

КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЕЖНЫХ СИСТЕМ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В.А. Братухин



А.В. Братухин



В.А. Братухин, Главный конструктор ОАО «Нормаль», канд. техн. наук, доцент (г. Нижний Новгород),

А.В. Братухин, Главный металлург — Зам. Главного технолога ОАО «Нормаль», магистр (г. Нижний Новгород)

Normal-NN@yandex.ru

В статье рассмотрены некоторые вопросы конструкции и технологии крепежных систем авиационной техники. Изложены основные требования к материалам для холодной высадки, описаны оборудование и технология изготовления высокоресурсных крепежных систем. Особое внимание уделено конструкторским решениям по разработке изделий для односторонней постановки и безударной кленки, а также крепежу для соединений с тарированной затяжкой, рассмотрен вопрос постановочного инструмента. Также уделено внимание практическому применению титанового крепежа в авиастроении.

The article is devoted to some questions of construction and technology of fastening systems of aeronautical engineering. Set out the basic requirements to materials for cold heading, description of equipment and technology for manufacturing high-resource fixing systems. Special attention is given to design solutions for the development of products for single-sided setting and безударной riveting, as well as mounting for connections with packaged puff, the question promo tool. Also focus on the practical application of titanium fasteners in the aviation industry.

Производство летательных аппаратов (ЛА) — одно из наиболее сложных производств современного наукоемкого машиностроения — обладает специфическими особенностями. Специфика проектирования, конструирования, производства заключается в том, что число выполняемых различных технологических процессов изготовления деталей из разнообразных материалов в конструкции планера и гражданских, и военных самолетов составляет сотни тысяч, в том числе крепежных изделий.

Так, в агрегатно-сборочном производстве семейства истребителей Су-27 — конкурентоспособного на мировом авиационном рынке (рис. 1) — в КНААПО имени Ю.А. Гагарина преимущественно используются точечные соединения, из которых составляют заклепочные соединения [1]. Крепежные изделия серийно изготавливаются в основном по современным технологиям ОАО «Нормаль», разработанным на основе информационного обеспечения конструкторско-технологических решений.

На рис. 2 представлена схема конструкторско-технологического членения планера перспективного конкурентоспособного в Российском авиастроении XXI века ближнемагистрального самолета SSJ-100 разработки Авиационной компании «Сухой» (Генеральный директор — д.т.н, профессор, член-корр. РАН Погосян М.А.) и серийного производства КНААПО (Генеральный директор — к.т.н. А.И. Пекарш).



Рис. 1. Многофункциональный истребитель Су-35

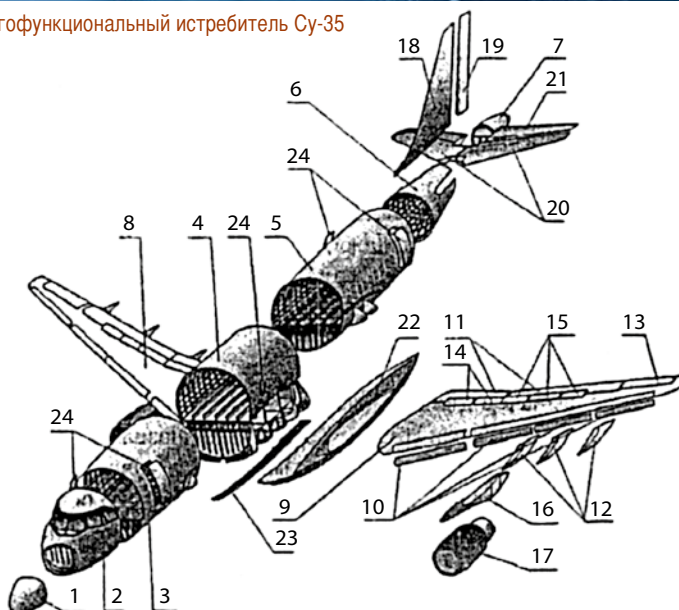


Рис. 2. Схема членения планера самолета RRJ: 1 — носовой обтекатель; 2 — носовой отсек фюзеляжа (Ф1); 3 — закабинный отсек фюзеляжа (Ф2); 4 — средняя часть фюзеляжа (Ф3); 5 — хвостовой отсек фюзеляжа (Ф4); 6 — подкилевой отсек фюзеляжа (Ф5); 7 — отсек ВСУ (Ф6); 8 — консоль крыла правая; 9 — консоль крыла левая; 10 — предкрылок; 11 — внешний и внутренний закрылки; 12 — обтекатели; 13 — элерон; 14 — тормозные щитки; 15 — интерцепторы; 16 — пилон; 17 — мотогондола; 18 — киль; 19 — руль направления; 20 — стабилизатор; 21 — руль высоты; 22 — зализ крыла; 23 — бимс; 24 — двери, аварийные и грузовые люки



Рис. 3. Вакуумная печь фирмы Schmetz



Рис. 4. Некоторые виды крепежных изделий из титанового сплава BT-16

Примером современных технологий ОАО «Нормаль» может служить вакуумная термическая обработка с применением вакуумного комплекса фирмы Schmetz, позволяющего создать температуру до 1350 °С и степень вакуума до 10⁻⁵ мБар (рис. 3). Технологической особенностью данного комплекса является закалка в вакууме в потоке аргона, позволяющая получить чистую и светлую поверхность изделий без последующей пескоструйной обработки или травления. Термообработку изделий из коррозионно-стойких и жарочных сталей проводят в вакууме при разрежении 10⁻³ мБар. С целью уменьшения сублимации легирующих элементов с поверхности термически обрабатываемых деталей при температуре свыше 850 °С в печи есть возможность повышать давление остаточных газов до 6,7×10⁻² мБар за счет регламентированного натекания аргона в камеру нагрева печи.

В отечественном авиастроении в Авиационном Комплексе (АК) имени С.В. Ильюшина первыми в отрасли начали применять титановый крепеж разработки и производства по технологии ОАО «Нормаль». Во всех изделиях АК им. С.В. Ильюшина преимущественно применяются болт-заклепочные соединения. Благодаря внедрению титанового крепежа (болтов, винтов, болт-заклепок) с повышенным техническим уровнем обеспечены снижение массы конструкции планера, увеличение заданного ресурса самолетов.

В таблице №1 приведены данные по применению титанового крепежа в изделиях АК им. С.В. Ильюшина.

В Авиационной Компании «Туполев» в среднемагистральных самолетах ТУ-154 и ТУ-204 титановый крепеж из BT-16 составляет на одно изделие соответственно 45 кг и 940 кг.

ОАО «Нормаль» — ведущее предприятие по разработке и производству универсальных, стандартных видов авиационно-космических крепежных изделий.

Более пятидесяти лет основным потребителем продукции ОАО «Нормаль» является авиакосмический комплекс России, и в течение тридцати лет предприятие изготавливает крепежные изделия из титанового сплава BT-16 (рис. 4). АО «Нормаль» имеет уникальное многопозиционное оборудование для холодной высадки и другое высокоэффективное оборудование (рис. 5). Имеется многолетний конструкторско-технологический опыт, а также длительные коммерческие контакты с поставщиками полуфабрикатов титановых сплавов.

Высокоресурсные титановые крепежные изделия широко применяются в конструкциях летательных аппаратов с применением как металлов, так и полимерных композиционных материалов (ПКМ). Так, указанные соединения применяют в конструкциях крыла, фюзеляжа, вертикального и горизонтального

оперения, элементов управления и агрегатов механизации крыла дозвуковых и сверхзвуковых самолетов пассажирской, грузовой, военно-транспортной и военной авиации.

Во многих странах ведутся исследования по разработке высокопрочных титановых сплавов и созданию высокоэффективных процессов изготовления крепежных изделий для авиационно-космических комплексов. Основой технологических процессов до недавнего времени оставались горячая высадка и резание. В объединении «Нормаль» впервые в мировой практике разработан и внедрен в серийное производство принципиально новый способ изготовления высокоресурсных деформационно-упрочненных крепежных деталей массового применения. Новый способ защищен патентами России, США, Франции, Англии.

Проблема широкомасштабного производства титанового крепежа была решена разработкой специального (α + β) сплава BT-16, сочетающего высокую прочность с возможностью обработки с большими степенями деформации без нагрева.

В условиях крупносерийного и массового производства изготовление крепежных деталей методами холодного пластического деформирования производят на специальных холодновысадочных пресс-автоматах, которые, несмотря на конструктивные отличия, основаны примерно на одном и том же принципе работы. Калиброванный прут (проволока) с помощью роликовой подачи поступает в станок. Затем его отрезают в соответствии с установленной длиной и деформируют за одну или несколько операций. Все холодновысадочные пресс-автоматы условно можно разделить на две группы: одноматричные автоматы, а также

Таблица 1

Параметры	Тип изделия			
	Ил-62М	Ил-76Т	Ил-86	Ил-96-300
Число деталей титанового крепежа (болты, гайки, болт-заклепки)	1 600	20 000	126 000	142 000
Масса крепежа на 1 изделие, кг	24	300	1890	2130



Рис. 5. Холодновысадочные пресс-автоматы

автоматы с двумя или более матрицами. В одноматричном холодновысадочном пресс-автомате процесс высадки головки стержневой детали производится в одной матрице за один, два или три удара ползуна прессы и, соответственно, одним, двумя или тремя пуансонами.

Пресс-автоматы с двумя или более матрицами позволяют осуществлять различные операции холодного деформирования металла (высадка, осадка, выдавливание, прошивка и др.). При этом возможно получить одинаковые степени деформации во всех сечениях, что создает равномерное упрочнение изготавливаемой детали. Кроме того, с помощью указанного пресс-автомата можно изготавливать детали из малопластичных сплавов.

Способность сплава ВТ-16 выдерживать 75%-ную холодную деформацию позволяет изготавливать в холодную достаточно сложные (с точки зрения пластической деформации) изделия:

- ОСТ 1 10572-72. Болты с потайной головкой $\angle 90^\circ$ с крестообразным шлицем, с полем допуска диаметра стержня f9;
- ОСТ 1 10574-72. Болты с полупотайной головкой $\angle 120^\circ$ с крестообразным шлицем, с полем допуска диаметра стержня h9;
- ОСТ 1 31244-88. Болты с потайной го-

ловкой $\angle 120^\circ$, с полем допуска диаметра стержня f9;

- ОСТ 1 11530-74. Гайки шестигранные высокие самоконтрящиеся.

На предприятии изготавливают широкую гамму крепежных титановых изделий: болты с различными видами головок и полями допусков по цилиндрической части стержня, стержни болт-заклепок, гайки шестигранные, гайки самоконтрящиеся, гайки накидные, заклепки — такой ассортимент крепежных деталей, применяемых на самолетах и вертолетах ИЛ 96-300, ИЛ-76, ТУ-204, МИ-26, Ка-32 и на многих других конструкциях летательных аппаратов.

ОАО «Нормаль» производит как деформационно-упрочненный титановый крепеж, так и термоупрочненный. Благодаря термической обработке изделия приобретают повышенные прочностные характеристики с сохранением пластических свойств.

Качество поставляемой заказчику продукции гарантируется действующей системой управления качеством, которая соответствует моделям систем качества по международным стандартам ISO 9001 и EN 9100. Технический уровень крепежной продукции по критериям эксплуатационной надежности соответствует требованиям генеральных конструкторов

авиационно-космической техники и находит применение в конструкциях без ограничения ресурса эксплуатируемой техники.

В условиях рыночной экономики разработка и изготовление конкурентоспособных высокоресурсных крепежных изделий, ничем не уступающих лучшим мировым аналогам, приобретают особую важность и актуальность. При этом приходится уделять большое внимание выбору материалов, способам формообразования, режимам деформирования.

Нижегородским ОАО «Нормаль» в результате комплексных научных, конструкторских, технологических, металлургических исследований разработаны конструкции и организовано серийное производство по технологии ОАО «Нормаль» крепежных изделий, в том числе с односторонним доступом для силового крепления деталей обшивки, внутреннего набора; каркаса планера, крыла, оперения; крепления интерьера летательных аппаратов. Созданы эффективные неразъемные соединения в труднодоступных местах, позволяющие применять оригинальные крепежные изделия для односторонней постановки и безударной клепки.

В результате многолетней отработки конструкций крепежных изделий для односторонней постановки и безударной клепки создан,

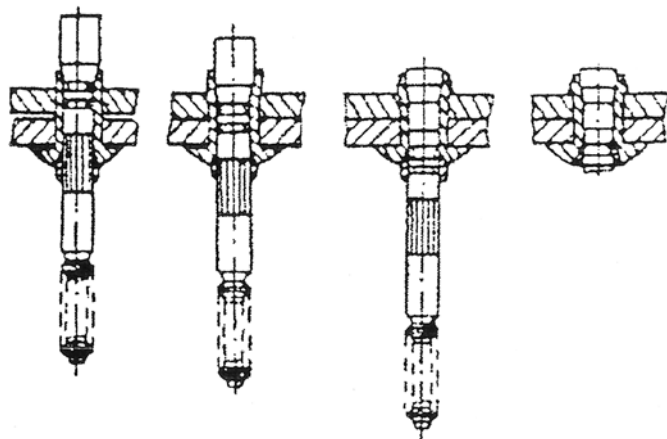


Рис. 6. Заклепки с запирающимся сердечником из алюминиевого сплава

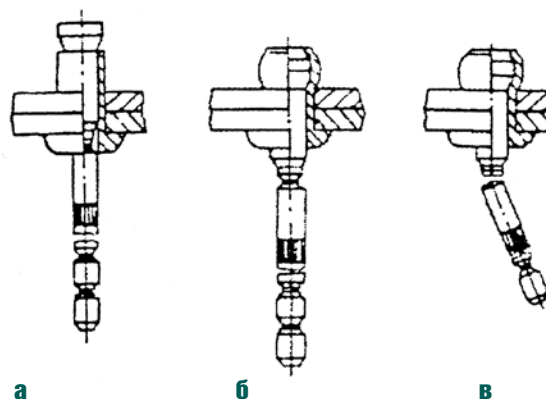


Рис. 7. Заклепки с запирающимся сердечником из алюминиевых сплавов (а), коррозионно-стойких сталей (б) и титановых сплавов (в)

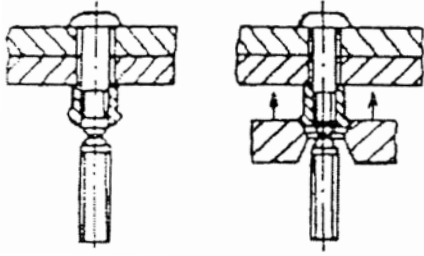


Рис. 8. Болт-заклепки алюминиевые, стальные и титановые

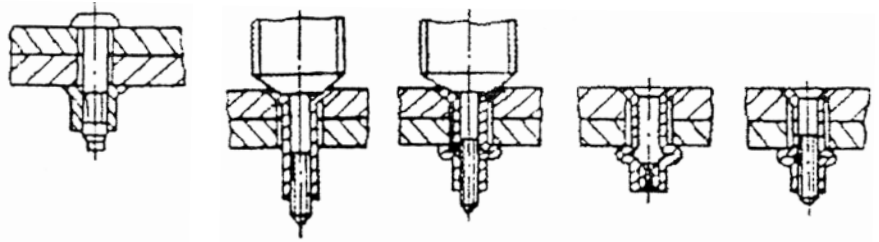


Рис. 9. Гайки-пистоны из алюминиевого сплава

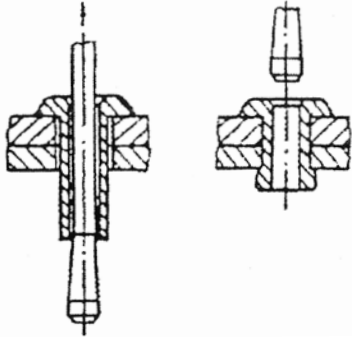


Рис. 10. Заклепки пустотелые из алюминиевого сплава

совместно с Украинским НИИАТом (директор — д.т.н., профессор Кривов Г.А.), удобный в эксплуатации постановочный инструмент, гарантирующий высокий уровень и стабильность качества изделий в условиях массового производства на основе постоянно совершенствуемой системы управления качеством.

- Выпущены отраслевые стандарты:
- на заклепки с запирающимся сердечником из алюминиевого сплава (рис. 6);
 - на заклепки с сердечником из алюминиевого сплава, коррозионно-стойких сталей и титановых сплавов (рис. 7);
 - на болт-заклепки из сталей, алюминиевых и титановых сплавов (рис. 8);
 - на гайки-пистоны из алюминиевого сплава (рис. 9);
 - на заклепки пустотелые из алюминиевого сплава (рис. 10) и др.

Важное значение придается одному из типов крепежных систем, содержащих конструктивные элементы, обеспечивающие тарированное сжатие собираемого пакета деталей без дополнительных мер. Такие крепежные системы, наряду с традиционными болтовыми и болт-заклепочными, являются наиболее распространенным типом крепежа, используемым в высоконагруженных соединениях, прежде всего, наиболее ответственных — стыковых. Над такими системами работают ОАО «Нормаль» и Украинский НИИАТ.

Тарированное усилие сжатия собираемого пакета обеспечивается этими крепежными системами за счет достижения стабильной точности величины крутящего

момента при завершении процесса свинчивания болта и гайки. Реализация этого условия является одной из основных предпосылок высокой усталостной прочности конструкции в зоне соединения.

Применение данного типа крепежа обеспечивает:

- заданные усилия сжатия пакета;
- снижение влияния субъективных факторов на качество соединений;
- снижение трудоемкости выполнения соединений;

- герметичность соединений;
- снижение массы соединений.

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, Россия).

Конструктивно-технологическая концепция данной крепежной системы, предназначенной для использования в соединениях,

РЕЗЬБОВАЯ КРЕПЕЖНАЯ СИСТЕМА С ТАРИРОВАННЫМ УСИЛИЕМ СЖАТИЯ ПАКЕТА ПО ОСТ 1 00750-76

КОНСТРУКЦИЯ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ — РАЗРАБОТКА ОАО «НОРМАЛЬ» (г. НИЖНИЙ НОВГОРОД, РОССИЯ)

Диаметры болтов	5–10 мм		
Толщины пакетов	2,5–86 мм		
Формы головок болта	 $\angle 90^\circ$ $\angle 120^\circ$		
Виды гаек			
Материал болта, гайки и шайбы	Материал болта	Материал гайки	Материал шайбы
	16ХСН ВТ16	30ХГСА 30ХГСА Д16Т	30ХГСА 30ХГСА

МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ — РАЗРАБОТКА ОАО «УКРНИАТ» (г. КИЕВ, УКРАИНА)

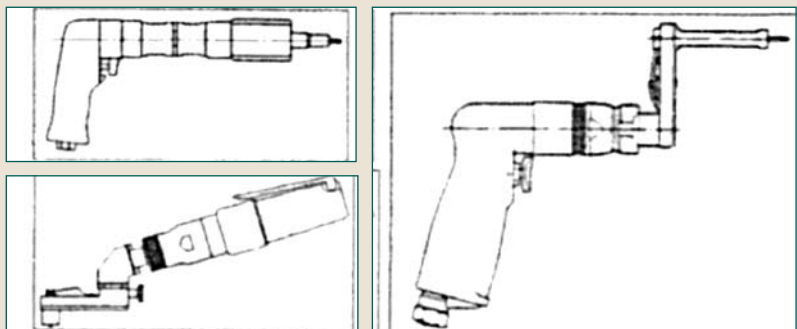
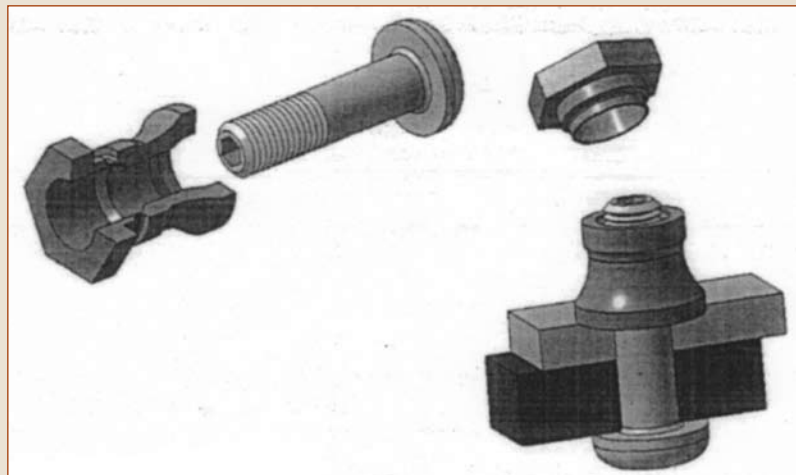


Рис. 11. Конструкция крепежной системы (ОАО «Нормаль»)

РЕЗЬБОВЫЕ КРЕПЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ С ТАРИРОВАННЫМ УСИЛИЕМ СЖАТИЯ ПАКЕТА

ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ

для выполнения неразъемных высоконагруженных соединений элементов конструкции планера из композиционных и металлических материалов



ОБЕСПЕЧИВАЮТ:

- ✓ Заданные усилия сжатия пакета
- ✓ Снижение влияния субъективных факторов на качество соединений
- ✓ Снижение трудоемкости выполнения соединений
- ✓ Герметичность соединений
- ✓ Снижение массы соединений

Рис. 11, а. Резьбовые крепежные системы ОАО «Нормаль»

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 h10

и допуском в пределах $\frac{0,022}{0,004} \left(\frac{0,028}{0,006} \right)$;

– 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 соединения в пакетах с углом клиновидности до 8° (при условии перпендикулярности оси отверстия одной из поверхностей пакета);

– несколько вариантов сочетания материалов (см. табл. 2).

Результаты проведенного сравнительного анализа технических характеристик и параметров российских и зарубежных крепежных систем 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.

При создании самолетов семейства SSJ-100 особо важное значение приобретают технологии выполнения болтовых соединений [4].

Технологические процессы сборки самолетных конструкций характеризуются постоянно возрастающей сложностью сборочных работ и, как следствие, высокой трудоемкостью, составляющей 40–50% от всей трудоемкости изготовления самолета. Основная доля труда при производстве сборочных работ затрачивается на выполнение заклепочных и болтовых соединений. Центральным звеном в технологии сборки является принятый метод сборки, определяющий структуру всего технологического процесса,

состав технологического оснащения, уровень качества финальных изделий, производительность и трудоемкость продукта.

Совершенствование методов сборки, позволившее снизить объем подгоночных работ и повысить уровень автоматизации клепки, тем не менее, не исключило необходимость выполнения сборочных операций с помощью ручного механизированного инструмента. Механизированный инструмент, как правило, не предусматривает регулирования технологических режимов, поэтому оптимальные параметры технологических операций достигаются за счет оснащения сборочного производства необходимой номенклатурой универсального, специализированного и специального механизированного инструмента [5]. Применяемая технология и механизированный инструмент должны минимизировать влияние субъективного фактора на качество болтовых соединений.

Болтовые соединения, как правило, используются в высоконагруженных зонах планера самолета, поэтому технологические процессы выполнения этих соединений считаются особо ответственными. Требования к выполнению болтовых соединений устанавливаются конструкторской документацией на собираемое изделие и действующей нормативной документацией.

Так, применение крепежных систем из титановых сплавов при сборке агрегатов, панелей, узлов для неразъемных соединений определяется более высокими удельными характеристиками их прочности по сравнению с алюминиевыми сплавами и сталями, большей работоспособностью в условиях повышенных температур. Это обеспечивает снижение массы, например, болтов из сплава ВТ-16 на 40% по сравнению с высокопрочными болтами из стали 30ХГСА и позволяет использовать их без ограничения ресурса при температурах до 130 °С.

В настоящее время в авиационной отрасли разработаны предприятием ОАО «Нормаль» и применяются стандарты на крепежные элементы, а также типы инструмента для их постановки («Отраслевой типаж специализированного оборудования и ручного механизированного инструмента для выполнения заклепочных и болт-заклепочных соединений ОТ-8»).

Таблица 2. Сочетание материалов элементов крепежной системы по ОСТ 1 00750-76

Материал болта	Материал гайки	Материал шайбы
16ХСН	30ХГСА	30ХГСА
ВТ-16	30ХГСА Д16Т	ВТ-16 30ХГСА



Рис. 12. Крепежные системы ОАО «Нормаль»

Прогрессивность таких неразъемных соединений определяют следующие важнейшие конструктивно-технологические факторы:

- Повышение ресурса: определяющей составляющей ресурса самолета является ресурс его планера, а работоспособность планера во многом определяется местами соединения деталей, узлов, агрегатов.

- Снижение массы: одним из путей снижения массы неразъемных соединений является замена болтовых соединений на болт-заклепочные, среди которых наибольший положительный эффект с точки зрения снижения массы дает применение облегченных болт-заклепок из сплава ВТ-16 (ОСТ1 30041-82, ОСТ1 30042-82). По сравнению с обычными, облегченные болт-заклепки (вследствие малых размеров закладной и замыкающей головок) имеют массу на 0,95 кг меньшую в расчете на 1 000 соединений.

- Безударность установки: это относится к соединениям со сплошными заклепками, так как все остальные виды неразъемных соединений осуществляются только безударно. В связи с малой пластичностью сплошных заклепок из титановых сплавов рекомендуется их клепка прессовым спосо-

бом, так как при ударной клепке возможно растрескивание замыкающих головок.

Ресурс авиационной техники (АТ) — продолжительность функционирования (наработки) конструкции ЛА, выраженная в летных часах до наступления предельного состояния, при котором дальнейшая эксплуатация ЛА прекращается по требованиям безопасности или эффективности эксплуатации в связи с возможным недопустимым снижением прочности или заявленным и подтвержденным ресурсом. Ресурсные испытания АТ в России проводятся в ЦАГИ имени профессора Н.Е. Жуковского или СибНИИА имени С.А. Чаплыгина.

При проведении ресурсных испытаний и военной, и гражданской техники крепежные системы ОАО «Нормаль» (рис. 12) всегда выдерживают испытания.

Генеральные конструкторы авиационной техники некоторых КБ не требуют ресурсных испытаний отдельных крепежных систем, но на ОАО «Нормаль» по усмотрению Главного конструктора проводятся испытания: на малоцикловую усталость (МЦУ), которая имитирует условия эксплуатации авиационной техники; на трещиностойкость — группу параметров, характеризующую способность материалов тормозить развитие трещины,

используя критерий Ирвина (K_{Ic}), и другие виды испытаний.

Надежность крепежных систем обеспечивается строгим выполнением требований конструкторской документации, согласованной с НИИСУ; инструкций ВИАМ; технологической документации ОАО «Нормаль» [6].

Действующая технология производства крепежных изделий, система качества, исследования по дальнейшему повышению качества крепежных изделий позволяют выполнять требования генеральных конструкторов авиационной техники при испытании изделий для подтверждения заявленного ресурса. Об этом свидетельствует, например, сертификат МАКа (Международного авиационного комитета), выданный в 2011 году самолету семейства SSJ-100 производства ОАО «КНААПО» Авиационной Компании «Сухой».

Каждая партия-плавка металла, поступающая на ОАО «Нормаль», подвергается входному контролю, в том числе проверке микроструктуры. В некоторых случаях металл подвергается дополнительным проверкам и исследованиям. Так, по предложению Главного конструктора и Главного металлурга ОАО «Нормаль» четыре плавки ферритно-перлитной стали марки 16ХСН были направлены и приняты в рамках оказания техничес-

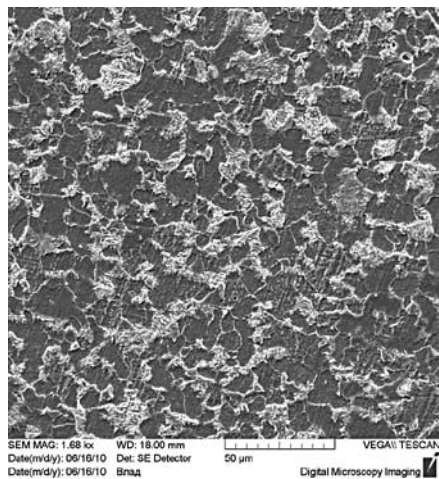


Рис. 13. Электронное изображение структуры образца стали 16ХСН, увеличение $\times 1000$

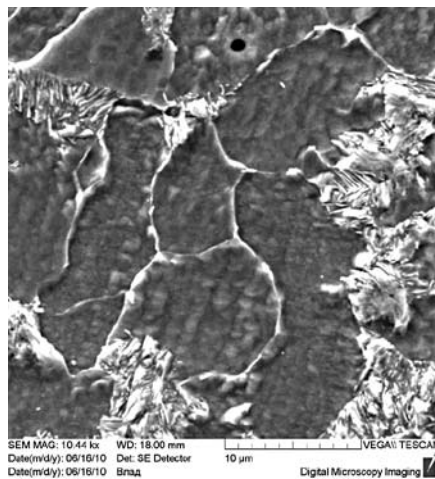
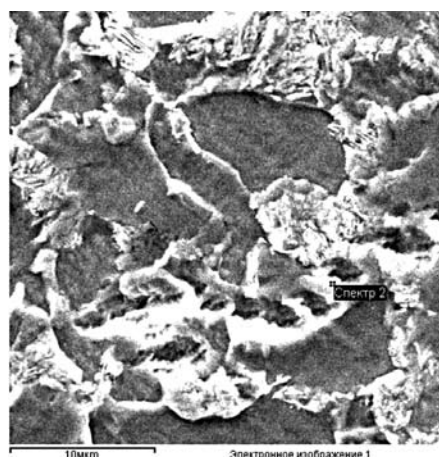


Рис. 14. Электронное изображение структуры образца стали 16ХСН, увеличение $\times 10\,000$



Элемент	Весовой %	Атомный %
Si	0,80	1,59
Cr	0,91	0,96
Mn	0,60	0,61
Fe	96,79	95,99
Ni	0,90	0,85
Итого	100,00	

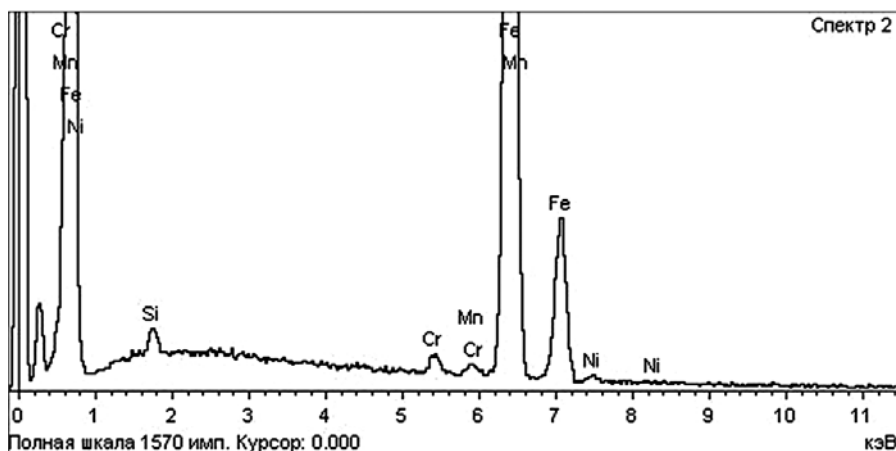


Рис. 15. Результат микрорентгеноспектрального анализа образца стали 16ХСН, участок 2

кой помощи для исследования структуры методом электронной микроскопии и методом микрорентгеноспектрального анализа в Учебном демонстрационно-испытательном центре НУК МТ МГТУ им. Н.Э. Баумана. В НУК МТ (рук. А.Г. Колесников, д.т.н., профессор) исследования структуры методом электронной микроскопии на сканирующем электронном микроскопе VEGA TS5130 в режиме энергодисперсионного анализа при ускоряющем напряжении 20 кВ проведены

д.т.н., профессором кафедры «Материаловедение» В.М. Полянским.

В результате проведенных исследований, в том числе и микрорентгеноспектрального анализа, было установлено, что в состоянии поставки отсутствуют включения второй фазы по границам зерен.

Тенденция мирового развития и гражданского, и военного авиастроения подтверждает сохранение соединений узлов, панелей, агрегатов летательных аппаратов,

в том числе конструкций из полимерных конструкционных материалов, на основе крепежных соединений в объеме до 80%.

Особую остроту этой проблеме придает значительное увеличение объема полимерных конструкционных материалов (ПКМ) в конструкциях планера самолетов нового поколения. При этом необходимо отметить объективную необходимость использования фундаментальных исследований в этой области таких ученых как д.т.н., профессор, член-корр. РАН Сироткин О.С. [7] и др.

Анализ показывает, что в авиационной промышленности России методы и средства выполнения элементов конструкции и технологии сборки агрегатов планера из ПКМ регламентируют более 100 отраслевых документов, подавляющее большинство которых было разработано и введено в действие в 70–90-х годах прошлого столетия ПО «Нормаль», НИАТ, НИИСУ и др.

Очевидно, что этот массив нормативной документации требует совместных усилий специалистов для его актуализации и обновления при финансовой поддержке Объединенной Авиастроительной Корпорации (ОАК).

Соединения на основе крепежных систем во многом определяют качество, надежность, ресурс современной авиационной техники.

Библиография

1. Современные технологии авиастроения. / Под редакцией А.Г. Братухина и Ю.Л. Иванова. М.: Машиностроение, 1999.
2. Братухин А.В. К вопросу технологии производства крепежных изделий авиакосмической техники, Киев, Украина // Технологические системы, № 2, 2011, С. 17–21.
3. Братухин А.Г., Новожилов Г.В., Мишин В.И., Куликов Ф.Р. Применение сплавов титана в конструкциях магистральных и тяжелых транспортных самолетов. // Титан, № 1, 1996, С. 52–59.
4. Пекарш А.Н., Тарасов Ю.М., Кривов Г.А. и др. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов. М.: Аграф-Пресс, 2006.
5. Братухин В.А., Пастушенко Ю.М., Резников В.А., Шеридина Т.Н. Современный механизированный инструмент в системе обеспечения качества авиационной техники. Киев, Украина // Технологические системы. Выпуск 1, 2006, С. 36–44.
6. Володин В.А., Воробьев И.А., Братухин В.А. Комплексная система управления качеством изделий для высокоресурсных соединений. // Вестник машиностроения, 2001, № 6, С. 41–44.
7. Сироткин О.С. Соединения конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1985.