УДК 621.005.15: 621.000

В.О. Дудюк,
О.Ф. Салєнко, д-р техн. наук
Кременчуцький державний політехнічний університет ім. Михайла Остроградського

АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ПОТУЖНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ ОПТИЧНОГО КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА (ОКГ) У ПОТОЦІ РІДИНИ МАЛОГО ДІАМЕТРУ

Рассматривается механизм взаимодействия высокоскоростной струи жидкости малого диаметра, в которую введен луч лазера, с преградой. Исследовано распределение мощности излучения по сечению потока при определенных вариантах введения луча, изучены картины отраженного излучения, сделан вывод о функциональности изменений таких картин при изменении условий взаимодействия струи с преградой. Показано, что комбинирование потока жидкости и квантового потока позволяет реализовать ряд технологических операций.

In article the mechanism of interaction of a high-speed small diameter stream of a liquid into which the laser beam is entered, with a barrier is considered. Distribution of capacity of radiation on stream section is investigated at certain variants of introduction of a beam, pictures of the reflected radiation are studied, the conclusion is drawn on functionality of changes of such pictures at change of conditions of interaction of a stream with a barrier. It is shown, that the combination of a stream of a liquid and a quantum stream allows to realize a number of technological operations.

Вступ

Підвищення якості та ефективності гідрорізання при виконанні операцій розкрою листових матеріалів, а також при контурному різанні товстолистових заготовок є головним напрямом, на якому зосереджують свої зусилля дослідники провідних країн світу. Використання струменя рідини надвисокого тиску в якості ідеалізованого різального інструмента дозволяє з успіхом обробляти будь-які конструкційні, навіть важкооброблювані матеріали, у тому числі, композити. Велика кількість методів струминного різання, досліджена провідними фахівцями даної галузі, довела, що найбільш прийнятним для промислового використання є гідроабразивне різання, тобто різання, яке відбувається завдяки абразивним частинкам, введеним до швидкоплинного потоку рідини. Незважаючи на те, що швидкість такого двофазного потоку зменшується, а сам потік збільшується у розмірі, абразивні частинки виконують значно більшу роботу руйнування (деформаційного зносу або мікрорізання) у порівнянні зі струменем чистої рідини, спроможним ефективно різати тільки маломіцні матеріали. Інші методи (наприклад, створення попереднього напруженого стану зони різання, кріогенне охолодження периферійної частини струменя тощо) поширення не набули.

Не зважаючи на велику кількість виконаних досліджень, відкритими залишаються питання забезпечення якості обробки, притаманні у першу чергу заготовкам значної товщини. Встановлено, що зі зростанням товщини обробки збільшуються просторові відхилення форми, хвилястість поверхні, відмінність шорсткості поверхні на верхній та нижній частинах торця. Оскільки факторів, обумовлюючих якість обробки, значна кількість, мінімізація дефектів можлива як за рахунок створення систем автоматичного керування процесом та адаптивних систем, які спроможні забезпечити оптимальні умови перебігу процесів струминного руйнування, так і за рахунок зміни умов різання з метою поліпшення керованості даним процесом.

У попередніх публікаціях нами доведено можливість використання променя ОКГ для здійснення моніторингу процесів струминної ерозії. Показано, що за певних умов за картиною відбитого випромінювання можна судити про перебігу ерозії, тобто відповідне опрацювання картин дозволяє виокремити опорні сигнали для керування процесом різання. Вивчення розподілу інтенсивності випромінювання за потоком рідини малого діаметра дозволить оцінити можливість реалізації комбінованої струминно-променевої обробки, при якій роботу різання здійснюватиме одночасно і струмінь рідини, і промінь лазеру.

Мета роботи: оцінка інтенсивності потужності лазерного променя за перетином струменя, коли останній використовується у якості світловоду.

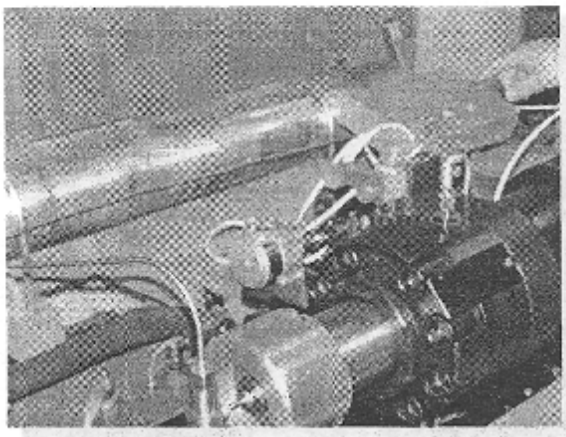
Основний зміст роботи

Попередні дослідження введення променя лазера до швидкоплинного потоку рідини, виконано та узагальнено у ряді праць, зокрема [1, 2] показали, що залежно від схем уведення променя до струминного потоку розподіл інтенсивності випромінювання буде різним, відповідно, різними будуть і картини відбитого від перепони випромінювання.

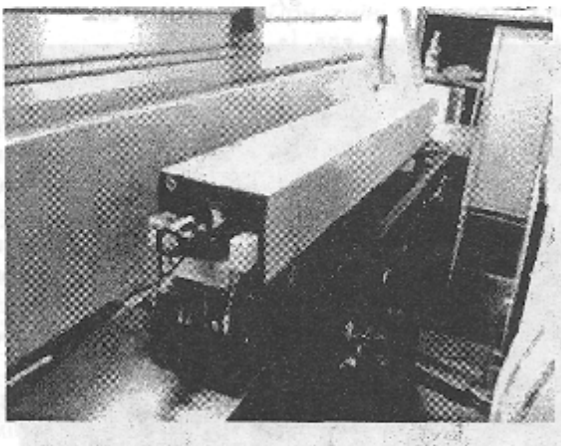
Для проведення комплексу експериментальних досліджень за вищесформульованими задачами використовували діюче струминне обладнання та спеціальні лабораторні пристрої, виготовлені авторами. У якості базового обладнання було обрано гідрорізальну розкрійну маши-

ну фірми «Клеріс», в якій на консолі додатково встановили лазер потужністю 500 *Вт* із системою транспортування променя до струминної головки.

а)



б)



в)

Рис. 1. Робочий стіл із струминно-променевою головкою (а), мультиплікатор (б) та змонтований на консолі імпульсний лазер (в) із системою транспортування променя.

Для зняття характеристик випромінювання використовували схему введення променя за допомогою плоского дзеркала (рис. 2). Контроль розподілу інтенсивності випромінювання здійснювали за відбитим випромінюванням, а також на основі вивчення електронних мікрофотографій тестових зразків.

При визначенні параметрів випромінювання у потоці в момент натікання на перепону виходили з таких міркувань. Для одномодового лазера мінімальний діаметр перетяжки каустики визначили [3]:

$$d_n = \frac{4F\lambda}{\pi d},$$

де F — фокусна відстань фокусуючої оптики (лінзи або дзеркала); d — діаметр лазерного пучка, визначений за умови відмінності інтенсивності на периферії в $\frac{I}{e^2}$ рази у порівнянні з максимальною на осі лазера.

Глибина фокусу z становила

$$z = \pm \frac{0{,}32\pi d^2}{\lambda}.$$

Потрапляння променя лазера на поверхню призводить до того, що частина випромінювання поглинатиметься тілом, а частина — відбиватиметься під кутом падіння.

Коефіцієнт відбиття R_0 являє собою співвідношення інтенсивності відбитої частини випромінювання до інтенсивності усього падаючого випромінювання. Для випадку нормального падіння променя

$$R_0 = \frac{(n-1)^2 + n^2\chi^2}{(n+1)^2 + n^2\chi^2},$$

n — показник зламності середовища; c — коефіцієнт затухання.

Розглянемо схему падіння лазерного променя на оброблювану поверхню. Нехай товщина заготовки дорівнює $H_{заг}$. Промінь оптичного квантового генератора (ОКГ) попередньо сколімований, отже, кутом розходження променя q можна знехтувати, а його інтенсивність підпорядковується закону нормального розподілу. Вважаємо, що ОКГ розташований відносно оброблюваної поверхні ОП так, що сфокусований за допомогою лінзи або дзеркала із фокусною відстанню F лазерний промінь (його основна мода) натрапляє на фронт борозенки різа перпендикулярно поверхні ОП у певну точку так, що перетяжка каустики z дозволяє опромінити ділянку поверхні у формі еліпсу із більшою віссю S_1S_2, яка дорівнює $a = S_1S_2 = \frac{4F\lambda}{\pi d \sin\alpha}$ та меншою віссю $b = d_n = \frac{4F\lambda}{\pi d}$.

Якщо вважати, що фронтальна поверхня борозенки різа у точці падіння променя є абсолютно дзеркальною та пласкою, інтенсивність падаючого випромінювання також підпорядковуватиметься закону нормального розподілу.

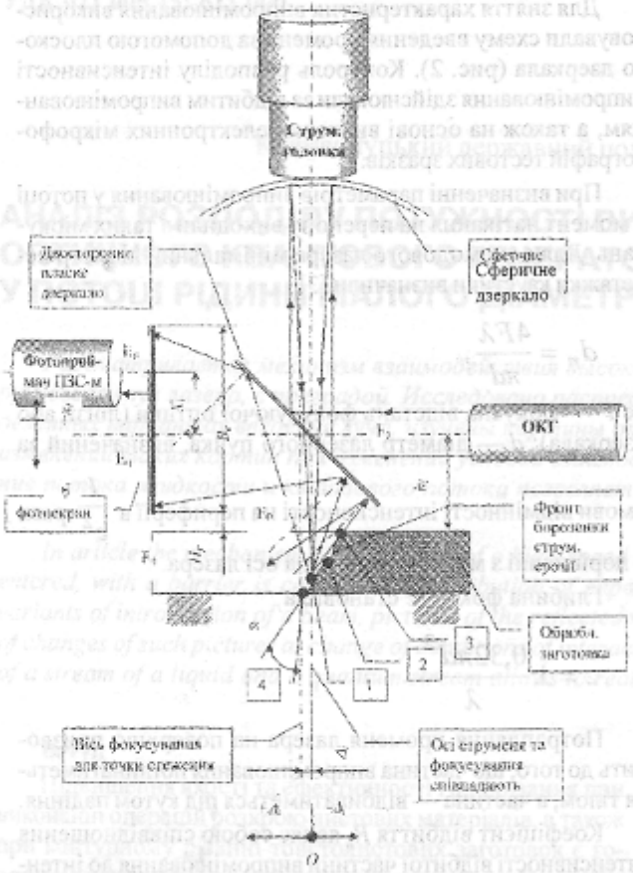


Рис. 2. Схема введення променя до струменя надвисокого тиску.

Відбите під кутом падіння та зафіксоване відповідним пристроєм на певній відстані випромінювання також матиме закон розподілення, близький до нормального, однак ширина зони d_e залежатиме не тільки від фокусної відстані використаної оптики, а і від розташування точки фокусу відносно площини відбиття. Зміна кута α призводитиме до того, що пік інтенсивності I_{0i} (центр у точці А) при нерухомому спостереженні буде зміщуватися, отже, змінюватимуться і осі еліпсу. Оскільки кут α визначається швидкістю робочої подачі, зміна останнього чинника призводить до певних змін розподілу інтенсивності випромінювання.

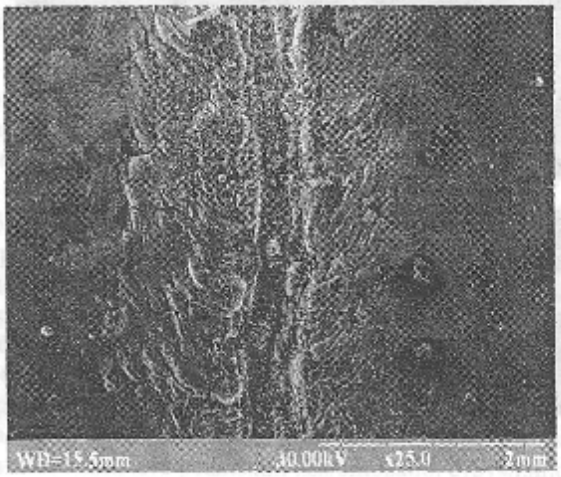
Дослідження виконувалися у такі етапи:

1) визначення ступеня інтенсивності випромінювання I_{di} залежно від кута нахилу α фронту борозенки гідрорізання;
2) визначення епюри рівнів інтенсивності E_i для фіксованих значень кута нахилу α_i фронту борозенки гідрорізання, попереднє встановлення оптимального розташування фотоприймача;
3) визначення рівня інтенсивності відбитого випромінювання I_0 при натіканні рідини та здійсненні струминної ерозії для різних швидкостей робочої подачі та, відповідно, різних кутів нахилу фронту борозенки α.
4) отримання епюри рівнів інтенсивності для різних точок контролю.

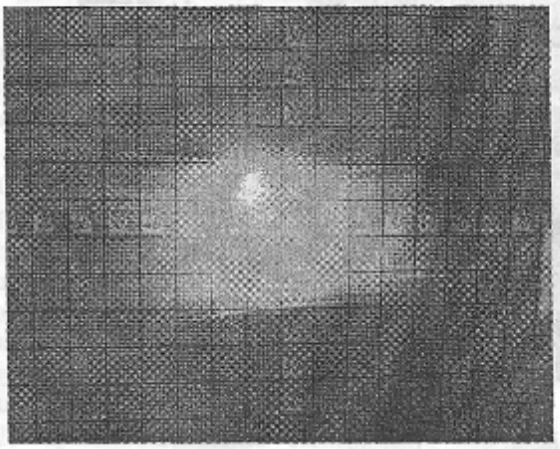
Відбите від поверхні випромінювання лазера спостерігали на матовому екрані із тонкого скла E_0-E_0 розмірами B_exB_e, за яким встановлювали тубус із фокусуючою лінзою, яка дозволяла зображення, створене на поверхні, фокусувати ПЗС-матриці цифрового фотографічного апарата Кодак E-Pro 280. Інтенсивність випромінювання вимірювали за допомогою фоторезистивних ланок, які давали змогу перетворити видиме світло в електричний сигнал та набрати відповідну статистичну вибірку спостережень.

Таким чином, визначення параметрів I_{dRd}, I_{di} I_0 та E_i здійснювали шляхом зняття характеристик емісії фотоперетворювача, а реєстрацію одержуваного сигналу виконували за допомогою програмою Analysis Center Version 2.0.

Виміри здійснювали при обробці склотекстоліту завтовшки 15 *мм* струменем рідини 300 *МПа*, що витікала із сопла 0, 25 *мм* та лазерним променем з частотою 200 *Гц* при потужності 150 *Вт* у плямі контакту з перепоною. Швидкість робочої подачі становила 350 *мм/с*. Зазначимо, що для даного матеріалу струмінь рідини за таких умов робочої подачі не дає прорізання і навіть суттєвої деструкції поверхневого шару. Однак комбінування цих двох впливів дало принципово новий ефект. Отримано прорізання оброблюваного матеріалу на глибину понад 5 *мм*, з певним напливом розплавленої маси на поверхню (рис. 3а).



а)



б)

Рис. 3. Електронна фотографія борозенки різа (а) та ПЗС-фото плями розподілу інтенсивності видимого випромінювання (б) при виконанні досліджень.

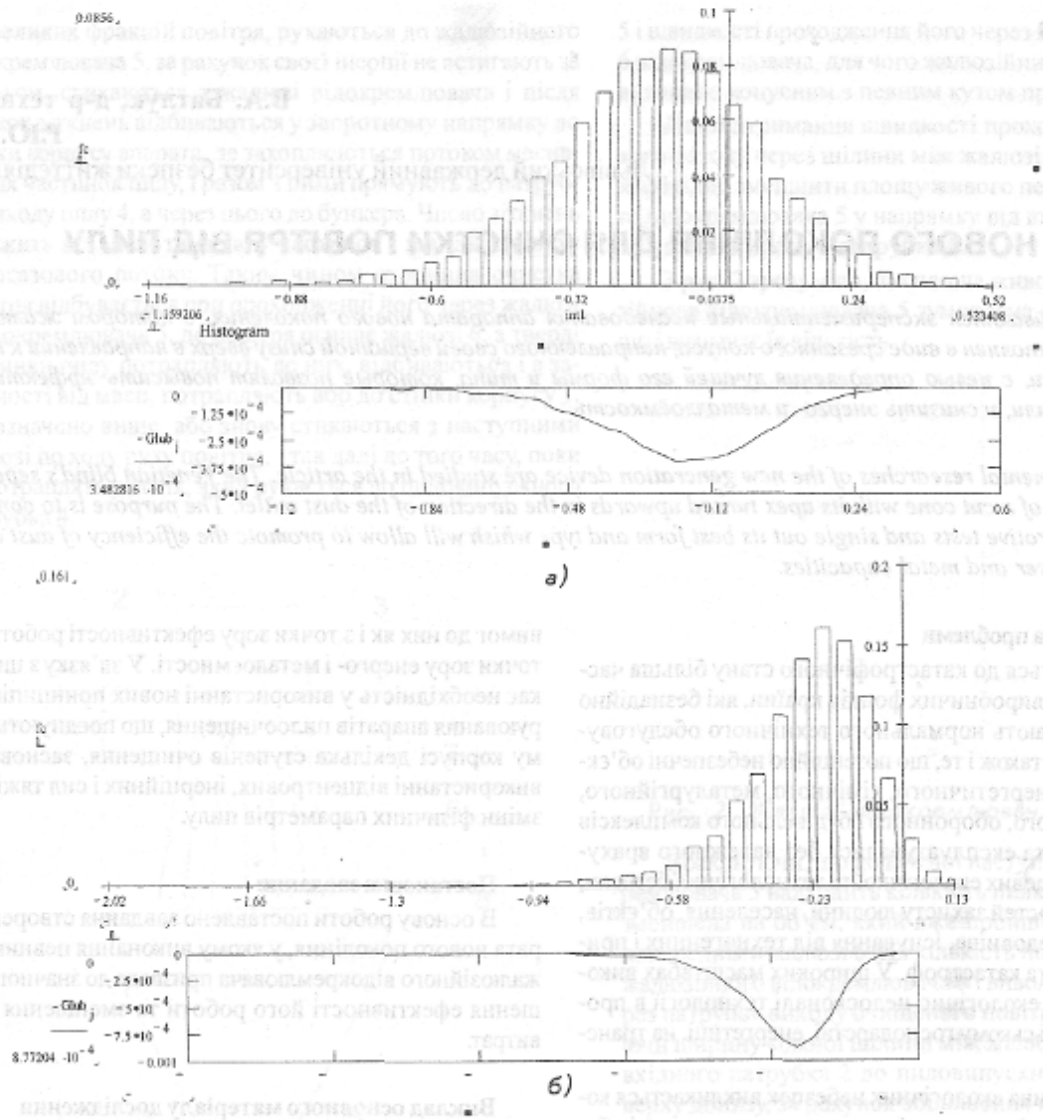


Рис. 4. Гістограма та спрямлена крива інтенсивності випромінювання під час натікання струменя на перепону. При зміні швидкості спостерігається порушення ширини ділянки впливу: а) для швидкості 100 мм/с, б) для швидкості 300 мм/с.

При цьому зняття картин розподілу видимого випромінювання на екрані фотоперетворювача показало, що зміщення центру максимальної потужності від очікуваної точки призвело до відповідного зміщення і зони деструкції, що пояснюється коливальними процесами у струмені, а значна ширина розсіяного випромінювання дала і певну деструкцію оброблюваної заготовки, що вимагає узгодження швидкості робочої подачі з процесами поширення струминно-променевої деструкції вгиб матеріалу.

Статистичне опрацювання оцінки інтенсивності дало змогу отримати діаграми розподілу інтенсивності випромінювання для різних кутів нахилу борозенки різа, і, відповідно, для різних швидкостей руху струминно-променевої головки. Побудовані діаграми розподілу інтенсивності показано на рис. 4.

Висновки

Попередні дослідження струминно-променевого впливу показали високу руйнівну дію такого поєднання, а також дозволили зробити висновок при вплив режиму руху струминно-променевої головки на зміну інтенсивності розподілу випромінювання у точці натікання на перепону.

Література

1. Антоненко, О.В., Саленко, О.Ф., Луговая, О.В. Принципи створення адаптивних систем для керування процесом гідрорізання на базі низькопотужного лазеру / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. — Кременчук: КДПУ, 2004. — Вип. 6/2004(29). — С. 93—96.

2. Саленко, О.Ф., Струтинський, В.Б., Загірняк, М.В. Ефективне гідрорізання: Монографія. — Кременчук: КДПУ, 2004. — 488 с.

3. Коваленко, В.С. Лазерные технологии. — К.: Вища школа, 1998. — 340 с.

Надійшла 21.09.2010 р.