

УДК 621.95.01

СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В СМЕШАННЫХ ПАКЕТАХ

© 2014 Ю.Н. Иванов

Иркутский государственный технический университет

Поступила в редакцию 05.09.2014

Описано влияние режимов резания на диаметр и шероховатость полученного сверлением отверстия в пакетах состава «полимерный композиционный материал - титановый сплав». Приведены результаты исследований по влиянию смазочно-охлаждающей жидкости на качество обработанных отверстий и стойкость инструмента.

Ключевые слова: *резание, сверление, смешанный пакет, полимерный композиционный материал, титановый сплав, смазочно-охлаждающая жидкость*

В течение последних лет стремительно растет доля титановых сплавов и композиционных материалов из углеродных волокон в составе авиационной техники. Они заменяют привычные алюминиевые детали, чтобы облегчить конструкцию и в то же время сохранить неизменными механические характеристики. Например, в конструкции Boeing 787 Dreamliner масса полимерных композиционных материалов (ПКМ) составляет около 50% от общей массы, а масса титановых сплавов – около 15%. В российской авиационной промышленности в настоящее время наблюдается значительный рост использования ПКМ и титановых сплавов в составе воздушных судов. Проект по созданию гражданского самолета МС-21 нацелен на широкое применение ПКМ в силовой конструкции планера (до 40% от общей массы).

Одной из важнейших задач является получение надежных соединений ПКМ с металлическими сплавами (смешанные пакеты, пакеты). В подавляющем большинстве соединения выполняют путем установки соединительных элементов в полученные сверлением отверстия. Надежность этих соединений, прежде всего, зависит от качества отверстия, снижение которого может привести к высоким нагрузкам в соединении, снижению ресурса или разрушению. Сверление ПКМ совместно с титановыми сплавами является сложной задачей из-за конфликтующих условий обработки. Если при обработке металлических сплавов процесс является результатом пластических деформаций, то в случае с ПКМ имеет место только хрупкое разрушение [1-3].

Многообразие специфических ограничений, связанных с обработкой смешанных пакетов, затрудняет выбор оборудования, инструмента и технологических условий обработки. Для обеспечения высокой стабильности и качества лучше использовать жесткое стационарное оборудование, однако это не всегда возможно. При проведении ряда сборочных операций необходимо компактное сверлильное оборудование, которое можно доставить к месту обработки. Таким оборудованием являются сверлильные машины с автоматической подачей

(СМАП), по некоторым данным в современном самолете доля отверстий, обработанных с использованием таких машин, составляет порядка 40%. На Российском рынке представлены СМАП таких фирм как Atlas Copco, Seti-Tec, Recoules, Lubbering и др. Выбор той или иной машины зависит от конкретных условий обработки (свободного пространства для установки машины, состава и толщины смешанного пакета, требуемой точности и шероховатости отверстия и др.). При прочих равных условиях, предпочтение следует отдавать СМАП, построенным на модульном принципе и обладающим возможностью изменения частоты вращения шпинделя и подачи. Это позволит при необходимости быстро производить ремонт путем замены того или иного модуля, а также использовать одну и ту же сверлильную машину для большой номенклатуры отверстий.

Не менее важной задачей является выбор режущего инструмента. Инструментальные фирмы с переменным успехом ведут работы по созданию эффективного инструмента для обработки отверстий в смешанных пакетах, содержащих ПКМ и титановые сплавы. Как правило, это инструменты из твердого сплава, в некоторых случаях для повышения стойкости используются покрытия или вставки из сверхтвердых материалов.

Еще более важным моментом является правильный выбор режимов резания. Даже самый дорогой и качественный инструмент не обеспечит требуемого качества отверстий и выйдет преждевременно из строя при неверном выборе режимов резания. Производители инструмента, как правило, указывают диапазоны режимов резания на свой инструмент, однако выбор точных значений частоты вращения шпинделя и подачи всегда остается за потребителем. Кроме того, знание частоты вращения шпинделя и подачи необходимо для заказа СМАП.

Экспериментальное исследование влияния режимов резания. В качестве образцов для проведения исследований были использованы смешанные трехслойные пакеты следующего состава:

- 1-й и 3-й слой титановый сплав ВТ 6 (ОСТ 1.90218-76) толщиной 6 мм;

- 2-й слой углепластик на основе препрега Hexply M21/IMA194 толщиной 15 мм (объемная доля эпоксидной смолы 34%).

Экспериментальное исследование проводилось с использованием СПАП Atlas Copco PFD-1500 (рис. 1). Это сверлильная машина имеет пневматический двигатель, обеспечивающий мощность на шпинделе 1,5 кВт. Она построена на модульном принципе, что позволяет путем замены редукторов осуществлять быструю смену частоты вращения шпинделя и подачи. Для дробления стружки в СМАП организована прерывистая подача с амплитудой 0,15 мм и частотой 2,5 колебания за оборот.

Для сверления смешанных пакетов, содержащих ПКМ и титановые сплавы, обычно используются режимы резания из следующего диапазона: подача от 0,02 до 0,08 мм/об, скорость резания от 4 до 20 м/мин. Режимы резания для исследований также находятся в этом диапазоне. При испытаниях использовались сверла разных производителей из твердого сплава без покрытий, с покрытиями, со вставками из поликристаллического алмаза. Инструмент, безусловно, оказывает влияние на точность отверстий, их шероховатость, производительность обработки. Однако в ходе испытаний определен ряд зависимостей, свойственных всем инструментам. Знание этих зависимостей может пригодиться при назначении режимов резания и

позволит получить отверстия требуемого качества с минимальной трудоемкостью.



Рис. 1. Сверление отверстий в смешанном пакете с помощью СМАП

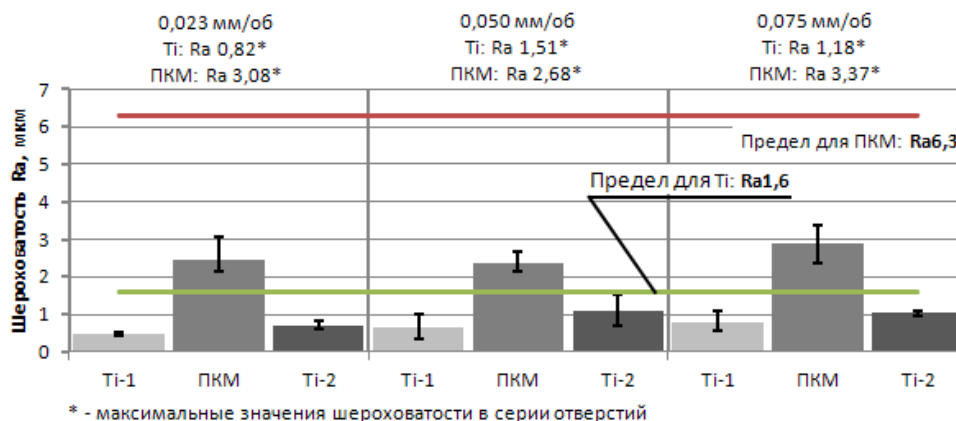


Рис. 2. Зависимость шероховатости стенок отверстий от подачи (сверло PRECORP 86PT, Ø12.004 мм, V=13,57 м/мин, масляный туман 1 г/мин)

При назначении режимов резания для СМАП выбор в первую очередь ограничивается возможностями оборудования. Во-первых, это невысокая мощность и жесткость оборудования, а во-вторых, ступенчатое регулирование оборотов шпинделя и подачи из-за использования механических редукторов. Большинство представленных на рынке СМАП в интересующем диапазоне подач имеют от 2-х до 4-х устанавливаемых значений подач. Количество устанавливаемых значений оборотов шпинделя, соответствующих интересующей скорости резания, для разных СМАП, как правило, составляет от 2 до 7. В нашем случае испытания проводились с использованием 3 подач (0,023 мм/об; 0,05 мм/об; 0,075 мм/об) и 6 частот вращения

шпинделя (140 об/мин; 200 об/мин; 270 об/мин; 360 об/мин; 400 об/мин; 530 об/мин). В результате проведенных испытаний получена зависимость шероховатости отверстий от подачи. Обработка проводилась сериями по 3-5 отверстий с неизменными условиями обработки. На рис. 2 показаны средние значения шероховатости из серии отверстий для 3 слоев пакета (1-й слой: Ti-1, 2-й слой: ПКМ, 3-й слой: Ti-1). Планками (I) показан разброс значений шероховатости в серии отверстий.

Увеличение подачи, как и ожидалось, ведет к ухудшению показателей шероховатости. При увеличении подачи с 0,023 мм/об до 0,075 мм/об, показатель Ra возрос в среднем на 0,5 мкм, как для титанового сплава, так и для ПКМ. Так как для

титанового сплава требования к Ra значительно выше, увеличение подачи для него более критично.

Зависимость диаметра отверстий от изменения подачи в исследуемом диапазоне прослеживается слабо, в большинстве случаев результат зависит от режущего инструмента.

Большой интерес представляет зависимость температуры резания от подачи. Как известно, воздействие высоких температур губительно для ПКМ, оно вызывает разрушение полимерной матрицы. Опасная температура обычно соответствует температуре стеклования полимера, для большинства ПКМ, используемых в авиации, эта температура находится вблизи 180°C. Измерения

температуры резания проводились при помощи тепловизионной камеры со стороны выхода сверла из обрабатываемого пакета. Как показали испытания, при резании ПКМ температура не превышает 90°C. С титановым сплавом дела обстоят иначе. Результаты измерений приведены на рис. 3. На графике обозначены локальные температуры в центральной части сверла и на его периферии. С точки зрения опасности повреждения ПКМ больший интерес представляют температуры на периферии сверла, т.к. эти зоны контактируют с ПКМ. Значения температур близки к критическим, поэтому требуют особого внимания.

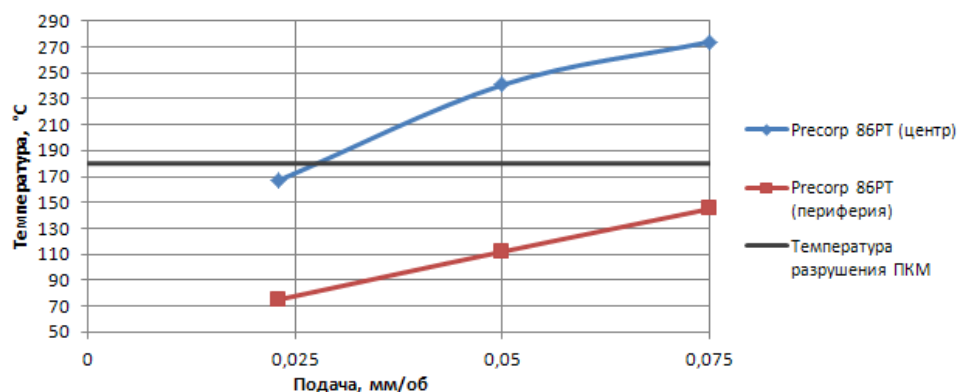


Рис. 3. Зависимость температуры резания титанового сплава от подачи (сверло PRECORP 86PT, Ø12.004 мм, V=13,57 м/мин, масляный туман 1 г/мин)

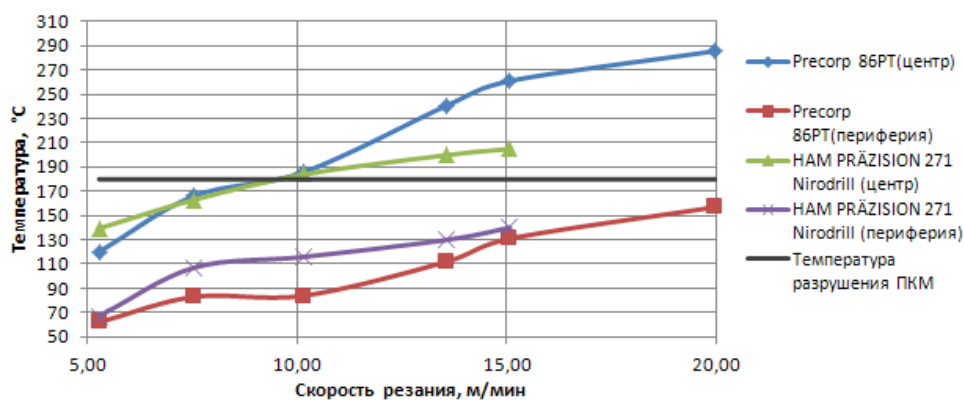


Рис. 4. Зависимость температуры резания титанового сплава от скорости резания (сверло PRECORP 86PT, Ø12.004 мм и сверло HAM PRÄZISION 271 Nirodrill, Ø12.005 мм, f=0,05 мм/об, масляный туман 1 г/мин)

Скорость резания главным образом влияет на производительность и стойкость инструмента, на точность и шероховатость отверстий влияет в меньшей степени. При назначении скорости резания основным ограничивающим фактором, опять же, является температура резания титанового сплава [4]. На рис. 4 представлены результаты измерения температуры с изменением скорости резания.

Экспериментальное исследование влияния СОЖ. В последнее время идет много разговоров про допустимость и обоснованность применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) при обработке пакетов, содержащих титановые сплавы и ПКМ. Высокая адсорбционная способность ПКМ не позволяет использовать в процессе

сверления СОЖ в достаточном количестве, в лучшем случае используется масляный туман. Для оценки целесообразности применения СОЖ с точки зрения качества получаемых отверстий и стойкости режущего инструмента был проведен ряд испытаний. Для приготовления и дозирования масляного тумана использовалась станция подготовки СОЖ фирмы Accu-Lube (рис. 5). Эта станция выполняет импульсную подачу СОЖ с воздухом, частота импульсов, расход за один импульс и расход воздуха могут регулироваться.

В первом случае обработка проводилась с подачей только сжатого воздуха по внутренним каналам инструмента. Во втором случае подавался масляный туман (воздух и СОЖ Accu-Lube

Synthetic LBSYNT01 зеленого цвета). Давление воздуха в первом и втором случае было неизменным. Расход СОЖ был установлен 1 г/мин с частотой 30 импульсов в минуту. На рис. 6 показано влияние СОЖ на шероховатость отверстий.

По представленным гистограммам можно сделать вывод, что на шероховатость в ПКМ СОЖ влияет слабо. В слое титанового сплава все обстоит иначе, при отсутствии СОЖ шероховатость резко ухудшается более чем в 2 раз и превышает значение Ra 1,6. Таким образом, сверление отверстий в титановом сплаве с высокими требованиями к шероховатости без использования СОЖ не представляется возможным. На рис. 7 показано влияние СОЖ на диаметр отверстий. Наблюдается аналогичная ситуация – на отверстие в слое ПКМ наличие СОЖ влияет слабо, диаметр отверстия остается практически без изменений. В титановом сплаве при отсутствии СОЖ диаметр отверстия получается больше, что может привести к превышению установленного допуска на отверстие в пакете. Таким образом, при сверлении отверстий в пакетах, содержащих ПКМ и титановые сплавы, с

использованием СОЖ достигается получение более точных отверстий.



Рис. 5. Станция подготовки СОЖ Accu-Lube

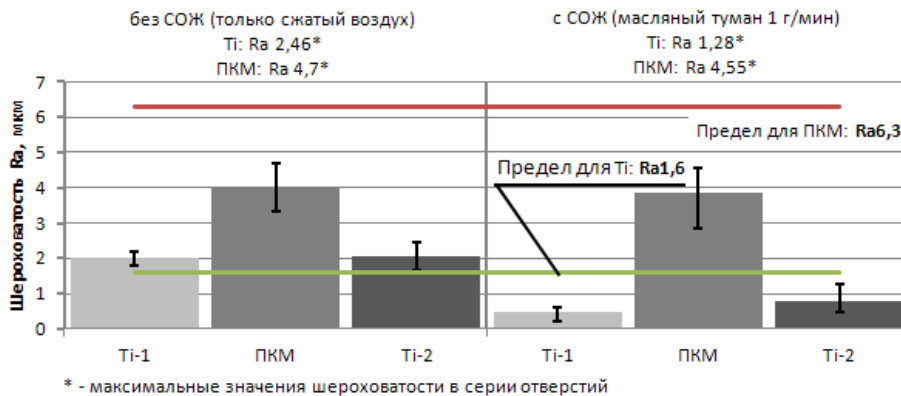


Рис. 6. Зависимость шероховатости отверстий от наличия СОЖ (сверло HAM PRÄZISION 271 Nirodrill, Ø12.005 мм, V=7,54 м/мин, f=0,05 мм/об)

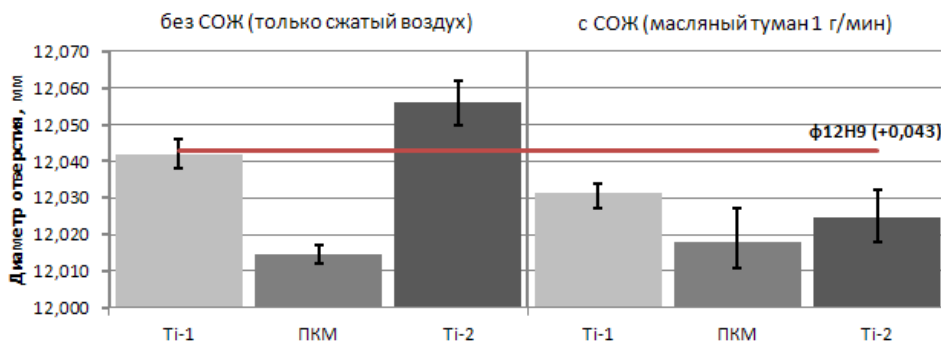


Рис. 7. Зависимость диаметров отверстий от наличия СОЖ (сверло HAM PRÄZISION 271 Nirodrill, Ø12.005 мм, V=7,54 м/мин, f=0,05 мм/об)

Как известно, силы резания напрямую связаны с износом инструмента. Для оценки влияния СОЖ на износ инструмента было выполнено измерение осевой силы резания Fz. При испытании просверлено 6 подряд идущих отверстий с неизменными режимами резания, первые 3 отверстия с использованием СОЖ, последующие 3 без нее. Результаты измерений представлены на рис. 8. На

графике четко прослеживается стремительный рост осевой силы резания при отсутствии СОЖ, что говорит о быстром износе инструмента. Рост осевой силы резания наиболее заметен для титанового сплава. Для того, чтобы увеличить стойкость инструмента, а, следовательно, снизить инструментальные расходы, рекомендуется использовать СОЖ хотя бы в минимальных объемах.

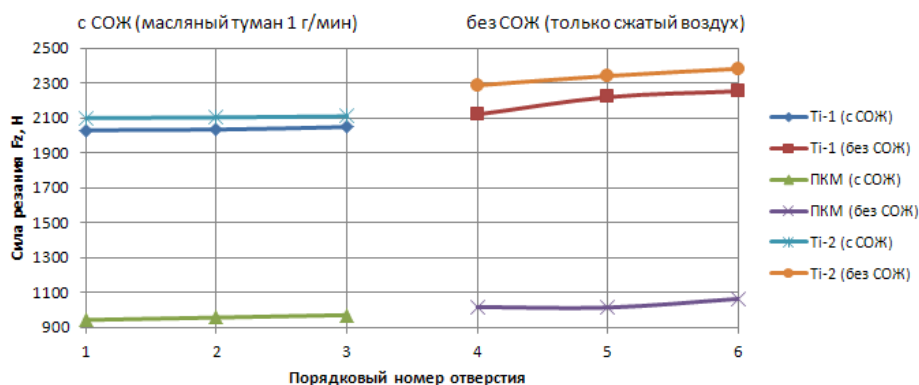


Рис. 8. Зависимость силы F_z от наличия СОЖ (сверло HAM PRÄZISION 271 Nirodrill, $\varnothing 12.005$ мм, $V=7,54$ м/мин, $f=0,05$ мм/об)

Выводы: обработка отверстий в смешанных пакетах является очень сложной задачей. Правильный выбор режимов резания позволяет получить требуемое качество с максимальной производительностью и при этом минимизировать расходы на инструмент. Апробация выбранных режимов резания на конструктивно-подобных образцах с тщательным контролем всех параметров процесса позволяет предотвратить появление брака в процессе производства и избежать лишних расходов.

Представленная в рамках данной статьи работа проводится при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки России) в рамках комплексного проекта «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета», шифр 2012-218-03-120.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Степанов, А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. 176 с.
2. 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.
3. 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, А.П. Чальшев, Е.Я. Каверзин // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10(81). С. 36-42.
4. Штучный, Б.П. Обработка резанием пластмасс. – М.: Машиностроение, 1974. 144 с.

DRILLING THE HOLES IN THE MIXED PACKETS

© 2014 Yu.N. Ivanov

Irkutsk State Technical University

Influence of cutting modes on diameter and roughness of holes, received by drilling, in structure packets of "polymeric composite material - titanic alloy" is described. Results of researches the influence of lubricant cooling liquid on quality of the processed holes and tool firmness are given.

Key words: *cutting, drilling, mixed packet, polymeric composite material, titanic alloy, lubricant cooling liquid*