УДК 519.633

Численное моделирование динамики прогибов тонкой пластины при температурном ударе для предельных случаев теплопроводности.

Евтушенко М.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

г. Самара, Российская Федерация

В работе получено аналитическое решение несвязанной задачи термоупругости для тонкой однородной пластины при температурном ударе [1]. Пластина имеет один жёстко закреплённый и три свободных края. Анализ аналитического решения показал, что динамика прогибов пластины качественно определяется соотношением между теплопроводностью материала и интенсивностью падающего теплового потока. В зависимости от этого соотношения реализуются три характерных случая: пренебрежимо малая теплопроводность, соизмеримая теплопроводность и теплопроводность, превалирующая над тепловым потоком [2]. Численное моделирование выполнено в программной среде ANSYS.

Случай 1. Тепловой поток, нагревающий поверхностный слой, считается постоянным; теплопроводность материала пренебрежимо мала. Температуры нагреваемого и теневого поверхностных слоёв изменяются практически независимо.

В рамках первого случая выбран гипотетический материал с коэффициентом теплопроводности λ=0.001 Вт/(м·К). Прогиб свободного края пластины также монотонно возрастает, достигая максимального значения. Термоколебания не возникают: скорость и ускорение точек пластины не меняют знака и всё время убывают.

Случай 2. Теплопроводность материала существенна, но не преобладает. Между поверхностными слоями возникает значимый тепловой поток, который снижает температуру нагретого слоя и повышает температуру теневого.

Для моделирования выбраны углепластик (λ=0.45 Вт/(м·К)), сталь AISI 304 (λ=17 Вт/(м·К)) и магниевый сплав МА2 (λ=96.3 Вт/(м·К)).

Для углепластика прогиб свободного края составляет около 1.2 мм и сопровождается термоколебаниями, затухающими благодаря конструкционному демпфированию. Для стали AISI 304 разность температур существенно ниже, чем у углепластика. Прогиб также сопровождается термоколебаниями, которые затухают быстрее из-за более высокого логарифмического декремента. Для сплава МА2 разность температур ещё меньше. Прогиб свободного края в стационарном режиме стремится к значению примерно 63 мкм.

Во всех случаях второго типа увеличение коэффициента теплопроводности приводит к сокращению длительности переходного процесса и уменьшению величины термоколебаний, однако увеличивается частота этих колебаний.

Случай 3. Для моделирования выбран материал АМГ6 с коэффициентом теплопроводности λ=237 Вт/(м·К). Новое положение равновесия пластины практически не отличается от первоначального недеформированного. Прогиб свободного края сопровождается быстро затухающими термоколебаниями. В стационарном режиме прогиб стремится к значению примерно 63 мкм. При возрастании коэффициента теплопроводности конечный прогиб снижается.

В рамках каждого случая был проведён вычислительный эксперимент. Полученные результаты могут быть использованы при учёте возмущений от температурного удара на динамику углового движения космических аппаратов.

Список использованной литературы

1. Sedelinkov A. Technologies for Increasing the Control Efficiency of Small Spacecraft with Solar Panels by Taking into Account Temperature Shock / A. Sedelinkov, A. Nikolaeva, V. Serdakova, et. al. // Technologies. – 2024, 12(10) 207.

2 Sedelinkov A. Analytical solution for thermoelastic response of a thin plate subjected to temperature shock / A, Sedelnikov, M. Evtushenko, A. Marshalkina // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2025, 169:109737.