

УДК 539.12.04, 621.378.325

**Юрій Нікіфоров¹, Богдан Ковалюк¹, Оксана Маньовська¹,
Віктор Янушкевич²**

¹*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль, Україна*

²*ЗАТ «Конверсія»,
м. Москва, Росія*

ЛАЗЕРНІ УДАРНІ ХВИЛІ МАЛОЇ АМПЛІТУДИ: ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

По мірі розширення можливостей лазерної техніки та урізноманітнення досліджень впливу потужного лазерного випромінювання на матеріали зростає інтерес до вивчення впливу лазерних ударних хвиль (ЛУХ) як помітної складової комплексної лазерної дії із специфічними властивостями. Про це свідчить значне збільшення кількості публікацій по даній тематиці в США, Росії, Китаї і Європейських країнах.

В Україні перші дослідження по впливу лазерних ударних хвиль малої амплітуди почали проводитись в ТНТУ (тоді Тернопільський філіал ЛПІ) у співпраці із відділом електронної структури Інституту металофізики АН УРСР на початку 80-х років по тематиці Всесоюзної програми “Дослідження матеріалів для першої стінки термоядерного реактора”.

Якщо в перші роки з моменту створення потужних лазерів дія ЛУХ на матеріали вивчалась як руйнуючий фактор, то на даний момент, завдяки розвитку методик опромінювання, виявлення ряду закономірностей зміни характеристик матеріалів, лазерна ударно хвильова обробка стала одним із сучасних методів модифікації матеріалів на промисловому рівні і навіть поділяється на LPF (Laser Peen Forming) та LSP (Laser Shock Peening).

Для її поширення важливим є дослідження взаємодії потужного лазерного випромінювання із матеріалами, коли опромінювання здійснюється через прозоре конденсоване середовище лазером в режимі модульованої добротності. В таких умовах опромінення при відносно невеликих енергіях досягається необхідний для змін властивостей матеріалів тиск ударної хвилі. До ЛУХ неруйнуючого характеру, як правило, відносять ударні хвилі малої амплітуди, що генеруються лазерами з потужністю $2 \cdot 10^7 - 4 \cdot 10^9$ Вт/см².

В роботі розглянуто генерацію та властивості ЛУХ малої амплітуди. Аналізуються відмінності дії ЛУХ від інших видів лазерного впливу, глибина та характерний об’єм поля механічних зміщень та відповідних змін властивостей, що спостерігались експериментально.

Наведено результати експериментів по модифікації пластичних та мало пластичних матеріалів, в тому числі сплавів на основі заліза та кремнію, алюмінію, політетрафторетиленових плівок при різних густинах потоків енергії та пічковості лазерних імпульсів, опромінених в різних прозорих конденсованих середовищах. По просвітленню політетрафторетиленових плівок, що спостерігалась нами під дією ЛУХ, досліджено характер розсіяння

енергії ЛУХ по глибині. Дані результати підтверджуються картиною, що спостерігалась в опромінених зразках армко-заліза при дослідженнях, проведених спільно із професором Нищенко М.М. (Ін-т металофізики НАН України ім. Г.В. Курдюмова). Експерименти по опромінюванню сталей при генерації ЛУХ показали збільшення корозійної стійкості різних сталей для різних типів середовищ, а також зростання енергії руйнування зразків теплостійкої сталі. Останнє пояснюється перерозподілом напружень, викликаних дією ЛУХ, що залежить як від умов опромінення, так і від їх початкового розподілу.

Для дослідження впливу ЛУХ на поверхню матеріалів використовуються методи радіаційної фізики, починаючи від методу електроопору та вольт-амперних характеристик та закінчуючи ефектом Месбауера, електрон-позитрон анігіляції та електронної мікроскопії. Тому важливим фактором, що стимулює розширення досліджень впливу ЛУХ на матеріали, є спільна робота спеціалістів різних галузей та установ.

В спільних роботах, проведених із групою професора М.М. Берченко (Національний університет „Львівська політехніка”), було підтверджено перерозподіл напружень в складних напівпровідникових матеріалах (КРТ) під дією ЛУХ та створення напруженого стану, за якого затруднюється рух дислокацій, а також показано, що ЛУХ малої амплітуди ведуть до відпаду точкових дефектів в даних матеріалах, подібно до того, як це спостерігалось в елементарних напівпровідниках, та зменшують в них кількість різного типу макронеоднорідностей.

В останній час за результатами комп’ютерного моделювання нами встановлено особливості керування властивостями приповерхневих шарів матеріалів при наявності теплового та ударно хвильового факторів лазерної дії та показані способи керування величиною тиску ударної хвилі шляхом зміни параметрів оптичної системи лазерної установки, товщини та виду прозорого середовища. Виявлені особливості абляції, що виникає при опромінюванні в різних середовищах матеріалів, які застосовуються в світлотехніці, та запропоновано їх пояснення.

Застосування результатів комп’ютерного моделювання дало можливість розвинути експрес-метод дослідження енергетичних процесів, що пов’язані із виділенням теплоти на тильній стороні зразку при дії ЛУХ на його фронтальну поверхню.

Як показали недавно проведені експерименти, ЛУХ можуть також служити важливим фактором при імплантації нанотрубок в поглинаючі твердотільні підкладки. При цьому важливу роль відіграють теплофізичні та оптичні властивості підкладки.