

НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Кафедра АПЕПС

Магістерська дисертація на тему
«Програмна система оптимізації параметрів при
лазерному опроміненні тонкої металевої пластини»

Керівник: к.т.н, доц.кафедри АПЕПС, Михайлова І.Ю.
Виконав: студент ТЕФ, АПЕПС, ТВ-51 м, Флентін А.С.

Київ 2017

Ціль та актуальність роботи

- Для того, щоб отримати необхідний рівень гарту або внутрішню структуру матеріалу потрібно при обробці витримувати відповідний температурний режим. Вирішальним фактором для забезпечення властивостей є розподіл температур у зоні впливу випромінювання. Експериментальний шлях визначення параметрів, необхідних для досягнення потрібної температури, є занадто трудомістким і не дозволяє досягти високої точності результатів. Тому постає необхідність використання математичних методів моделювання температурних полів.
- **Мета роботи** – удосконалити спосіб моделювання впливу лазерного випромінювання на поверхню деталі за рахунок застосування методу Коші та розробити програмне забезпечення для оптимізації параметрів процесу нагріву тонкої металевої пластини під впливом лазерного випромінювання.

Завдання

- ▶ дослідити існуючу математичну модель процесу лазерного опромінення пластини та методи її вирішення, а саме метод скінченних різниць для розв'язування тривимірного рівняння теплопровідності;
- ▶ проаналізувати існуючі методи оптимізації;
- ▶ дослідити метод штрафних функцій;
- ▶ розробити модуль для оптимізації процесу опромінення з метою отримання необхідного розподілу температур на поверхні деталі;

Наукова новизна

Наукова новизна одержаних результатів. Найбільш суттєвими науковими результатами магістерської дисертації є:

- ▶ удосконалено спосіб моделювання впливу лазерного випромінювання на поверхню деталі за рахунок застосування методу Коші, що дозволило отримати наперед задані температури;
- ▶ набуло подальшого розвитку використання методів оптимізації параметрів при лазерному опроміненні матеріалів.

Об'єктом дослідження є програмне забезпечення математичного моделювання процесу нагріву пластини під впливом лазерного випромінювання.

Предметом дослідження є математичні методи оптимізації параметрів лазерного опромінення тонкої металевої пластини.

Опис предметної області

- **Поверхнева лазерна обробка** (англ. laser surface processing) — це локальне нагрівання, локальне плавлення чи локальне випаровування матеріалу, що обробляється за рахунок впливу тепла, поглинутого матеріалом в місці впливу лазерного променя. В залежності від величини щільності потужності лазерного впливу, матеріал може нагрітися, розплавитися чи випаритися.
- **Чисельні методи оптимізації** (англ. numerical optimization technique) — методи наближеного або точного рішення математичних задач оптимізації, що зводяться до виконання кінцевого числа елементарних операцій над числами.

Математична модель

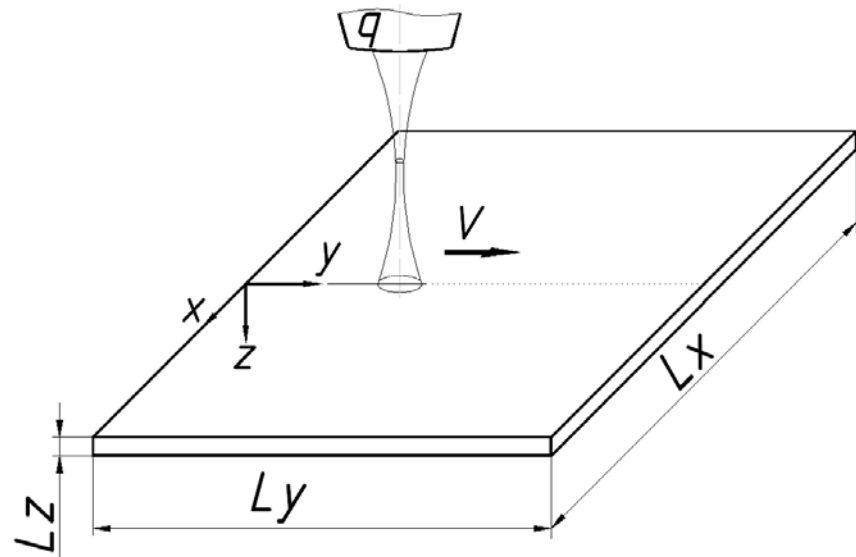
Для моделювання впливу лазерного випромінювання на поверхню деталі можна використовувати тривимірне нестационарне рівняння теплопровідності:

$$c\rho \frac{\partial U}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right),$$

$$x \in (0, L_x), y \in (0, L_y), z \in (0, L_z), t \in (0, T_k),$$

де c , ρ , λ – питома теплоємність, густина та коефіцієнт теплопровідності матеріалу; $U(x, y, z, t)$ – температура матеріалу в точці з координатами (x, y, z) в момент часу t , L_x, L_y, L_z – геометричні розміри пластини.

По верхній поверхні пластини рухається один лазерний промінь зі швидкістю паралельно осі ординат. Дія лазера викликає на поверхні обробки тепловий потік з розподілом щільності потужності лазерного променя.



Початкова умова: $U(x, y, z, t) = U_c$,
де U_c – температура зовнішнього середовища.

Крайові умови на верхній грані у зоні впливу лазерного випромінювання:

$$\lambda \frac{\partial U(x, y, 0, t)}{\partial z} + q(x, y, t) = 0.$$

Метод штрафних функцій

Метод штрафних функцій відносяться до чисельних методів рішення задач умовної оптимізації. У даному випадку завдання умовної оптимізації перетвориться в послідовність завдань безумовної оптимізації шляхом введення штрафних функцій.

Розглянемо завдання умовної мінімізації виду:

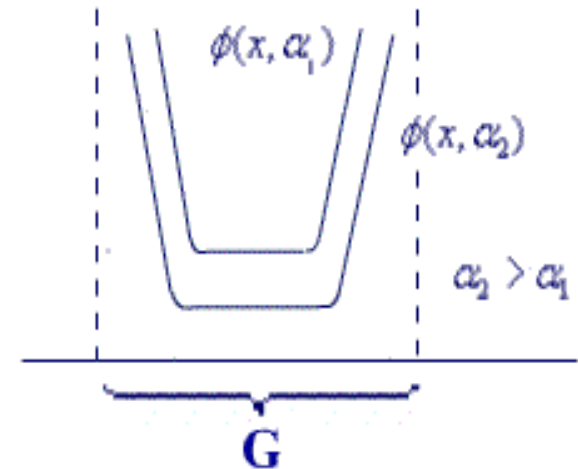
$$\begin{aligned} f(x) * \min, \\ x \in X = \{x \in R_n : g * t(x)\}, \\ q = (R, g(x))^{\min}. \end{aligned}$$

На її основі будується завдання безумовної мінімізації:

$$P(x, R) = f(x) + q(R, g(x))^{\min}, \quad x \in R_n.$$

де $P(x, R)$ – розширена функція, $Q(R, g(x))$ – штрафна функція, R – штрафний параметр.

Завдання умовної мінімізації $f(x)$ замінюється послідовністю завдань безумовної мінімізації $P(x, R_{t-1})$ при $t = 1, 2, \dots, n$.



Вибір цільової функції

Для того щоб отримати необхідні параметри матеріалу, користувач задає межі температур. Отже необхідно підібрати таку цільову функцію для оптимізації, за котрої б це досягалось, нехай вона буде мати вигляд:

$$\max((U_{\max} - U), (U - U_{\min})) \rightarrow 0$$

Таким чином кращою вважається температура, що лежить ближче до середини відрізка. Для того, щоб забезпечити умову не виходу температури за ці задані границі, ми також використовуємо штрафні функції.

$$F_{\text{ш}}(U) = \begin{cases} 0, & U_{\min} < U < U_{\max} \\ 1000 \cdot |U_{\min} - U|, & U < U_{\min} \\ 1000 \cdot |U_{\max} - U|, & U > U_{\max} \end{cases}$$

Отже значення цільової функції $F(V)$ для деякої моделі температурного поля, складається з n часових шарів, можна розрахувати за виразом:

$$F(V) = \sum_{k=1}^n (\max((U_{\max} - U), (U - U_{\min})) + F_{\text{ш}}(U))$$

Огляд існуючих методів

- метод прямого пошуку по симплексу(S²-метод);
- градієнтний метод Флетчера – Рівса;
- метод Ньютона;

В результаті аналізу методів було обрано метод градієнтного спуску, або метод Коші.

Метод Коші має високу стійкість і його головна властивість полягає в тому, що при малій величині кроку ітерації забезпечує нерівність:

$$f(x^{k+1}) \leq f(x^k).$$

З урахуванням цієї властивості варто відмітити, що метод дозволяє зменшити значення цільової функції при русі із точок, які знаходяться на великих відстанях від точки мінімуму, тому він часто використовується при реалізації градієнтних методів в якості початкової процедури.

Метод Коші

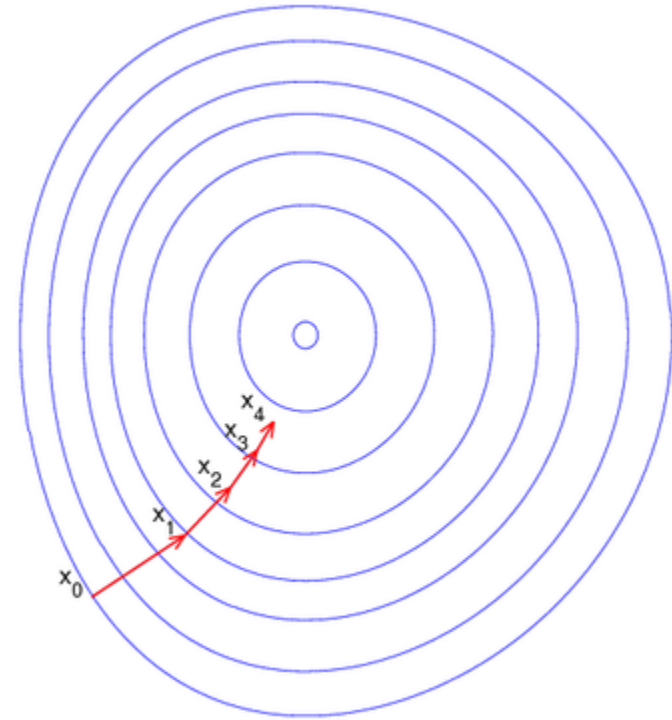
Оптимізацію параметрів було розроблено методом найшвидшого спуску або методом Коші, який полягає у знаходженні напряму пошуку параметру, який характеризує довжину кроку для обчислення наступного значення функції.

$$x^{k+1} = x^k + \alpha^k S^k,$$

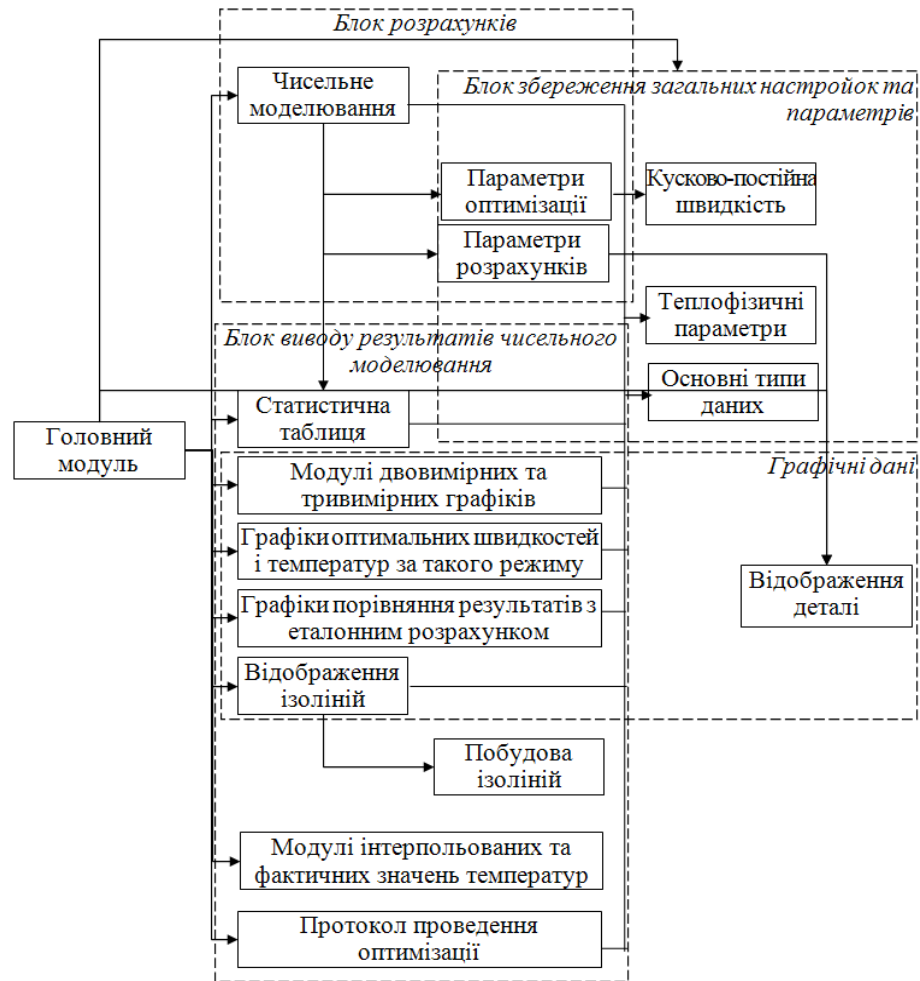
де

$$S^k = \frac{\nabla f(x^k)}{\|\nabla f(x^k)\|},$$

де x^k – поточне наближення до рішення x^* ,
 α^k – параметр, який характеризує довжину кроку, S^k – напрямок пошуку.



Архітектура системи



Результати роботи програми

Установка параметров расчета

Шаг по оси OX (мм)	Шаг по времени (сек)	Количество лазеров
Минимальный: 0,4	Минимальный: 0,002	1
Начальный: 0,4	Начальный: 0,002	2
Максимальный: 4	Максимальный: 0,1	

Шаг по оси OY (мм)	Характеристики среды
Минимальный: 0,4	Температура: 20 °C
Начальный: 0,4	Ниж. предел: 700 °C
Максимальный: 4	Верх. предел: 900 °C

Шаг по оси OZ (мм)	Характеристики детали (мм)
Минимальный: 0,04	Толщина: 2
Начальный: 0,04	Ширина: 20
Максимальный: 0,4	Длина: 20

Материал: сталь 65Г

Доп. погрешность: 0,1

Время 1 прохода: 2 сек

Кол-во проходов: 1

Пауза между пр.: 0 сек

☐ Постоянный шаг
☐ Принять за эталон
☐ Сравнить с эталоном
☒ Оптимизация
☐ Многопоточность

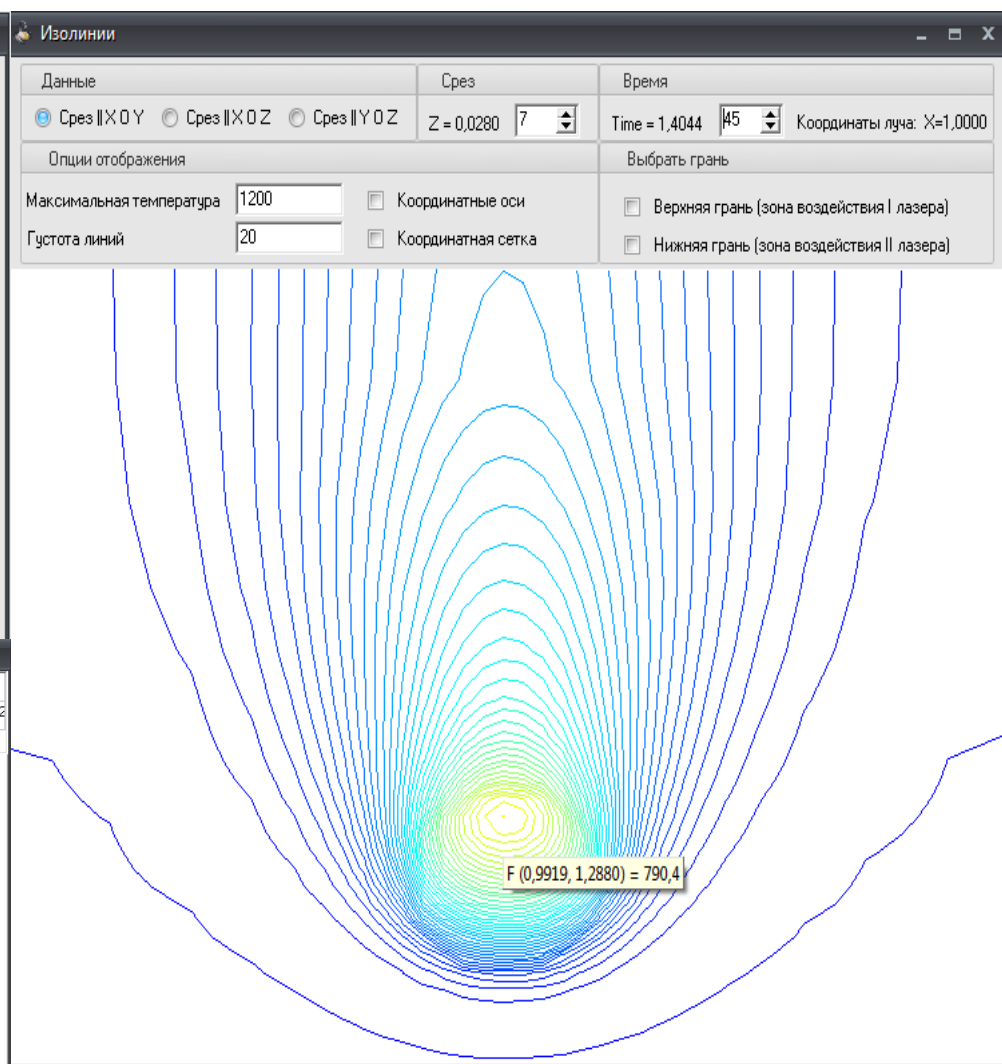
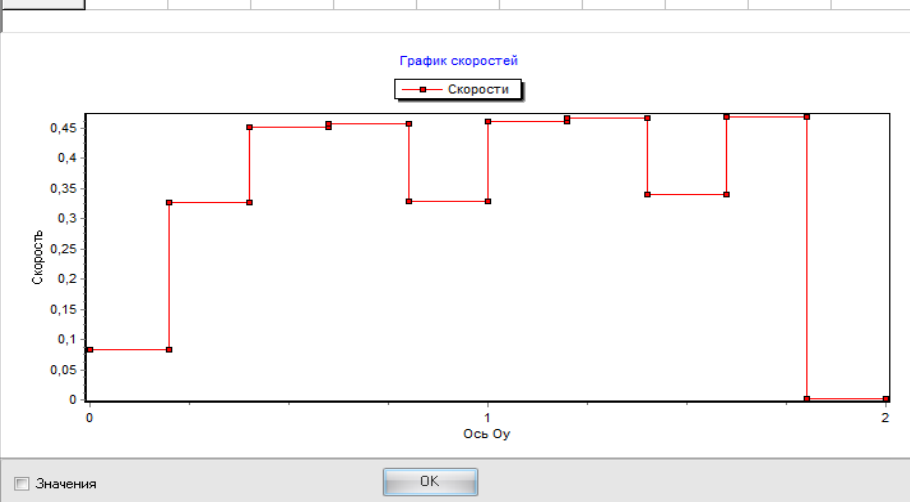
Скорости

Добавить материал Редактировать материал

Закрыть Расчет

Рекомендуемые скорости на отрезках

(Yi,Yi+1)	(0,0,2)	(0,2,0,4)	(0,4,0,6)	(0,8,1)	(1,1,2)	(1,2,1,4)	(1,4,1,6)	(1,6,1,8)	(1,8,2)
Vi	0,083309588	0,327582275	0,452344463	0,457711004	0,328750796	0,461114406	0,466298591	0,339762617	0,468725691



Висновки

- Проведено аналіз існуючих систем оптимізації параметрів при лазерному опроміненні матеріалів. Обгрунтовано вибір математичних методів розв'язування задачі та програмних засобів реалізації системи.

Розв'язання поставлених задач виконувались засобами комп'ютерного моделювання, зокрема з використанням наступних методів:

- ▶ метод скінченних різниць для розв'язування тривимірного рівняння теплопровідності;
 - ▶ метод Коші або метод найшвидшого спуску для оптимізації параметрів при лазерному опроміненні тонкої металевої пластини;
 - ▶ метод штрафних функцій для переходу від задачі умовної оптимізації параметрів при лазерному опроміненні тонкої металевої пластини до еквівалентної задачі безумовної оптимізації.
- Користувачами системи є інженери, які працюють в сфері лазерної обробки матеріалів, та науковці, чиї дослідження пов'язані з матеріалознавством.