

УДК 539.12.04, 628.979

**Оксана Маньовська, Юрій Нікіфоров, Володимир Гладьо**  
*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
м. Тернопіль*

## **ЕЛЕКТРОННА МІКРОСКОПІЯ РЕЛЬЄФУ ПОВЕРХНІ МІДІ ТА СТАЛІ, ОПРОМІНЕНИХ В РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

Опромінення матеріалів лазером в режимі генерації ударних хвиль у різних середовищах, перш за все, приводить до зміни рельєфу та структури поверхні опроміненого матеріалу. За допомогою електронного мікроскопа РЕМ 106-М були отримані картини поверхонь сталі та міді при різних умовах опромінення. Із експериментальних результатів опромінення матеріалів лазером в режимі модульованої добротності випливає, що матеріали із різними теплофізичними властивостями при опроміненні в різних середовищах дають суттєві відмінності в рельєфі поверхні. Важливий вплив на рельєф поверхні сталі при опроміненні в прозорому конденсованому середовищі (ПКС) чинить пічковість лазерного імпульсу.

Встановлено, що розподіл застиглої речовини на краю та в центрі матеріалів після опромінення кардинально відмінний. В залежності від відстані до центру плями опромінення та густини потоку випромінювання, візуальна картина може бути піноподібною, хвилеподібною або мати вигляд візерунку. Періодичність повторень хвиль, утворених після застигання матеріалу внаслідок дії тиску плазми та імпульсу віддачі при однакових умовах опромінення, відрізняється для сталі та міді. Так, при опроміненні на повітрі однопічковим лазерним імпульсом хвилеподібний рельєф повторюється з кроком 35-15 мкм в міді та 75-65 мкм в сталі. При опроміненні в ПКС крок становить 25-20 мкм в міді та лежить в межах 92-58 мкм для сталі. Крок зменшується в міру віддалення від центру плями опромінення.

Для пояснення різного характеру розтікання необхідно врахувати, як масову швидкість частинок в сталі та міді при дії тиску, що визначається формулою  $U = \frac{p}{\rho c}$  ( $p$  – тиск,  $\rho$  – густина,  $c$  – швидкість звуку в матеріалі), так і відмінності у в'язкості даних матеріалів при різних температурах.

Відмінностей між характером розтікання, який оцінювався довжиною застигаючих хвиль матеріалу (періодичністю повторень), при опроміненні однопічковим імпульсом в ПКС та на повітрі для міді практично немає, а для сталі різниця становить 1,7-2 рази. Для міді (при двопічковому імпульсі) відбувається збільшення довжини застигаючих хвиль матеріалу із збільшенням енергії. Це означає, що другий пічок впливає на картину розтікання, накладаючись на процес, викликаний дією першого пічка. Рельєф поверхні нагадує результат накладання сферичних хвиль, викликаних осіданням крапель (зародків міді) в розплав та його застигання .

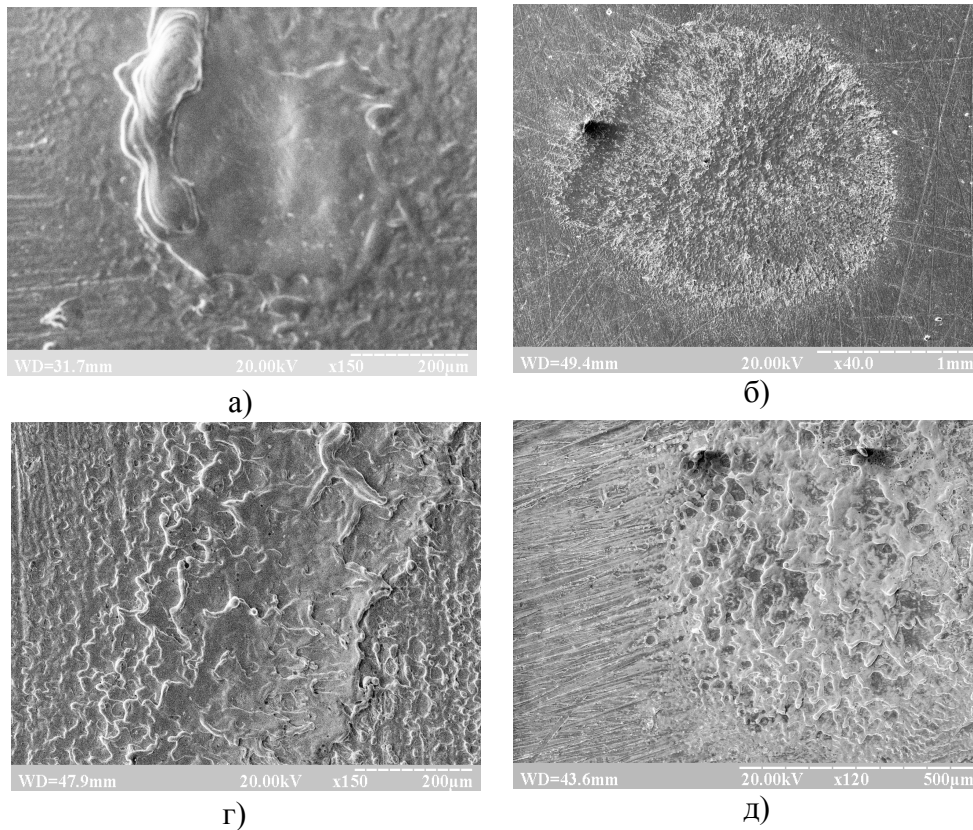


Рисунок 1 - Поверхня опромінених матеріалів:

- а) Опромінена на повітрі сталь 15X13МФ, енергія лазерного імпульсу 8 Дж/см<sup>2</sup>;
- б) Опромінена в ПКС (епоксидна смола) сталь 15X13МФ енергія лазерного імпульсу 20 Дж/ см<sup>2</sup>;
- в) Опромінена на повітрі мідь, енергія лазерного імпульсу 7,25 Дж/см<sup>2</sup>;
- г) Опромінена в ПКС (епоксидна смола) енергія лазерного імпульсу 20 Дж/ см<sup>2</sup>.

Картина, отримана з результатів електронно-мікроскопічних досліджень зміни поверхні матеріалу при опроміненні в ПКС та на повітрі, дозволила пояснити результатів, отриманих при дослідженні абляції методом винесення маси речовини. Під час абляції вириваються частинки великих і малих розмірів із центра плями, де температура є максимальною.

При наявності ПКС, на відмінну від відомих результатів опромінення у вакуумі та на повітрі, відліт частинок стримується плазмою і збільшується відсоток їх повертання на поверхню, що підтверджуються даними по зважуванню зразків до і після опромінювання та експериментами по визначенню імпульсу віддачі.