

УДК 621.95.025.7

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТАХ

А.А. Стуров¹

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье рассмотрены области применения композиционных материалов в составе смешанных пакетов (СП), определены проблемы при обработке многослойного СП, рассмотрена традиционная и новая технологии обработки отверстий в СП, указаны преимущества современных сверлильных машин с автоматической подачей (СМАП), выполнен анализ зарубежных и отечественных инструментальных решений для обработки СП, приведена методика проведения эксперимента по обработке многослойных смешанных пакетов с использованием специального инструмента, современных СМАП и смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ).

Ключевые слова: сверление; смешанный пакет; полимерный композиционный материал; титановый сплав; твердосплавное сверло; СМАП.

EFFECTIVENESS INCREASE OF HOLE-MAKING OPERATION IN MULTILAYER STACKS

A. Sturov

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074.

The article describes the fields of application of composite materials in mixed packs and the problems in the processing of multi-layer mixed packs. It discusses the traditional and the new technology of hole-making operation in mixed packs. The advantages of modern automatic-feed drilling machines are highlighted. The author provides the analysis of foreign and domestic tooling solutions for treatment of mixed packs and experimental methodology in the treatment of multilayer mixed packs using the special tool, modern automatic-feed drilling machines and cutting coolant.

Keywords: drilling; mixed stack; composite material; titanium alloy; carbide drill; automatic-feed drilling machine.

В авиации широкое применение находят алюминиевые и титановые сплавы, однако в последнее время полимерные композитные материалы (ПКМ) начинают занимать лидирующие позиции. ПКМ это материалы, состоящие из армирующего наполнителя (на основе углеродных, стеклянных и других видов волокон) и полимерной матрицы. ПКМ состоят, как правило, из нескольких слоев, разных по своей структуре и свойствам, но в совокупности обеспечивающие требуемые характеристики готового продукта и позволяют существенно снизить вес деталей без потери эксплуатационных характеристик.

Важной производственной задачей является получение надёжных соединений ПКМ с металлическими сплавами (смешанные пакеты, пакеты). В подавляющем большинстве соединения выполняются путём установки соединительных элементов в полученные сверлением отверстия [1].

Проведёнными рядом авторов исследованиями [2–4] установлено существенное отличие механизма резания лезвийным инструментом ПКМ и металлических материалов. Если при обработке металлических сплавов процесс является результатом пластических деформаций, то в случае ПКМ имеют место только упругие деформации.

Смешанный пакет (СП) – соединение различных материалов как металлов, так и неметаллов, например, ПКМ + титановый сплав + алюминиевый сплав. Смешанные пакеты в основном соединяются при помощи болтовых соединений или заклепок, через заранее просверленные отверстия. Клеевое соединение СП не подходит для ответственных деталей, работающих в широком диапазоне температур, из-за разного коэффициента теплового расширения соединяемых материалов. Сварное соединение СП также не применимо из-за разной природы материалов. Поэтому наиболее универсальным методом соединения до сих пор остается болтовое или заклепочное соединение [5].

Для обработки разных материалов требуются разные режимы резания, разные инструменты. В то время как в многослойных смешанных пакетах, для соблюдения соосности отверстий, обработка должна проводиться одновременно во всех слоях, поэтому только компромиссное решение может

¹ Стуров Антон Андреевич, магистрант кафедры технологий и оборудования машиностроительных производств, e-mail: hero124@yandex.ru

Sturov Anton, a Master's Degree student of Technologies and Mechanical Facilities Equipment Department, e-mail: hero124@yandex.ru

обеспечить высокое качество отверстий во всех слоях пакета. От качества отверстий зависит долговечность соединения, а значит, и безопасность эксплуатации воздушного судна.

Традиционная технология обработки отверстий на этапе сборочного и агрегатно-сборочного производства подразумевает использование ручных пневматических сверлильных машин. Отверстия, как правило, получают за несколько операций (сверление, зенкерование, развертывание). Обработка ПКМ, в том числе в составе пакетов, требует от оператора обеспечения постоянства подачи для предотвращения расслаиваний. Квалификация оператора на таких операциях должна быть очень высокой, но даже в таком случае вероятность брака остается на высоком уровне.

Современная технология обработки отверстий подразумевает использование сверлильных машин с автоматической подачей (СМАП), которые позволяют поддерживать постоянную подачу или даже имеют возможность программно изменять режимы резания в процессе работы в зависимости от обрабатываемого материала пакета. СМАП с возможностью программного изменения режимов в настоящее время являются уникальными и в серийном производстве практически не используются. Применение СМАП позволяет снизить трудоемкость обработки, уменьшить количество операций, снизить номенклатуру используемого режущего инструмента, уменьшить количество брака и снизить требования к квалификации исполнителей [6].

Обработка отверстий в многослойных смешанных пакетах содержащих ПКМ, алюминиевый и титановый сплавы является наиболее сложной задачей. Несмотря на достаточную изученность механизмов резания вышеуказанных материалов, при их совместной обработке в пакете имеет место ряд существенных технических проблем: нельзя использовать СОЖ в достаточных количествах, обработка разных материалов производится с неизменными режимами резания, сильный нагрев при обработке титанового сплава и как следствие температурные повреждения ПКМ, повреждение отверстий в ПКМ металлической стружкой и др.[7].

Решение данной задачи можно разбить на следующие этапы:

1. Анализ зарубежных инструментальных решений.
2. Разработка программы и методики испытаний.
3. Проведение экспериментальных исследований и выбор оптимальных режимов резания на конструктивно-подобных образцах.
4. Внедрение технологии в производство.

Отечественные фирмы занимают небольшой сегмент рынка, и в их каталогах отсутствует необходимый спец. инструмент, но также можно отметить опытные разработки Иркутского авиационного завода – филиала ОАО «Научно-производственная корпорация «Иркут» (ИАЗ) [8]. Данное предприятие также занимается разработками инструмента для сверления смешанных пакетов [1].

После анализа зарубежных инструментов для обработки смешанных пакетов были выбраны следующие инструменты:

- сверло фирмы Sandvik Coromant (PRECORP), геометрия CoroDrill серии 86PT;
- сверло фирмы MAPALMI 30707779;
- сверло фирмы Recoules 02003939PT.

Данные инструменты представляют собой спиральные сверла. Сверло Sandvik Coromant имеет резьбовой хвостовик (рис. 1,а). Режущая часть сверла изготовлена из твердого сплава и имеет вставки из поликристаллического алмаза (PCD). Сверло MAPALMI 30707779 имеет цилиндрический хвостовик (рис. 1,б). Режущая часть сверла изготовлена из твердого сплава. Сверло Recoules 02003939PT имеет цилиндрический хвостовик (рис. 1,в). Сверло изготовлено из твердого сплава.



Рис. 1. Исследуемый инструмент: а – сверло Sandvik Coromant 86PT, б – сверло MAPALMI 30707779, в – Recoules 02003939PT

Только экспериментальные исследования позволяют определить достижимые параметры качества отверстий (шероховатость отверстий, диаметральная точность, отклонения формы) для конкретного обрабатываемого смешанного пакета.

Основные характеристики исследуемых сверл приведены в табл. 1.

Основные конструктивные различия данных сверл в следующем:

- тип хвостовика;
- различные износостойкие покрытия (вставки).

Таблица 1

Характеристики инструмента

Характеристика	PRECORP 86PT	MAPAL MI 30707779	Recoules 02003939PT
Тип хвостовика	Резьбовой UNF 9/16"-18	Резьбовой UNF 7/16"-20	Резьбовой UNF 7/16"-20
Тип заточки	двойная с подточкой перемычки	двойная с подточкой перемычки	двойная с подточкой перемычки
Материал	твердый сплав + сталь	твердый сплав	твердый сплав
Износостойкое покрытие (вставки)	вставки из PCD	Нет	Нет
Каналы для подвода СОЖ	есть	есть	есть
Отделка стружечных каналов	полированные	полированные	полированные
Номинальный диаметр, мм	12	12	12
Длина, мм	120	162	140
Длина режущей части, мм	45	96	135
Угол при вершине, гра- дус	155 ⁰ /130 ⁰	135 ⁰	135 ⁰

В качестве конструктивно подобного образца стыка «консоль крыла–центроплан» МС-21 был взят пятислойный смешанный пакет (рис. 2).

Разные сечения стыка имеют различные составы смешанных пакетов подлежащих обработке, но наиболее сложным составом является следующий:

- 1) алюминиевый сплав 1933Т2 (7 мм);
- 2) титановый сплав ВТ6 ОСТ 1.90218-76 (11 мм);
- 3) ПКМ на основе препрега Hexply M21/34%/UD194/IMA (лента углеродная IMA, связующее M21) ТТ 21.0000-57 (16 мм);
- 4) титановый сплав ВТ6 ОСТ 1.90218-76 (6 мм);
- 5) алюминиевый сплав 1933Т2 (7 мм).

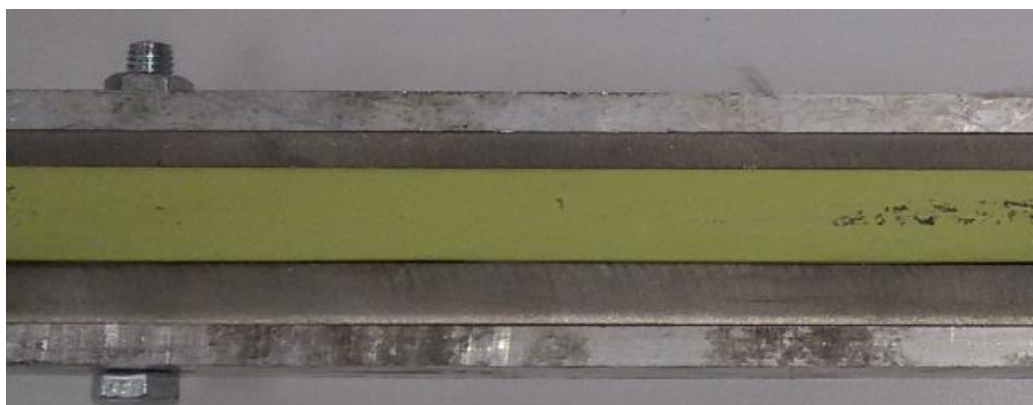


Рис. 2. Конструктивно подобный образец

В качестве СМАП была взята сверлильная машина Atlas Copco PFD-1500 (рис. 3) – это дрель с автоматической подачей режущего инструмента. Она предназначена для обработки отверстий в конструкциях, содержащих сочетания металлических сплавов и ПКМ. Дрель оснащена управляемым пневмодвигателем, он обеспечивает постоянно высокую производительность при обработке любых материалов и постоянную скорость вращения шпинделя под нагрузкой, близкую к частоте свободного вращения. Байонетное крепление позволяет обеспечить надежное закрепление дрели в кондукторе. Модульная конструкция позволяет быстро и легко установить необходимые режимы резания или произвести ремонт инструмента. Сверлильная машина PFD-1500 может быть использована как для непрерывного сверления, так и для прерывистого (с вибрациями), которое реализуется с помощью специального блока микровибраций.



Рис. 3. Сверлильная машина Atlas Copco PFD-1500

Технические характеристики PFD-1500 указаны в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики СМАП

Характеристика	Единица измерения	Значение
Мощность (механическая) на шпинделе	Вт	1500
Потребление сжатого воздуха	л/с	16-35
Давление в пневмосети	Бар	6,3
Вес в базовой комплектации	кг	5,5
Диапазон устанавливаемых частот вращения	об/мин	100-1200
Количество частот вращения	шт.	12
Диапазон устанавливаемых подач	мм/об	0,023-0,33
Количество устанавливаемых подач	шт.	11
Внутренняя резьба наконечника шпинделя		UNF 9/16"-18

При сверлении тяжело обрабатываемых материалов, таких как титановый сплав, для получения отверстий высокого качества и повышения стойкости инструмента требуется применение СОЖ в виде масляного тумана. Для подготовки масляного тумана и подачи его в зону резания применяется станция СОЖ. Такая станция также выполняет функцию подготовки воздуха (фильтрация, регулировка давления, обогащение маслом для смазки пневмодвигателя).

Масляный туман и сжатый воздух подается в зону обработки через шпиндель и каналы в режущем инструменте. Расход воздуха регулируется специальным краном. Расход СОЖ регулируется частотой импульсов и величиной расхода за один импульс.

В технологическую цепь «шпиндель-инструмент» возможна установка блока микровибраций фирмы MITIS (рис. 4), что позволяет использовать PFD-1500 как для непрерывного сверления, так и для прерывистого (с вибрациями). Прерывистое сверление способствует ломке металлической стружки и легкому отводу ее из отверстия.



Рис. 4. Сверло, блок микровибраций MITIS, шпиндель (слева на право)

Для удаления пыли от ПКМ и измельченной стружки от титанового сплава из зоны резания и рабочей зоны оператора используется высоковакуумная система аспирации подключаемая к носовику СМАП.

Сверла с резьбовым хвостовиком устанавливаются непосредственно в шпиндель и центрируются по конусу с углом 120° .

Хорошее закрепление сверлильной машинки перед обработкой позволяет обеспечить точность обработки, точность базирования и относительного расположения отверстий, кроме того предотвращает перекося машинки, который может привести к разбивке отверстия и поломке инструмента.

Закрепление СМАП на базе накладных кондукторов обеспечивает большую точность диаметров, расположения, и направление оси отверстий. Базирование кондукторов на изделии, как правило, производится по базовым отверстиям, а фиксация посредством струбцин, зажимов или болтов.

Для сверлильной машинки был изготовлен накладной кондуктор на четыре отверстия (рис. 5).

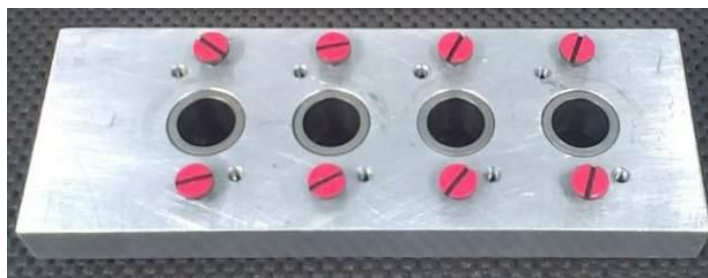


Рис. 5. Накладной кондуктор для Atlas Corco PFD-1500

В соединении «втулка кондуктора – втулка сверлильной машины» используется посадка g5/H6. Данная посадка обеспечивает легкую установку СМАП и в то же время минимальные зазоры в соединении, что в свою очередь благоприятно сказывается на качестве обрабатываемых отверстий.

Предлагается следующий план эксперимента по определению оптимальных режимов резания:

1. Установить инструмент в СМАП, отрегулировать ход инструмента с учетом толщины пакета, зазоров и перебега.
2. Установить требуемые режимы резания путем установки необходимых редукторов (указаны в табл. 3).
3. Оценить процесс обработки на наличие посторонних звуков, наматывания стружки, скопления стружки в стружечных канавках, плавления стружки, плавления углепластика, деструкции связующего углепластика (появление дыма с характерным полимерным запахом), поломки режущего инструмента.
4. Произвести изменение режимов резания в соответствие с табл. 3.
5. После окончания работы одним инструментом, установить следующий инструмент.
6. После обработки всех отверстий оценить качество обработки на наличие сколов, задигов, заусенцев, шероховатости.

После проведения работ по сверлению все отверстия подвергаются измерению диаметра и отклонения формы отверстий при помощи КИМ, измерению шероховатости в металле при помощи контактного профилометра, измерению шероховатости в ПКМ при помощи оптического профилометра

Режимы резания

Порядковый номер эксперимента	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин
1	0,023	3,8
2	0,023	5,3
3	0,023	6,8
4	0,023	7,5
5	0,023	10,2
6	0,023	13,6
7	0,05	3,8
8	0,05	5,3
9	0,05	6,8
10	0,05	7,5
11	0,05	10,2
12	0,05	13,6
13	0,075	3,8
14	0,075	5,3
15	0,075	6,8
16	0,075	7,5
17	0,075	10,2
18	0,075	13,6

Результаты измерений будут статистически обработаны. Планируется выявить влияние режимов резания на шероховатость, диаметральную точность и отклонения формы отверстий.

Библиографический список

1. 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).
2. Штучный Б.П. Обработка резанием пластмасс. – М.: Машиностроение, 1974. – 144 с.
3. Степанов А.А. Некоторые вопросы механики резания высокопрочных композиционных материалов. В кн.: Перспективы развития резания конструкционных материалов. – М.: ЦН НТО Машпрома, 1980. – С. 254–255.
4. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
5. Пикалов А.А. Особенности разделки отверстий в смешанных пакетах КМ-Ti-Al // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14, № 4 (2). – С. 669–676.
6. Чащин Н.С. Обработка отверстий в смешанных пакетах методом орбитального сверления./Н.С. Чащин, Ю.Н. Иванов // Вестник Иркутского государственного университета. – 2015. – № 11 (106).
7. Иванов Ю.Н., Сверление отверстий в смешанных пакетах // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 1–5. – С. 1402–1406.
8. Савилов А.В., Современное состояние производства высокопроизводительного режущего инструмента из порошковых быстрорежущих сталей и твердых сплавов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013.– № 6 (77).

