

**И. В. Б у г а й** (Королев, ФТА). **Моделирование совместного теплового и механического действия излучения на элементы конструкций летательных аппаратов.**

Расчетное прогнозирование последствий воздействия потоков энергии различной физической природы на тонкостенные несущие элементы конструкций летательных аппаратов включает в себя теплофизические, термомеханические, газодинамические и прочностные аспекты [2–4]. Рядом особенностей, затрудняющих проведение исследований, обладает совместное тепловое и механическое действие потоков излучений и частиц на композитные конструкции. В первую очередь к ним относятся анизотропия теплофизических и механических свойств и относительно низкая термостойкость композитов, приводящая к термодеструкции связующего и прококсовке прогреваемых слоев материала при тепловом действии потоков энергии.

В то же время расчеты теплового и механического действий, а также деформирования и разрушения конструкции, могут проводиться независимо, поскольку характерное газодинамическое время формирования механической нагрузки, как правило, много меньше времени деформирования конструкции, а оно, в свою очередь, может быть мало по сравнению с временем распространения границ фазовых переходов (плавления и испарения) и тепловой волны прогрева композитного материала по толщине конструкции. Это обстоятельство позволяет свести проблему прогнозирования последствий воздействия излучений и частиц на тонкостенную конструкцию к решению трех относительно независимых задач: *тепловой* (расчету температурного профиля и теплового уноса), *газодинамической* (расчету толщин отколов и пространственно-временных характеристик нагрузки при механическом действии) и *прочностной* (расчету на динамическую прочность к нестационарной нагрузке прогретой конструкции переменной толщины). Расчет параметров теплового и механического действий проводится в квазиодномерном приближении (характерные толщины конструкций, прогрева, отколов значительно меньше характерных размеров пятна воздействия). Деформирование и разрушение оболочки рассматривается в наиболее общей трехмерной постановке.

**Расчет параметров теплового действия.** Взаимодействие излучений и частиц с композитными материалами может вызвать различные физико-химические превращения, набор которых меняется при переходе от одного достаточно узкого класса материалов к другому. Так как теплофизические свойства связующего и наполнителя конструкционных композитов в большинстве случаев отличаются друг от друга, то и характер их теплового разрушения будет существенно различным. Поэтому математическая модель теплового действия потоков энергии должна учитывать структуру материала. Такой моделью, в частности, является модель слоистого композита [4], где имеется два источника слоистости: физический (наполнитель и связующее слоя КМ являются разнородными подслоями, имеющими свой характер разрушения; однородный материал расслаивается на подслои при переходе его части в другое фазовое состояние) и конструкционный (пакеты преграды состоят из разнородных слоев материалов). Уравнение переноса энергии твердой фазы с учетом физико-химических

превращений и переноса тела газовым потоком продуктов разложения связующего записывается для каждого подслоя материала.

**Расчет параметров механического действия.** Для расчета параметров механического действия высокоинтенсивных потоков энергии применяется газодинамическая модель [3]. В модели используются широкодиапазонные уравнения состояния и набор элементарных ячеек гетерогенных покрытий, что позволяет учитывать фазовые переходы и температурную неравновесность компонентов материалов, поглощающих потоки излучений и частиц.

**Численное моделирование деформирования и разрушения многослойных оболочек переменной толщины.** Для расчета динамической прочности композитных тонкостенных конструкций используется универсальная численная модель деформирования и разрушения многослойной оболочки переменной толщины [1]. Применение послойного анализа напряженно-деформированного состояния позволяет в рамках этой модели достаточно просто учесть переменность толщины конструкции (в частности, из-за отколов и неравномерного теплового уноса), пластическое течение и разрушение в отдельных слоях.

В заключительной части работы, представленной данным сообщением, приводятся результаты расчетов совместного теплового и механического действий потоков энергии на элементы конструкций летательных аппаратов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин В. Н., Бугай И. В., Острик А. В. Универсальный численный код для моделирования нестационарного деформирования и разрушения многослойных тонкостенных конструкций под действием интенсивных потоков энергии. — Морские интеллектуальные технологии, 2010, № 2(8), с. 3–6.
2. Горшков А. Г., Дергачев А. А. Воздействие высокоинтенсивного потока энергии на элементы конструкций из композиционного материала. — Механика композитных материалов и конструкций, 1996, т. 2, № 1, с. 51–68.
3. Грибанов В. М., Острик А. В., Ромадинова Е. А. Численный код для расчета многократного комплексного действия излучений и частиц на многослойный многофункциональный гетерогенный плоский пакет. Черногловка: ИПХМ РАН, 2006, 92 с.
4. Острик А. В., Слободчиков С. С. Математическая модель разрушения композитных оболочек высокого давления под действием лучистых потоков энергии. — Матем. моделирование, 1995, т. 7, № 10, с. 33–46.