

УДК 539.3, 004.94

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ЗАДАЧІ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДИХ ТІЛ

Д.В. Гаркавенко¹, Б.А. Багуж², М.Д. Корнієнко³

¹асистент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: harkav-enko.d.v@nmu.one

²аспірант групи 132А-22-4, e-mail: bahuzh.b.a@nmu.one

³студентка групи 132-23-1, e-mail: korniienko.m.d@nmu.one

^{1,2,3}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі розглядається процес комп'ютерного моделювання контактної задачі взаємодії твердих тіл з урахуванням їх механічних властивостей та умов навантаження. Особливу увагу приділено аналізу напружено-деформованого стану матеріалів у зоні контакту та пошуку шляхів підвищення їх стійкості до руйнування. Застосування сучасного програмного забезпечення дозволяє точно змоделювати фізичні процеси, що відбуваються під час взаємодії тіл, та оптимізувати конструкційні матеріали з урахуванням умов експлуатації. Отримані результати можуть бути використані у машинобудуванні, авіації, енергетиці та інших галузях, де важливими є довговічність і надійність матеріалів.

Ключові слова: контактна взаємодія, чисельне моделювання, тверді тіла, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан, ANSYS Workbench.

COMPUTER MODELING OF THE CONTACT PROBLEM OF THE PROCESS OF INTERACTION OF SOLIDS

Dmytro Harkavenko¹, Boris Bahuzh², Maria Korniienko³

¹Assistant, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: harkavenko.d.v@nmu.one

²Postgraduate, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: bahuzh.b.a@nmu.one

³Student, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: korniienko.m.d@nmu.one

Abstract. The paper deals with the process of computer modeling of the contact problem of interaction of solids with regard to their mechanical properties and loading conditions. Particular attention is paid to the analysis of the stress-strain state of materials in the contact zone and the search for ways to increase their resistance to fracture. The use of modern software makes it possible to accurately model the physical processes that occur during the interaction of bodies and to optimize structural materials taking into account the operating conditions. The results obtained can be used in mechanical engineering, aviation, energy and other industries where durability and reliability of materials are important.

Keywords: contact interaction, numerical simulation, solid bodies, finite element method, stress-strain state, ANSYS Workbench.

Вступ. Контактні задачі механіки твердого тіла відіграють важливу роль у дослідженні взаємодії деталей машин, вузлів конструкцій, інструментів та елементів з'єднань. У реальних умовах експлуатації поверхні тіл, що контактують, зазнають значних механічних навантажень та локальних деформацій. Відповідно, їх аналіз потребує не лише теоретичних знань, але й практичних інструментів для кількісного прогнозування поведінки матеріалу.

Сучасні інженерні завдання неможливо ефективно вирішити без використання комп'ютерного моделювання, що дає змогу створювати віртуальні прототипи, досліджувати силові впливи та оптимізувати матеріальні властивості без проведення дорогої серії експериментів. Застосування потужного програмного забезпечення (CAE-систем), зокрема таких як ANSYS, значно розширює можливості дослідника у вивченні контактних напружень, зон концентрацій, поведінки тіл під дією змінних навантажень.

Одним із напрямів удосконалення контактних вузлів є розробка та підбір матеріалів із підвищеною тріщиностійкістю та опором до руйнування. Це особливо актуально для відповідальних конструкцій, де вихід з ладу навіть одного елемента може спричинити аварійні наслідки. Отже, інтеграція комп'ютерного аналізу та інженерного матеріалознавства відкриває шлях до створення нових рішень для підвищення надійності технічних систем.

У межах цієї роботи здійснюється моделювання типової контактної задачі, аналізується розподіл напружень у зоні контакту, а також вивчається вплив варіації матеріальних параметрів на поведінку твердих тіл при взаємодії. Зроблено спробу сформулювати рекомендації щодо вибору матеріалів або покриттів, які забезпечують кращу стійкість до руйнування в умовах складного навантаження.

Метою роботи є моделювання процесу контактної взаємодії твердих тіл з використанням сучасного програмного забезпечення, а також аналіз впливу геометричних, матеріальних і силових параметрів на стан напружень у зоні контакту з метою розробки підходів до створення матеріалів із підвищеним опором до руйнування.

Матеріал і результат досліджень. У нинішніх умовах, коли Україна перебуває в стані війни та стикається з масштабними викликами, особливої значущості набувають дослідження, спрямовані на створення новітніх матеріалів із покращеними механічними характеристиками. Такі матеріали є надзвичайно важливими для проектування надійних, довговічних конструкцій військової техніки, захисних систем та елементів інфраструктури, здатних витримувати інтенсивні механічні навантаження в екстремальних умовах.

У цій роботі основний акцент зроблено на дослідженні можливостей

сучасного програмного забезпечення для моделювання поведінки матеріалів в умовах експлуатації, а також для прогнозування їхніх властивостей та оптимізації процесів виготовлення. Отримані результати можуть стати основою для подальшого створення ефективних сплавів і композитів, які забезпечать підвищену тривкість і надійність технічних об'єктів як у бойових умовах, так і під час відбудови країни у післявоєнний період.

Для побудови моделі процесу формування уламкової оболонки та визначення вхідних параметрів контактної взаємодії (рис. 1) було використано програмний комплекс ANSYS Workbench. Ця платформа інтегрує низку чисельних інструментів, зокрема засоби створення геометричних моделей, побудови сіток, а також використання явних і неявних числових вирішувачів. Така інтеграція в єдиному середовищі дозволяє зменшити загальний час розрахунків, покращити точність аналізу та підвищити ефективність інтерпретації отриманих результатів. [1].

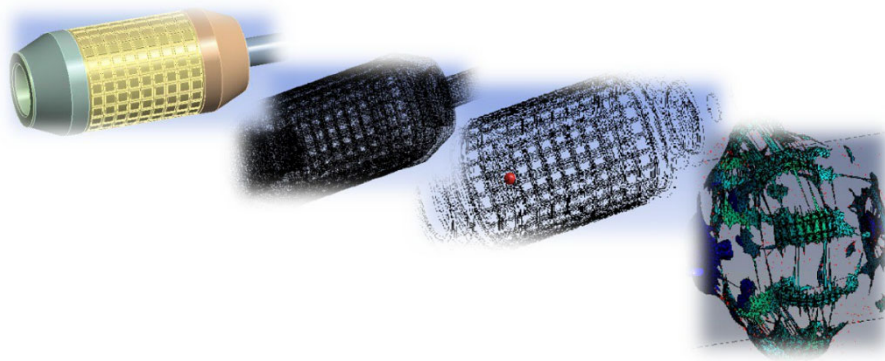


Рис. 1. – Моделювання вибуху бойової частини чисельним методом

У чисельній моделі враховано емпіричні характеристики матеріалів, що дає змогу частково відтворити основні фізичні ефекти, характерні для аналізованих процесів. Застосування рівняння стану Джонса—Вілкінса—Лі у поєднанні з моделлю горіння забезпечує високу точність у моделюванні детонаційних явищ.

У ході чисельного моделювання з використанням методу скінченних елементів були визначені основні параметри, необхідні для аналітичного опису контактної задачі, яка характеризує взаємодію двох твердих тіл. Спираючись на ці попередньо отримані дані, в середовищі ANSYS Workbench було проведено серію чисельних експериментів із варіюванням матеріальних характеристик моделі. Це дозволило дослідити, як різні механічні властивості впливають на розподіл напружень та деформацій у зоні контакту (рис. 2).

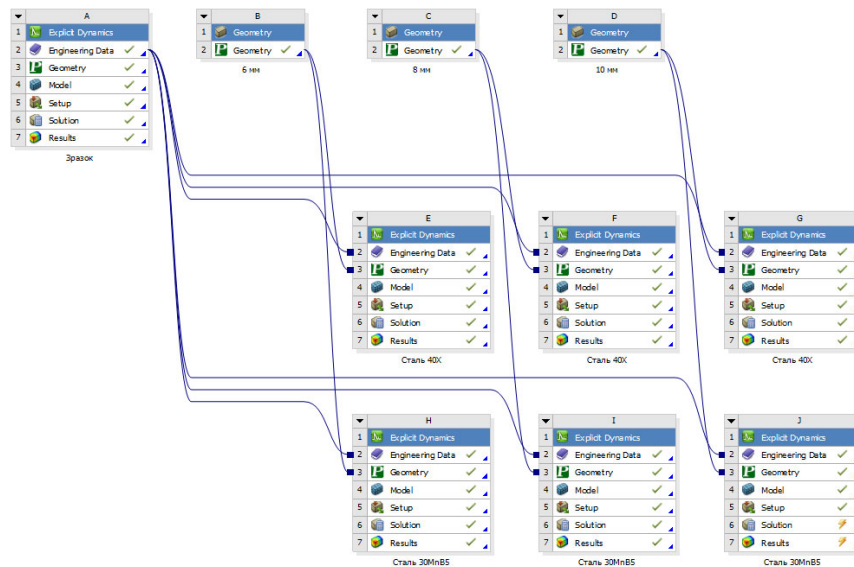


Рис. 2. – Встановлені вихідні параметри для контактної задачі

Для проведення випробувань було обрано конструкційні леговані сталі марок 40X та 30MnB, які широко використовуються у відповідальних вузлах машинобудування завдяки поєднанню міцності, зносостійкості та технологічності. Основний акцент зроблено на вивченні властивостей сталі 30MnB (рис. 3) — борвмісного сплаву, що відзначається високим потенціалом зміцнення під час термічної обробки, зокрема гартування та наступного відпуску.

Ця сталь демонструє однорідну тонкодисперсну мікроструктуру, що є результатом правильно підбраного режиму термічної обробки. Завдяки цьому забезпечується підвищена зносостійкість, особливо до абразивного впливу, що робить її придатною для виготовлення елементів, які працюють у важких умовах тертя та ударних навантажень.

Згідно з механічними характеристиками, гранична міцність сталі 30MnB сягає 800 МПа, а межа плинності — 650 МПа [2], що відповідає вимогам до матеріалів, які використовуються в динамічно навантажених конструкціях. Крім того, наявність бору в складі сприяє підвищенню прокаліюваності, дозволяючи отримати загартований шар великої глибини без істотного впливу на пластичність матеріалу.

У межах дослідження ця сталь була обрана як перспективний матеріал для компонентів, які зазнають інтенсивної контактної взаємодії, з метою оцінки її поведінки при різних навантаженнях у чисельному моделюванні.

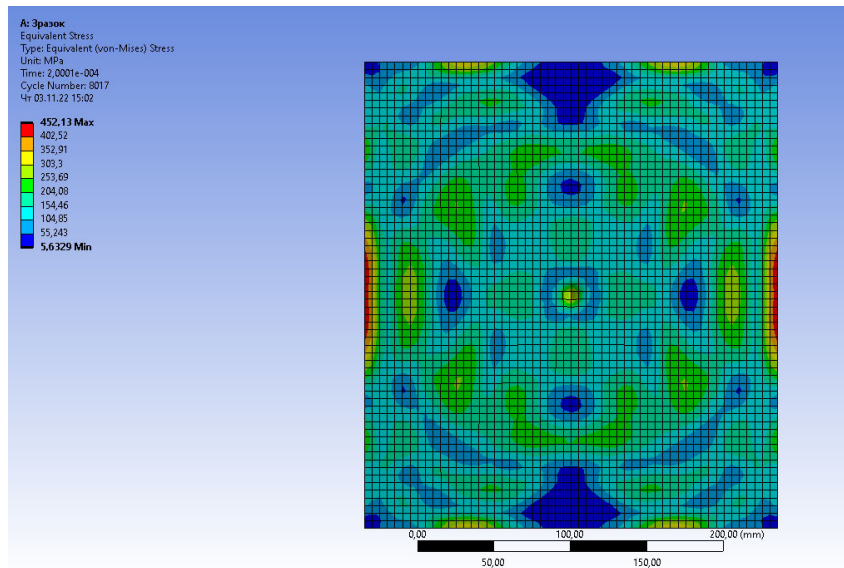


Рис. 3. – Результати чисельного моделювання контактної взаємодії

Висновки. У роботі представлено результати чисельного моделювання процесів контактної взаємодії для конструкційних легованих сталей марок 40X та 30MnV. Отримані дані відображають особливості розподілу напружено-деформованого стану та дозволяють оцінити ефективність використання зазначених матеріалів в умовах динамічних навантажень [3]. Особливу увагу приділено сталі 30MnV як перспективному борвмісному матеріалу з високою зносостійкістю та однорідною мікроструктурою після термічної обробки. Результати моделювання виконані із застосуванням сучасного програмного забезпечення ANSYS Workbench. Водночас наголошується на необхідності подальших натурних випробувань для валідації чисельних моделей, підтвердження достовірності прогнозованих характеристик та уточнення умов руйнування матеріалів у реальному середовищі експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Азюковський О.О., Гаркавенко Д.В., Грищак В.З., Зіборов К.А., Федоряченко С.О., Однорал М.В. (2023) Аналітичний підхід до розв'язку задач нелінійної динаміки систем із змінними за часом параметрами за умови реакції зовнішнього середовища. Національний ТУ «Дніпровська політехніка», Збірник наукових праць НГУ № 72, 186 с. Доступний за посиланням: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.186>.
2. Younes, R., Hallal, A., Fardoun, F., and Chehade, F.H., "Comparative Review Study on Elastic Properties Modeling for Unidirectional Composite Materials", in Hu, N., Composites and Their Properties, Chapter 17, 2012.
3. Федоряченко С.О., Гаркавенко Д.В. (2023) Кінематика руху кулі та сердечника під час проникнення у перешкоду. Електронний збірник тез доповідей. XX міжнародна науково-технічна конференція «Потураївські читання». НТУ «Дніпровська політехніка», 66 с. URL: https://science.nmu.org.ua/ua/ndc/sector_nttm/poturaev-readings/thesiz.pdf