

Є.В. Кривоногов.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ

Розрахунок режимів опромінення для формоутворення параболічної поверхні.

Оскільки принцип лазерного формоутворення заснований на локальній дії теплового джерела, формоутворення складних поверхонь можна забезпечити шляхом задавання відповідного закону руху теплового джерела та керуванням його густини потужності.

Під час нагрівання матеріал розширюється, і якщо це розширення нічим не обмежене, після остигання тіло повернеться до попередньої форми. В разі якщо розширенням перешкоджає деяка сила або зв'язок, вони викликать в середині заготовки внутрішні зусилля. Таким чином дія температури має такий самий ефект як і зовнішній силовий фактор. Коли температурні відносні розширення перевищують значення пружної відносної деформації, матеріал починає зминатися. При такому розширенні, матеріал самостійно перебудовується, і під час остигання скорочується, стягуючи місце дії теплового джерела. Такий механізм формоутворення відповідає Методу градієнту температур (МГТ).

Якщо точкове поверхневе теплове джерело рухається по поверхні заготовки, верхні шари матеріалу розжарюються та піддаються впливу температурних розширень, у той час коли оточуючий джерело холодний матеріал обмежує розширюваний об'єм металу. Для забезпечення такої умови необхідно щоб лінійні розміри заготовки були що найменше у вісім – десять разів більшими за товщину листа або смужки. Це обумовлено тим, що холодний матеріал повинен мати достатню жорсткість, щоб забезпечити зминання нагрітих шарів.

Величина згину після скорочення матеріалу залежить від геометричних параметрів заготовки, величини коефіцієнта температурних розширень та глибини прогріву матеріалу. Циліндричну поверхню з твірною довільної форми можна отримати шляхом розбиття бічної поверхні на елементарні довжини та створення між ними такого кута згину, щоб вони утворили в результаті параболічний циліндр. Змінюючи крок між доріжками та значення кута згину між суміжними площадками можна досягти отримання будь якої криволінійної поверхні.

Для металів із високою провідністю, поглинання випромінювання відбувається у тонкому скін-шарі, товщина якого не перевищує 8-10 мкм. Якщо заготовку опромінити круглим лазерним променем із Гаусівським розподілом інтенсивності випромінювання по перерізу, то основна частина тепла виділятиметься на осі променя, по середині доріжки згину.

Таким чином, дію джерела можна представити, в якості **миттєвого точкового теплового джерела**, яке діє на поверхні напівнескінченної пластини. Зміну її температуру по глибині можна описати рівнянням розповсюдження в тілі тепла

від даного виду теплового джерела, оскільки час дії лазерного променя на точку заготовки є досить малим.

Залежність температури точки тіла з координатами (x;y;z) для будь якого моменту часу t(сек.) після введення в точку тіла Q (Дж) теплоти.

$$\Delta T(R;t) = \frac{Q}{C_{\gamma}(4\pi at)^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{4at}\right) \quad (1)$$

$C_{\gamma}=C_m \rho$ – питома теплоємність матеріалу за об'ємом;

a – коефіцієнт температуропровідності(см²/с);

C_m – Питома теплоємність матеріалу по масі(Дж/г *°C);

ρ – Густина матеріалу (г/см³);

$$R^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (2)$$

R – Відстань відстані від досліджуваної точки до джерела(см).

Виведення розрахункових формул для інтенсивності лазерного випромінювання та часу дії.

$$\varepsilon = \alpha_{т.р.} \cdot \Delta T \quad (3)$$

На початку розширень, матеріал зазнає пружної деформації. Тобто існує деяка критична зміна температури $\Delta T_{крит.}$, після перевищення якої почнеться пластичне деформування шарів матеріалів. Визначити значення цієї зміни температури можна прирівнявши величину максимально можливої відносної пружної деформації матеріалу до величини температурних розширень:

$$\varepsilon_{пр.} = \alpha_{т.р.} \cdot \Delta T_{крит.} \quad (4)$$

Згідно з діаграмою розтягу сталі, пластична деформація починається коли напруження перевищують границю пружності $\sigma_{пр}$, яка практично рівна $\sigma_{0,2}$. Отже величину пружних деформацій можна приблизно визначити як:

$$\varepsilon_{пр.} \approx \frac{\sigma_{0,2}}{E} \quad (5)$$

Прирівнявши між собою два остання вирази, знайдемо критичну зміну температури :

$$\Delta T_{крит} \approx \frac{\sigma_{0,2}}{E \cdot \alpha_{т.р.}} \quad (6)$$

Складемо систему двох рівнянь, які є функціями заданої температури $T(R;t)$ на поверхні та на глибині h_1 (см).

$$\begin{cases} T(0;t) = \Delta T_{пов.} \\ T(h_1;t) = \Delta T_{крит} \end{cases} \quad (7)$$

Для $R=0$ см. функція Гауса обернеться в одиницю, тому система рівнянь матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{A \cdot W_P d^2}{32 C_\gamma \sqrt{\pi a^3 t}} = \Delta T_{\text{пов.}} \\ \frac{A \cdot W_P d^2}{32 C_\gamma \sqrt{\pi a^3 t}} \cdot \exp\left(-\frac{h_1^2}{4at}\right) = \Delta T_{\text{крит}} \end{cases} \quad (8)$$

В даному випадку значення змінної t (сек) відповідає часу дії теплового джерела, за який температура поверхні та температура критичної точки досягнуть заданих значень. З системи очевидно що:

$$\exp\left(-\frac{h_1^2}{4at}\right) = \frac{\Delta T_{\text{крит}}}{\Delta T_{\text{пов.}}} \quad (9)$$

Логарифмуючи вираз, можна виразити час дії:

$$-\frac{h_1^2}{4at} = \ln\left(\frac{\Delta T_{\text{крит}}}{\Delta T_{\text{пов.}}}\right) \\ t = -\frac{h_1^2}{4a \ln \frac{\Delta T_{\text{крит}}}{\Delta T_{\text{пов.}}}} \quad (10)$$

Знак мінус перед формулою обумовлений тим, що значення логарифму, який стоїть в знаменнику буде завжди від'ємним, тому що температурне відношення ($\Delta T_{\text{крит.}} / \Delta T_{\text{пов.}}$) знаходиться в межах від 0 до 1.

Визначивши час дії можна виразити інтенсивність:

$$W_P = \frac{\Delta T_{\text{пов.}} \cdot 32 C_\gamma \sqrt{\pi a^3 t}}{A d^2} \quad (11)$$

d – діаметр плями фокусування (см).

Як тільки значення W_P (Вт/см²) та t (сек.) були визначені, можна переходити до розрахунку швидкості переміщення променя по поверхні заготовки. Температура яка була задана в системі рівнянь виникатиме на осі лазерного пучка, і необхідний час дії повинен бути рівним часу опромінення середини доріжки згину.

Таким чином:

$$V_{\text{л.п.}} = \frac{d}{t} \quad (12)$$

Кут, на який зігнеться лист при його обробці на такому режимі, визначається за формулою:

$$\theta = \frac{d}{h_1^2} \left(\frac{\alpha_{\text{т.р.}} A \cdot W_P d^2}{16 C_\gamma a} - 2 \alpha_{T=20^\circ\text{C}}^{\text{т.р.}} \cdot \Delta T_{\text{крит.}} \cdot S_{\text{л}} \right) \quad (13)$$

Висновки

Запропоновано новий метод двопроменевого лазерного формоутворення виробів з листових матеріалів, який значно розширює можливості процесу та підвищує його керованість, дозволяє з високою продуктивністю виготовляти вироби складної конфігурації з листів вдвічі-втричі більшої товщини (в тому числі з важкодеформівних матеріалів), ніж при альтернативних способах обробки, дає можливість знизити металоємність конструкцій при підвищенні

жорсткості, уникнути використання високовартісного спеціального устаткування, що особливо важливо в умовах дрібносерійного та штучного виробництва.

Основними параметрами процесу лазерного формоутворення виробів з металевих листів, які визначають продуктивність, якість та вартість обробки є: потужність лазерного випромінювання, розподіл енергії в перерізі променя, розмір зони фокусування та швидкість її переміщення, кількість теплових джерел та характер їх взаємного розташування, кількість циклів нагрівання. В ході роботи було виведено залежність між температурною дією на листову заготовку та утворенням згину в місці опромінення. Виведені формули можна використовувати в інженерних розрахунках режимів обробки листових матеріалів.

Джерела інформації

1. *Chabrol C.* Interaction laser-matiere et contraintes residuelles: cas de transformations en phase solide. C. Chabrol, A. B. Vannes et al.// Mem. et stud. scl. Rev. met.— 1985.— Vol. 82, No. 5.— S. 223—231.
2. *Mehlhorn H., Herzer H.* Termische Oberflächenbehandlung mit Hilfe von CO₂ — laser. Mehlhorn H., Herzer H. // Feingeratetechnik.— 1983.— B. 32, No. 6.— S. 272—276.
3. *Криштал М.А.* Структура и свойства сплавов, обработанных излучением лазера. М.А. Криштал, А.А. Жуков, А.Н. Кокора. – М. : Металлургия, 1973. 192с.
4. *Коваленко В.С.* Обработка материалов импульсным излучением лазеров В.С. Коваленко. – К. : Вища школа. 1978
5. *Лазерная обработка сталей и титановых сплавов.* Ред. В.С. Томсинский. – Пермь : ППИ, 1991, 120с.
6. *Рыкалин Н.Н.* Лазерная обработка материалов. Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, А.Н. Кокора. – М. : Машиностроение, 1975. 296 с.
7. *Коваленко В.С.* Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов. В.С. Коваленко, А.Д. Верхотуров, Л.Ф. Головкин, И.А. Подчерняева. – М. : Наука, 1986. 275 с. *Буравлев Ю.М.* некоторые особенности преобразования структуры сталей под воздействием лазерного излучения. Ю. М. Буравлев, И. В. Карпенко, Б. П. Надежда. – Физика и химия обраб. материалов, 1974, №3, с. 112-115.