

В.О. Дудюк асп., О.Ф. Саленко д-р техн.наук
Кременчуцький державний політехнічний університет ім. Михайла Остроградського,
м.Кременчуг, Україна

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

В статье 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 напрямком, на якому зосереджують свої зусилля дослідники провідних країн світу. Використання струменя рідини надвисокого тиску в якості ідеалізованого різального інструменту дозволяє з успіхом обробляти будь-які конструкційні, навіть важкооброблювані матеріали, у тому числі, композити. Велика кількість методів струминного різання, досліджена провідними фахівцями даної галузі, (зокрема, М. Хашишем, Лоуеном, Дюплессі, Р. Тихомировим, І. Петком), 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.

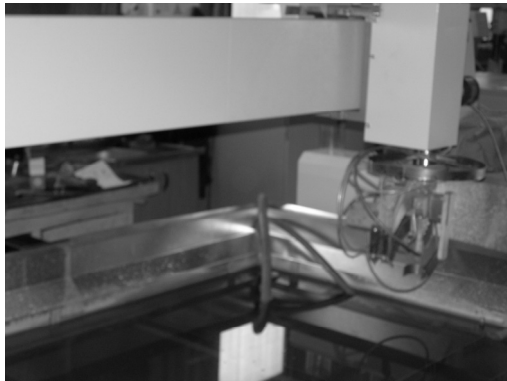
Не зважаючи на велику кількість виконаних досліджень, відкритими залишаються питання забезпечення якості обробки, притаманні у першу чергу заготовкам значної товщини. Встановлено, що зі зростанням товщини обробки збільшуються просторові відхилення форми, хвилястість поверхні, відмінність шорсткості поверхні на верхній та нижній частинах закрайки. 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 протікання процесів струминного руйнування, так і за рахунок зміни умов різання з метою поліпшення керованості даним процесом.

У попередніх публікаціях нами доведена можливість використання променя ОКГ для здійснення моніторингу процесів струминної ерозії. Показано, що за певних умов за картиною відбитого випромінювання можна судити про протікання 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 лазера.

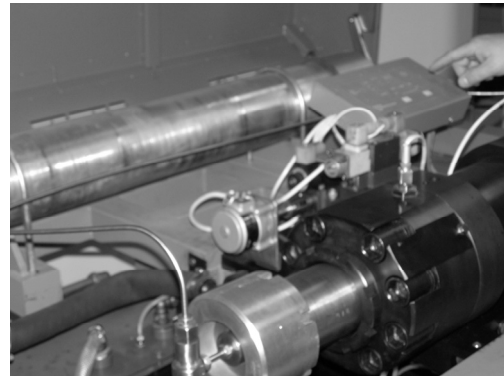
Мета роботи: оцінка інтенсивності потужності лазерного променя за перетином струменя, коли останній використовується у якості світловоду.

Основний зміст роботи. Попередні дослідження введення променя лазера до швидкоплинного потоку рідини, виконані О.В. Антоненком та узагальнені нами у ряді праць, зокрема [1, 2] показали, що залежно від схем введення променя до струминного потоку розподіл інтенсивності випромінювання буде різним, відповідно, різними будуть і картини відбитого від перепони випромінювання.

Для проведення комплексу експериментальних досліджень за вище сформульованими задачами використовували діюче струминне обладнання та спеціальні лабораторні пристрої, виготовлені авторами. У якості базового обладнання було обрано гідрорізальну розкрійну машину 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 зі 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 визначається так [3]:

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

F – фокусна відстань фокусуєчої оптики (лінзи або дзеркала); d – діаметр лазерного пучка, визначений за умови відмінності інтенсивності на периферії в $1/e^2$ раз у порівнянні з максимальною на осі лазера.

Глибина фокусу z становитиме:

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

Потрапляння променя лазера на поверхню призводить до того, що частина випромінювання буде поглинатися 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

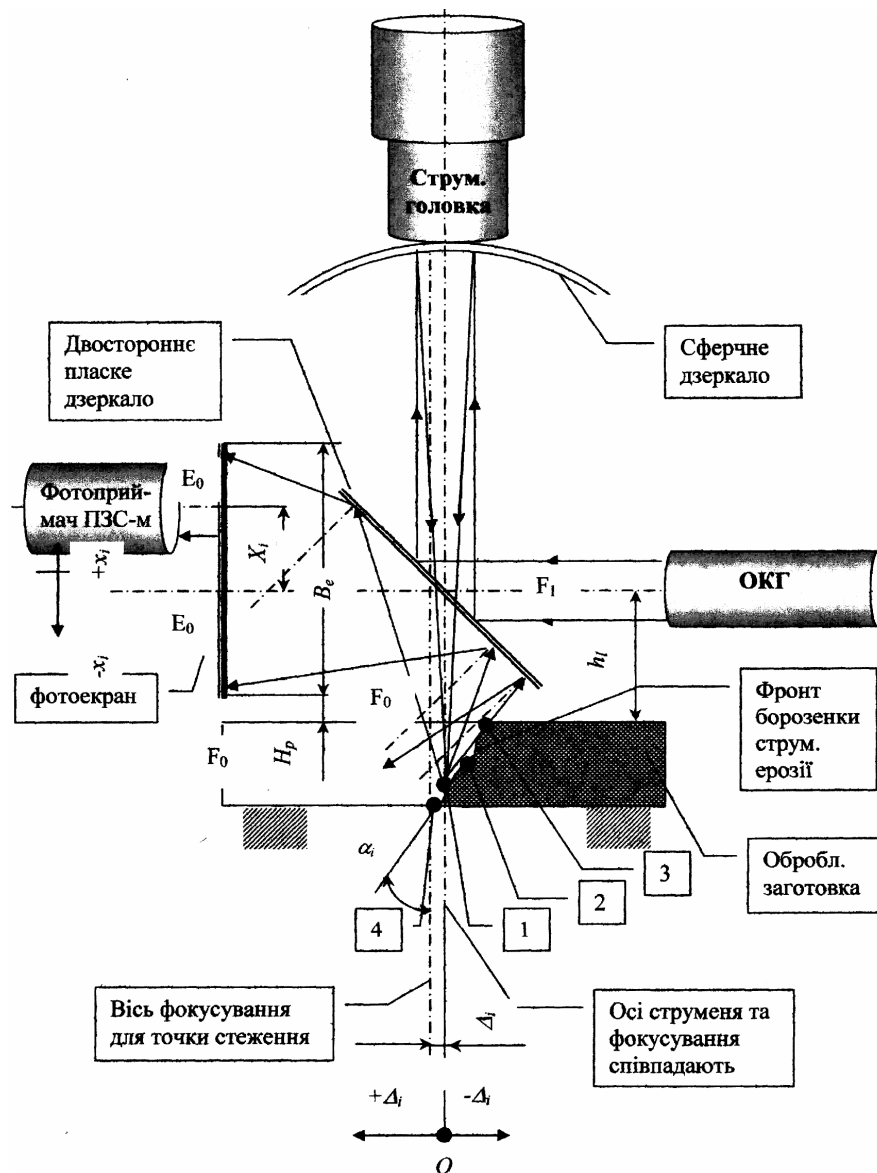
$$R_0 = \frac{(n-1)^2 + n^2\chi^2}{(n+1)^2 + n^2\chi^2},$$

n – показник заломності середовища; χ – коефіцієнт згасання.

Розглянемо схему падіння лазерного променя на оброблювану поверхню. Нехай товщина заготовки дорівнює $H_{\text{мат}}$. Промінь оптичного квантового генератора (ОКГ) попередньо сколімований, отже, кутом розходження променя θ можна знехтувати, а його інтенсивність підкоряється 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 буде також підкорятися закону нормального розподілу.

Відбите під кутом падіння та зафіксоване відповідним пристроєм на певній відстані випромінювання також матиме закон розподілення, близький до нормального, однак ширина зони де залежатиме не тільки від фокусної відстані використаної оптики, а і від взаємного розташування точки фокусу відносно площини відбиття. Зміна кута α призводитиме до того, що пік інтенсивності I_{01} (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 $I_d\alpha$ залежно від кута нахилу α фронту борозенки гідрорізання;
- 2) визначення епюри рівнів інтенсивності E_i для фіксованих значень кута нахилу α і 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 E0-E0 розмірами ВехВе, за яким встановлювали тубус із фокуруючою лінзою, яка дозволяла зображення, створене на поверхні, фокусувати ПЗС-матриці цифрового фотографічного апарату Кодак Е-Pro 280. Інтенсивність випромінювання вимірювали за допомогою фото резистивних ланок, які давали змогу перетворити видиме світло в електричний сигнал та набрати відповідну статистичну вибірку спостережень.

Таким чином, визначення параметрів I_dR_a , $I_d\alpha I_0$ та E_i здійснювали шляхом зняття характеристик емісії фотоперетворювача, а реєстрацію одержуваного сигналу виконували програмою "Analysis Center Version 2.0".

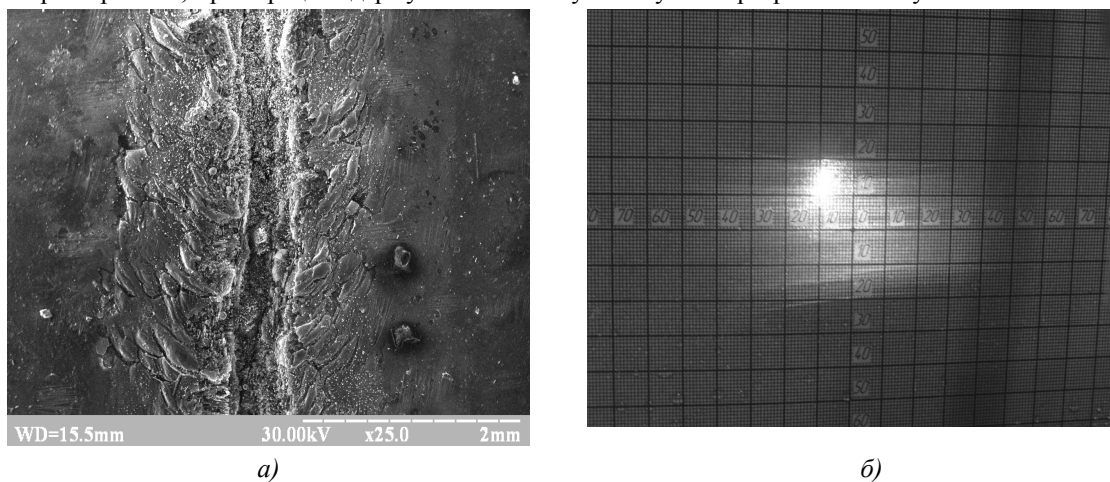


Рис. 3 Електронна фотографія борозенки різа (а) та ПЗС-фото плями розподілу інтенсивності видимого випромінювання (б) при виконанні досліджень

Виміри здійснювали при обробці склотекстоліту товщиною 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. 3,а).

При цьому зняття картин розподілу видимого випромінювання на екрані фотоперетворювача показала, 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 вглуб 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 подано на Рис. 4.

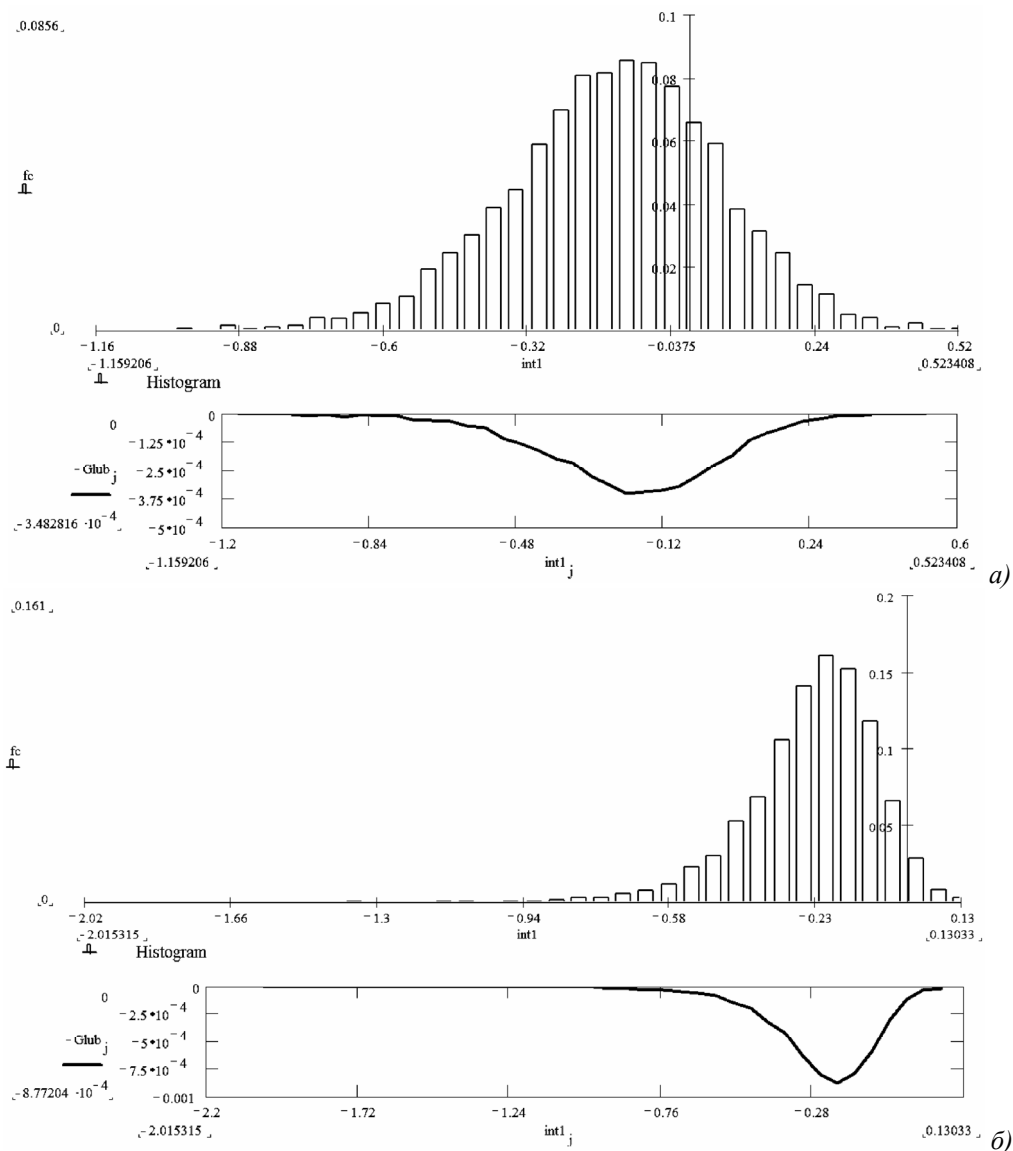


Рис. 4 Гістограма та спрямлена крива інтенсивності випромінювання під час натікання струменя на перепону. При зміні швидкості спостерігається порушення ширини ділянки впливу: *а)* для швидкості 100 мм/с, *б)* для швидкості 300 мм/с

Висновки. Отже, попередні дослідження струминно-променевого впливу показали високу руйнівну дію такого поєднання, а також дозволило зробити висновок про вплив режиму руху струминно-променевої головки на зміну інтенсивності розподілу випромінювання у точці натікання на перепону.

Список літератури

1. Антоненко О.В., Саленко О.Ф., Луговая О.В. Принципи створення адаптивних систем для керування процесом гідрорізнання на базі низькопотужного лазера / 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 гідрорізнання: Монографія–Кременчук, КДПУ, 2004-488
3. Коваленко В.С. Лазерные технологии. – К.: Вища школа, 1998. – 340 с.