

Моделирование импульсных процессов образования неразъемных соединений при сборке авиационных конструкций

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Разработан классификатор применения импульсных технологий при сборке авиационных конструкций с использованием ручных пневмоимпульсных устройств (клепальный молоток, устройство для синхронной клепки, устройство дорнования отверстий), создана обобщенная схема численного моделирования технологической системы импульсных технологий сборки авиационных конструкций, проведено обобщение оптимальных стандартных функций для описания свойств материалов элементов технологической системы при численном моделировании с использованием программных пакетов Ls-Dyna и Abaqus

Ключевые слова: соединение, импульсные технологии, технологическая система, сборка, пневмоимпульсные устройства, классификатор.

Введение

Разработка высокопроизводительных технологических процессов с использованием ручных пневмоимпульсных устройств для сборки авиационных конструкций в условиях стапельной сборки является актуальной задачей.

Экспериментальные методы выбора рациональных технологических параметров импульсных процессов сборки авиационных конструкций требует значительных материальных и временных затрат. Современный уровень развития программного обеспечения и вычислительной техники обеспечивает возможность численного моделирования этих процессов методом конечных элементов (МКЭ).

1. Классификатор применения импульсных технологий при сборке авиационных конструкций

В Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» на кафедре технологии производства летательных аппаратов разработаны конструкции ручных пневмоимпульсных устройств для стапельной сборки летательных аппаратов.

Импульсные технологии с использованием ручных пневмоимпульсных устройств, применяются при сборке авиационных конструкций для следующих видов соединений (рис. 1):

- заклепочных;
- болт-заклепочных;
- болтовых, устанавливаемых с зазором или натягом до 0,6%.

В свою очередь импульсные технологии подразделяются на следующие виды:

- прямая клепка;
- обратная клепка;
- синхронная клепка;

- забивка болта;
- обжатие кольца;
- дорнование отверстий

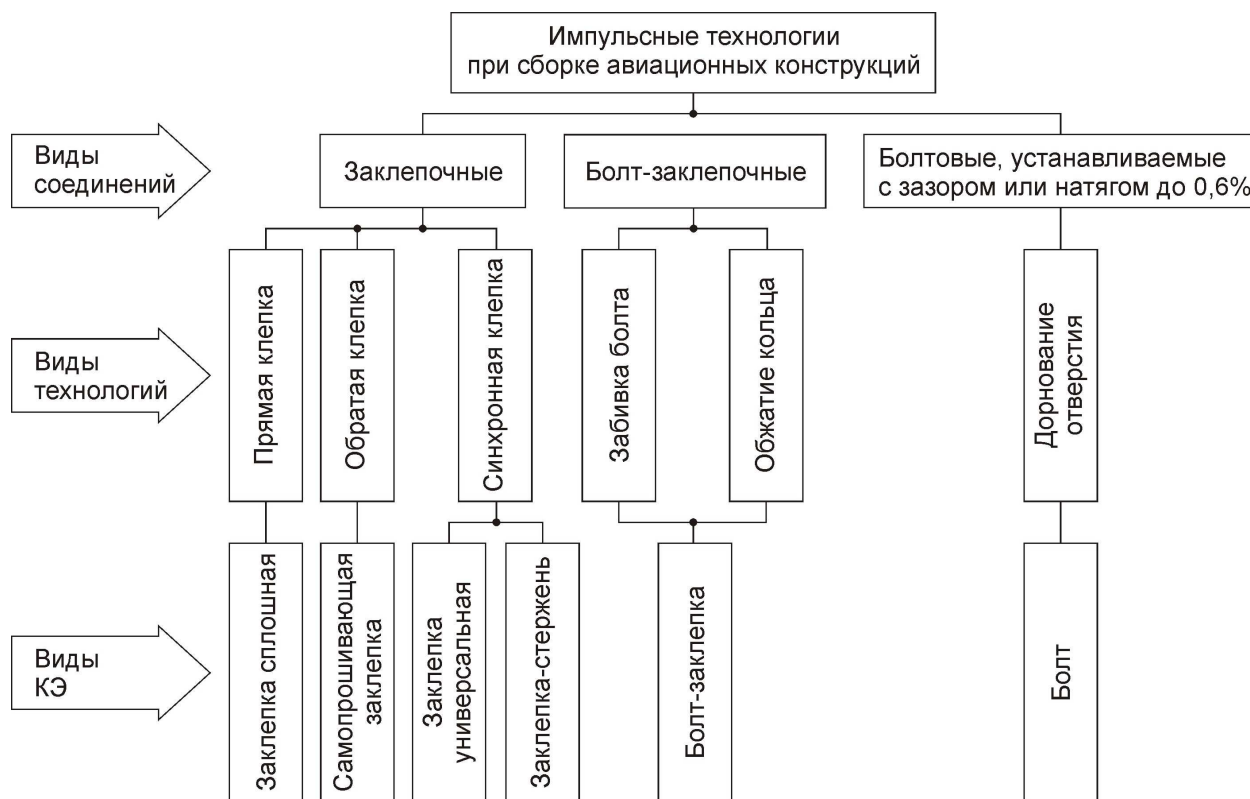


Рис. 1. Классификатор применения импульсных технологий при сборке авиационных конструкций

В ходе анализа применения ручных пневмоимпульсных устройств была создана обобщенная схема процесса численного моделирования импульсных технологий, которая состоит из (рис. 2):

- рабочей части инструмента:
 - а) обжимка (односторонняя и обратная клепка, забивка болта);
 - б) обжимка-поддержка (синхронная клепка);
 - в) поддержка (обжатие кольца);
 - г) дорна (прямое и реверсное дорнование);
- подкрепляющего элемента:
 - а) поддержка (односторонняя и обратная клепка клепка, забивка болта, обжатие кольца);
 - б) обжимка-поддержка (синхронная клепка);
 - в) подкрепляющий элемент конструкции (прямое дорнование);
 - г) упорная втулка устройства (реверсное дорнование);
- упорной втулки устройства:
 - а) полиуретановый прижим (односторонняя и обратная клепка, синхронная клепка, забивка болта);

- б) упорная втулка устройства (обжатие кольца, прямое дорнование);
- в) упорная втулка-поддержкой (реверсное дорнование);
- крепежного элемента:
 - а) заклепка (односторонняя и обратная клепка, синхронная клепка);
 - б) стержень (синхронная клепка);
 - в) болт (забивка болта, прямое и реверсное дорнование (условно));
 - г) кольцо (обжатие кольца);
 - пакета.

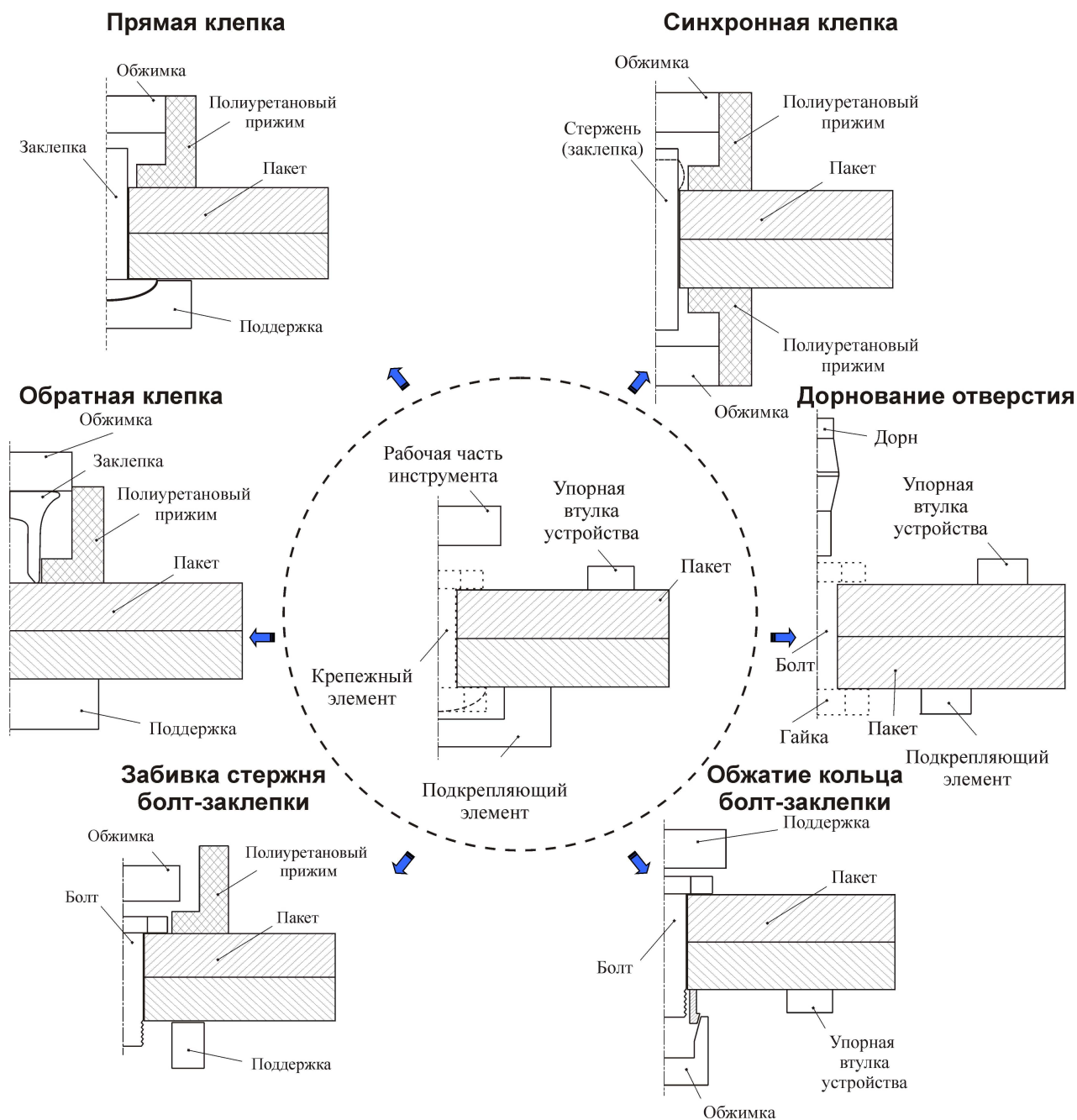


Рис. 2. Обобщенная схема процесса численного моделирования импульсных технологий

2. Численное моделирование технологической системы

На основе обобщенной схемы процесса импульсных технологий созданы конечно-элементные модели для расчетов в программных пакетах Ls-Dyna и Abaqus.

При численном моделировании процессов технологической системы выполняются:

- геометрическое моделирование технологической системы, состоящей из пакета, крепежного элемента, рабочей части инструмента, подкрепляющего элемента и упорной втулки (рис. 2);

- моделирование физических свойств материалов дорна, пакета, подкрепляющего элемента и упорной втулки;

- задание контактных условий взаимодействия элементов технологической системы;

- задание начальных условий элементов системы.

При этом принимаются следующие допущения:

- материалы элементов технологической системы задаются стандартными функциями;

- задачи решаются в осесимметрической постановке;

- трение на контактной поверхности описывается законом Амонта–Кулона;

- тепловые эффекты, вызванные пластическим деформированием, не учитываются.

Наиболее оптимальными стандартными функциями для описания свойств материалов элементов технологической системы являются [1 – 9]:

- пакет: "MAT_POWER_LAW_PLASTICITY" (E , μ ; B , m – коэффициенты степенного закона $\sigma = B\varepsilon^m$);

- крепежный элемент и рабочая часть инструмента (обжимка, дорн):

- 1) "MAT_POWER_LAW_PLASTICITY" μ ; B , m – коэффициенты степенного закона $\sigma = B\varepsilon^m$) – для деформируемых крепежных элементов и рабочей части инструмента;

- 2) "MAT_RIGID" (E , μ) – для не деформируемых крепежных элементов и рабочей части инструмента;

- рабочая часть инструмента (обжимка, дорн) и подкрепляющий элемент (поддержка): "MAT_RIGID" (E , μ);

- упорная втулка устройства (полиуретановый прижим): "MAT_HYPERELASTIC_RUBBER" (μ , константы материала $C01$ (Па) и $C10$ (Па)).

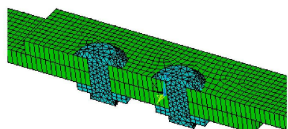
Использование вышеперечисленных стандартных функций при численном моделировании процессов технологической системы дает меньшую погрешность до 15% по сравнению с натурным экспериментом [1 – 9].

При решении импульсных процессов пластического деформирования используется явный метод интегрирования дифференциальных уравнений.

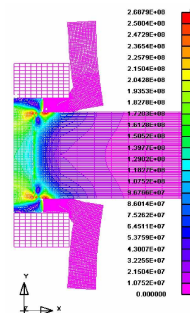
На основании результатов численного моделирования (рис. 3) импульсных технологий (геометрические параметры и напряженно-деформированные состоя-

ние элементов системы) определяются рациональные технологические параметры.

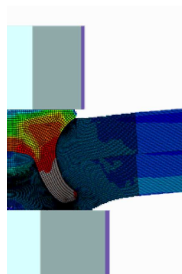
Прямая клепка



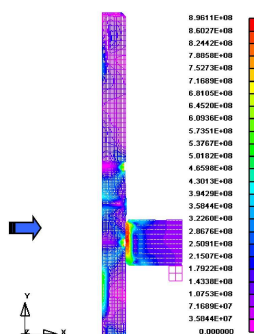
Синхронная клепка



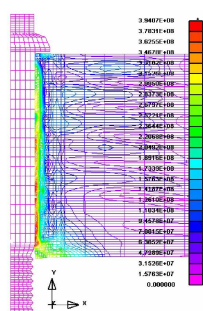
Обратная клепка



Дорнование отверстия



Забивка стержня болт-заклепки



Обжатие кольца болт-заклепки

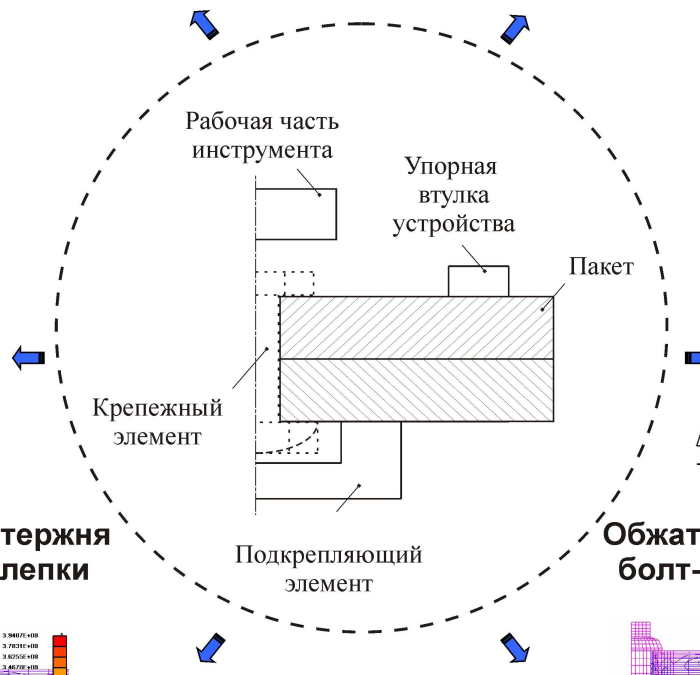
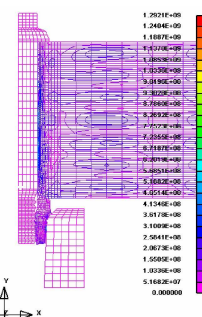


Рис. 3. Результаты численного моделирования обобщенной схемы импульсных технологических процессов в программных пакетах Ls-Dyna и Abaqus

Выводы

1. Разработан классификатор импульсных технологий при сборке авиационных конструкций с использованием ручных пневмоимпульсных устройств (клепальный молоток, устройство для синхронной клепки, устройство дорнования отверстий).
2. Создана обобщенная схема численного моделирования технологической системы импульсных технологий сборки авиационных конструкций.

3. Проведено обобщение оптимальных стандартных функций для описания свойств материалов элементов технологической системы при численном моделировании с использованием программных пакетов Ls-Dyna и Abaqus.

Список литературы

1. Воробьев Ю.А. Моделирование процесса дорнования отверстий под высокоресурсные болтовые соединения в системе LS-DYNA / Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, А.В. Зеленцов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія: тез. доп. міжнарод. наук.-техн. конф.* 25 – 27 травня 2005 р. – Харків, 2005. – С. 49.

2. Воробьев Ю.А. Верификация численной модели процесса импульсного дорнования отверстий / Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько // *Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ–2006: тез. доп. міжнарод. наук.-техн. конф.* – Харків, 2006. – С. 11.

3. Воробьев Ю.А. Сравнительный анализ способов дорнования отверстий / Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, В.Н. Степаненко // *Системи обробки інформації: сб. науч. тр. Харків. ун-та Повітряних Сил ім. І. Кожедуба.* – Вип. 34. – Х., 2007. – С. 71 – 79.

4. Воробьев Ю.А. Определение рациональных параметров процесса скоростного дорнования отверстий с помощью LS-DYNA / Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, Ю.В. Дьяченко // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».* – Вип. 39. – Х., 2008. – С. 134 – 140.

5. Разработка технологического процесса и инструмента скоростного дорнования отверстий авиационных конструкций из алюминиевых сплавов: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02 / Воронько Виталий Владимирович. – Х., 2007. – 133 с.

6. Воронько В.В. Проектирование многопереходной штамповки крышки гидроцилиндра с использованием численного моделирования / В.В. Воронько, О.В. Шипуль // *Зб. Наук. праць Харківського ун-ту Повітряних Сил.* – Вип. 3 (18). – Х., 2008. С. 14 – 19.

7. Моделирование процесса синхронной импульсной клепки стержнями с помощью Ls-Dyna / Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, Ю.В. Дьяченко, С.И. Носа // *Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».* – Вип. 1 (68). – Х., 2010. – С. 5 – 10.

8. Воробьев Ю.А. Верификация результатов численного моделирования процесса импульсной постановки болт-заклепок / Ю.А. Воробьев, В.Н. Степаненко, А.Ю. Воробьев // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.* – Х: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2010. – Вып. 45. – С.80-86.

9. Воробьев Ю.А. Верификация численной модели процесса импульсного дорнования отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов / Ю.А. Воробьев, И.А. Воронько, Б.В. Яцун // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».* – Вип. 46. – Х., 2010. – С. 88 – 98.

Поступила в редакцию 17.06.2015

Моделювання імпульсних процесів утворення нероз'ємних з'єднань при складанні авіаційних конструкцій

Розроблено класифікатор застосування імпульсних технологій при складанні авіаційних конструкцій з використанням ручних пневмоімпульсних пристроїв (клепальний молоток, пристрій для синхронного клепання, пристрій дорнування отворів), створена узагальнена схема чисельного моделювання технологічної системи імпульсних технологій складання авіаційних конструкцій, проведено узагальнення оптимальних стандартних функцій для опису властивостей матеріалів елементів технологічної системи при чисельному моделюванні з використанням програмних пакетів Ls-Dyna і Abaqus

Ключові слова: з'єднання, імпульсні технології, технологічна система, складання, пневмоімпульсні пристрої, класифікатор

Modeling of Impact Acceleration Processes of Fixed Joints Formation in the Process of Aviation Structures Assembling

Designed classifier application of pulse technology in the assembly of aircraft structures using hand-held air-impact devices (riveter, riveting device for synchronous device for holes burnish), created a generalized scheme of numerical simulation technology of pulsed technology assembly of aircraft structures, the generalization of the best standard functions for describing the properties of materials elements of technological systems by numerical simulation using software packages Ls-Dyna and Abaqus

Keywords: connect, impact technology, assembly technological system, air-impact device, classifier