

На Рис.1 наведено результати моделювання ФРЕЕ для суміші Ar-Kr-Xe-Cl<sub>2</sub> для різних значень приведеної напруженості поля E/p.

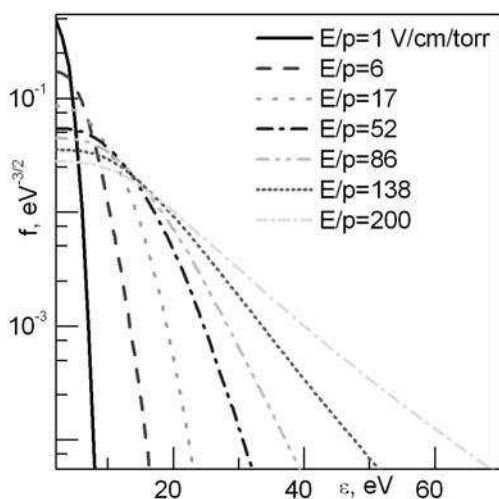


Рис. 1. ФРЕЕ для суміші Ar-Kr-Xe-Cl<sub>2</sub> для різних значень приведеної напруженості поля E/p.

Контрольні розрахунки проводилися з використанням програми BOLSIG+ [4], вільно поширеної в інтернеті, які порівнювалися з отриманими резуль-

татами. ЕКК розраховувалися за формулами, наведеними в огляді [5].

## Висновок

Отримані в результаті чисельного моделювання параметри плазми якісно пояснюють розподіл випромінювання в спектрі та можуть бути використаними при розрахунках кінетики процесів та інших вихідних характеристик багатохвильової ексимерно-галогенної лампи. А це робить їх перспективними для використання у фотохімії, мікроелектроніці та біотехнології.

## Література

- [1] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.:Наука, 591с.
- [2] Самойленко А.М., Ронто Н.И. Численно-аналитические методы в теории краевых задач для ОДУ. Киев: Наукова думка, 1985. 224 с.
- [3] А.Д. Мышкис. Линейные дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом. М.: Наука, 1972. 352 с.
- [4] <http://www.siglo-kinema.com>.
- [5] Словецкий Д.И. Дерюгин А.А. // Химия плазмы: Сб. ст. Вып.13. под ред Смирнова Б.М. М.: Энергоатомиздат, 1987. С.240-277.

# Моделювання розподілу температурного поля та дифузії ніобію при лазерному легуванні сталі 12X17T

Наталя Щербовських, Зоя Дурягіна

Кафедра інженерного матеріалознавства та прикладної фізики, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м.Львів, вул.С.Бандери, 12, E-mail: shcherbovskyhnat@ukr.net

**Abstract.** Was simulation the distribution field temperature and the niobium diffusion for lazer alloying stainless steels 12X17T.

Ключові слова – diffusion, field temperature, computer engineering, steel.

## I. Вступ

Керування розподілом температурного поля та дифузіїю легувальних елементів за глибиною зразка під час лазерної обробки сталей є одним із визначальних факторів інженерії поверхні. Найзручніший метод вивчення розподілу температурного поля та дифузіїю легувальних елементів за глибиною оплавленої зони – метод математичного моделювання.

## II. Побудова математичної моделі

Метою роботи була побудова математичної моделі, яка описує процес розподілу температурного поля та дифузіїю легувального елементу у досліджуваній зразку та отримання відповідних графічних залежностей. Об'єкт дослідження – бар'єрні шари, створені на сталі 12X17T лазерним легуванням ніобієм.

Спочатку обмежилися моделюванням розподілу температурного поля за глибиною оплавленої зони при лазерному легуванні ніобієм за наступним алгоритмом: постановка задачі; формулювання припущень та граничних умов; формалізація математичної моделі; тестування комп'ютерної програми з виводом на інтерфейс графічних залежностей розподілу температурного поля за глибиною оплавленої зони та дифузіїю легувального елементу; визначення адекватності побудованої математичної моделі.

Для опису процесу теплопередачі у досліджуваному зразку приймали такі припущення:

- зразок у першому наближенні ізотропний;
- лазерний промінь сканує поверхню зразка миттєво, тобто дія зовнішнього джерела тепла здійснюється одночасно та миттєво на усі фрагменти поверхні;
- на всі фрагменти поверхні припадає однакова частка тепла;
- зразок теплоізований, тобто, теплообмін між боковими поверхнями зразка та атмосферою не відбувається.

Вхідні параметри для комп'ютерних розрахунків згідно з побудованою моделлю обирали за результатами попередніх досліджень [1-3] з урахуванням теплофізичних властивостей сталі 12X17T. Для моделювання використовували польову модель, відповідно до якої зразок умовно ділили на ідеальні тонкі стрижні, які, в свою чергу, склалися з  $N$  – елементарних фрагментів, що мали форму куба.

Рівняння теплопровідності для елементарного фрагмента зразка:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z(z, t) \frac{\partial u(z, t)}{\partial z} \right) = c_T \cdot \rho \frac{\partial u(z, t)}{\partial t}, \quad (1)$$

де  $\lambda_z$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу зразка;  $z$  – координата глибини шару поверхні, що обробляється;  $t$  – час;  $\partial$  – символ частинної похідної;  $c_T$  – теплоємність матеріалу зразка;  $\rho$  – густина матеріалу зразка;  $u$  – температура елементарного фрагмента.

Приймаємо такі припущення для опису процесу дифузії у досліджуваному зразку:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( D_z(z, t) \frac{\partial c(z, t)}{\partial z} \right) = k_D \frac{\partial c(z, t)}{\partial t}, \quad (2)$$

де  $D_z$  – коефіцієнт дифузії легувальної домішки в поверхні зразка;

$c$  – концентрація легувальної домішки;

$k_D$  – коефіцієнт пористості матеріалу.

- Структура зразка у першому наближенні є ізотропною.
- Температура в об'ємі фіксованого елементарного фрагмента є постійною, оскільки він є нескінченно малим порівняно з досліджуваним об'ємом всього зразка.
- На всі фрагменти поверхні припадає однакова частка дифузанта.
- В момент початку дії високоенергетичного потоку енергії концентрація дифузанта над поверхнею зразка становить 100 ат.%, під зразком – 0 ат.%

Різницеві рівняння для  $k = 1, 2, \dots, N_k - 1$ , верхнього і нижнього фрагментів стрижня. Поєднували в єдину систему. В результаті чого отримали математичну модель процесу розподілу температурного поля за глибиною зразка. Створену математичну модель чисельно розв'язали методом Ньютона. Наступний етап моделювання полягав у формалізації запису системи рівнянь у векторно-матричній формі. Сформовану матрицю диференціальних температуропровідностей обчислили програмним пакетом Mathcad.

### III. Результати та їх обговорення

В результаті одержали графічну залежність розподілу температурного поля (рис. 1) та легувального елемента (ніобію) за глибиною досліджуваного зразка (рис. 2).

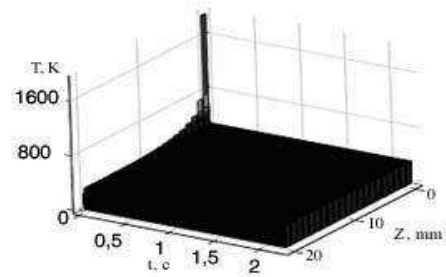


Рис. 1. Розподіл температурного поля за глибиною зразка

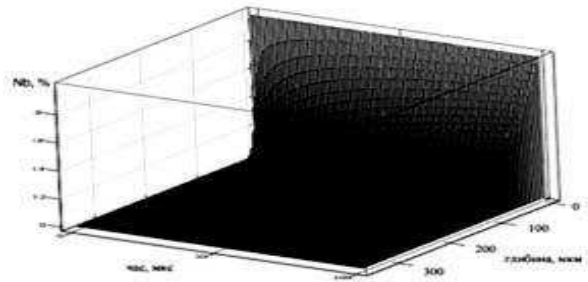


Рис. 2. Розподіл ніобію за глибиною зразка

Знаючи розподіл температурного поля можна опосередковано припускати, які фази формуватимуться під час лазерного легування. Крім того, знаючи фазовий склад сталі можна прогнозувати очікувані експлуатаційні властивості, а, отже, вибрати оптимальні режими обробки для заданих умов експлуатації виробів.

### Висновок

За результатами проведеного моделювання буде створено фізико-математичні підходи до аналітичних результатів характеру розподілу температурного поля та легувального елемента на задану глибину проплаву.

### References

- [1] Дурягіна З.А., Лазько Г.В. Оптимізація поверхневих властивостей нержавіючих сталей лазерним легуванням // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях. Материалы Пятой юбилейной промышленной конференции с международным участием и блиц-выставки, 21-25 февраля, п.Славское, Карпаты. - 2005г. – С.209-211.
- [2] Duriagina Z.A. The enhancement of the corrosional and mechanical resistance of stainlees steel using a surface treatment // Solidification of Alloys, PAN-Katawice , PL ISSN 0208-9386. – 2000, – V.2, №42. – P.155-162.
- [3] Дурягіна З.А., Лазько Г.В., Пилипенко Н.В. Комп'ютерне моделювання оптимальних параметрів лазерного легування корозійнотривких сталей. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. Запоріжжя, ЗНТУ. – 2008. – №1. – С. 20-25.