

Сведения о выполненных работах в 2019 году
по проекту «Теоретико-экспериментальное исследование взаимодействия и
способов защиты элементов наземных объектов и космических аппаратов от
высокоскоростных ударников»,
поддержанному Российским научным фондом
Соглашение № 16-19-10264

Руководитель канд. техн. наук Пашков Сергей Владимирович

1. Синтезированы образцы металло-интерметаллидных слоистых композиционных материалов (МИСКМ) Ti - Al₃Ti методом теплового взрыва в комбинации с действием давления. Показана возможность получения требуемой многослойной композиции рассмотренным способом.

На баллистическом стенде проведены экспериментальные исследования процессов разрушения МИСКМ Ti - Al₃Ti при взаимодействии с ударниками, получены оценки прочностных характеристик образцов.

Получены результаты экспериментальных исследований процессов проникания стержневых ударников из пористого вольфрама в металлические преграды в диапазоне скоростей удара 1470–2100 м/с. Результаты свидетельствуют о существенном влиянии пористости материала ударника на процесс проникания, который при сверхвысоких скоростях соударения приводит к увеличению глубины проникания в сравнении с ударниками монолитной плотности при равенстве их массы и диаметра.

Проведено численное исследование разрушения многослойных композитов Ti - Al₃Ti при взаимодействии с ударником при варьировании скорости ударника в диапазоне 2000–5000 м/с. Выявлено, что формирование областей макроразрушений наблюдается преимущественно в слоях интерметаллида, в то время как слои из титанового сплава эффективно препятствуют распространению макротрещин.

2. Разработана вычислительная модель для численного моделирования процесса высокоскоростной деформации и разрушения пентамодовых метаматериалов с сотовыми решетками из титановых сплавов, получаемых методом 3D печати. Выявлены определяющие структурные факторы - средние размеры зерна и относительный объем пор в сплавах каркасных элементов метаматериалов, получаемых методом 3D печати. Для учета указанных структурных факторов разработаны определяющие соотношения на основе микромеханических моделей физических механизмов неупругой деформации (термоактивируемых и механо-активируемых дислокационных механизмов пластичности, двойникования, взаимодействия дислокаций с дисперсными частицами, границами зерен и др.).

Предложена модель для описания эволюции поврежденности (роста и зарождения несплошностей) и разрушения материала каркасных элементов пентамодовых метаматериалов в зависимости от вида напряженного состояния на основе функционала

Гурсона. Показано, что учет процесса коалесценции объемных несплошностей в материале каркасных элементов, позволяет описывать переход от вязкого к квази вязкому разрушению каркаса метаматериалов. В предложенной вычислительной модели для определения механического отклика решеток на нагрузки решается краевая динамическая задача механики с нелинейным определяющим уравнением, учитывающим влияние скорости деформации, температуры и параметра трехосности напряженного состояния и параметра поврежденности. Параметры периодических решеток и геометрические параметры элементов решеток в модельных пентамоновых материалах могут быть заданы в соответствии с возможностями современных технологий 3D печати.

Получены данные о напряженно-деформированном состоянии в элементах каркасных решеток при сжатии, растяжении и сдвиге структурированного объема модельных пентамоновых метаматериалов.

Для определения закономерностей макромеханического отклика модельных пентамоновых материалов предложена методика гомогенизации расчетных данных на основе соответствия удельной внутренней энергии каркасной системы метаматериалов величине удельной внутренней энергии соответствующего объемного элемента среды. Показано, что закономерности сопротивления деформации от ее величины для пентамоновых материалов, в общем случае являются нелинейными. Вместе с тем, при относительных небольшом сжатии или растяжении зависимости эффективных напряжений от эффективных деформаций могут быть описаны линейными соотношениями.

Показано, что по сравнению с сопротивлением растяжению и сжатию пентамоновые материалы обладают аномально низким сопротивлением сдвигу. Показано, что механический отклик модельных пентамоновых материалов зависит от параметров каркасной структуры.

Предложена методика для оценки эффективных модулей упругости пентамоновых экстремальных метаматериалов на основе результатов многоуровневого компьютерного моделирования отклика металлических каркасных решеток на динамическое нагружение объема метаматериала.

Методика основана на универсальном термодинамическом соотношении, связывающем удельную внутреннюю энергию системы с усредненными компонентами тензора деформации элементарного объема метаматериала, в предположении о его квазиупругой реакции на нагружение.

3. Разработана и реализована математическая модель высокоскоростного пробития пластиков, армированных упрочняющими волокнами. Поведение материала матрицы моделируется методом SPH в слабой вариационной формулировке. Армирующие волокна описываются в квазиодномерном приближении, когда каждое волокно рассматривается как одномерная нить, жестко связанная с окружающим материалом матрицы путем привязки к соответствующим частицами SPH. Волокна

характеризуются модулем упругости и прочностью на разрыв, а также силой адгезии с матрицей, с возможностью отслоения и проскальзывания по направлению волокна, но без возможности движения через материал матрицы перпендикулярно направлению волокон.

Экспериментально определены свойства используемых материалов и их компонентов. Продемонстрировано принципиальное изменение характера разрушения образца, полученного методом 3D печати при использовании армирующих волокон.

4. Проведена экспериментальная оценка влияния новых упрочняющих покрытий на стойкость иллюминаторов космических аппаратов к воздействию высокоскоростного ансамбля частиц железа размером порядка 50 мкм.

5. Проведены экспериментальные исследования эффективности гофрированного сеточного защитного экрана для космического аппарата (Патент на изобретение № 2623782). Результаты экспериментов подтвердили повышенную стойкость гофрированного сеточного противометеороидного экрана, предсказанную ранее на основе результатов численного моделирования.

6. Проведен монтаж пневматической первой ступени трехступенчатой ПЛГУ с двухдиафрагменным устройством прорыва диафрагмы.