

ОСОБЕННОСТИ РАЗДЕЛКИ ОТВЕРСТИЙ В СМЕШАННЫХ ПАКЕТАХ КМ-Ti-Al

© 2012 А.А. Пикалов

Филиал ОАО «Корпорация «Иркут» в г. Ульяновск

Поступила в редакцию 10.10.2012

Доклад посвящён поискам путей решения проблемы разделки качественных отверстий в смешанных пакетах КМ-Ti-Al, предусмотренных конструкцией хвостового оперения и центроплана перспективного самолёта МС-21. Сможет ли применение сверлильных машин с автоматической подачей (СМАП) вывести технологию сборки агрегатов самолётов на новый уровень, до настоящего времени не достигнутый российским авиапромом? Будет ли такое применение экономически и технологически обоснованным? Возможно, что наш опыт и опыт ведущих зарубежных авиастроительных компаний поможет ответить на эти вопросы.

Ключевые слова: сверлильная машина с автоматической подачей, постоянная подача, импульсная («кляющая») подача, композиционные материалы, смазочно-охлаждающая жидкость, опытно-конструкторские работы, нормативная документация, координатно-измерительная машина

ВВЕДЕНИЕ

В авиационной промышленности, в условиях жёсткой борьбы за потребителя, ведущие мировые производители в качестве главного стратегического направления выбирают путь на создание лёгкого и высокоэкономичного воздушного судна (ВС). Значительно увеличивается доля применяемых деталей из композиционных материалов (КМ) и Ti сплавов в виду их высоких механических характеристик, гарантированных при высоких нагрузках, которые возникают при эксплуатации современных ВС.

В связи с непрерывно растущими требованиями к экономичности авиационной техники, конкурентоспособность российского авиапрома может быть достигнута только при увеличении объёмов применения в производстве КМ и Ti сплавов, и современных технологий по их обработке.

Специфика свойств изделий из КМ делает невозможным эффективно использовать существующие технологии по механической обработке металлов резанием. Особенно сложной задачей является разделка отверстий в смешанных пакетах, таких как КМ-Ti-Al. Для минимизации погрешностей установки и соединения различных конструкций, отверстия в таких пакетах необходимо разделять совместно. При разработке такой методики разделки отверстий инженеры сталкиваются с проблемами, возникающими в виду разности требований к качеству и режимам механической обработки для каждого из материалов пакета. Разность при выборе скорости подачи режущего инструмента, скорости вращения шпинделя сверлильного устройства

при обработке деталей из Al и Ti сплавов и конструкций из КМ приводят к неравномерному нагреву элементов пакета при сверлении, поверхностным повреждениям материалов, износу режущего инструмента и т.д.

Высокие требования к качеству и технологии разделяемых отверстий в КМ и, в частности, в смешанных пакетах с применением КМ, диктуют особые условия разделки отверстий с применением специализированного стационарного оборудования, что в принципе, на этапе изготовления деталей, сложной технологической задачей не является. Серьёзные затруднения возникают на этапе стапельной сборки агрегатов, например при сборке оперения и центроплана ВС, где применение стационарного оборудования невозможно в виду ограниченного подхода к зонам разделки отверстий. Поэтому для повышения степени чистоты отверстий, классности, перпендикулярности, избежания возможных задиров на КМ и др., требуется компактное сверлильное оборудование, имеющее возможность производить сверление в местах с ограниченным подходом к месту обработки детали. Устройства, осуществляющие обработку отверстий непосредственно на деталях, составляют семейство сверлильных машин с автоматической подачей (СМАП).

Приводом СМАП может быть пневматический или электрический двигатель. Наиболее приемлемым в рамках авиационной промышленности является пневмопривод.

По типу механизма автоматической подачи-возврата режущего инструмента СМАП делятся на два вида:

- сверлильные машины с постоянной подачей;
- сверлильные машины с импульсной («кляющей») подачей;

Пикалов Антон Александрович, менеджер производственного отдела. E-mail: anton.pikalov@ufki.irkut.com

ющей») подачи.

Выбор подходящего механизма для сверлильной задачи зависит от:

- толщины пакета;
- свойств материалов пакета;
- диаметра отверстий;
- допусков;
- наличия зенкования;
- размеров пространства для размещения СМАП;
- условий подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Для сверления глубоких отверстий в легкообрабатываемых металлических материалах используются СМАП с постоянной подачей. Для сверления же пакетов из труднообрабатываемых материалов или пакетов, состоящих из слоев различных материалов, включая труднообрабатываемые, лучше всего подходят СМАП с импульсной («клюющей») подачей.

В зависимости от размеров свободного пространства для размещения сверлильного устройства и глубины сверления, подбирается соответствующая конфигурация СМАП - продольная или угловая.

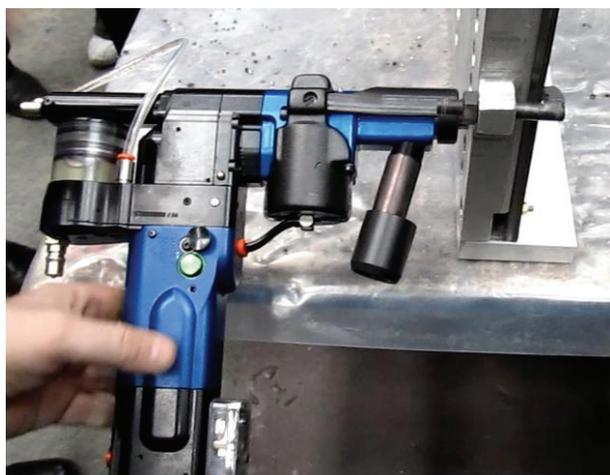


Фото 1. ST1200 с концентрическим цанговым механизмом крепления в кондукторе

Кроме названных характеристик, при выборе необходимой СМАП должны учитываться сложность и стоимость оснастки для крепления машин, производительность операции в соотношении с объемом доступных для данной задачи средств.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Ввиду вышесказанного, в рамках выполнения опытно-конструкторских работ (ОКР) по перспективному самолёту МС-21, специалистами ЗАО «Авиастар-СП» совместно с представителями филиала ОАО «Корпорация «Иркут» в г. Ульяновск были проведены комиссионные испытания первой в России СМАП - ST1200 с концентрическим цанговым механизмом крепления в кондукторе (фото 1) и импульсной («клюющей») подачей режущего инструмента, системой подачи СОЖ в зону сверления через маслоканалы режущего инструмента, а так же системой отвода измельченной стружки (фото 2), позволяющие уменьшать влияние последней на качество разделки отверстий. Машина предоставлена компанией Desoutter, отделением SETI-TEC (Франция).

СМАП ST1200 состоит из трех основных модулей: двигателя, редуктора и шпиндельного узла. Позиционирование данных модулей позволяет получить продольную или угловую конфигурацию

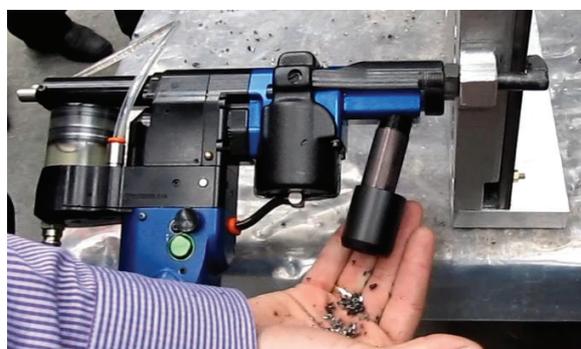


Фото 2. Наличие «клюющей» подачи и системы отвода измельченной стружки



Фото 3. Система подачи СОЖ в зону сверления через режущий инструмент



Фото 4. Счётчик циклов для своевременной замены режущего инструмента

Таблица 1

Материал и скорость обработки (м/мин)	Показатель	Диаметр сверла (мм)						
		3	5	6	8	10	11	13
Алюминий (90)	Скорость (об/мин)	9000	6000	4600	3600	3000	2600	2300
	Подача (мм/оборот)	0.05	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Мощность (ЛС)	0.2	0.3	0.6	1.0	1.5	1.8	2.0
Мягкая сталь (27)	Скорость (об/мин)	2700	1800	1300	1100	900	750	650
	Подача (мм/оборот)	0.13	0.13	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15
	Мощность (ЛС)	0.2	0.3	0.6	1.0	1.5	1.8	2.0
Высокопрочная или нержавеющая сталь (9)	Скорость (об/мин)	900	600	450	375	300	250	220
	Подача (мм/оборот)	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
	Мощность (ЛС)	0.2	0.3	0.6	1.0	1.5	1.8	2.0
Титан, инконель (6)	Скорость (об/мин)	600	400	300	250	200	175	150
	Подача (мм/оборот)	0.05	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.13
	Мощность (ЛС)	0.2	0.3	0.6	1.0	1.5	1.8	2.0
Композиционные материалы	Композиты представляют широкий спектр материалов: углепластик, стеклопластик, кевлар, керамика. При выборе оптимальных режимов резания учитываются тип волокна, связка, режущий инструмент. Усилие подачи может быть небольшим, но скорость подачи должна быть обязательно постоянной. Используется режущий инструмент из твердого сплава или алмазный							
Комбинированные пакеты	При обработке пакетов из различных материалов, режим подбирается по самому труднообрабатываемому материалу. Лучше использовать СМАП с «ключущей» подачей							

машины. Дополнительными модулями СМАП являются: носовая насадка, подбираемая по размерам режущего инструмента и механизму крепления СМАП в кондукторе (цанговому или байонетному), микронасос для подачи СОЖ (фото 3), счетчик циклов для учета сверлильных операций и отслеживания времени наработки (фото 4).

Модульный принцип построения СМАП и подбор соответствующего режущего инструмента позволяют получить устройство, настроенное на конкретную сверлильную задачу и режим обработки. В Таблице 1 приведены справочные данные режимов обработки для основных авиационных материалов. По свойствам материала и требованиям к качеству отверстий определяются такие характеристики машины, как скорость и мощность привода, скорость подачи режущего инструмента. Определение хода и длины шпинделя зависит от толщины пакета материалов. Конструкция шпинделя должна соответствовать конструкции хвостовика режущего инструмента, которая может различаться в зависимости от диаметра режущего инструмента, наличия зенковальной части и каналов подачи СОЖ.

СМАП ST1200 разработана для сверления пакетов из труднообрабатываемых материалов, таких как Ti, или комбинированных пакетов, в

которых, по крайней мере, один из слоев является труднообрабатываемым материалом.

СМАП ST1200 с импульсной («ключущей») подачей производит периодическую подачу и выемку режущего инструмента. В отличие от сверления с постоянной подачей (рис.1), когда отверстие проходится насквозь за один цикл, в машинах с импульсной («ключущей») подачей (рис.2) цикл сверления разделен на несколько этапов. С каждым этапом режущий инструмент погружается на определенную глубину и вынимается для охлаждения и освобождения от стружки. Глубина при каждом этапе увеличивается до тех пор, пока пакет не будет просверлен насквозь.

При сверлении с постоянной подачей образуется более крупная и длинная стружка (фото 5), при этом стружка более твердого слоя, проходя через более мягкий материал, может повредить поверхность отверстия в мягком слое. Импульсная «ключущая» подача исключает этот недостаток благодаря образованию мелкой, фрагментарной стружки (фото 6). Кроме этого, периодическая выемка режущего инструмента и охлаждение не вызывают перегрева сверла и термических изменений на поверхности отверстий.

Резьбовая фиксация хвостовика режущего инструмента обеспечивает наилучшее качество

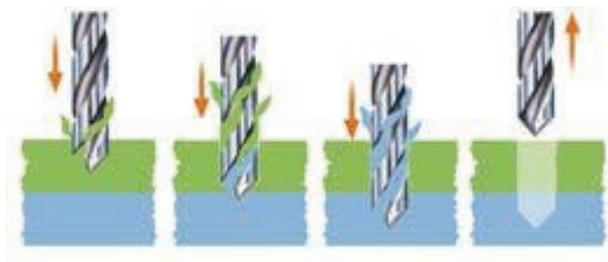


Рис. 1 Постоянная подача

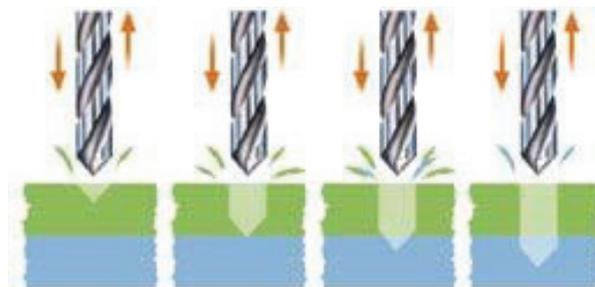


Рис. 2 Импульсная («клюющая») подача



Фото 5. Стружка при постоянной подаче



Фото 6. Стружка при импульсной («клюющей») подаче

сверления и скорость обработки материалов благодаря непосредственной фиксации режущего инструмента в шпинделе, возможности подачи СОЖ через режущий инструмент.

Шпиндель с резьбовой фиксацией может быть полым – для транспортировки СОЖ. СМАП ST1200 с резьбовой фиксацией режущего инструмента производят сверление высококачественного отверстия и зенкование за один переход.

Использование СОЖ существенно улучшает процесс сверления, повышает скорость обработки материалов и сберегает режущий инструмент. СМАП ST1200 оснащена микронасосом подачи СОЖ. Наибольший эффект от использования СОЖ и наилучшие результаты сверления достигаются твёрдосплавным режущим инструментом с напылением и с внутренними маслосамоулавливателями. Наиболее предпочтительными для автоматического сверления труднообрабатываемых авиационных материалов или пакетов материалов, включая труднообрабатываемые, являются полностью синтетические, не содержащие хлоридов, фосфора, серы, и не оказывающие отрицательного влияния на адгезию материалов с герметиками, эмульсии марок ACCU-LUB фирмы ROCOL (США) и ALUMICUT фирмы SETRAL CHEMIE (Германия).

СМАП ST1200 крепится своей носовой частью за специализированную оснастку (кондуктор), устанавливаемую и зафиксированную напротив просверливаемых материалов.

Кондуктор изготавливается из прочного алюминиевого сплава толщиной от 10 до 40 мм. Фиксация концентрической цапги в отверстии кондуктора производится за счет расширения цапговой втулки, а механизм расширения приводится в действие с помощью пневматического цилиндра. Концентрическая цапга удобна в задачах с зенкованием или для высококачественной разделки отверстий (Н7), когда требуется дополнительный переход и смена режущего инструмента. Концентрическая цапга используется так же там, где требуется высокая скорость перестановки машины от отверстия к отверстию.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Данное исследование является составной частью ОКР по теме «Изготовление металлических деталей. Отработка технологии сборки. Сборка конструктивно-подобных и натуральных образцов соединений, ограниченных и натуральных отсеков элементов конструкции хвостового оперения семейства самолетов МС-21. Разработка проектов нормативной документации (НД) по технологии сборки».

Задачи данной ОКР:

- проведение экспериментальных исследований по отработке технологии разделки отверстий на образцах с допусками Н9 с применением СМАП;

- анализ результатов работы.

В экспериментах использовались следующие смешанные пакеты:

- КМ (плита от ОНПП «Технология» - углепластик на основе HexPly M21/34%/UD194/IMA, покрытый стеклотканью, S=4 мм) + Al (Д16Т, S=5 мм);

- КМ (плита от ОНПП «Технология» - углепластик на основе HexPly M21/34%/UD194/IMA, покрытый стеклотканью, S=4 мм) + Ti (ВТ6ч, S=4 мм).

Разделка отверстий проводилась через кондукторную плиту с применением СОЖ ACCU-LUBE LB5000 компании ROCOL (США). Разделка отверстий осуществлялась последовательно со стороны углепластика и со стороны металлов. Практика показывает, что в первом случае, направление сверления приводит к наименьшему расслаиванию материала на выходе режущего инструмента.

Турбодвигатель компании-производителя Atlas Copco (Швеция), после соответствующей переконфигурации, обеспечивал два значения скорости вращения шпинделя при одинаковой скорости подачи режущего инструмента (S=0,06 мм/об) - n=600 об/мин для пакета КМ-Ti и n=3000 об/мин для пакета КМ-Al.

На основании опыта эксплуатации режущего инструмента было принято решение не использовать в качестве материала для рабочей части сверла быстрорежущую сталь (HSS) и быстрорежущий кобальт (HSS-Co), а применить

карбид (твёрдосплавной материал). Режущий инструмент был предоставлен компанией Sandvik-Precor (США) – Ж 6,35 мм с цилиндрическим резьбовым хвостовиком и маслоканалами для подачи СОЖ (фото 7).

3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Измерения производились в центральной измерительной лаборатории (ЦИЛ) ЗАО «Авиастар-СП» на координатно-измерительной машине (КИМ) GLOBAL № GLOA 000672, предназначенной для решения самого широкого круга задач размерного контроля в промышленности. Важнейшими потребительскими качествами КИМ GLOBAL являются:

- чрезвычайно высокая производительность и надежность;
- повышенная точность (погрешность КИМ: $\pm (2,1+L/333)$ мкм, (где L - в мм));
- неограниченная универсальность применения.

3.1. Разделка отверстий в пакете КМ-Al

На фото 8 и 9 показаны полученные в пакете КМ-Al отверстия. Результаты измерений чистоты качества полученных отверстий приведены в табл. 2.

Отверстия, соответствующие допуску:

Al 1 (25%) КМ 0

Отверстия, превышающие допуск:

Al 0 КМ 0

Отверстия, уходящие в минусовой допуск:

Al 3 (75%) КМ 4 (100%)

Среднее отклонение от круглости:

Al: 0,063 КМ: 0,053

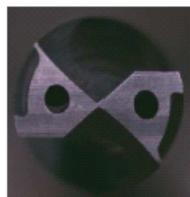


Фото 7. Сверло твёрдосплавное Ж 6,35 мм с цилиндрическим резьбовым хвостовиком и маслоканалами для подачи СОЖ компании Sandvik-Precor (США)



Фото 8. Вид со стороны Al



Фото 9. Вид со стороны KM

Таблица 2

№ отв.	Ø отв. по КД	Допуск по КД	Ø отв. факт.		Откл. Ø отв.		Откл. от круглости		Режим сверления
			Al	KM	Al	KM	Al	KM	
1	6,35	H9 (+0,036)	6,336	6,321	-0,014	-0,029	0,037	0,036	Сверление со стороны Al с СОЖ скорость 3000 об/мин, подача 0,06 мм/об
2	6,35	H9 (+0,036)	6,275	6,327	-0,075	-0,023	0,138	0,038	
3	6,35	H9 (+0,036)	6,370	6,326	0,020	-0,024	0,028	0,028	Сверление со стороны ПКМ с СОЖ скорость 3000 об/мин, подача 0,06 мм/об
4	6,35	H9 (+0,036)	6,329	6,298	-0,021	-0,052	0,047	0,108	Сверление со стороны ПКМ без СОЖ скорость 3000 об/мин, подача 0,06 мм/об

3.2. Разделка отверстий в пакете KM-Ti

На фото 10 и 11 показаны полученные в пакете KM-Ti отверстия. Результаты измерений чистоты качества полученных отверстий приве-

дены в табл. 3.

Отверстия, соответствующие допуску:
Ti 3 (75%) KM 0

Отверстия, уходящие в минусовой допуск:
Ti 0 KM 3 (75%)

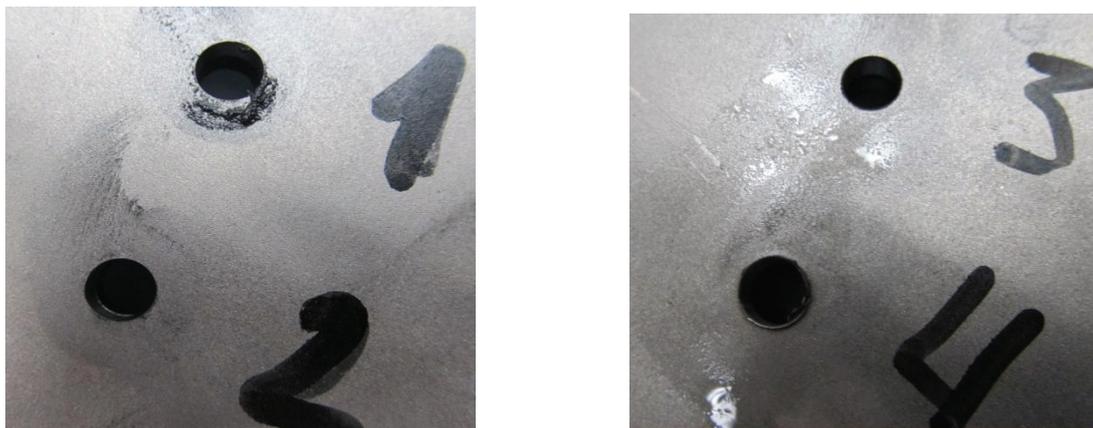


Фото 10. Вид со стороны Ti



Фото 11. Вид со стороны KM

Таблица 3

№ отв.	Ø отв. по КД	Допуск по КД	Ø отв. факт.		Откл. Ø отв.		Откл. от круглости		Режим сверления
			Ti	KM	Ti	KM	Ti	KM	
1	6,35	H9 (+0,036)	6,363	6,336	0,013	-0,014	0,020	0,021	Сверление со стороны Ti с СОЖ скорость 600 об/мин, подача 0,06 мм/об
2	6,35	H9 (+0,036)	6,359	6,331	0,009	-0,019	0,017	0,047	Сверление со стороны Ti с СОЖ скорость 600 об/мин, подача 0,06 мм/об
3	6,35	H9 (+0,036)	6,374	6,345	0,024	-0,005	0,022	0,030	Сверление со стороны ПКМ с СОЖ скорость 600 об/мин, подача 0,06 мм/об
4	6,35	H9 (+0,036)	6,455	6,394	0,105	0,044	0,057	0,040	Сверление со стороны ПКМ без СОЖ скорость 600 об/мин, подача 0,06 мм/об

Отверстия, превышающие допуск:
Ti 1 (25%) KM 1 (25%)
Среднее отклонение от круглости:
Ti: 0,029 KM: 0,035

3.3. Результаты

Для простоты восприятия сведу результаты измерения чистоты разделки отверстий в таблицы:

№ отв.	1	2	3	4
Al	■	■	■	■
КМ	■	■	■	■

Таблица 4 Пакет КМ-Al

№ отв.	1	2	3	4
Ti	■	■	■	■
КМ	■	■	■	■

Таблица 5 Пакет КМ-Ti

- Отверстия, соответствующие допуску Н9 (+0,036)
- Отверстия, уходящие в минусовой допуск от Н9 (+0,036)
- Отверстия, превышающие допуск Н9 (+0,036)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты испытаний – положительные. Впервые после ряда отрицательных испытаний инструмента, предоставляемого различными компаниями, найдена машина, способная эффективно разделять отверстия в смешанных пакетах КМ-Ti-Al, предусмотренных конструкцией хвостового оперения и центроплана перспективного самолёта МС-21. Применение СМАП выводит технологию сборки агрегатов на новый уровень, до настоящего времени не освоенный в России, включая новую конструкцию ступелей для сборки агрегатов.

К положительным качествам СМАП относятся:

- надежная фиксация в кондукторе;
- автоматический цикл сверления – при нажатии кнопки пуска включается механизм вращения шпинделя и автоподача, после выполнения отверстия шпиндель возвращается в исходное положение и останавливается;
- наличие системы подачи СОЖ непосредственно в зону сверления через маслоканалы режущего инструмента;
- наличие импульсной (“кляющей”) подачи и системы отвода измельченной стружки,

позволяющие уменьшать влияние последней на качество обработки отверстий;

- наличие счетчика количества циклов (для своевременной замены сверла).

Применение СОЖ обеспечило меньшие усилия резания и уменьшило нагрев инструмента.

По результатам опытной работы можно рекомендовать СМАП ST1200 для использования на этапе ступельной сборки агрегатов, например для:

- сверления отверстий под заклепки в деталях из КМ и в смешанных пакетах;
- сверления и зенкования отверстий под болты и болт-заклепки в один переход в деталях из КМ в смешанных пакетах.

Считаю, что следующим шагом должно стать создание технологической лаборатории, на базе которой будут обрабатываться и анализироваться технологии разделки отверстий в труднообрабатываемых материалах и смешанных пакетах, включающие в себя подбор оптимальных условий сверления, исходя из:

- марки материалов пакета;
- толщины пакета;
- заданных параметров отверстий.

На основании заключения лаборатории, станет возможным наиболее качественный подбор режущего инструмента, СОЖ и др. параметров.

DISTINCTIVE FEATURES OF MAKING HOLES IN THE MIXED STACKS FROM COMPOSITE, TITANIUM ALLOYS AND ALUMINUM ALLOYS

© 2012 A.A. Pikalov

IRKUT Corporation, Ulyanovsk Branch

The report is devoted to searches of solutions of a problem of high-quality holes cutting in mixed stacks Comp-Ti-Al provided by a design of tail and centre-section of the prospective MS-21 airplane. Whether can deduce technology of airplane units assembly using of advanced drilling unit (ADU) on the new level which hasn't been reached by the Russian aviation industry so far? Whether there will be such application economically and technologically reasonable? It is possible that our experience and experience of the leading foreign aircraft-building companies will help us to answer these questions.

Key words: advanced drilling unit, conventional feed, vibration (“peck”) feed, composites, lubricating fluid, developmental work, design documentation, automated measuring system