

Исследование нагружения скобы ручного инструмента при прессовой и импульсной клепке с помощью CosmosWorks

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

Введение

В целях повышения качества заклепочных соединений авиационных конструкций путем выбора рациональных параметров технологического процесса синхронной клепки стержнями на основании проведенного сравнительного анализа существующих методов импульсной клепки, которые можно применить для реализации технологического процесса синхронной клепки стержнями, выбран метод импульсной клепки.

Объектом дальнейшего исследования является технологический процесс синхронной клепки стержнями авиационных конструкций с применением пневмоимпульсного клепального инструмента.

1. Формулирование проблемы

Для сокращения сроков подготовки производства и внедрения новых способов клепки и инструмента для его осуществления, а также, с учётом того, что внедрение нового технологического процесса синхронной клепки является перспективным направлением, возникает необходимость проведения сравнительного расчета энергосиловых параметров процессов, основанных на статическом и динамическом принципах действия.

Этот расчет необходим для оценки энергосиловых параметров, напряжений, деформаций и перемещений силового замыкающего элемента во время деформирования заклепки для двух методов клепки:

- клепка на прессах (статический принцип действия);
- клепка импульсным инструментом (динамический принцип действия).

Расчет проводили для силового замыкающего элемента (скобы) переносного пресса типа КПГ8-40-55Б, учитывая технические характеристики пресса. Общая схема пресса показана на рис. 1

Расчет проводили для силового замыкающего элемента (скобы) переносного пресса типа КПГ8-40-55Б, учитывая технические характеристики пресса. Общая схема пресса показана на рис. 1.

Данный ручной инструмент предназначен для клепки агрегатов в сборочных приспособлениях (стапелях) и на верстаках, т.е. для клепки таких мест, где нельзя применить стационарное оборудование.

Поскольку этот инструмент имеет статический принцип действия, его выбрали в качестве модели для проведения прочностного расчета методом клепки динамического принципа действия (импульсной клепки). Такой виртуальный прием моделирования импульсной клепки был выбран из соображений равноценного анализа полученных результатов для двух методов клепки.

Такая же задача была выполнена в работах [1, 2] без учета жесткости конструкции и динамического характера нагружения.

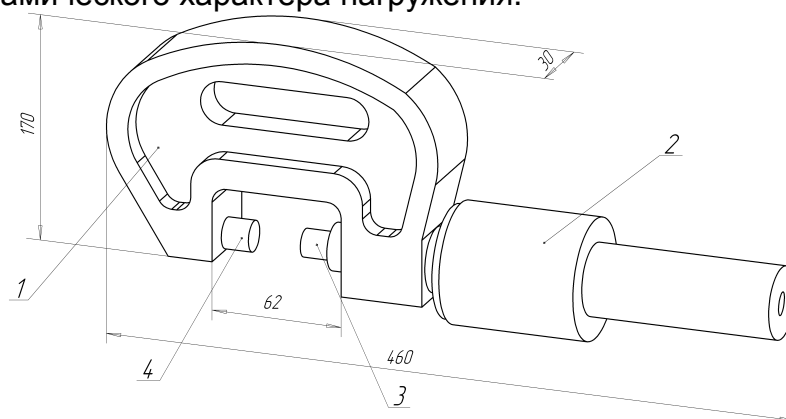


Рис. 1. Общая схема переносного гидравлического пресса типа КПГ8-40-55Б:
1 – силовой замыкающий элемент пресса (скоба); 2 – рукоятка пресса;
3 – обжимка; 4 – поддержка

2. Средства проведения расчета

Расчет проводили с помощью прикладной программы компьютерного инженерного анализа CosmosWorks, предназначенной для автоматизированного прочностного анализа конструкции проекта. CosmosWorks использует для расчета метод конечных элементов (МКЭ).

CosmosWorks интегрирована в систему автоматизированного проектирования SolidWorks и представляет собой мощный и простой в использовании программный комплекс для инженерных расчетов, имеющий широкий спектр специализированных решателей, позволяющих анализировать большинство встречающихся задач для деталей и сборок:

- линейный статический анализ;
- определение собственных форм и частот;
- расчет критических сил и форм потери устойчивости;
- тепловой анализ;
- совместный термостатический анализ;
- расчет сборок с использованием контактных элементов;
- нелинейные расчеты;
- оптимизация конструкции;
- расчет электромагнитных задач;
- определение долговечности конструкции;
- расчет течения жидкостей и газов.

На основе проверенной техники генерации конечно-элементной сетки CosmosWorks позволяет быстро и качественно выполнять анализ конструкций любой сложности, включая сборки, изделия из листового металла и т.д.

CosmosWorks дает возможность проводить автоматическую генерацию сетки с объединением различных компонентов в одну модель; анализ сборок с учетом разъединения и трения; анализ сборок с учетом больших нелинейных деформаций при контакте поверхностей и трении; анализ интерференции компонентов.

Нагрузки и граничные условия могут быть приложены в глобальной или локальной системе координат. CosmosWorks поддерживает ортогональную, цилиндрическую и сферическую системы координат.

Для визуализации результатов CosmosWorks поддерживает трехмерную графику, основанную на OpenGL. Постпроцессор позволяет просматривать следующие данные, полученные при расчете конструкции:

- напряжения, относительные и абсолютные деформации, деформированное состояние, энергия деформации, силы реакции;
- собственные формы и частоты колебаний;
- температуру, градиенты температуры, тепловые потоки;
- динамическое отображение сечений и вывод изоповерхностей;
- мастер-проверки конструкции, дающие возможность определять коэффициент безопасности;
- историю оптимизации конструкции;
- графическое отображение изменения параметров при Р-методе.

При построении твердотельных моделей для расчета использована CAD-система SolidWorks.

3. Допущения при моделировании условий клепки

1. При клепке имеет место центральный удар обжимки, т.е. силы, деформирующие стержень, совпадают с его осью, и линия их действия проходит через центры тяжести заклепки и обжимки.

2. В процессе деформирования заклепки не учитывается влияние на процесс клепки жесткости пакета соединяемых деталей.

3. Силами воздействия давления и массы энергоносителя, силами трения и другими силами пренебрегают.

4. Расчет на прочность скобы при прессовом методе клепки

Твердотельная модель клепальной скобы построена в программе системы автоматизированного проектирования SolidWorks (рис. 2).

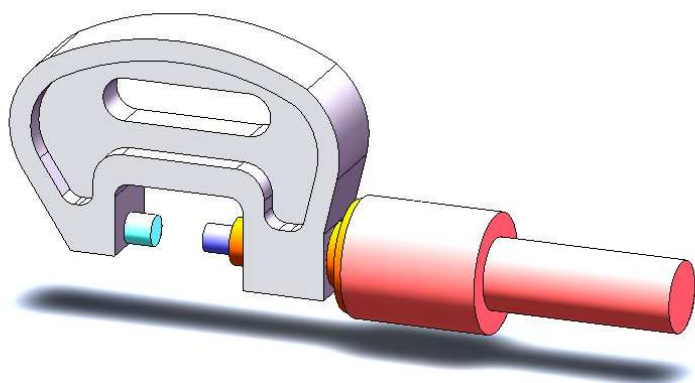


Рис. 2. Твердотельная модель клепальной скобы

Материал скобы – легированная сталь – был подобран в стандартной библиотеке материалов CosmosWorks, физико-механические свойства которого соответствуют свойствам материала, из которого изготовлена скоба, – 30ХГСА (ГОСТ 4543-71).

Расчет статического нагружения

Для проведения расчета на прочность скобы необходимо задать граничные условия:

а) ограничение на перемещение скобы, т.е. скоба зафиксирована в пространстве путем наложения связей на одну из граней;

б) необходимость выбора заклепки с потайной головкой из алюминиевого сплава по ГОСТ 10300-80;

в) физико-механические свойства алюминиевого сплава АМг5П (ГОСТ 14838-78), из которого сделана заклепка;

г) усилие, которое необходимо для расклепывания алюминиевой заклепки диаметром 8 мм. Значение этого усилия по паспортным данным прессы КПГ8-40-55Б – 90000Н. Усилие клепки будем прикладывать не непосредственно к обжимке, которая осуществляет деформирование заклепки (рис.1, поз. 3), а к заклепке. Это обусловлено ограниченностью возможностей CosmosWorks. Данное допущение не изменяет условий нагружения.

На рис. 3 показана модель прессы КПГ8-40-55Б в CosmosWorks с обозначением наложенных ограничений на перемещение и усилия.

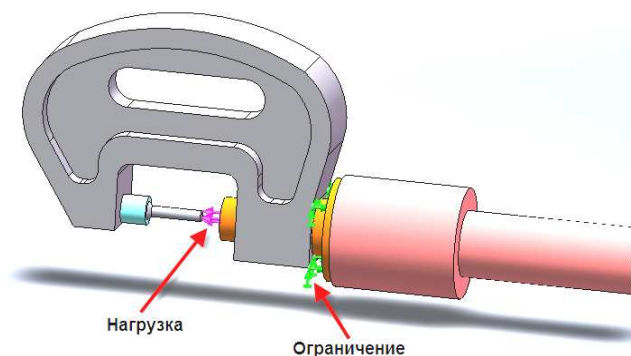


Рис. 3. Модель прессы КПГ8-40-55Б с обозначением ограничений и усилия

На данном этапе все подготовительные операции выполнены и можно переходить непосредственно к проведению расчета.

CosmosWorks в автоматическом режиме строит три эпюры, характеризующие напряженно-деформированное состояние (НДС) скобы после нагружения: эпюры напряжения, перемещения и деформации. Результаты расчета показаны на рис. 4 - 6.

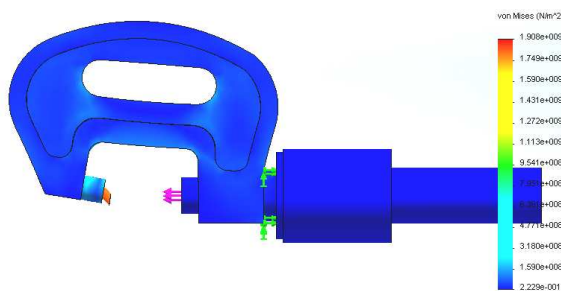


Рис. 4. Эпюра распределения напряжений

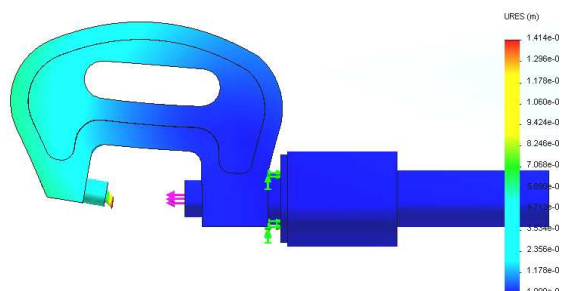


Рис. 5. Эпюра распределения перемещений

Максимальное напряжение, которое испытывает скоба, составляет $2,55 \times 10^8$ Па. Это значение не превышает предела текучести материала инструмента 30ХГСА ($6,20 \times 10^8$ Па). Таким образом, нагружение скобы происходит в зоне упругих деформаций, т.е. после удаления нагрузки, вызвавшей деформацию, последняя исчезает.

Анализируя эпюры распределения деформации и перемещения, видим, что максимальное смещение поперечных сечений скобы в момент максимального нагружения составляет $5,1 \times 10^{-4}$ м.

По окончании проведения расчета в CosmosWorks автоматически генерируется файл отчета, в котором отображаются все этапы прочностного расчета.

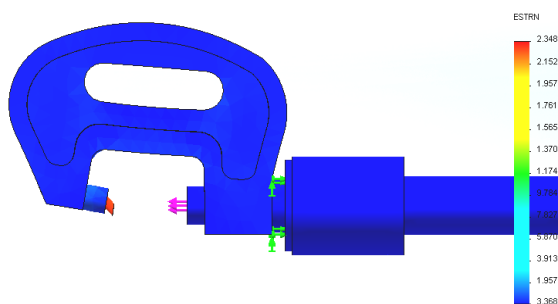


Рис. 6. Эпюра распределения деформаций

5. Расчет на прочность скобы при импульсном методе клепки

Для данного расчета была использована та же модель силового замыкающего элемента (скобы) переносного пресса, что и для предыдущего расчета для того, чтобы адекватно сравнить НДС скобы для методов клепки статического и динамического принципов действия.

Последовательность задания входящих параметров для расчета такая же, как и для предыдущего расчета.

Перемещение скобы в пространстве ограничивается путем наложения связей на одну из граней, а в качестве параметра, определяющего силовую характеристику процесса импульсной клепки, взято усилие отдачи клепального молотка при деформировании заклепки.

Расчет усилия отдачи клепального молотка

Существует методика расчета усилия отдачи клепального молотка в первом приближении, изложенная в работе [3]. Суть данного расчета состоит в следующем.

Поскольку клепальный молоток является замкнутой системой, то в процессе его работы возникает отдача, в результате которой корпус молотка приобретает кинетическую энергию. При рассеивании этой энергии корпус молотка воздействует через подпружиненную рукоятку на руку рабочего с некоторым импульсом силы.

На рис. 7 показана схема клепки молотком. Пружина имеет предварительное сжатие усилием Q_0 . В исходном перед ударом положении (рис. 7, а) молоток прижат рукой рабочего 3 с силой Q_1 к стержню заклепки 5. Усилие Q_1 прижатия меньше усилия Q_0 предварительного сжатия пружины 4 и находится в пределах 30...40 Н, что обусловлено конструктивными особенностями молотка.

В точке О на руку будет также действовать сила, равная Q_1 . В момент удара ствол 1 перемещается в направлении рукоятки, сжимая пружину 4. При этом пружина воздействует на корпус, а корпус, в свою очередь, – на руку, в результате чего корпус перемещается вместе с рукой. При этом скорость ствола будет уменьшаться, а скорость руки и корпуса – возрастать. В некоторый момент времени скорости их станут равными, и в этот момент пружина 4 получит максимальное сжатие.

Для упрощения расчетов было предложено, что в процессе отдачи ствол мгновенно приобретает максимальную скорость, а корпус и рука при их совместном движении имеют одинаковые ускорения. Трением корпуса, пружины и ствола друг о друга пренебрегают.

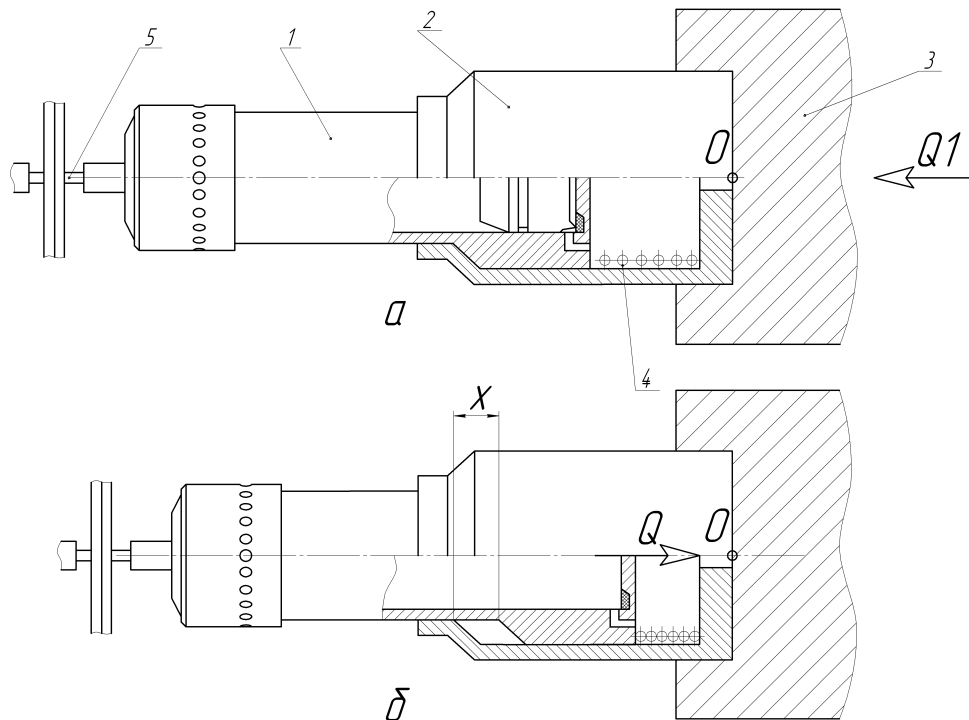


Рис. 7. Расчетная схема для определения усилия отдачи клепального молотка:
 а – молоток перед ударом; б – молоток во время соударения бойка с обжимкой;
 1 – ствол клепального молотка; 2 – корпус-рукоятка; 3 – рука рабочего; 4 – пружина;
 5 – стержень заклепки

В момент максимального сжатия пружина будет действовать на корпус с силой Q . Такая же сила действует на пружину со стороны корпуса. Эта сила складывается из силы Q' , обусловленной инерционностью системы «корпус – рука», и силы Q_1 предварительного прижатия, т.е. можно записать

$$Q = Q' + Q_1. \quad (1)$$

Так как ускорения корпуса и «руки» равны, то

$$Q' = Q_2 + Q_3 = a (M_1 + m_1), \quad (2)$$

где Q_2 и Q_3 – силы, обусловленные инерционностью руки и корпуса;

M_1 и m_1 – массы руки и корпуса;

a – ускорение.

Инерционная сила, с которой рука воздействует на корпус в точке O :

$$Q_2 = M_1 \cdot a. \quad (3)$$

Ускорение a может быть найдено из уравнений (1) и (2) в виде

$$a = \frac{Q - Q_1}{M_1 + m_1}. \quad (4)$$

Тогда сила, с которой «рука» воздействует на корпус благодаря только своей инерционности:

$$Q_2 = \frac{M_1(Q - Q_1)}{M_1 + m_1}. \quad (5)$$

С учетом усилия предварительного прижатия Q_1 в точке O на «руку» будет действовать сила

$$N = Q_2 + Q_1 = \frac{M_1(Q - Q_1)}{M_1 + m_1} + Q_1 \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что усилие, с которым молоток воздействует на руку, зависит от масс корпуса и руки, а также от усилия воздействия пружины и усилия предварительного прижатия молотка к стержню заклепки.

В работе [3] экспериментальным путем были найдены значения эффективной массы руки M_1 , усилие максимального прижатия пружины Q ($M_1 = 2,2$ кг; $Q = 150$ Н).

Подставляя значения всех составляющих в формулу (6), получаем $N=150$ Н.

Найденная таким образом величина усилия отдачи импульсного клепально-го молотка является величиной весьма приблизительной. Но для осуществления расчета на прочность замыкающего элемента нам необходимо было знать лишь порядок этой величины.

Расчет динамического нагружения

Для проведения расчета динамического нагружения принято, что усилие равно 150 Н и приложено к внутренним поверхностям скобы, имитирующее отдачу клепальных импульсных молотков (рис. 8).

Результаты расчетов показаны на рис. 9 - 11.

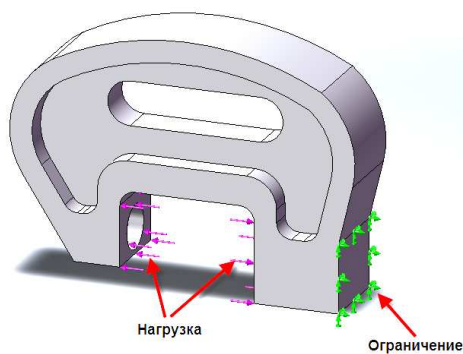


Рис. 8. Модель скобы с отображением ограничения и нагрузок

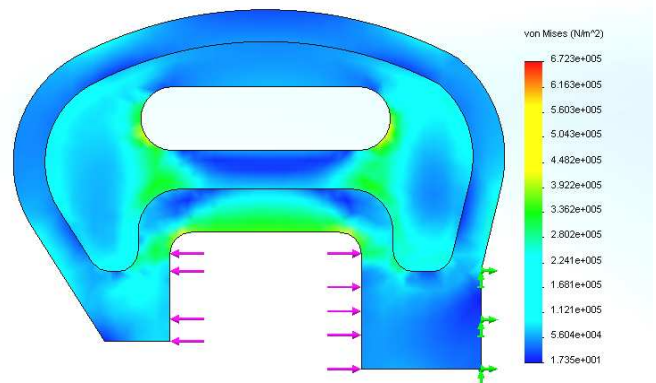


Рис. 9. Эпюра распределения напряжений

Наибольшее значение напряжения, которое достигается при данном нагружении скобы, достигает $5,0 \times 10^5$ Па.

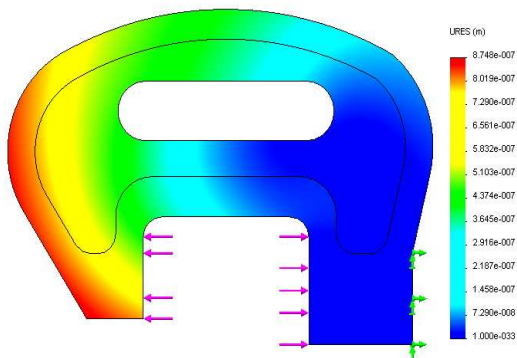


Рис. 10. Эпюра распределения перемещений

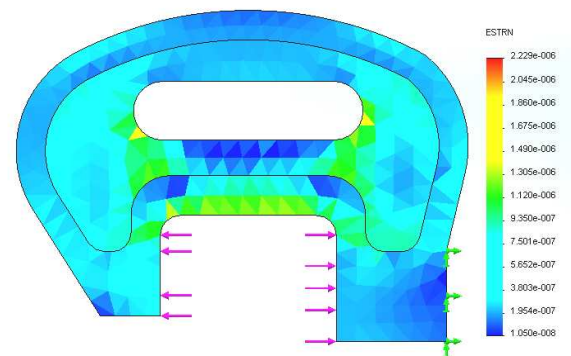


Рис. 11. Эпюра распределения деформаций

Выводы

Сравнивая результаты, полученные в ходе расчета энергосиловых параметров силового замыкающего элемента при статическом и динамическом нагружении, можно сделать следующие выводы:

- максимальные напряжения, возникающие в материале силового замыкающего элемента в процессе деформирования заклепки с помощью статического нагружения, значительно превышают напряжения при динамическом нагружении;
- максимальное перемещение поперечного сечения силового элемента при статическом нагружении составляет $5,1 \times 10^{-4}$ м, т.е. происходит значительная деформация скобы, которая может привести к неосевому деформированию заклепки, что, в свою очередь, вызывает снижение качества заклепочного соединения;
- работая при максимальных нагрузках, силовой замыкающий элемент при статическом нагружении быстрее вырабатывает свой ресурс, чем при динамическом нагружении.

Адекватность численной модели является предметом дальнейшего исследования, требующего экспериментальное исследование вопроса деформации элементов системы пневмоимпульсной синхронной клепки, разработки для этих целей экспериментального стенда, оснащенного современными средствами измерения.

Список литературы

1. Чистяк В.Г. Исследование процесса, разработка и внедрение технологии пневмоимпульсной клепки самолетных конструкций высокоресурсными заклепками: дис. ... канд. техн. наук. /В.Г. Чистяк. – Х.: ХАИ, 1986. – 163 с.
2. Воробьев Ю.А. Разработка технологического процесса и инструмента импульсной клепки авиационных конструкций из углепластика: дис. ... канд. техн. наук. /Ю.А. Воробьев. – Х.: ХАИ, 2004. – 164 с.
3. Лепетуха В.С. Исследование, разработка и внедрение клепки импульсными пневмогидравлическими молотками при сборке самолетных конструкций: дис. ... канд. техн. наук. /В.С. Лепетуха – Х.: ХАИ, 1976. – 176 с.