

УДК 539.43; 539.53

Лариса Лопата к.т.н., доц.; Віталій Калініченко к.т.н., с.н.с.; Олександр Лопата, PhD, с.н.с.

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Україна

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ ТА КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. Обмежене використання покриттів обумовлено недостатньою розробкою технологічних методів оптимального нанесення покриттів підвищеної стійкості. Переважна кількість відомих методик нанесення покриттів не містить чітких рекомендацій по вибору їх геометричних параметрів. Особливо це стосується для покриття дискретної структури, що сприяє підвищенню термомеханічної стійкості. Питання розрахунку та оптимізації напружено-деформованого стану системи “основа–дискретне покриття” від експлуатаційних, силових та температурних навантажень недостатньо розкрито внаслідок складності розрахунку схем та параметрів покриттів, які суттєво відрізняються за геометричними розмірами та фізико-механічними властивостями матеріалів. Тому актуальним науковим завданням є раціональне проектування покриттів дискретної структури на основі аналізу їх напружено-деформованого стану.

Ключові слова. Чисельне моделювання, напружено-деформованого стану, покриттів дискретної структури, експлуатаційних, силових та температурних навантажень.

Konstantin Buiskikh, Larysa Lopata, Vitalii Kalinichenko

NUMERICAL MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF PARTS AND STRUCTURES

Anotation. The vast majority of known coating methods do not contain clear recommendations for the selection of their geometric parameters. This is especially true for coatings with a discrete structure, which contributes to increased thermomechanical stability. Therefore, the current task is the rational design of coatings of a discrete structure based on the analysis of their stress-strain state.

Key words. Numerical modeling of stress-strain state, coatings of discrete structure, operational, force and temperature loads.

Виконання інженерних розрахунків на міцність елементів конструкцій при сучасному розвитку обчислюваної техніки стало більш зручним та надійним (точним), завдяки використанню програмного забезпечення на основі методу скінченних елементів, реалізованих у таких відомих програмах як NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, COSMOS та ін. [1]. Вони дозволяють змоделювати складні геометричні форми деталі або конструкції з урахуванням будь-якого типу експлуатаційного навантаження.

Розповсюдженість цих програм обумовлена використанням їх для розрахунку складних задач механіки деформованого твердого тіла, задач теплопровідності, теорії коливань та інших специфічних розрахунків, таких як розрахунок елементів конструкції на міцність від впливу радіаційного випромінювання. Деякі з них дозволяють проводити оптимізацію конструкції за граничними напруженнями та за геометричними розмірами обчислюємої деталі [2].

Як приклад, на рис. 1. показані твердотільні моделі різального інструменту, які можуть бути побудовані шляхом використання однієї з зазначених програм, на основі методу скінченних елементів.

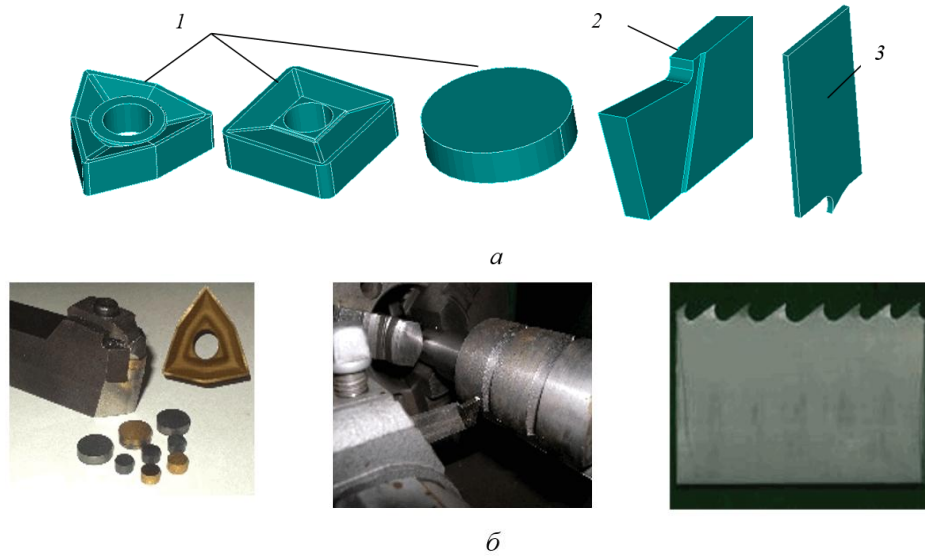


Рисунок 1. Твердотільні моделі різального інструменту побудовані у пакеті NASTRAN (а) на основі натурних об'єктів (б): 1 – твердосплавні різальні пластини; 2 – відрізний різець; 3 – фрагмент стрічкового біметалевого полотна.

Побудова та розрахунок моделей проводився в ліцензійному скінченно-елементному комплексі MSC VisualNastran, вибір якого обумовлювався відносною простотою та значною універсальністю. Він розрахований на аналіз стаціонарних та нестационарних задач теплопровідності, задач статичної термопружності, частотний аналіз, оптимізацію конструкції та інших розрахунків. Він має всі необхідні інструменти для підготовки і проведення повного циклу розрахунків.

Розрахунок класичної задачі осесиметричного нагріву стрижня [3]. Температура середовища на торцях постійна та дорівнює 80°C , в початковий момент часу вона дорівнювала кімнатній температурі (рис. 2).

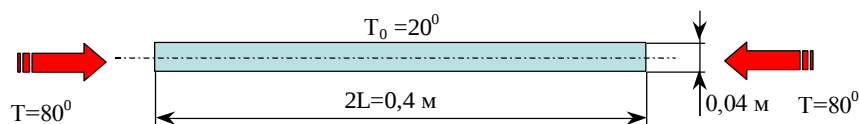


Рисунок 2. Розрахункова схема

Необхідні для розрахунку: граничні умови та властивості матеріалу стрижня наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Граничні умови та властивості матеріалу стрижня

Початкова температура T_0 , $^{\circ}\text{C}$	Температура нагріву T , $^{\circ}\text{C}$	Модуль пружності E , МПа	Густина матеріалу ρ , кг/м^3	Коефіцієнт теплопровідності λ , $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Питома теплоємність c , $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$
20	80	2.25×10^5	7800	18,9569	2,4303718

Точний розв'язок з похибкою не більшою ніж на три десятих градуса поданий у табл. 2 для моментів часу $t = 1; 3; 5; 10; 20; 25$ с.

Таблиця 2

Точний аналітичний розв'язок

L, m t, c	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20
1	74,7	39	23,5	20,3	20	20
3	76,9	53,7	36,4	26,4	22,1	21
5	77,6	59,2	43,8	33,0	26,8	24,9
10	78,4	65,5	54,1	45,2	39,6	37,7
20	79,1	72,0	65,7	60,7	57,5	56,4
25	79,3	74,1	69,3	65,6	63,2	62,4

Оскільки задача є симетричною, то достатньо розглянути одну з симетричних частин стержня, який розбивали на гексагональні скінченні елементи. З одного торця прикладали конвекційний потік на поверхні, та розраховували нестационарну задачу теплопровідності. Результатом розрахунку були температурні поля стержня в інтервалі часу від 0-ї до 25-тої секунди. На відстані 0,04, 0,08, 0,12, 0,16 та 0,2 м від дії джерела тепла визначали температуру у вузлах та будували графік розподілу температури по довжині стрижня в моменти часу 9.5 і 24.9 с., які були найбільш близькими до інтервалів часу з точним значенням температури (рис. 3).

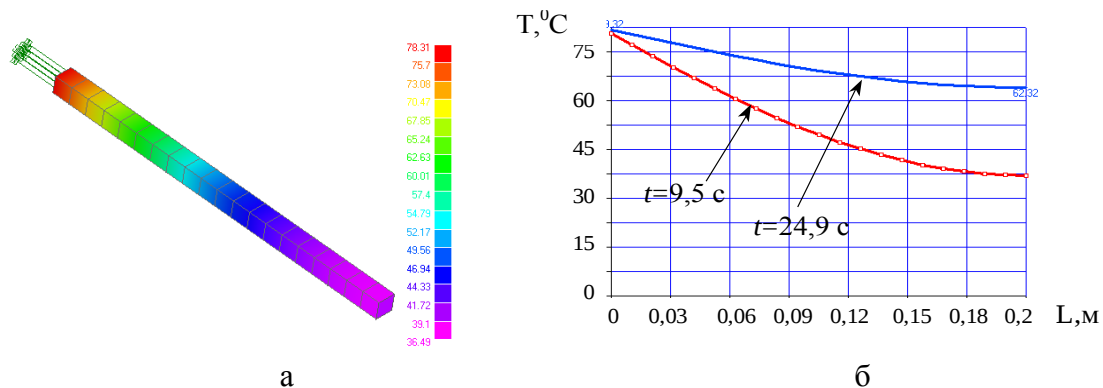


Рисунок 3. Скінченно елементна модель (а), та графік розподілу температур вдовж стрижня для різних інтервалів часу (б).

Розрахунок показав, що чисельний та аналітичний розв'язки співпадають.

Перелік посилань

1. Антонюк В.С., Сорока О.Б., Солових Є.К., Калініченко В.І. Аналітичні та числові методи проектування дискретних покриттів на інструментальних матеріалах. Математичні проблеми механіки неоднорідних структур. Львів, 2006. Т.1. 273 с.
2. Калініченко В.І. Панівко В.В. Расчетно-экспериментальный подход к прогнозированию напряженно-деформируемого состояния защитных покрытий. Людина і Космос: матер. Міжнар. конф. Дніпропетровськ, НЦАОМУ. 2005. С. 216.
3. Антонюк В.С., Возненко В.В., Калініченко В.І. Моделювання термосилових умов навантаження робочих поверхонь деталей та інструменту Приладобудування 2004: стан і перспективи: матер. III науково-технічної конференції. Київ, НТУУ «КПІ». 2004. С. 83-84.