

УДК 621.882.044

Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, В.Н. Степаненко

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ БОЛТОЗАКЛЕПочНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫМ СПОСОБОМ

*В статье проанализированы области использования болтозаклепочных соединений. Отмечены преимущества импульсного способа образования болтозаклепочных соединений. Приведен анализ существующего скоростного (импульсного) оборудования и инструмента. Обосновано его преимущество перед устройствами квазистатического действия. Приведены результаты поискового эксперимента скоростной (импульсной) постановки болтозаклепок с применением ручного пневмоимпульсного инструмента. Определены задачи исследования параметров технологического процесса и ручного инструмента для импульсной постановки болтозаклепок.*

**Ключевые слова:** болтозаклепка, технологический хвостовик, устройства квазистатического и скоростного действия, макрошлиф.

### Введение

Среди наиболее важных требований, предъявляемых к конструкциям современных летательных аппаратов, называют увеличение жесткости и прочности узлов, ресурса и надежности конструкции. В значительной мере перечисленные требования обеспечиваются правильным выбором параметров технологического процесса образования соединений.

Технико-экономическая целесообразность замены в авиационных конструкциях болтовых соединений болтозаклепочными обосновано и подтверждено исследованиями ряда отечественных [1 – 5] и зарубежных ученых [6 – 10]. Конструктивно-технологический анализ магистральных пассажирских самолетов показывает, что замена только 7400 шт. болтов на равнопрочные болтозаклепочные соединения позволяет уменьшить трудоемкость сборки на 170 нормо-часов, снизить ее стоимость, сэкономить 15...18 кг массы изделия.

Важным фактором повышения работоспособности механических точечных соединений является создание не только стабильного радиального натяга, но и осевого натяга заданной величины. Такая возможность наилучшим образом реализуется в болтозаклепочном соединении, где независимо от квалификации исполнителя за счет выбора рациональных параметров технологического процесса и рабочего инструмента достигается усилие сжатия пакета в пределах 60...70% от разрушающей нагрузки стержня крепежного элемента. При этом радиальный натяг достигает величины 1,2%, что делает такое соединение высокоресурсным.

Болтозаклепки нашли широкое применение вместо обычных заклепок в местах, неудобных для прессовой клепки, и при больших толщинах пакета соединяемых деталей, а также вместо болтов – в

неразъемных соединениях. Болтозаклепка сочетает в себе положительные свойства заклепки и высокопрочного болта с предварительной затяжкой.

Существует два основных типа конструктивно-исполнения болтозаклепок: болтозаклепки с технологическим хвостовиком и без технологического хвостовика. Болтозаклепки без технологического хвостовика являются более прогрессивными крепежными элементами, так как имеют меньшую на 30...60% металлоемкость по сравнению с болтозаклепками с технологическим хвостовиком. Это особенно важно при изготовлении и использовании болтозаклепок из дорогостоящих и дефицитных титановых сплавов, а также при массовом применении в конструкции такого крепежа.

Процесс выполнения соединения болтозаклепками без технологического хвостовика предусматривает обжатие кольца фильерой прессы и снятие ее с обжатого кольца. При этом усилие обжатия ограничивается инструментом, поэтому усилие образования соединения может быть больше обжатия кольца. После того как фильера коснется поверхности соединяемой детали, схема распределения сил изменится и стягивание пакета прекратится.

Несмотря на явное преимущество, болтозаклепки без технологического хвостовика не получили широкого распространения из-за сложностей, связанных с реализацией технологического процесса и отсутствия эффективного механизированного инструмента. Кроме этого применение устройств квазистатического действия в условиях ступенчатой сборки существенно ограничено.

Решение этих проблем возможно при использовании устройств высокоскоростного (импульсного) действия.

**Формулирование проблемы.** Основным требованием, предъявляемым к болтозаклепочным

соединениям, является обеспечение качества получаемого соединения, которое характеризуется, прежде всего, следующими величинами:

- усилием сжатия пакета (величиной осевого натяга);
- качеством заполнения кольцом резьбового пространства болта;
- величиной радиального натяга.

В данной статье приведен анализ существующего скоростного (импульсного) оборудования и инструмента, обосновано его преимущество перед квазистатическими устройствами, а также приведены результаты поискового эксперимента для выявления возможности высокоскоростной (импульсной) постановки болтозаклепок, возникающих при этом проблем.

### 1. Преимущества скоростного (импульсного) способа образования соединений

Традиционно в отрасли постановка болтозаклепок осуществляется специальными ручными гидравлическими прессами, работающими от пневмогидравлического агрегата (мультипликатора) с рабочим давлением 20...24 МПа. Большие габариты и масса мультипликатора, жесткие шланги высокого давления, необходимость конструктивной реализации замкнутой силовой схемы процесса существенно ограничивают возможности широкого использования болтозаклепок.

В этой связи заслуженный интерес представляет процесс образования болтозаклепочных соединений импульсным способом. Импульсные технологии обладают рядом существенных преимуществ по сравнению со статическими способами:

- повышение качества формообразования;
- расширение технологических возможностей за счет энергетических показателей;
- снижение себестоимости оборудования и технологической оснастки;
- повышение производительности труда;
- сокращение времени на подготовку производства;
- улучшение условий труда и др.

Процесс импульсной клепки характеризуется большими скоростями деформирования (начальная скорость деформирования превышает 20 м/с) и быстротечностью процесса ( $10^{-4}$ ... $10^{-3}$  с).

Возможность применения ручного импульсного инструмента в конкретных условиях авиационного производства во многом определяют используемые ими энергоносители (источники энергии) и передающие среды (рабочие среды, передающие энергию). В настоящее время известны высокоскоростные ручные устройства порохового, магнитно-импульсного, электромагнитного, пневмогидравли-

ческого и пневматического действия. Энергоносителями данных устройств являются соответственно пороховой заряд, электрическая энергия, накапливаемая в конденсаторах, гидрожидкость высокого давления (20 МПа и более), сжатый воздух пневмомагистрали давлением  $0,5 \pm 0,1$  МПа.

Исходя из условий производства на авиационных предприятиях, особое внимание заслуживают импульсные устройства, работающие от заводской сети сжатого воздуха. К таким устройствам относят пневмогидравлические и пневматические молотки.

### 2. Поисковый эксперимент по постановке болтозаклепок импульсным способом

Для определения возможности постановки болтозаклепок импульсным способом, а также исследования качества соединений, авторами был проведен поисковый эксперимент. Сущность эксперимента заключается в том, что стержень болтозаклепки без технологического хвостовика забивается в отверстие, обеспечивая гарантированный радиальный натяг около 1,2%. Импульсная забивка стержня болтозаклепки обеспечивает достаточно плотное прилегание замыкающей головки болтозаклепки к пакету. Далее, после установки кольца на стержень, обжатие производится также импульсным способом с использованием обжимки специальной конфигурации. В поисковом эксперименте были использованы обжимки со сферической и конической рабочей частью (обжимки аналогичной геометрии применяют при квазистатическом обжатии).

*Материал пакета:* Две пластины из алюминиевого сплава Д16Т общей толщиной 21,7 мм.

*Крепежное изделие:* Болтозаклепка из титанового сплава без технологического хвостовика с плоско-скругленной головкой (ОСТ 130037-79). Кольцо из алюминиевого сплава ВТ65 (ОСТ 130039-79).

*Используемое оборудование и мерительный инструмент:*

- пневмоимпульсный клепальный молоток МПИ-90М;
- поддержка  $m_{\text{подд}} = 4,28$  кг;
- индикаторный нутромер INTO.D 4-95;
- штангенциркуль № U 11872.

Образование отверстий проводили в два перехода:

- 1) сверление спиральным сверлом Ø4 мм;
- 2) развертывание прямой разверткой Ø4,95H7 мм.

Подобная технология выполнения отверстий позволяет обеспечить при установке болтозаклепки диаметром 5 мм гарантированный натяг около 1,2%.

Постановка стержня болтозаклепки в пакет производилась импульсным способом, с начальной скоростью забивки 25 м/с, что обеспечивает плотное

прилегание закладной головки к пакету.

Далее, на пневмоимпульсный клепальный молот МПИ-90М, попеременно, устанавливали коническую и сферическую обжимки, при помощи которых и производили клепку болтозаклепок импульсным способом (рис. 1).

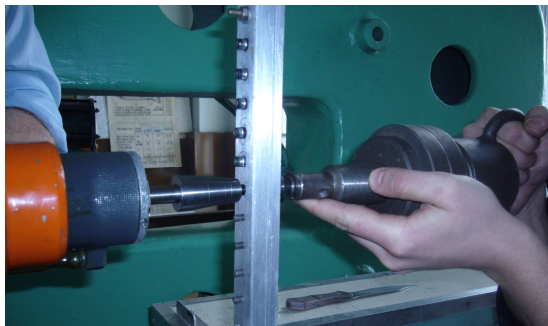


Рис. 1. Постановка болтозаклепок с использованием пневмоимпульсного молотка МПИ-90М

Усилие, передаваемое молотком через обжимку, воздействует на кольцо, которое, в первоначальный момент времени, совершает перемещение в сторону пакета. Это перемещение позволяет сжать пакет, обеспечивая необходимый осевой натяг (величину осевого натяга при проведении поискового эксперимента не замеряли). Далее, в процессе деформации кольца, происходит заполнение материалом кольца резьбовой части болта.

После выполнения соединения, были подготовлены макрошлифы (рис. 2). Фотографии были выполнены на электронном растровом микроскопе РЭМ-106 с камерой низкого вакуума и системой энергодисперсионного микроанализа.

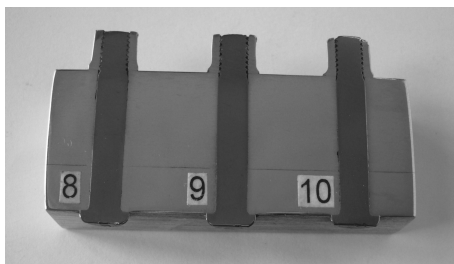


Рис. 2. Образец после препарирования

Анализ макрошлифов показал, что постановка стержня болтозаклепки импульсным способом обеспечивает:

- плотное заполнение стержнем болтозаклепки отверстия (реализация гарантированного радиального натяга);
- плотное прилегание к пакету закладной головки болтозаклепки (рис. 3);
- использование обжимки с конической рабочей частью дает более полное заполнение материалом кольца резьбовой части болта в отличие от об-

жимки со сферической рабочей частью (рис. 4).

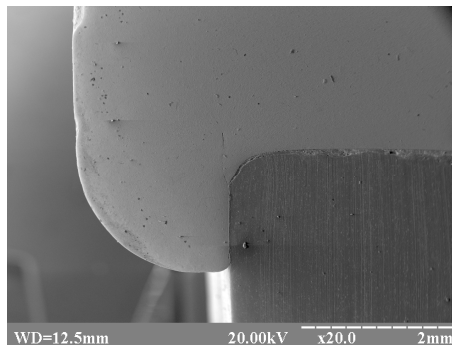
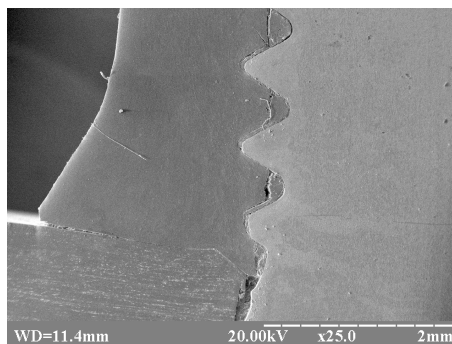
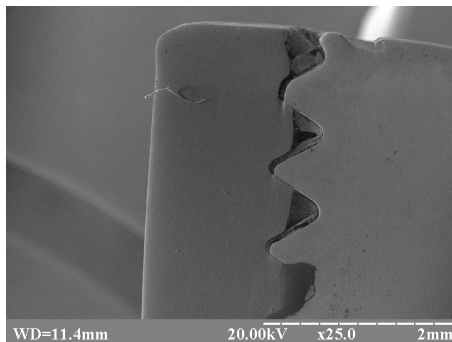


Рис. 3. Прилегание замыкающей головки болтозаклепки к пакету



а



б

Рис. 4. Заполнение резьбовой части материалом кольца:  
а – обжимка с конической рабочей частью;  
б – обжимка со сферической рабочей частью

Аналогичные макрошлифы были получены зарубежными специалистами для болтозаклепок, поставленных с использованием традиционной пресовой технологии (рис. 5) [11].

### Заклучение

Исходя из анализа имеющихся литературных источников и результатов поискового эксперимента можно сделать следующие выводы:

- пневмоимпульсные устройства, сохраняя за собой все преимущества импульсных технологий и инструмента, позволяют расширить технологические возможности постановки болтозаклепок в условиях стапельной сборки в авиационном производстве;

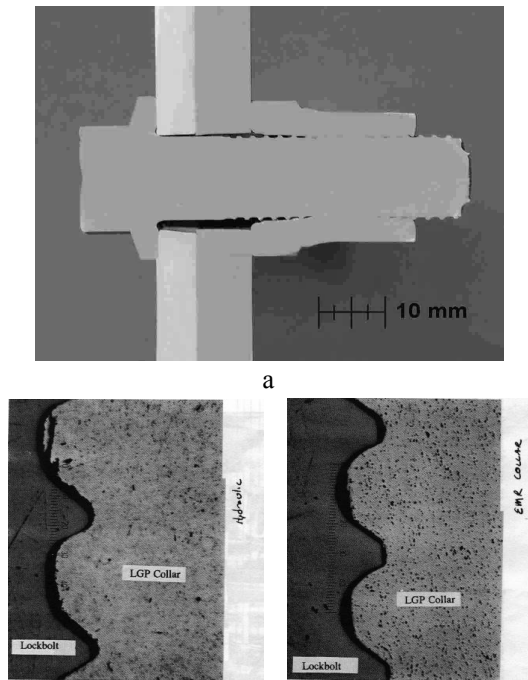


Рис. 5. Макро- (а) и микро- (б) шлифы болтозаклепочных соединений, выполненных с использованием гидравлического прессы [11]

– постановка болтозаклепок импульсным способом обеспечивает достаточно высокое качество соединений.

Поисковый эксперимент не позволил определить рациональные параметры технологического процесса и ручного инструмента для импульсного образования соединений, т.к. в ходе его проведения была использована геометрия рабочего инструмента (обжимки), заимствованная из инструмента статического (прессового) принципа действия.

Для определения рациональных режимов исследуемого технологического процесса необходимо провести многофакторный эксперимент и выполнить моделирование процесса постановки болтозаклепок с использованием программы нелинейного динамического анализа LS-DYNA.

## Список литературы

1. Григорьев В.П. Сборка клепальных агрегатов сам. и вер / В.П. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
2. Современные технологии авиастроения / Коллектив авт. под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.
3. Петриков В.Г. Прогрессивные крепежные изделия. / В.Г. Петриков, А.П. Власов. – М.: Машиностроение, 1991. – 255 с.
4. Ценцевицкая Е.С. Исследование усталостной прочности на отрыв болтозаклепочных соединений / Е.С. Ценцевицкая, Н.С. Бреусс // *Авиационная промышленность*. – 1984. – № 9. – С. 15-18.
5. Ценцевицкая Е.С. Исследование усилия стяжки пакета соединений, выполненных стальными болтозаклепками с технологическим хвостовиком / Е.С. Ценцевицкая, Ю.Н. Поросенков // *Авиационная промышленность*. – 1989. – № 2. – С. 5-8.
6. Zieve Peter. A two tower riveting machine with a true Z axis. / Peter Zieve, Todd Rudberg and Peter Vogeli // *Electroimpact, Inc. – Society of Automotive Engineers*.
7. Perley Wayne. Lightweight HH503 handheld riveter / Wayne Perley, Peter Zieve // *Electroimpact, Inc. – Society of Automotive Engineers*.
8. DeVlieg Russell C. Lightweight handheld electromagnetic riveter (EMR) with spring-damper handle. / Russell C. DeVlieg // *Electroimpact, Inc. – Society of Automotive Engineers*.
9. Holden Ray. Automated riveting cell for A320 wing panels with improved throughput and reliability (SA2) / Ray Holden and Paul Haworth // *Electroimpact, Inc. – Society of Automotive Engineers*.
10. Tomchick Scott. Sideway collar anvil for use on 340-600 / Scott Tomchick, Peter Zieve, Carter Boad // *Electroimpact, Inc. – Society of Automotive Engineers*.
11. Hartmann John. Low Voltage Electromagnetic Lockbolt Installation / John Hartmann, Michael Assadi, Scott Tomchick, and John Barry // *Electroimpact, Inc. Andrew Roberts. British Aerospace. – Society of Automotive Engineers. – P. 2095-2104.*

Поступила в редколлегию 4.02.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ф.В. Новиков, Харьковский национальный экономический университет, Харьков.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ БОЛТОЗАКЛЕПНИХ З'ЄДНАНЬ ІМПУЛЬСНИМ СПОСОБОМ

Ю.А. Вороб'єв, В.В. Воронько, В.М. С.М. Степаненко

У статті проаналізовані області використання болтозаклепних з'єднань, відмічені переваги імпульсного способу утворення болтозаклепних з'єднань, приведений аналіз існуючого швидкісного (імпульсного) пристрою і інструменту, обґрунтована його перевага перед пристроями квазістатичної дії, приведені результати пошукового експерименту швидкісної (імпульсної) постановки болтозаклепок із застосуванням ручного пневмоімпульсного пристрою; визначені завдання дослідження параметрів технологічного процесу і ручного пристрою для імпульсної постановки болтозаклепок.

**Ключові слова:** болтозаклепка, технологічний хвостовик, пристрої квазістатичної і швидкісної дії, макрошлиф.

## RESEARCH OF POSSIBILITY OF FORMATION OF LOCKBOLT CONNECTIONS IMPULSIVE METHOD

Yu.A. Vorobyov, V.V. Voronko, V.N. Stepanenko

The areas of the use of lockbolt connections are analysed in the article, advantages of impulsive method of formation of lockbolt connections are marked, the analysis of existent speed (impulsive) equipment and instrument is resulted, his advantage is grounded before the devices of statics action, the results of searching experiment of the speed (impulsive) raising of lockbolt are resulted with the use of hand pneumoimpulse device; the tasks of research of parameters of technological process and hand instrument are certain for the impulsive raising of lockbolt.

**Keywords:** lockbolt, technological tailpress, devices of statics and high-speed action, macrosection.