

# ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА. ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.9.048.6

М.В. БОЙКО, О.Т. ВЕЛИКА, В.Г. ТОПІЛЬНИЦЬКИЙ, Р.В. ЛАМПКА

Національний університет “Львівська політехніка”

## РОЗРАХУНОК ПРЯМОКУТНОЇ МАТРИЦІ ПРЕС-ФОРМИ НА МІЦНІСТЬ І ЖОРСТКІСТЬ

Ї Бойко М.В., Велика О.Т., Топільницький В.Г., Лампка Р.В., 2010

*Розроблено формалізований алгоритм розрахунку прямокутної матриці прес-форми на міцність та жорсткість з метою визначення оптимальних геометричних розмірів, які б забезпечували її оптимальну експлуатаційну працездатність.*

*The formalized algorithm of calculation of rectangular matrix of press-form is developed on durability and inflexibility with the purpose of determination of optimum geometrical sizes which would provide it optimum operating capacity.*

**Вступ.** Основним способом виготовлення пластмасових виробів є лиття під тиском. Для лиття пластмасових деталей використовують металеві прес-форми. Форма може мати одну або декілька формувальних порожнин, конфігурація яких є негативним відображенням виробу, який виготовляється. Суть лиття під тиском полягає в наступному: пластмасу попередньо нагрівають у циліндрі ливарної машини (термопластавтоматі) і під тиском поршня машини подають у формувальну порожнину форми. У формі пластмаса набуває конфігурації виробу і охолоджується. Після цього форму розкривають і виймають готовий виріб. Форми виготовляють із сталей, які повинні витримувати багатократну дію високих тисків і температур, добре оброблятися різанням. Конфігурація форми залежить від конструкції виробу, який виготовляється.

Матрицею називається частина форми, яка безпосередньо бере участь у формуванні зовнішньої поверхні виробу. В процесі роботи вона знаходиться під дією змінного навантаження (виникає в момент впорскування пластмаси до форми), до конструкції матриці висувають підвищені вимоги щодо її міцності. Тому розрахунок міцності та жорсткості матриці є обов'язковим етапом у процесі проектування прес-форми.

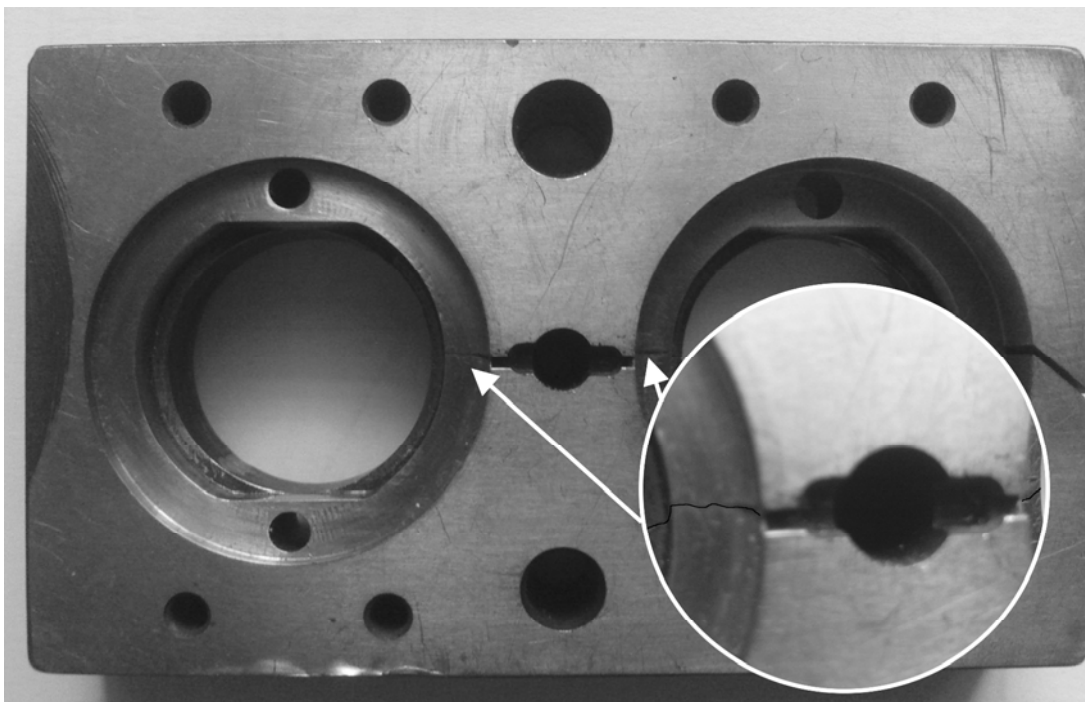
**Аналіз останніх досліджень.** Основні деталі пресформ – це пластини (плити), які мають отвори і в процесі роботи знаходяться під дією внутрішніх напружень, які виникають внаслідок дії тиску впорскування рідкої пластмаси до порожнини форми. До надійності цих деталей висувають високі вимоги, тому їх розрахунок становить великий практичний інтерес.

Відомі уточнені схеми визначення напружено-деформованого стану товстостінних пластин типу прес-форм в умовах плоского защемлення [1,2]. У [1] на основі інженерних підходів оцінено вплив защемлення на частотні характеристики консолі, а в [2] динамічні характеристики отримані методом скінченних елементів. У цій роботі для розрахунку прямокутної матриці прес-форми на міцність і жорсткість використовуємо метод скінченних елементів [3].

**3. Постановка задачі.** Одним з основних завдань під час конструювання прес-форм для лиття пластмасових виробів і оптимізації процесу проектування є розроблення формалізованої методики для технологічного і конструкторського розрахунків. Методика конструкторського розрахунку передбачає розрахунок всіх складових деталей прес-форми. Матриця є однією із основних деталей, в якій проходить процес формування пластмасових виробів. Тому розрахунок її на міцність та жорсткість становить практичний інтерес. Конструкцію матриці розглядатимемо як коробчасту конструкцію у вигляді паралелепіпеда. Розглянуто задачу про раціональне використання матеріалу в конструкції матриці, за умов рівномірної міцності і геометричних обмежень. Конструкція матриці умовно розділяється на  $N$  елементів (підконструкцій) заданої геометрії з  $M$  конструктивними керованими параметрами, які визначають розхід матеріалу. Як елементи розглядають окремі частини конструкції (бокові стінки, перемички), а як визначальні конструктивні параметри – їхні товщини.

Необхідно розробити алгоритм розрахунку прямокутної матриці прес-форми на міцність і жорсткість та провести дослідження щодо оптимального вибору геометричних параметрів пресформи, які б забезпечували її працездатність.

Дослідження необхідності розрахунку підтверджує рис.1, на якому видно тріщину в центральній частині матриці (область ливникової системи), яка утворилась в процесі експлуатації та неправильного ручного проектного розрахунку.



*Рис. 1. Матриця прес-форми, в якій з'явилися дефекти в процесі експлуатації (стрілками вказано зони утворення тріщин)*

З аналізу деталі видно, що розміри перемички між формувальними гніздами є недостатніми, тому і утворилась тріщина, отже, є доцільно визначити їхні оптимальні розміри.

**4. Формалізований алгоритм автоматизованого розрахунку прямокутної матриці на міцність і жорсткість.** Алгоритм автоматизованого розрахунку прямокутної матриці на міцність і жорсткість при проектуванні методом скінченних елементів у середовищі будь-якої системи функціонального проектування (CAE) передбачає такі кроки:

1-й етап . Проектується в 3D модулі CAD системи тривимірна модель деталі (матриці), для якої необхідно провести розрахунок. Побудовану модель відкриваємо модулем CAE для проведення розрахунків.

2-й етап. Для проведення розрахунків задаються такі параметри запроєктованої моделі:

а) матеріал деталі. Система заносить у вихідні дані ряд характеристик заданого матеріалу деталі – межу міцності матеріалу, границю текучості, модулі пружності першого та другого роду тощо;

б) площі і форми поперечних перерізів окремих елементів деталі;

в) закріплення деталі. Враховуючи умови експлуатації майбутнього виробу, конструктор задає обмеження ступенів свободи моделі, накладаючи на її відповідні грані (поверхні), ребра та вершини стандартні обмеження та закріплення – рухомий шарнір, нерухомий шарнір, жорстке защемлення;

г) навантаження деталі. Аналогічно, виходячи з умов експлуатації майбутнього виробу, конструктор задає сили, які діють на деталь, прикладаючи до відповідних граней (поверхонь), ребер та вершин тривимірної моделі деталі вектори сил та зазначає їхні абсолютні величини. Навантаження можна задати як зосереджене, так і розподілене. Зосереджене навантаження задається в конкретній точці моделі і задається через проекції сили на осі X, Y, Z (вводяться відповідні числові значення цих проекцій), або задається абсолютне значення сили та кут між вектором сили та осями X, Y, Z. Розподілене навантаження можна застосовувати як до ребер моделі, так і до її граней. Величини сил задаються у відповідних одиницях використовуваної CAE системи, переважно в одиницях системи СІ.

3-й етап. Необхідно налаштувати CAE систему для проведення розрахунків: вибрати тип скінчено-елементного аналізу (статичний чи динамічний), вибрати тип та розмір скінченних елементів, вказати необхідну точність майбутнього розрахунку тощо.

4-й етап. CAE система в автоматичному режимі, закритому від користувача, за введеними параметрами проводить розрахунок моделі деталі на міцність (вибирає вузли в об'ємі деталі, розбиває деталь на кінцеві елементи, нумерує вузли, будує матрицю елементів, складає рівняння розрахунків). Цей процес може бути доволі довготривалим і залежить від технічних засобів розрахунку, складності тримірної моделі, заданої точності розрахунку тощо. Результати розрахунку відображаються у вигляді табличних даних та візуальних епюр. У табличних даних відображені величини напружень, які виникають у вузлах моделі, тобто величини напружень по всьому об'єму деталі залежно від її матеріалу, закріплення та прикладеного навантаження, а також деформація деталі (вказується у відносних чи абсолютних переміщеннях окремих вузлів деталі). Кольорові епюри через вказану на рисунку деталі карту зв'язку відповідного кольору з відповідною величиною напружень, візуально показують розподіл напружень по моделі деталі, зони найбільших та найменших напружень а, відповідно і місця, де деталь буде руйнуватись. Інший тип епюр відображає деформовану (залежно від початкових умов) деталь. Також система CAE після завершення розрахунку показує коефіцієнт запасу міцності деталі, внаслідок чого можна зробити висновок про можливість використання запроєктованої деталі в заданих умовах експлуатації.

5. Його можна назвати етапом інженерного аналізу. Залежно від отриманих результатів розрахунку на міцність та поставленої задачі користувач працює в діалоговому режимі з CAE/CAD системою – змінює за необхідності, форму деталі, тип матеріалу, умови закріплення та навантаження, проводить нові скінченно-елементні розрахунки, аналізує з метою досягнення необхідного результату для забезпечення необхідної надійності експлуатації майбутнього виробу.

**5. Контрольний приклад.** Запроєктовано тривимірну модель матриці пресформи в CAD системі SolidWorks, для якої необхідно провести розрахунок на міцність, зображено на рис. 2.

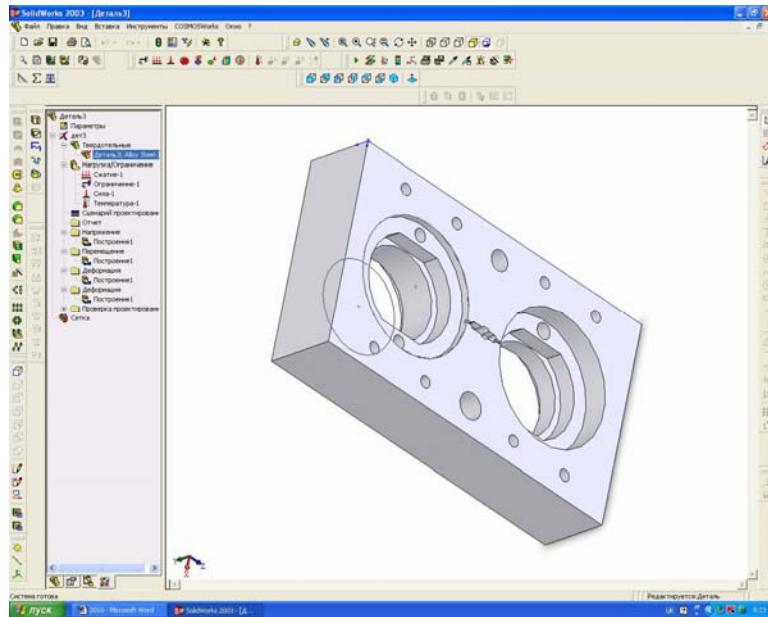


Рис. 2. Матриця, спроектована в системі SolidWorks

Наступним кроком є використання в системі її модуля скінченно-елементного розрахунку COSMOSWorks для проведення проектних досліджень. Для цього, враховуючи умови експлуатації майбутнього виробу, задаємо робочу температуру та сили, які діють на деталь: питомий тиск подачі рідкої пластмаси у формувальну порожнину (нормальна рівномірно розподілена сила). Прикладаючи до формувальних граней (поверхонь), ребер та вершин тривимірної моделі деталі вектори сил, вказуємо їхні абсолютні величини (рис. 3).

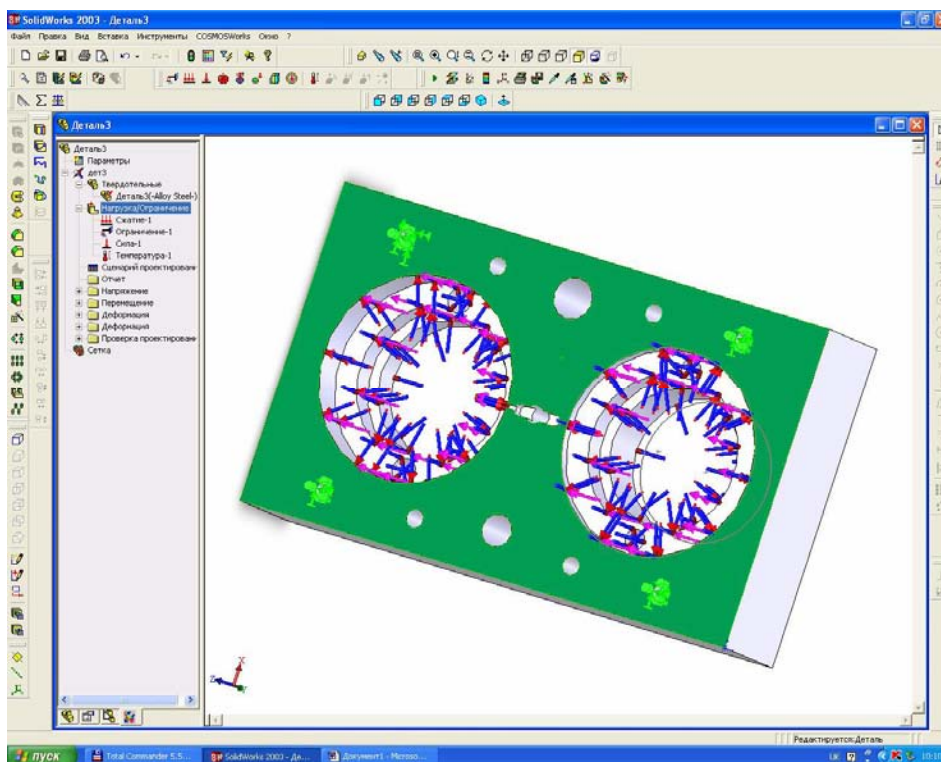


Рис. 3. Сили, які діють на матрицю та варіанти закріплення

Задаємо матеріал матриці (сталь певного виду), вибираємо статичний аналіз, вибираємо тип скінченних елементів і вказуємо необхідну точність майбутнього розрахунку.

Далі проводимо дискретизацію – побудову скінченно-елементної сітки (рис. 4). Коригування густини сітки забезпечує точність та час проведення розрахунків.

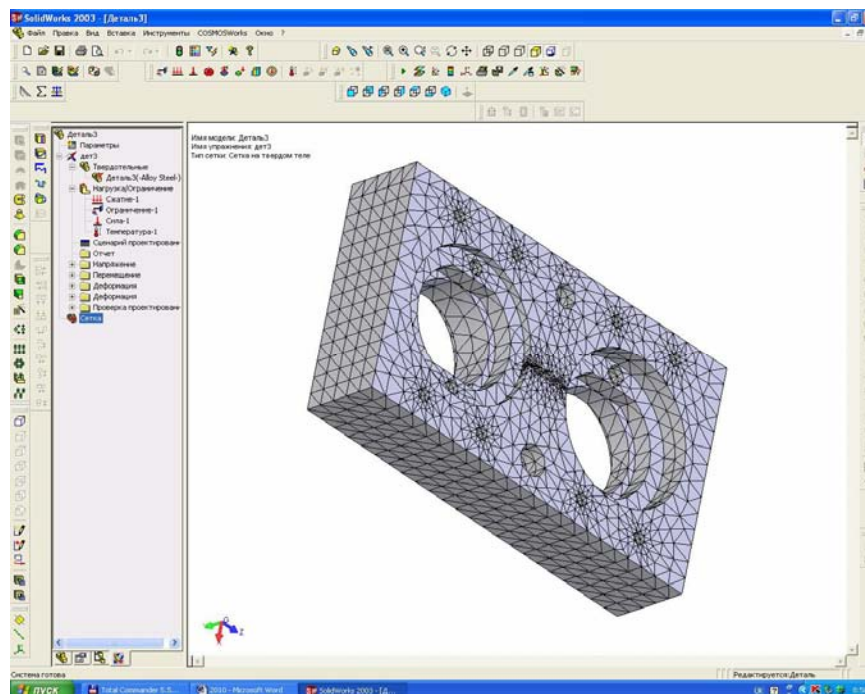


Рис. 4. Сітка скінченних елементів

Для різних параметрів моделі виконуємо розрахунки і вибираємо оптимальну модель конструкції форми (рис. 5).

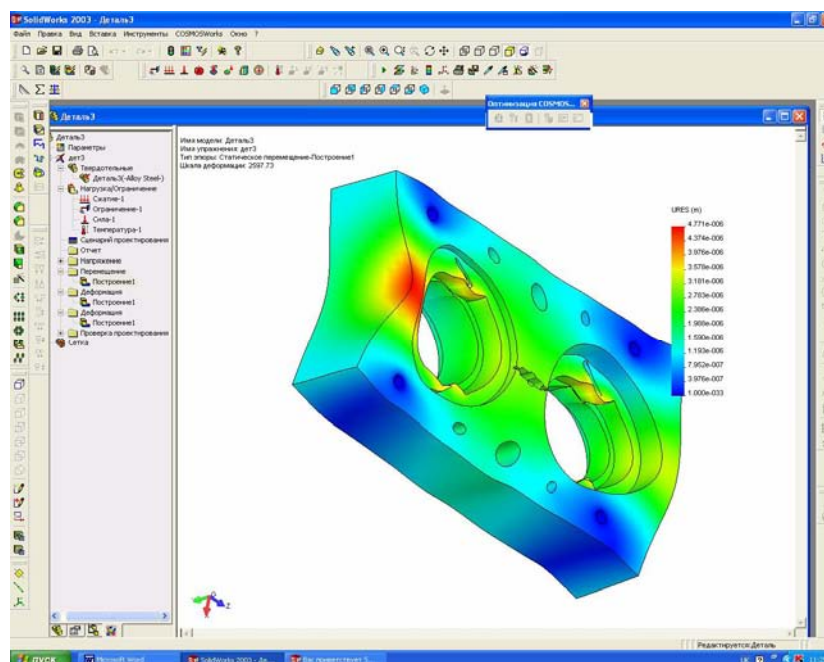


Рис. 5. Віртуальні результати деформаційного розрахунку матриці прес-форми

Аналізуючи ізополя еквівалентних напружень та деформації моделей по осі Oz (рис. 5), можна зробити такі висновки:

1. Розподіл еквівалентних напружень спостерігається на бокових коротких сторонах матриць, концентратори напружень знаходяться на перемичці між формувальною порожниною і боковою стінкою.

2. Розподіл еквівалентних напружень по довших сторонах матриці є меншими, ОСКІЛЬКИ в цій зоні розміщені вузли кріплення (чотири отвори під болти).

3. Найнижчі напруження та найменші деформації отримано методом скінченних елементів на "CosmosWorks", де враховано із високим ступенем деталізації всі конструктивні елементи матриці прес-форми, що свідчить про доцільність високодеталізованого моделювання.

### **Висновок**

1. У результаті досліджень тривимірних моделей матриці прес-форми в системі Solidwork отримано її конструкцію, оптимізовану за жорсткістю та міцністю.

2. За результатами дослідження визначено параметри моделі матриці прес-форми, які забезпечать її оптимальну експлуатаційну працездатність.

1. Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем. – М.: Машиностроение, 1970. – 734 с.  
2. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с. 3. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др. – СПб.: БХВ Петербург, 2006. – 799 с.

УДК 621.9.048.6: 621.391:

**Я.М. ЛИТВИНЯК, Я.М.КУСИЙ, Є.М.МАХОРКІН**

Національний університет "Львівська політехніка"

## **ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ЕМПІРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ, ОТРИМУВАНИХ СТОСОВНО МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ**

© Литвиняк Я.М., Кусий Я.М., Махоркін Є.М., 2010

*Розроблено методику отримання багатофакторних залежностей, обернених до емпіричних, в яких встановлюється вплив параметрів процесу механічного оброблення на технологічні фактори або отримується опис безпосереднього взаємозв'язку між параметрами процесу, що дає змогу підвищити інформативність моделей і удосконалити процес технологічної підготовки виробництва, зокрема його автоматизацію.*

*A method is developed for creation of expressions reversing to empiric expressions. They are setting influence parameters of treatment process on factors technological or influence of process parameters on each other.*

**Постановка проблеми.** Технологічні операції виготовлення деталей традиційно характеризують комплексом показників, що відображають різноманітні аспекти операцій процесів механообробки. Ці показники поділяють на три групи: показники, які стосуються техніко-економічної оцінки операції, а саме стійкість інструментів, собівартість одиниці часу роботи устаткування,