4. Z. Hu, M. Labudovic, H. Wang, R. Kovacevic, Computer simulation and experimental investigation of sheet metal bending using laser beam scanning, International Journal of Machine Tools and Manufacture 41 (2001) 589–607

УДК 621.77

Козирєв О.С., ст. викладач
Кагляк О.Д., канд. техн. наук, доцент
Чухліб С.В., студент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
kozyriev.oleksii@lll.kpi.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ ПРИ ЛАЗЕРНОМУ ЗГИНАННІ

Використання лазерного випромінювання в процесах формування (згинання) з'явилося в кінці минулого століття і все ще певною мірою знаходиться в стадії розробки. Лазерний промінь робить придатною для промислового використання технологію формування, яке раніше доводилося виконувати вручну через недостатню відтворюваність або гнучкість використовуваного джерела тепла (наприклад, вирівнювання деформації шляхом нагрівання газовим пальником).

З постійним розвитком лазерів з більшою вихідною потужністю, дешевшими системами керування та вищою якістю променя, застосування лазерного випромінювання для обробки матеріалів стає все більш сприятливим. Систематичні дослідження процесів згинання за допомогою лазерного випромінювання розпочато в середині 1980-х років і дослідницька активність продовжує стабільно зростати. Лазерний промінь має гнучкість щодо параметрів обробки, яка майже така ж висока, як і електронний промінь, але без потреби у вакуумі. Енергію, що передається в зразок лазерним променем, можна дуже точно контролювати, якщо необхідно, за допомогою замкнутого циклу керування, що гарантує дуже високу відтворюваність. Розробка нових поколінь лазерів дозволила зробити нові процеси економічними . Високопотужні CO_2, діодні, волоконні та дискові лазери стали ефективними джерелами тепла для обробки більших деталей, тоді як підвищення якості променя дозволяє досягти дуже маленьких лазерних плям на поверхні деталі, а отже, дозволяє обробляти також і маленькі деталі.

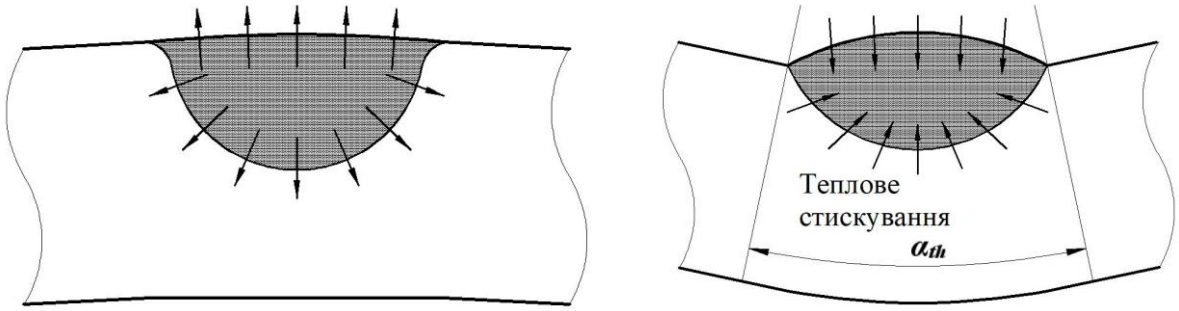
Для процесів формування лазерним променем можуть бути використані декілька механізмів термічного формування. Їх можна згрупувати за рушійною силою, яка відповідає за розвиток деформації. Група механізмів, які можна назвати механізмами прямого термічного формування, складається з механізмів, які використовують локальне теплове розширення, якому перешкоджає певна внутрішня або зовнішня сила, і, отже, створює термічну напругу, яка сама по собі призводить до локальної пластичної деформації, якщо межу плинності матеріалу буде локально перевищено. Ці механізми [1]:

- механізм градієнта температури (МГТ);
- механізм точки залишкового напруження;
- обсадний механізм;
- механізм згинання.

Механізм градієнта температури [2] (МГТ) - це механізм термічного формування, який в основному використовується для згинання та формування листового металу. Принцип дії цього механізму показаний на рис.1.

Енергія лазерного променя локально поглинається верхньою поверхнею зразка. Це викликає градієнт температури по товщині зразка в зоні опромінення. Завдяки позитивному коефіцієнту теплового розширення більшості матеріалів теплове розширення в опроміненій області на верхній стороні листа більше, ніж розширення нижньої сторони. Різні розширення викликають згинання листа від лазерного променя (рис. 1 а), зустрічне

згинання). Цей вигин не є вільним, оскільки опромінена область зафіксована всередині оточуючих частин зразка. Таким чином, в опроміненій області зразка виникає напруга, яка стискається з верхньої сторони. Крім того, затискання зразка може посилити цей ефект. Якщо це термічне напруження залишається нижче межі текучості матеріалу, яка змінюється (зменшується для багатьох матеріалів) через локальну зміну температури, деформація зразка є повністю пружною. Після припинення дії лазерного випромінювання і охолодження зразка деформація в цьому випадку не залишається. Якщо, навпаки, локальна напруга перевищує залежну від температури межу текучості в опроміненій області на верхній стороні листа, відбувається локальне висаджування матеріалу. Це означає, що верхня сторона області опромінення пластично деформована, тобто вкорочена і трохи потовщена. Після вимкнення лазерного променя та охолодження зразка теплове розширення опромінюваної області зникає і зберігається пластична деформація верхньої сторони. Це призводить до вигину зразка в бік лазерного променя (рис. 1б).



а) б)

Рис. 1 – Етапи процесу лазерного згинання за механізмом температурного градієнта: а) процес нагрівання (зустрічне згинання); б) процес охолодження (позитивний згин під дією теплового стискування)

Модель, яка б пов’язувала теплову дію лазерного випромінювання з виникненням напружень і, відповідно, пластичних деформацій, можна вивести на основі геометричних міркувань для кута вигину (рис. 1б). Припустимо, що теплове розширення повністю обмежене, тому воно повністю перетворюється на пластичне стиснення. Підвищення температури нагрітого шару розраховується на основі відомих часткових рішень рівняння теплопровідності. Пластична деформація визначається з коефіцієнта теплового розширення та підвищення температури. Кут вигину після охолодження виходить із геометричних умов, визначених на рис. 1б:

$$\alpha_{th} = \frac{4AP\alpha_T}{V\rho c\delta^2} \tag{1}$$

Розрахунки за аналітичною моделлю порівнювали з експериментальними результатами широко використовуваних аерокосмічних сплавів (тобто Ti6Al4V і AA 2024 T3) [3]. Були значні відмінності в прогнозованих значеннях аналітичної моделі порівняно з емпіричними даними. Ці відмінності були пов’язані з тим, що не враховувалися міцність матеріалу, пружний зворотний вигин або деталі температурного поля.

Список посилань

1. Pretorius T, Woitschig J, Habedank G, Vollertsen F (2006) Thermal generation of residual stress fields for purpose of distortion minimization. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 37(1): 85–91

2. Vollertsen F, R¨ odle M (1994) Model for the temperature gradient mechanism of laser bending. In: Geiger M, Vollertsen F (eds) Laser Assisted Net shape Engineering LANE’94, vol I, Meisenbach, Bamberg 371–378

3. Watkins, K. G., et al., 2001, ‘Laser forming of aerospace alloys’, In: Aerospace Manufacturing Technology Conference. Seattle, Washington, USA.