

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-

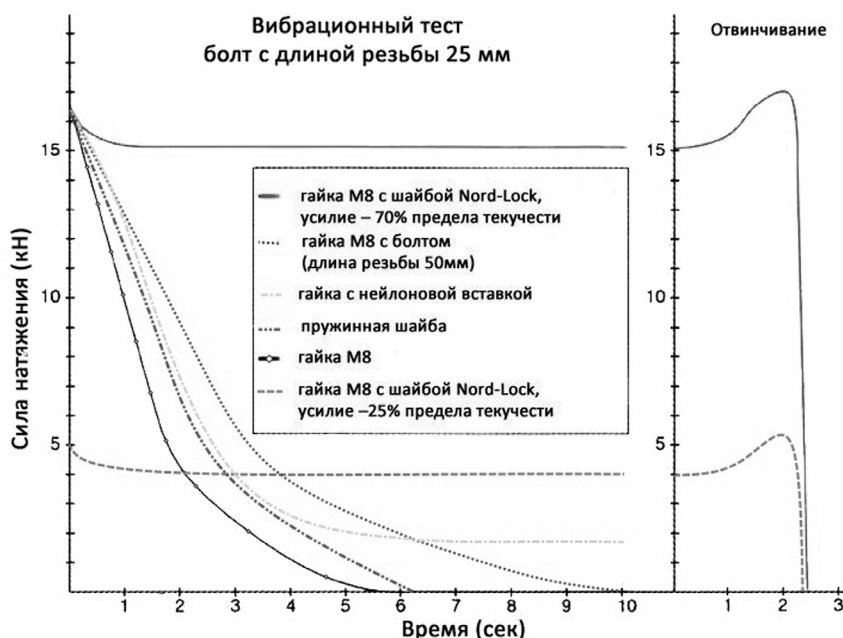


Рис. 1. Результаты испытания болтовых соединений с различными типами стопорения в условиях поперечного нагружения (диаметр болта М8, амплитуда колебаний ±0,3мм, частота колебаний 40 Гц)

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

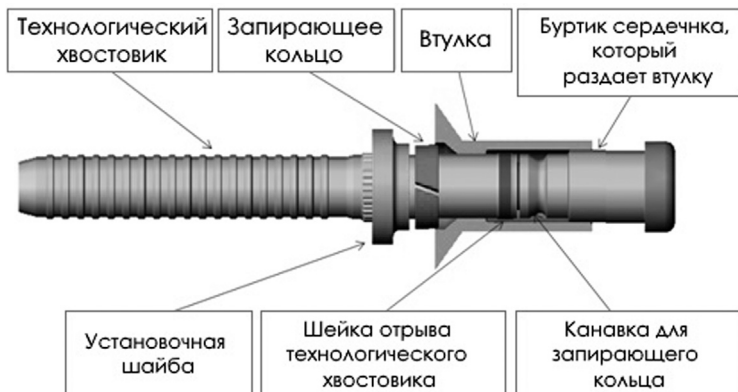


Рис. 2. Конструкция ЗсЗС по NAS1921

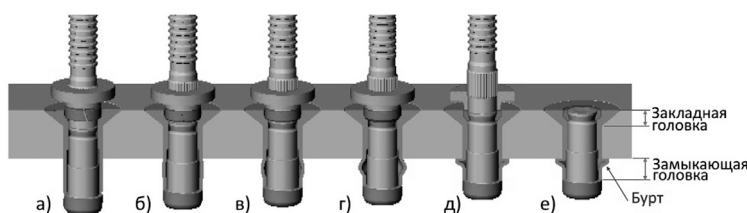


Рис. 3. Последовательность формирования замыкающей головки ЗсЗС

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

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] OST 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.