

# ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТЕРМОМЕХАНІЧНО ЗВ'ЯЗАНОЇ ПОВЕДІНКИ СТАЛЕВОГО ДИСКА ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ТЕПЛО-ВОМУ ОПРОМІНЕННІ ЦЕНТРА ПОВЕРХНІ

О.В. Бойчук<sup>1</sup>, Я.О. Жук<sup>2</sup>, І.К. Сенченков<sup>2</sup>

Миколаївський державний університет імені В.О. Суомлінського  
Інститут механіки імені С.П. Тимошенка НАН України

Досліджуються основні закономірності термомеханічної взаємодії теплового імпульсу і елементу конструкції, виготовленого з фізично нелінійного матеріалу. Використовується динамічна постановка осесиметричної зв'язаної задачі термомеханіки фізично нелінійних тіл, в рамках якої вивчаються як квазістатичні, так і динамічні процеси, що супроводжують теплове опромінення центра сталевго диску.

Математична постановка задачі містить співвідношення Коші, рівняння руху, балансу енергії, механічні й теплові граничні і початкові температурні умови. Моделювання процесів імпульсного температурного навантаження проводиться з врахуванням всіх особливостей динамічної зв'язаної фізично нелінійної поведінки матеріалів: пластичної деформації, динамічного зміцнення, залежності властивостей матеріалу від температури. Для цього використовується узагальнена узгоджена з термодинамікою необоротних процесів модель Боднера-Партома, в основі якої лежить залучення апарату внутрішніх змінних стану для опису сукупності непружних ефектів: повзучості, релаксації напружень, ізотропного та направленого зміцнення [3].

Дія теплового імпульсу (лазерне опромінення або електронні промені) моделюється заданням теплового потоку спеціального вигляду через поверхню. Вся поверхня диску вважається теплоізолюваною і вільною від напружень.

Параметри моделі конкретизовані для сталі 35ХМА за допомогою обробки діаграм розтягу [4]. Враховується їх залежність від температури.

Чисельна реалізація задачі виконується в рамках подвійного ітераційного процесу. Перший, внутрішній, пов'язаний з інтегруванням системи нелінійних рівнянь моделі поведінки матеріалу з використанням неявної схеми. Другий, зовнішній, полягає в розв'язанні рівнянь руху і теплопровідності. Жорсткий тип нелінійності визначальних рівнянь зумовлює необхідність застосування схеми із змінним кроком інтегрування в часі. Для прискорення збіжності використовується процедура типу Стефенса-Ейткена. Просторова дискретизація задачі здійснюється за допомогою скінченноелементної методики, розвиненої для моделювання зв'язаної термомеханічної поведінки фізично нелінійних матеріалів.

В результаті розрахунків досліджено еволюцію в часі основних параметрів термомеханічного стану диска як на етапі дії теплового імпульсу, так і під час процесу охолодження. Аналіз розподілу радіальних напружень вздовж радіусу показує, що за вибраних умов виникають дві складові поля напружень: квазістатичні теплові напруження і термопружний імпульс. Під час

дії імпульсу в області опромінення виникають значні стискаючі напруження, далі вони зростають, досягають максимуму і потім спадають до свого залишкового значення. Така поведінка є типовою для процесів квазістатичного розігріву. При цьому величина напруження в імпульсі є малою. Сам імпульс стає помітним, відділяючись від області дії великих квазістатичних напружень після певного проміжку часу. Цей час потрібний хвилі, щоб подолати відстань від опроміненої поверхні до границі області впливу теплового імпульсу. Прості підрахунки показали, що швидкість поширення імпульсу напруження дорівнює швидкості поширення пружної хвилі в металах. Загалом подібна ситуація спостерігається і для розподілу радіального напруження вздовж осі диска.

При даних умовах опромінення в приповерхневій зоні виникають напруження розтягу, що може негативно вплинути на міцність і витривалість конструкції. В такій ситуації підвищити опір поширенню тріщин і руйнуванню можливо за рахунок зростання зміцнення матеріалу (зростання границі текучості) в області опромінення. В роботі досліджені поля параметру ізотропного зміцнення, пластичні деформації і їх еволюція в часі. Значне підвищення границі текучості відбувається повністю синхронно із пластичним деформуванням і зосереджено в приповерхневій зоні області опромінення.

Отримані дані дозволяють вивчити динамічні зміни температури, які супроводжують розповсюдження імпульсу напруження і зумовлені термопружними ефектами. Представлені можливості методики опромінення поверхні короткими тепловими імпульсами з метою формування профілю поверхні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Bodner S., Partom Y. Constitutive equations for elastoviscoplastic strain hardening material // Trans. ASME. J. Appl. Mech. – 1975. – Vol. 42. – P. 385–389.
2. Бойчук Е.В., Жук Я.О., Сенченков И.К. Волны напряжений в цилиндре, возбуждаемые термическим импульсом на торце // Акустичний вісник. – 2006. – т. 9, №3. – С. 7-16.
3. Жук Я.О., Сенченков И.К., Козлов В.И., Табиева Г.А. Осесимметричная динамическая связанная задача термовязкопластичности // Прикл. механика – 2001. – т. 37, №10 – С.83-89.
4. Сенченков И.К., Табиева Г.А. Определение параметров модели Боднера–Партома термовязкопластического деформирования материалов // Прикл. механика. – 1996. – Т. 32, № 2. – С.64–72.