



УДК 629.7:621.7

*Матвиенко В.А.¹, Гири Р.И.², Стрижиус В.Е.², Пастушенко В.Н.¹, Толстой С.А.¹, Шитюха Е.Г.¹, Еремин М.В.²*¹ ОАО "Украинский научно-исследовательский институт авиационной технологии". Украина, Киев.² ЗАО "Гражданские самолеты Сухого". Российская Федерация, Москва**МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
ЗАКЛЕПОЧНЫХ И БОЛТ-ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ
ПЛАНЕРА САМОЛЕТОВ СЕМЕЙСТВА SSJ****Анотація**

Освітлені питання, пов'язані із створенням механізованої технології одноударної імпульсної клепки стикових швів панелей фюзеляжу і виконання болт-заклепувальних з'єднань елементів конструкції планера літака.

Abstract

Questions are illustrated related to creation of the one-approach impulse riveting mechanized technology for the fuselage panel butt seams and performing the bolted-riveted joints of the aircraft airframe structure components.

Конструктивно-технологическая концепция создания самолетов семейства SSJ предусматривает широкое применение автоматического клепального оборудования для выполнения заклепочных соединений при сборке агрегатов планера самолета. Соединения выполняются при сборке конструкций агрегатов планера самолета, содержащих детали из высокопрочных алюминиевых (1163Т, 1933Т2, В95Т2) и титановых (ВТ6, ОТ4) сплавов с повышенной коррозионной стойкостью, а также полимерных композиционных материалов [1].

Тем не менее, как показывает практика, порядка 10–15% заклепочных соединений в конструкции планера самолета недоступны для исполнительных механизмов автоматических клепальных автоматов из-за ограниченных подходов в зону выполнения соединений [2].

Учитывая габариты планера современных региональных самолетов, речь идет о тысячах заклепок, которые необходимо расклепывать, используя механизированный инструмент и соответствующие методы клепки.

Одним из типичных элементов конструкции самолета, для которых эта проблема традиционна, являются стыковые швы панелей фюзеляжа.

Известно, что стыковые швы воспринимают значительную часть силовых потоков, действующих на планер самолета, и относятся к особоответственным элементам его конструкции. Этим объясняется особое внимание, уделяемое специа-

листами определению их конструктивных параметров и технологии клепки. В целом, при выборе технологии клепки анализируются, как правило, следующие основные данные, характеризующие соответствующие методы выполнения заклепочных соединений:

- статическая и усталостная прочность заклепочного шва;
- качество аэродинамической поверхности агрегата в зоне заклепочного шва;
- герметичность заклепочного шва по отверстиям;
- трудоемкость клепки и себестоимость заклепочного шва;
- санитарно-гигиенические параметры процесса клепки.

Многолетний отечественный и зарубежный опыт показывает, что в полной мере комплексу перечисленных требований соответствует метод импульсной клепки.

Так, в частности, на самолетостроительных предприятиях компании BOEING используется магнито-импульсные клепальные машины фирмы Electroimpact Inc. (США) (рис. 1).

Начало работ в области импульсной клепки в УкрНИИАТ относится к концу 70-х – началу 80-х годов прошлого столетия. Эти работы базировались на результатах всесторонних сравнительных испытаний заклепочных соединений, выполненных различными методами клепки (прессовый,

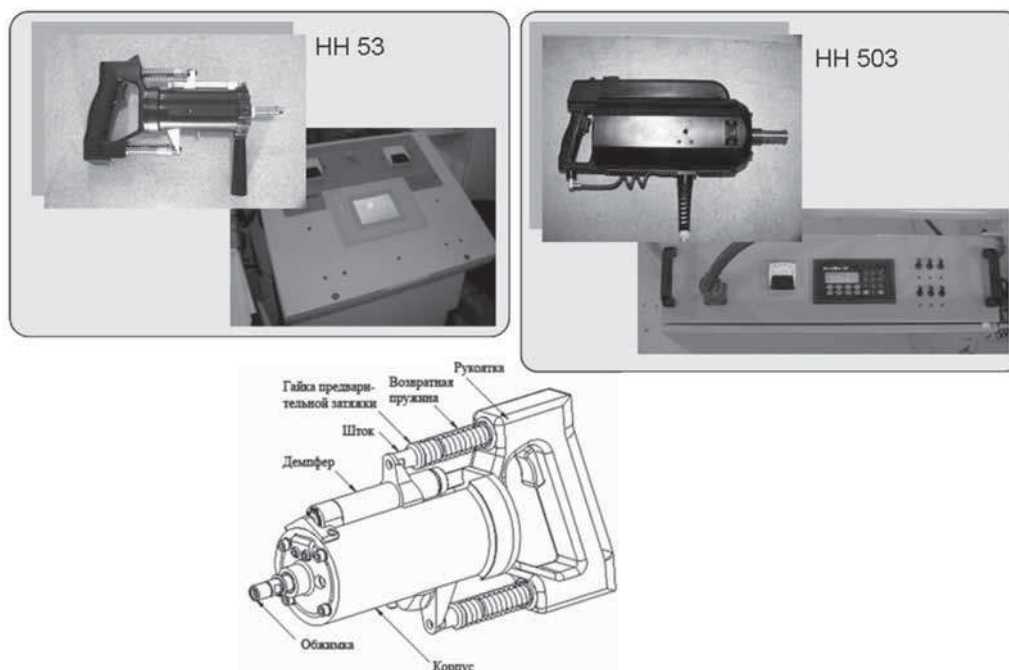


Рис. 1. Магнито-импульсные клепальные молотки и используемые в комплекте с ними генераторы электрического импульса

многоударный, одноударный). Исследования проводились в нескольких исследовательских центрах (ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, УкрНИИАТ, Харьковский авиационный институт). Результаты испытаний позволили сделать вывод о том, что одноударный метод клепки, при рациональном выборе конструктивно-технологических параметров соединения, обеспечивает статическую и усталостную прочность, а также герметичность заклепочного шва не ниже, а в ряде случаев — выше, чем многоударный метод [3–4].

В этот период в УкрНИИАТ были разработаны и введены в действие отраслевые руководящие технические материалы "Выполнение заклепочных соединений одноударными импульсными молотками КИМ-4 и КИМ-6 заклепками из сплава В65 по ГОСТ 14797-75...ГОСТ 14801-75" (РТМ 1.4.787-80).

Приведенные ниже материалы отражают результаты совместной деятельности ГСС и УкрНИИАТ, которая является развитием и продолжением работ в области импульсной клепки, применительно к самолету SSJ, в частности, продольным стыкам панелей фюзеляжа.

Целью работы, результаты которой представлены ниже, являлось создание технологии и средств её реализации, обеспечивающих образование импульсным методом заклепочных соединений, соответствующих перечисленным выше требованиям.

Проведен комплекс опытно-технологических работ по отработке технологии импульсной клепки с образованием потайных замыкающих головок заклепок в обшивках, выходящих на внешнюю поверхность фюзеляжа.

Предложенная схема клепки позволяет использовать заклепки с плоско-скругленной головкой,

обеспечивает равномерный радиальный натяг между телом заклепки и поверхностью отверстия по всей толщине пакета, в том числе, в зоне зенкованного гнезда под замыкающую головку. При этом, гнездо имеет специальную форму, обеспечивающую герметичность соединения (рис. 2).

Для реализации разработанной технологии клепки создан одноударный импульсный клепальный молоток КИМП-5, содержащий, по сравнению с предшествующими моделями, ряд новшеств. В частности, увеличенной энергией удара и улучшенными эргономическими характеристиками. Молоток КИМП-5 используется в комплекте с одиночной или групповой поддержками. Размеры групповой поддержки позволяют, с одной её установки, выполнить клепку шва на длине, соответствующей шагу шпангоутов фюзеляжа (рис. 3). Результаты работы обобщены в корпоративной технологической инструкции "Клепка продольных и поперечных стыковых швов панелей фюзеляжей самолетов семейства RRJ молотками клепальными импульсными пневматическими КИМП-5". УкрНИИАТ изготовлена и поставлена ГСС опытная партия молотков КИМП-5.

В соответствии с принятой конструктивно-технологической концепцией проекта SSJ, одним из направлений обеспечения весового совершенства конструкции планера семейства самолётов является широкое использование для их сборки эффективных типов крепежа и крепёжных систем. В частности, болт-заклепок, масса которых на 10...30% меньше болтовых соединений одинаковых диаметров [2].

Только в конструкции кессона консольной части крыла предусмотрено использование порядка 14,0 тыс. болт-заклёпок диаметром 5; 6; 8 и 10 мм,

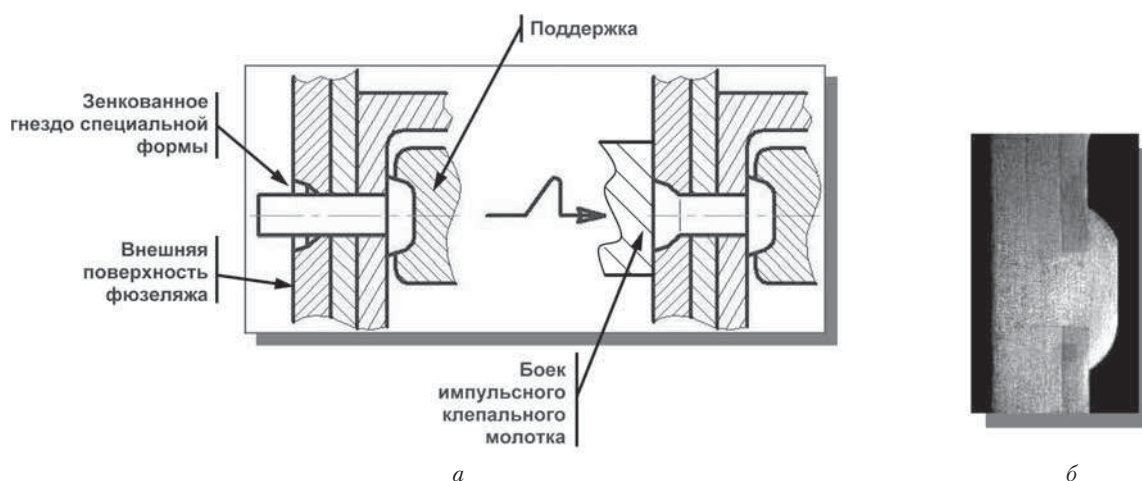


Рис. 2. Выполнение заклепочных соединений импульсным методом с образованием головки заклепки:
 а — схема клепки; б — микрошлиф заклепочного соединения

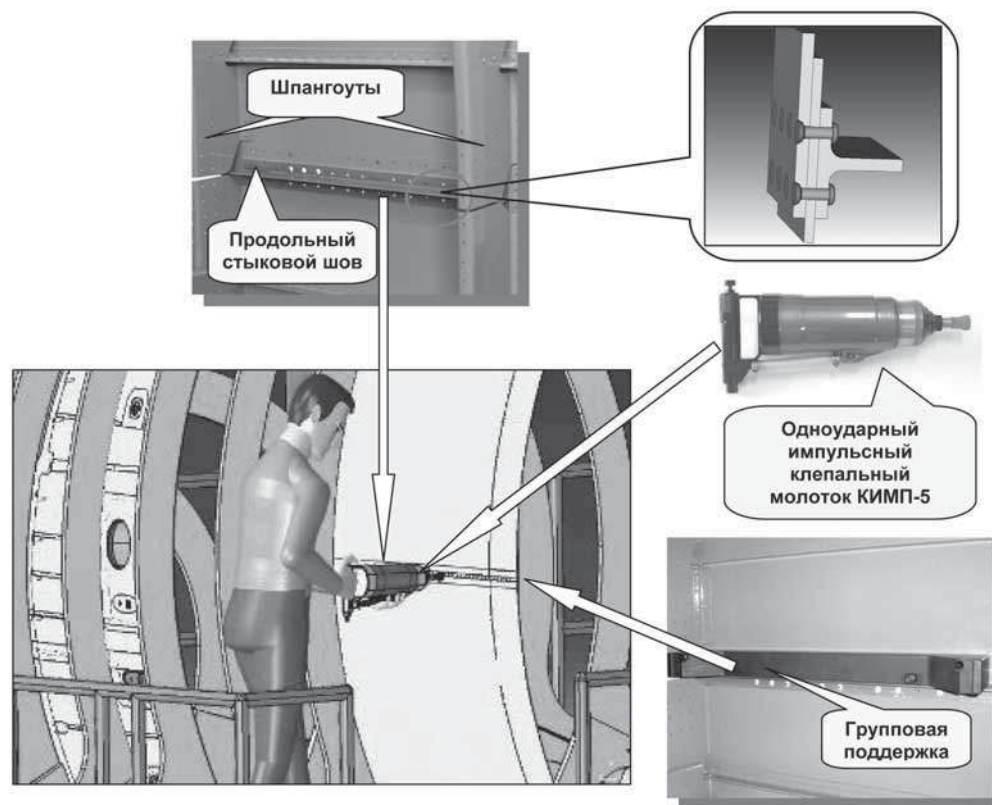


Рис. 3. Импульсная клепка продольных стыковых швов панелей фюзеляжа

устанавливаемых в отверстия с упругопластичным натягом. Всего в конструкции планера самолёта количество болт-заклёпок составляет около 23 тыс. штук. Очевидно, что выполнение такого количества высоконагруженных соединений, с учётом программы серийного производства самолётов, выдвигает к технологии постановки крепежа особые требования относительно ее производительности и себестоимости, а также стабильности качества соединений.

Достичь высокого уровня этих показателей в условиях серийного производства агрегатов планера представляется возможным при условии создания и внедрения комплексно-механизированной технологии выполнения соединений.

Первым этапом данной совместной работы специалистов ГСС и УкрНИИАТ стал конструктивно-технологический анализ планера (консольная часть крыла, горизонтальное оперение, киль, пилоны навески двигателей), проведенный с использованием электронных моделей агрегатов (рис. 4).

Учитывая цель работы, проанализированный массив болт-заклёпочных соединений (БЗС) был классифицирован по критерию "Характер подхода механизированного инструмента для выполнения соединений в зону постановки крепежа".

В соответствии с принятым критерием, БЗС в конструкции планера SSJ были объединены в четыре классифицированные группы, характеризующиеся соответствующими геометрическими параметрами (рис. 5).

Известно, что технологический процесс выполнения БЗС с натягом включает следующие основные операции:

- сверление предварительных отверстий;
- обработка точных отверстий (как правило, методом развёртывания);
- постановка стержня болт-заклёпки в отверстие;
- образование замыкающей головки (постановка обжимного кольца на стержень болт-заклёпки) и отрыв технологического хвостовика.

В разработанном УкрНИИАТ ранее нормативном документе [5] и предшествующей публикации [1], освещающей результаты проведенных совместных опытно-конструкторских и опытно-технологических работ в рамках проекта SSJ, была представлена информация относительно разработанных комплексно-механизированных технологиях обработки отверстий под крепёжные элементы (болты, болт-заклёпки), устанавливаемые с упругопластичным натягом. Для реализации

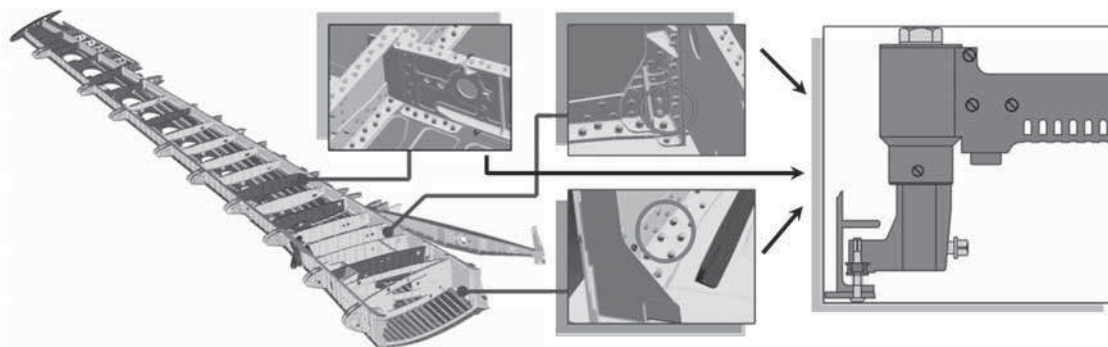


Рис. 4. Конструктивно-технологический анализ болт-защепочных соединений с использованием электронных моделей агрегатов

этих технологий УкрНИИАТ разработан комплекс сверлильных, сверлильно-зенкероальных, развёртывающих и протяжных машин, в том числе с автоматической подачей, и режущего инструмента к ним (рис. 6).

Учитывая эти обстоятельства, а также формат данной публикации, ниже приведена краткая информация о проводимых в настоящее время этапах ОКТР, посвящённых созданию комплексно-механизированных технологий выполнения двух, из перечисленных выше, операций процесса выполнения БЗС: постановки с натягом стержня болт-защепки в отверстие и образование замыкающей головки БЗС.

С точки зрения возможности создания механизированных технологий выполнения БЗС, проанализированный массив соединений был сгруппирован в четыре классификационные группы (табл. 1):

Группа А – соединения, находящиеся в зонах конструкции агрегатов, характеризующихся свободными подходами для механизированного инструмента;

Группа Б – соединения, находящиеся в зонах конструкции агрегатов, характеризующихся ограниченными подходами для механизированного инструмента;

Группа В – соединения, находящиеся в зонах конструкции агрегатов, характеризующихся стесненными подходами для механизированного инструмента;

Группа Г – соединения, находящиеся в зонах конструкции агрегатов, характеризующихся особостесненными подходами для механизированного инструмента.

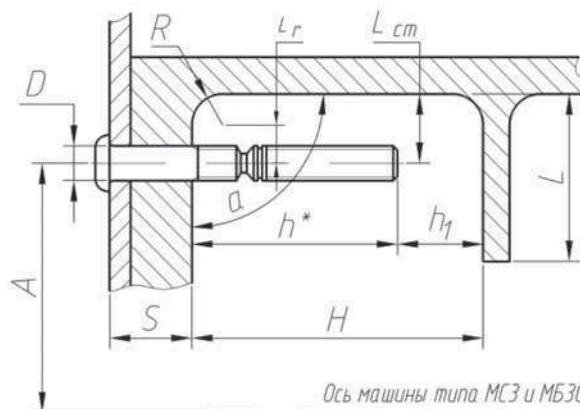


Рис. 5. Зона постановки крепежа конструкции агрегата, по геометрическим параметрам которой была произведена классификация БЗС на группы



Рис. 6. Механизированный инструмент для обработки отверстий под крепежные элементы

Таблица 1
Геометрические параметры конструкции агрегата в зоне выполнения БЗС

Классификационная группа БЗС	D, мм	Геометрические параметры, мм				
		α , град.	H	$L_{ст}$	L_r	L
Группа А	5	≥ 90	58	≥ 9	6	40
	6		62	≥ 11	7	40
	8		72	≥ 15	10	40
	10		77	≥ 17	12	40
Группа Б	5	≥ 90	25	≥ 8	$\geq 5,0$	0
	6			≥ 10	$\geq 5,0$	
	8			≥ 12	$\geq 7,2$	
	10			≥ 16	$\geq 8,8$	
Группа В	5	≥ 90	> 42	≥ 8	≥ 5	≤ 25
	6		> 42	≥ 9	≥ 7	
	8		> 57	≥ 11	$\geq 8,5$	
	10		> 64	≥ 13	≥ 10	≤ 40
Группа Г	5	≤ 86	≤ 42	< 8	< 5	> 30
	6		≤ 42	< 9	< 5	
	8		≤ 57	< 11	$< 7,2$	
	10		≤ 59	< 13	$< 8,8$	

На основании обобщения результатов конструктивно-технологического анализа характеристик имеющегося на рынке инструмента для выполнения БЗС по ОСТ 1 30047-87, ОСТ 1 30048-87 были сделаны следующие выводы и приняты решения:

- БЗС, относящиеся к группе А, могут быть выполнены с использованием имеющегося на российском рынке инструмента;
- БЗС, относящиеся к группе Б, могут быть выполнены с использованием имеющегося на российском рынке инструмента, доработанного в соответствии с рекомендациями УкрНИИАТ;
- для выполнения БЗС, относящихся к группе В, необходимо создание комплекта инструмента;
- БЗС, отнесенные к группе Г, не могут быть выполнены.

Таким образом, опытно-технологические и опытно-конструкторские работы посвящены БЗС группы В.

Для определения основных силовых и технологических параметров операций постановки с натягом в отверстия болт-заклёпок проведен комплекс экспериментальных работ, в результате которых установлены:

- усилия постановки болт-заклепок диаметром 5, 6, 8 и 10 мм в пакеты, содержащие детали из алюминиевых и титановых сплавов;
- усилия обжатия колец на стержнях болт-заклепок диаметром 5, 6, 8 и 10 мм;
- факторы, влияющие на качество соединения, и величины параметров технологических процессов, обеспечивающих качество;
- основные требования к механизированному инструменту для выполнения БЗС, относящихся к классификационной группе В.

Концептуальные технические решения механизированного инструмента для выполнения БЗС группы В были отработаны на спроектированных и изготовленных для этой цели экспериментальных устройствах, моделирующих исполнительные механизмы соответствующих моделей и типоразмеров инструмента (рис. 7). На основании полученных результатов спроектирован комплекс инструмента, включающий:

- машины моделей МСЗ-5, МСЗ-6, МСЗ-8, МСЗ-10 для затягивания в отверстия с натягом стержней болт-заклёпок диаметром 5; 6; 8 и 10 мм, соответственно;
- машины моделей МБЗС-5, МБЗС-6, МБЗС-8, МБЗС-10 для образования замыкающих головок соединений диаметром 5; 6; 8 и 10 мм, соответственно.



Рис. 7. Экспериментальные устройства, моделирующие исполнительные механизмы инструмента для выполнения БЗС группы В

Технические характеристики разработанного инструмента (табл. 2) позволяют выполнять БЗС, относящиеся к данной группе и характеризующиеся геометрическими размерами, приведенными на рис. 5.

Тарасов Ю.М., Кривов Г.А. и др. — М.: Аграф-пресс, 2006. — 304 с., ил.

2. *Современные* технологические процессы сборки планера самолета / Кол. авторов; под ред.

Таблица 2

Модели инструмента, предназначенные для выполнения БЗС в соответствующих зонах конструкции агрегатов планера

Модель инструмента	D	A	S	R	h*	L _{ст}	L	h ₁ , min	H, min
МСЗ-5	5	42	9	4	30	8	25	12,5	42,5
МБЗС-5									
МСЗ-6	6	42	16,5	5	29,5	9	30	12,5	42
МБЗС-6									
МСЗ-8	8	60	25,5	2,5	40,5	11	≤23	17,5	58
МБЗС-8							40	29,5	70
МСЗ-10	10	60	25,5	3	44,5	13	23...40	17,5+0,7×(L-23)	58...70
МБЗС-10							≤26	19,5	64
МСЗ-10	10	60	25,5	3	44,5	13	40	31,5	76
МБЗС-10							26...40	19,5+0,89×(L-26)	64...76

Проведенный комплекс опытно-технологических и опытно-конструкторских работ позволит на завершающем этапе совместной работы разработать корпоративную нормативную документацию, регламентирующую технологию выполнения БЗС в конструкции планера самолёта и в дальнейшем организовать изготовление гаммы механизированного инструмента для оснащения им заинтересованных предприятий, участвующих в серийном производстве самолётов SSJ.

Литература

1. *Современные* технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / Пекарш А.И.,

Иванова Ю.Л. — М.: Машиностроение, 1999. — 304 с., ил.

3. *Лепетюха В.С., Чистяк В.Г., Кушнарченко С.Г., Книгин В.В.* Импульсная клепка стыковых швов. — М.: Авиационная промышленность, 1987. — № 7.

4. *Редько А.А., Лепетюха В.С., Чистяк В.Г.* Исследование влияния способов клепки на долговечность заклепочных соединений повышенного ресурса. — Харьков: Сборник ХАИ. Вопросы проектирования самолетных конструкций, выпуск 4, 1983. — С. 72–76.

5. *РТМ 1.4.1935-89* Обработка отверстий в пакетах, содержащих алюминиевые, титановые сплавы и стали.