

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

---

---

УДК 621.88.658

В.А. Володин, В.А. Братухин

### КРЕПЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ С ТАРИРОВАННОЙ ЗАТЯЖКОЙ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ОАО «Нормаль»

Применение крепежных систем с тарированной затяжкой в летательных аппаратах гражданской авиации позволяет снизить трудоемкость сборки авиационной техники. Анализируются особенности выбора материалов для изготовления данных систем, приводится сравнительный анализ отечественных крепежных систем с зарубежными аналогами.

*Ключевые слова:* крепежные системы, тарированная затяжка, летательные аппараты, высокоресурсный крепеж.

Результаты исследований и испытаний, а также опыт эксплуатации гражданских самолетов дают основание считать, что ресурс самолета в значительной мере определяется долговечностью элементов конструкции в зоне соединений, прежде всего, высоконагруженных, воспринимающих и передающих эксплуатационные нагрузки.

Известно, что усталостные разрушения планера самолета в подавляющем большинстве случаев (75–85% всех разрушений) непосредственно связаны с потерей прочности соединений.

В настоящее время, в целом, определились основные конструктивно-технологические методы и средства обеспечения ресурса и надежности высоконагруженных соединений. К числу наиболее эффективных методов следует отнести применение в высоконагруженных соединениях крепежных элементов (систем), адекватных по своим прочностным, коррозионным и другим характеристикам принятой концепции обеспечения регламентированного ресурса самолета в целом.

Выполнение высоконагруженных соединений является одним из наиболее ответственных и трудоемких этапов агрегатной сборки планера, трудоемкость которой составляет до 30% общей трудоемкости производства самолета. Поэтому, степень конструктивно-технологического совершенства соединений в значительной степени определяет уровень технологичности конструкции планера и соответственно влияет на его себестоимость как интегральный показатель производственной эффективности и на весовые характеристики, формирующие эксплуатационную эффективность самолета.

Количество крепежных элементов, устанавливаемых в процессе сборки планера современного пассажирского самолета, достигает 1,5 млн штук. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что на самолетостроительных предприятиях Великобритании материальные затраты на выполнение соединений при сборке агрегатов планера гражданских самолетов составляет до 50% стоимости этих агрегатов. Аналогичное соотношение затрат характерно и для предприятий США. Это в первую очередь обусловлено тем, что высоконагруженные соединения, в соответствии с Авиационными правилами большинства стран, производящих гражданские самолеты, относятся к особоответственным элементам конструкции и их сборка выполняется наиболее квалифицированным высокооплачиваемым пер-

соналом. Технология выполнения таких соединений предусматривает, как правило, проведение значительного количества контрольных операций и использования разнообразных и сложных средств технологического оснащения.

В среде специалистов общепринято такое соотношение: стоимость крепежных элементов, установленных в результате выполнения соединения, в 3-10 раз больше их номинальной стоимости.

Эти обстоятельства объясняют особое внимание, которое уделяют проблемам выбора крепежных элементов и технологии их постановки, начиная с первых стадий проектирования самолета.

Представленная далее информация посвящена крепежным системам, обеспечивающим тарированное сжатие собираемого пакета деталей. Крепежные системы такого типа являются, наряду с традиционными болтовыми и болт-заклепочными, наиболее распространенным крепежом, используемым в высоконагруженных соединениях, прежде всего, наиболее ответственных – стыковых.

Тарированное усилие сжатия собираемого пакета обеспечивается этими крепежными системами за счет достижения стабильной точности величины крутящего момента при завершении процесса свинчивания болта и гайки (рис. 1). Известно, что реализация этого условия является одной из основных предпосылок высокой усталостной прочности конструкции в зоне соединения.

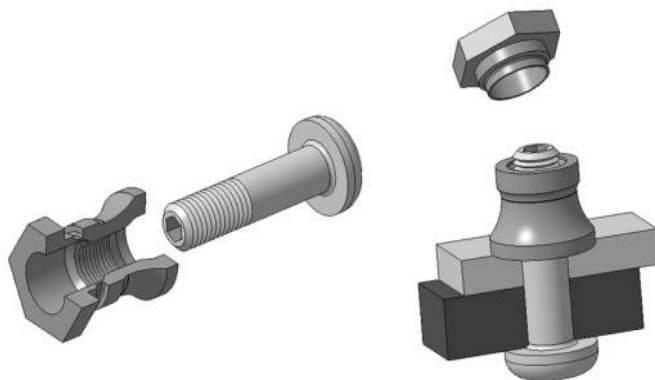


Рис. 1. Крепежная система Hi-Lok®

Кроме этого, обеспечение равномерности затяжки групповых соединений оказывает существенное влияние на работоспособность тонкостенных обшивок и конструкций, к которым предъявляются высокие требования по герметичности. Неравномерная затяжка болтов вызывает неравномерную деформацию соединяемых деталей и может привести к нарушению плотности стыка.

Применение крепежных систем с тарированным усилием сжатия пакета позволяет эффективно исключить процесс самоотвинчивания резьбового соединения при эксплуатации в условиях вибрации, носящей случайный или систематический характер. С этой целью в конструкции гайки предусмотрен тонкостенный цилиндрический участок – бонка. Увеличение трения в резьбовой паре обеспечивается за счет деформирования (обжатия) бонки на заданную величину в двух точках. Силовое замыкание на резьбу происходит в момент затягивания, при котором сформированная резьба гайки надежно стопорит резьбовое соединение. Данный процесс также необходимо учитывать при определении крутящего момента затяжки, который в свою очередь определяет усилие стяжки пакета. Сильное обжатие гайки в районе бонки вызывает значительные силы трения в резьбе и приводит к преждевременному «срезанию» шестигранника. В свою очередь, незначительное обжатие не обеспечивает необходимого эффекта самоконтрнения резьбового соединения.

Величина крутящего момента при завершении свинчивания болта и гайки определя-

ется расчетным и опытным путем и зависит от многих факторов: применяемого материала для изготовления гайки и режимов термообработки этого материала, а также толщины перемычки, соединяющей шестигранник гайки с основным телом гайки. Варьирование этих факторов позволяет получать расчетную величину крутящего момента, при котором происходит «срезание» шестигранника гайки и завершение процесса свинчивания, в очень широком диапазоне. Немаловажным фактором, оказывающим влияние на данную величину, является также виды покрытий крепежных изделий и применяемые смазки, основное назначение которых – снижение коэффициента трения в резьбе. Покрытия должны быть более мягкими, чем материал резьбовой детали и должны деформироваться без разрушения пленки. Для защиты от коррозии, уменьшения коэффициентов трения и их стабилизации для крепежных систем из легированных сталей применяют цинковое покрытие с хромированием или кадмиевое покрытие с хромированием, а для крепежа из титановых сплавов наиболее эффективно анодное оксидирование.

Для выполнения соединений крепежными системами с тарированной затяжкой используется ручной механизированный или автоматизированный постановочный инструмент. В процессе постановки крепежа реализуется основное преимущество данных систем, а именно, обеспечение стабильности стяжки пакета деталей, происходящее в момент срезания шестигранника гайки, которое не зависит от квалификации сборщика. Применение автоматизированного инструмента обеспечивает выполнение до 45 свинчиваний в минуту. Все это в комплексе позволяет значительно снизить трудоемкость сборочных работ. Кроме этого, внедрение указанной крепежной системы в летательных аппаратах обеспечивает создание прочных неразъемных соединений, где затруднена возможность применения болтов и болт-заклепок.

Принципиально важным для конструкции крепежных систем с тарированной затяжкой является выбор материалов, обеспечивающих хорошие технологические свойства в условиях массового производства и высокий уровень механических свойств, которые можно изменять в определенном интервале значений.

В условиях крупносерийного и массового производства основное количество крепежных изделий изготавливают способами холодной и горячей пластической деформации. В связи с этим материалы для такого способа производства должны иметь высокую технологическую деформируемость, стабильность механических свойств, а удельные нагрузки при деформации не должны превышать предела текучести на сжатие инструментальных материалов. Этим технологическим требованиям в наибольшей степени подходят из низкоуглеродистых низколегированных сталей сталь 16ХСН, а из сплавов на основе титана – титановый сплав ВТ16.

Применение процесса деформационного упрочнения при изготовлении крепежных изделий из сплава ВТ16 и термического упрочнения после холодного пластического деформирования для стали 16ХСН позволяет получать высокопрочный крепеж, у которого временное сопротивление разрыву  $\sigma_v \geq 1000$  МПа.

Болты, изготовленные из стали 16ХСН, работают преимущественно на статическое растяжение и способны воспринимать высокие знакопеременные растягивающие нагрузки. Болты, изготовленные из сплава ВТ16, работают преимущественно на срез, в том числе в соединениях повышенного ресурса. Кроме этого, болты из этого сплава можно применять в конструкциях из полимерных композиционных материалов (ПКМ), так как последние не вызывают процессов коррозии в титановых сплавах.

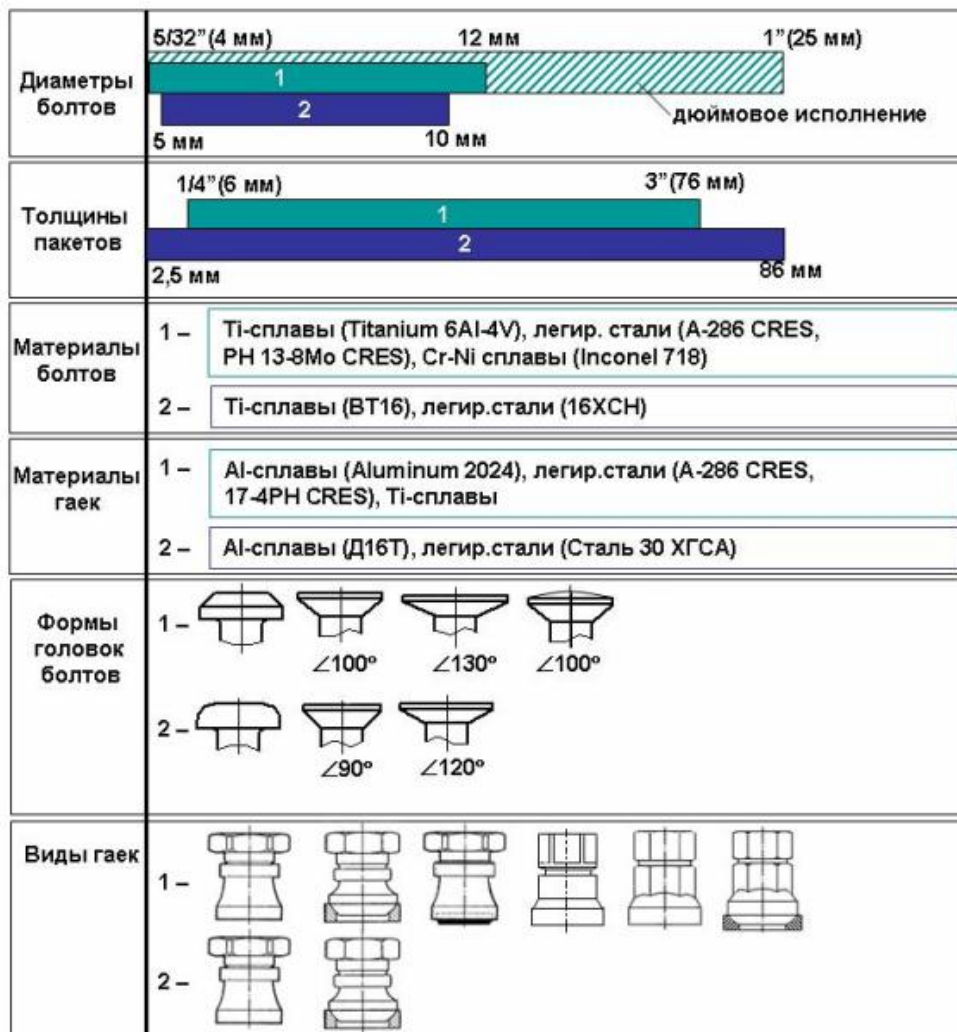
Особенно важное значение имеет выбор материала для изготовления гайки, так как, в конечном итоге, именно диапазон значений временного сопротивления материала определяет минимальную разрушающую нагрузку, при которой срезается шестигранник гайки, обеспечивая заданное усилие стяжки собираемого пакета. Данный материал должен хорошо обрабатываться резанием и воспринимать термоупрочняющую обработку, обеспечивая механические свойства в определенном диапазоне. При этом должна быть возможность изменения параметров термической обработки с целью изменения этих свойств внутри диапазона.

В зависимости от значений прочности соединения собираемого пакета и возможности сочетания материалов болта и гайки, не приводящего к процессам коррозии, а также с уче-

том технологических свойств были выбраны сталь 30ХГСА, обеспечивающая уровень прочности  $\sigma_B \geq 900$  МПа, и сплав на основе алюминия Д16Т.

**Таблица 1**  
Сочетание материалов элементов крепежной системы по ОСТ 1 00750-76

Материал болта	Материал гайки	Материал шайбы
16ХСН	30ХГСА	30ХГСА
BT16	30 ХГСА Д16Т	BT16 30ХГСА



**Рис. 2. Основные характеристики резьбовых крепежных систем с тарированным усилием сжатия пакета:**

1 – зарубежный крепеж (Hi-Lok, Hi-Tigue, Hi-Lite, Veri-Lite, Aero-Lite);  
2 – крепеж по ОСТ 1 00750-76

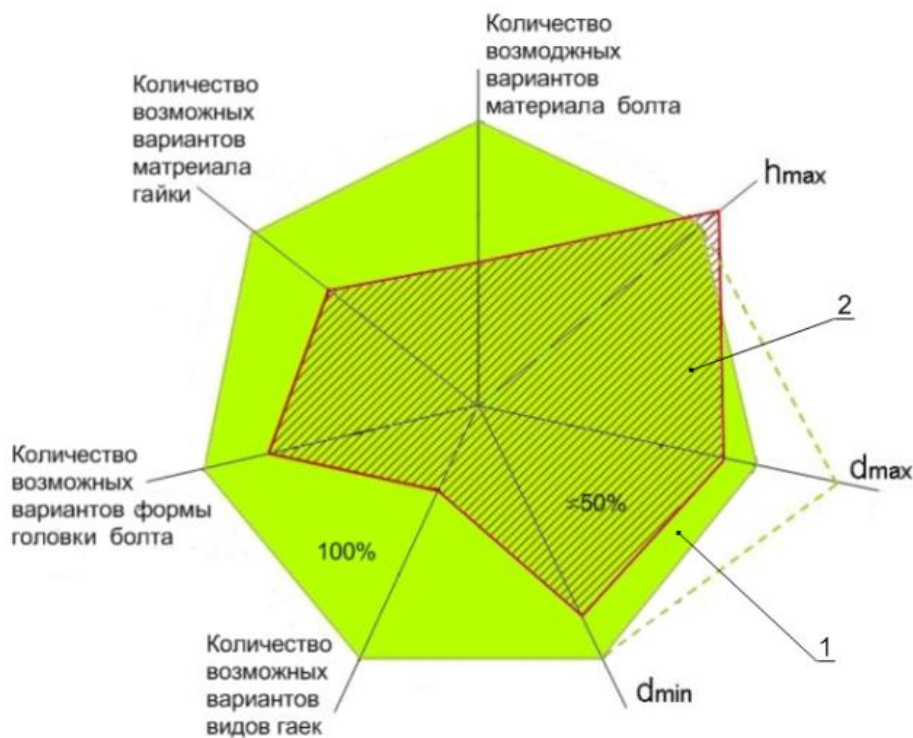
Российским представителем крепежных систем с тарированным усилием сжатия пакета данного типа является крепеж по ОСТ 1 00750-76 «Болты, гайки и шайбы для соединений с тарированной затяжкой», разработанный ОАО «Нормаль» (г. Нижний Новгород).

Конструктивно-технологическая концепция данной крепежной системы, предназначенной для использования в соединениях, работающих на срез, предусматривает следующее:

- ряд диаметров болтов, включающий 5; 6; 8 и 10 мм;

- два варианта конструктивного исполнения болтов, отличающихся предельными отклонениями диаметра гладкой части: по  $h_{10}$  и допуском в пределах  $\begin{matrix} +0,022 \\ +0,004 \end{matrix}$ ;
- стандарты устанавливают два варианта конструктивного исполнения гаек: с плоской и со сферической опорной поверхностью. Применение последних в комплекте с шайбами по ОСТ 1 11823-74 позволяет выполнять соединение в пакетах с углом клиновидности до  $8^\circ$  (при условии перпендикулярности оси отверстия одной из поверхностей пакета);
- несколько вариантов сочетания материалов, из которых изготавливаются болты, гайки и шайбы (см. табл. 1).

Результаты проведенного сравнительного анализа технических характеристик и параметров российских и зарубежных крепежных систем (рис. 2, 3), дают основание считать, что крепеж по ОСТ 1 00750-76 в достаточно высокой степени соответствует требованиям, сформированным эволюцией развития и опытом эксплуатации крепежных систем данного типа, и является подтверждением целесообразности использования российской крепежной системы для выполнения соединений в конструкции планера современных гражданских самолетов.



**Рис. 3. Анализ комплекса свойств резьбовых крепежных систем с тарированным усилием сжатия пакета:**

1 – зарубежный крепеж (Hi-Lok, Hi-Tigue, Hi-Lite, Veri-Lite, Aero-Lite); 2 – крепежа по ОСТ 1 00750-76;

$d_{\min}$  – минимальный диаметр болта;  $d_{\max}$  – максимальный диаметр болта;

$h_{\max}$  – максимальная толщина соединяемого пакета

#### Библиографический список

1. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А.И. Пекарш [и др.]. – М.: Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
2. Егер, С.М. Основы авиационной техники / С.М. Егер, А.М. Матвеенок, И.А. Шаталов. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 576 с.
3. Володин, В.А. Информационное обеспечение конструкторско-технологических решений высококачественных крепежных изделий авиационно-космической техники / В.А. Володин,

- В.А. Братухин // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение. – М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. С. 416–418.
4. **Матвиенко, В.А.** Разработка технологии выполнения соединений крепежом с тарированной затяжкой / В.А. Матвиенко [и др.] // Технологические системы. 2014. №1. С. 47–51.

*Дата поступления  
в редакцию 16.10.2014*

**V.A. Volodin, V.A. Bratukhin**

**FASTENERS WITH THE CALIBRATED BOLT TENSION FOR THE HIGH-LOAD  
AERONAUTICAL STRUCTURE**

JSC “NORMAL”

**Purpose:** The application of fasteners with calibrated bolt tension offers the possibility to reduce the work labour input by the high-load aeronautical structure.

**Methodology:** The material selection for these fasteners provides high technological and functional properties by manufacturing for high-volume production.

**Findings:** The benchmarking of the russian and foreign fasteners confirms the applicability for the russian fasteners.

*Key words:* fasteners, calibrated bolt tension, air vehicles, fasteners with the high endurance.