

УДК 621.762

## Визначення режиму лазерного формування листових матеріалів за допомогою новорозробленого програмного модуля

**Кагляк О. Д., Шевченко К. В.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація:** Потенційний користувач технології лазерного формоутворення може не мати технологічної можливості забезпечувати варіювання основних параметрів процесу (потужності лазерного променя, його розміру та швидкості переміщення) у широкому спектрі. Більше того, закладання таких можливостей в устаткування, призводить до його дорожчання. Лазери представлені на ринку характеризуються діапазоном генерованої потужності та кроком її регулювання. Маніпулятори чи столи забезпечують певний діапазон швидкостей переміщень лазерного променя, а системи фокусування можливість зміни розміру зони фокусування.*

*Виходячи з цього, постає необхідність розроблення методики вибору параметрів процесу (з діапазону який забезпечує обладнання користувача), при яких одержується гарантований прогнозований результат формування.*

***Ключові слова:** формування; лазерне формоутворення; листовий матеріал.*

Аналіз факторів процесу лазерного формоутворення показує, що найбільш впливовими є: потужність лазерного випромінювання, швидкість переміщення лазерного променя, розмір зони фокусування, товщина оброблюваного зразка, та властивості оброблюваного матеріалу.

Властивості оброблюваного матеріалу є вихідними умовами, тому змінювати їх ми можемо лише до початку формування, наприклад, термічною, механічною чи іншими видами обробки. Товщину оброблюваного зразка також можна віднести до вихідних умов. Однак слід враховувати, що взаємне співвідношення товщини зразка з діаметром променя створює умови для дії того чи іншого механізму формування.

Найбільш зручними параметрами для керування є потужність лазерного променя, швидкість його переміщення та розмір зони його фокусування. Загалом, форма перерізу лазерного променя може бути довільною, однак найбільш поширеною є кругла, тому в початковому випадку беремо її, і далі говоримо про діаметр зони фокусування.

Потенційний користувач технології лазерного формоутворення може не мати технологічної можливості забезпечувати варіювання цих трьох параметрів у широкому спектрі. Більше того, закладання таких можливостей в устаткування, призводить до його дорожчання. Лазери представлені на ринку характеризуються діапазоном генерованої потужності та кроком її регулювання. Маніпулятори чи столи забезпечують певний діапазон швидкостей переміщень лазерного променя, а системи фокусування можливість зміни розміру зони фокусування.

Виходячи з цього, постає необхідність розроблення методики вибору параметрів процесу (з діапазону який забезпечує обладнання користувача), при яких одержується гарантований прогнозований результат формування.

Дослідження сучасного лазерного формоутворення листових матеріалів, як правило, проводиться експериментальним шляхом. Однак експериментальна робота займає багато часу, коштів і має обмеження для узагальнення результатів. Отже, були зроблені зусилля по розробці аналітичних моделей для подолання експериментальних обмежень. Аналітичні моделі були використані для визначення залежності між кутом вигину і параметрами процесу (тобто, формування механізмів).

В даній роботі для аналітичного розрахунку та розробки на його базі програмного забезпечення було використано механізм температурного градієнта (МТГ). Цей механізм є найбільш широко відомим і пояснює принцип теплової деформації.

Аналітична модель для МТГ, запропонована Воллертсеном, використовує виключно енергетичний підхід. Проте, вигин в результаті енергетичного підходу дав дуже високий кут,

який лежить на кілька порядків вище вимірююго. Підвищення температури нагрітого шару обчислюється наступним чином [1]:

$$\Delta T = \frac{2AP}{VCl\rho},$$

де  $A$  – коефіцієнт поглинання матеріалом лазерного випромінювання;  $P$  – потужність лазерного випромінювання;  $V$  – швидкість переміщення лазерного пучка;  $C$  – теплоємність;  $l$  – коефіцієнт лінійного теплового розширення;  $t$  – товщина пластини;  $\rho$  – густина оброблюваного матеріалу.

Величина кута згинання пов'язана з параметрами обробки ( $P, V$ ), характеристиками матеріалу ( $\alpha_{th}, A, C, \rho$ ) та товщиною зразка  $t$ , наступним чином:

$$\alpha_{\beta} = \frac{4AP\alpha_{th}}{VC\rho t^2}, [1]$$

де  $\alpha_{\beta}$  – кут вигину;  $\alpha_{th}$  – коефіцієнт теплового розширення.

Для створення програмного модуля (ПМ) і проведення експерименту необхідно було провести деякі розрахунки – аналіз необхідних параметрів опромінення.

Це висуває певні вимоги щодо даних матеріалу:

- задання граничних умов оброблення; - розрахунок та отримання результату.

Для розробки ПМ були вибрані матеріали: сталь 65Г, сталь 12Х18Н10Т, і проведено експериментальний аналіз. Для розрахунку оптимальних параметрів використаємо теплову задачу нагрівання твердого тіла. У розрахунках будемо використовувати усереднені по всьому температурному інтервалу значення теплофізичних сталей: питома теплоємність, теплопровідність, температуропровідність, густина речовини.

Розрахуємо необхідний час нагрівання металу у центрі плями до того, як розпочнеться плавлення [2]:  $\tau = (\lambda T_{пл} / q_0)^2 (\pi / (4a))$ , де  $\lambda$  – теплопровідність  $T_{пл}$  – температура плавлення;  $q_0$  – густина потужності теплового джерела;  $a$  – температуропровідність.

За допомогою наступної формули можна знайти глибину зони термічного впливу  $z$ :

$$z = \sqrt{\frac{4at}{\pi} \left( \frac{T_{пл} - T_0}{T_{пл}} \right)}, [2]$$

де  $T_0$  – початкова температура;

Глибина  $z$  пов'язана з радіусом лазерного променя  $r$  наступним чином:

$$r = \sqrt{\frac{APz}{\pi\lambda(T - T_0)}} [2]$$

А з швидкістю переміщення лазерного променя, наступним:

$$v = \sqrt{\frac{AP}{\pi\lambda} \cdot \frac{8a(T - T_0)^{3/2}}{\pi T^2 z^{3/2}}}, [2]$$

де  $P$  – потужність лазерного променя;  $T$  – температура нагріву тіла;  $A$  – коефіцієнт поглинання матеріалом лазерного випромінювання.

Слід враховувати, що вибраний матеріал не буде нагріватися до температури плавлення, він буде нагрітий до граничного значення, меншого за температуру плавлення, а наведені формули взято для знаходження залежності між потужністю лазерного пучка, радіусом пучка та швидкістю переміщення.

Далі, опираючись на отриманні формули, ми можемо розрахувати і рекомендувати, як оптимальний, один із параметрів устаткування, опираючись на два інші. Наприклад, рекомендувати необхідну швидкість, якщо ми знаємо радіус та потужність лазерного пучка (рис.1, 2).

Щоб розпочати роботу з програмою і провести розрахунки, нам необхідно перейти за посиланням: <http://ihaiduk.github.io/ssmfsmbllh/demo/> (або – за коротким посиланням: <http://goo.gl/Tzwpft>).

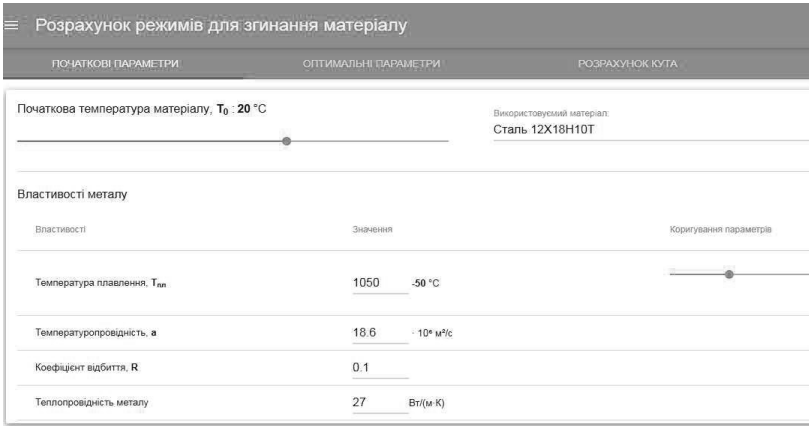


Рис.1. Діалогове вікно програми з початковими тепловими параметрами та вибором матеріалу

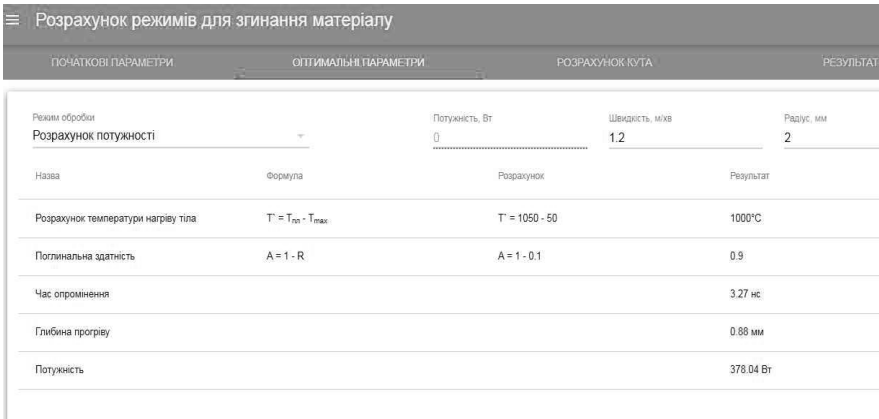


Рис. 2. Розрахунок потужності при відомих швидкості та радіусі променя.

Після вибору матеріалу для розрахунку програма автоматично підставить властивості матеріалу до завчасно підготовлених полів вводу даних.

Результатом роботи створеного нами ПЗ є те, що воно автоматично пропонує варіанти зміни параметрів і демонструє, як від цих параметрів буде залежить зміна кута згинання.

#### Висновки

1. Розроблене програмне забезпечення дозволить обирати оптимальний режим для формоутворення листових матеріалів лазерним нагріванням із заданою точністю.

2. Використання розробленого програмного забезпечення враховує технічні обмеження обладнання (зокрема, швидкість переміщення, потужність лазерного променя та розмір зони фокусування) та рекомендує поле альтернативних режимів для досягнення бажаного результату.

3. Використання даного програмного забезпечення дозволить розширити можливості та сферу застосування технології лазерного формоутворення.

## Detection of condition of laser forming of sheet materials using new programming module

Kaglyak O.D., Shevchenko K.V.

*Abstract:* User of laser forming technology can change the aim technological parameters (power of beam, velocity of movement and size of the beam) only in some range. Size of this range depends on specific of equipment. Moreover, bigger size means bigger cost. But, to achieve predictable result of forming, correlation (in available area) of treatment parameters should be used. Therefore, it is necessary to develop some parameters choosing method. To achieve guaranteed result of laser forming using available equipment.

*Keyword:* laser forming; shield material; laser treatment.

## Определение режима лазерного формообразования листовых материалов при помощи новоразработанного программного модуля

Кагляк О. Д., Шевченко К. В.

*Аннотация* Потенциальный пользователь технологии лазерного формообразования может не иметь технологической возможности одновременно варьировать мощностью луча, диаметром и скоростью его перемещения в широком спектре. Более того, закладывание таких возможностей в оборудование, существенно увеличивает его стоимость. Лазеры, представленные на рынке, характеризуются диапазоном генерируемой мощности шагом ее регулирования. Манипуляторы или столы обеспечивают определенный диапазон скоростей перемещений лазерного луча, а системы фокусирования, возможность изменения размера зоны. Исходя из этого, существует необходимость разработки методики выбора параметров процесса (из диапазона, который обеспечивает оборудование пользователя), при которых получается гарантированный результат формирования.

*Ключеві слова:* лазерное формообразование; листовый материал; лазерное излучение.

### Список літератури

1. Hyung-Chul JUNG. A Study on Laser Forming Processes with Finite Element Analysis [Text]/ Hyung-Chul JUNG. – New Zealand: University of Canterbury Christchurch, 2006. – 336 с.
2. Ю. М. Климов. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: учебное пособие / Ю. М. Климов, В. С. Майоров, М. В. Хорошев. – Москва: МИИГАиК, 2014. – 108 с.