

УДК 621.005.15: 621.000

**В.О. Дудюк, аспір.****О.М. Мана, аспір.****О.Ф. Саленко, д.т.н., проф.***Кременчуцький державний політехнічний університет  
імені Михайла Остроградського*

## **АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ПОТУЖНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ ОПТИЧНОГО КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА (ОКГ) У ПОТОЦІ РІДИНИ МАЛОГО ДІАМЕТРА**

*У статті розглядається механізм взаємодії високошвидкісного струменя рідини малого діаметра, в яку введений промінь лазера, з перешкодою. Досліджено розподіл потужності випромінювання по перетину потоку при певних варіантах введення проміння, вивчені картини відбитого випромінювання, зроблений висновок про функціональність змін таких картин при зміні умов взаємодії струменя з перешкодою. Показано, що комбінування потоку рідини і квантового потоку дозволяє реалізувати ряд технологічних операцій.*

**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 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 (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, криогенне охолодження периферійної частини струменя тощо) поширення не набули.

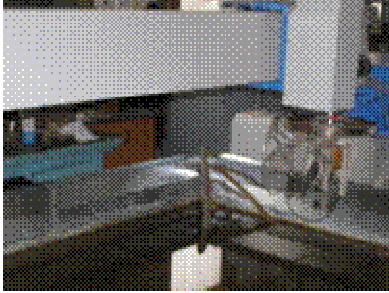
Не зважаючи на велику кількість виконаних досліджень, відкритими залишаються питання забезпечення якості обробки, притаманні у першу чергу заготовкам значної товщини. Встановлено, що зі зростанням товщини обробки збільшуються просторові відхилення форми, хвилястість поверхні, відмінність шорсткості поверхні 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 картою 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.

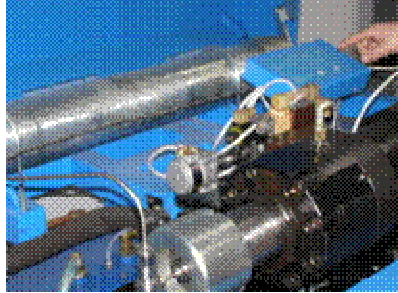
**Мета роботи:** оцінка інтенсивності потужності лазерного променя за перетином струменя, коли останній використовується у якості світловоду.

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

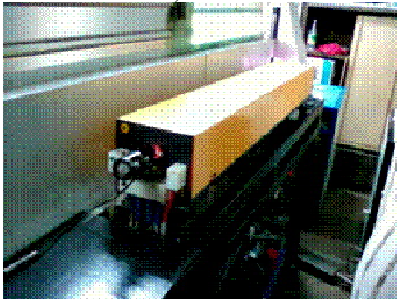
Для проведення комплексу експериментальних досліджень за вище сформульованими задачами використовували діюче струминне обладнання та спеціальні лабораторні пристрої, виготовлені авторами. У якості базового обладнання було обрано гідрорізальну розкрійну машину фірми "Клеріс", в якій на консолі додатково 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*

Її основні технічні характеристики надано в табл. 1. Машина призначена для виконання струминного або струминно-абразивного розкрювання листових матеріалів товщиною до 20 мм і розмірами до 1800x2200 мм.

Таблиця 1

Технічна характеристика гідрорізальної машини

№ з/п	Характеристика	Розм.	Параметр
1	Потужність головного приводу	кВт	40
2	Максимальний тиск	МПа	380
3	Розм. робочого столу	мм	1500x2200
4	Точність відпр. переміщень	мм	$\pm 0,1$
5	Загальна потужність	кВт	45

Для зняття характеристик випромінювання використовували ряд схем (рис. 2).

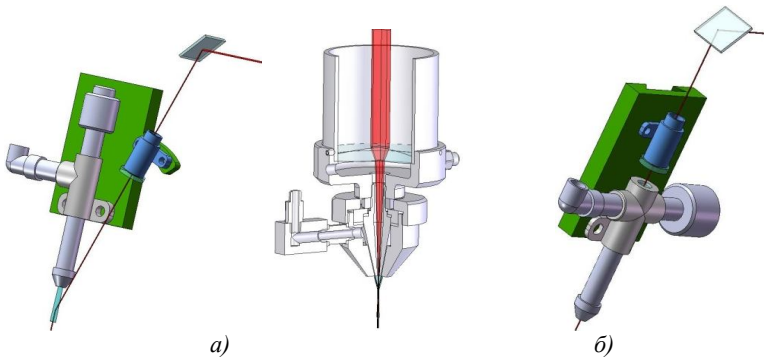


Рис. 2. Конструктивні рішення проникнення керуючого променя в струмінь рідини: а) бокове проникнення променя в струмінь; б) осі променя та струменя співпадають

Відбите від поверхні випромінювання лазера спостерігали на матовому екрані із тонкого скла  $E_0-E_0$  розмірами  $B_e \times B_e$ , за яким встановлювали тубус із фокусуючою лінзою, яка дозволяла зображення, створене на поверхні, фокусувати на світлочутливому приладі – фоторезисторі СФ 2–8 – напівпровідниковому приладі, дія якого базується на ефекті зміни опору напівпровідника при освітленні (внутрішній фотоэффект).

Оскільки експерименти із потужним лазером могли становити небезпеку для органів зору при потраплянні відбитого випромінювання, на етапі попередніх досліджень у якості освітлювача використовували багатомодовий безперервний лазер мод. ЛГН–200–А з довжиною хвилі  $\lambda = 0,6943$  мкм з пучком променів структури  $T_{005}$ . Це забезпечувало попереднє зміщення променів від центра плоского

дзеркала на величину  $\Delta = 25$  мкм, що передувало надходженню прямого променя до фотоприймача крізь отвір у цьому дзеркалі (необхідний для протікання струменя рідини).

Визначення параметрів  $I_{dRa}$ ,  $I_{d\alpha} I_0$  та  $E_i$  здійснювали шляхом зняття характеристик емісії фотоперетворювача при освітленні зразка відбитим від його поверхні лазерним променем [2]. До уваги брали також і характеристики фоторезистора. Так як поверхня володіла певною шорсткістю (визначеною, наприклад, за параметром  $Ra$ ), а зона різання являла собою лунку, фронт якої умовно можна вважати сегментом параболоїду із кутом нахилу в нижній частині  $\alpha$ , використання низько потужного лазера дозволило оцінити вплив саме цих чинників.

Встановлено, що зменшення рівня шорсткості  $Ra$  призводить до того, що відбитий світловий потік більш компактний, його розсіювання менше, отже, і рівень відбитого випромінювання менший. Зразки з різних матеріалів (склопластику СВА, склотекстоліту КАСТ-В, фторопласту Ф-1, гетинаксу) попередньо готували, отримуючи відповідний профіль поверхні натікання рідини та забезпечуючи належний рівень шорсткості.

Далі один з підготованих зразків установлювали горизонтально проти точки натікання струменю так, щоб забезпечити фокусування променів на фронтівій поверхні борозенки різа. Виміри відбитого випромінювання здійснювали, переміщуючи тубус уздовж екрана та знаходячи таке його положення (координату  $x$ ), при якому амплітуда сигналу була максимальною.

Результати досліджень, проведені для кожної вибірки, показали практичну тотожність, а спрямлена крива Гауса, побудована для однієї вибірки, довела відсутність випадкових похибок.

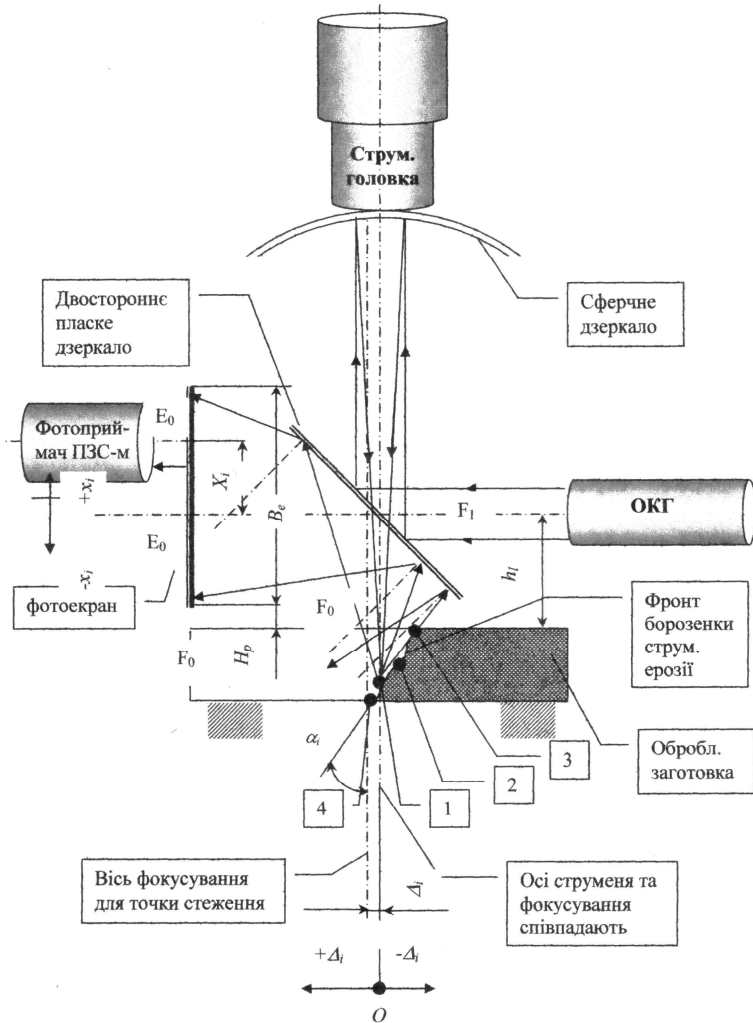


Рис. 3. Контролювання інтенсивності випромінювання ОКГ при введенні до струминного потоку

Дослідження виконували для кожного рівня зміни технологічного фактора – від 1,6 до 12,5. Далі постулювали математичну модель – регресійне рівняння, що пов'язує контрольований показник із

технологічним фактором. Попередня перевірка виду кривої доводить, що найбільш адекватною є залежність вигляду  $Y = a + \frac{b}{X}$ .

У результаті розрахунків отримано таке рівняння:

$$I_{dRa1} = 0,984 - \frac{1,209}{Ra}$$

Це рівняння адекватне та значиме у діапазоні 1,6–12,5 мкм за  $Ra$  та має достовірність 95 %. Графік отриманої залежності поданий на рис. 4

Однак для інших матеріалів подібної функціональної залежності не спостерігалось. Так, тільки для склотекстоліту  $I_{dRa1} = f(Ra)$  мала той же вигляд, однак коефіцієнт регресії становив  $r_2 = 0,56$ .

Аналогічний комплекс досліджень виконаний і для визначення залежності інтенсивності відбитого випромінювання  $I_{d\alpha}$  від кута нахилу фронту гідро руйнування  $\alpha$ , який, у першому наближенні, відповідатиме куту стікання відпрацьованої рідини.

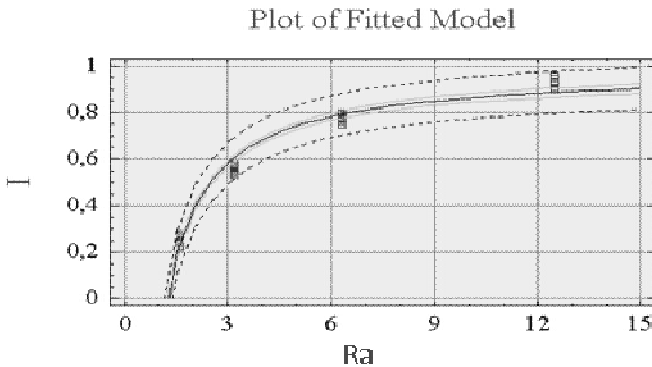


Рис. 4. Залежність інтенсивності  $I$  від шорсткості борозенки  $Ra$

Схема проведення експериментів та сама. Досліди виконували з тими ж зразками. Зміну кута нахилу площинки визначали як за результатами розрахунку за формулою

$$\alpha = \arctan \frac{s}{v_z} = \arctan \frac{s \sigma_m k r^2}{(p - \sigma_m k)_c^2 v_c}$$

Відтворюваність результатів була практично ідентичною. У результаті статистичної обробки даних для склопластику СВА отримано регресійну залежність вигляду

$$I_{da} = 0,912 - \frac{0,019}{\alpha}.$$

Рівень значимості 93 %, помилка визначення 0,02 grad (рис. 5). Для інших матеріалів результати вимірів були дещо гіршими.

Так, доведено, що одночасний прояв цих факторів може суттєво змінити картину та принципи керування. З цією метою було сплановано та виконано двофакторний експеримент із побудовою тривимірної діаграми залежності інтенсивності відбитого випромінювання від рівня шорсткості та кута нахилу площини.

Встановлено, що за таких умов ефекту взаємодії між факторами не виявлено.

Наступним етапом досліджень було вивчення розподілу потужності випромінювання за рівнем деструкції та руйнування, виконуваним струминно-променевим потоком.

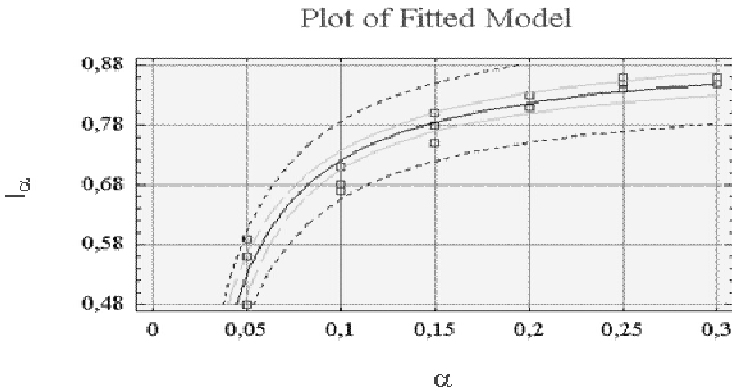


Рис. 5. Залежність інтенсивності відбитого світла  $I_{da}$  від кута  $\alpha$  сходу робочої рідини

З цією метою виконували обробку склотекстоліту товщиною 15 мм струменем рідини діаметром 0,1 мм, що витікав із конічного каналу під тиском 300 МПа, в який було введено лазерне випромінювання від твердотільного лазера з частотою 200 Гц при потужності 150 Вт у плямі контакту з перепону. Швидкість робочої подачі складала 350 мм/с. Зазначимо, що для даного матеріалу струмінь рідини за таких умов витікання та швидкості робочої подачі не дає не



тільки наскрізного прорізання, а навіть суттєвої деструкції поверхневого шару. Однак комбінування цих впливів дало принципово новий ефект. Отримано прорізання оброблюваного матеріалу на глибину понад 5 мм, з певним напливом розплаву на поверхні (рис. 6, а).

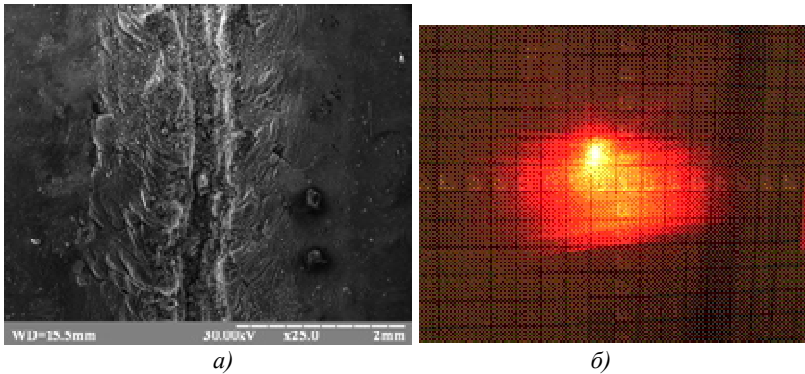


Рис. 6. Електронна фотографія борозни розрізу (а) та ПДС-Фото плями розподілення інтенсивності видимого випромінювання (б) при проведенні досліджень

При цьому зняття картини розподілу видимого відбитого випромінювання на екрані фотоперетворювача показала, що зміщення центра максимальної потужності від очікуваної точки привело до відповідного зміщення зони деструкції, що пояснюється коливальними процесами у струмені, а значна ширина розсіяного випромінювання обумовила певну деструкцію зони впливу на оброблюваній заготовці.

Статистична обробка оцінки інтенсивності надала можливість побудувати гістограми розподілу інтенсивності випромінювання, представлені на рис. 7.

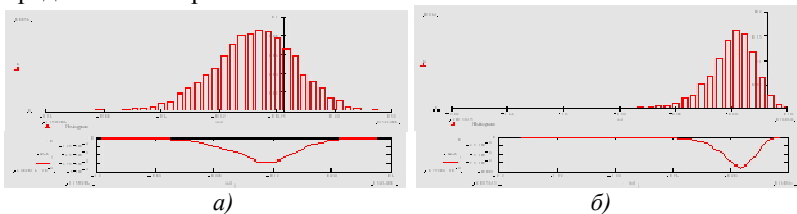


Рис. 7. Гістограма та спрямлена крива інтенсивності випромінювання під час натікання струменя на перепону – оброблювану поверхню. При зміні швидкості спостерігаються порушення ширини зони деструкції. Результати

визначення інтенсивності при потужності променя 150 Вт та діаметрі струменя 0,32 мм: а) для швидкості 100 мм/с, б) для швидкості 300 мм/с

**Висновки.** Таким чином, виконані експериментальні дослідження дозволили визначити особливості розсіювання відбитого лазерного випромінювання від поверхні оброблюваної заготовки при струминно-променевому впливі та визначити епюри розподілу інтенсивності за перетином струменя при використанні лазерів потужністю до 500 Вт.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Саленко О.Ф. Ефективне гідрорізання : монографія / В.Б. Струтинський, М.В. Загірняк. – Кременчук : КДПУ, 2004. – 488 с.
2. Антоненко О.В. Принципи створення адаптивних систем для керування процесом гідрорізання на базі низькопотужного лазера / О.Ф. Саленко, О.В. Луговая // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук : КДПУ, 2004. – Вип. 6. –2004 (29). – С. 93–96.

ДУДЮК В.О. – аспірант Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського.

Наукові інтереси:

– гідрорізання.

МАНА О.М. – аспірант Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського.

Наукові інтереси:

– струминно-променева обробка матеріалів.

САЛЕНКО О.Ф. – доктор технічних наук, професор Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського.

Наукові інтереси:

– квантові потоки.

Подано 04.09.2009