

ЛАЗЕРНЕ ГАРТУВАННЯ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Лазерні технології останнім часом знаходять усе більш широке застосування в авіабудуванні, а саме для зміцнення деталей паливної апаратури, оскільки розвиток сучасного виробництва обумовлює зростаюче впровадження наукоємних технологій. Використання лазерної обробки матеріалів дозволяє забезпечити високу якість одержуваних виробів, задану продуктивність процесів, екологічну чистоту, а також економію людських і матеріальних ресурсів. Незважаючи на значні успіхи у практичному застосуванні лазерних технологій, до недавнього часу лазерний промінь недостатньо широко використовувався для локального зміцнення матеріалу, хоча можливість реалізації такого процесу була доведена ще в перших технологічних дослідженнях при вивченні явищ взаємодії випромінювання оптичних квантових генераторів (ОКГ) з металами та сплавами. У результаті використання лазерного променя для зміцнення матеріалів з'являється можливість внесення докорінних змін в технологію виготовлення виробів. При такому способі зміцнення можна змінити властивості різних ділянок деталі, виготовленої з порівняно недорогого конструкційного матеріалу, і отримати сплави з унікальними характеристиками міцності, зносостійкості й корозійної стійкості [1, 2].

Метою даної роботи є експериментальне дослідження можливості гартування сталей різних марок, які широко використовуються в авіабудуванні, за допомогою УФ-лазера малої потужності.

Більшість лазерних технологій оснований на тепловій дії випромінювання. При падінні променя лазерного випромінювання на поверхню матеріалу частина випромінювання відбивається від неї, а частина проходить вглиб матеріалу, який поглинає її. Відбивна здатність металів зменшується зі зменшенням довжини хвилі (рис. 1), тому ефективність нагріву металів збільшується при використанні лазера з меншою довжиною хвилі. Отже, оброблення металів з використанням Nd:YAG-лазера або Nd:YVO₄-лазера, що мають довжину хвилі $\lambda = 1,06$ мкм, є більш ефективним порівняно з обробленням CO₂-лазером, що має довжину хвилі $\lambda = 10,6$ мкм [2]. Використання випромінювання з ще меншою довжиною хвилі, наприклад УФ, обмежується через малу потужність УФ-лазерів або їх високу вартість [3].

На поглинальну здатність A значною мірою впливає шорсткість опромінюваної поверхні. Поверхні з низькою шорсткістю ($R_a = 0,05$ мкм) особливо сильно відбивають лазерне випромінювання ($A < 0,7$).

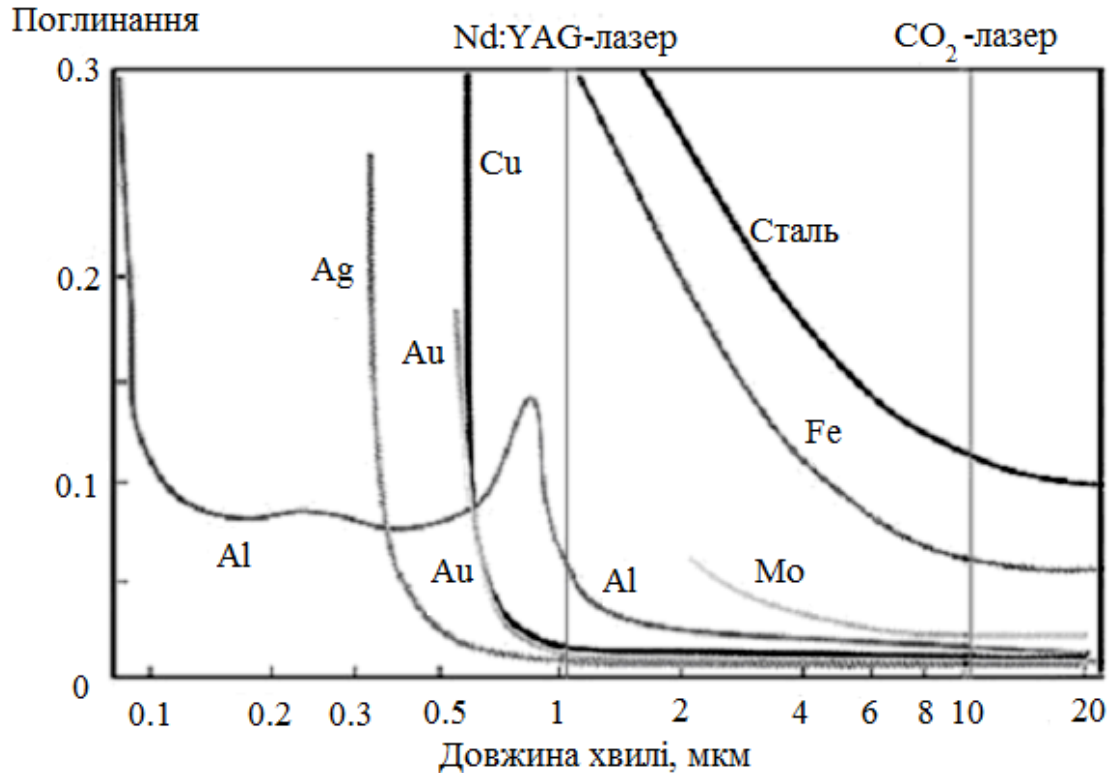


Рисунок 1 – Коефіцієнт поглинання деяких металів залежно від довжини хвилі випромінювання [3]

Зі збільшенням шорсткості поверхні частка відбитого випромінювання зменшується ($A > 0,9$), тобто ефективність використання енергії збільшується.

Незважаючи на переважну думку про те, що безперервний режим більш підходить для проведення термічної обробки [1, 2], використання імпульсного випромінювання дозволяє знизити потужність використовуваних лазерних пристроїв. Мала тривалість імпульсів і можливість фокусування випромінювання в пляму малого діаметра дозволяють створювати щільності потужності, достатні для нагрівання оброблюваної поверхні до температур вище фазових перетворень.

Таким чином, для зміцнення полірованих поверхонь доцільно використовувати імпульсні лазери невеликої потужності, що випромінюють в УФ-діапазоні.

У цій роботі лазерне гартування проводилося з використанням твердотільного YVO₄-лазера з нелінійним кристалом і діодним накачуванням потужністю 5 Вт і довжиною хвилі випромінювання $\lambda = 0,355$ мкм, що працює в імпульсному режимі ($\tau = 10$ нс). Частота випромінювання – 50 кГц, діаметри плями фокусування становили 75 мкм та 150 мкм.

Довжина хвилі $\lambda = 0,355$ мкм забезпечується за рахунок генерації третьої гармоніки, що реалізується як каскадний процес. Частотне потроєння – це процес нелінійного перетворення частоти, коли отримана оптична частота в три рази перевищує частоту вхідного лазерного променя. Пучок світла першої гармоніки з довжиною хвилі $\lambda = 1,064$ мкм направляється на нелінійний кристал, в якому відбувається генерація другої гармоніки з метою подвоєння частоти вихідного випромінювання до довжини хвилі $\lambda = 532$ нм (що відповідає зеленій області спектра) шляхом включення в схему нелінійного кристала літієвого триборату. Кристали літієвого триборату фізично і хімічно інертні, мають високу нелінійно-оптичну ефективність. Ці нелінійні кристали найбільш часто вживаються для подвоєння частоти випромінювання твердотільних лазерів. Після генерації другої гармоніки відбувається генерація третьої гармоніки шляхом складання двох частот у другому нелінійному кристалі.

Матеріалами досліджень були вибрані вуглецеві сталі з різним вмістом вуглецю: сталь 20, сталь 45 (сталь вуглецева якісна, ГОСТ 1050-74), сталь У12 (сталь інструментальна вуглецева, ГОСТ 1435-74), сталь ШХ15 (сталь конструкційна підшипникова, ГОСТ 891-78), а також сталь 12Х18Н10Т (сталь корозійно-стійка, кріогенна, ГОСТ 5632-72). Дослідження проводились на сталях після стандартної термічної обробки: нормалізації для сталі 20, поліпшення (гартування + високий відпуск) для сталі 45 і гартування з низьким відпуском для сталей У12 і ШХ15.

Контроль якості властивостей зміцненого шару проводили за мікротвердістю, яку вимірювали на приладі ПМТ-3 шляхом втискування стандартної чотиригранної алмазної піраміди з навантаженням 100 г.

При використанні лазерів малої потужності обробку проводять в імпульсному режимі. На операціях різання та гравіювання лазерний промінь може проходити по одній ділянці декілька (до чотирьох) разів за складною траєкторією. Об'єм матеріалу, що нагрівається, при цьому може бути значно більший, а швидкість охолодження менша. Для лазерного гартування такі режими неприйнятні. При гартуванні потрібно зменшувати тривалість імпульсів, ретельно підбираючи частоту їх повторення, або використовувати багатоімпульсну обробку [5]. Як було показано, використання твердотільного лазера з довжиною випромінювання $\lambda = 1,06$ мкм дозволяє проводити гартування, але температура нагрівання поверхні все ж зависока, більша за температуру плавлення. Після лазерного діяння поверхня металу стає нерівною, шорсткість значно вища, ніж до обробки. Не зважаючи на значне зміцнення, така обробка не може бути запропонована для відповідальних деталей.

Дослідження зразків, оброблених в імпульсному режимі при середній потужності 5 Вт і швидкості сканування 25 мм/с, показало, що оплавлення поверхні не відбувалось. Результати вимірювань мікротвердості наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Мікротвердість сталей до та після гартування

Марка сталі	Мікротвердість, МПа		
	У вихідному стані	Гартування ІЧ-випромінюванням, $\lambda = 1,06$ мкм	Гартування УФ-випромінюванням, $\lambda = 0,355$ мкм
20	2100	5770	6350
45	2700	8050	9200
У12	8150	11050	11280
ШХ15	7950	10200	10150

Таким чином, на основі проведених досліджень можна зробити висновок про можливість поверхневого зміцнення сталей малопотужними лазерами УФ-діапазону при використанні імпульсного режиму. У зв'язку з низькою продуктивністю такий процес не можна рекомендувати для зміцнення поверхонь деталей великої площини. Однак поверхневе зміцнення сталей малопотужними лазерами УФ-діапазону можна рекомендувати, наприклад, для голки форсунки паливної апаратури авіадвигунів, де є потреба у зміцненні окремих ділянок, що піддаються зносу. Перспективним є проведення подальших досліджень на інструментальних сталях з метою розроблення режимів зміцнення робочих поверхонь вимірювальних інструментів, які використовуються в авіаційній промисловості.

Висновки

1. Проведені дослідження показали можливість гартування сталей УФ-лазером малої потужності (5 ... 10 Вт) в імпульсному режимі.
2. Показано, що використання лазера з довжиною хвилі $\lambda = 0,355$ мкм дозволяє проводити зміцнення без оплавлення поверхні.
3. Запропоновано проводити зміцнення окремих ділянок поверхні сталевих деталей, які піддаються зносу.
4. Перспективним є проведення подальших досліджень на інструментальних сталях.

Список використаних джерел

1. Коваленко, В. С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера / В. С. Коваленко, Л. Ф. Головкин, В. С. Черненко. – Киев : Техника, 1990. – 192 с.
2. Григорьянц, А.Г. Основы лазерного термоупрочнения сплавов / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов; под ред. А. Г. Григорьянца. – М. : Высш. шк., 1988. – 159 с.

3. Взаимодействие лазерного излучения с веществом / В. П. Вейко, М. П. Либенсон, Г. Г. Червяков, Е. Б. Яковлев. М. : Физматлит. – 2008, – 312 с.

4. Федоров, А. И., Упрочнение металлов под воздействием УФ-излучения // А. И. Федоров Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24, № 23. – С. 14–18.

5. Применение импульсных лазеров малой мощности для поверхностной закалки сталей. Ю. П. Мачехин, О. В. Афанасьева, Н. А. Лалазарова, Е. Г. Попова // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. – Нац. аэрокосм. ун-та «ХАИ». Харьков, 2009. – Вып. 3 (59). С. 97–101.

Поступила в редакцію 17.05.2018.

Рецензент: д-р техн. наук, Карпов Я.С.

*Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків*