

УДК 539.3

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ТА ПОКРИТТІВ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ

Дьоміна Н.А.<sup>1</sup>, к.т.н.

e-mail: natalia.domina@tsatu.edu.ua

Ткачук М.А.<sup>2</sup>, д.т.н.

e-mail: tma@tmm-sapr.org

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність та постановка проблеми.** У машинобудівних конструкціях контактуючі елементи часто включають деталі, що взаємодіють на номінально співпадаючих або майже однакових поверхнях чи лініях. Наприклад, штампи, прес-форми, зубчасті зачеплення, приводи тощо. Збіг форми поверхонь контактуючих деталей прагнуть досягти для зниження контактного тиску. Варіант із номінально збіжними поверхнями не є оптимальним через відхилення форми реальних деталей від проєктної (похибки при механообробці, нерівномірні деформації при термообробці, похибки при збиранні тощо). Тоді ключовим фактором в цьому випадку стають властивості матеріалів поверхневих шарів та покриттів. Тому важливим є моделювання наявності та податливості поверхневих шарів та покриттів. Це завдання є актуальним і складає напрямок досліджень, описаних у цій роботі.

**Основні матеріали дослідження.** Проведений аналіз методів дослідження контактної взаємодії елементів конструкцій з урахуванням додаткових чинників [1–6] вказав на необхідність розробки вдосконалених моделей контактної взаємодії елементів конструкцій, які враховують властивості матеріалів поверхневих шарів та збурення номінально конгруентних контактуючих поверхонь. Це дозволить вивчати закономірності напружено-деформованого стану контактуючих тіл за різних умов. Для цього необхідно розробити математичну модель, параметричні чисельні моделі напружено-деформованого стану контактуючих тіл із поверхнями близької форми для визначення закономірностей впливу властивостей матеріалів поверхневих шарів та покриттів і збурення форми поверхонь контактуючих тіл та на їхній напружено-деформований стан.

При розв'язанні задачі про контактну взаємодію тіл, яка не підпадає під традиційні моделі (рис. 1) можна розглядати варіації форм поверхонь  $S_1$  та  $S_2$ , а також контактних жорсткостей  $c_1$  та  $c_2$ .

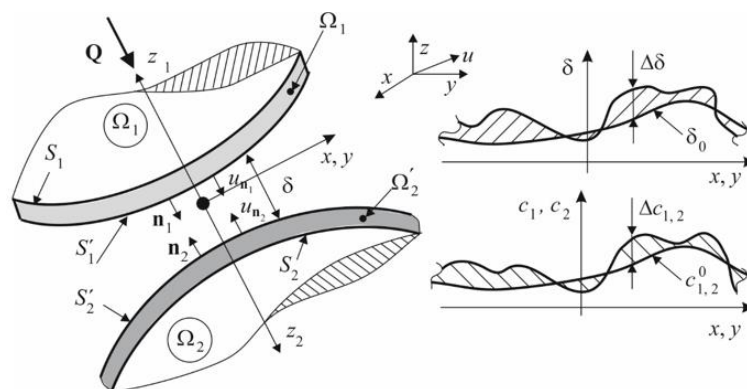


Рис. 1. Контакт тіл  $\Omega_1, \Omega_2$  за наявності проміжних шарів (покриттів)  $\Omega'_1, \Omega'_2$  відповідно

Це призводить до збурень номінальних розподілів зазору  $\delta_0, c_1^0$  і  $c_2^0$ :

$$\delta(x, y) = \delta_0(x, y) + \Delta\delta(x, y), \quad (1)$$

$$c_1(x, y) = c_1^0(x, y) + \Delta c_1(x, y); \quad c_2(x, y) = c_2^0(x, y) + \Delta c_2(x, y). \quad (2)$$

Таким чином, можна встановлювати залежності розв'язків задач контактної взаємодії від змін форми контактуючих тіл та контактної жорсткості поверхневих шарів.

Розроблена параметрична модель продемонструвала працездатність і можливість одержання повної інформації про напружено-деформований стан системи контактуючих тіл при варіюванні збурення номінальної форми тіл та властивостей їхніх поверхневих шарів. Для вирішення завдання залучалися методи теорії обробки металів тиском, теорії пружності, теорії варіаційних нерівностей, метод скінченних елементів [7], теорія тривимірного геометричного параметричного твердотілого і поверхневого моделювання. Числові розрахунки проводилися із залученням комп'ютерних систем ANSYS та SolidWorks. Наведено деякі приклади результатів досліджень напружено-деформованого стану досліджуваної системи тіл «пуансон – заготовка – матриця» (рис. 2-5):

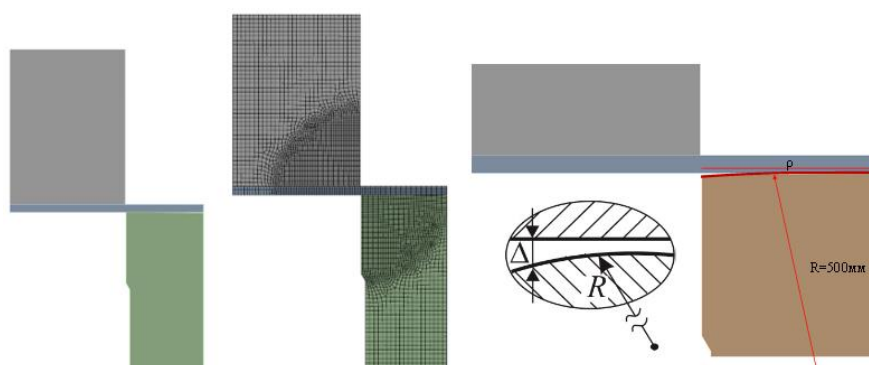


Рис. 2. Геометрична та скінченно-елементна моделі досліджуваної системи тіл «пуансон – заготовка – матриця»

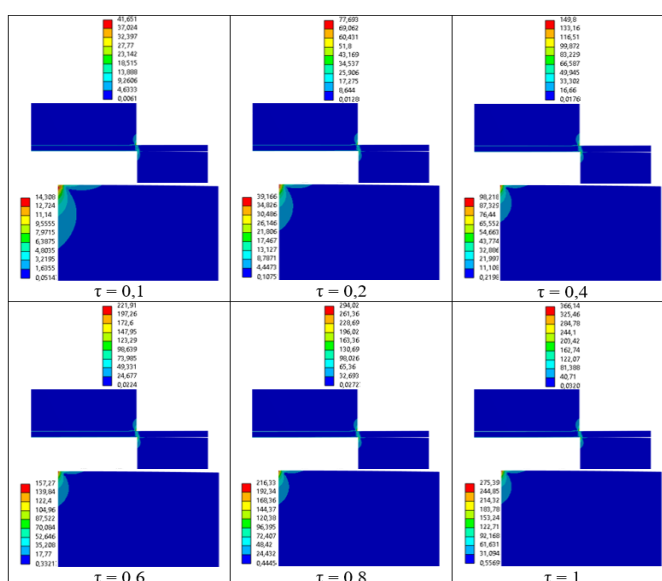


Рис. 3. Розподіли еквівалентних напружень за Мізесом, МПа, при  $\rho=0.4$  мм;  $C=10^{15}$  Н/м

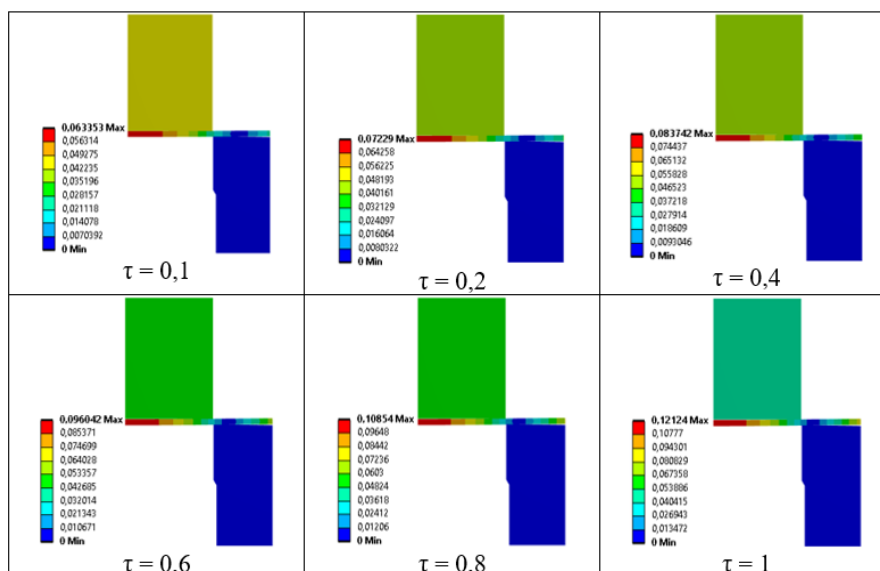


Рис. 4. Розподіли повних переміщень, мм ( $10^{-3}$  м) при  $\rho=0.4$  мм;  $c=10^{11}$  Н/м

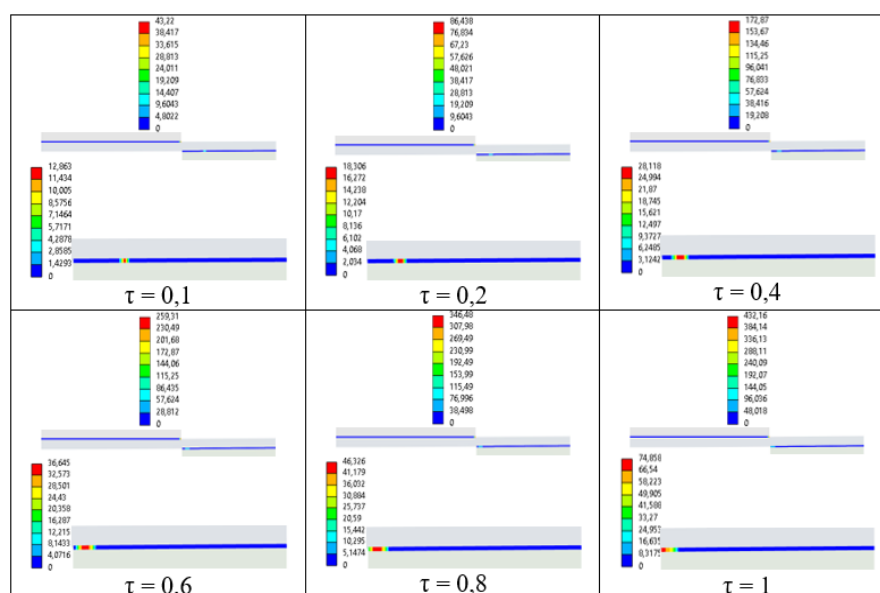


Рис. 5. Розподіли контактного тиску, МПа, при  $\rho=5$  мм;  $C=10^{15}$  Н/м

**Висновки.** Аналіз отриманих розподілів і параметричних залежностей від варійованих параметрів показує, що при номінально співпадаючих поверхнях і нульовій контактній жорсткості зона контакту не змінюється зі зростанням навантаження, а контактний тиск і компоненти напружено-деформованого стану прямо пропорційні величині навантаження. Ця закономірність також зберігається при співпадаючих поверхнях і ненульовій контактній податливості, але зі зменшенням контактної жорсткості зона контакту збільшується, тоді як контактний тиск і компоненти напружено-деформованого стану знижуються.

Коли ж форма спряжених поверхонь зазнає збурень, пряма пропорційність контактного тиску та компонент напружено-деформованого стану до рівня навантаження порушується. Однак тенденція до збільшення зони контакту та зниження рівня контактного тиску і компонент напружено-деформованого стану залишається.

**Список використаних джерел:**

1. Atroshenko, O., Tkachuk, M., Martynenko, O., Tkachuk, M., Saverska, M., Hrechka, I., Khovansky, S. (2019). The Study of Multicomponent Loading Effect on Thin-Walled Structures With Bolted Connections. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1 (7 (97)). 15-25. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154378>.
2. Tkachuk, M.M., Grabovskiy, A., Tkachuk, M.A., Hrechka, I., Ishchenko, O., Domina, N. (2019). Investigation of multiple contact interaction of elements of shearing dies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4(7 (100)). 6–15. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174086>.
3. Johnson K.L. (1985). *Contact Mechanics*. Cambridge University Press. 462.
4. Грабовський, А.В., Ткачук, М.А., Дьоміна, Н.А., Ткачук, Г.В., Іщенко, О.А., Ткачук, М.М. та ін. (2021). Чисельний аналіз контактної взаємодії тіл із поверхнями близької форми. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, серія: Машинознавство та САПР. 2. 29-38. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2021.2.05>
5. Ткачук, М.М. (2023). Контактна механіка тіл із урахуванням нелінійних властивостей поверхневих та проміжних шарів. *Видання друге*. Дніпро: Видавець Обдимко Ольга Станіславівна, 255.
6. Грабовський, А.В., Ткачук, М.А., Кохановська, О.В., Ткачук, Н.А., Дьоміна, Н.А., Ткачук, Г.В. та ін. (2022). Контактна взаємодія тіл близької форми за малого збурення розподілу початкового зазору. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, серія: Машинознавство та САПР. 2, 23–34. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2022.2.03>
7. Washizu, K. (1975). *Variational Methods in Elasticity and Plasticity*. Pergamon Press, 420.

УДК 530.1

**ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИМУЛЯЦІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ  
ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ**

Дяденчук А.Ф., к.т.н.

*e-mail: alena.dyadenchuk@tsatu.edu.ua*

Алгаєв О.В., здобувач вищої освіти

*e-mail: findsoviet@gmail.com*

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**Актуальність та постановка проблеми.** У контексті сучасних тенденцій до дистанційного та гібридного навчання використання комп'ютерних симуляцій для вивчення різних явищ, у тому числі і фізичних, стає невід'ємною складовою сучасної освіти. Інтерактивні освітні програми та платформи дозволяють моделювати складні фізичні явища, забезпечуючи доступ до інтерактивних ілюстрацій процесів навіть за відсутності лабораторного обладнання, а використання цифрових технологій дозволяє зробити освітній процес більш гнучким і адаптованим до індивідуальних особливостей здобувачів освіти [1].

Комп'ютерні симуляції дозволяють вивчати фізичні процеси на візуальному рівні, що значно підвищує рівень розуміння складних концепцій, роблячи абстрактні поняття більш доступними та зрозумілими, а також моделювати