

Достовірність моделювання динамічних зв'язаних процесів в фізично нелінійних матеріалах при імпульсному навантаженні

О.В.Бойчук, І.К.Сенченков

Розробка систем імпульсної обробки вимагає детальної інформації про зв'язані термомеханічні процеси, які відбуваються при опроміненні і подальшому охолодженні матеріалу. Дослідження динамічних ефектів при імпульсному навантаженні є необхідним при визначенні властивостей матеріалу за допомогою методики акустичного неруйнівного контролю. Значний теоретичний і практичний інтерес для оцінки міцності опромінюваних елементів конструкцій представляє дослідження залишкового напружено-деформованого стану, який виникає внаслідок дії імпульсу, та вивчення впливу опромінення на властивості матеріалу.

Ці ефекти, як правило, досліджуються експериментально. Проте для надійної оцінки отриманих результатів та їх адекватної інтерпретації необхідно проводити чисельне моделювання процесів імпульсного температурного навантаження з врахуванням всіх особливостей реологічної поведінки матеріалу, геометрії тіла і діючих на нього нестационарних навантажень.

Коректний опис складної поведінки матеріалу має проводитись з урахуванням особливостей динамічної термомеханічно зв'язаної фізично нелінійної поведінки матеріалів, а саме непружного, зокрема пластичного, деформування, динамічного зміцнення, теплового звороту і залежності властивостей матеріалу від температури. Розробка теоретичних основ таких процесів неможлива без застосування адекватних моделей динамічної термомеханічної поведінки фізично нелінійних матеріалів при імпульсному тепловому навантаженні з врахуванням зв'язаності механічних і теплових полів.

Постановка задачі нелінійна, для чисельного розв'язання використано підхід, розвинутий в статті [1]. Схема чисельного розв'язування базується на подвійному ітераційному процесі. Перший, внутрішній, пов'язаний з інтегруванням системи нелінійних рівнянь модифікованої моделі течії Боднера - Партома з використанням неявної часової схеми, а другий, зовнішній, пов'язаний з розв'язанням рівнянь руху або рівноваги і теплопровідності. В рамках внутрішнього ітераційного процесу на кожному часовому кроці враховується залежність параметрів моделі від температури. Рівняння еволюції параметрів зміцнення і течії моделі Боднера - Партома інтегруються неявним методом Ейлера з використанням правила "середньої точки".

Для реалізації зовнішнього ітераційного процесу для розв'язування на кожній ітерації отриманих лінеаризованих задач руху і теплопровідності застосовується скінченно-елементна методика, розвинена в роботі [2] на базі варіаційного Лагранжевого формулювання задачі термомеханіки із розділеними варіаціями функціоналів для задачі теплопровідності та для задачі руху.

Для перевірки достовірності методики розрахунку розглядається задача *E.Sternberg&J.G.Chakravorty* [3,4] про імпульсне теплове опромінення напівпростору.

При цих умовах деформований стан є одноосним. Напружено-деформований стан, близький до представленого вище для напівпростору, реалізується в тонкому стержні, на бічній поверхні і на торці якого реалізуються граничні умови

$$u_r = 0, \sigma_{rz} = 0, (r = R, z > 0) \text{ (а)}$$

$$\sigma_{zz} = 0, \sigma_{rz} = 0, (0 < r < R, z = 0) \text{ (б)}$$

Для стержня скінченної довжини L розв'язок відповідає вихідній задачі для часу $t < t_L$, $t_L = L/c_1$, де c_1 - швидкість повздовжніх хвиль. Такий перехід до тіла скінченних розмірів дозволяє розв'язувати задачу чисельним методом скінченних елементів.

Задача розв'язувалась з використанням безрозмірного формулювання, що виявляється зручним для аналізу короткочасних процесів у тілах малих розмірів.

Розбіжність результатів отриманих за розвинутою технологією і чисельного розв'язку [5] спряженої задачі методом скінченних елементів на основі використання узагальненого (єдиного) функціоналу термомеханічної зв'язаності, сформульованого в згортках, не перевищує 1%. Таким чином, ітераційна схема послідовного розв'язування задач руху і теплопровідності має досить високу точність і оперує матрицями значно меншого порядку.

Оцінені температурні ефекти термомеханічної зв'язаності. Зміни температури, зумовлені термопружною зв'язаністю, становлять кілька десятків градусів, а дисипація викликає підвищення температури близько кількох градусів. Таким чином, якщо за рахунок зовнішнього нагріву температура поверхні перевищує 10000°C , то температурними ефектами зв'язаності можна, як правило, нехтувати.

Література

- [1] Осесимметричная динамическая связанная задача термовязкопластичности / Я. А. Жук, И. К. Сенченков, В. И. Козлов, Г. А. Табиева // Прикл. механика - 2001. - Т. 37. - №10. - С.83-89.
- [2] Мотовиловец И. А. Термоупругость / И. А. Мотовиловец, В. И. Козлов. - Киев : Наук. думка, 1987. - 264 с. - (Механика связанных полей в элементах конструкций : в 5-ти т.; т. 1).
- [3] Подстригач Я. С. Обобщенная термомеханика / Я. С. Подстригач, Ю. М. Коляно. - Киев : Наук. думка, 1976. - 312с.
- [4] Грибанов В. Ф. Связанные динамические задачи термоупругости / В. Ф. Грибанов, Н. Г. Паничкин. - М. : Машиностроение, 1984. - 184 с.

Миколаївський національний університет
ім. В.О. Сухомлинського, Інститут механі-
ки Імені С.П. Тимошенка
boychuklena@rambler.ru