

УДК 621.0 (07)

В. І. Савуляк, д. т. н., проф.; С. А. Заболотний, к. т. н., доц.; М. С. Українець
ВИРІВНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ПІД ЧАС ПЛАЗМОВОГО
НАПИЛЮВАННЯ

У статті наведено результати вивчення впливу додаткових теплових опорів у системі «деталь-пристосування» на конфігурацію температурних полів та розподіл напружень після плазмового напилювання деталей типу «гільза».

Ключові слова: напилювання, температурні поля, теплові опори, внутрішні напруження.

Вступ

Важливу роль у забезпеченні якості відновлення або зміцнення деталей із використанням газотермічних методів напилювання (ГТН) порошоків відіграють потоки тепла та їхній розподіл у системі. Потоки теплової енергії формують у матеріалі деталі та нанесених покриттях температурні поля, що безперервно змінюються. Значні перепади температур на різних ділянках покриття супроводжуються відповідними внутрішніми напруженнями. Це викликає деформації, спотворення геометрії та формування неоднорідних структур у покритті та основі. Під час напилювання довгих деталей типу «гільза» це особливо важливо.

Негативними наслідками нерівномірності температурних полів та викликаних ними внутрішніх напружень є:

- жолоблення деталі;
- необхідність використання додаткових переходів механічної обробки;
- різнотовщинність покриття після механічної обробки;
- нерівномірність твердості та зносостійкості покриття по поверхні;
- підвищення собівартості виготовлення або відновлення.

Метою роботи є дослідження можливості підвищення якості відновлення або зміцнення внутрішніх поверхонь деталей типу «гільза» шляхом керування температурними полями процесу відновлення, зокрема мінімізацією перепадів температур. Дослідження в цьому напрямку викладено в роботах [1, 2, 3]. Встановлено, що значну роль у формуванні конфігурації температурних полів та напружень відіграють такі чинники, як: матеріалоемність заготовки, наявність та характеристики стоків тепла в навколишнє середовище та оснастку, симетричність конструкції деталі.

Матеріали та методика досліджень

Температурні поля процесу плазмового напилювання розраховують за допомогою пакету програм кінцево-елементного аналізу [4]. Процес моделювання операції напилювання здійснюють у послідовності: створення 3D-моделі деталі 1 (рис. 2 а), закріпленої у втулці 2 установки для напилювання; визначення фізико-механічних властивостей матеріалу; генерація кінцево-елементного аналогу тривимірної моделі (рис. 2 б); визначення тепловкладення в гільзу від плазмового струменя та часу його дії (рис. 2 в); виконання розрахунків результативних величин (температура, деформації тощо) із наступним виведенням отриманих даних у вигляді графіків, таблиць, полів тощо.

Температурні напруження виникають у нагрітому тілі або внаслідок нерівномірного розповсюдження температури, або внаслідок дії зовнішніх факторів, або ж за одночасної їхньої дії [5]. Загальна деформація в кожній точці нагрітого тіла складається із двох частин. Перша частина є рівномірним розширенням, пропорційним підвищенню температури T . Оскільки для ізотропного тіла це розширення однакове у всіх напрямках, то в цьому випадку

виникають тільки нормальні деформації, а дотичні деформації відсутні. Якщо коефіцієнт лінійного температурного розширення позначити через α , то ця нормальна питома деформація у будь-якому напрямку дорівнює αT .

Друга частина є деформаціями, які необхідні для збереження цілісності тіла, а також деформаціями, що виникають під впливом зовнішнього навантаження. Ці деформації у пружній області є функцією напружень та підкоряються закону Гука ізотермічної лінійної теорії пружності. Повні деформації дорівнюють сумі цих двох частин та, відповідно, у будь-якій ортогональній системі координат x, y, z пов'язані з напруженнями і температурою такими залежностями [5]:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{1}{E} [\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})] + \alpha T; \\ \varepsilon_{yy} &= \frac{1}{E} [\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{zz} + \sigma_{xx})] + \alpha T; \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{1}{E} [\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})] + \alpha T; \\ \varepsilon_{xy} &= \frac{1}{2G} \sigma_{xy}, \quad \varepsilon_{yz} = \frac{1}{2G} \sigma_{yz}, \quad \varepsilon_{zx} = \frac{1}{2G} \sigma_{zx}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Залежності між напруженнями та деформаціями математично описують поведінку матеріалу, який розглядають. Рівняння рівноваги в прямокутній декартовій системі координат мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + X &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + Y &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + Z &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Залежності між деформаціями і переміщеннями мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}; \\ \varepsilon_{xy} &= \frac{\gamma_{xy}}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right); \\ \varepsilon_{yz} &= \frac{\gamma_{yz}}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right); \\ \varepsilon_{zx} &= \frac{\gamma_{zx}}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де u, v, w – компоненти вектора переміщення в напрямках x, y, z відповідно.

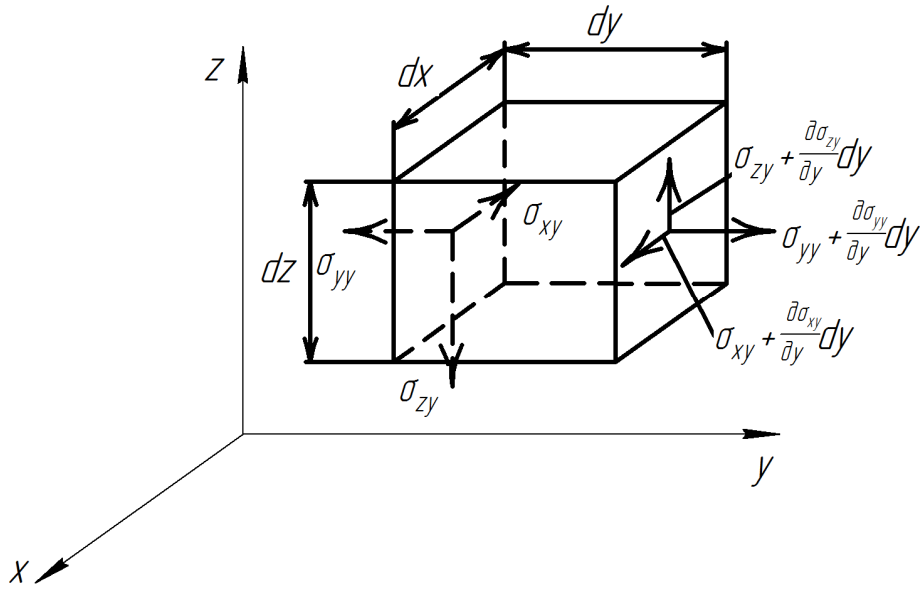


Рис. 1. Елементарний об'єм, використаний для запису рівнянь рівноваги

Дослідження виконано на прикладі гільзи циліндра домкрата КД-90, виготовленої зі сталі 20Х. Під час напилювання гільза закріплюється у втулці.

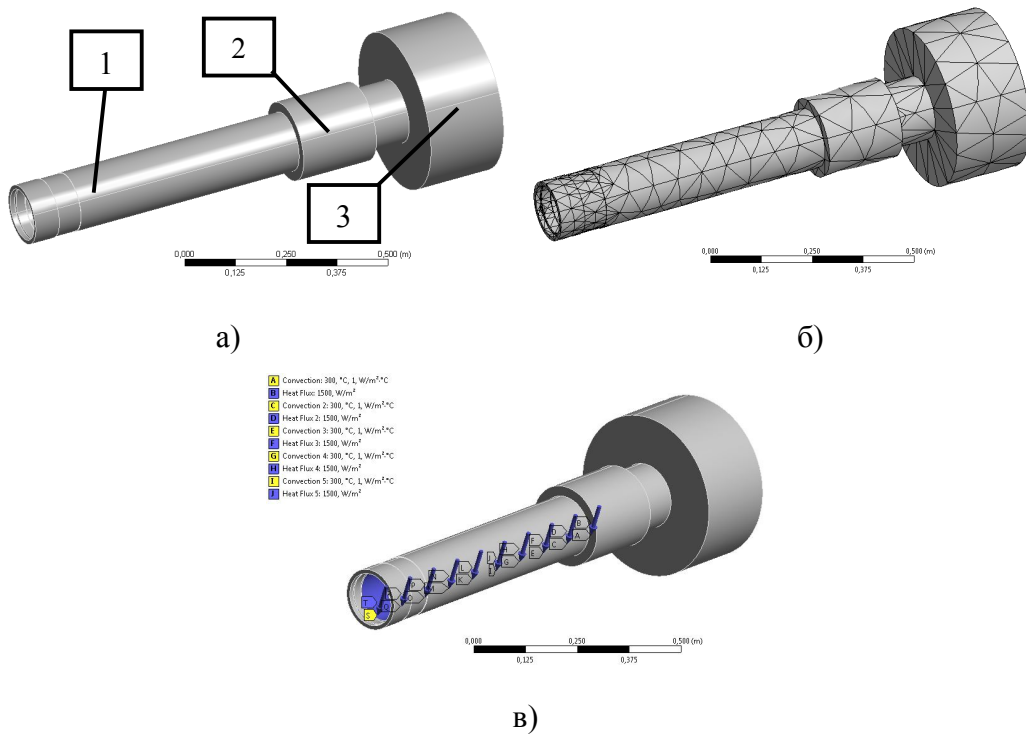


Рис. 2. Етапи розробки моделі: а) 3D-модель гільзи: 1 – гільза; 2 – втулка установки для напилювання; 3 – фланець, що моделює теплоємність пристосування та верстата; б) розбивання деталі на кінцеві елементи; в) схема тепловкладення

Під час визначення тепловкладення враховують попередню активацію поверхні перед плазмовим напилюванням шляхом попереднього підігріву до 300 °С.

Результати досліджень

Попередніми дослідженнями встановлено, що важливу роль у формуванні напружень та деформацій в деталі відіграє процес охолодження деталі з нанесеним покриттям.

Досліджували розподіл температурних полів у гільзі, закріпленій у втулці установки для напилювання і вільно охолоджені в атмосфері захисної камери. Визначали температурні поля деталі, що охолоджується після процесу плазмового напилювання чотирма проходами при використанні схеми напилювання від втулки до вільного кінця.

Аналіз даних дослідження розподілу температурних полів показав, що різниця температур між крайніми точками поверхні напилювання покриття складає близько 30 °С. Цей результат пояснюється тим, що в місці закріплення деталі тепловіддача інтенсивніша, оскільки тепло відходить через пристосування у вузли установки. Унаслідок цього напруження розподіляються теж нерівномірно (рис. 3, крива 1).

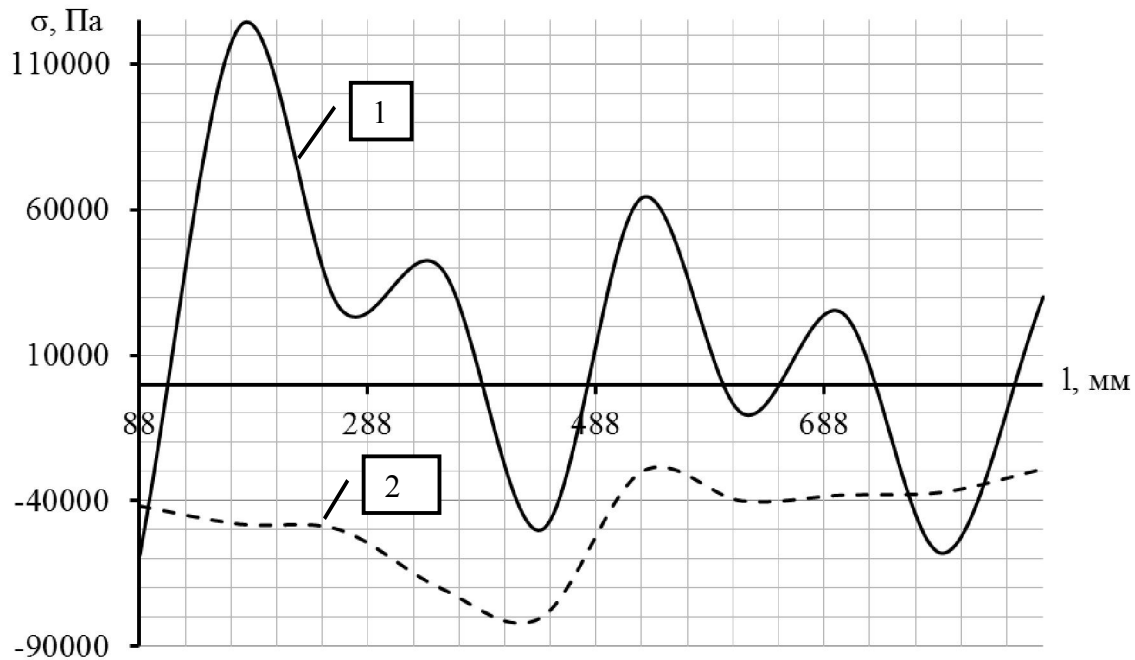


Рис. 3. Розподіл напружень відносно осі обертання деталі: 1 – без установлення теплового опору (прокладки); 2 – із установленням теплового опору (прокладки)

На рис. 3 кривою 1 показано зміну напружень на поверхні нанесення покриття вздовж осі обертання деталі в напрямку від закріплення до вільного кінця. Найбільші перепади напружень (біля 170000 Па) спостерігають у зоні встановлення гільзи у втулку (на ділянці до 280 мм). Також негативним чинником є наявність напружень розтягу в покритті. Для уникнення цього необхідно зменшити інтенсивність відведення тепла у вузли установки для напилювання.

Зменшити інтенсивність тепловідводу можна шляхом установлення теплового опору у вигляді прокладки між гільзою і фланцем, а для зменшення нерівномірності розподілу температур незакріплену частину гільзи доцільно охолоджувати ззовні.

Отримані результати дослідження показали, що встановлення теплового опору у вигляді теплоізолювальної прокладки між гільзою та фланцем, а також додаткове охолодження незакріпленої частини гільзи вирівнює температурні поля в деталі.

Унаслідок вирівнювання температур напруження в деталі та покритті в процесі охолодження після закінчення напилювання розподіляються відносно рівномірно (рис. 3, крива 2). Перепади напружень при цьому стають значно менші (максимальний перепад – близько 50000 Па), розподілення напружень – відносно рівномірне, а напруження розтягу відсутні.

Висновки

1. Під час плазмового напилювання отворів довгих деталей типу «гільза» температурні поля розподіляються нерівномірно, що призводить до виникнення значних перепадів напружень у деталі.

2. Вирівняти температурні поля дозволяє встановлення теплового опору між деталлю та пристосуванням для закріплення цієї деталі у верстаті, а також додаткове охолодження незакріпленої зовнішньої поверхні деталі. Характеристики теплових опорів та охолодження доцільно визначати на основі розрахунків з використанням програм кінцево-елементного аналізу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки; пер. с яп. В. Н. Попова; под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985 – 240 с.
2. Савуляк В. І. Температурні поля та напруження в підшипниках ковзання з композиційними покриттями / В. І. Савуляк, А. В. Губанов, Т. Ф. Архіпова // Наукові нотатки. – 2007. – № 20(2). – С. 159 – 162.
3. Савуляк В. І. Температурні поля та деформації під час відновлення деталей транспортної техніки / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Вісник СХУ ім. Володимира Даля. – 2009. – № 11. – С. 48 – 52.
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
5. Боли Б. Теория температурных напряжений / Б. Боли, Д. Уэйнер. – М.: Мир, 1964. – 510 с.

Савуляк Валерій Іванович – д. т. н., проф., завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості, E-mail: vsavulyak@mail.ru.

Заболотний Сергій Антонович – к. т. н., доц., старший викладач кафедри технології підвищення зносостійкості, E-mail: zab82@mail.ru.

Українець Максим Сергійович – студент інституту машинобудування та транспорту, E-mail: maximukrainets22@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет.