

УДК 621.9.06-119

Матвиенко В. А.¹, Качмар Р. В.², Рудько А. Н.¹

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

² ГП «Львовский государственный авиационно-ремонтный завод «ЛГАРЗ». Украина, г. Львов

КРЕПЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВИБРАЦИОННЫМ НАГРУЗКАМ

Представлены результаты анализа мирового рынка крепежных систем для сборки узлов, отсеков планера самолетов и вертолетов, расположенных в зонах вибрационных нагрузок. Проанализированы конструктивно-технологические особенности крепежных систем, предназначенных для соединений, собираемых при наличии только одностороннего подхода в зону постановки крепежа. [dx.doi.org/10.29010/084.2]

Ключевые слова: крепежные системы; заклепки с запирающимся сердечником; стопорение; саморазвинчивание; вибрационное нагружение.

Введение

По мнению специалистов, к настоящему времени, в мировом авиастроении сформировалась наукоемкая подотрасль – разработка и производство крепежных систем для сборки авиационных конструкций.

Основными предпосылками формирования и интенсивного развития этой подотрасли следует считать следующее:

- стремительный рост объемов производства авиастроения;
- возрастающие требования к ресурсу авиационной техники;
- увеличивающиеся объемы применения композиционных материалов в конструкциях высоконагруженных агрегатов планера и двигателя самолетов и вертолетов;
- возрастающие требования к технологичности авиационных конструкций;
- прочее.

Одним из наиболее интенсивно развивающихся секторов рынка крепежных систем, по мнению авторов, является крепеж, устанавливаемый при наличии только одностороннего подхода в зону сборки (крепежные системы односторонней постановки – КСОП). Известно, что технология выполнения высоконагруженных соединений в таких зонах относится, как правило, к категории «особо ответственных технологических процессов».

Крепежные системы этого типа, используемые для выполнения соединений в таких зонах конструкции планера самолета/вертолета, должны обеспечивать:

- восприятие широкого спектра разнообразных эксплуатационных нагрузок (статических, повторно-статических, вибрационных и т.д.);

- стабильные геометрические параметры замыкающего элемента выполняемого соединения;

- целостность соединений в период эксплуатации не менее заявленного ресурса планера самолета/вертолета.

Предварительный анализ показывает, что лидерами мирового рынка по номенклатуре и объемам производства КСОП являются компании Arconic Fastening System & Rings (AFSR), Precision Castparts Corp. (PCC), Lisi Aerospace. Вместе они обеспечивают поставку порядка 80% потребляемого на мировом рынке крепежа. Безусловным лидером по объему продаж является AFSR, в состав которой входят ряд компаний: Huck, Fairchild, Kaynar, Republic Fasteners и др. [1].

Современные крепежные системы, используемые ведущими мировыми производителями транспортных и пассажирских самолетов, включают порядка 15 типов крепежа (заклепки, болты, болт-заклепки, Hi-lok и другие), изготавливаемых как в соответствии с национальными авиационными стандартами (NAS), так и корпоративными. При этом, следует отметить, что одной из очевидных тенденций является переориентация на корпоративные стандарты, регламентирующие более жесткие требования, в частности, к поставщикам крепежа и его качеству. В настоящее время 80-90% крепежа, используемого в самолетах Boeing, изготавливается по стандартам Boeing Aircraft Company specifications (BAC) [2].

Основная часть

В зависимости от механизма формирования замыкающего элемента, КСОП разделяют на два типа:

- заклепки односторонней постановки (blind rivets), при постановке которых происходит раздача корпуса (тип «А»);

– болты односторонней постановки (blind bolts), при постановке которых задача корпуса не происходит (тип «Б»).

В зависимости от конструкции и метода постановки (вращение или прямолинейное движение

сердечника) КСОП можно разделить на два вида: резьбовые (вид I) и безрезьбовые (вид II).

Некоторые данные, характеризующие КСОП основных мировых производителей, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Крепежные системы односторонней постановки

Производитель	Название крепежа	Общий вид	Материал корпуса	Тип крепежа	Вид крепежа
1	2	3	4	5	6
AFSR	NAS1919, NAS1921		Коррозионно-стойкая сталь, монелевый сплав, алюминиевый сплав	А	II
	Huck-Max		Алюминиевый сплав, монелевый сплав	А	II
	Ti-matic		Титановый сплав, коррозионно-стойкая сталь	Б	II
	MS		Коррозионно-стойкая сталь	Б	II
	UNIMATIC		Коррозионно-стойкая сталь, титановый сплав, алюминиевый сплав	А	II
	ERGO-TECH		Коррозионно-стойкая сталь A286	Б	I
	Accu-Lok		Коррозионно-стойкая сталь 300 серии	Б	I
	Visu-Lok		Алюминиевый сплав, Инконель, коррозионно-стойкая сталь, титановый сплав	Б	I
Cherry® Aerospace	Cherry®1900 (CR1919)		Коррозионно-стойкая сталь, Монелевый сплав	А	II
	CherryMAX®		Коррозионно-стойкая сталь, Монелевый сплав	А	II
	CherryLOCK® (CR2563/ NAS1398MW)		Коррозионно-стойкая сталь, Монелевый сплав	А	II
	Maxibolt® Blind Bolt (CR7650)		коррозионно-стойкая сталь, титановый сплав	Б	II
	Maxibolt® Plus Blind Bolt (CR7621)		коррозионно-стойкая сталь, титановый сплав	Б	II
	Titanium Maxibolt® Blind Bolt (CR7773S)		Титановый сплав	Б	II

1	2	3	4	5	6
Allfast	Olympic-lok® blind rivet (RV1140W)		Коррозионно-стойкая сталь	А	II
Monogram Aerospace Fasteners (MAF)	Visu-Lok		Алюминиевый сплав, Инконель, коррозионно-стойкая сталь, титановый сплав	Б	I
	Composi-Lok		Титановый сплав	Б	I
	Radial-Lok		Титановый сплав	А	I
	TI-OSI-Bolt		Титановый сплав	А	I
ОАО «НОРМАЛЬ»	ЗВСС по ОСТ 1 11206-73		Коррозионно-стойкая сталь	Б	I

Как следует из таблицы 1, в номенклатуре выпускаемой продукции преобладают КСОП, замыкающий элемент которых формируется вследствие деформирования фрагмента корпуса (штулки) или кольца и в конструкции которых отсутствует резьба.

Как отмечалось выше, одним из требований, которым должны отвечать КСОП, используемые для сборки высоконагруженных конструкций планера самолета/вертолета, является заданный

ресурс соединений, подвергающихся вибрациям высокого уровня.

Известно, что саморазвинчивание является одной из основных причин утраты целостности резьбовых соединений в условиях их вибрационного нагружения.

Результаты исследования целостности резьбовых соединений, представленные в [3; 4], свидетельствуют о том, что при определенных режимах вибрационных нагружений резьбовые соединения склонны к саморазвинчиванию даже при использовании различных стопорящих средств (рис. 1). Также, нельзя считать эффективными средства стопорения резьбовых соединений, описанные в [5], тем более для соединений, с использованием КСОП, контроль которых в эксплуатации затруднен или невозможен.

Учитывая изложенное выше, представляется очевидным, что проблема обеспечения целостности крепежа в таких соединениях может быть решена путем замены резьбового крепежа на безрезьбовые КСОП, имеющие соответствующие характеристики статической и усталостной прочности при действии на них срезающих и растягивающих нагрузок.

Результаты опытно-конструкторско-технологических работ, проведенных УкрНИИАТ совмест-

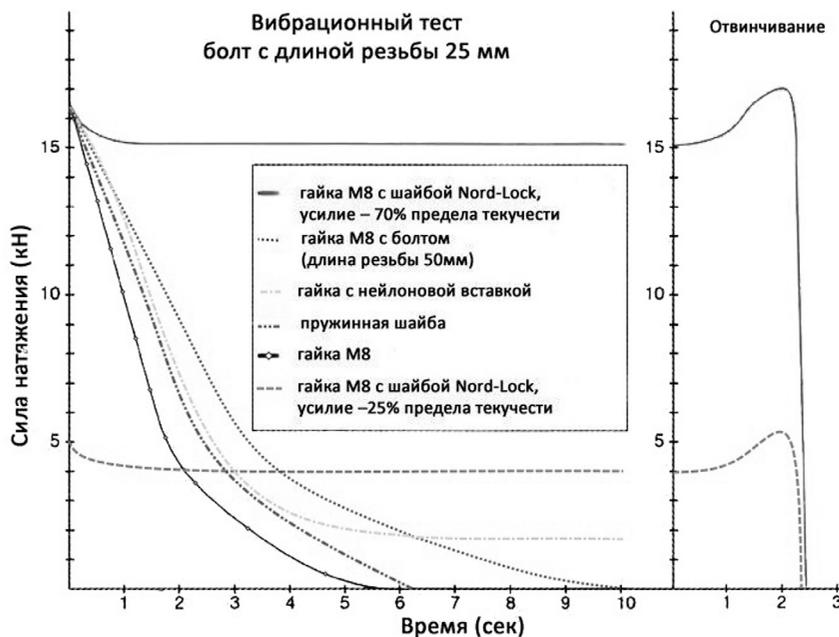


Рис. 1. Результаты испытания болтовых соединений с различными типами стопорения в условиях поперечного нагружения (диаметр болта М8, амплитуда колебаний ±0,3мм, частота колебаний 40 Гц)

но с ГП «АНТОНОВ», АО «Мотор Сич», ГП «ЛГАРЗ» и другими [6-9], свидетельствуют о том, что эффективным методом решения, в том числе, указанных выше проблем, является применение в конструкциях планера самолетов/вертолетов КСОП – заклепок с запирающимся сердечником (ЗсЗС) NAS1919 компании AFSR.

Конструкция ЗсЗС представлена на рис. 2, в соответствии с которой, ЗсЗС состоит из втулки, сердечника с технологическим хвостовиком, запирающего кольца и установочной шайбы.

Последовательность формирования замыкающей головки ЗсЗС (рис. 3) состоит из следующих этапов:

- установка заклепки в отверстие, установка постановочного инструмента на технологический хвостовик заклепки (а) (допускается установка заклепки в постановочный инструмент с последующей совместной установкой в отверстие);
- постановочный инструмент с помощью цангового зажима втягивает сердечник заклепки; по мере втягивания участка сердечника с увеличенным диаметром во втулку, последняя незначительно раздается и заполняет отверстие (б);
- дальнейшее перемещение сердечника обеспечивает сжатие пакета и формирование замыкающей головки (в, г);
- замыкающая головка сформирована, запирающее кольцо запрессовано в канавку на сердечнике, перемещение сердечника прекращается (д);
- технологический хвостовик заклепки отрывается вровень с поверхностью закладной головки

заклепки, установочная шайба удаляется, установка завершена (е).

Как следует из рисунка 3, соединяемый пакет после формирования замыкающей головки сжат одним элементом ЗсЗС – пластически деформированной втулкой, имеющей с доступной для постановочного инструмента стороны закладную головку, с противоположной стороны – пластически деформированный бурт.

Заключение

В заключение представляется целесообразным отметить следующее:

- опыт ведущих мировых производителей авиационной техники свидетельствует о том, что использование в конструкции планера самолетов/вертолетов широкой гаммы современных крепежных систем позволяет эффективно решать ряд конструктивно-технологических проблем, возникающих при производстве новых, а также ремонте и модернизации эксплуатирующихся самолетов и вертолетов;
- применение в практике отечественного самолето- и вертолетостроения крепежных систем ведущих мировых производителей является одним из эффективных направлений диверсификации импорта;
- конструкция ряда современных КСОП позволяет автоматизировать процессы выполнения соединений при сборке крупногабаритных отсеков планера и их стыковке.

В соответствии с требованиями Авиационных правил Украины, принятие решений относительно применения в конструкции серийных образцов авиационной техники новых КСОП, должно базироваться на результатах необходимых исследований и испытаний. В этой связи, представляется целесообразным объединение ресурсов заинтересованных украинских предприятий с целью разработки и реализации нормативной программы работ для получения таких результатов.

УкрНИИАТ готов рассмотреть и обобщить предложения предприятий и представить для обсуждения проект программы совместных работ.

Аббревиатуры

- ЗсЗС – заклепки с запирающимся сердечником
- КСОП – крепежные системы односторонней постановки
- AFSR – Arconic Fastening Systems & Rings
- NAS – National Aerospace Standard

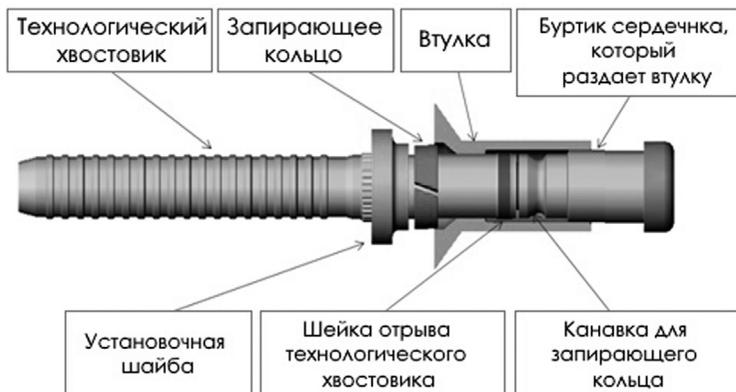


Рис. 2. Конструкция ЗсЗС по NAS1921

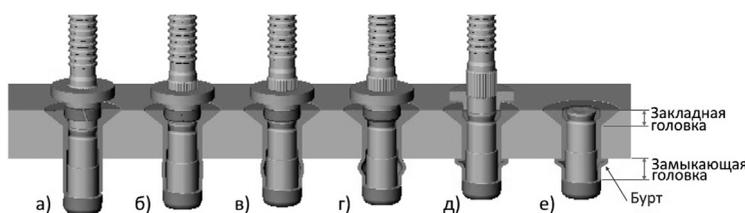


Рис. 3. Последовательность формирования замыкающей головки ЗсЗС

Литература

- [1] Официальный сайт компании Alcoa Fastening Systems & Rings Aerospace / https://www.alcoa.com/fastening_systems_and_rings/aerospace/en/info_page/home.asp
- [2] Boeing: The fight for fasteners/ William Davidson Institute at the University of Michigan/ Tauber institute for global operations, case 1-428-787, November 17, 2009.
- [3] DIN 65151 «Авиакосмическая серия. Динамические испытания стопорящих характеристик крепежных элементов в условиях поперечного нагружения (вибрационное испытание)».
- [4] <http://www.nord-lock.com/nord-lock/wedge-locking/>
- [5] ОСТ 1 39502-77 Стопорение болтов, винтов, шпилек, штифтов и гаек.
- [6] Кривов Г. А., Бычков С. А., Матвиенко В. А., Романович Г. Н. Технологическое проектирование сборных частей планера самолета из полимерных композиционных материалов. / Технологические системы, 1(66) 2014. – с. 23-30.
- [7] Матвиенко В. А., Рудько А. Н., Воропаев Е. П., Москаленко И. Н. Формирование отечественного нормативного базиса технологии вертолетостроения/ Технологические системы, 2(67) 2014. – с. 33-40.
- [8] Матвиенко В. А., Двейрин А. З., Василевский Е. Т., Романович Г. Н., Рудько А. Н. крепежные системы для сборки современных самолетов. / Технологические системы, 4(81) 2017. – с. 68-74.
- [9] Кривов Г. А., Матвиенко В. А., Тарасов Ю. М., Громашев А. Г. Обеспечение соответствия новых технологий агрегатно-сборочного производства гражданских самолетов требованиям Авиационных правил. / Наука и технологии, 2, 2012. – с. 60-67.

Matviienko V. A.¹, Kachmar R. V.², Rudko A. N.¹

¹ Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, JSC. Ukraine, Kiev.

² State Company Lviv State Aircraft - Repair Factory «LSARP». Ukraine, Lvov

FASTENING SYSTEMS FOR AVIATION STRUCTURES LOADED WITH VIBRATION

The results of the analysis of the world market of fastening systems for assembly of aircraft/helicopter structures under vibration loads are presented. Structural and technological features of the fastening systems for joints with limited access (one side access) were analyzed. [dx.doi.org/10.29010/084.2]

Keywords: fastening systems; blind rivets; locking techniques; self-loosening; vibration loading.

References

- [1] Alcoa Fastening Systems & Rings Aerospace official site / https://www.alcoa.com/fastening_systems_and_rings/aerospace/en/info_page/home.asp
- [2] Boeing: The fight for fasteners/ William Davidson Institute at the University of Michigan/ Tauber institute for global operations, case 1-428-787, November 17,2009.
- [3] DIN 65151 « Aerospace series - Dynamic testing of the locking characteristics of fasteners under transverse loading conditions (vibration test) ».
- [4] Nord-lock official site / <http://www.nord-lock.com/nord-lock/wedge-locking/>
- [5] ОСТ 1 39502-77 Stoporenje boltov, vintov, shpilek, shtiftov i gæk.
- [6] Krivov G. A. Technological design of assembly parts of the airframe made of polymer composites [Text] / G. A. Krivov, S. A. Bychkov, V. A. Matvienko, G. N. Romanovich // Technological systems. – #1 (66). – 2014. – P. 23–30. – ISSN 2074-0603. <http://technological-systems.com>
- [7] Matvienko V. A. Definition of the domestic normative basis for the helicopter building technology [Text] / V. A. Matvienko, A. M. Rudko, E. P. Voropaev, I. M. Moskalenko // Technological systems. – #2 (67). – 2014. – P. 33–40. – ISSN 2074-0603. <http://technological-systems.com>
- [8] Matviienko V. A. Fastening systems for modern aircraft assembling [Text] / V. A. Matviienko, A. Z. Dveirin, E. T. Vasylevskyi, G. N. Romanovich, A. N. Rudko // Technological systems. – #4 (81). – 2014. – P. 68-74. – ISSN 2074-0603. dx.doi.org/10.29010/081.9
- [9] Krivov G.A., Matvienko V.A., Tarasov Yu.M., Gromashev A.G.. Obespechenie sootvetsvtiya novyh tehnologij agregatno-sborochnogo proizvodstva grazhdanskih samoletov trebovaniyam Aviacionnyh pravil. / Nauka i tehnologii, 2, 2012. – с.60-67.