



УДК 621.00.245:216

Саленко О.Ф., д.т.н., проф., Габузьян Г.В., Нікітін В.А.

Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, м.  
Кременчук, Україна

## **ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ МАСКОВОГО РІЗАННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ САНДВІЧ- КОМПОЗИЦІЙ**

В роботі розглядаються питання розвитку так званих гібридних технологій, які для оброблення неоднорідних анізотропних матеріалів передбачають паралельне або послідовне використання різних за сутністю енергетичних впливів, генерованих одним інструментом.

Гібридні технології базуються на використанні високоенергетичних потоків. Прикладами є лазерно-плазмове різання, струминно-лазерне та ін.. нині нами проаналізовано, детально вивчено та систематизовано відомості стосовно ефектів струминно-лазерного впливу та показано, що сполучення потужного лазерного променя із рідинним потоком, сформованим, наприклад, кільцевим соплом, спроможне виконувати кероване руйнування поверхневого шару оброблюваного матеріалу в зоні натікання струменя на перепону. Дослідженнями, висвітленими в [1] показано, що зміна перетину сопла, профілю струминного каналу веде до відповідної зміни зони впливу. Варіювання інтенсивністю та скважністю імпульсів при зміні режимів течії рідини обумовлює протікання явищ мікроплавлення та деструкції поверхневого шару, які за певних обставин можуть активно переміщуватися уздовж напрямку дії струминного потоку, формуючи отвір відповідного профілю. Однак оброблення міцних, крихких та надміцних матеріалів стикається із рядом складнощів. Так, безпосередній лазерний вплив на пластинки із надміцних матеріалів веде до виникнення в поверхневих шарах високо інтенсивних



локальних термічних навантажень, які, додаючись до залишкових внутрішніх напружень, викликають різке зростання тріщиноутворення.

На відміну від термічних методів, руйнування матеріалу під дією гідроабразивного потоку відбувається внаслідок полідеформаційного пошкодження поверхні з одночасним руйнуванням самої абразивної частинки. Такий механізм характерний для випадку натікання гідроабразивного струменя під кутами, близькими до нормального (тобто для випадків, коли наскрізного прорізання заготовки немає, а частинки бомбардують поверхню, викликаючи деформацію в мікрооб'ємах і активізуючи зародження і розвиток початкових мікродефектів в матеріалі).

Руйнування оброблюваного матеріалу, зародження і розвиток лунки гідроерозії внаслідок прояву мікрорізання при такому натіканні є досить незначним, оскільки активне розростання дефектів поверхні, обумовлених початковою пружною деформацією в точці удару частинки, можливе лише при зміні вектору руху частинки. Іншими словами, мікропошкодження на поверхні виникає в момент, коли при ударі захоплена потоком частинка змінює напрямок руху і виноситься із зони обробки. Малий запас кінетичної енергії вимагає багаторазового дії частинок на поверхню.

У карбідних матеріалах локальні динамічні навантаження від рухомої абразивної частинки сприймає в основному твердий карбідний та скелет. В надтвердих матеріалах – нітридний. При віднесенні частки навантаження знімається, внаслідок чого відбувається часткове пружне відновлення деформованого обсягу матеріалу поверхні шару з появою локальних розтяжних напружень і з перерозподілом напружень між структурними складовими композиту.

Вивчення поверхонь різу в різні моменти часу дозволило встановити послідовність розвитку ерозійної воронки в таких матеріалах: при натіканні потоку спочатку локально навантажуються границя зерен скелета, відбувається



пластичне деформування сполучника по дислокаційної механізми, а потім спостерігається когезійне руйнування границь зерен скелета і самого сполучника з утворенням мікрорунки.

На макрорівні особливості гідроабразивного різання подібних матеріалів пов'язані з тим, що:

- швидкість «проникнення» струменя в матеріал заготовки непостійна: на першому етапі вона має тенденцію до зростання, а в подальшому - до зниження. При отриманні глибоких (у кілька діаметрів струменя  $D_k$ ) глухих отворів можливе повне припинення процесу різання внаслідок зменшення пружно-пластичних локальних деформацій матеріалу в зоні обробки і втрати енергії потоку. При цьому в заготовках з надтвердих матеріалів зниження глибини прорізання відбувається більш динамічно, аж до повного припинення видалення матеріалу;
- формування початкової канавки стікання рідини при наданні струменю руху подачі значно підвищує ефективність обробки за рахунок інтенсифікації мікрорізання. При цьому мікрорізання зростає за рахунок руйнування матеріалу не тільки потоком, що набігає, а й периферійною частиною струменя, в якій швидкість руху частинок істотно вище; з цієї точки зору багатопрхідне різання є більш ефективним і більш доцільним, ніж однопрхідне;
- наявність у матеріалі зон підвищеної твердості, а також здатність струменя обтікати перешкоди призводить до його відхилення від передбачуваного напрямку руху при заданих умовах переміщення. Зі зростанням швидкості лінійної подачі зростає відхилення струменя, що при збільшенні глибини канавки обумовлює зниження енергетичних параметрів струменя. Таким чином, швидкість подачі при багатопрхідному різанні повинна бути змінною – більш високою в початковий момент процесу обробки і зменшуватися при зростанні воронки.



Виконані дослідження щодо використання для процесу сфокусованого лазерного променя показали [2] що використання довгофокусної оптики ( $> 80$  мм) дозволяє отримувати достатньо прямі різи в заготовках товщиною 5-10 мм, без істотного нахилу крайок. При цьому використання лазера як з продувкою зони різку, так і без неї, при обробці карбідних та високоміцних сполук є проблематичним. Причина полягає в тому, що термічний вплив веде не тільки до певних структурно-фазових перетворень в обсягах матеріалу, прилеглого до зони обробки, але і викликає появу значних залишкових термічних напружень у заготовці, що веде до її крихкого руйнування навіть при незначному навантаженні. Крім того, помічене істотне зниження міцності зерен КНБ і поява металевих включень на поверхні кристалів, що погіршує міцності виробу.

Розглядаючи нанесений на пластину із твердого сплаву шар полікристалічного спеченого матеріалу, дійшли двох принципових висновків: використання гідроабразивного різання є малоефективним і непродуктивним, а отримувана ширина різку є значною (на рівні 1,0-1,2 мм); використання лазера без охолодження може викликати пошкодження матеріалу і появу як когезійних дефектів, так і адгезійних на межі «твердий сплав-алмазний шар». Окрім того, отриманий шар є оплавленим і потребує доводочної обробки (рис. 1).

Запропоновано розв'язати дане протиріччя шляхом послідовної дії на поверхню струминно-лазерного пристрою, який дозволяє виконувати процес лазерного скрайбування із охолодженням, а по досягненні межі стику – перейти до прорізання твердого сплаву за допомогою гідроабразивного струменя. При цьому утворена лазером щілина є унікальною «маскою», що надійно захищає основу пластинки від периферійної частини потоку, і дозволяє отримати паз відповідної ширини [3].

При лазерно-струминному різанні заготовка сприймає одночасно (або практично одночасно, якщо мова йде про використання імпульсного лазера)



два впливи, що викликають руйнування матеріалу – термічний та гідродинамічний. Сумарну потужність впливів можна виразити так:

$$A_{\text{наб}} = n\rho A \frac{d\bar{z}_1}{dt} + 0,5\rho z^2 F \frac{d\bar{z}_2}{dt},$$

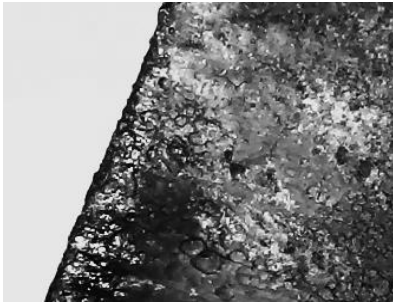
де  $F$  – площа перетину струменя;  $z$  – швидкість струменя;  $\bar{z}_1$ ,  $\bar{z}_2$  – глибина проникнення потоку під дією лазерного випромінювання і гідродинамічного впливу відповідно.

Частина матеріалу заготовки, потрапляючи в зону дії променя, розплавляється і випаровується в утвореній парогазовій порожнині, причому на останнє витрачається значна частка потужності випромінювання. Частинки КНБ, сприймаючи тепло від ванни, нагріваються, можливо, до температури перекристалізації, і тиском парогазової складової виштовхуються з ванни. Регулюючи частоту проходження імпульсів і їх тривалість, можна досягти того, що струменевий потік буде забезпечувати практично миттєвий тепловідвід, виключаючи поширення тепла за межі ванни розплаву. Таке циклічне різання здійснюватиметься, коли настає пауза в дії лазера, а потік зникає парогазову порожнину.

Робота зовнішніх джерел енергії визначається як:

$$A_{\text{наб}} = n\rho A \frac{d\bar{z}_1}{dt} + 0,5\rho z^2 F \frac{d\bar{z}_2}{dt} - h\rho A \frac{d(\delta - \bar{z}_1)}{dt} - \lambda\rho A \frac{d\bar{z}_3}{dt} + c\rho A \frac{d\bar{z}_3}{dt}$$

де  $\lambda$  – питома теплота плавлення зв'язника оброблюваного матеріалу;  $\bar{z}_3$  – лінійний розмір лунки розплаву з частинками КНБ;  $c$  – питома приведена теплоємність у лунці розплаву.



**Рис. 1 - Поверхня торця після лазерного розрізання**



**Рис. 2 - Готовий виріб, отриманий гібридним різанням**

Процес продовжується до досягнення границі поділу, а далі відбувається різання гідроабразивним потоком, сформованим тим же соплом, до повного прорізання заготовки (рис. 2).

Сполучення принципово відмінних за сутністю процесів на одній технологічній операції дозволило отримати досить якісне прорізання заготовки – карбідної пластинки із нанесеним на неї шаром полікристалічної алмазної суміші, забезпечивши при цьому відсутність істотних термічних дефектів та задовільну продуктивність процесу, а також появу адгезійних та когезійних пошкоджень композиції в цілому.

### **Список літератури**

1. Kholodnyy, V. Features of research methodology of profile holes produced laser-jet influence.// Unitex: International scientific conference, Gabrovo, Bulgaria. - 2013, pp.139-145.
2. Klimenko S.A., Mel'niichuk Yu.A., Vstovskii G.V. Interrelation between the Structure Parameters, Mechanical Properties of Sprayed Materials and the Tool Life in Cutting Them // J. of Superhard Mat. – 2008. – vol. 30, № 2. – P. 115–121.
3. Salenko, O., Mana, O., Shkel, S., Nikitin, V., Myronov, Ya. Cuts of the workpieces of hard and superhard sintered materials by jet methods//Вісник НТУУ «КПІ» №6, 2014.



*Міжнародна науково-технічна конференція "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці"  
Секція 3  
"Гідравлічні та пневматичні машини, гідروпередачі"*