

Застосування САЕ-систем для дослідження конфігурації дискретних покриттів

*Київський національний авіаційний університет
Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П. Василенка*

За допомогою САЕ-систем досліджено напружено-деформований стан дискретних покриттів і вплив напружень на конфігурацію дискретних ділянок. Установлено, що напруження розтягу, які виникають у дискретному покритті, мають неоднозначний розподіл у дискретних ділянках, що суттєво впливає на напружено-деформований стан дискретної поверхні в цілому. Порівняння експериментальних даних і даних, отриманих в результаті числового моделювання, дає невелику розбіжність – до 4%.

Ключові слова: САЕ-система, дискретне покриття, фретинг-корозія, схоплювання, пластина.

Загальна постановка проблеми і її зв'язок з науково-практичними задачами. Збільшення терміну служби сучасних машин і механізмів – одна з важливих проблем підвищення якості й конкурентоздатності у галузі машинобудування. Значні матеріальні втрати внаслідок тертя та зношування поставили першочергову задачу збільшення довговічності вузлів тертя. Висока вартість конструкцій, складність умов роботи трибосистем висуває високі вимоги до вибору матеріалів трибосполучень, пошуку нових ефективних технологій підвищення ресурсу трибовузлів, аналізу процесів, які відбуваються між контактуючими поверхнями. В цілому ця проблема на сучасному етапі розвитку науково-технічного прогресу є актуальною і потребує всебічного вивчення і підходу.

Таким підходом сьогодні є використання в трибології сучасних інформаційних технологій, які широко використовуються в різних галузях науки і техніки, а також є важливою складовою процесу використання інформаційних ресурсів суспільства. Інформаційні технології забезпечують розв'язання великої кількості складних задач, дозволяють глибоко аналізувати процеси, виявляти причини і надавати відповіді на багато виникаючих питань щодо прогнозування надійності та ресурсу вузлів машин.

Огляд публікацій і аналіз невирішених проблем. Для підвищення довговічності й зносостійкості деталей машин і механізмів сьогодні широко застосовують дискретні покриття як найбільш перспективний напрямок інжинірингу поверхні. Принцип створення покриттів дискретної структури базується на заміні традиційного суцільного шару поверхні мозаїчною структурою, що дозволяє повному підійти до технології відновлення зношених деталей.

Дискретні покриття реалізуються різними технологічними методами поверхневого зміцнення. Останнім часом широко застосовують технологію формування дискретних поверхонь ударним поверхнево-пластичним деформуванням, результатом впровадження якої є розширення діапазону роботи деталей в екстремальних умовах експлуатації.

Як відомо, розміри і конфігурацію дискретної поверхні вибирають виходячи з умов мінімізації напружено-деформованого стану через силові і температурні навантаження на поверхню, що дозволяє багатократно підвищити її граничний стан. Рівень залишкових напружень, що утворюється при формуванні дискретних поверхонь, значною мірою буде визначати можливість їх практичного використання.

Розрахунок напружено-деформованого стану деталей машин неможливий без врахування всіх складових процесу формування дискретної поверхні. Для проектування локального напружено-деформованого стану дискретної поверхні сьогодні широко використовують системи моделювання і розрахунків - САЕ-системи (Computer Aided Engineering Systems). Впровадження цих систем зумовлено сучасним розвитком обчислювальної техніки, застосуванням різноманітних методів обчислювальної математики, статистики, математичного програмування, дискретної математики, штучного інтелекту.

Використання програмного забезпечення на основі методу скінченних елементів дозволяє змодельовати складні геометричні форми деталі або конструкції з врахуванням будь-якого типу експлуатаційного навантаження. Розповсюдженість цих програм зумовлена їх використанням для розрахунку складних задач механіки деформованого твердого тіла, задач теплопровідності, теорії коливань та інших специфічних розрахунків. Деякі з них дозволяють проводити оптимізацію конструкції за граничними напруженнями та геометричними розмірами деталі.

Вивчення напружено-деформованого стану дискретних поверхонь є важливою і актуальною задачею. Відсутність такої інформації є суттєвою перешкодою в області інтерпретації процесів, що супроводжують процеси тертя та зношування трибосполучень.

Мета дослідження – визначення напружено-деформованого стану конфігурації дискретного покриття методом числового моделювання.

Методика досліджень. Для дослідження напружено-деформованого стану поверхонь використовували метод визначення величини залишкових напружень за кривизною прямокутного зразка. На пластинки розміром 80 ммх5 ммх0,5 мм з латуні наносили заглибини (лунки) згідно з матрицею планування експерименту. Нанесення заглибин здійснювалося спеціальним пристроєм для утворення на плоскій поверхні тертя рельєфу заглибин. Перед нанесенням заглибин зразки шліфувалися до шорсткості $R_z=0,63\pm 0,32$ мкм.

Числове моделювання напружено-деформованого стану покриттів здійснювалося методом скінченних елементів, яке реалізовувалось за допомогою програми NASTRAN. Суть методики полягає в розв'язуванні задачі лінійної пружності та наступного визначення напружено-деформованого стану дискретної ділянки. В процесі моделювання задавалися необхідні фізико-механічні характеристики матеріалу пластинки, розмір лунок, відстань між рядами і відстань в ряді. Також до вузлів моделі на вершинах лунок прикладалися силові навантаження як залишкові напруження. Необхідні для розрахунку граничні умови та властивості матеріалу пластини були такі: модуль пружності $E=0,89\times 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu=0,32$, густина матеріалу $\rho=8450$ кг/м³.

Результати досліджень і їх аналіз. Аналіз експериментальних досліджень показав, що при формуванні дискретного покриття у вигляді впорядкованих лунок у деталі з латуні виникають залишкові напруження розтягу, рівень яких залежить від

конфігурації дискретної поверхні, а саме відстані між рядками X1, відстані у рядку X2 і ходу головки установки X3. Найменші залишкові напруження виникають при значеннях параметрів оптимізації X1=200...300 мкм, X2=200 мкм і X3=150 мкм [1].

На основі експериментальних досліджень було побудовано скінченно-елементну модель дискретної поверхні відповідно до кількості зразків із заданими розмірами лунок та їх розташування. Розрахунки проводили на 1/4 частині пластинки, оскільки вона має осі симетрії (рис. 1). Розміри скінченноелементної моделі були такі: довжина - 0,08 м, ширина - 0,005 м. Дослідження проводили для розв'язування задачі та розрахунку напружено-деформованого стану моделі від навантаження (рис. 2).

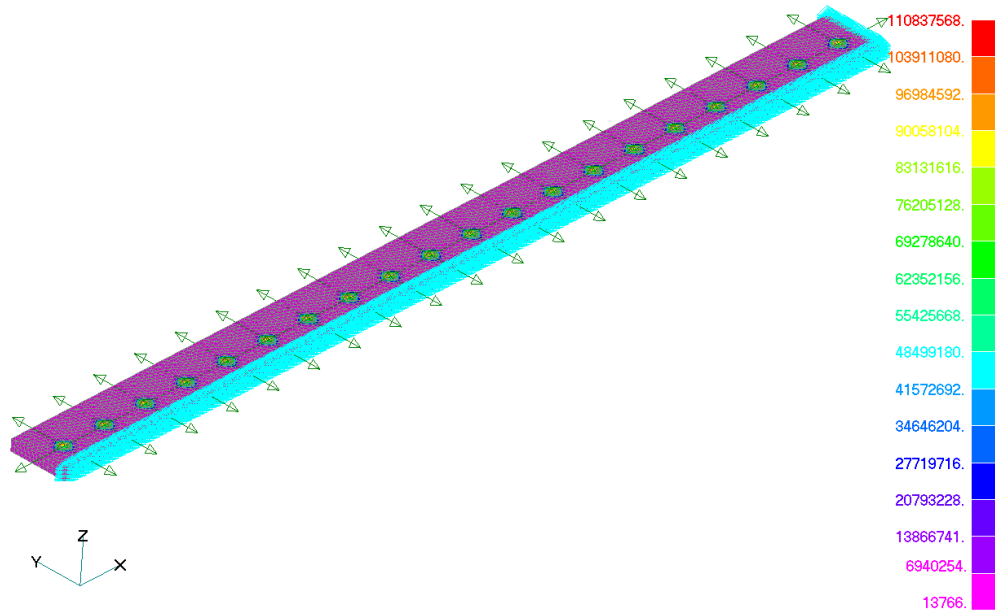


Рис. 1. Скінченноелементна модель 1/4 частини пластинки з покриттям у вигляді лунок з прикладеним навантаженням і закріпленням

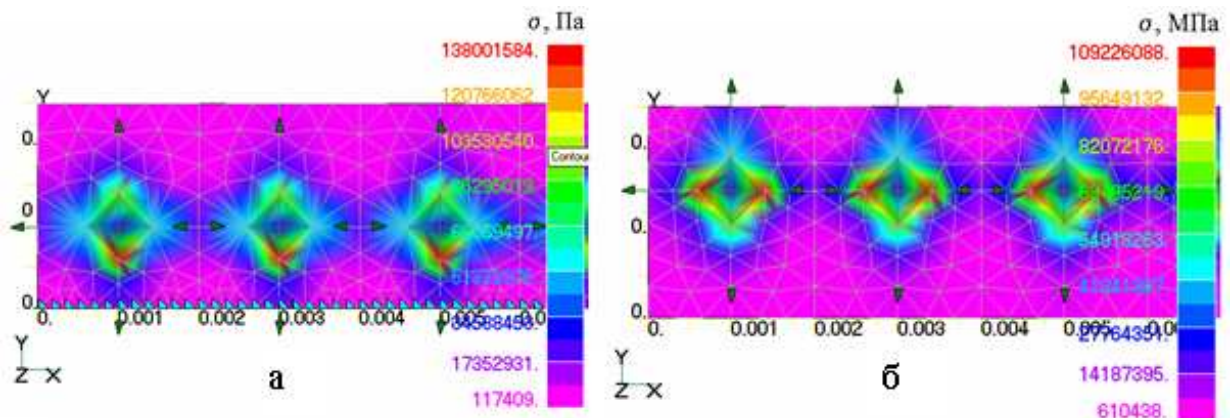


Рис. 2. Напружено-деформований стан дискретної поверхні залежно від розміру та розташування лунок: а - X1=200 мкм, X2=200 мкм і X3=150 мкм, б - X1=300 мкм, X2=200 мкм і X3=150 мкм

Порівняння експериментальних даних і даних, отриманих в результаті числового аналізу для кожного із зразків показало, приблизно 4%-ну розбіжність результатів (рис. 3).

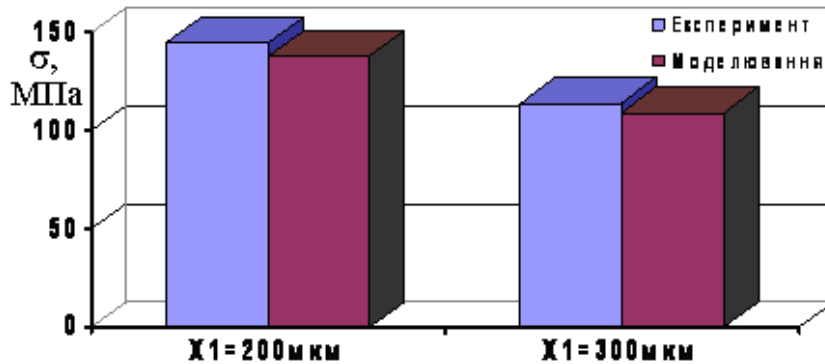


Рис. 3. Порівняння експериментальних даних і даних, отриманих в результаті числового аналізу для кожного із зразків

Аналіз моделей засвідчив, що розподіл залишкових напружень має нерівномірний характер, найбільше їх значення спостерігається на вершинах поверхні лунки. Джерелом високих залишкових напружень на текстурованій поверхні є напливи, які формуються після нанесення лунок. Величина, форма та рівень залишкових напружень в напливах залежать від структури поверхневого шару і параметрів X_1 , X_2 , X_3 .

Залишкові напруження розтягу розповсюджуються в лунках шарами і поступово зменшуються від їх кромки (де вони мають максимальне значення) до дна лунки майже до нуля (0,02...2,0 МПа). Крім параметрів X_1 , X_2 , X_3 на рівень залишкових напружень впливає напрям руху поверхні деталі в процесі формування лунок (рис. 4). Відповідно внутрішня сторона I лунки (характеризується наявністю напливу) піддається більшій деформації індентора порівняно з II, і напружено-деформований стан теж більший.

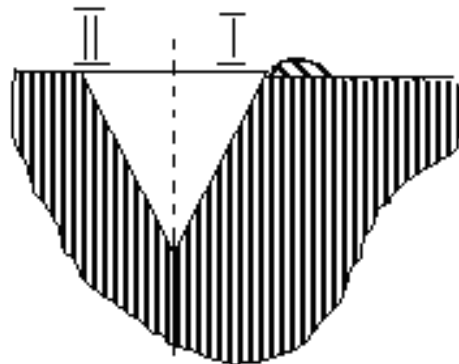


Рис. 4. Схема для аналізу напружено-деформованого стану внутрішніх сторін (I і II) лунки

Пошаровий аналіз внутрішніх сторін лунок показує, що при значенні параметра $X_3=50$ мкм формуються максимальні напруження розтягу і вони майже однакові в / і // сторонах лунки. Збільшення параметра X_3 до 100 мкм приводить до зменшення залишкових напружень в 1,8 раза на внутрішній поверхні //. На поверхні / вони збільшуються в 1,1 раза. Це пояснюється тим, що при створенні лунки поверхня / піддається більшому пластичному деформуванню з боку індентора. При подальшому збільшенні параметра X_3 до 150 мкм ситуація змінюється навпаки. Рівень залишкових напружень внутрішньої поверхні // не змінюється, а поверхні / зменшується в 1,2...1,5 раза. Найбільшій зміні напружень піддаються 5-8-й шари порівняно з іншими шарами. Високі значення параметрів X_3 ініціюють розвиток смуг локалізованого зміщення матеріалу по краях внутрішніх сторін лунки і виникнення в поверхневому шарі лунки сітки втомних мікротріщин [2].

Основним напрямком зниження залишкових напружень розтягу дискретної поверхні є видалення напливів, які формуються при створенні лунок, а також усунення сітки втомних мікротріщин по краях внутрішніх сторін лунки. Такими методами є шліфування поверхневого шару на глибину виступу напливу, а також наступне нанесення тонкого поверхневого шару покриття (наприклад іонне азотування та інші методи), які дозволяють заліковувати дефекти, що виникли після формування лунки.

Висновки

Таким чином, аналіз отриманих результатів показав, що при формуванні дискретної поверхні у формі лунок у пластині виникають залишкові напруження розтягу, розподіл яких має нерівномірний характер і залежить від розташування і діаметра лунок на поверхні, а також від пружно-пластичних властивостей матеріалу. Розрахунок засобами числового моделювання дозволяє більш глибоко проаналізувати напружено-деформований стан як окремої ділянки, так і дискретної поверхні в цілому.

Список літератури

1. Марчук В.Є. Напружено-деформований стан дискретної поверхні / В.Є. Марчук, В.В. Жигінас // Матеріали VII Міжнар. наук.-техн. конф. АВІА-2006. – К.: НАУ. – 2006. – Т.2: Експлуатація авіаційної техніки. – С. 3.120 - 3.123.
2. Марчук В.Є. Вплив конструктивно-технологічних параметрів на характеристики локального напружено-деформованого стану в елементах дискретної поверхні / В.Є. Марчук, Б.А. Ляшенко, В.І. Калініченко // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во нац. авіац. ун-ту "НАУ-друк". 2009. – Вип. 51. – С. 5 - 13.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Войтов, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка

Надійшла до редакції 15.12.10

Застосування САЕ-систем для дослідження конфігурації дискретних покриттів

С помощью САЕ-систем исследованы напряженно-деформированное состояние дискретных покрытий и влияние напряжений на конфигурацию дискретных участков. Установлено, что напряжения растяжения, которые возникают в дискретном покрытии, имеют неоднозначное распределение в дискретных участках, что существенно влияет на напряженно – деформированное состояние дискретной поверхности в целом. Сопоставление экспериментальных данных и данных, полученных в результате численного моделирования, дает небольшое расхождение – до 4%.

Ключевые слова: САЕ-система, дискретное покрытие, фреттинг-коррозия, схватывание, пластина.

Caе-systems application in discrete coverages configuration research

With the help of CAE-systems the tensely-deformed state of discrete coverages and tensions influence on discrete areas configuration are investigated. It is set that tensions of strain, that arise in discrete coverage, have the ambiguous distributing in discrete areas, which substantially influence on the tensely deformed state of discrete surface on the whole. Comparison of experimental data and the data received as a result of numerical modelling gives a slight divergence up to 4%.

Keywords: CAE-system, discrete coverage, fretting-corrosion, seizure, plate.