

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДИСКРЕТНИХ ПОКРИТТІВ

Національний авіаційний університет

Проаналізовано напружено-деформований стан дискретної поверхні методом числове моделювання. Установлено, що напружено-деформований стан лунок має неоднозначний розподіл залишкових напружень і залежить від її геометричних параметрів. Зіставленням експериментальних даних і даних, отриманих у результаті числового моделювання, отримано розбіжність до 4%

Загальна постановка проблеми та аналіз невіршених проблем. Для підвищення зносостійкості важконавантажених деталей машин і механізмів широко застосовують дискретні покриття як найбільш перспективний напрям інжинірингу поверхні. Принцип створення покриттів дискретної структури ґрунтується на заміні традиційного суцільного шару поверхні на мозаїчну структуру, що дозволяє по-новому підійти до технології відновлення зношених деталей.

Дискретні покриття реалізуються різними технологічними методами поверхневого зміцнення. Останнім часом широко застосовують технології формування дискретних поверхонь ударним поверхнево-пластичним деформуванням, результатом упровадження 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 від силового і температурного навантаження на поверхню, що дозволяє багатократно підвищити її граничний стан. Рівень залишкових напружень, що утворюється у процесі формування дискретних поверхонь, значною мірою буде визначати можливість їх практичного використання. Відомостей про напружено-деформований стан дискретних поверхонь, що формуються цим методом у закордонній і вітчизняній літературі майже немає, а оптимальне їх розміщення на поверхні за умов мінімізації залишкових напружень для збільшення зносостійкості пари тертя мало досліджувалися.

Мета дослідження. Визначення впливу геометричних параметрів дискретності на напружено-деформований стан поверхні методом числового моделювання.

Методика досліджень. Для дослідження напружено-деформованого стану поверхонь використовували метод визначення величини залишкових напружень за кривизною прямокутного зразка [1]. На пластинки розміром $80 \times 5 \times 0,5$ мм із латуні наносили заглибини (лунки) згідно з матрицею планування експерименту. Заглибини наносили спеціальним пристроєм для утворення на плоскій поверхні тертя рельєфу заглибин [2]. Перед нанесенням заглибин зразки шліфувалися до шорсткості $R_z = 0,63 \pm 0,32$ мкм. Шорсткість поверхонь визначали на профілографі-профілометрі моделі 201.

Числове моделювання напружено-деформованого стану покриттів виконували 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. У процесі моделювання задавалися необхідні фізико-механічні характеристики матеріалу пластинки, розмір лунок, відстань між рядами і відстань у ряді. Також до вузлів моделі на вершинах лунок прикладалися силові навантаження як залишкових напружень. 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. Аналіз експериментальних досліджень показав, що при формуванні дискретної поверхні у вигляді лунок, в деталі виникають залишкові напруження розтягу, рівень яких залежить від розміщення і діаметра лунок на поверхні, а саме: відстані між рядками x_1 , відстані у рядку x_2 і ходу головки установки x_3 . Найменші залишкові напруження виникають за значень параметрів оптимізації $x_1 = 3,0$ мм, $x_2 = 2,0$ мм і $x_3 = 1,5$ мм.

На основі експериментальних досліджень було побудовано 14 моделей відповідно до кількості зразків із заданими розмірами лунок та їх розміщенням. Оскільки задача є симетричною, то достатньо було розглянути одну із симетричних частин пластини, яку розбивали на тетраїдальні кінцеві елементи. Розрахунки проводили на 1/4 частині пластин, оскільки вони мають осі симетрії. Розміри

кінцево-елементних моделей були такими: довжина – 0,08 м, ширина – 0,005 м. Залежно від геометричних параметрів лунки кількість елементів для кожної моделі були різними.

Аналіз моделей показав, що розподіл залишкових напружень має нерівномірний характер, найбільше їх значення спостерігається на вершинах поверхні лунки. Зі зменшенням відстані в рядку від оптимального до $x_2 = 250$ мкм залишкові напруження в пластині збільшуються від 30,6 до 58,5 МПа. У свою чергу, зростання параметра x_3 зі збільшенням розміру і глибини лунки приводить до зменшення залишкових напружень в матеріалі зразка, тобто більший розмір лунки є меншим концентратором напружень для основного матеріалу [3].

Найбільші залишкові напруження розтягу виникають за значення параметра $x_3 = 50$ мкм і становлять 442 МПа і відстані між лунками 100 мкм. Зі збільшенням відстані до 200 мкм залишкові напруження зменшуються майже в 2,5 разу (рис. 1). Збільшення параметра x_3 до 100 мкм призводить, з одного боку, до різкого зменшення напружень ($x_3 = 100$ мкм), з другого – напруження залишаються сталими ($x_3 = 200$ мкм). Подальше збільшення параметра x_3 до 150 мкм призводить до різкого падіння напружень до 129 МПа ($x_3 = 100$ мкм), а за відстані 200 мкм спостерігається незначне їх зменшення.

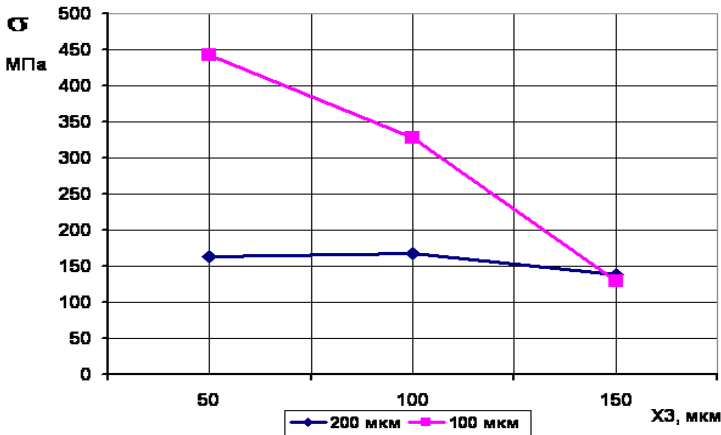


Рис. 1. Залежність залишкових напружень лунк від параметра x_3 за різних відстаней між лунками

Розмір і глибина лунки залежать від пружно-пластичних властивостей матеріалу. У разі формування лунки в умовах прояву тільки пружної контактної деформації бокові сторони лунки дещо відігнуті незалежно від співвідношення пружних і пластичних властивостей матеріалу. Надалі з виникненням і розвитком пластичної деформації у процесі формування лунки бокові сторони її починають деформуватися таким чином, що виникає наплив (виступ) деформованого матеріалу по краю лунки [3].

Зіставлення експериментальних даних та даних, отриманих у результаті числового моделювання для кожного зі зразків, показано на рис. 2. Деяка розбіжність (до 4%) при порівнянні результатів експерименту та числових розрахунків може бути зумовлена менш точним розміщенням лунок на поверхні.

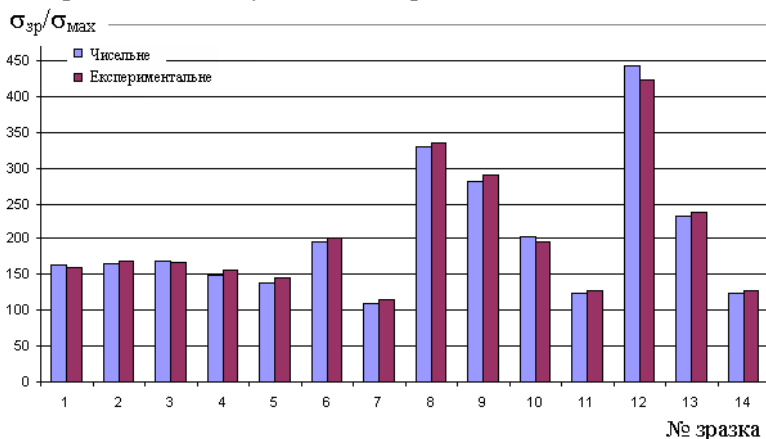


Рис. 2. Зіставлення експериментальних даних, та даних, отриманих у результаті числового аналізу для кожного зі зразків

Висновки. Таким чином, аналіз отриманих результатів показав, що напружено-деформований стан лунок має неоднозначний розподіл, що суттєво впливає на величину залишкових напружень розтягу дискретної поверхні в цілому. Рівень залишкових напружень розтягу залежить від розміщення і геометричних параметрів 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. Упрочнение поверхности металлов покрытиями дискретной структуры с повышенной адгезионной и когезионной стойкостью. – (Препр. АН УССР. Ин-т пробл. прочности). – Киев, 1984. – 57с.

2. Пат. Україна, F01L 1/20, F01L 1/46. Пристрій для утворення на плоскій поверхні тертя рельєфу заглибин, що утримують мастильні матеріали. Марчук В. Є., Шульга І. Ф., Шульга О. І., Плюснін О. Є. (Україна); НАОУ. – № 13762; Заявл. 24.10.2005; Опубл. 17.04.2006. Бюл. №4.

3. Марчук В. Є. Моделювання напружено-деформованого стану дискретної поверхні / В. Є. Марчук, Б.А. Ляшенко, В.І. Калініченко // Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник – К.: НАУ, 2008. – Вип. 49. – Том 2. – С. 25–30.

Марчук В.Є. **Численное моделирование напряженно-деформированного состояния дискретных покрытий** // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 54. – С.47–51.

Проанализировано напряженно-деформированное состояние дискретной поверхности методом численного моделирования. Установлено, что напряженно-деформированное состояние лунок имеет неоднозначное распределение остаточных напряжений и зависит от ее геометрических параметров. Сопоставление экспериментальных данных и данных, полученных в результате численного моделирования, дает расхождение до 4%

Рис. 2, список лит.: 3 найм.

Marchuk V. **Umeral modeling of the tensely deformed state of discrete coverages**

The tensely-deformed state of discrete surface by method of numeral modeling is analyzed. It is set that the tensely-deformed state of small holes has an ambiguous distribution of remaining tensions state and depends on its geometrical parameters. Comparison of experimental data and the data received as a result of numeral modeling gives divergence up to 4%

Стаття надійшла до редакції 20.09.2010