

- [7] Vishnyakov L.R. Knitted soldered copper mesh and carbon nano-structure particles for lightning protection of composite materials: practice of aircraft designing to be applied to wind power production industry. // Technology system (In Russian). – 2013. – No.2. – P. 22-27.
- [8] Vishnyakov L.R., Chernyavskiy I.I., Zubkov O.V. The study of lightning protection potential for polymer composite materials reinforced with knitted copper mesh. // Bulletin of Engineering academy of Ukraine (In Russian). – 2012. – No. 2. – P. 143-148.

УДК 621.91:678.5

*Матвиенко В.А.<sup>1</sup>, Рудько А.Н.<sup>1</sup>, Комонов А.П.<sup>2</sup>, Косой Э.А.<sup>3</sup>, Заколюкин А.С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> АО «Украинский научно-исследовательский институт авиационной технологии». Украина, г. Киев.

<sup>2</sup> ГП «АНТОНОВ». Украина, г. Киев.

<sup>3</sup> ЗАО «Atlas Corco». Российская Федерация, г. Москва.

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ТОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ ПОД КРЕПЕЖ ПРИ СБОРКЕ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ЭЛЕМЕНТЫ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Представлены результаты экспериментальной работы с отработки технологии обработки точных отверстий под крепеж при сборке авиационных конструкций, содержащих элементы из полимерных композиционных материалов, с использованием сверлильной машины с автоматической подачей. Проанализированы результаты усталостных испытаний образцов соединений.*

*Ключевые слова:* обработка отверстий; сверление; полимерный композиционный материал; сверлильная машина с автоматической подачей.

Анализ отечественного и зарубежного производственного опыта, а также публикаций, свидетельствует о том, что вопросы, связанные со сборкой крупногабаритных высоконагруженных авиационных конструкций (прежде всего, агрегатов планера самолета, вертолета) являются по-прежнему актуальными [1].

При этом можно отметить, что одним из наиболее активно обсуждаемых и исследуемых вопросов является техническая и экономическая эффективность технологии обработки точных отверстий под крепеж (болты, болт-заклепки и т.п.) в условиях агрегатно-сборочного производства конструкций, содержащих элементы из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Такая ситуация объясняется многими обстоятельствами, среди которых можно выделить следующие:

- каждый ПКМ сам по себе является конструкцией вследствие своей гетерогенной структуры, сформированной в процессе проектирования и производства, с учетом прочностных, весовых и прочих требований и критериев;

- соединения в конструкции агрегатов планера представляют собой как однородные (ПКМ+ПКМ), так и смешанные (ПКМ+Al, ПКМ+Ti и т.д.) пакеты, технология обработки отверстий в которых специфичны;

- высокая стоимость и сравнительно невысокая стойкость режущего инструмента, используемого для обработки точных отверстий в однородных и смешанных пакетах, содержащих элементы из ПКМ;

- высокие требования к точности и качеству отверстий, как факторам, существенно влияющим на прочность и ресурс конструкций;

- значительная часть соединений выполняется в условиях ступенчатой сборки агрегатов, что существенно затрудняет или исключает возможность использовать для обработки отверстий стационарное оборудование.

Представленные ниже материалы иллюстрируют результаты опытно-конструкторско-технологической работы (ОКТР), выполненной специалистами ГП «АНТОНОВ», УкрНИИАТ и компании Atlas Corco, специализирующейся на разработке и

производстве механизированного и автоматизированного инструмента для авиационной и других отраслей промышленности.

Цель ОКТР заключалась в оценке и апробации высокоэффективных технологий обработки отверстий под крепеж с использованием автоматизированного сверлильного инструмента, встраиваемого в сборочную оснастку, и соответствующего современного режущего инструмента, предлагаемого на рынке известными фирмами и компаниями.

Учитывая, что результаты данной ОКТР планируется использовать в перспективных разработках ГП «АНТОНОВ», апробация технологий проводилась в широком спектре возможных вариантов сочетания соединяемых материалов:

- Al+ПКМ+Al (пакет «А»);
- ПКМ+Al (пакет «Б»);
- ПКМ+ПКМ (пакет «В»);
- ПКМ+Ti (пакет «Г»).

Обработка отверстий проводилась методами сверления и развертывания с использованием сверлильной машины с автоматической подачей (СМАП) модели PFD1500, предоставленной компанией Atlas Copco (рис.1), и разнообразного режущего инструмента ведущих мировых производителей (рис.2).

В качестве критериев точности и качества обрабатываемых отверстий были приняты:

- поле рассеяния фактических диаметров обработанных отверстий;
- коэффициент точности технологического процесса;
- отклонение от круглости отверстия;
- отклонение от цилиндричности отверстия;
- шероховатость поверхности отверстия;



а)



**Рис. 2.** Режущий инструмент компаний Sandvik, Guhring, Прескорп и других, использованный при отработке технологии обработки отверстий

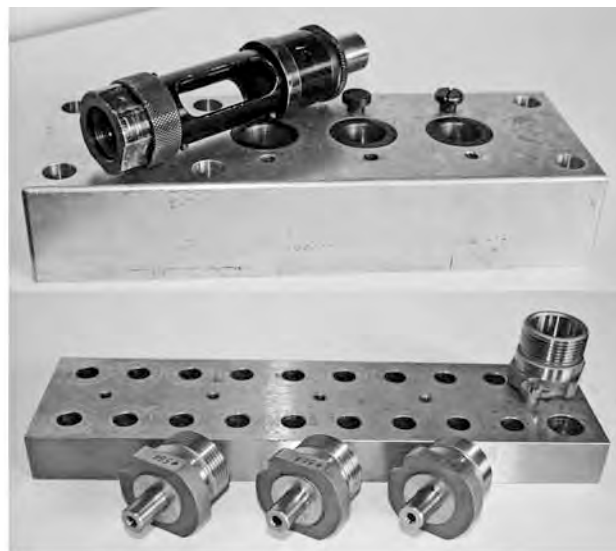
- наличие и длина расслоений, сколов, несрезанных волокон на кромках отверстий в деталях из ПКМ;

- наличие и высота заусенцев по кромкам отверстий в деталях из алюминиевых и титановых сплавов.

При оценке поля рассеяния фактических диаметров отверстий целевым значением был допуск, соответствующий 9-му качеству точности или точнее.

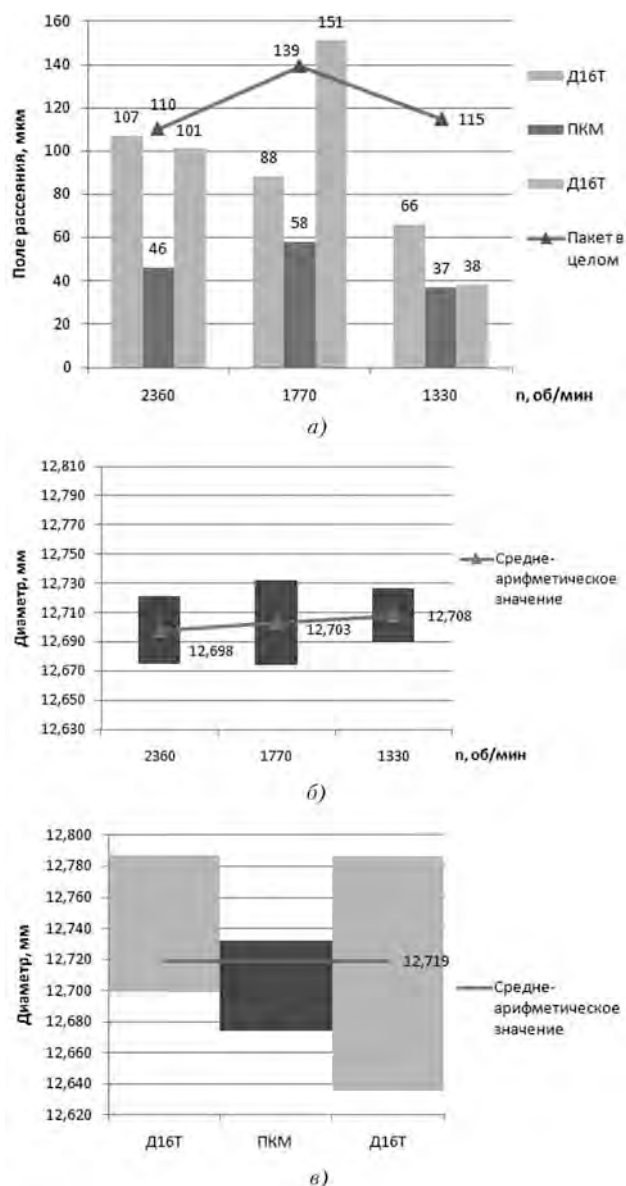
Ниже, на примере типового пакета «А», представлены результаты комплекса исследований точности формы и размеров отверстия, обработанного с использованием сверла Прескорп PD-2WM (рис.3).

Аналогичный комплекс данных по точности формы и размеров обрабатываемых отверстий был



б)

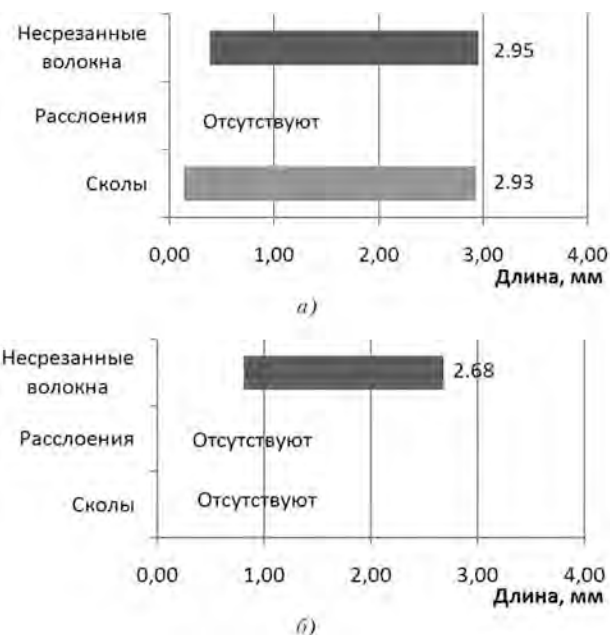
**Рис. 1.** Сверлильная машина с автоматической подачей и средства технического оснащения к ней: а) – СМАП модели PFD1500; б) – средства технического оснащения для проведения ОКТР (кондукторы, кондукторные втулки)



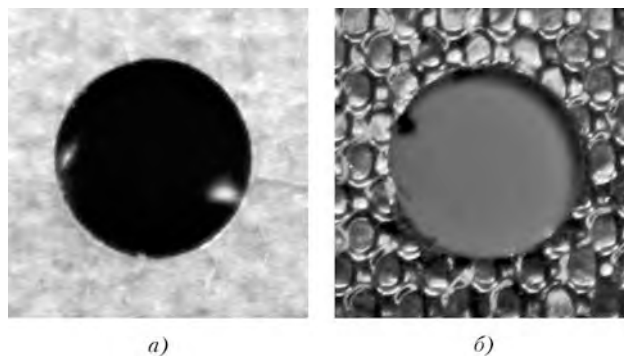
**Рис. 3.** Результаты статистического анализа данных обработки отверстий, выполненных сверлом Prescor PD-D2WM с использованием СМАП: а) – влияние частоты вращения шпинделя на точность диаметров отверстий; б) – влияние частоты вращения шпинделя на схему расположения полей рассеяния значений диаметров отверстий в детали из ПКМ; в) – схема расположения полей рассеяния значений диаметров отверстий относительно средне-арифметического значения по пакету в целом ( $n = 1770$  об/мин,  $s = 0,05$  мм/об)

получен и проанализирован для остальных типовых пакетов, применяемых режущих инструментов, режимов резания (частота вращения шпинделя, подача), направлений обработки смешанных пакетов и других исследованных технологических параметров обработки отверстий.

Далее, на примере типового пакета «В», представлены результаты комплекса исследований качества поверхности и кромок обрабатываемых отверстий, обработанных с использованием сверла Guhring 704 (рис.4, 5).



**Рис. 4.** Параметры качества кромок отверстий, выполненных сверлами Guhring 704, в деталях из ПКМ: а) – с использованием ручного механизированного инструмента; б) – с использованием СМАП модели PFD1500



**Рис. 5.** Качество кромок отверстий, выполненных сверлами Guhring 704 с использованием СМАП модели PFD1500, в деталях из ПКМ: а) – со стороны входа сверла в пакет; б) – со стороны выхода сверла из пакета

Аналогичный комплекс данных по качеству поверхности и кромок обрабатываемых отверстий был получен и проанализирован для остальных типовых пакетов, применяемых режущих инструментов, режимов резания (частота вращения шпинделя, подача), направлений обработки смешанных пакетов и других исследованных технологических параметров обработки отверстий.

Одним из основных критериев эффективности технологии обработки точных отверстий, кроме перечисленных и проиллюстрированных выше, является стойкость режущего инструмента. Данный критерий, учитывая высокую стоимость (рис.6) режущего инструмента для обработки отверстий в исследуемых материалах, имеет техническую и экономическую значимость. В результате

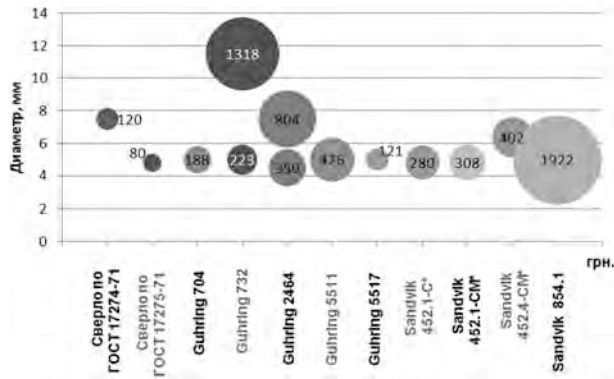


Рис. 6. Стоимость сверл, применяемых при обработке технологии обработки отверстий, (грн.) (знаком «\*» отмечены сверла дюймового исполнения)

проведенного комплекса экспериментальных исследований получен ранжированный ряд, отражающий интенсивность износа режущего инструмента в процессе его эксплуатации (рис.7).

Полученные результаты дают основание считать, что использование СМАП модели PFD1500 и соответствующего режущего инструмента обеспечивает получение заданной точности (H9) и качества обрабатываемых отверстий.

С целью подтверждения правильности технологических решений, вытекающих из результатов экс-

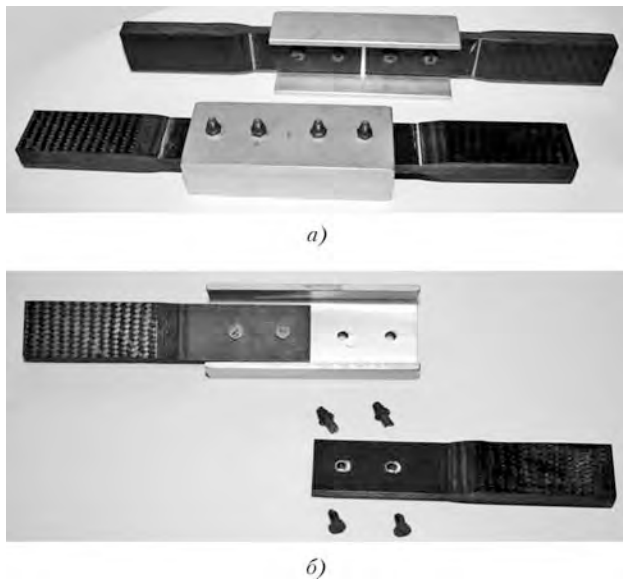


Рис. 8. Образец для исследования влияния технологии образования отверстий под крепеж на усталостную прочность соединений: а) – образец до нагружения; б) – характерный вид усталостных разрушений

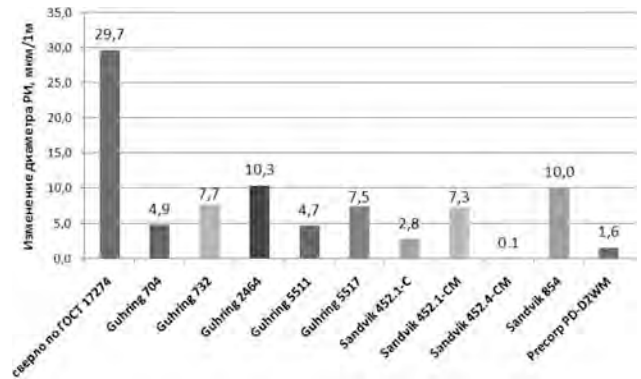


Рис. 7. Удельная величина изменения диаметра сверл на 1м длины резания

периментальных работ, были проведены испытательные образцы соединений на усталостную прочность (рис.8).

Результаты испытаний образцов свидетельствуют о следующем:

- усталостная прочность образцов соединений, в которых отверстия были обработаны методом сверления с использованием СМАП модели PFD1500, удовлетворяет требованиям, сформулированным в рамках данной работы;

- усталостная прочность образцов соединений, в которых отверстия были обработаны методом сверления с использованием СМАП модели PFD1500, соответствует, а в ряде случаев превышает значения для образцов, в которых отверстия были обработаны методом сверления с последующим развертыванием с использованием ручного механизированного инструмента.

Результаты описанных выше работ нашли отражение в разработанной технологической инструкции ГП «АНТОНОВ», регламентирующей технологию выполнения болтовых соединений. Технологическая инструкция предусматривает использование СМАП модели PFD1500, наряду с другими методами и средствами, для обработки отверстий под болты в соединениях, содержащих ПКМ.

## Литература

- [1] Бычков С.А., Матвиенко В.А., Романович Г.Н. Исследования и разработка новых технологий агрегатно-сборочного производства гражданских самолетов. // Технологические системы, №1(62). – К., 2013, с.71-78.

Matvienko V.A.<sup>1</sup>, Rudko A.N.<sup>1</sup>, Komonov A.P.<sup>2</sup>, Kosoy E.A.<sup>3</sup>, Zakolyukin A.S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, JSC. Ukraine, Kiev

<sup>2</sup> ANTONOV, State-owned Enterprise. Ukraine, Kiev

<sup>3</sup> Atlas Copco. Russia, Moscow

## IMPROVED TECHNOLOGY PROCESSING PRECISION FASTENER HOLES DURING ASSEMBLY OF AIRCRAFT STRUCTURES CONTAINING ELEMENTS FROM POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

*The results of experimental work with the development of the technology of processing precision fastener holes during assembly of aircraft structures containing elements of polymeric composite materials, using the drilling machine with automatic feed, are presented. The results of fatigue tests of joining samples are described.*

Keywords: processing holes; drilling; polymer composite material; drilling machine with automatic feed.

### References

- [1] Byichkov S.A., Matvienko V.A., Romanovich G.N. Issledovaniya i razrabotka novyih tehnologiy agregatno-sborochnogo proizvodstva grazhdanskih samoletov.//Tehnologicheskie sistemy, #1(62). – K., 2013, p.71-78.