

УДК 621.793.620.172

Лопата О.В., аспірант

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського» begyuza@ukr.net

Калініченко В. І., канд. техн. наук

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ, v-lik@ukr.net

## ВИБІР ТОВЩИНИ ПОКРИТТІВ, СТВОРЕНИХ ГАЗОТЕРМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ ІЗ ПОСЛІДУЮЧОЮ ЕКЛЕКТРОКОНТАКТНОЮ ОБРОБКОЮ ЗА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИМ СТАНОМ

Відомо що при виготовленні деталей з покриттями схильність до утворення тріщин сильно збільшується зі зростанням їх товщини. Це відноситься і до газотермічних покриттів, оскільки, напиленні покриття мають шарувату структуру з порами. Необхідно враховувати небезпеку утворення тріщин у товстих покриттів, які часто наносять на поверхні деталей з метою підвищення їх зносостійкості або при багаторазовій механічній обробці. Якщо все ж таки необхідно нанести товсте покриття, то використовують проміжні шари, що забезпечують зчеплення та вирівнювання напружень.

Розрахунок напружено-деформованого стану (НДС) композиції поверхня деталі - покриття проводили методами численного аналізу в ліцензійному кінцево-елементному комплексі MSC VisualNastran for Windows. Методика розрахунку напружень полягає в тому, що будується кінцево-елементна модель композиції поверхня деталі - покриття, задаються необхідні фізико-механічні властивості матеріалів деталі та покриття, а також граничні умови у вигляді силового навантаження та закріплення. Чисельні розрахунки при моделюванні НДС композиції поверхня деталі - покриття проводили з такими фізико-механічними властивостями матеріалу деталі:  $E = 2 \text{ ГПа}$ ,  $\nu = 0,25$  та покриття:  $E = 1,5 \text{ ГПа}$ ,  $\nu = 0,3$ . Кількість вузлів та елементів моделі покриття, створеного газотермічним напиленням (ГТН) із послідуною імпульсною електроконтактною обробкою (ЕКО) становила 2865 та 2750 відповідно. Оскільки модель має вісь симетрії, розрахунок проводили для половини розрахункової схеми. Параметри покриття: ширина  $b = 10 \text{ мм}$ ; товщина  $h = 0,5 \dots 1,5 \text{ мм}$ ; кут нахилу кромки покриття  $\alpha = 35 \dots 90^\circ$ . Навантаження становить 200 МПа.

В результаті чисельного моделювання композиції поверхня деталі - покриття отриманий та проаналізований розподіл еквівалентних напружень по Мізесу від дії розтягуючої сили в напрямку головної осі деталі. Найчастіше деталі з покриттям працюють в умовах дії на них нормального навантаження. При такому вигляді навантаження покриття з меншою товщиною явно програє по напруженому стану покриттю з більшою товщиною. Перевагою товстого покриття є те, що на його краях напруження зростають досить плавно в порівнянні з стрибкоподібними піками тонкого покриття. Керуючись отриманими графіками еквівалентних напружень у покритті за Мізесом (рис. 1) дійшли висновку, що у покритті виникають суттєві стрибки напружень біля його країв у зоні адгезійного контакту покриття з поверхнею деталі. При розрахунках використовували такі позначення:  $\sigma_1$  - напруження в центрі покриття (зона когезійного розтріскування);  $\sigma_2$  - напруження в зоні адгезійного розтріскування покриття;  $\sigma_3$  - максимальні еквівалентні напруження в покритті;  $\sigma_4$  - еквівалентні напруження в основі під покриттям.

Напружений стан в покритті та в поверхні деталі в залежності від товщини покриття показаний на рис. 2. Характер зміни кута нахилу кромки покриття  $\alpha$  від зміни його товщини  $h$  представлений в таблиці 1.

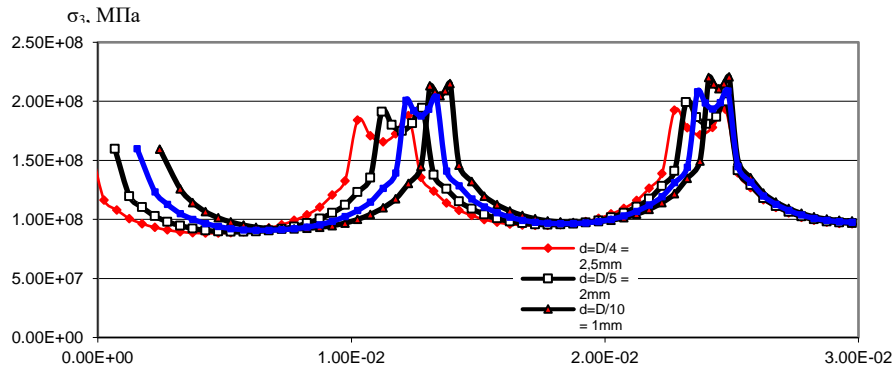


Рис. 1 – Характер розподілу еквівалентних напружень  $\sigma_3$  в основі під покриттям товщиною  $h = 1,5$  мм

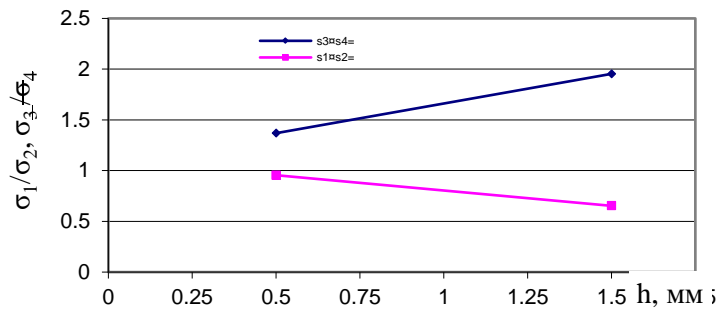


Рис. 2. – Напружений стан в покритті та в поверхні деталі в залежності від товщини покриття  $h = 0.5$ ,  $h = 1.5$  мм

Таблиця 1 - Характер зміни кута нахилу кромки покриття  $\alpha$  від його товщини  $h$

h	1,5	1,2	1	0,8	0,5	0,3
$\alpha$	64	58,6	54,5	48,2	34,4	22,8

Наочно вплив кута  $\alpha$  на розподіл еквівалентних напружень  $\sigma_3$  у зоні адгезійного руйнування показано на рис. 3, а. Вплив товщини покриття  $h$  на напруження  $\sigma_4$  представлений на рис.3, б, що дало змогу зробити висновок: чим товще покриття, тим більшою стає напруження в поверхні деталі. Піки напружень на краях тонкого покриття можна згладити варіюванням кута нахилу кромки покриття  $\alpha$  у межах від  $35$  до  $90^\circ$ .

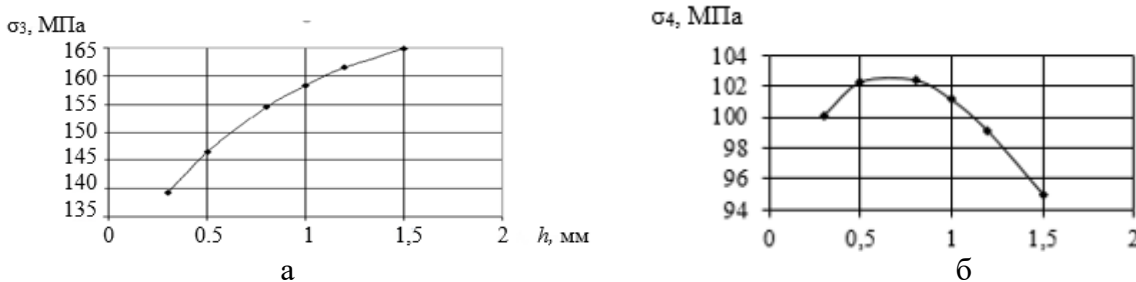


Рис. 3 – Еквівалентні напруження в зоні адгезійного розтріскування  $\sigma_3$  (а) та напруження в поверхні деталі  $\sigma_4$  (б) при різній товщині покриття

Аналіз проведених досліджень показав, що для забезпечення адгезійної міцності покриття, створеного ГТН із ІЕКО, з поверхнею деталі при нормальному навантаженні доцільно дотримати товщини покриття  $1,5$  мм при куті нахилу кромки покриття  $50^\circ$ . Результати досліджень можна використовувати при створенні покриттів газотермічним напиленням із послідуною електроконтактною обробкою з метою забезпечення підвищення їх механічних властивостей, зносостійкості та терміну служби.