

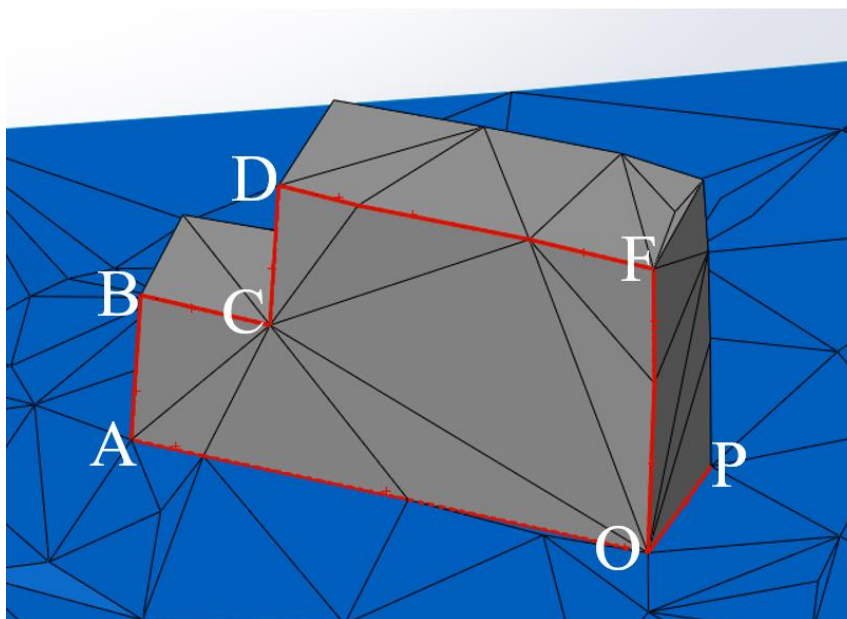


Рис. 7 – Елементи розрахунку

Таблиця 1 – Результати порівнянь

Назва відрізка	Фізичний вимір (мм)	Електронний замір (мм)	Коефіцієнт похибки (%)
AB	30	31,19	3,79
BC	30	29,03	3,23
CD	30	29,84	0,53
DE	70	71,54	2,20
EF	60	59,85	0,25
FA	100	99	1,00
OP	30	30,68	2,27

Висновок: таким чином ми визначили що коефіцієнт похибки не перевищує 5% що буде допустимо для об'єктів з невеликим допуском.

Використання 3D-сканування значно полегшує отримання вимірювань для складних або важкодоступних об'єктів, а великим плюсом є наявність уже спроектованої 3D-моделі.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ ЗАМКНЕНОЇ ОБОЛОНКИ ПРИ УДАРІ ШВИДКИМ ТВЕРДИМ ТІЛОМ

О. А. Папаїка, О. Г. Наріжний

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Для захисту будівельних конструкцій від фронтального удару і руйнування швидким тілом, наприклад автомобілем, використовуються захисні елементи у вигляді замкнених оболонок, при пружно-пластичному деформуванні яких поглинається кінетична енергія рухомого тіла. Для керування початком пластичного деформування елементи мають початковий рельєф. Такі елементи мають малу масу і вартість та високу поглинальну властивість при малих переміщеннях. В

наш час для обґрунтування параметрів таких захисних елементів знайшло розповсюдження чисельне моделювання процесу удару.

Для того, щоб числова модель була адекватною, тобто відображала суттєві особливості механічного процесу, вона повинна задовольняти ряду умов:

- модель пружно-пластичної поведінки матеріалу повинна відповідати кривій навантаження реального матеріалу (дійсному закону зміцнення);
- модель оболонки повинна припускати неоднорідний характер поля напружень та деформацій за товщиною, а також припускати великі переміщення та деформації;
- повинні бути враховані динамічні ефекти, наприклад інерційний опір;
- модель контактної взаємодії повинна припускати неоднорідний тиск між торцем оболонки та поверхнею рухомого тіла, а також можливість утворення зазору в процесі взаємодії.

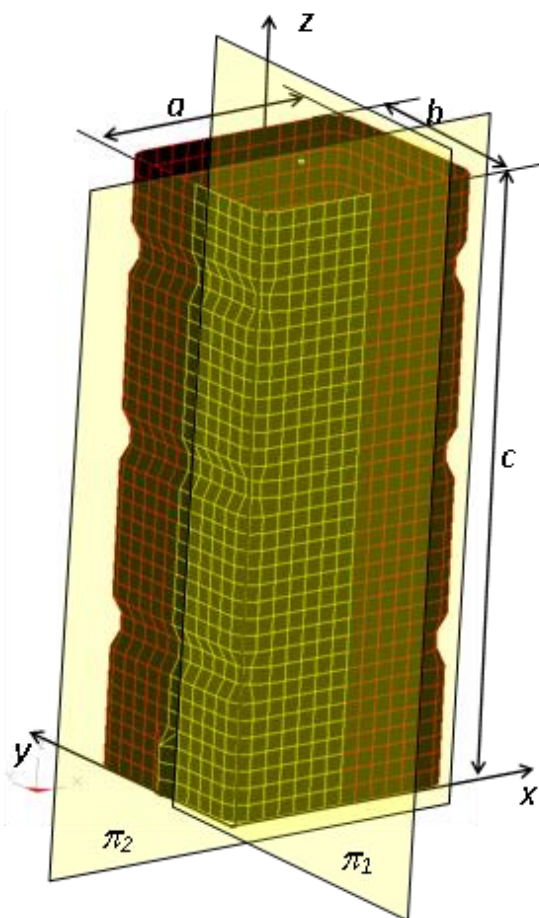


Рис. 1 – Вид оболонки

В цілому така математична модель є суттєво нелінійною і тому не має рішень у вигляді відомих функцій. Нижче для рішення використано метод виважених різниць з скінченно-елементною апроксимацією за просторовими координатами та скінченно-різницевою апроксимацією за часом в середовищі пакету ANSYS-LSDYNA [1] в системі CI.

На рис. 1 показана оболонка загальом (чорним кольором) та система скінченних елементів (граничі показано жовтим кольором), а також загальні розміри та система координат. Оболонка має дві площини матеріально-геометричної симетрії, позначені π_1, π_2 , що разом з припущенням про рух тіла проти осі z та жорстким спиранням на площині $z = 0$ дає можливість обмежити розрахунки чвертю оболонки з додатковими умовами симетрії напружено-деформованого стану оболонки на перерізах площинами π_1, π_2 . Це скорочує об'єм скінченно-елементної моделі та трудоемність її розрахунку.

Матеріал оболонки - сталь, що деформується за пружно-пластичним типом з характеристиками (використовується параметрична модель матеріалу *MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY). Механічні параметри: $\rho = 7830 \text{ кг/м}^3$ – густина; $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ - модуль пружності Юнга; $\nu = 0,3$ - коефіцієнт Пуассона; $\sigma_T = 2,07 \cdot 10^8 \text{ Па}$ - умовна межа пластичності. Використана дійсна діаграма « σ - ϵ », параметри якої наведено у табл. 1; розміри оболонки (рис. 1): $a = 0,116 \text{ м}$; $b = 0,096 \text{ м}$; $c = 0,273483 \text{ м}$; $h = 0,002 \text{ м}$.

Таблиця 1 – Параметри діаграми « σ - ϵ »

ϵ	0,0	0,08	0,16	0,4	9,9
$\sigma \cdot 10^{-8}$, Па	2,07	2,5	2,75	2,899	3,0

Навантаження оболонки здійснюється зверху твердим тілом (умовно не показано), масою m 800 кг, що рухається вертикально вздовж осі z зверху вниз з початковою швидкістю $v_0 = 8,94$ м/с. Використовується ключове слово *RIGIDWALL_PLANAR_MOVING_FORCES.

У нижній частині оболонка жорстко прикріплена до нерухомої основи, тому

$$u = 0, v = 0, w = 0 \text{ при } z = 0,$$

де u, v, w - переміщення точок серединної поверхні вздовж координат x, y і z відповідно.

На вертикальних межах виділеної чверті оболонки вводяться додаткові умови симетрії у переміщеннях

$$u = 0, \alpha_y = \alpha_z = 0 \text{ при } x = a/2,$$

$$v = 0, \alpha_x = \alpha_z = 0 \text{ при } y = b/2,$$

де $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ - кути повороту серединної поверхні щодо осей координат.

Параметри скінченно-елементної моделі: кількість вузлів 716 (плюс вузол 99999 для жорсткого ударника), кількість чотиривузлових скінченних елементів 641. Використані скінченні елементи типу 2 (Біличко-Цая).

Параметри управління обчислювальним процесом :

- тривалість процесу $dt = 0,0201$ с (* CONTROL _ TERMINATION);
- облік ефекту «пісочного годинника» у загальному балансі енергії $hgen = 2$ (* CONTROL ENERGY);
- облік розсіювання енергії при терті оболонки з ударником $rwen = 2$ (* CONTROL ENERGY).
- Результати розрахунків детально наведені в презентації.

Перелік посилань

1. LS-DYNA^R KEYWORD USER'S MANUAL, v. I,II. ANSYS, 2023. – 6065 р.

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗРЯДУ МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

Д. Р. Степаненко

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Магнетронне розпилення є однією з провідних технологій нанесення тонких плівок у промисловості, зокрема в електроніці, машинобудуванні, оптиці та медицині. Ефективність роботи магнетронного розпилювального пристрою (рис. 1)