сверления линия сборки консоли крыла с помощью автоматизированной сверлильной машины (рисунок 3.3) в специальной зоне для обработки отверстий в образцах (рисунок 3.4).

Технические характеристики автоматизированной сверлильной машины, а также характеристики ЧПУ SIEMENS 840 D приведены в таблицах 3.5 и 3.6.



Рисунок 3.3 – Станция сверления

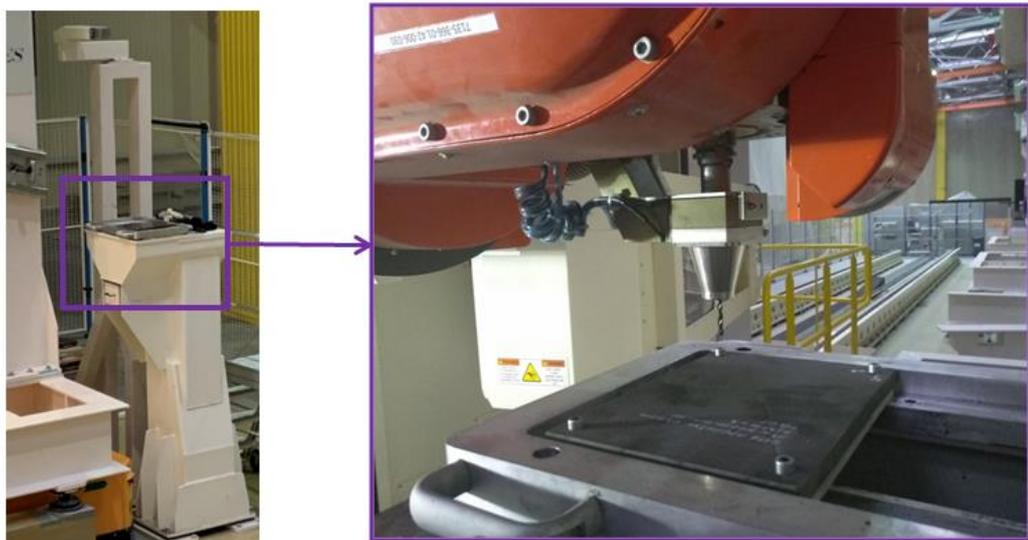


Рисунок 3.4 – Зона обработки отверстий в образцах.

Таблица 3.5 – Технические характеристики автоматизированной сверлильной машины

Ось	Рабочий ход	Скорость позиционирования	Точность позиционирования
X*(*A=0°)	21.300 мм	20.000 мм/мин	0,06 мм
Y	4.750 мм	15.000 мм/мин	0,05 мм
Z	2.150 мм	15.000 мм/мин	0,05 мм
C	± 190°	12 об/мин	± 10 арксек
A	±110°	12 об/мин	± 10 арксек
W	101,6 мм	8.000 мм/мин	0,0254 мм

Таблица 3.6 – Технические характеристики ЧПУ

1	Пакет механической обработки для 5 осей SINUMERIK 840 D
2	Пара синхронизируемых осей (портальные оси)
3	Компенсация смещения инструмента
4	Интерфейс ввод/вывод через PROFIBUS DP
5	Ускорение с ограничением рывков
6	Защита доступа
7	Сигналы и сообщения: все сообщения и сигналы выводятся на панель оператора
8	Вспомогательная функция
9	Компенсация люфтов
10	Базовые смещения в системе координат заготовки
11	Поиск блока: для программ испытаний деталей или последующего прерывания механической обработки
12	Круг через центральную точку и торцевую точку или круг через промежуточную точку и торцевую точку
13	Режим непрерывного маршрута с программируемым зазором округления
14	Технологические циклы сверления
15	Интерполяция скорости подачи
16	Ручная коррекция скорости подачи: Текущая скорость изменяется в программе через панель управления или PLC
17	Высокий уровень языка ЧПУ: переменные системы, переменные пользователя, команды перехода, арифметические и тригонометрические функции, макро техника, конструкции контроля и т.д.
18	Система измерения компенсации ошибок
19	Язык программирования: Язык программирования ЧПУ основан на DIN 66025
20	Компенсация квадрантной ошибки
21	Функции безопасности: Функции безопасности для человека и станка с функцией Sinumerik

В качестве СОТС использовалось LUXOL A15.

В качестве инструмента для исследования был выбран комбинированный инструмент: сверло с зенковкой и развертка с зенковкой (рисунок 3.5). Также были подобраны сверла (рисунок 3.6) для случаев, когда одного перехода

сверления не достаточно для получения заданного качества отверстия, и необходимо выполнять операцию развертывания. Диаметр сверла в таких случаях на 0,2 мм меньше диаметра развертки.

Сверла из твердого сплава, угол при вершине 135° , угол наклона винтовой канавки от $27,1^\circ$ до $30,8^\circ$ (в соответствии с таблицей 3.7), хвостовик шлифованный для закрепления в гидравлическом патроне станка, имеются внутренние каналы для подачи СОТС.



а)



б)

Рисунок 3.5 – Комбинированный инструмент:

а) – сверло с зенковкой; б) – развертка с зенковкой



Рисунок 3.6 – Сверло

Таблица 3.7 – Углы наклона винтовой канавки

Диаметр отверстия, мм	6,1	7,7	9,3	10,9	12,5	13,8	14,1	15,7
Угол наклона винтовой канавки, °	27,1	28,4	28,8	30,8	30,1	29,5	29,5	29,4

3.1.3 Контрольно-измерительный инструмент для проведения исследования

Измерения диаметров отверстий осуществлялись с помощью нутромеров микрометрических трехточечных (рисунок 3.7) и калибров-пробок ГОСТ 24853-81 (рисунок 3.8).

Технические характеристики нутромеров микрометрических трехточечных указаны в таблице 3.8.



а)



б)

Рисунок 3.7 – Наборы нутромеров микрометрических трехточечных: а) – диапазон измерений 6-12 мм; б) – диапазон измерений 12-25 мм



Рисунок 3.8 – Калибр-пробка

Таблица 3.8 – Технические характеристики нутромеров микрометрических трехточечных

Характеристика	Значение
Диапазон измерений	6-25 мм
Отдельные диапазоны	6-8; 8-10; 10-12; 12-16; 16-20; 20-25
Цена деления	0,001
Установочные кольца	ø8 мм, ø10 мм, ø16 мм, ø20 мм
Дюймовый/Метрический:	Метрический

Измерения шероховатости отверстий по металлу осуществлялись с помощью контактного профилометра (рисунок 3.9).

Технические характеристики контактного профилометра указаны в таблице 3.9.

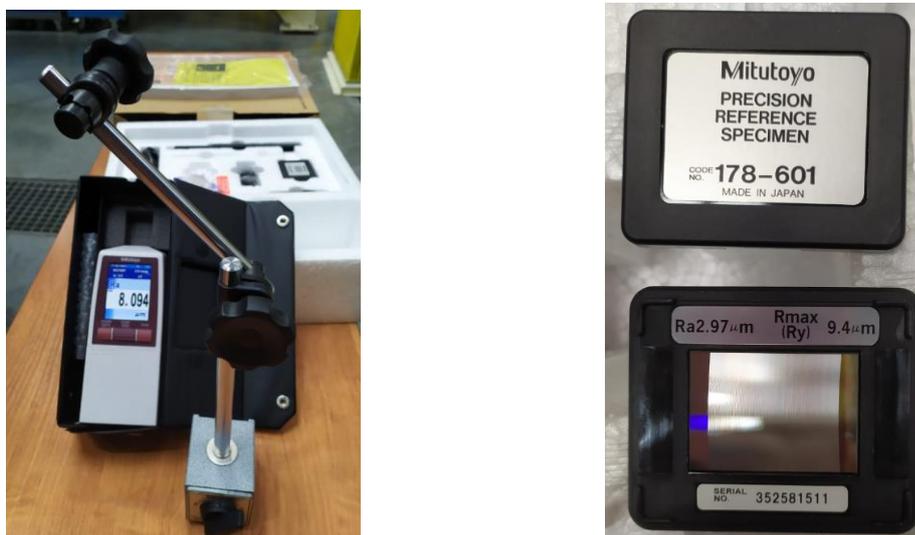


Рисунок 3.9 – Контактный профилометр

Таблица 3.9 – Технические характеристики контактного профилометра

Характеристика	Значение
Ряды номинальных значений мер по параметру шероховатости Ra, доступные для выбора заказчиком, мкм:	$2,9 \pm 0,3$
Предел допускаемой относительной погрешности воспроизведения параметра Ra, ($\Delta 0$), %	3

Измерения шероховатости отверстий в ПКМ осуществлялись с помощью оптического профилометра (рисунок 3.10).

Технические характеристики оптического профилометра указаны в таблице 3.10.



Рисунок 3.10 – Оптический профилометр

Таблица 3.10 – Технические характеристики оптического профилометра

Характеристика	Единица измерения	Значение
Метод измерения		Бесконтактный (вертикальная сканирующая интерферометрия (в белом свете) и фазовая интерферометрия)
Виброизоляция		Виброизоляционный стол
Длина основания	мм	150
Тип перемещения основания		Моторизованное и программируемое, наклон основания $\pm 6^\circ$
Наклон основания	градус	± 6
Наклон головки		Нет
Источник света		Два долгоживущих светодиода последнего поколения
Тубусные линзы		0.55x, 1.0x, 2.0x
Компьютер		Dell; Multi-core, Windows® 7,0
Программное обеспечение		ПО Vision64 для управления профилометром и анализа изображений
Автоматизация (стандарт)		Подбор интенсивности освещения; автофокус камеры
Калибровка	мм	$0,1 \cdot 10^{-6} - 10$
Скорость вертикального сканирования	мкм/с	28
Разрешение по вертикали (Ra)	нм	< 0.08 (фазовая интерферометрия)
Повторяемость RMS	нм	0,01
Максимальная масса образца	кг	4,5

Измерения глубины зенковки под потайные головки крепежных элементов осуществлялись при помощи специального калибра и индикаторного приспособления (Рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Калибр и индикаторное приспособление

3.1.4 План эксперимента

Последовательность действий при подборе режимов резания на образцах:

1. Установить образец №1 на стол станка в зоне обработки отверстий в образцах.
2. Оператору станка выбрать необходимый инструмент для обработки отверстий.
3. Выполнить отверстие диаметром 6,35 мм по режимам обработки, рекомендуемым производителем инструмента [112].
4. Оценить качество обработанного отверстия по следующим параметрам:
 - а) качество стружки (визуально);
 - б) качество внутренней поверхности отверстия (визуально);
 - в) отсутствие деламинации, сколов на выходе режущего инструмента (визуально);
 - г) диаметр полученного отверстия (калибр; нутромер);
 - д) шероховатость полученного отверстия в металлических слоях пакета (профилометр);
 - е) глубину зенковки (калибр-болт; индикаторное приспособление).
5. Если качество неудовлетворительное, произвести коррекцию режимов обработки и повторно обработать отверстия до получения приемлемых результатов.
6. Повторить пункты № 2-5 для диаметров 7,94; 9,52; 11,11.
7. Аналогично пунктам №1-6 произвести подбор режимов для всех диаметров во всех образцах в соответствии с таблицей 3.4.

8. Разобрать образцы.
9. Из слоев ПКМ вырезать области с отверстиями, которые соответствуют заданным требованиям по качеству.
10. Разрезать полученные части образцов вдоль диаметров отверстий.
11. Провести измерения шероховатости в слое ПКМ (оптический профилометр).
12. При несоответствии заданным требованиям собрать образец и откорректировать режимы до получения требуемого значения шероховатости в слое ПКМ.
13. Части образцов, вырезанных из слоев ПКМ, с шероховатостью отверстий 6,3 мкм использовать в последующем исследовании процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле в качестве эталона для контроля шероховатости отверстия в слоях ПКМ.

3.2 Методика и условия проведения эксперимента по исследованию процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле

3.2.1 Сборка тестового кессона

Для исследования технологии обработки отверстий в крупногабаритном узле при сборке на модульном оборудовании был собран образец кессона габаритами 17765x3050x438 мм (рисунок 3.12), имитирующий кессон крыла гражданского самолета – тестовый кессон (рисунок 3.13).



Рисунок 3.12 – Габариты тестового кессона



Рисунок 3.13 –Тестовый кессон

Тестовый кессон состоит из НЧК, ХЧК, нервюр (включая бортовую и концевую), а также верхней и нижней панелей ОЧК и был собран в мобильной раме по технологии, описанной в разделе 2 (рисунок 3.14).

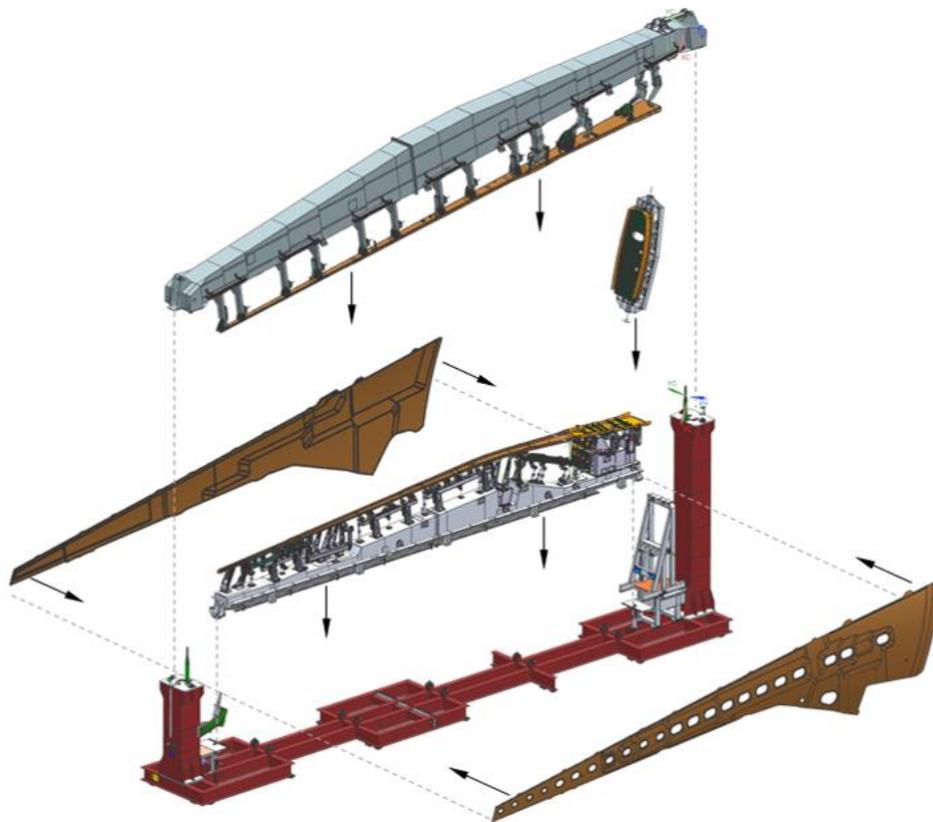
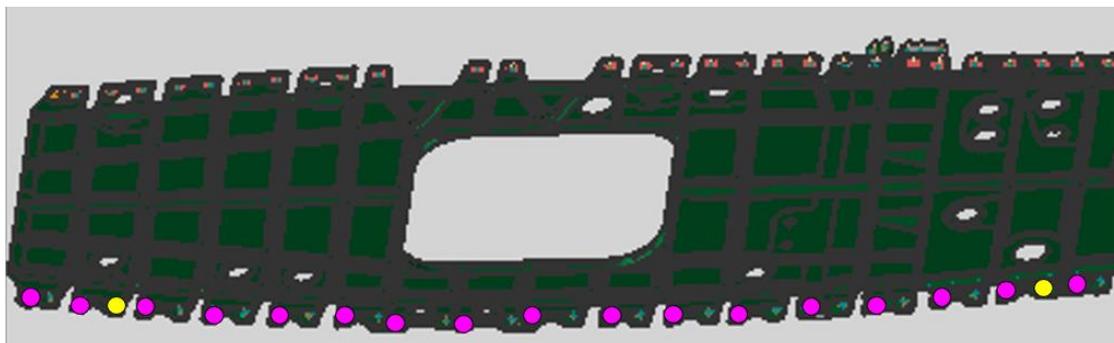


Рисунок 3.14 – Схема технологии сборки тестового кессона

В деталях каркаса были заблаговременно выполнены отверстия диаметром 3,1 мм, которые при дальнейших операциях сборочного процесса будут играть роль базовых отверстий и отверстий под установку технологического крепежа.

Пример схемы выполнения базовых отверстий и отверстий под технологический крепеж изображен на рисунке 3.15.



● - Базовые отверстия ● - Отверстия для установки тех. крепежа

Рисунок 3.15 – Схема выполнения отверстий в нервюре 2

В станции предварительной установки панелей кессона крыла к каркасу была подведена сначала верхняя панель. Отверстия, выполненные в деталях каркаса для установки технологического крепежа со стороны верхней панели, были выведены из каркаса в верхнюю панель, после чего рассверлены со стороны внешнего теоретического контура до необходимого диаметра 4 мм, в корневой зоне – до диаметра 6 мм.

Затем в рабочее положение была установлена нижняя панель, верхняя панель отведена в нерабочее положение. Отверстия, ранее выполненные в каркасе для установки технологического крепежа со стороны нижней панели, а также базовые, были выведены из каркаса в нижнюю панель, после чего рассверлены со стороны внешнего теоретического контура до необходимого диаметров. Базовые отверстия – до 5 мм. Отверстия под технологический крепеж – до диаметра 4 мм, в корневой зоне – до диаметра 6 мм.

После чего в соответствующие отверстия по нижней панели был установлен технологический крепеж. Подведена верхняя панель, установлен технологический крепеж по верхней панели.

Сверление отверстий на данной станции производится с помощью ручного механизированного инструмента.

3.2.2 Методика и условия проведения эксперимента по подбору количества технологического крепежа при обработке отверстий

При обработке отверстий в смешанных пакетах, в которых присутствуют слои из ПКМ, необходимо, чтобы пакет был плотно сжат, дабы исключить расслоения на выходе из слоя композиционного материала.

Для решение этой задачи необходимо было определить количество технологического крепежа, которое бы обеспечивало плотность сжатия пакета, другими словами, которое бы обеспечивало отсутствие зазоров между слоями в исследуемом пакете.

Эксперимент проводился в три этапа:

1. При сборке тестового кессона по рекомендациям от производителя сверлильного станка [107] было установлено 10% технологического крепежа диаметром 4мм, в корневой зоне – диаметром 6мм. Измерены зазоры.

2. По рекомендациям от производителя быстросъемных зажимов [101] было установлено 30% технологического крепежа диаметром 4мм, в корневой зоне – диаметром 6мм. Измерены зазоры.

3. Было установлено 50% технологического крепежа диаметром 4мм, в корневой зоне – диаметром 6мм. Измерены зазоры.

3.2.3 Карта обработки отверстий

Для исследования процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле с применением режимов, полученных ранее при обработке отверстий в образцах, в тестовом кессоне были определены координаты отверстий соответствующих диаметров в соответствующих пакетах.

Все комбинации пакетов и отверстий присутствует в корневой части кессона со стороны нижней панели ОЧК. В связи с тем, что помимо задачи исследовать качество отверстий, стоит задача исследовать точность положения отверстий,

было принято решение добавить отверстия, расположенные в средней и в концевой частях кессона (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Эскиз карты обработки отверстий в тестовом кессоне.

На основании этих данных была составлена карта обработки отверстий.

Ключевые параметры карты обработки отверстий, такие как диаметр отверстия, точность, координаты положения центра отверстия, координаты направления отверстия, слои в пакете, отражены в приложении В.

Координаты центра отверстия заданы в самолетной системе координат (СК).

У автоматизированной сверлильной машины имеется своя система координат. Именно ее и выбирает инженер-программист при написании управляющей программы (УП).

Переход от самолетной системы координат к системе координат станка изображен на рисунке 3.17.

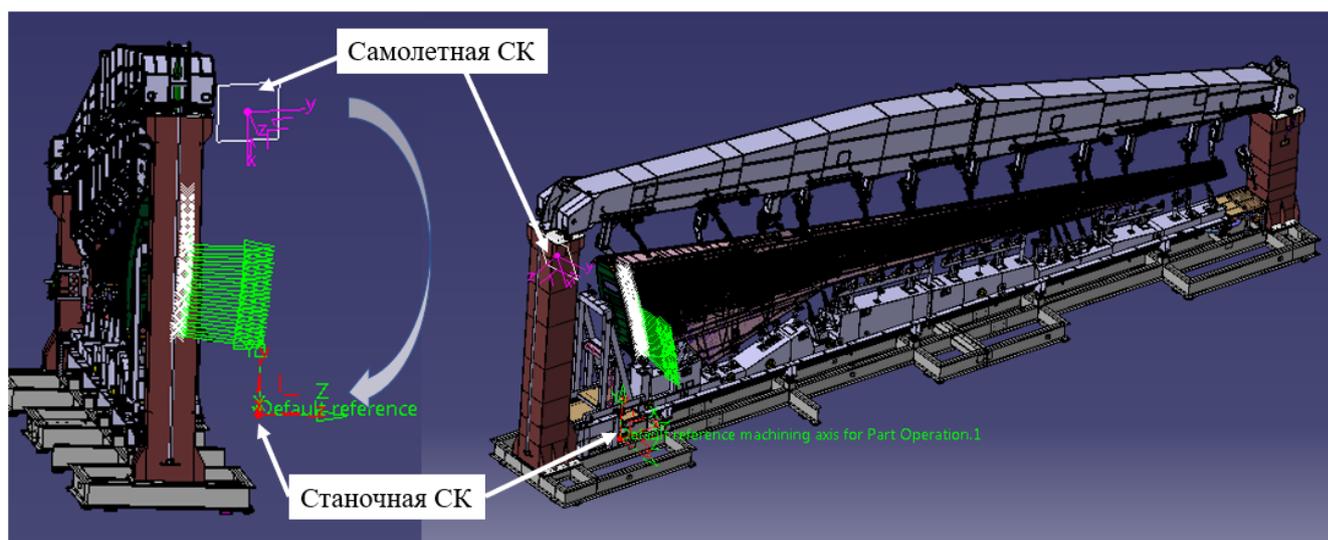


Рисунок 3.17 – Переход от самолетной СК к СК станка

3.2.4 Привязка

При любой автоматической обработке отверстий станку необходимо указать базовые геометрические элементы, относительно которых будет определяться положение и углы поворота шпинделя.

При обработке отверстий в крупногабаритных узлах традиционный способ позиционирования от начала единой системы координат – не подходит, по двум причинам:

- а) не учитывается фактическое положение элементов конструкции;
- б) по мере отдаления шпинделя от "нуля" накапливается величина погрешности.

В результате суммарная величина погрешности может превысить заданный допуск на положение отверстия.

В таких случаях обрабатываемая конструкция разделяется на отдельные участки – зоны обработки отверстий, каждая из которых имеет свою собственную систему координат, с учетом локальных особенностей данной зоны. В результате такого членения крупногабаритной конструкции ошибка положения шпинделя накапливается лишь в пределах каждой отдельной зоны обработки отверстий, а накапливаемая ошибка в ее пределах гарантированно оказывается в пределах допуска.

Один из способов создать систему координат в рамках локальной зоны – это совместить 3 специально выбранные точки в каждой зоне с тремя теоретическими точками соответственно, таким образом позволить "войти" станку в локальную систему координат.

Процесс перемещения и поворота одного облака точек с целью наилучшего (оптимального) его совмещения с другим облаком точек называют рототрансляцией (от английских: 'rotation' - вращение и 'translation' - перемещение).

Для процесса рототрансляции необходимо как минимум 3 точки, к каждой из которой предъявляются собственные геометрические требования:

1. Master – определяет начало координат (ноль), точка (отверстие), к которой предъявляются максимальные требования по точности.

2. Slave – задаёт направление оси системы координат, т.е. точка Slave лежит на оси OX .

3. Roto – задаёт угол поворота плоскости системы координат относительно заданной выше оси, т.е. точка Roto не лежит на оси OX , но лежит на плоскости XOZ .

Таким образом определяется положение системы координат, относительно которой будет производиться обработка отверстий, путём совмещения трёх теоретических и трёх фактических точек.

3.2.5 Зоны обработки отверстий

Следуя вышеизложенному, карта обработки отверстий делится на зоны обработки отверстий (рисунок 3.18), в которые к координатам отверстий для обработки добавляются координаты базовых отверстий для привязки (приложение Г).

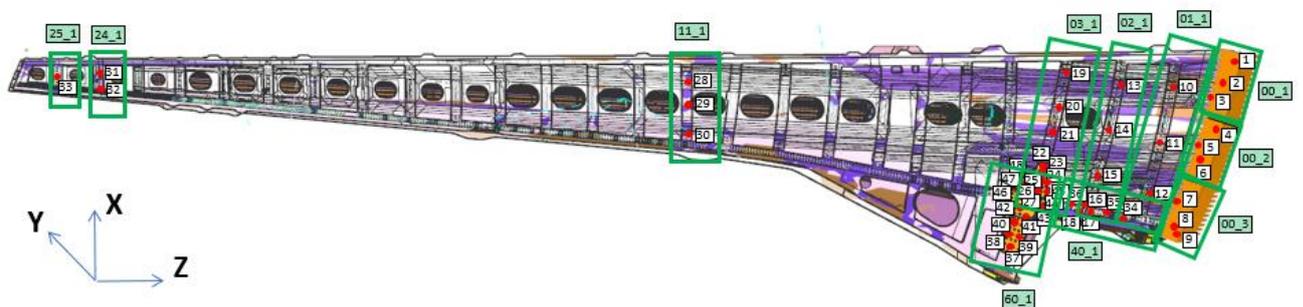
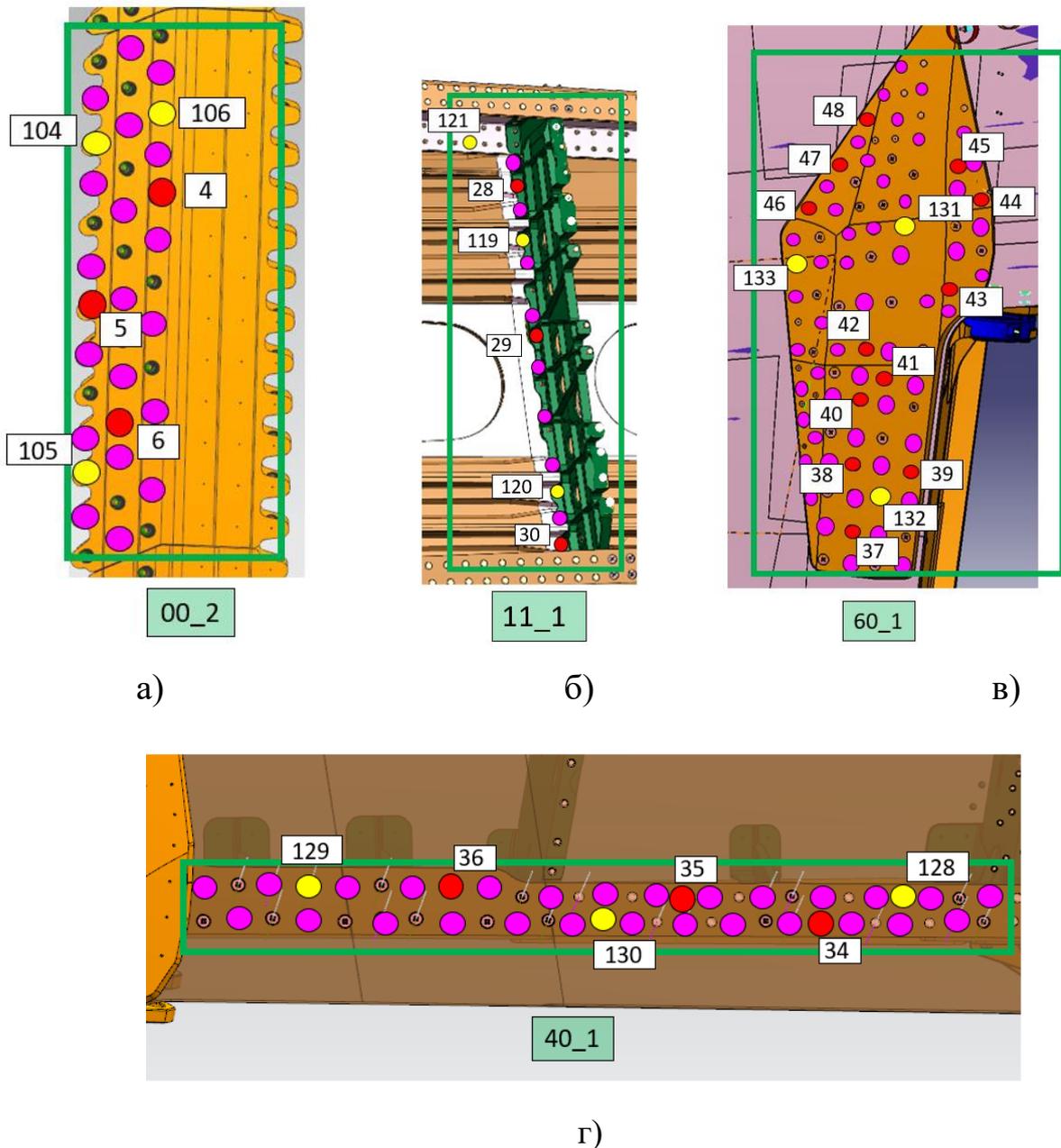


Рисунок 3.18 – Эскиз зон обработки отверстий в тестовом кессоне

Для удобства в использовании, в первые две цифры нумерации зон заложен номер нервюры, которая находится в данной зоне. Для заднего лонжерона и балки траверсы свои отдельные номера (приложение Г).

Так как при сборке детали могут быть смещены друг относительно друга и относительно своего теоретического положения, то необходимо определять положение каждой детали фактическое – это значит, что для каждой детали (с возможным смещением) необходимо проводить операцию рототрансляции и выделять ее в отдельную зону.

Расположение базовых отверстий, отверстий для установки технологического крепежа, а также отверстий для обработки в типовых зонах изображено на рисунке 3.19.



- - Базовые отверстия
- - Отверстия для установки тех. крепежа
- - Отверстия для сверления

Рисунок 3.19 – Типовые зоны обработки отверстий в тестовом кессоне.

- а) для нервюр; б) для накладок бортовой нервюры;
в) для балки траверсы; г) для пояса заднего лонжерона.

В соответствии с эскизами зон обработки отверстий, базовые отверстия были заблаговременно выполнены в деталях каркаса, после чего выведены в панель ОЧК и рассверлены со стороны внешнего теоретического контура до необходимого диаметра (\varnothing 5 мм).

3.2.6 Контрольно-измерительное оборудование для проведения исследования

Измерения диаметров отверстий и глубины зенковки осуществлялось аналогично пункту 3.1.3.

Измерение положение базовых отверстий осуществлялось с помощью лазерного трекера (рисунок 3.20) в среде специализированного ПО.



Рисунок 3.20 – Лазерный трекер

Технические характеристики лазерного трекера указаны в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Технические характеристики лазерного трекера.

Наименование характеристики	Значение
<i>Диапазон изменения углов</i>	
Горизонтальный угол	$\pm 360^\circ$ (640° между крайними положениями)
Вертикальный угол	$+79^\circ/-59^\circ$
<i>Разрешение</i>	
Угловое разрешение	$\pm 0,018$ угловых секунды
Разрешение дальномера	0,1 мкм
<i>Максимальный рабочий диапазон измерений</i>	
Модель R-20	40 м
Модель R-50	100 м
Модель R-80	160 м
<i>Минимальная рабочая дистанция</i>	
0 м (от апертуры лазера)	
<i>Погрешность измерений</i>	
Пространственная погрешность (MPE*)	± 10 мкм + 5 мкм/м
<i>Динамические характеристики</i>	
Максимальная скорость слежения за отражателем с одновременным измерением координат	6 м/с либо $180^\circ/\text{с}$
Максимальная скорость измерений координат отражателя	1000 точек/с
Максимальное угловое ускорение	$180^\circ/\text{с}^2$
Возможность измерения скорости и ускорения движения объекта	в штатном ПО
<i>Характеристики встроенного уровня</i>	
Погрешность встроенного уровня (2 сигма)	$\pm 2''$
Диапазон работы встроенного уровня	$\pm 2^\circ$
<i>Характеристики лазера</i>	
Встроенный лазерный интерферометр (IFM)	есть
IFM	HeNe-лазер 632 нм, класс II (безопасно для глаз)
Разрешение	0,08 мкм
Погрешность (MPE)	$\pm 0,5$ мкм/м
IR лазер 1550 нм (ADM-Maxx)	Класс I (безопасно для глаз)
Разрешение	0,1 мкм
Погрешность захвата ADM (MPE)	± 10 мкм или 0.7 мкм/м, что больше

Измерение положения обработанных отверстий относительно обреза деталей осуществлялось с помощью штангенциркуля ГОСТ 166-89.

3.2.7 План эксперимента

Последовательность действий при исследовании процесса обработки отверстий при сборке на модульном оборудовании:

1. Установить собранный тестовый кессон в станцию сверления (рисунок 3.21)



Рисунок 3.21 – Тестовый кессон на станции сверления

2. Измерить положение базовых отверстий с помощью лазерного трекера. Привязку осуществлять по реперным точкам мобильной рамы.
3. Осуществить обработку отверстий по заранее подготовленной программе обработки отверстий с заданными режимами.
4. Контролировать качество отверстий визуально.
5. Произвести замеры диаметров отверстий, шероховатости в металлических слоях и глубины зенковки.
6. Контролировать шероховатость в слое ПКМ визуально, сравнивая с эталоном.
7. Произвести замер положения обработанных отверстий относительно обреза детали в элементах каркаса.
8. Проанализировать результаты.

3.3 Методика и условия проведения эксперимента по подбору габаритов зоны привязки для длинномерных деталей

На основании полученных результатов по исследованию обработки отверстий в крупногабаритном узле, в соответствии с методикой, описанной в разделе 3.2, следует, что для достижения точности геометрического положения выполняемых отверстий 0,5 мм, длинномерные детали необходимо делить на подзоны для обработки отверстий.

3.3.1 Образцы для проведения исследования

При исследовании технологии обработки отверстий в крупногабаритном узле для подбора габаритного размера длины зоны привязки в качестве образцов были взяты нервюры №1, 2 и 3, которые являются длинномерными деталями. Данные нервюры были поделены на подзоны в соответствии с таблицей 3.12.

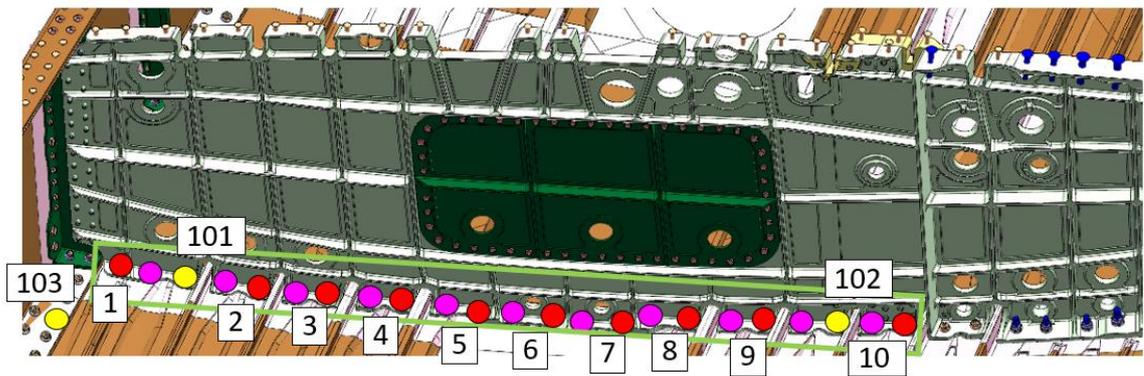
Таблица 3.12 – Деление на зоны длинномерных нервюр.

№ Нервюры	Количество зон	Длина зоны, мм
3	1	1500
2	2	1200; 1050
1	3	900; 800;700

На основании данных из таблицы 3.12 была составлена новая карта обработки отверстий (приложение Д).

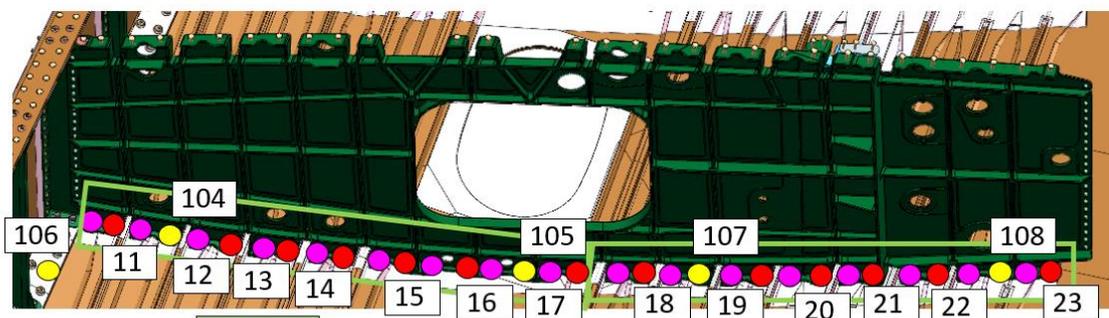
3.3.2 Карта обработки отверстий

Схема расположение базовых отверстий, отверстий для установки технологического крепежа, а также отверстий для обработки изображено на рисунке 3.22.



03_1

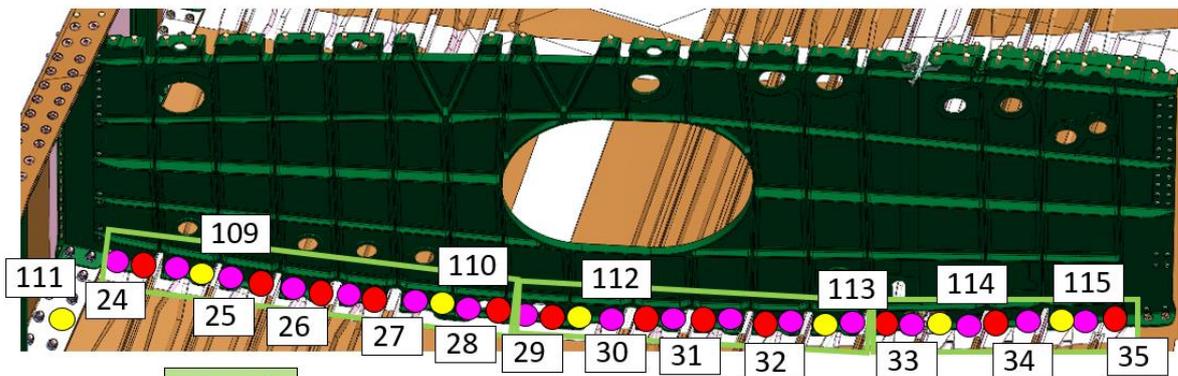
а) нервюра 3



02_1

02_2

б) нервюра 2



01_1

01_2

01_3

в) нервюра 1

- - Базовые отверстия
- - Отверстия для установки тех. крепежа
- - Отверстия для сверления

Рисунок 3.22 – Схема расположения отверстий в зонах обработки отверстий.

3.3.3 План эксперимента

Последовательность действий при исследовании по подбору габаритного размера длины зоны привязки для длинномерных деталей:

1. Выполнить в образцах базовые отверстия, а также отверстия для установки технологического крепежа в соответствии со схемой расположения отверстий в зонах обработки отверстий (рисунок 3.22).
2. Установить технологический крепеж в соответствии со схемой (рисунок 3.22).
3. Осуществить обработку отверстий по заранее подготовленной программе обработки отверстий с заданными режимами.
4. Произвести замер расстояния от центра отверстия до обреза нервюры.
5. Проанализировать результаты.

3.4 Методика и условия проведения эксперимента по исследованию повторяемости положения и точности отверстий после разборки пакета и обратном точном позиционировании

3.4.1 План эксперимента

Последовательность действий при исследовании повторяемости положения и точности отверстий после разборки пакета и обратном точном позиционировании:

1. Установить тестовый кессон в станцию окончательной установки панелей кессона крыла и выполнения соединений.
2. Подвести раму с присосками к нижней панели ОЧК.
3. Скопировать пространственное положение панели.
4. Снять технологический крепеж.
5. Отвести раму с нижней панелью ОЧК в нерабочее положение.
6. Подвести раму с нижней панелью ОЧК в рабочее положение.
7. Установить класные болты, установить технологический крепеж.
8. Отвести раму в исходное положение.

9. Произвести контроль точности диаметров отверстий (калибры-пробки).
10. Повторить пункты № 1-9 для трех опытов.
11. Проанализировать результаты

Выводы по главе

На основании анализа составов смешанных пакетов, а также типовых диаметров, которые встречаются в кессоне крыла гражданского самолета при обработке отверстий со стороны внешнего теоретического контура панелей ОЧК выявлены качественные характеристики получаемых отверстий для подбора режимов резания: качество отверстия Н9, шероховатость в металлических слоях 1,6 мкм, шероховатость в слоях ПКМ 6,3 мкм.

Предложена методика по исследованию процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле.

1. Исходя из расчета предельных отклонений геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины, определены зоны обработки отверстий, которые задают положение системы координат (привязку), относительно которой будет производиться обработка отверстий.

2. Исходя из конфигурации зон обработки отверстий определены положение базовых отверстий и положение отверстий для установки технологического крепежа в каждой зоне.

3. На основании расчетов предельных отклонений геометрического положения обработанных отверстий разработаны методика и условия проведения эксперимента по исследованию повторяемости положения и точности отверстий после разборки пакета и обратном точном позиционировании.

4 Результаты экспериментальных исследований и их реализация

4.1 Исследования по подбору режимов резания

Экспериментальное исследование было проведено в соответствии с методикой, описанной в разделе 3.1.

Целью исследования являлось определение режимов резания при обработке отверстий в смешанных пакетах.

В ходе проведения эксперимента были определены значения следующих параметров: частота вращения, подача, величина выхода сверла из слоя, величина заглубления и вывода на прерывистом цикле сверления, а также процент подачи СОТС (приложение Е).

Экспериментальным путем определено, что для обработки отверстий в пакетах ПКМ+Al достаточно одного перехода сверления комбинированным инструментом на автоматизированном сверлильном оборудовании для получения заданной точности. При обработке отверстий в пакетах, где сочетаются композиционный материал и титан для получения заданной точности минимально необходимое количество переходов – два: один – сверление, второй – развертывание.

Также был изготовлен эталон для визуальной оценки качества шероховатости в слоях ПКМ (рисунок 4.1).

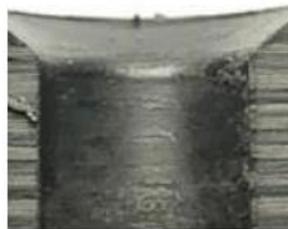


Рисунок 4.1 – Эталон для визуальной оценки качества шероховатости в слоях ПКМ

4.2 Исследования процесса обработки отверстий в крупногабаритном узле

Экспериментальное исследование было проведено в соответствии с методикой, описанной в разделе 3.2.

Целью исследования являлось определение качества отверстий, а также точности их геометрического положения.

4.2.1 Исследования по подбору количества технологического крепежа при обработке отверстий

Целью исследования было определение минимально необходимого количества технологического крепежа для устранения зазоров в пакете.

В ходе проведения эксперимента измерялись значения зазоров при установке различного количества технологического крепежа (таблица 4.9).

Таблица 4.1 – Величины зазоров при установке технологического крепежа

Количество технологического крепежа, %	Величина зазора, мм
10	2-5
30	1-2
50	0-0,2

Экспериментальным путем определено, что для получения качественных отверстий в смешанных пакетах крупногабаритного узла по типу кессон крыла гражданского самолета необходимо устанавливать 50% технологического крепежа.

4.2.2 Исследования качества и точности геометрического положения отверстий

В ходе проведения эксперимента были определены значения отклонений положения базовых точек для привязки (приложение Ж).

На рисунке 4.2 показаны графики фактических отклонений положения базовых точек для привязки по координатам (X, Y, Z).

По графикам видно, что значения фактических отклонений больше расчетных. Это связано с тем, что при сборке тестового кессона базовые отверстия для привязки выполнялись по разметке и сверлились вручную. При этом все фактические отклонения находятся в поле допуска.

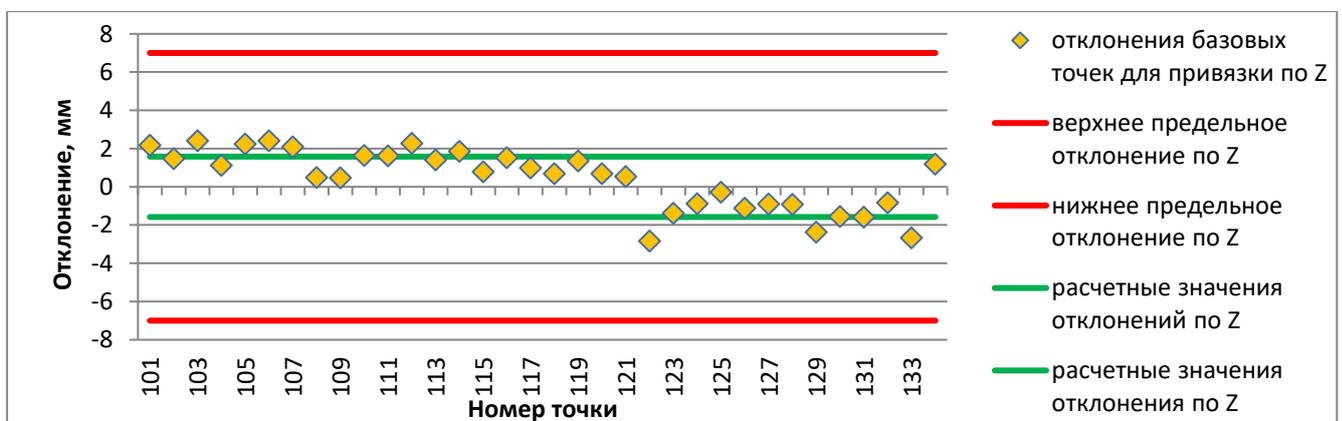
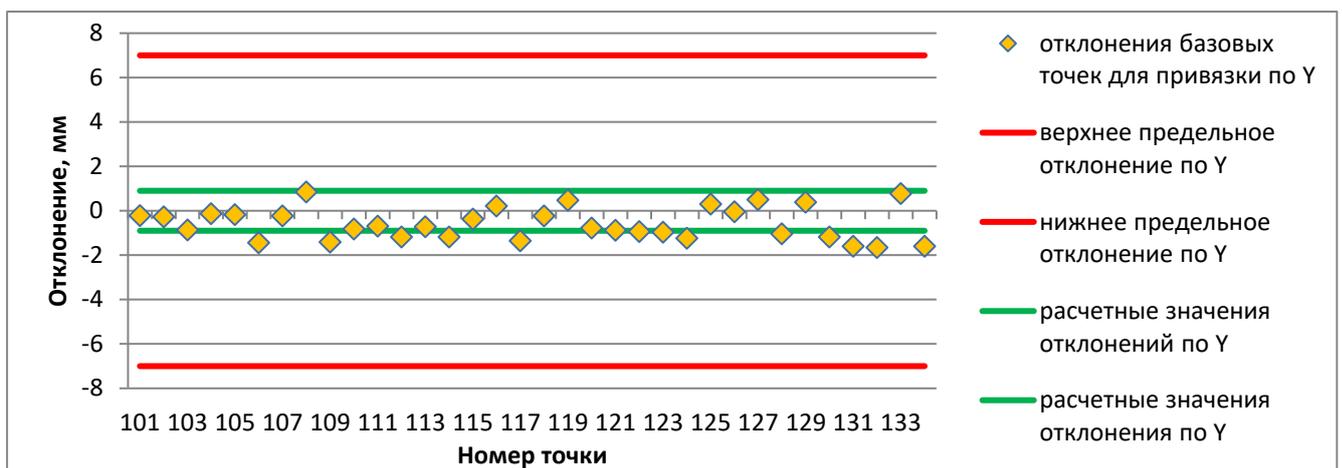
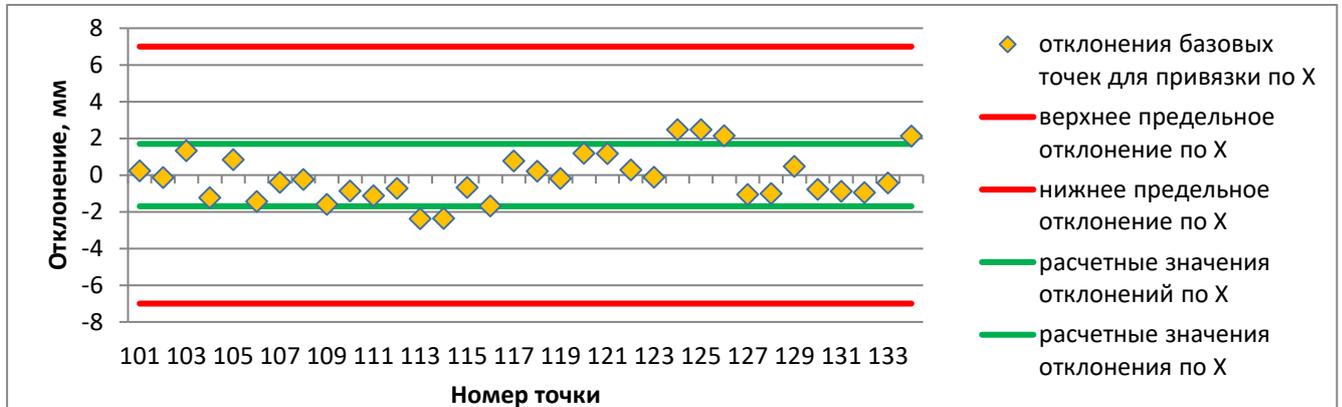
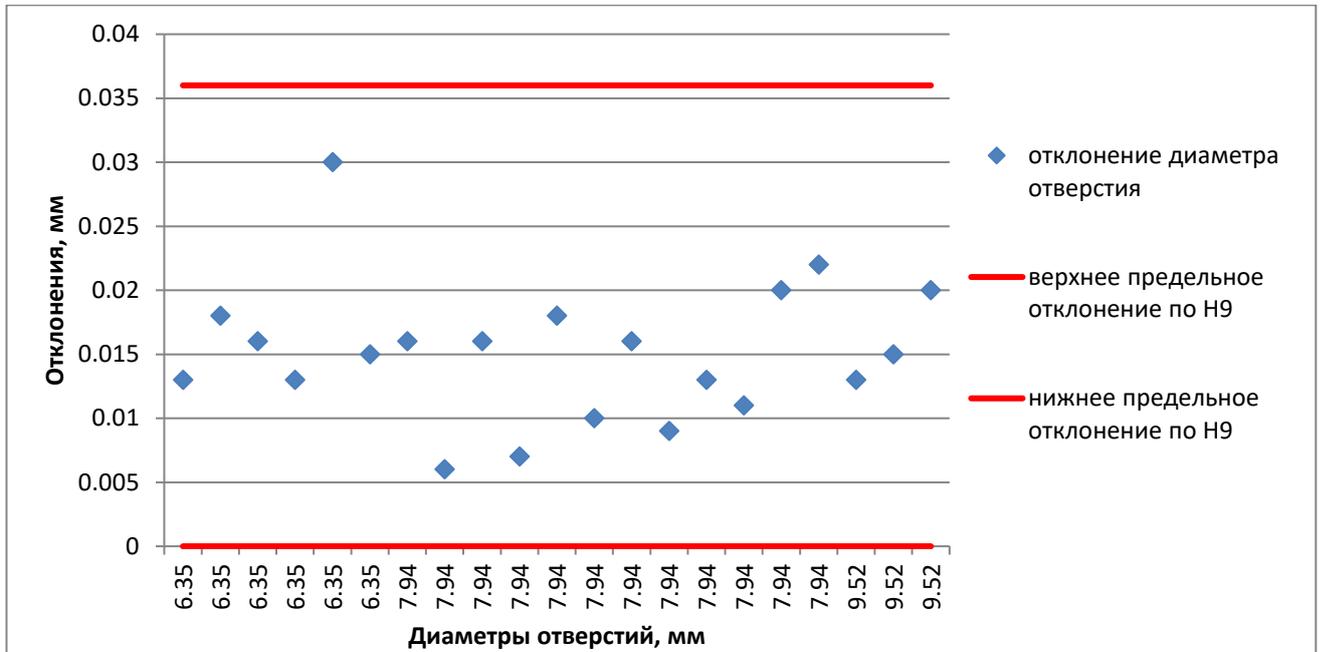


Рисунок 4.2 – Фактические отклонения базовых точек для привязки
а) – по координате X; б) – по координате Y; в) – по координате Z

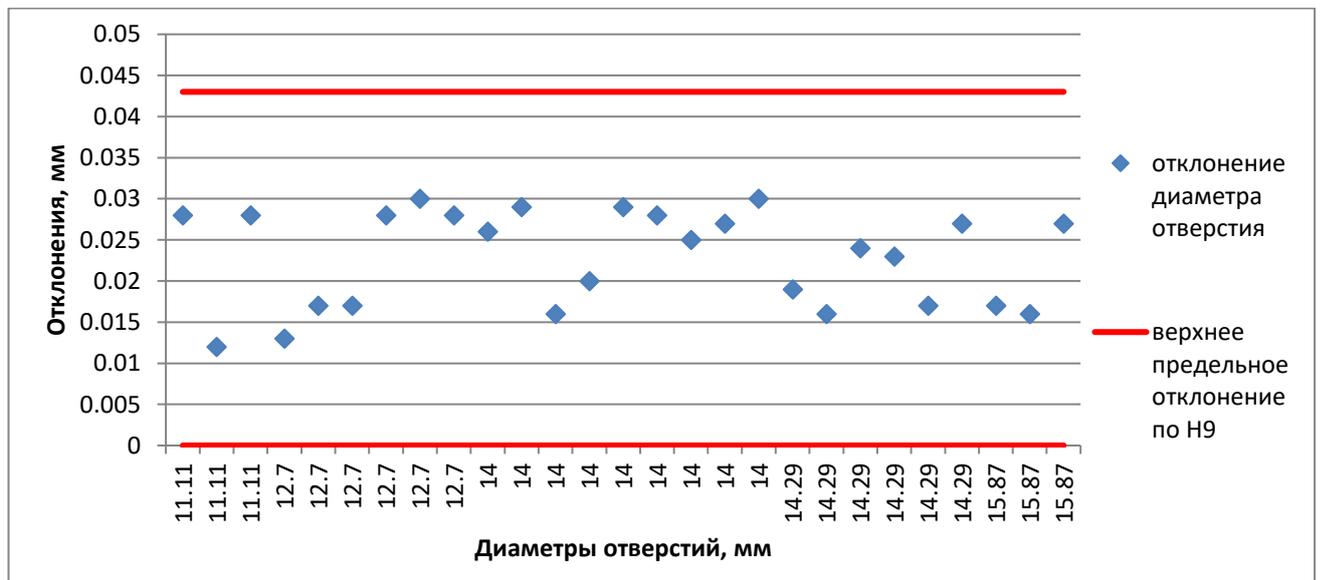
Были исследованы качество обработанных отверстий, шероховатость и глубина зенковки.

Результаты занесены в приложения 3, И, К.

На рисунке 4.3 отражены максимальные значения отклонений диаметров отверстий в пакете.



а)



б)

Рисунок 4.3 – Максимальные фактические отклонения диаметров в пакете:

а) – для диаметров 6,35; 7,94; 9,52;

б) – для диаметров 11,11; 12,7; 14; 14,29; 15,87

На рисунке 4.4 отображены максимальные значения шероховатости отверстий в металлическом слое. Все значения в поле допуска.

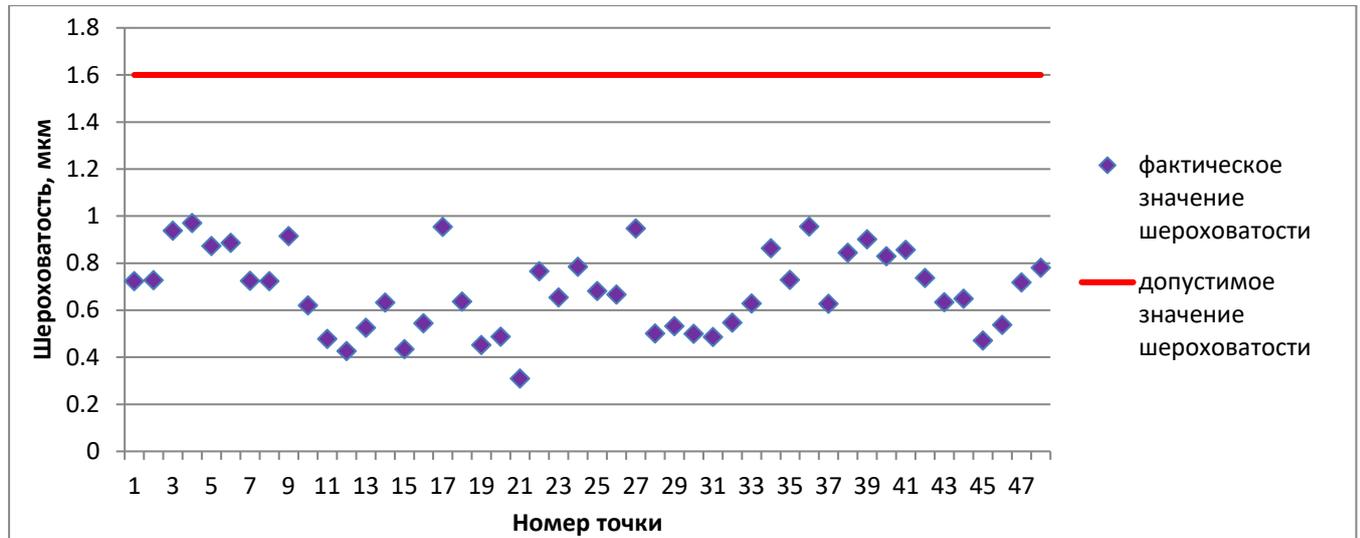


Рисунок 4.4 – Фактические отклонения шероховатости

На рисунке 4.5 отображены максимальные значения отклонений глубины зенковки. Все значения в поле допуска.

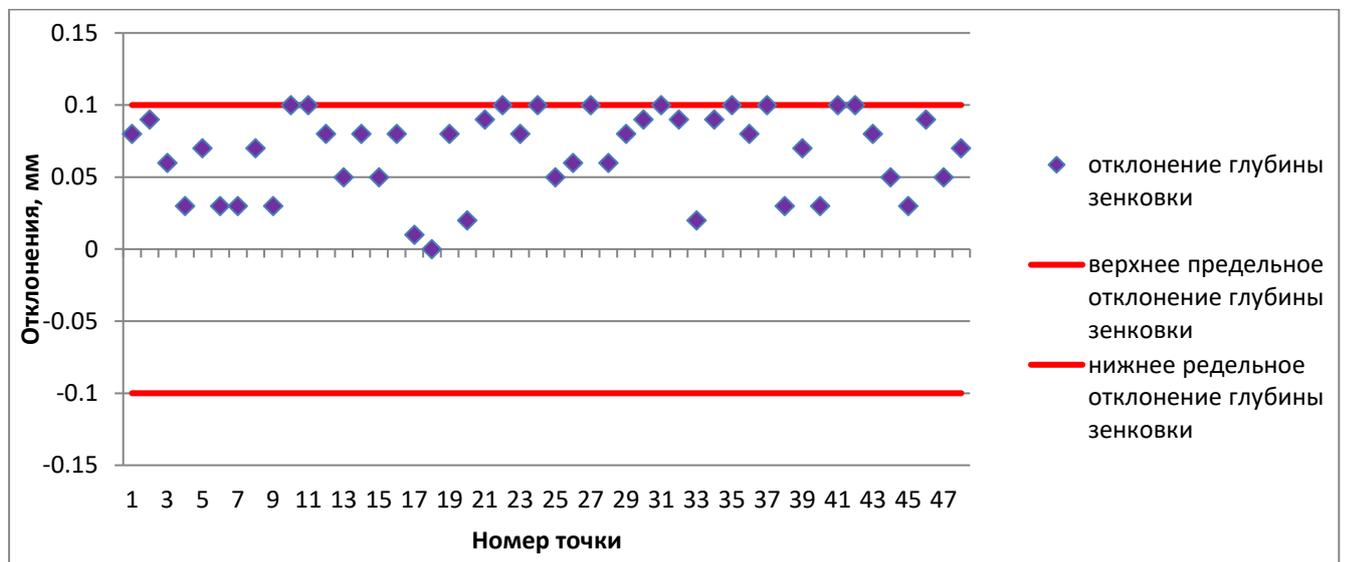


Рисунок 4.5 – Фактические отклонения глубины зенковки

Для того, чтобы определить отклонение фактического положения обработанного отверстия от теоретического необходимо произвести замер минимального расстояния от центра отверстия до обреза детали в элементах каркаса (рисунок 4.6).

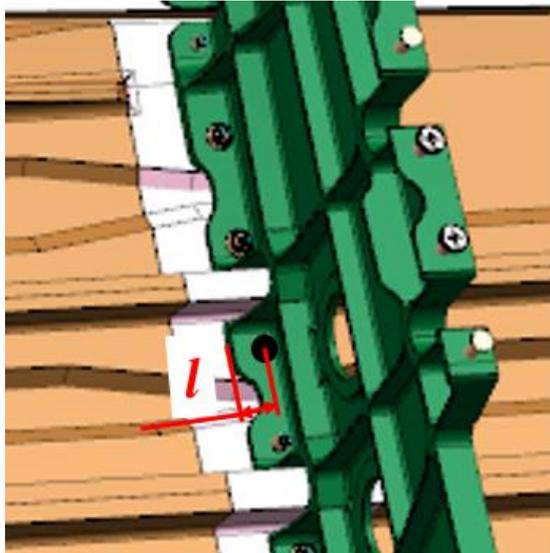


Рисунок 4.6 – Минимальное расстояние от отверстия до обреза в полке нервюры (l).

Наиболее критичными местами являются полки нервюр и лонжеронов. Для анализа было выбрано 30 отверстий. Результаты измерений в приложении Л.

На рисунке 4.7 показаны фактические отклонения положения обработанных отверстий от обрезов деталей каркаса.

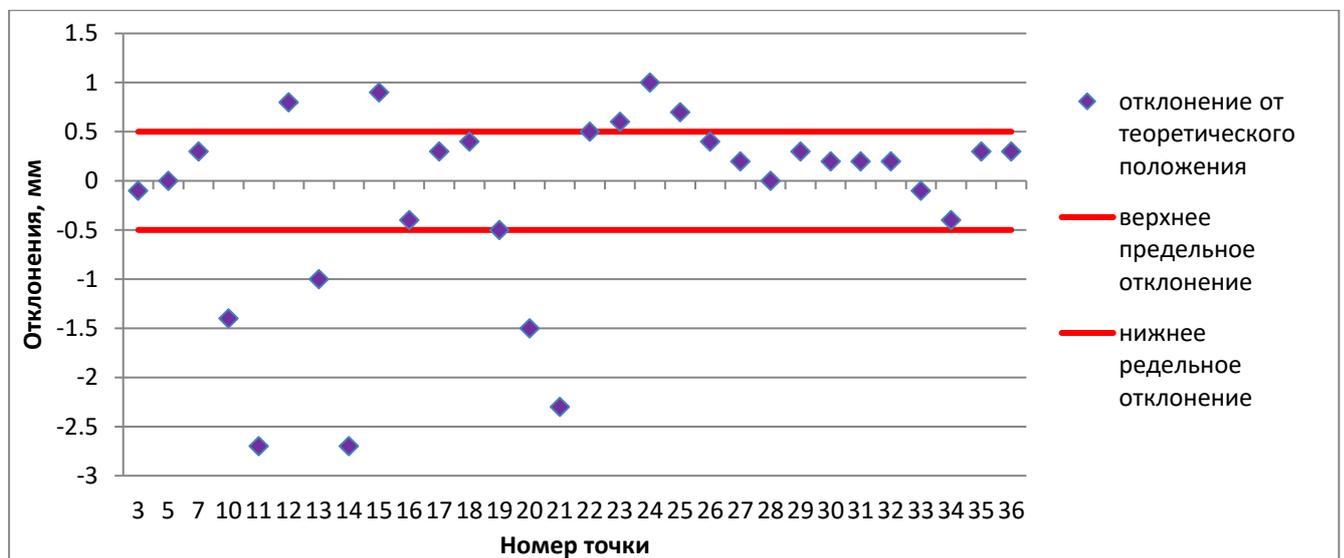


Рисунок 4.7 – Фактические отклонения положения обработанных отверстий от обрезов деталей каркаса

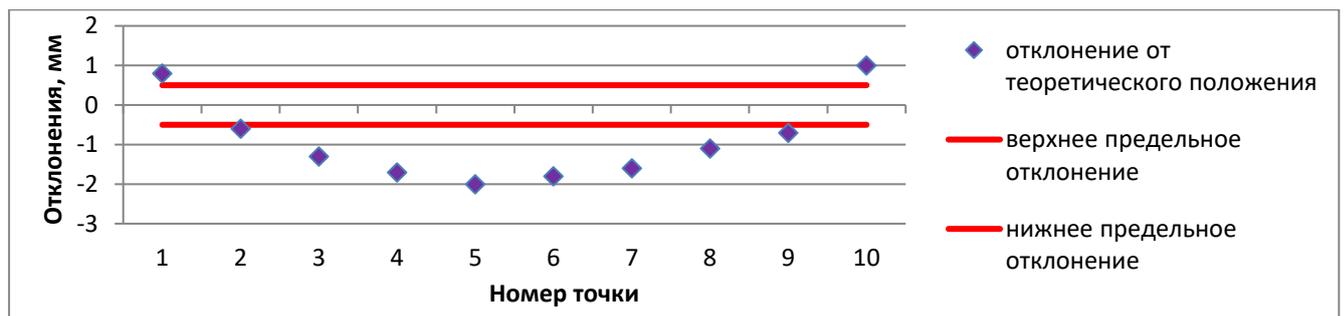
Проанализировав полученные значения отклонений положения обработанного отверстия от теоретического, можно сделать вывод, что точки № 10-15, 20-21,

23-25 не соответствуют заданным требованиям. Эти точки принадлежат нервюрам 1, 2, 3. Данные нервюры являются длинномерными деталями, которые могут иметь свои деформации. Соответственно данные детали дополнительно необходимо делить на подзоны.

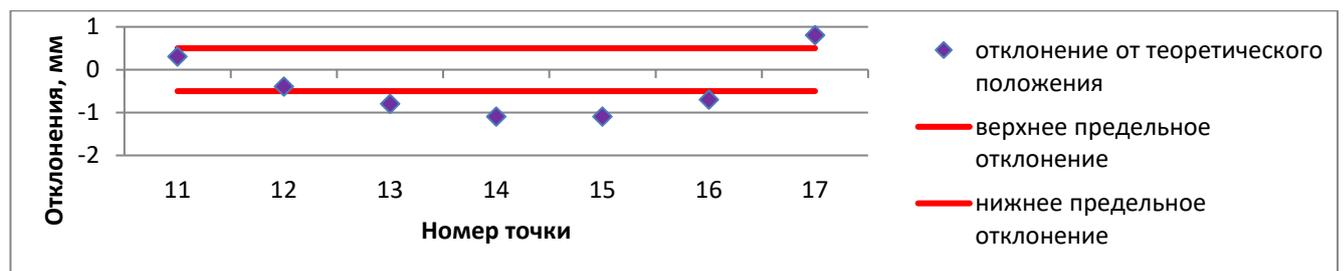
4.3 Исследования по подбору габаритов зоны привязки для длинномерных деталей

В ходе проведения эксперимента были определены значения отклонений положения обработанных отверстий в каждой зоне исследуемых нервюр (приложение М).

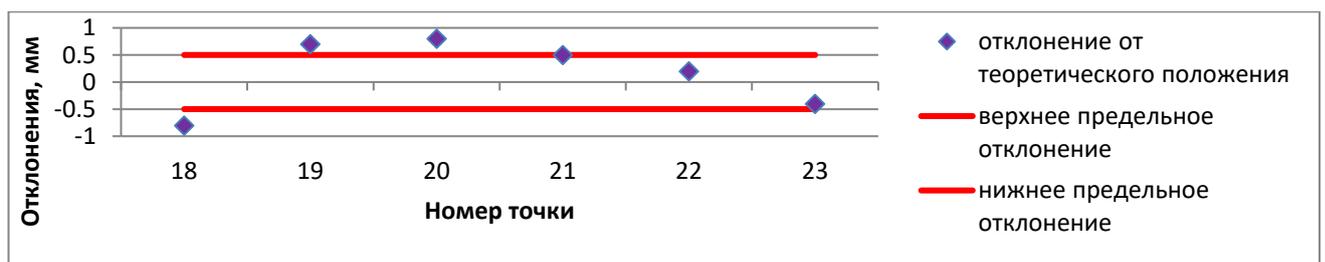
На рисунке 4.8 показаны фактические отклонения положения обработанных отверстий от обреза нервюры.



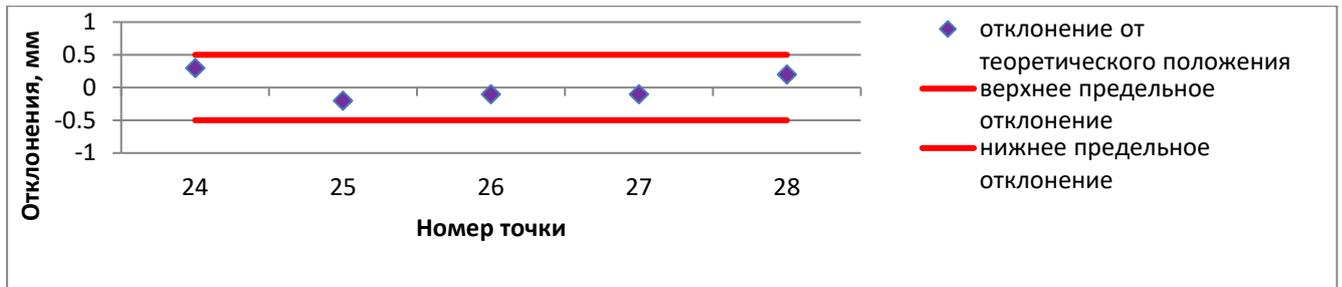
а)



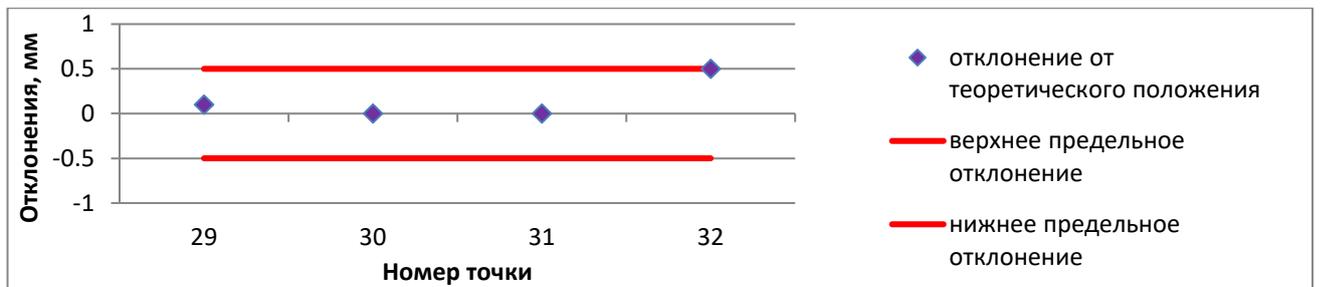
б)



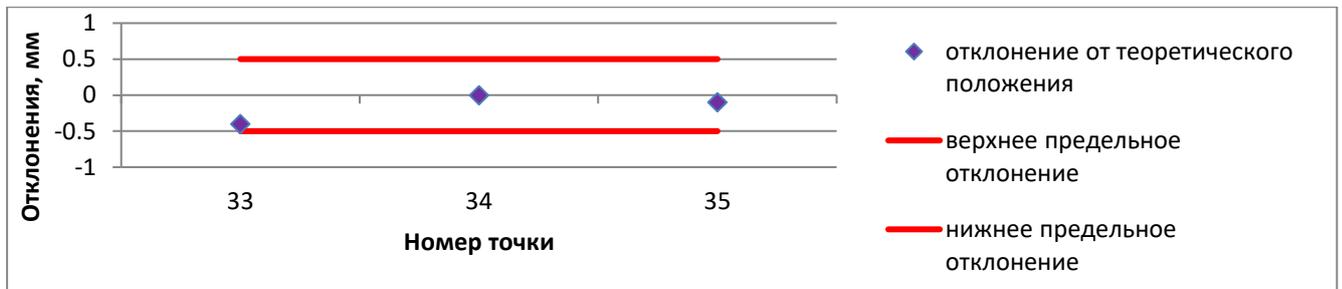
в)



г)



д)



е)

Рисунок 4.8 – Фактические отклонения положения обработанных отверстий от обрезов

- а) – для зоны длиной 1500 мм; б) – для зоны длиной 1200 мм;
 в) – для зоны длиной 1050 мм; г) – для зоны длиной 900 мм;
 д) – для зоны длиной 800 мм; е) – для зоны длиной 700 мм

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод, что для достижения точности положения отверстия 0,5 мм, длина подзоны не должна превышать 1 м.

Полученные результаты следует применять для следующего цикла обработки отверстий, в котором после перестановки технологического крепежа в обработанные отверстия происходит обработка освободившихся и базовых отверстий в окончательный диаметр.

4.4 Исследования повторяемости положения и точности отверстий после разборки пакета и обратном точном позиционировании

Экспериментальное исследование было проведено в соответствии с методикой, описанной в разделе 3.3.

Результаты исследований отображены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Контроль отверстий калибрами пробками

Номер точки	Диаметр, мм	Точность	Контроль калибром		
			Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3
1	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
2	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
3	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
4	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
5	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
6	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
7	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
8	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
9	14	H9	Проходит	Проходит	Проходит
10	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
11	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
12	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
13	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
14	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
15	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
16	12,7	H9	Проходит	Проходит	Проходит
17	12,7	H9	Проходит	Проходит	Проходит
18	12,7	H9	Проходит	Проходит	Проходит
19	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
20	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
21	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
22	9,52	H9	Проходит	Проходит	Проходит
23	9,52	H9	Проходит	Проходит	Проходит
24	9,52	H9	Проходит	Проходит	Проходит
25	11,11	H9	Проходит	Проходит	Проходит
26	11,11	H9	Проходит	Проходит	Проходит
27	11,11	H9	Проходит	Проходит	Проходит
28	6,35	H9	Проходит	Проходит	Проходит
29	6,35	H9	Проходит	Проходит	Проходит
30	6,35	H9	Проходит	Проходит	Проходит
31	6,35	H9	Проходит	Проходит	Проходит
32	6,35	H9	Проходит	Проходит	Проходит
33	6,35	H9	Проходит	Проходит	Проходит
34	14,29	H9	Проходит	Проходит	Проходит
35	14,29	H9	Проходит	Проходит	Проходит

36	14,29	H9	Проходит	Проходит	Проходит
37	15,87	H9	Проходит	Проходит	Проходит
38	15,87	H9	Проходит	Проходит	Проходит
39	15,87	H9	Проходит	Проходит	Проходит
40	14,29	H9	Проходит	Проходит	Проходит
41	14,29	H9	Проходит	Проходит	Проходит
42	14,29	H9	Проходит	Проходит	Проходит
43	12,7	H9	Проходит	Проходит	Проходит
44	12,7	H9	Проходит	Проходит	Проходит
45	12,7	H9	Проходит	Проходит	Проходит
46	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
47	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит
48	7,94	H9	Проходит	Проходит	Проходит

Контроль точности диаметров отверстий с помощью калибров-пробок показал, что все отверстия остались точными по качеству H9.

На основании данной контрольной операции можно сделать вывод, о том, что модульная сборка гарантирует повторяемость положения и точность отверстий после разборки пакета и обратном точном позиционировании.

4.5 Практическая реализация результатов исследования

Полученные результаты позволили разработать директивный технологический процесс сборки крупногабаритных узлов со смешанными пакетами на модульном оборудовании (Приложение Н).

Данный технологический процесс внедрен в агрегатно-сборочное производство АО «АэроКомпозит-Ульяновск» для сборки и выполнения механических соединений в кессоне крыла гражданского самолета (Приложение О).

Разработанная технология обеспечила повышение эффективности процесса сборки и качества изделий за счет технологии обработки отверстий, а также точного позиционирования ДСЕ с условием разборки пакета и возвратным точным положением.

Консоль крыла перспективного гражданского среднемагистрального самолета, собранная в мобильной раме на агрегатно-сборочном производстве АО «АэроКомпозит-Ульяновск» показана на рисунке 4.9.



Рисунок 4.9 – Консоль крыла перспективного гражданского среднемагистрального самолета в мобильной раме

Процесс обработки отверстий с помощью автоматизированной сверлильной машины при сборке на модульном оборудовании показан на рисунке 4.10.

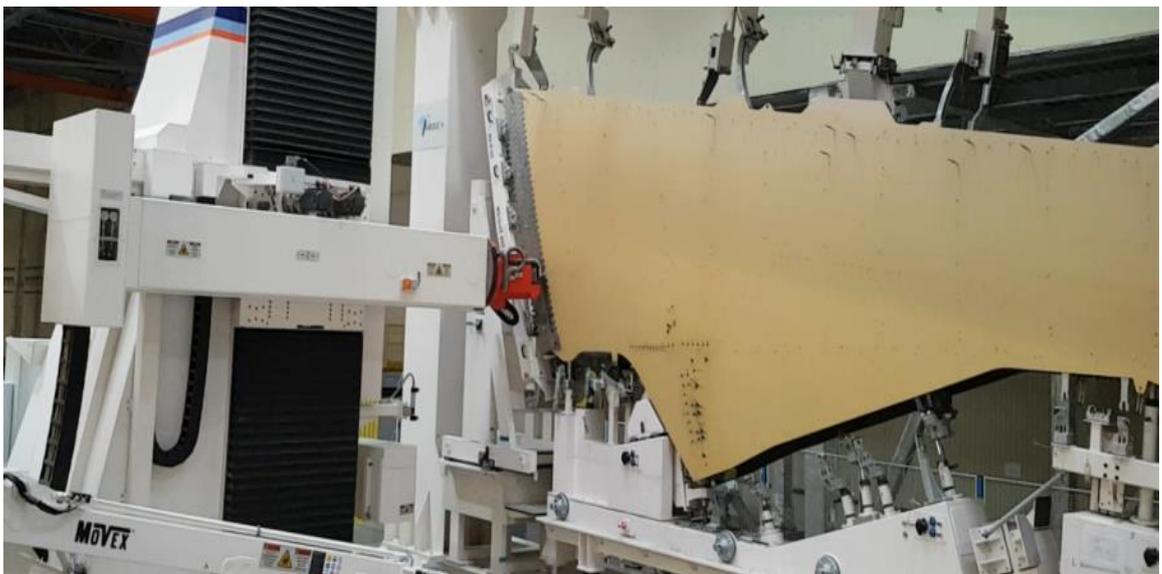


Рисунок 4.10 – Процесс обработки отверстий

Выводы по главе

1. Выбор режимов обработки отверстий на образцах для различных сочетаний материалов ПКМ, Ti и Al показал, что они могут быть рекомендованы для реальных условий обработки.

2. Исследования показали, что для получения заданной точности при обработке отверстий на автоматизированном сверлильном оборудовании комбинированным инструментом в пакетах ПКМ+Al достаточно одного перехода – сверления. При обработке отверстий в пакетах, где сочетаются композиционный материал и титан минимально необходимое количество переходов для получения заданной точности – два: один – сверление, второй – развертывание.

3. Для обеспечения получения качественных отверстий необходимым условием является отсутствие зазоров между слоями в смешанном пакете. Для выполнения данного требования необходимо устанавливать 50% технологического крепежа.

4. Исследования точности геометрического положения отверстий показали, что фактические отклонения базовых точек для привязки по осям X, Y и Z находятся в пределах допусков.

5. На основе экспериментальных исследований установлено, что для обеспечения точности геометрического положения отверстий 0,5 мм длинномерные детали необходимо делить на подзоны длиной не более 1 м.

6. Экспериментальные исследования доказывают, при соблюдении экспериментально подобранных режимов резания для смешанных пакетов, при установке 50% технологического крепежа, при делении длинномерных деталей на подзоны не более 1 м, при привязке с помощью рототрансляции можно добиться точности отверстия по 9-му качеству, шероховатости в металлическом слое Ra 1,6 мкм, а также точности геометрического положения 0,5 мм при обработке отверстий в смешанных пакетах с помощью автоматизированного станка с ЧПУ при сборке на модульном оборудовании.

7. Экспериментальные исследования доказывают, что технология сборки на модульном оборудовании позволяет выполнять отверстия в окончательный диаметр с точностью по 9-му качеству с последующей разборкой и обратным точным позиционированием пакета, то есть перед процессом герметизации.

Заключение

При решении задач, обозначенных в диссертационной работе и направленных на достижение поставленной цели, были получены следующие научные и практические результаты:

1. Произведен расчет предельных отклонений геометрического положения базовых точек, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины к конструкции собираемого узла.

2. Произведен расчет предельных отклонений геометрического положения обработанных отверстий при разборке пакета собираемого узла и обратном точном позиционировании деталей в сборочное положение.

3. Определены режимы резания, позволяющие выполнять отверстия в смешанных пакетах за минимальное количество переходов.

4. Определено количество технологического крепежа, которое бы обеспечило плотность сжатия пакета в крупногабаритном узле при обработке отверстий на автоматизированных сверлильных машинах с ЧПУ.

5. На основе экспериментальных исследований установлено, что для обеспечения точности геометрического положения отверстий 0,5 мм длинномерные детали необходимо делить на подзоны длиной не более 1 м.

6. Выявлено, что технология обработки отверстий на автоматизированных сверлильных машинах с ЧПУ позволяет с помощью комбинированного инструмента сверлить отверстия окончательного диаметра за один-два перехода в крупногабаритных узлах со смешанными пакетами по заранее запрограммированному маршруту обработки отверстий, обеспечивая точность диаметра отверстия, а также точность его геометрического положения.

7. Экспериментальные исследования доказывают, что при обработке отверстий в смешанных пакетах на автоматизированном станке с ЧПУ и сборке на модульном оборудовании при соблюдении рекомендованных режимов резания, при установке 50% технологического крепежа, при делении длинномерных деталей на подзоны не более 1 м, при привязке с помощью рототрансляции можно добиться

точности отверстия Н9, шероховатости в металлическом слое Ra 1,6 мкм, а также точности геометрического положения 0,5 мм.

8. Экспериментальные исследования доказывают, что технология сборки на модульном оборудовании позволяет выполнять отверстия в окончательный диаметр с точностью по 9-му качеству с последующей разборкой и обратным точным позиционированием пакета, то есть перед процессом герметизации.

9. Разработанный и внедренный в агрегатно-сборочное производство АО «АэроКомпозит-Ульяновск» технологический процесс выполнения механических соединений в пакетах из композиционных и металлических сплавов при сборке на модульном оборудовании обеспечивает повышение эффективности процесса сборки и качества изделий за счет технологии обработки отверстий, а также точного позиционирования ДСЕ с условием разборки пакета и возвратным точным положением.

10. В качестве рекомендаций по дальнейшей разработке темы можно выделить следующие направления:

- использование одних и тех же базовых отверстий для нескольких зон обработки отверстий;
- объединения деталей в одну зону с целью минимизации циклов обработки отверстий.

Библиографический список

1. Авиационные материалы. Т.5. Магниевые и титановые сплавы / Под общ. ред. А.Т. Туманова. М.: ОНТИ, 1973. 410 с.
2. Балла О.М. Обработка точных отверстий в пакетах из разнородных материалов / О.М. Балла // Авиационная промышленность. 2013. № 4. С. 27–30.
3. Батаев А.А. Композиционные материалы: учебник для студ. высш. техн. учеб. заведений / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
4. Братухин А.Г. Приоритеты авиационных технологий: в 2т. / А.Г. Братухин. – М.: Изд-во МАИ, 2004. – Т.1-2.
5. Волков Г.М. Материаловедение: Учебник / Г.М. Волков, В.М. Зувев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 400 с.
6. Воробьев Ю.А. Анализ исследований по сверлению смешанных пакетов их композиционных материалов и титановых сплавов / Ю.А. Воробьев, А.И. Николаенко, А.Ю. Воробьев // Авиационно–космическая техника и технологии. 2008. № 2. С. 32–38.
7. ГОСТ Р 50.1.040.–2002 Статистические методы. Планирование эксперимента. Термины и определения. М.: Изд–во стандартов, 2002. 78 с.
8. Горбунов М.Н. Основы технологии производства самолетов. М.: Машиностроение, 1976, 260 с.
9. Громашев А.Г. Исследование качества герметизации конструкций с деталями из полимерных композиционных материалов при сборке и установке крепежа по не отвержденному внутришовному герметику / А.Г. Громашев, А.Р. Султанова, А.А. Сафронов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – № 23(5). – С. 884–894.
10. Громашев А.Г. Комплексная автоматизация создания интегральных конструкций из полимерных композиционных материалов / А.Г. Громашев, Ю.М. Тарасов // Технологические системы. – 2007. – № 2(38). – С. 5–11.

11. Громашев А.Г. Модульный принцип сборки авиационных конструкций и оборудование для его реализации. / Громашев А.Г., Султанова А.Р., Масохин Е.В. // М., Машиностроение, жур. "Авиационная промышленность", №3-4, 2021. с. 58-65.
12. Громашев А.Г. Технологическое проектирование высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений. Актуальные проблемы самолетостроения. Киев: Издательская компания "КИТ", 2007. – 344 с.: ил.
13. Гуняев Г.М. Конструкционные полимерные угленанокомпозиты – новое направление материаловедения / Г.М. Гуняев, Л.В. Чурсова, О.А. Комарова и др. // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. № 12. С.2-9.
14. Гуревич Я.Л. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник / Я.Л. Гуревич. М.: Машиностроение, 1986. 240 с.
15. Гусева Р.И. Теоретические основы сборки самолета: учеб. Пособие/ Р.И. Гусева, А.В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2005. – 96 с.
16. Дрожжин В.И. Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс: автореф... дис. докт. техн. Наук: 05.03.01 / Дрожжин Владимир Иванович. Киев. 1983. 39 с.
17. Душин М.И. Особенности изготовления изделий из ПКМ методом пропитки под давлением/ Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р. и др. // Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 18–26.
18. Зеленский Э.С. Армированные пластики- современные конструкционные материалы / Э.С. Зеленский, А. М. Куперман, Ю.А. Горбаткина – Ж. Рос. Хим. Об-ва им. Менделеева, 2001, Т.XLV №2.
19. Иванов М.С. Полупроницаемые мембраны для процесса вакуумной инфузии ПКМ (обзор)/ Иванов М.С., Нестерова Т.А., Платонов М.М. // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2017. №2 (50). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 21.10.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-2-7-7.
20. Иванов Ю.Н. Обработка отверстий в пакетах из углепластика и титанового сплава // Высокоэффективные технологии производства летательных

аппаратов: сборник докладов / Под общ. ред. А.Ю. Дьяка. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2012. – С. 60-65.

21. Иванов Ю.Н. Проблемы сверления отверстий в пакетах из углепластика и титана, материалы конференции // Мат. междунар. молод. науч. конф. «XX Туполевские чтения», Казань 22-24 мая 2012 г. С. 329-332.

22. Иванов Ю.Н. Сверление отверстий в смешанных пакетах / Ю.Н. Иванов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1 (5). С. 1402–1406.

23. Иванов Ю.Н. Сверление отверстий в смешанных пакетах // Статьи и тезисы докладов IV Международной научно-практической конференции «Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития», Ульяновск 16-17 октября 2014 г. С. 132-133.

24. Иванов Ю.Н. Экспериментальное исследование влияния теплового расширения обрабатываемых материалов при сухом сверлении отверстий в пакетах структуры «полимерный композиционный материал – титановый сплав» / Ю.Н. Иванов, Е.Я. Каверзин, А.П. Чапышев // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10 (81).

25. Каблов Е.Н. Коррозионная активность углепластиков и защита металлических силовых конструкций в контакте с углепластиком / Е.Н. Каблов, С.А. Каримова, Л.В. Семенова // Журнал Коррозия: материалы, защита. 2011. №12. С. 1–7.

26. Кива Д.С. Этапы становления и начала развернутого применения полимерных композиционных материалов в конструкциях пассажирских и транспортных самолетов (1970 – 1995 гг.) // ISSN 1727-7337. Авиационно-космическая техника и технология, 2014, №6 (113).

27. Козачухненко И.Н. Факторы влияющие на обработку титановых сплавов с опережающим пластическим деформированием / И.Н. Козачухненко, Д.В. Крайнев, Н.Г. Сахнов Институт морехозяйства и предпринимательства (Одесса), 2017, №6, С. 18-22.

28. Колганов И.М. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Часть 1: Учебное пособие. / И. М. Колганов, П. В. Дубровский, А. Н. Архипов – Ульяновск: УлГТУ 2003. – 148с.

29. Колганов И.М. Технология сборки самолетов: Методические указания по проведению практических занятий. Часть 3 / Сост. И.М.Колганов, П.Б.Томов. - Ульяновск: УлГТУ, 1999. - 55 с.

30. Коган Д.И. Технология изготовления полимерных композиционных материалов способом пропитки пленочными связующими: дис. канд. техн. наук / М.: ВИАМ, 2011. 139 с.

31. Комаров В.А. Исследование и модификация оснастки и формообразующей поверхности с целью повышения точности изготовления деталей методом вакуумной инфузии / Комаров В.А., Куркин Е.И., Кузнецов А.С. // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. №6 (3).

32. Константинов А.С. Эффективность применения полимерных композиционных материалов при проектировании и изготовлении специальной погрузочной оснастки для грузовых рамповых самолетов. / А.С. Константинов // Механика и машиностроение. 2012. С. 633–638.

33. Кривов Г.А. Обеспечение соответствия новых технологий агрегатно-сборочного производства гражданских самолетов требованиям авиационных правил. / Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Громашев А.Г., Тарасов Ю.М. // Москва, Наука и технологии в промышленности, 2/2012, с.60-67.

34. Криворучко Д. В. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов / Д.В. Криворучко, В.А. Залога, В.А. Колесник Сумы: Университетская книга, 2013. –272 с.

35. Кузнецова Е. Иркут обещает строить до 70 МС–21 в год [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3007428> (дата обращения: 05.08.2017).

36. Ломаев В.И. Перспективы механической обработки отверстий при производстве изделий из волокнистых композиционных материалов гражданской

авиатехники / В.И. Ломаев, А.С. Дударев // Технология машиностроения. 2006. № 7. С. 18–22.

37. Лившиц В.Б. Образование нароста при резании алюминиевых сплавов / В.Б. Лившиц Известия Томского ордена трудового красного знамени политехнического института им. С.М. Кирова 1961. –С. 35-40.

38. Марков А.М. Технологические особенности механической обработки деталей из композиционных материалов / А.М. Марков // Научные технологии в машиностроении БГТУ, 2014, №7, С. 3-8

39. Мартовский С.В. Кто поднимет композиты в небо / С.В. Мартовский, М.Ю. Ощепков // Композит 21 век. 2011. №2. С. 22 – 31.

40. Метод вакуумной инфузии и области ее применения. Установки вакуумной инфузии // Оборудование для создания и поддержания вакуума. Лабораторные и промышленные вакуумные системы и термическое оборудование [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uksim-oz.ru> (дата обращения: 20.02.2021).

41. Молчанов Б.И. Свойства углепластиков и области их применения / Б.И. Молчанов, М.М. Гудимов // Авиационная промышленность. 1997. № 4.

42. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. М.: Экономика, 1990. 474 с.

43. Официальный сайт АО "Аэрокомпозит" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aerocomposit.ru> (дата обращения: 20.02.2021).

44. Официальный сайт ПАО Корпорация "Иркут". Программа МС–21. [Электронный ресурс]. URL: <http://mc21.irkut.com/program/> (дата обращения: 20.02.2021).

45. Патент № 2 067 543 С1. РФ. Устройство для сборки летательных аппаратов / Акопян Г. Х., Сысоев В. М. опубл. 10.10.1996, по МПК В64F5/000.

46. Патент № 2 137 679С1. РФ. Способ сборки крыла летательного аппарата/ Халилов А. С., Казнов М. И., Кучеров В. П., опубл. 20.09.1999 по МПК В64F5/00.

47. Патент № 2 657 816 С1. РФ. Способ сборки крыла летательного аппарата/ Калимуллин Р.Г., Калимуллин Б.Р. Бюл. № 17. 2018.

48. Патент № 2 722 530. РФ. Способ ортогональной пропитки слоистых волокнистых заготовок при изготовлении изделий из полимерных композиционных материалов вакуумно-инфузионным процессом и устройство для его осуществления/ Громашев А.Г., Гайданский А.И., Третьяков А.В., Ульянов А.В., 2020г.

49. Патент № 2749432. РФ. Способ модульной сборки стыковой нервюры самолета для соединения консолей крыла с центропланом и устройство для осуществления способа / Громашев А.Г., Гайданский А.И., Третьяков А.В., Ульянов А.В., Резниченко Д.В., Масохин Е.В., Султанова А.Р. Бюл. № 16. 2021г.

50. Патент № 2774870. РФ. Способ модульной сборки кессона консоли крыла самолета с деталями из углеродных полимерных материалов и металлов и сборочная линия с устройствами для осуществления способа / Громашев А.Г., Гайданский А.И., Третьяков А.В., Ульянов А.В., Резниченко Д.В., Масохин Е.В., Данилова О.Л., Султанова А.Р. 2022г.

51. Пекарш А.И. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов. / Пекарш А.И., Тарасов Ю.М., Громашев А.Г., Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Грубич Г.В., Быченко В.Н., Марьин Б.Н., Воробьев Ю.А., Кузьмин В.Ф., Резников В.А.// М.: Аграф-пресс, 2006г.

52. Петров В.М. Применение СОТС для механической обработки композиционных углепластиков. / В.М. Петров, О.А. Иванов, С.Н. Безпальчук, Е.Н. Белецкий, О.В. Говорова, Н.Ю. Сойту – Ж. Инструмент и технологии №3, 2008 – с.141-144.

53. Пикалов А.А. Особенности разделки отверстий в смешанных пакетах КМ–Ti–Al / А.А. Пикалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 4 (2). С. 669–676.

54. Пикалов А.А. Особенности разделки отверстий в смешанных пакетах КМ–Ti–Al / А.А. Пикалов // Механика и машиностроение. 2012. С.669–679.

55. Пикалов А.А. Применение роботизированных систем при сборке авиационных конструкций, содержащих смешанные пакеты КМУ–Ti–Al / А.А. Пикалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1(5). С. 1550–1556.

56. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В.Н. Подураев. М.: Высшая школа, 1974. 587 с.
57. Пуденков Н.М. Применение углепластиков в авиастроении / Н.М. Пуденков // Современные наукоемкие технологии. 2013. №8 (2). С. 223–224.
58. Раскутин А.Е. Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций/ Раскутин А.Е, Хрульков А.В., Гирш Р.И. // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №9. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.02.2022).
59. Режущий инструмент, разработанный сотрудниками ИРННТУ и ИАЗ, будет применяться для производства самолета МС-21 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.istu.edu/news/23093>(дата обращения: 17.06.2019).
60. Рогов В.А. Конструкционные и функциональные материалы современного машиностроения / В.А. Рогов — М.: Масштаб, 2006. – 90 с.
61. Рогов В.А. / Новые материалы в машиностроении: Учеб. пособие. // В.А. Рогов, В.В. Соловьев, В.В Копылов // М.: РУДН, 2008. – 324 с.
62. Савин С.П. Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера самолетов семейства МС–21 / С.П. Савин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. №4(2). С. 686–693.
63. Синицкий А.В. Для гражданского авиастроения в России необходимо масштабное производство конструкций из композиционных материалов. // АТО. 2013. № 140.
64. Современные технологии авиастроения / колл. Авт.; под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 532 с.
65. Способы и средства измерения отверстий [Электронный ресурс]. URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/6/51.htm> (дата обращения: 17.06.2019).
66. Справочник технолога–машиностроителя. В 2–х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4–е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.

67. Султанова А.Р. Подготовка отверстий в смешанных пакетах для выполнения соединений деталей крыла самолета МС-21/ Султанова А.Р., Громашев А.Г. // М., Машиностроение, жур. "Авиационная промышленность", №3-4, 2021. с. 58-65.

68. Тарасюк А.П. Выбор рациональных условий резания полимерных композитов, обеспечивающих максимальные показатели качества поверхности / А.П. Тарасюк, А.А. Назаркин // Машинобудування: Збірник наукових праць 2012. – №10 – С. 115–127.

69. Тарасюк А. П. Расширение функциональных возможностей волокнистых полимерных композитов за счет разработки эффективных процессов механической обработки / А. П. Тарасюк : дис. доктора техн. наук. – Харьков, 2011. – 567 с

70. Толстиков В.Г. Исследование структуры полимерного композиционного материала для создания конечно-элементной модели / В.Г. Толстиков, С.Л. Алесковский // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы девятой Международной науч.-практ. конф. 2018. – №2 – С. 665-670.

71. Холодников Ю.В. Способы изготовления изделий из композитов. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 6-2. – С. 214-221.

72. Чащин Н.С. Исследование технологии обработки отверстий малых диаметров в полимерном композиционном материале на робототехническом комплексе / Н.С. Чащин, Ю.Н. Иванов, А.В. Сидорова, Е.Н. Семенов, А.А. Стуров // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 6 (125). С. 39-48.

73. Чащин Н.С. Обработка отверстий в смешанных пакетах методом орбитального сверления / Н.С. Чащин, Ю.Н. Иванов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 11 (106). с. 44–49.

74. Чигринец Е.Г. Качество отверстий в слоистом композите стеклопластик–титан, полученных осевым инструментом / Е.Г. Чигринец // XI Ежегодная науч. конф. студентов и аспирантов базовых кафедр ЮНЦ Российской академии наук:

тезисы докладов (г. Ростов н/Д, 15–23 апр. 2015 г.). Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ Российской академии наук. 2015. С. 94–95.

75. Чигринец Е.Г. Совершенствование процесса сверления многослойных полимерных композитов типа «стеклопластик–титан» :дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / Чигринец Евгений Геннадьевич. Ростов–на–Дону. 2016. 199 с.

76. Ярославцев В. М. Оценка эффективности прерывистого резания на основе использования закономерностей изменения теплонапряженности процесса / В. М. Ярославцев, Н. Г. Назаров // Электронный журнал "Наука и образование". 2013. С. 35–42.

77. Ящерицын П.И. Планирование эксперимента в машиностроении / П.И. Ящерицын, Е.И. Махаринский. Минск: Выш. шк., 1985. 286 с.

78. Boeing 787 from the ground up. Composites in the airframe and primary structure [Электронный ресурс]. URL: http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/article_04_2.html (дата обращения: 17.06.2019).

79. Brinksmeier E. Drilling of Multi-layer compositematerials consisting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP),titanium and aluminum alloys / E. Brinksmeier, R. Janssen // CIRP Ann Manuf Technol – 2002. – Vol. 51(1) – p. 87–90.

80. Carvajal R. Research study of factors affecting difference between hole diameters in hybrid metalcomposite drilling / R. Carvajal, PL. Gonzalez–R, S. Lozano // Journal Of Engineering Manufacture, July 2011 vol. 225. № 7. P. 991–1000.

81. Chakraborty D. Artificial neural network based delamination prediction in laminated composites / D. Chakraborty // Materials and Design. 2005. № 26. P. 1–7.

82. Chase, K. W. A Comprehensive System for Computer-Aided Tolerance of 2D and 3D Mechanical Assemblies, Proceeding of the 5th CIRP Seminar on Computer-Aided Tolerancing/ Chase, K. W., S. P. Magleby, and C. G. Glancy // Toronto, Ontario, April 28 – 29, 1997.

83. Chase, K. W. Design Issues in Mechanical Tolerance Analysis/ K. W. Chase, W.H Greenwood // Manufacturing Review, ASME, vol.1, no. 1, March 1988, pp. 50-59.

84. Chase, K. W. Tolerance analysis of 2D and 3D Mechanical Assemblies with Small Kinematic Adjustments, Chap. 5 in *Advanced Tolerancing Techniques*/ Chase, K. W., J. Gao and S. P. Magleby // John Wiley, 1998, pp. 103-137.

85. Chase, K. W., and A. R. Parkinson, *A Survey of Research in the Application of Tolerance Analysis to the Design of Mechanical Assemblies* / K. W. Chase, A. R. Parkinson // *Research in Engineering Design*, vol. 3, 1991, pp.23-37.

86. Chashchin N.S. Precise holes machining in multi-component stacks from metals and CFRP / N.S. Chashchin, Y.N. Ivanov, A.E. Pashkov, A.A. Sturov // *Advances in 142 Engineering Research*, volume 158. International Conference on Aviaemechanical Engineering and Transport – 2018. – p. 67-72.

87. Chattopadhyay A.K. Roy P., Ghosh A., Sarangi S.K., Wettability and machinability study of pure aluminium towards uncoated and coated carbide cutting tool inserts / A.K. Chattopadhyay, P. Roy, A. Ghosh, S.K. Sarangi // *Surface & Coatings Technology* – Vol. 203 – 2009 – p.941 951.

88. Cotterell M. Characterisation of Chip Formation during Orthogonal Cutting of Titanium Alloy Ti–6Al–4V / M. Cotterell, G. Byrne // *Proceeding of the 3rd International Conference High Performance Cutting Conference*, Dublin. 2008. № 2. P. 733–742.

89. Creveling, C.M., *Tolerance Design*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1997.

90. Dae–Wook D. K. Effect of tool wear on hole quality in drilling of carbon fiber reinforced plastic–titanium stacks using tungsten carbide and PCD tools / D. K. Dae–Wook, A. Beal, P. Kwon // *In ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC 2015 (Vol. 1)*. AmericanSocietyofMechanicalEngineers. 2015.

91. Desouttertwebsite [Электронный ресурс]. URL: <http://www.desoutterttools.com/> (дата обращения: 20.02.2021).

92. DeVlieg R. One–Up Assembly with Robots / R. DeVlieg, E. Feikert // *SAE Technical*, paper 2008–01–2297. 2008.

93. Drake, Paul J. Jr., *Dimensioning and Tolerancing Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1999.

94. Fortini, E. T., Dimensioning for Interchangeable Manufacture, Industrial Press, New York, 1967.
95. Garrick, R. Drilling Advanced Aircraft Structures with PCD (Poly–Crystalline Diamond) Drills / R. Garrick // SAE Technical, paper 2007–01–3893. 2007.
96. Ghobadi A. Common Type of Damages in Composites and Their Inspections / A. Ghobadi // World Journal of Mechanics. 2017. № 2. P.24-33.
97. Ginger Gardiner. Machining update: One–shot dry drilling of stacked materials // High–performance Composites. 2014.
98. HamPrazisionwebsite [Электронный ресурс]. URL: http://www.hamprecision.com/HAM_Drilling_Nirodrills.asp (дата обращения: 20.02.2021).
99. Iliescu D Modeling and tool wear in drilling of CFRP / D. Iliescu, D. Gehin, M.E. Gutierrez, F. Girot // Int J Mach Tool Manuf – 2010 – Vol. 50(2) – p. 204–213.
100. Innovative materials. Airbus S.A.S. [Электронныйресурс]. URL: <http://www.aircraft.airbus.com/innovation/proven-concepts/in-design/innovative-materials/> (дата обращения: 16.09.2017).
101. Irivetwebsite [Электронный ресурс]. URL: <https://irivet.ru/blog/2016/12/05/cleco-10-facts> (дата обращения: 22.08.2022).
102. Komanduri R. Some clarifications on the mechanics of chip formation when machining titanium alloys / R. Komanduri // Wear. 1982. № 76. P. 15–34.
103. Krulikowski A. The Ultimate GD&T Pocket Guide, Effective Training Inc, Livonia, 2009.
104. Kuo C.–L. Performance of multi–margin coated tools in one–shot drilling of metallic–composite stack materials under varying feed rate and pecking conditions / C.–L. Kuo, S. Soo, D. Aspinwall, W. Thomas, C. Carr, D. Pearson, R. M'Saoubi, W. Leahy // In Proceedings of the 38th International Matador Conference., 7–4, 38thMatador Conference, Huwei, Taiwan, Province of China, 28–30 March. 2015. P. 231–238.
105. LantriP. J. New Tools Needed/ J. Lantrip // Cutting Tool Engineering, Vol. 60. – № 8. 2008. 8 p.

106. Mitisengineering [Электронный ресурс]. URL: https://www.mitis.fr/2017_MITIS_General_Presentation.pdf (дата обращения: 20.02.2021).

107. Mtorreswebsite [Электронный ресурс]. URL: <https://mtorres.es/en/equipment/manufacturing-systems/drilling/torresdrill> (дата обращения: 22.08.2022).

108. Mueller–Hummel P. One shot – dry – drilling of Composites/Titanium/Aluminium hybrid stacked Materials in IT8 quality / P. Mueller–Hummel, Atarsia A. // CompositesManufacturing. 2013.

109. Park K.H. Tool wear in drilling of composite/titanium stacks using carbide and polycrystalline diamond tools / K. H. Park, A. Beal, D. Kim, P. Kwon, J. Lantrip // J.Wear – 2011. – Vol. 271(11–12) – p. 2826–2835.

110. Patent № US7575401 B1. USA. PCD drill for composite materials / Richard M. Garrick, John A. Bunting. 2004.

111. Prominspect [Электронный ресурс]. URL: <https://prominspect.ru/laser-tracker-system-description>. (дата обращения: 17.02.2022).

112. SandvikCoromantwebsite [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sandvik.coromant.com> (дата обращения: 20.02.2021).

113. Secowebite [Электронный ресурс]. URL: <http://www.secotools.com/> (дата обращения: 20.02.2021).

114. Seti–Tecwebsite [Электронный ресурс]. URL: <http://www.seti-tec.com/> (дата обращения: 20.02.2021).

115. Shyha I. Drilling of Titanium/CFRP/Aluminium Stacks / I. Shyha, S. Leung Soo, D. K. Aspinwall, S. Bradley, S. Dawson, C. J. Pretorius // Key Engineering Materials. 2010. Vols. 447–448. P. 624–633.

116. Spotts, M., F., Dimensioning and Tolerancing for Quantity Production, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jarsey, 1983.– 246 p.

117. Tsao C.C. Investigation into the effects of drilling parameters on delamination by various step–core drills / C.C. Tsao // Journal of materials processing technology. 2008. № 206. P. 405–411.

118. Vacuum injection process for manufacturing fiber reinforced composite products involves evacuating second chamber causing resin to flow into preform in adjacent evacuated first chamber: pat. 10013409 DE; filed 17.03.00; publ. 23.11.00.

119. Xu J. Recent advances in drilling hybrid FRP/Ti composite: A state-of-the-art review / J. Xu, A. Mkaddem, M. El Mansori // Composite Structures. 2016. № 135. P. 316–338.

Список сокращений и условных обозначений

БН	Бортовая нервюра
БО	Базовое отверстие
ДСЕ	Детали и сборочные единицы
КМ	Композиционный материал
НЧК	Носовая часть крыла
ОЧК	Отъемная часть крыла
ПКМ	Полимерный композиционный материал
РТК	Роботизированном технологическом комплексе
СК	Система координат
СМАП	Сверлильная машина с автоматической подачей
СОЖ	Смазочно-охлаждающая жидкость
СОТС	Смазочно-охлаждающее технологическое средство
СП	Смешанный пакет
СЧ	Составная часть
УП	Управляющая программа
ХЧК	Хвостовая часть крыла
ЧПУ	Числовое программное управление

Приложение А

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2749432

**СПОСОБ МОДУЛЬНОЙ СБОРКИ СТЫКОВОЙ
НЕРВИЮРЫ САМОЛЕТА ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ
КОНСОЛЕЙ КРЫЛА С ЦЕНТРОПЛАНом И
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СПОСОБА**

Патентообладатель: *Акционерное общество "АэроКомпозит" (RU)*

Авторы: *Громашев Андрей Геннадьевич (RU), Гайданский
Анатолий Иосифович (RU), Ульянов Алексей Владимирович
(RU), Третьяков Андрей Владимирович (RU), Резниченко
Дмитрий Вячеславович (RU), Масохин Евгений
Владимирович (RU), Султанова Альбина Руслановна (RU)*

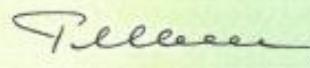
Заявка № **2020100086**

Приоритет изобретения **10 января 2020 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **10 июня 2021 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **10 января 2040 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 *Г.П. Ивашин*



Приложение Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2774870

**СПОСОБ МОДУЛЬНОЙ СБОРКИ КЕССОНА
КОНСОЛИ КРЫЛА САМОЛЕТА С ДЕТАЛЯМИ ИЗ
УГЛЕРОДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТАЛЛОВ
И СБОРОЧНАЯ ЛИНИЯ С УСТРОЙСТВАМИ ДЛЯ
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СПОСОБА**

Патентообладатель: *Акционерное общество "АэроКомпозит" (RU)*

Авторы: *Громашев Андрей Геннадьевич (RU), Гайданский Анатолий Иосифович (RU), Ульянов Алексей Владимирович (RU), Третьяков Андрей Владимирович (RU), Резниченко Дмитрий Вячеславович (RU), Масохин Евгений Владимирович (RU), Данилова Ольга Леонидовна (RU), Султанова Альбина Руслановна (RU)*

Заявка № **2021127387**

Приоритет изобретения **17 сентября 2021 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **23 июня 2022 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **17 сентября 2041 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов



Приложение В
Карта обработки отверстий

Номер точки	Диаметр, мм	Точность	Координаты положения центра отверстия, мм			Координаты направления отверстия, мм			Пакет
			X	Y	Z	X	Y	Z	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	14	H9	2337,03	-1390,28	-1963,71	0,2844	0,9061	0,3131	Ti+ПКМ+Ti+Al
2	14	H9	2701,15	-1477,10	-2009,32	0,2235	0,9282	0,2974	Ti+ПКМ+Ti
3	14	H9	2725,67	-1496,00	-2067,61	0,2106	0,9323	0,2941	Ti+ПКМ+Ti
4	14	H9	3487,99	-1613,89	-1945,57	0,0973	0,9593	0,2650	Ti+ПКМ+Ti
5	14	H9	3463,91	-1614,55	-2054,23	0,0868	0,9610	0,2625	Ti+ПКМ+Ti
6	14	H9	3511,03	-1603,75	-1995,61	0,0760	0,9626	0,2600	Ti+ПКМ+Ti
7	14	H9	4345,61	-1640,84	-2037,71	-0,0409	0,9704	0,2381	Ti+ПКМ+Ti
8	14	H9	4702,73	-1612,62	-1923,74	-0,0784	0,9693	0,2330	Ti+ПКМ+Ti+Al
9	14	H9	4772,62	-1605,09	-1922,01	-0,0850	0,9689	0,2323	Ti+ПКМ+Ti+Al
10	7,94	H9	2957,62	-1344,75	-2702,14	0,2071	0,9346	0,2891	ПКМ+Al
11	7,94	H9	3220,66	-1402,88	-2678,37	0,1582	0,9479	0,2765	ПКМ+Al
12	7,94	H9	3797,16	-1483,88	-2620,76	0,0598	0,9659	0,2519	ПКМ+Al
13	7,94	H9	3402,90	-1234,94	-3367,89	0,1655	0,9484	0,2705	ПКМ+Al
14	7,94	H9	4027,61	-1322,00	-3305,66	0,0536	0,9686	0,2430	ПКМ+Al
15	7,94	H9	4696,71	-1341,54	-3229,84	-0,0373	0,9748	0,2201	ПКМ+Al
16	12,7	H9	5198,63	-1306,25	-3491,97	-0,0876	0,9743	0,2075	ПКМ+Ti+Al
17	12,7	H9	5204,49	-1304,43	-3462,70	-0,0949	0,9740	0,2058	ПКМ+Ti+Al
18	12,7	H9	5208,86	-1310,63	-3472,89	-0,1003	0,9737	0,2046	ПКМ+Ti+Al
19	7,94	H9	3719,55	-1099,92	-4045,38	0,1453	0,9563	0,2537	ПКМ+Al
20	7,94	H9	3779,86	-1110,23	-4039,52	0,1331	0,9588	0,2509	ПКМ+Al
21	7,94	H9	4309,93	-1171,05	-3980,76	0,0389	0,9726	0,2292	ПКМ+Al

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	9,52	H9	4822,55	-1183,58	-3927,00	-0,0083	0,9761	0,2172	Ti+ПКМ+Al
23	9,52	H9	4883,20	-1190,24	-3904,63	-0,0169	0,9765	0,2149	Ti+ПКМ+Al
24	9,52	H9	4939,23	-1188,65	-3903,16	-0,0261	0,9768	0,2124	Ti+ПКМ+Al
25	11,11	H9	5011,16	-1188,86	-3888,33	-0,0353	0,9771	0,2098	Ti+ПКМ+Al
26	11,11	H9	5064,86	-1187,88	-3879,93	-0,1064	0,9752	0,1941	Ti+ПКМ+Al
27	11,11	H9	5138,28	-1185,13	-3871,29	-0,1064	0,9752	0,1941	Ti+ПКМ+Al
28	6,35	H9	6064,02	-445,34	-8635,30	0,0724	0,9856	0,1530	ПКМ+Al
29	6,35	H9	6215,72	-454,60	-8605,84	0,0599	0,9873	0,1474	ПКМ+Al
30	6,35	H9	6067,16	-473,01	-8233,25	0,0483	0,9886	0,1423	ПКМ+Al
31	6,35	H9	10005,97	486,73	-16627,06	-0,0865	0,9938	0,0704	ПКМ+Al
32	6,35	H9	10092,93	480,87	-16591,09	-0,0753	0,9943	0,0758	ПКМ+Al
33	6,35	H9	10356,31	538,42	-17127,11	-0,0592	0,9948	0,0834	ПКМ+Al
34	14,29	H9	5064,73	-1480,34	-2870,86	-0,1058	0,9767	0,1866	ПКМ+Ti
35	14,29	H9	5038,84	-1474,57	-2976,57	-0,1056	0,9765	0,1878	ПКМ+Ti
36	14,29	H9	5022,96	-1468,22	-3521,23	-0,1053	0,9763	0,1891	ПКМ+Ti
37	15,87	H9	5863,52	-1071,72	-3992,11	-0,1581	0,9720	0,1737	Ti+ПКМ+Ti
38	15,87	H9	6002,83	-1049,02	-3973,62	-0,1580	0,9718	0,1750	Ti+ПКМ+Ti
39	15,87	H9	6080,28	-1046,71	-3900,93	-0,1049	0,9761	0,1903	Ti+ПКМ+Ti
40	14,29	H9	5416,92	-1153,25	-3907,15	-0,1057	0,9758	0,1912	Ti+ПКМ+Ti
41	14,29	H9	5354,73	-1158,77	-3914,71	-0,1139	0,9753	0,1892	Ti+ПКМ+Ti
42	14,29	H9	5326,42	-1184,83	-3796,64	-0,0820	0,9770	0,1968	Ti+ПКМ+Ti
43	12,7	H9	5812,49	-1069,79	-4046,93	-0,0817	0,9772	0,1957	Ti+ПКМ
44	12,7	H9	5798,36	-1060,41	-4099,33	-0,0810	0,9775	0,1948	Ti+ПКМ
45	12,7	H9	5740,34	-1065,45	-4122,53	-0,0741	0,9775	0,1976	Ti+ПКМ
46	7,94	H9	5164,51	-1199,45	-3778,64	-0,0736	0,9773	0,1988	Ti+ПКМ
47	7,94	H9	4969,03	-1177,54	-3948,35	-0,0730	0,9770	0,2002	Ti+ПКМ
48	7,94	H9	5059,48	-1156,67	-4023,91	-0,0715	0,9768	0,2017	Ti+ПКМ

Приложение Г

Карта обработки отверстий с делением на зоны

Номер зоны	Номер точки	Назначение	Диаметр, мм	Координаты			Пакет
				X	Y	Z	
1	2	3	4	5	6	7	8
00_1	101	Master	5	2443,12	-1421,99	-2072,91	Ti+ПКМ+Ti
	102	Slave	5	2927,30	-1538,58	-2063,90	Ti+ПКМ+Ti
	103	Roto	5	2289,22	-1393,22	-2024,75	Ti+ПКМ+Ti
	1	Обработка	14	2337,03	-1390,28	-1963,71	Ti+ПКМ+Ti+Al
	2	Обработка	14	2701,15	-1477,10	-2009,32	Ti+ПКМ+Ti
	3	Обработка	14	2725,67	-1496,00	-2067,61	Ti+ПКМ+Ti
00_2	104	Master	5	3265,10	-1592,38	-2057,63	Ti+ПКМ+Ti
	105	Slave	5	3740,25	-1634,93	-2048,73	Ti+ПКМ+Ti
	106	Roto	5	3150,67	-1607,83	-1960,13	Ti+ПКМ+Ti
	4	Обработка	14	3487,99	-1613,89	-1945,57	Ti+ПКМ+Ti
	5	Обработка	14	3463,91	-1614,55	-2054,23	Ti+ПКМ+Ti
	6	Обработка	14	3511,03	-1603,75	-1995,61	Ti+ПКМ+Ti
00_3	107	Master	5	4144,50	-1644,52	-2040,92	Ti+ПКМ+Ti
	108	Slave	5	4743,86	-1617,53	-2035,84	Ti+ПКМ+Ti
	109	Roto	5	4233,41	-1672,65	-1941,09	Ti+ПКМ+Ti
	7	Обработка	14	4345,61	-1640,84	-2037,71	Ti+ПКМ+Ti
	8	Обработка	14	4702,73	-1612,62	-1923,74	Ti+ПКМ+Ti+Al
	9	Обработка	14	4772,62	-1605,09	-1922,01	Ti+ПКМ+Ti+Al
01_1	110	Master	5	2827,19	-1310,24	-2713,62	ПКМ+Al
	111	Slave	5	4769,78	-1499,38	-2510,47	ПКМ+Al
	112	Roto	5	4982,73	-1486,78	-2781,56	ПКМ+Ti
	10	Обработка	7,94	2957,62	-1344,75	-2702,14	ПКМ+Al
	11	Обработка	7,94	3220,66	-1402,88	-2678,37	ПКМ+Al
	12	Обработка	7,94	3797,16	-1483,88	-2620,76	ПКМ+Al
02_1	113	Master	5	3143,06	-1175,24	-3391,10	ПКМ+Al
	114	Slave	5	5020,24	-1327,56	-3191,65	ПКМ+Al
	115	Roto	5	5214,87	-1308,68	-3435,64	ПКМ+Al
	13	Обработка	7,94	3402,90	-1234,94	-3367,89	ПКМ+Al
	14	Обработка	7,94	4027,61	-1322,00	-3305,66	ПКМ+Al
	15	Обработка	7,94	4696,71	-1341,54	-3229,84	ПКМ+Al
	16	Обработка	12,7	5198,63	-1306,25	-3491,97	ПКМ+Ti+Al
	17	Обработка	12,7	5204,49	-1304,43	-3462,70	ПКМ+Ti+Al
	18	Обработка	12,7	5208,86	-1310,63	-3472,89	ПКМ+Ti+Al

1	2	3	4	5	6	7	8
03_1	116	Master	5	3522,61	-1060,64	-4063,70	ПКМ+Al
	117	Slave	5	3984,39	-1139,32	-4019,84	ПКМ+Al
	118	Roto	5	3273,80	-1040,94	-3940,43	ПКМ
	19	Обработка	7,94	3719,55	-1099,92	-4045,38	ПКМ+Al
	20	Обработка	7,94	3779,86	-1110,23	-4039,52	ПКМ+Al
	21	Обработка	7,94	4309,93	-1171,05	-3980,76	ПКМ+Al
	22	Обработка	9,52	4822,55	-1183,58	-3927,00	Ti+ПКМ+Al
	23	Обработка	69,52	4883,20	-1190,24	-3904,63	Ti+ПКМ+Al
	24	Обработка	9,52	4939,23	-1188,65	-3903,16	Ti+ПКМ+Al
	25	Обработка	11,11	5011,16	-1188,86	-3888,33	Ti+ПКМ+Al
	26	Обработка	11,11	5064,86	-1187,88	-3879,93	Ti+ПКМ+Al
27	Обработка	11,11	5138,28	-1185,13	-3871,29	Ti+ПКМ+Al	
11_1	119	Master	5	6015,33	-444,71	-8641,05	ПКМ+Al
	120	Slave	5	6312,93	-466,99	-8596,64	ПКМ+Al
	121	Roto	5	5824,57	-426,06	8456,11	ПКМ
	28	Обработка	6,35	6119,39	-365,90	-8902,64	ПКМ+Al
	29	Обработка	6,35	6412,90	-391,02	-8783,49	ПКМ+Al
	30	Обработка	6,35	6693,07	-395,42	-8666,88	ПКМ+Al
24_1	122	Master	5	9977,73	489,07	-16638,70	ПКМ+Al
	123	Slave	5	10175,68	477,34	-16556,65	ПКМ+Al
	124	Roto	5	9843,44	480,58	-16526,93	ПКМ
	31	Обработка	6,35	10005,97	486,73	-16627,06	ПКМ+Al
	32	Обработка	6,35	10092,93	480,87	-16591,09	ПКМ+Al
25_1	125	Master	5	10259,47	544,81	-17167,17	ПКМ+Al
	126	Slave	5	10404,75	536,30	-17106,96	ПКМ+Al
	127	Roto	5	10154,15	542,92	-17120,18	ПКМ
	33	Обработка	6,35	10356,31	538,42	-17127,11	ПКМ+Al
40_1	128	Master	5	5014,13	-1446,23	-2648,28	ПКМ+Ti
	129	Slave	5	5260,88	-1233,99	-3528,08	ПКМ+Ti
	130	Roto	5	5197,39	-1324,61	-3120,77	ПКМ+Ti
	34	Обработка	14,29	5089,93	-1413,38	-2761,27	ПКМ+Ti
	35	Обработка	14,29	5133,97	-1346,73	-3048,69	ПКМ+Ti
	36	Обработка	14,29	5198,34	-1283,36	-3318,83	ПКМ+Ti

1	2	3	4	5	6	7	8
60_1	131	Master	5	5533,99	-1138,16	-3910,11	Ti+ПКМ+Ti
	132	Slave	5	6074,45	-1058,84	-3839,40	Ti+ПКМ+Ti
	133	Roto	5	5570,72	-1086,14	-4142,32	Ti+ПКМ+Ti
	37	Обработка	15,87	5863,52	-1071,72	-3992,11	Ti+ПКМ+Ti
	38	Обработка	15,87	6002,83	-1049,02	-3973,62	Ti+ПКМ+Ti
	39	Обработка	15,87	6080,28	-1046,71	-3900,93	Ti+ПКМ+Ti
	40	Обработка	14,29	5416,92	-1153,25	-3907,15	Ti+ПКМ+Ti
	41	Обработка	14,29	5354,73	-1158,77	-3914,71	Ti+ПКМ+Ti
	42	Обработка	14,29	5326,42	-1184,83	-3796,64	Ti+ПКМ+Ti
	43	Обработка	12,7	5812,49	-1069,79	-4046,93	Ti+ПКМ
	44	Обработка	12,7	5798,36	-1060,41	-4099,33	Ti+ПКМ
	45	Обработка	12,7	5740,34	-1065,45	-4122,53	Ti+ПКМ
	46	Обработка	7,94	5164,51	-1199,45	-3778,64	Ti+ПКМ
	47	Обработка	7,94	4969,03	-1177,54	-3948,35	Ti+ПКМ
	48	Обработка	7,94	5059,48	-1156,67	-4023,91	Ti+ПКМ

Приложение Д

Карта обработки отверстий с делением на зоны для подбора габаритов зоны

Номер зоны	Номер точки	Назначение	Диаметр, мм	Координаты			Пакет
				X	Y	Z	
1	2	3	4	5	6	7	8
03_1	101	Master	5	3522,61	-1060,62	-4063,80	ПКМ+А1
	102	Slave	5	4689,81	-1183,83	-3942,30	ПКМ+А1
	103	Roto	5	3298,19	-1033,07	-3987,10	ПКМ
	1	Обработка	7,94	3392,85	-1030,09	-4074,10	ПКМ+А1
	2	Обработка	7,94	3652,73	-1087,68	-4051,37	ПКМ+А1
	3	Обработка	7,94	3779,77	-1110,26	-4039,38	ПКМ+А1
	4	Обработка	7,94	3908,82	-1129,50	-4027,44	ПКМ+А1
	5	Обработка	7,94	4058,24	-1147,91	-4012,23	ПКМ+А1
	6	Обработка	7,94	4191,04	-1161,56	-3995,52	ПКМ+А1
	7	Обработка	7,94	4310,00	-1171,08	-3980,64	ПКМ+А1
	8	Обработка	7,94	4426,28	-1176,81	-3971,32	ПКМ+А1
	9	Обработка	7,94	4557,11	-1181,68	-3956,56	ПКМ+А1
	10	Обработка	7,94	4818,89	-1183,65	-3927,25	ПКМ+А1
02_1	104	Master	5	3143,06	-1175,24	-3391,10	ПКМ+А1
	105	Slave	5	3767,98	-1295,00	-3331,62	ПКМ+А1
	106	Roto	5	2922,09	-1157,23	-3268,92	ПКМ
	11	Обработка	7,94	3077,33	-1157,31	-3397,81	ПКМ+А1
	12	Обработка	7,94	3337,73	-1221,49	-3373,51	ПКМ+А1
	13	Обработка	7,94	3464,88	-1247,01	-3362,01	ПКМ+А1
	14	Обработка	7,94	3593,40	-1269,45	-3349,78	ПКМ+А1
	15	Обработка	7,94	3728,55	-1289,55	-3336,50	ПКМ+А1
	16	Обработка	7,94	3862,83	-1306,20	-3322,55	ПКМ+А1
17	Обработка	7,94	3992,94	-1319,30	-3308,36	ПКМ+А1	
02_2	107	Master	5	4376,12	-1340,72	-3267,06	ПКМ+А1
	108	Slave	5	5020,24	-1327,56	-3191,65	ПКМ+А1
	106	Roto	5	2922,09	-1157,23	-3268,92	ПКМ
	18	Обработка	7,94	4112,51	-1328,35	-3296,54	ПКМ+А1
	19	Обработка	7,94	4243,57	-1335,85	-3282,10	ПКМ+А1
	20	Обработка	7,94	4507,62	-1343,05	-3251,26	ПКМ+А1
	21	Обработка	7,94	4634,15	-1342,46	-3237,64	ПКМ+А1
	22	Обработка	7,94	4750,95	-1341,28	-3218,58	ПКМ+А1
23	Обработка	7,94	4891,38	-1334,75	-3207,23	ПКМ+А1	

1	2	3	4	5	6	7	8
01_1	109	Master	5	2889,36	-1327,69	-2706,56	ПКМ+А1
	110	Slave	5	3353,53	-1427,38	-2664,52	ПКМ+А1
	111	Roto	5	2556,72	-1290,32	-2547,76	ПКМ
	24	Обработка	7,94	2758,59	-1290,97	-2718,28	ПКМ+А1
	25	Обработка	7,94	2958,48	-1345,45	-2700,45	ПКМ+А1
	26	Обработка	7,94	3088,72	-1376,07	-2688,63	ПКМ+А1
	27	Обработка	7,94	3221,49	-1403,53	-2676,69	ПКМ+А1
	28	Обработка	7,94	3466,81	-1445,32	-2653,37	ПКМ+А1
01_2	112	Master	5	3685,00	-1473,20	-2631,07	ПКМ+А1
	113	Slave	5	4125,23	-1505,03	-2583,02	ПКМ+А1
	111	Roto	5	2556,72	-1290,32	-2547,76	ПКМ
	29	Обработка	7,94	3586,83	-1461,93	-2640,44	ПКМ+А1
	30	Обработка	7,94	3795,31	-1484,10	-2619,48	ПКМ+А1
	31	Обработка	7,94	3926,36	-1494,48	-2605,22	ПКМ+А1
	32	Обработка	7,94	4058,98	-1502,23	-2590,36	ПКМ+А1
01_3	114	Master	5	4383,41	-1509,60	-2554,67	ПКМ+А1
	115	Slave	5	4770,51	-1499,63	-2509,12	ПКМ+А1
	111	Roto	5	2556,72	-1290,32	-2547,76	ПКМ
	33	Обработка	7,94	4254,17	-1508,61	-2568,58	ПКМ+А1
	34	Обработка	7,94	4508,37	-1508,76	-2539,31	ПКМ+А1
	35	Обработка	7,94	4890,39	-1492,78	-2494,64	ПКМ+А1

Приложение Е

Образец №1

Режимы резания

Номер образца	Диаметр, мм	Тип инструмента	Состав пакета	Первый слой						Второй слой						Зенковка	
				Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин
Образец №1	6,35	Сверло с зенковкой	ПКМ+Al	3536	247	0	0	0	0	3536	247	4	0,5	0,5	15	1515	151
	7,94	Сверло с зенковкой	ПКМ+Al	2820	197	0	0	0	0	2820	197	5	0,5	0,5	15	1208	120
	9,52	Сверло с зенковкой	ПКМ+Al	2345	164	0	0	0	0	2345	164	5	0,5	0,5	15	1005	100
	11,11	Сверло с зенковкой	ПКМ+Al	2005	100	0	0	0	0	2005	100	5	0,5	0,5	15	860	86
	12,7	Сверло с зенковкой	ПКМ+Al	1754	87	0	0	0	0	1754	87	6	0,5	0,5	15	751	75

Образец №2, 3
Режимы резания

Номер образца	Диаметр, мм	Тип инструмента	Состав пакета	Первый слой						Второй слой						Зенковка	
				Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин
Образец №2	7,7	Сверло	ПКМ+Ti	2931	293	-1	0	0	0	628	44	5	1	1	15	-	-
	7,94	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti	1208	145	-1	0	0	0	604	72	7	1	1	15	1208	120
	9,3	Сверло	ПКМ+Ti	2448	171	-1	0	0	0	670	47	6	0,5	1	12	-	-
	9,52	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti	2010	241	-1	0	0	0	502	60	7	0,5	2	15	1005	100
	10,9	Сверло	ПКМ+Ti	2063	144	-1	0	0	0	442	31	7	0,5	2	12	-	-
	11,11	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti	860	103	-1	0	0	0	430	51	7	0,5	2	15	860	86
Образец №3	12,5	Сверло	ПКМ+Ti	1797	126	-1	0	0	0	385	27	7	0,5	1	8	-	-
	12,7	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti	752	90	-1	0	0	0	376	45	8	0,5	2	12	752	75
	14,1	Сверло	ПКМ+Ti	1364	95	-1	0	0	0	341	23	8	0,5	1	8	-	-
	14,29	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti	667	80	-1	0	0	0	333	40	8	1	2	8	667	66
	15,7	Сверло	ПКМ+Ti	1437	72	-1	0	0	0	308	21	8	0,5	1	8	-	-
	15,87	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti	604	72	-1	0	0	0	302	36	9	0,5	2	8	604	72

Образец №4
Режимы резания

Номер образца	Диаметр, мм	Тип инструмента	Состав пакета	Первый слой						Второй слой						Третий слой						Зенковка	
				Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин
Образец №4	7,7	Сверло	ПКМ+Ti+Al	2931	293	0	0	0	0	2931	293	5	1	0,5	15	2931	410	5	1,0	0,5	15	-	-
	7,94	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti+Al	1208	145	0	0	0	0	1208	145	7	1	1	15	1208	145	7	1,0	1,0	15	1208	120
	9,3	Сверло	ПКМ+Ti+Al	2448	171	0	0	0	0	2448	171	6	0,5	0,5	12	2448	171	6	0,5	0,5	12	-	-
	9,52	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti+Al	2010	241	0	0	0	0	2010	241	7	0,5	2	15	2010	241	7	0,5	2,0	15	1005	100
	10,9	Сверло	ПКМ+Ti+Al	2063	144	0	0	0	0	2063	144	7	0,5	2	12	2063	144	7	0,5	2,0	12	-	-
	11,11	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti+Al	860	103	0	0	0	0	860	103	7	0,5	2	15	860	103	7	0,0	0,0	15	860	86
	12,5	Сверло	ПКМ+Ti+Al	1797	126	0	0	0	0	1797	126	7	0,5	1	8	1797	126	7	0,5	1,0	8	-	-
	12,7	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti+Al	752	90	0	0	0	0	752	90	8	0,5	2	12	752	90	8	0,5	2,0	12	752	75
	14,1	Сверло	ПКМ+Ti+Al	1364	95	0	0	0	0	1364	95	8	0,5	1	8	1364	95	8	0,5	2,0	8	-	-
	14,29	Развертка с зенковкой	ПКМ+Ti+Al	667	80	0	0	0	0	667	80	8	0,5	2	8	667	80	8	0,5	2,0	8	667	66

Образец №5
Режимы резания

Номер образца	Диаметр, мм	Тип инструмента	Состав пакета	Первый слой						Второй слой						Зенковка	
				Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин
Образец №5	6,1	Сверло	Ti+ПКМ	628	44	5	0,5	0,50	15	2931	293	5	0	0	0	-	-
	6,35	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ	604	72	5	0,5	1,00	15	1208	145	5	0	0	0	589	9
	7,7	Сверло	Ti+ПКМ	628	44	5	0,5	0,5	15	2931	293	5	0	0	0	-	-
	7,94	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ	604	72	7	0,5	1	15	1208	145	7	0	0	0	909	14
	9,3	Сверло	Ti+ПКМ	670	47	6	0,5	0,5	12	2448	171	6	0	0	0	-	-
	9,52	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ	502	60	7	0,5	2,00	15	1005	120	7	0	0	0	670	10
	10,9	Сверло	Ti+ПКМ	442	31	7	0,5	2,00	12	2063	144	7	0	0	0	-	-
	11,11	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ	430	51	7	0,5	2	15	860	103	7	0	0	0	573	8
	12,5	Сверло	Ti+ПКМ	385	27	7	0,5	1	8	1797	126	7	0	0	0	-	-
	12,7	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ	385	27	8	0,5	2	12	752	90	8	0	0	0	1502	22

Образец №6

Режимы резания

Номер образца	Диаметр, мм	Тип инструмента	Состав пакета	Первый слой						Второй слой						Третий слой						Зенковка	
				Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин
Образец №6	9,3	Сверло	Ti+ПКМ+Ti	670	47	6	0,5	0,5	12	2448	171	-1	0	0	0	670	47	6	0,5	0,5	12	-	-
	9,52	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Ti	502	60	7	0,5	2,0	15	1005	120	-1	0	0	0	502	60	7	0,5	8,0	15	670	10
	10,9	Сверло	Ti+ПКМ+Ti	442	31	7	0,5	2,0	12	2063	144	-1	0	0	0	442	31	7	0,5	2,0	12	-	-
	11,11	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Ti	430	51	7	0,5	2,0	15	860	103	-1	0	0	0	430	51	7	0,5	2,0	15	573	8
	12,5	Сверло	Ti+ПКМ+Ti	385	27	7	0,5	1,0	8	1797	126	-1	0	0	0	385	27	7	0,5	1,0	8	-	-
	12,7	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Ti	385	47	8	0,5	2,0	12	752	90	-1	0	0	0	385	47	8	0,5	8,0	12	1502	22
	13,8	Сверло	Ti+ПКМ+Ti	348	24	8	0,5	1,0	8	1437	97	-1	0	0	0	348	24	8	0,5	1,0	8	-	-
	14	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Ti	341	41	8	0,5	2,0	12	604	72	0	0	0	0	341	41	8	0,5	8,0	12	-	-
	14,1	Сверло	Ti+ПКМ+Ti	341	23	8	0,5	1,0	8	1437	97	-1	0	0	0	341	23	8	0,5	1,0	8	-	-
	14,29	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Ti	302	36	9	0,5	2,0	8	604	72	0	0	0	0	302	36	9	0,5	8,0	8	402	6
	15,7	Сверло	Ti+ПКМ+Ti	308	21	8	0,5	1,0	8	1394	89	-1	0	0	0	308	21	8	0,5	1,0	8	-	-
	15,87	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Ti	302	36	9	0,5	2,0	8	604	72	0	0	0	0	302	36	9	0,5	8,0	8	402	6

Образец №7
Режимы резания

Номер образца	Диаметр, мм	Тип инструмента	Состав пакета	Первый слой						Второй слой						Третий слой						Зенковка	
				Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин
Образец №7	7,7	Сверло	Ti+ПКМ+Al	628	44	5	0,5	0,5	15	2931	293	-1	0	0	0	2931	293	5	0,5	0,5	15	-	-
	7,94	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Al	604	72	7	0,5	1,0	15	1208	145	0	0	0	0	1208	145	7	1,0	1,0	15	909	14
	9,3	Сверло	Ti+ПКМ+Al	670	47	6	0,5	0,5	12	2448	171	0	0	0	0	2448	171	6	0,5	0,5	12	-	-
	9,52	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Al	502	60	7	0,5	2,0	15	1005	120	0	0	0	0	1005	120	7	0,5	2,0	15	670	10
	10,9	Сверло	Ti+ПКМ+Al	442	31	7	0,5	1,0	8	2063	144	0	0	0	0	2063	144	7	0,5	2,0	12	-	-
	11,11	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Al	430	51	7	0,5	2,0	15	860	103	0	0	0	0	860	103	7	0,5	2,0	15	573	8
	12,5	Сверло	Ti+ПКМ+Al	385	27	7	0,5	1,0	8	1797	126	0	0	0	0	1797	126	7	0,5	1,0	8	-	-
	12,7	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Al	385	27	8	0,5	2,0	12	752	90	0	0	0	0	752	90	8	0,5	2,0	12	1502	22

Образец №8
Режимы резания

Номер образца	Диаметр, мм	Тип инструмента	Состав пакета	Первый слой					Второй слой					Третий слой					Четвертый слой					Зенковка					
				Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Выход сверла, мм	Заглубление, мм	Вывод сверла, мм	Подача СОТС, %	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин				
Образец №8	7,7	Сверло	Ti+ПКМ+Ti+Al	348	24	8	0,5	1	8	348	24	0	0	0	0	348	24	8	0,5	1	8	1394	97	8	0,5	2	8	-	-
	7,94	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Ti+Al	341	41	8	0,5	2	12	341	41	0	0	0	0	341	41	8	0,5	8	12	1364	83	8	0,5	2	12	-	-
	9,3	Сверло	Ti+ПКМ+Ti+Al	341	23	8	0,5	1	8	341	23	0	0	0	0	341	23	8	0,5	1	8	1364	95	8	0,5	2	8	-	-
	9,52	Развертка с зенковкой	Ti+ПКМ+Ti+Al	302	36	9	0,5	2	8	302	36	0	0	0	0	302	36	9	0,5	8	8	604	72	8	0,5	2	8	402	6

Приложение Ж

Значения отклонений положения базовых точек для привязки

Номер точки	Назначение	Координаты			Координаты			Отклонения		
		X теор	Y теор	Z теор	X факт	Y факт	Z факт	X	Y	Z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
101	Master	2443,12	-1421,99	-2072,91	2443,36	-1422,20	-2070,74	0,24	-0,21	2,17
102	Slave	2927,3	-1538,58	-2063,9	2927,18	-1538,86	-2062,44	-0,12	-0,28	1,46
103	Roto	2289,22	-1393,22	-2024,75	2290,55	-1394,09	-2022,35	1,33	-0,87	2,40
104	Master	3265,1	-1592,38	-2057,63	3263,88	-1592,50	-2056,52	-1,22	-0,12	1,11
105	Slave	3740,25	-1634,93	-2048,73	3741,10	-1635,10	-2046,50	0,85	-0,16	2,23
106	Roto	3150,67	-1607,83	-1960,13	3149,25	-1609,26	-1957,74	-1,42	-1,43	2,39
107	Master	4144,5	-1644,52	-2040,92	4144,10	-1644,75	-2038,84	-0,40	-0,23	2,08
108	Slave	4743,86	-1617,53	-2035,84	4743,63	-1616,68	-2035,36	-0,23	0,85	0,48
109	Roto	4233,41	-1672,65	-1941,09	4231,82	-1674,06	-1940,62	-1,59	-1,41	0,47
110	Master	2827,19	-1310,24	-2713,62	2826,33	-1311,05	-2711,98	-0,86	-0,81	1,64
111	Slave	4769,78	-1499,38	-2510,47	4768,65	-1500,06	-2508,86	-1,13	-0,68	1,61
112	Roto	4982,73	-1486,78	-2781,56	4982,01	-1487,96	-2779,30	-0,72	-1,18	2,26
113	Master	3143,06	-1175,24	-3391,1	3140,69	-1175,96	-3389,71	-2,37	-0,72	1,39
114	Slave	5020,24	-1327,56	-3191,65	5017,89	-1328,73	-3189,81	-2,35	-1,17	1,84
115	Roto	5214,87	-1308,68	-3435,64	5214,21	-1309,05	-3434,86	-0,66	-0,37	0,78
116	Master	3522,61	-1060,64	-4063,7	3520,93	-1060,42	-4062,18	-1,68	0,22	1,52
117	Slave	3984,39	-1139,32	-4019,84	3985,17	-1140,66	-4018,86	0,78	-1,34	0,98
118	Roto	3273,8	-1040,94	-3940,43	3274,02	-1041,17	-3939,75	0,22	-0,23	0,68
119	Master	6015,33	-444,71	-8641,05	6015,16	-444,23	-8639,70	-0,17	0,48	1,35
120	Slave	6312,93	-466,99	-8596,64	6314,12	-467,77	-8595,96	1,19	-0,78	0,68
121	Roto	5824,57	-426,06	8456,11	5825,75	-426,93	8456,64	1,18	-0,87	0,53
122	Master	9977,73	489,07	-16638,7	9978,02	488,13	-16641,55	0,29	-0,94	-2,85
123	Slave	10175,68	477,34	-16556,65	10175,57	476,38	-16558,04	-0,11	-0,96	-1,39
124	Roto	9843,44	480,58	-16526,93	9845,92	479,34	-16527,82	2,48	-1,24	-0,89

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
125	Master	10259,47	544,81	-17167,17	10261,95	545,11	-17167,46	2,48	0,30	-0,29
126	Slave	10404,75	536,3	-17106,96	10406,89	536,25	-17108,09	2,14	-0,05	-1,13
127	Roto	10154,15	542,92	-17120,18	10153,11	543,43	-17121,09	-1,04	0,51	-0,91
128	Master	5014,13	-1446,23	-2648,28	5013,14	-1447,26	-2649,20	-0,99	-1,03	-0,92
129	Slave	5260,88	-1233,99	-3528,08	5261,36	-1233,60	-3530,45	0,48	0,39	-2,37
130	Roto	5197,39	-1324,61	-3120,77	5196,61	-1325,79	-3122,33	-0,78	-1,18	-1,56
131	Master	5533,99	-1138,16	-3910,11	5533,12	-1139,75	-3911,70	-0,87	-1,59	-1,59
132	Slave	6074,45	-1058,84	-3839,4	6073,51	-1060,49	-3840,24	-0,94	-1,65	-0,84
133	Roto	5570,72	-1086,14	-4142,32	5570,30	-1085,37	-4145,00	-0,42	0,77	-2,68

Приложение 3

Значения отклонений диаметров обработанных отверстий

Номер точки	Диаметр, мм	Фактический диаметр, мм	Предельные отклонения, мм		Фактическое отклонение
			Нижнее	Верхнее	
1	2	3	4	5	6
1	14	14,026	0	0,043	0,026
2	14	14,029	0	0,043	0,029
3	14	14,016	0	0,043	0,016
4	14	14,02	0	0,043	0,02
5	14	14,029	0	0,043	0,029
6	14	14,028	0	0,043	0,028
7	14	14,018	0	0,043	0,018
8	14	14,016	0	0,043	0,016
9	14	14,023	0	0,043	0,023
10	7,94	7,956	0	0,036	0,016
11	7,94	7,946	0	0,036	0,006
12	7,94	7,956	0	0,036	0,016
13	7,94	7,947	0	0,036	0,007
14	7,94	7,958	0	0,036	0,018
15	7,94	7,95	0	0,036	0,01
16	12,7	12,713	0	0,043	0,013
17	12,7	12,717	0	0,043	0,017
18	12,7	12,717	0	0,043	0,017
19	7,94	7,958	0	0,036	0,018
20	7,94	7,95	0	0,036	0,01
21	7,94	7,956	0	0,036	0,016
22	9,52	9,533	0	0,036	0,013
23	9,52	9,535	0	0,036	0,015
24	9,52	9,54	0	0,036	0,02
25	11,11	11,138	0	0,043	0,028
26	11,11	11,122	0	0,043	0,012
27	11,11	11,138	0	0,043	0,028
28	6,35	6,363	0	0,036	0,013
29	6,35	6,368	0	0,036	0,018
30	6,35	6,366	0	0,036	0,016
31	6,35	6,363	0	0,036	0,013
32	6,35	6,38	0	0,036	0,03
33	6,35	6,365	0	0,036	0,015
34	14,29	14,309	0	0,043	0,019
35	14,29	14,306	0	0,043	0,016
36	14,29	14,314	0	0,043	0,024
37	15,87	15,887	0	0,043	0,017
38	15,87	15,886	0	0,043	0,016
39	15,87	15,897	0	0,043	0,027
40	14,29	14,311	0	0,043	0,021

1	2	3	4	5	6
41	14,29	14,31	0	0,043	0,02
42	14,29	14,314	0	0,043	0,024
43	12,7	12,728	0	0,043	0,028
44	12,7	12,73	0	0,043	0,03
45	12,7	12,728	0	0,043	0,028
46	7,94	7,956	0	0,036	0,016
47	7,94	7,949	0	0,036	0,009
48	7,94	7,953	0	0,036	0,013

Приложение И

Значения шероховатости в металлическом слое

Номер точки	Диаметр, мм	Пакет	Допустимая шероховатость, мкм	Максимальное значение шероховатости, мкм
1	2	3	4	5
1	14	Ti+ПКМ+Ti+Al	1,6	0,723
2	14	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,728
3	14	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,938
4	14	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,971
5	14	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,873
6	14	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,887
7	14	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,725
8	14	Ti+ПКМ+Ti+Al	1,6	0,723
9	14	Ti+ПКМ+Ti+Al	1,6	0,915
10	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,620
11	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,478
12	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,426
13	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,526
14	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,633
15	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,435
16	12,7	ПКМ+Ti+Al	1,6	0,545
17	12,7	ПКМ+Ti+Al	1,6	0,954
18	12,7	ПКМ+Ti+Al	1,6	0,637
19	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,452
20	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,487
21	7,94	ПКМ+Al	1,6	0,310
22	9,52	Ti+ПКМ+Al	1,6	0,765
23	9,52	Ti+ПКМ+Al	1,6	0,655
24	9,52	Ti+ПКМ+Al	1,6	0,784
25	11,11	Ti+ПКМ+Al	1,6	0,682
26	11,11	Ti+ПКМ+Al	1,6	0,666
27	11,11	Ti+ПКМ+Al	1,6	0,948
28	6,35	ПКМ+Al	1,6	0,501
29	6,35	ПКМ+Al	1,6	0,532
30	6,35	ПКМ+Al	1,6	0,499
31	6,35	ПКМ+Al	1,6	0,486
32	6,35	ПКМ+Al	1,6	0,547
33	6,35	ПКМ+Al	1,6	0,628
34	14,29	ПКМ+Ti	1,6	0,864
35	14,29	ПКМ+Ti	1,6	0,729
36	14,29	ПКМ+Ti	1,6	0,956

1	2	3	4	5
37	15,87	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,627
38	15,87	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,845
39	15,87	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,901
40	14,29	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,829
41	14,29	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,857
42	14,29	Ti+ПКМ+Ti	1,6	0,737
43	12,7	Ti+ПКМ	1,6	0,634
44	12,7	Ti+ПКМ	1,6	0,649
45	12,7	Ti+ПКМ	1,6	0,471
46	7,94	Ti+ПКМ	1,6	0,538
47	7,94	Ti+ПКМ	1,6	0,718
48	7,94	Ti+ПКМ	1,6	0,780

Приложение К

Значения отклонений глубины зенковки.

Номер точки	Диаметр, мм	Предельные отклонения, мм		Фактическое отклонение, мм
		Нижнее	Верхнее	
1	2	3	4	5
1	14	0,1	-0,1	0,08
2	14	0,1	-0,1	0,09
3	14	0,1	-0,1	0,06
4	14	0,1	-0,1	0,03
5	14	0,1	-0,1	0,07
6	14	0,1	-0,1	0,03
7	14	0,1	-0,1	0,03
8	14	0,1	-0,1	0,07
9	14	0,1	-0,1	0,03
10	7,94	0,1	-0,1	0,1
11	7,94	0,1	-0,1	0,1
12	7,94	0,1	-0,1	0,08
13	7,94	0,1	-0,1	0,05
14	7,94	0,1	-0,1	0,08
15	7,94	0,1	-0,1	0,05
16	12,7	0,1	-0,1	0,08
17	12,7	0,1	-0,1	0,01
18	12,7	0,1	-0,1	0
19	7,94	0,1	-0,1	0,08
20	7,94	0,1	-0,1	0,02
21	7,94	0,1	-0,1	0,09
22	9,52	0,1	-0,1	0,1
23	9,52	0,1	-0,1	0,08
24	9,52	0,1	-0,1	0,1
25	11,11	0,1	-0,1	0,05
26	11,11	0,1	-0,1	0,06
27	11,11	0,1	-0,1	0,1
28	6,35	0,1	-0,1	0,06
29	6,35	0,1	-0,1	0,08
30	6,35	0,1	-0,1	0,09
31	6,35	0,1	-0,1	0,1
32	6,35	0,1	-0,1	0,09
33	6,35	0,1	-0,1	0,02
34	14,29	0,1	-0,1	0,09
35	14,29	0,1	-0,1	0,1

1	2	3	4	5
36	14,29	0,1	-0,1	0,08
37	15,87	0,1	-0,1	0,1
38	15,87	0,1	-0,1	0,03
39	15,87	0,1	-0,1	0,07
40	14,29	0,1	-0,1	0,03
41	14,29	0,1	-0,1	0,1
42	14,29	0,1	-0,1	0,1
43	12,7	0,1	-0,1	0,08
44	12,7	0,1	-0,1	0,05
45	12,7	0,1	-0,1	0,03
46	7,94	0,1	-0,1	0,09
47	7,94	0,1	-0,1	0,05
48	7,94	0,1	-0,1	0,07

Приложение Л

Фактические отклонения положения обработанных отверстий от обреза деталей каркаса

Номер зоны	Номер точки	Диаметр, мм	Теоретическое расстояние до обреза, мм	Фактическое расстояние до обреза, мм	Фактическое отклонение, мм	Предельное отклонение, мм	
						Нижнее	Верхнее
00_1	3	14	29	28,9	-0,1	-0,5	0,5
00_2	5	14	29	29	0	-0,5	0,5
00_3	7	14	29	29,3	0,3	-0,5	0,5
01_1	10	7,94	17	16,6	-1,4	-0,5	0,5
	11	7,94	17	17,3	-2,7	-0,5	0,5
	12	7,94	17	16,8	0,8	-0,5	0,5
02_1	13	7,94	17	16	-1	-0,5	0,5
	14	7,94	17	17,3	-2,7	-0,5	0,5
	15	7,94	17	17,9	0,9	-0,5	0,5
	16	12,7	26,5	26,1	-0,4	-0,5	0,5
	17	12,7	26,5	26,8	0,3	-0,5	0,5
	18	12,7	26,5	26,9	0,4	-0,5	0,5
03_1	19	7,94	17	16,5	-0,5	-0,5	0,5
	20	7,94	17	15,5	-1,5	-0,5	0,5
	21	7,94	17	14,7	-2,3	-0,5	0,5
	22	9,52	20	20,5	0,5	-0,5	0,5
	23	9,52	20	20,6	0,6	-0,5	0,5
	24	9,52	20	21	1	-0,5	0,5
	25	11,11	23	23,7	0,7	-0,5	0,5
	26	11,11	23	23,4	0,4	-0,5	0,5
	27	11,11	23	23,2	0,2	-0,5	0,5
11_1	28	6,35	14	14	0	-0,5	0,5
	29	6,35	14	14,3	0,3	-0,5	0,5
	30	6,35	14	14,2	0,2	-0,5	0,5
24_1	31	6,35	14	14,2	0,2	-0,5	0,5
	32	6,35	14	14,2	0,2	-0,5	0,5
25_1	33	6,35	14	13,9	-0,1	-0,5	0,5
40_1	34	14,29	30	29,6	-0,4	-0,5	0,5
	35	14,29	30	30,3	0,3	-0,5	0,5
	36	14,29	30	30,3	0,3	-0,5	0,5

Приложение М

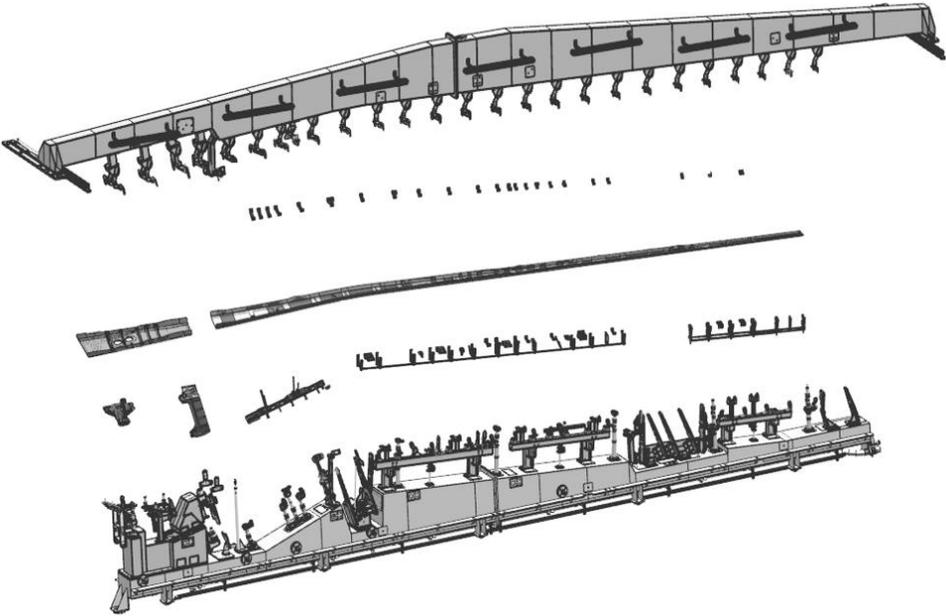
Фактические отклонения положения обработанных отверстий от обрезов деталей каркаса

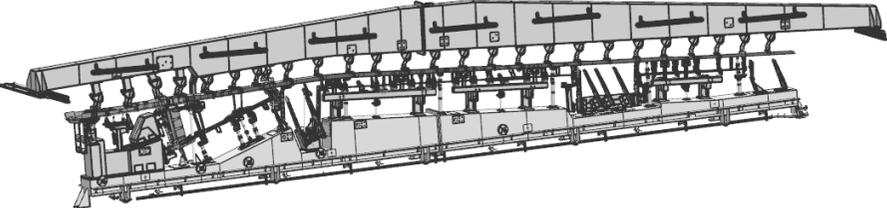
Номер зоны	Номер точки	Диаметр, мм	Длина зоны, мм	Теоретическое расстояние до обреза, мм	Фактическое расстояние до обреза, мм	Фактическое отклонение, мм	Предельное отклонение, мм	
							Нижнее	Верхнее
1	2	3	4	5	6	7	8	9
03_1	1	7,94	1500	17	17,8	0,8	-0,5	0,5
	2	7,94	1500	17	16,4	-0,6	-0,5	0,5
	3	7,94	1500	17	15,7	-1,3	-0,5	0,5
	4	7,94	1500	17	15,3	-1,7	-0,5	0,5
	5	7,94	1500	17	15,0	-2	-0,5	0,5
	6	7,94	1500	17	15,2	-1,8	-0,5	0,5
	7	7,94	1500	17	15,4	-1,6	-0,5	0,5
	8	7,94	1500	17	15,9	-1,1	-0,5	0,5
	9	7,94	1500	17	16,3	-0,7	-0,5	0,5
	10	7,94	1500	17	18,0	1	-0,5	0,5
02_1	11	7,94	1200	17	17,3	0,3	-0,5	0,5
	12	7,94	1200	17	16,6	-0,4	-0,5	0,5
	13	7,94	1200	17	16,2	-0,8	-0,5	0,5
	14	7,94	1200	17	15,9	-1,1	-0,5	0,5
	15	7,94	1200	17	15,9	-1,1	-0,5	0,5
	16	7,94	1200	17	16,3	-0,7	-0,5	0,5
	17	7,94	1200	17	17,8	0,8	-0,5	0,5
02_2	18	7,94	1050	17	16,2	-0,8	-0,5	0,5
	19	7,94	1050	17	17,7	0,7	-0,5	0,5
	20	7,94	1050	17	17,8	0,8	-0,5	0,5
	21	7,94	1050	17	17,5	0,5	-0,5	0,5
	22	7,94	1050	17	17,2	0,2	-0,5	0,5
	23	7,94	1050	17	16,6	-0,4	-0,5	0,5
01_1	24	7,94	900	17	17,3	0,3	-0,5	0,5
	25	7,94	900	17	16,8	-0,2	-0,5	0,5
	26	7,94	900	17	16,9	-0,1	-0,5	0,5
	27	7,94	900	17	16,9	-0,1	-0,5	0,5
	28	7,94	900	17	17,2	0,2	-0,5	0,5

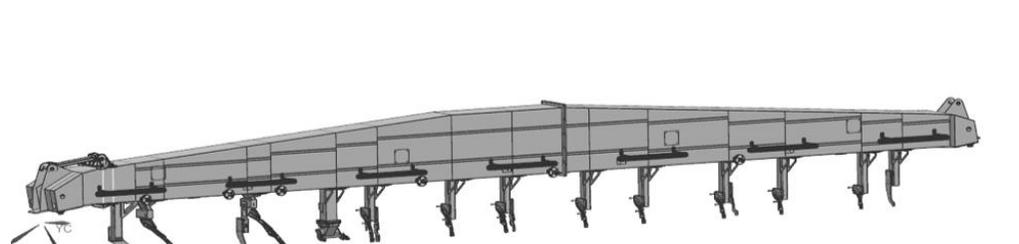
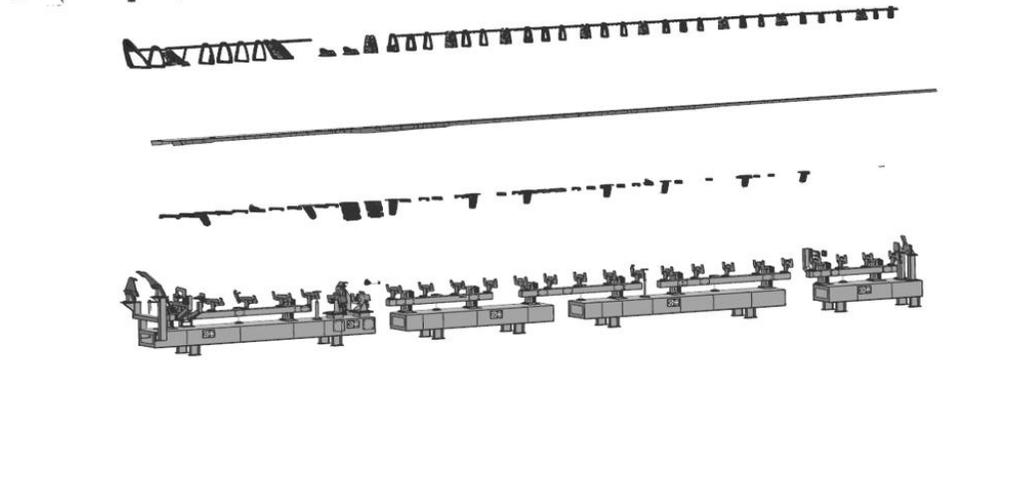
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01_2	29	7,94	800	17	17,1	0,1	-0,5	0,5
	30	7,94	800	17	17,0	0	-0,5	0,5
	31	7,94	800	17	17,0	0	-0,5	0,5
	32	7,94	800	17	17,5	0,5	-0,5	0,5
01_3	33	7,94	700	17	16,6	-0,4	-0,5	0,5
	34	7,94	700	17	17,0	0	-0,5	0,5
	35	7,94	700	17	16,9	-0,1	-0,5	0,5

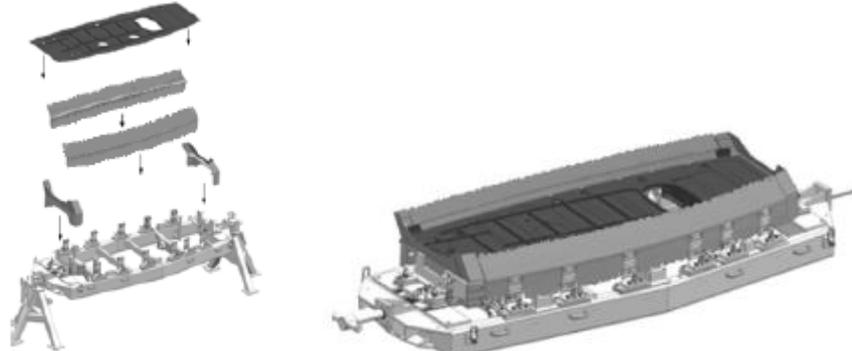
Приложение Н

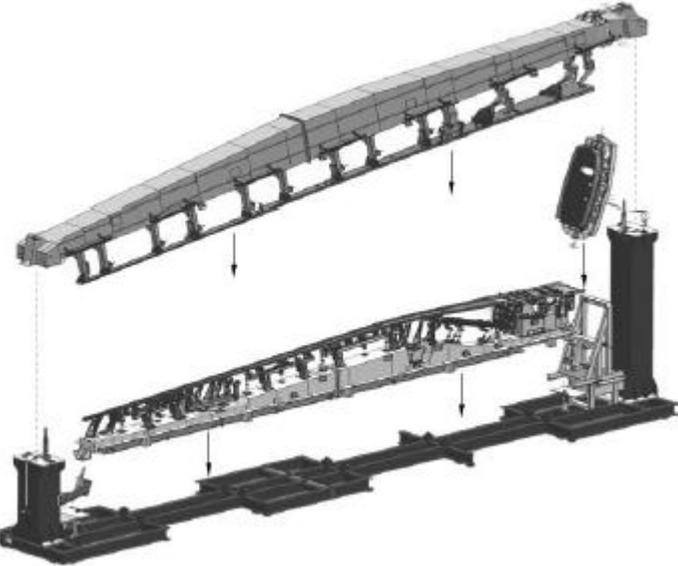
Директивный технологический процесс

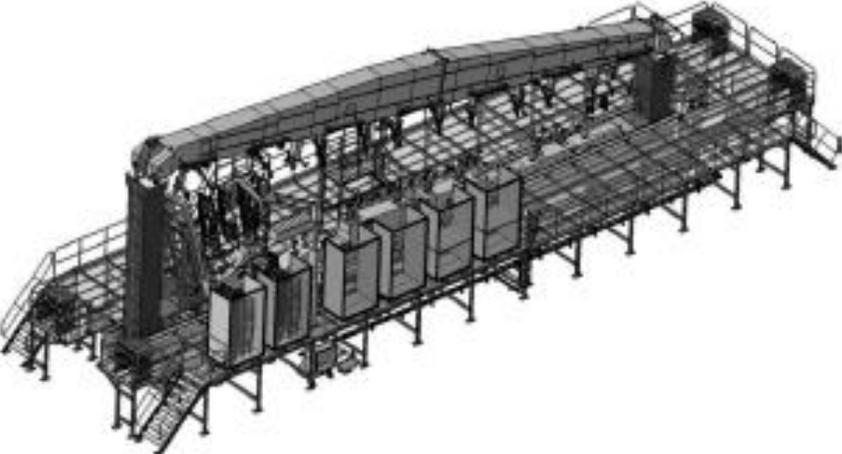
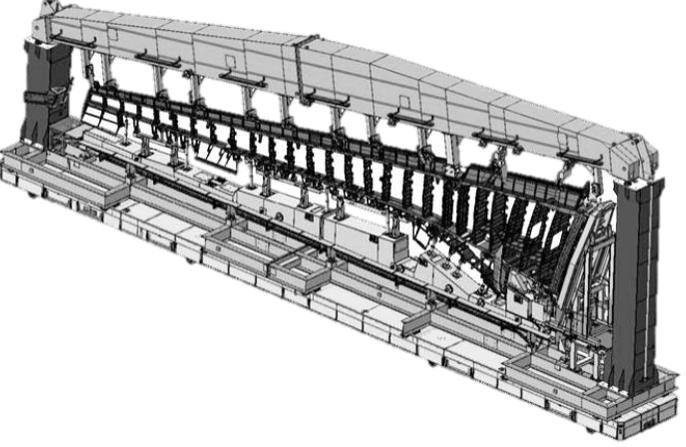
№	Операция	Эскиз
<i>Сборка заднего лонжерона и хвостовой части крыла (ХЧК)</i>		
010	Установка мобильной балки заднего лонжерона и ХЧК с помощью цехового крана и приспособления для подъема мобильной балки хвостовой части крыла.	
015	Установка балки траверсы ООШ в мобильную балку заднего лонжерона и ХЧК с позиционированием по базовым элементам с помощью цехового крана и стропы для подъема балки траверсы.	
020	Установка кронштейна подкоса ООШ в мобильную балку заднего лонжерона и ХЧК с позиционированием по базовым элементам с помощью цехового крана и стропы для подъема кронштейна подкоса.	
025	Установка корневой части заднего лонжерона в мобильную балку заднего лонжерона и ХЧК с помощью цехового крана и стропы с позиционированием по базовым поверхностям балки траверсы ООШ и кронштейна подкоса ООШ, а также по базовым элементам оснастки.	

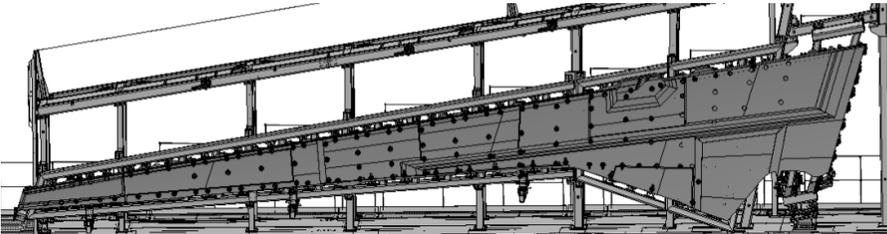
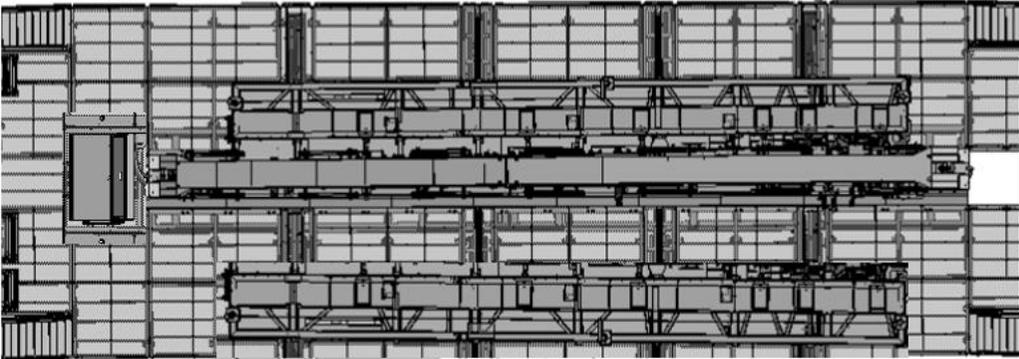
030	Установка концевой стенки заднего лонжерона в мобильную балку заднего лонжерона и ХЧК позиционированием по базовым элементам оснастки с помощью цехового крана и приспособления для подъема заднего лонжерона.		
035	Стыковка корневой и концевой частей заднего лонжерона в мобильной балке заднего лонжерона и ХЧК.		
040	Установка узлов навески и приводов воздушного тормоза, секций интерцептора, закрылка, элерона по базовым элементам мобильной балки заднего лонжерона и ХЧК.		
045	Перемещение верхней сдвижной балки заднего лонжерона в рабочее положение. Установка фитингов крепления нервюр на концевую часть лонжерона с базированием по базовым элементам верхней сдвижной балки заднего лонжерона.		
050	Установка стоек жесткости на концевую часть заднего лонжерона с базированием по сборочным отверстиям (СО) в стойках и концевой стенке лонжерона.		
055	Установка деталей каркаса буферных зон на концевую часть заднего лонжерона.		
<i>Сборка переднего лонжерона и носовой части крыла (НЧК)</i>			
060	Установка переднего лонжерона в нижнюю балку переднего лонжерона с помощью цехового крана и приспособления для подъема переднего лонжерона.		

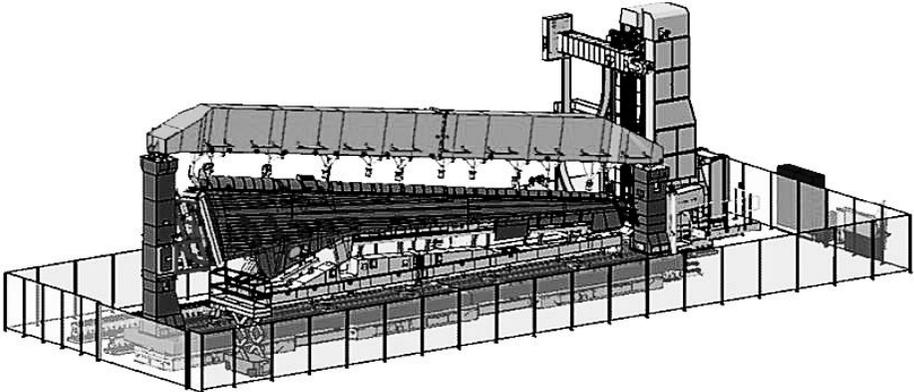
065	Установка мобильной балки переднего лонжерона и НЧК с помощью цехового крана и стропы для подъема мобильной балки носовой части крыла на поддерживающие интерфейсы станции сборки переднего лонжерона и НЧК.	
070	Базирование и фиксация переднего лонжерона по оснастке для позиционирования и удерживания на мобильной балке носовой части крыла.	
075	Установка поочередно кареток секций 1–5 предкрылков с базированием по имитаторам рельсов предкрылков на мобильной балке носовой части крыла.	
080	Базирование лонжерона по кареткам и установка станков уборки-выпуска предкрылков по местам расположения их кареток, с базированием по сборочным отверстиям (СО) с каретками.	
085	Установка кронштейнов навески пилона с базированием по базовым элементам мобильной балки переднего лонжерона и НЧК, а также фитингов нервюр 6 и 7 с базированием по базовым элементам нижней балки переднего лонжерона.	
090	Установка на лонжерон фитингов крепления нервюр с базированием по базовым элементам нижней стационарной балки переднего лонжерона.	
095	Установка на лонжерон стоек жесткости, не имеющих сопрягаемых поверхностей с нервюрами, с базированием по СО.	

<i>Сборка бортовой нервюры (БН)</i>		
100	Установка и фиксация поясов БН по базовым элементам оснастки (имитаторам панелей центроплана).	
105	Установка и фиксация фитингов БН по базовым элементам оснастки.	
110	Установка и фиксация фитингов БН по базовым элементам оснастки.	
115	Установка стоек жесткости БН по сборочным отверстиям (СО) в стойках и стенке БН.	
<i>Сборка концевой нервюры</i>		
120	Установка и фиксация ДСЕ концевой нервюры по базовым элементам оснастки.	
<i>Установка мобильных модулей на мобильную раму</i>		
125	Транспортировка и установка мобильной балки ХЧК (сборочный модуль ХЧК) с собранными задним лонжероном и ХЧК на многофункциональную мобильную раму с помощью цехового крана и приспособления для подъема мобильной балки ХЧК с позиционированием по интерфейсам (центродорам) для ХЧК.	

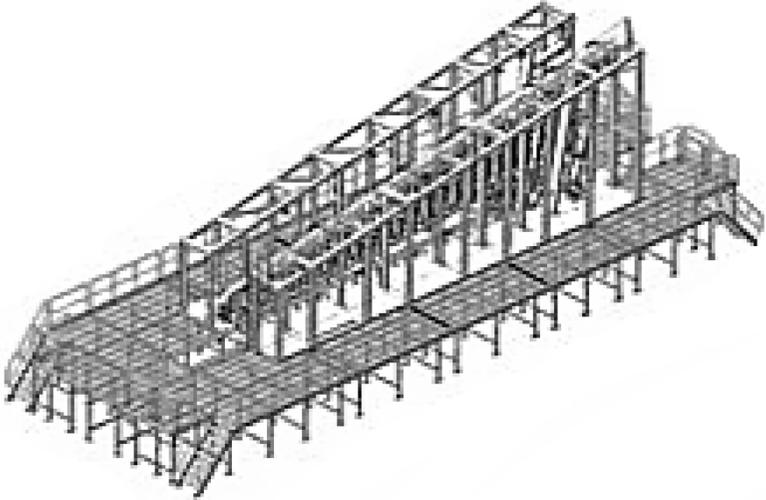
130	Транспортировка и установка на многофункциональную мобильную раму сборочного модуля БН с собранной БН с позиционированием на систему удерживания сборочного модуля БН.	 <p>The image shows a 3D CAD model of a mobile assembly frame. It consists of a long, horizontal mobile beam (НЧК) supported by a mobile frame (МБ) with a crane (ХЧК) mounted on top. The frame is shown in a perspective view, highlighting its complex structure and the various components involved in the assembly process.</p>
135	Транспортировка и установка мобильной балки НЧК (сборочный модуль НЧК) с собранными передним лонжероном и НЧК на многофункциональную мобильную раму с помощью цехового крана и стропы для подъема мобильной балки НЧК с позиционированием на поддерживающие интерфейсы (центродоры) для НЧК.	
140	Перемещение с помощью автоматически управляемой системы AGV (напольная автоматизированная телега) многофункциональной мобильной рамы с установленными в неё мобильной балкой ХЧК, сборочным модулем НБ и мобильной балкой НЧК из участка установки мобильных модулей на мобильную раму в станцию сборки внутреннего каркаса ОЧК.	
<i>Сборка внутреннего каркаса ОЧК</i>		
145	Позиционирование многофункциональной мобильной рамы в станции сборки внутреннего каркаса ОЧК на поддерживающие центрирующие интерфейсы (центродоры) для мобильной рамы.	
150	Соединение бортовой нервюры с лонжеронами НЧК и ХЧК (с каркасом ОЧК).	

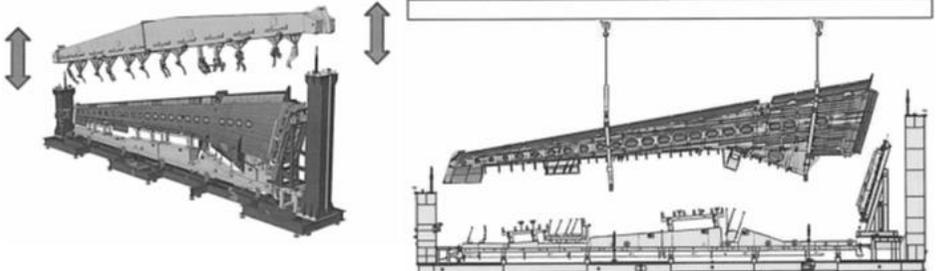
155	Установка и соединение с каркасом концевой нервюры.	
160	Установка нервюр каркаса ОЧК с помощью системы ручной загрузки нервюр с пневматическим приспособлением. Базирование происходит по СО по фитингам лонжеронов переднего и заднего.	
165	Установка на нервюры стенок расходного отсека с позиционированием по сборочным отверстиям (СО).	
170	Окончательное соединение и контроль положения всех внутренних деталей каркаса ОЧК.	
175	Перемещение с помощью автоматически управляемой системы AGV многофункциональной мобильной рамы с собранным каркасом ОЧК в станцию предварительной установки панелей кессона крыла.	
<i>Предварительная установка панелей кессона крыла</i>		
180	Установка многофункциональной мобильной рамы с собранным каркасом ОЧК в станции предварительной установки панелей кессона крыла с позиционированием на поддерживающие центрирующие интерфейсы (центродоры) для мобильной рамы.	

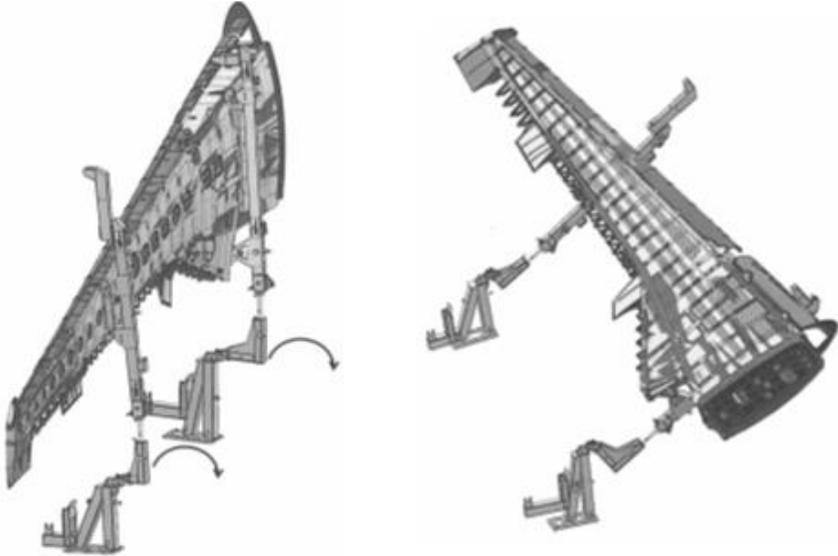
185	<p>Транспортировка верхней и нижней панелей к станции и установка панелей по базовым отверстиям (БО) на узлы позиционирования панелей и упоры-ограничители в автоматизированные приспособления гибкой системы удерживания и позиционирования панелей для позиционирования панелей ОЧК.</p>	
190	<p>Активация гибкой системы удерживания панелей (с вакуумными присосками) посредством основного пульта управления работой вакуумных присосок.</p>	
195	<p>Автоматизированное подведение гибкой системы удерживания и позиционирования панелей с верхней и нижней панелью соответственно к каркасу ОЧК посредством управляющих команд с пульта управления станции.</p>	
200	<p>Поочередная обработка отверстий для технологического крепежа и базовых отверстий для автоматического сверления верхней и нижней панели по направляющим отверстиям в каркасе. Образование отверстий производится ручным механизированным инструментом.</p> <p>Установка временного крепежа по верхней и нижней панелям.</p>	
205	<p>Деактивация гибкой системы удерживания панелей и освобождение верхней и нижней панели от приспособлений для позиционирования панелей ОЧК.</p>	

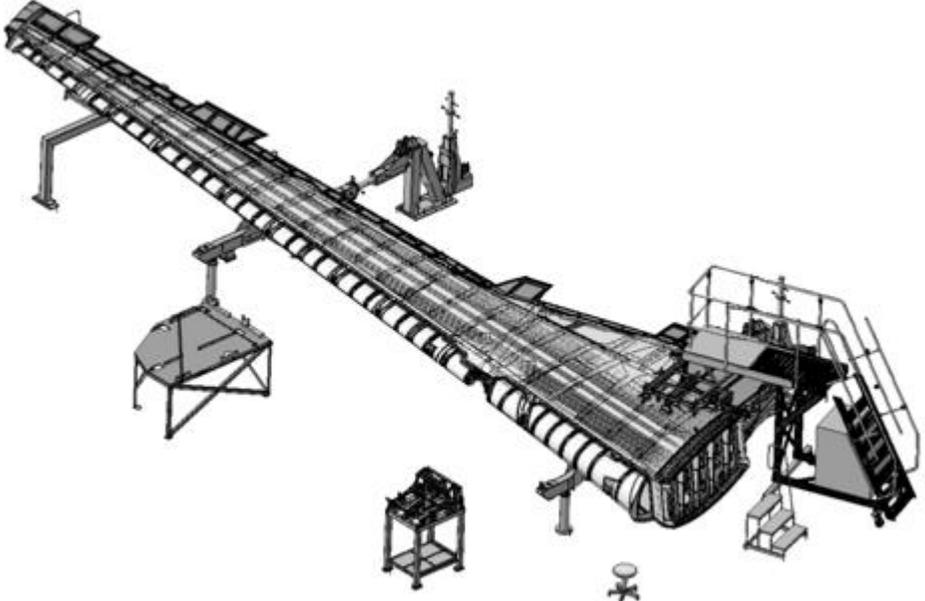
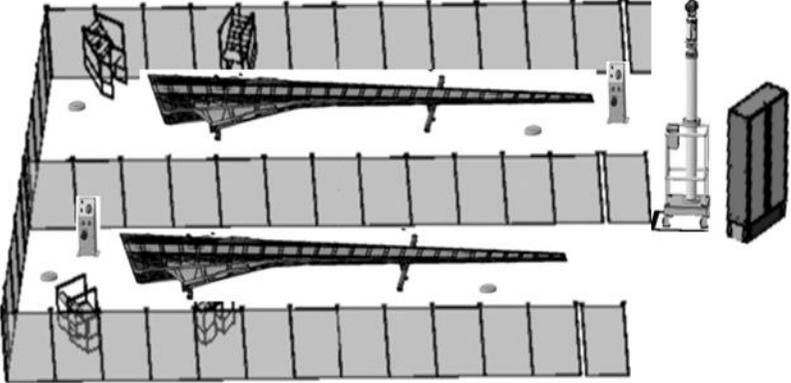
210	Отведение приспособлений для позиционирования панелей ОЧК без верхней и нижней панелей в исходное положение.	
215	Перемещение с помощью автоматически управляемой системы AGV многофункциональной мобильной рамы с собранным каркасом ОЧК и предварительно установленными верхней и нижней панелями ОЧК в станцию автоматического сверления панелей кессона крыла.	
<i>Автоматическая обработка отверстий в соединениях с панелями кессона крыла</i>		
220	Позиционирование многофункциональной мобильной рамы в станции автоматического сверления панелей кессона крыла на поддерживающие центрирующие интерфейсы (центродоры) для мобильной рамы.	
225	Обработка отверстий под крепеж верхней панели кессона посредством автоматизированной сверлильной машины с комбинированным инструментом по заранее подготовленной программе обработки отверстий с заданными режимами в окончательный диаметр.	
230	Перестановка технологического крепежа в обработанные отверстия.	
235	Обработка освободившихся и базовых отверстий по заранее подготовленной программе сверления с заданными режимами в окончательный диаметр.	
240	Переустановка многофункциональной мобильной рамы в станции автоматического сверления.	

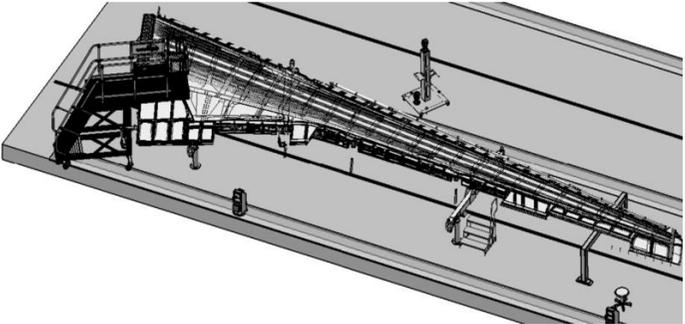
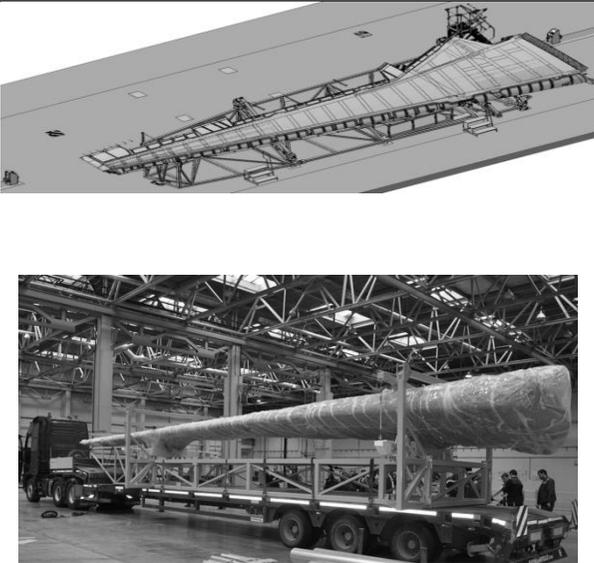
245	Обработка отверстий под крепеж нижней панели кессона посредством автоматизированной сверлильной машины с комбинированным инструментом по заранее подготовленной программе сверления с заданными режимами в окончательный диаметр.	
250	Перестановка технологического крепежа в обработанные отверстия.	
255	Обработка освободившихся и базовых отверстий по заранее подготовленной программе сверления с заданными режимами в окончательный диаметр.	
260	Перемещение с помощью автоматически управляемой системы AGV многофункциональной мобильной рамы с собранным каркасом ОЧК, предварительно установленными верхней и нижней панелями ОЧК с окончательно просверленными отверстиями под крепеж в станцию окончательной установки панелей кессона крыла и выполнения соединений.	
<i>Окончательная установка панелей кессона крыла и выполнения соединений</i>		
270	Установка многофункциональной мобильной рамы с собранным каркасом ОЧК и предварительно установленными верхней и нижней панелями ОЧК в станции окончательной установки панелей кессона крыла и выполнения соединений с позиционированием на поддерживающие центрирующие интерфейсы (центродоры) для мобильной рамы.	

275	Подведение приспособлений для позиционирования панелей ОЧК с системой присосок для удержания панелей посредством управляющих команд с пульта управления станции.	
280	Фиксация верхней и нижней панели на узлы позиционирования панелей и упоры-ограничители.	
285	Активация пневматической системы копирования положения и удерживания панелей вакуумными присосками посредством управляющих команд основного пульта управления работой вакуумных присосок. Отведение приспособления для позиционирования панелей ОЧК с верхней панелью в исходное положение.	
290	Установка сборочной оснастки для установки узлов навески пилона и закрылков.	
295	Установка на нижнюю панель кронштейнов навески пилона и кронштейнов навески закрылков с базированием по сборочной оснастке. Закрепление технологическим крепежом.	
300	Разделка отверстий окончательного диаметра в кронштейнах навески закрылков, кронштейнах навески пилона с помощью шаблонов для сверления. Образование отверстий производят ручным механизированным инструментом с автоматической подачей.	
305	Демонтаж кронштейнов навески закрылков и кронштейнов навески пилона.	

310	Отведение приспособления для позиционирования панелей ОЧК с нижней панелью в исходное положение.	
315	Очистка и подготовка каркаса, верхней и нижней панелей к процессу герметизации.	
320	Герметизация и установка окончательного крепежа нижней панели с установленными на нее кронштейнами навески закрылков и кронштейнами навески пилона.	
325	Герметизация и установка окончательного крепежа верхней панели.	
330	Перемещение с помощью автоматически управляемой системы AGV многофункциональной мобильной рамы с собранным кессоном ОЧК на участок разборки оснастки и выемки кессона из мобильной рамы.	
<i>Разборка оснастки и выемка кессона из мобильной рамы</i>		
335	Демонтаж мобильной балки переднего лонжерона и НЧК и установка ее на поддерживающие интерфейсы мобильной балки переднего лонжерона.	
340	Демонтаж модуля для сборки бортовой нервюры.	
345	Выемка и перемещение консоли крыла с помощью цехового крана и приспособления для подъема консоли.	

350	Установка консоли вертикально на опорные колонны консоли крыла в приспособлении для поворота крыла.	
355	Поворот балок вместе с консолью на опоры, переводя консоль в горизонтальное положение.	
360	Перемещение многофункциональной мобильной рамы в буферную зону с помощью автоматически управляемой системы AGV.	
365	Перемещение консоли крыла с помощью цехового крана на станцию окончательной сборки и монтажа систем в конструкцию консоли крыла.	
<i>Окончательная сборка и монтаж систем</i>		
370	Установка панели основной опоры шасси с помощью приспособления для подъема рамы панели ООШ по сборочной оснастке зоны основной опоры шасси.	
375	Монтаж систем (электрической, гидравлической, топливной, нейтрального газа, противообледенительной).	
380	Установка герметичных технологических заглушек в отверстия бортовой нервюры и заднего лонжерона.	
385	Установка законцовки, совмещающая БО в концевой нервюре и законцовке.	
390	Очистка внутренней поверхности консоли от посторонних предметов, стружки, пыли и т.п.	

395	Установка окончательная крышек люков нижней панели кессона.	
400	Установка окончательная крышек и съемных панелей НЧК.	
405	Перемещение консоли крыла с помощью цехового крана на станцию испытаний консоли крыла.	
<i>Испытания консоли крыла</i>		
410	Проведение контроля гидравлической системы с помощью стенда гидравлических испытаний.	
415	Проведение контроля трубопроводных систем с помощью стенда пневматических испытаний с низким расходом.	
420	Проведение контроля электрических систем с помощью стенда для электрических испытаний.	
	Проведение контроля герметичности с помощью стенда пневматических испытаний с высоким расходом, комплект и детектором утечки гелия.	

425	Перемещение консоли крыла с помощью цехового крана на станцию контроля качества консоли крыла.	
<i>Контроль качества консоли крыла</i>		
430	Контроль аэродинамического обвода ОЧК с использованием лазерной системы.	
435	Контроль геометрии ОЧК в зоне бортовой нервюры с использованием лазерной системы.	
440	Контроль расположения узлов навески механизации и управления ОЧК с использованием лазерной системы.	
445	Перемещение консоли крыла с помощью цехового крана на станцию упаковки и отгрузки крыла.	
<i>Упаковка и отгрузка крыла.</i>		
450	Упаковка и отгрузка конечного продукта.	

Приложение О

Акт использования результатов диссертации

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор



АО «АэроКомпозит-Ульяновск»

А.В. Третьяков

(личная подпись, расшифровка подписи)

» 09 20 22 г.

АКТ

использования результатов научно-исследовательских,
опытно-конструкторских и технологических работ

В ходе разработки и внедрения серийной технологии выполнения отверстий окончательного диаметра под крепеж верхней и нижней панелей кессона крыла транспортного самолета посредством автоматизированной сверлильной машины при сборке на модульном сборочном оборудовании в АО «АэроКомпозит-Ульяновск» использованы следующие результаты диссертационной работы Султановой Альбины Руслановны на тему: «Выполнение механических соединений в пакетах из композиционных и металлических сплавов при сборке на модульном оборудовании»:

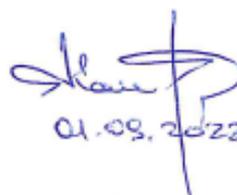
1. Рекомендации по разработке технологического процесс выполнения механических соединений в крупногабаритных конструкциях со смешанными пакетами
2. Результаты расчетов точности геометрических параметров ОЧК, необходимых для привязки автоматизированной сверлильной машины.
3. Результаты расчетов точности геометрического положения просверленных отверстий при разборке пакета и обратном точном позиционировании собираемых ДСЕ кессона крыла на модульном оборудовании.

4. Рекомендации по выбору параметров режимов резания при сверлении отверстий различного диаметра в смешанных пакетах с различными комбинациями слоев.
5. Результаты исследования повторяемости положения и точности отверстий после разборки пакета и обратного точного позиционирования ДСЕ в крупногабаритной конструкции.

В результате внедрения разработок .Султановой А.Р. в единичный технологический процесс автоматизированного сверления отверстий окончательного диаметра под крепеж верхней и нижней панелей кессона крыла самолета МС-21 на модульном сборочном оборудовании достигнуто сокращение на 8% трудоемкости сборки кессона крыла. Работа Султановой А.Р. позволила сократить цикл сборки кессона ОЧК на 20% на этапе сверления отверстий и выполнения механических соединений панелей и лонжеронов кессона ОЧК

Разработанная технология обеспечила повышение эффективности процесса сборки и качества изделий за счет технологии сверления, а также точного позиционирования ДСЕ с условием разборки пакета и возвратным точным положением.

Первый заместитель
технического директора –
Директор по производству
АО «АэроКомпозит-Ульяновск»


01.09.2022 А.В.Комаров

Главный технолог
АО «АэроКомпозит-Ульяновск»


01.09.2022 А.В.Ульянов