

Сведения о выполненных работах и  
полученных научных результатах в 2023 году

по проекту «**Экспериментально-теоретическое исследование защитных свойств  
слоистых конструкций авиакосмической техники и транспортных систем с  
элементами из диссипативных метаматериалов при динамических  
воздействиях**»,

поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 23-29-00349

Руководитель: д-р физ.-мат. наук Скрипняк Владимир Альбертович

В первый год выполнения проекта были выполнены следующие работы:

1. Выполнена подготовка образцов 2 типов модельных метаматериалов на основе алюминиевых сплавов и определение топологических параметров модельных объемов. Были разработаны 3D образцы со структурами двух типов ауксетических метаматериалов с топологической схемой «re-entrant» и 3D образцы с топологической схемой пентамодового метаматериала.

2. Выполнена подготовка образцов трехслойных защитных элементов конструкций из алюминиевых сплавов с демпфирующим слоем из метаматериала, определены геометрические параметры трехмерных конструкций.

3. Проведены экспериментальные работы по определению массовой плотности и модулей упругости. Получены диаграммы деформирования при нагружении со скоростями деформации 0.1, 1, 100 1/с для трехслойных защитных конструкций из алюминиевых сплавов.

4. Проведены эксперименты по одноосному сжатию объемных образцов 2 типов метаматериалов для определения эффективных модулей упругости и массовой плотности.

5. Проведены эксперименты по одноосному сжатию модельных трехслойных конструкций с 2 типами демпфирующих слоев с регистрацией изменения во времени усилий и перемещений в элементах при скоростях смещения верхнего слоя 1 м/с и 16 м/с.

6. Проведен анализ полученных в экспериментах данных для оценки деформации и разрушения алюминиевых элементов трехслойных конструкций с демпфирующим слоем из метаматериалов.

7. Создана вычислительная модель для имитационного моделирования условий экспериментов по одноосному динамическому сжатию трехслойных систем с демпфирующим слоем из метаматериала.

8. Проведены предварительные расчеты процесса деформирования трехслойных систем с демпфирующим слоем из метаматериала при одноосном сжатии с высокими скоростями

9. Подготовлены и сданы в печать статьи с результатами изучения закономерностей деформации и разрушения трехслойных систем с демпфирующим слоем из метаматериала при одноосном сжатии с высокими скоростями.

10. Подготовлены доклады с полученными результатами и представлены на четырех научных конференциях.

В результате выполненных в 2023 году исследований по проекту были получены следующие научные результаты:

1. Получены новые экспериментальные данные о закономерностях деформационного упрочнения, скоростной чувствительности, предельных деформациях до разрушения алюминиевого сплава 1520 (АМг2), используемого для создания модельных элементов трехслойных защитных конструкций с объемами метаматериалов. Полученные новые экспериментальные результаты свидетельствуют о проявлении скоростной чувствительности напряжения течения и существенном деформационном упрочнении сплава в диапазоне скоростей деформации от 0.01 до 1000 1/с. Новые данные свидетельствуют о зависимости предельных деформаций до образования трещин в сплаве 1520 при высокоскоростной деформации от коэффициента трехосности напряженного состояния. С использованием новых экспериментальных данных о механическом поведении сплава были определены численные значения коэффициентов модели Джонсона – Кука для сплава 1520, определяющие величину предела текучести от скорости деформации, степени эквивалентных пластических деформаций и температуры, а также зависимость предельных деформаций до разрушения от температуры, эквивалентной скорости деформации и параметра трехосности напряженного состояния.

2. Получены новые экспериментальные данные о массовой плотности, эффективных модулях упругости модельных объемов метаматериалов на основе алюминиевого сплава 1520 с двумя типами «re-entrant» топологий внутренней структуры и пентамодового материала созданного с помощью технологии СЛС из алюминиевого сплава и AlSi10Mg. С использованием полученных экспериментальных данных об эффективной пористости и модулях Юнга ауксетических метаматериалов с топологией «re-entrant» из алюминиевого сплава 1520, было определено численное значение коэффициента в феноменологической зависимости модуля Юнга от пористости конденсированных сред.

3. Получены новые данные о закономерностях развития высокоскоростной деформации сжатия в элементах трехслойных защитных конструкций с объемами двух типов метаматериалов на основе алюминиевых сплавов. Показано, что с ростом скорости деформации в указанном диапазоне возникают осцилляции структурных элементов трехслойных. При динамических воздействиях амплитуда осцилляций возрастает при увеличении скорости сжатия, а при квазистатическом нагружении - уменьшается. Показано, что диссипативные свойства исследованных конструкций сохраняются при эффективной деформации сжатия слоя метаматериалов до 35-50 % в диапазоне скоростей деформаций от ~ 20 до ~400 1/с.

4. Получены новые данные о закономерностях поглощения механической энергии элементами трехслойных защитных конструкций со слоями двух типов метаматериалов при воздействиях динамических нагрузок с амплитудой скорости 1 м/с и 16 м/с. Резкое возрастание сопротивления деформации и снижение диссипативных свойств образцов наблюдается после уменьшения их эффективной пористости до ~ 5 % независимо от скорости нагружения от 1 до 16 м/с.

5. Получены новые данные о закономерностях диссипации механической энергии деформации элементами трехслойных защитных конструкций с объемами двух типов метаматериалов при воздействиях динамических нагрузок с амплитудами скорости 1 м/с и 16 м/с. Показано, что зависимости удельной диссипированной энергии конструкции и коэффициента диссипации удельной энергии от времени действия сжимающего импульса являются нелинейными и зависят от скорости сжатия. Снижение способности диссипировать механическую энергию нагружения связано со смятием элементарных ячеек «re-entrant» ауксетического метаматериала. Процесс смятия ячеек происходит неоднородно в объеме метаматериала и не является эстафетным. Распределение деформации сжатия структурных элементов в слое ауксетического метаматериала при квазистатическом и динамическом нагружении различаются. При квазистатическом нагружении эффективная локальная деформация сжатия существенно выше в промежуточном слое вблизи срединной поверхности слоистой конструкции, а при динамическом - стохастически распределяется в объеме слоя.

6. Определены значения параметров процессов повреждения и разрушения конструктивных элементов трехслойных защитных конструкций с объемами двух типов метаматериалов при воздействиях динамических нагрузок с амплитудой скорости 1 м/с и 16 м/с. Результаты исследований свидетельствуют, что при сжатии трехслойных систем со слоем ауксетических «re-entrant» метаматериалов разрушение структуры наблюдается в зоне контакта элементов метаматериала с нагружаемой пластиной и в зоне контакта горизонтальных и наклонных элементов в срединной зоне слоя метаматериала. Количество поврежденных контактных зон увеличивается с ростом скорости сжатия.

7. Были разработаны модели для имитационного моделирования условий экспериментов по одноосному динамическому сжатию трехслойных систем с демпфирующим слоем из метаматериала. Топологические модели были использованы для создания вычислительных моделей для решателя LS DYNA, входящих в состав автономных модулей WB ANSYS 19.2

8. Получены результаты численного моделирования процесса деформирования трехслойных систем с демпфирующими слоями из пентамодового метаматериала и ауксетических «re-entrant» метаматериалов при одноосном сжатии с высокими скоростями.

Проведен анализ полученных результатов для установления закономерностей деформации трехслойных систем со слоями метаматериалов.

9. Подготовлены статьи с результатами изучения закономерностей деформации и разрушения трехслойных систем с демпфирующим слоем из метаматериала при одноосном сжатии с высокими скоростями и результатами исследования механического поведения алюминиевого сплава при высоких скоростях деформации.

10. Подготовлены и представлены доклады с полученными результатами на 4 научных конференциях.