

**В.Ю. Холодний, асист.**  
**Д.С. Ковальчук, студ.**  
**О.С. Байко, студ.**  
**М.М. Яцина, к.т.н., доц.**

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського*

## **ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРФОРАЦІЇ АЛЮМІНІЙ-МАГНІЄВОЇ ФОЛЬГИ, ЩО ОТРИМАНА ЛАЗЕРНО-СТРУМЕНЕВИМ МЕТОДОМ**

*Наведений аналіз варіантів і показана доцільність застосування лазерно-струминного методу для перфорування алюмінієвої фольги АМг-2Н товщиною 55 мкм, що використовується для гофронабору авіаційно-космічних стільникових панелей.*

*Експериментальні дослідження перфорації здійснювалися за допомогою комплексу моделі ЛСК-400-5. Для формування лазерно-струминного потоку використовувалася оригінальна конструкція головки, що дозволяє мінімізувати втрати потужності випромінювання.*

*Розглянуто питання впливу використовуваного методу перфорації алюміній-магнієвої фольги на її характеристики. Розглянуто принципову схему стенду для проведення досліджень. Наведено результати натурних експериментів.*

***Ключові слова:** перфорація; лазерно-струменевий метод; алюміній-магнієва фольга; міцнісна характеристика.*

**Вступ. Постановка проблеми.** Заготовки з алюмінієвих тонколистових сплавів знайшли широке застосування при виробництві стільникових панелей в авіаційній і космічній промисловостях [1]. Для виготовлення стільникових сендвіч-панелей з вертикальною укладкою наповнювача використовується фольга товщиною до 55 мкм. Сендвіч-конструкції, що складаються з декількох листових елементів, що з'єднані між собою перфорованим стільниковим наповнювачем (гофронабором), мають високу міцність, до того ж виконання зовнішнього перфорування покращує їх шумопоглинаючі властивості.

Перфорація може бути внутрішньою (для врівноваження тиску в одержуваних стільниках) і зовнішньою (для поліпшення шумопоглинаючих характеристик панелі) [2]. Від точності виконання елементів панелі, якості її проклейки, а також якості попередньої обробки стільникового наповнювача залежать її фізико-механічні властивості, перш за все, міцність, опір згинаючим, стискуючо-розтягуючим багаточисловим і статичним навантаженням, а також вага.

Операції перфорування є складними і нетехнологічними, оскільки передбачають отримання великої кількості дрібних отворів, з точним взаємним розташуванням; вимагають зведення до мінімуму деструкції і розшарування матеріалу в місці отвору, а також будь-яких концентраторів напружень, що виникають в момент отримання отвору.

Традиційно перфорування фольги з рулону здійснюється механічним способом шляхом прошивання отворів групами голок [3], які розташовані на барабані. Після проколів отвори містять ряд концентраторів напружень у вигляді розривів і тріщин, що виникають в момент отримання отвору і послаблюють наповнювач, що призводить до зниження міцності панелі в цілому.

Важливим науково-технічним завданням є пошук шляхів підвищення ефективності перфорування стільникового наповнювача й усунення зазначених вище недоліків, вирішення якого дозволяє поліпшити якість панелей в цілому.

**Мета** роботи полягає у вивченні способу підвищення міцнісних характеристик алюмінієвого наповнювача стільникових панелей при перфоруванні заготовки лазерно-струменевим методом.

**Завдання проведених досліджень.** Для досягнення поставленої мети вирішувалося наступне завдання: вивчення і аналіз дефектного шару в тонколистових заготовках, а також визначення впливу режимів обробки на його формування; випробування зразків на розрив і визначення міцності матеріалу.

**Викладення основного матеріалу.** Перед проведенням експериментальних досліджень отримання перфорації лазерно-струменевим методом було проведено моделювання процесів, що відбуваються під час обробки тонколистової заготовки. При моделюванні виходили з припущення, що натікання холодоагенту коаксіально, потік, як і промінь лазера, що є джерелом нагріву поверхні, є абсолютно симетричними, а в перетині поверхні заготовки – круглими. У той самий час нами в роботі [4] показано, що зміна форми струменя за рахунок профільованого сопла може викликати перерозподіл щільності випромінювання в точці контакту з поверхнею, оскільки потік в цьому випадку є своєрідним світловодом. Це також не суперечить результатам, отриманими авторами [5, 6]. Тоді, вважаючи, що потік з режимом витікання, близьким до ламінарного, буде характеризуватися лініями течії відповідно до рисунку 1 і перетином, показаним на рисунку 1, б, нами було прийнято, що потік здатний викликати

такий перерозподіл випромінювання, що забезпечує прошивання отвору, відмінне від круглого.

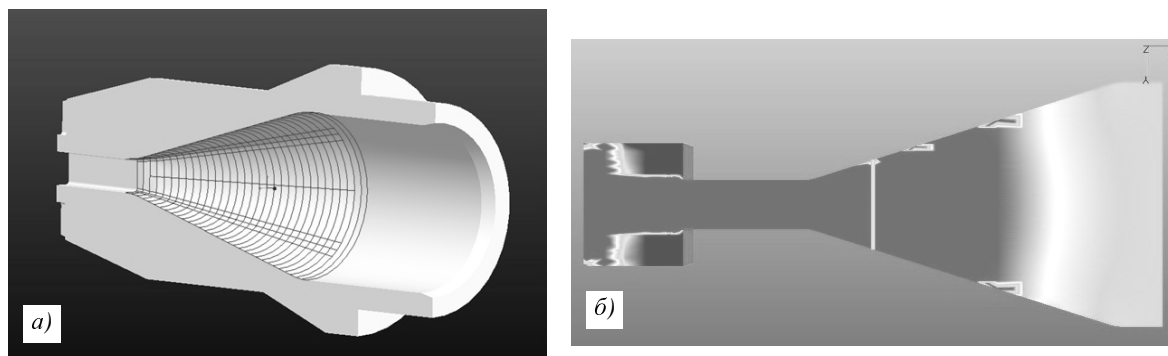


Рис. 1. Модель внутрішньої порожнини насадка з перехідною ділянкою на профільне квадратне сопло (а) і моделювання течії рідини в соплі та за його межами отримане засобами FlowVision (б)

Точкова візуалізація масиву даних, отриманих в результаті розрахунків, дозволяє встановити не лише розподіл швидкостей у потоці, а й визначити зміну інтенсивності лазерного випромінювання за умови, що розподіл інтенсивності на перетязці каустики в площині входу дифузору сопла відповідає закону Гауса.

Результати розрахунку, проведеного в середовищі MathCad, показали існування певної відстані від зрізу сопла, на якому втрати потужності внаслідок порушення стійкості течії будуть максимальними, і, відповідно, продуктивність обробки різко зменшується; за цим перетином можна очікувати зниження точності відтворення контуру.

Зміна умов сполучення променя лазера зі струменем рідини високого тиску викликає перерозподіл інтенсивності випромінювання поверхнею перепони [7] (рис. 2).

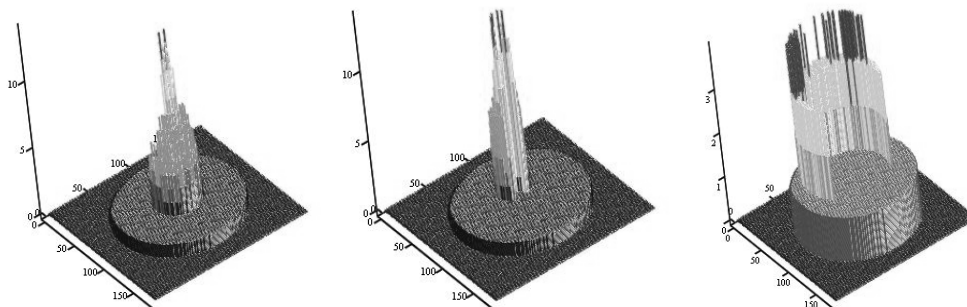


Рис. 2. Розподіл інтенсивності випромінювання на плоскій поверхні при натіканні струменя діаметром 2,0 мм при неспіввідності променя і струменя 0,8 мм для зрізу у формі правильного кола (відстань від зрізу сопла до перешкоди): а – 5 мм; б – 10 мм; в – 16 мм

Однак термічне навантаження поверхні залишається локалізованим, що доводить можливість забезпечення більш високих фізико-механічних властивостей обробленого матеріалу, порівняно із традиційними технологіями.

Подальші експериментальні дослідження перфорування заготовок здійснювали з використанням дослідно-промислового лазерно-струминного комплексу ЛСК-400-5 (рис. 3).

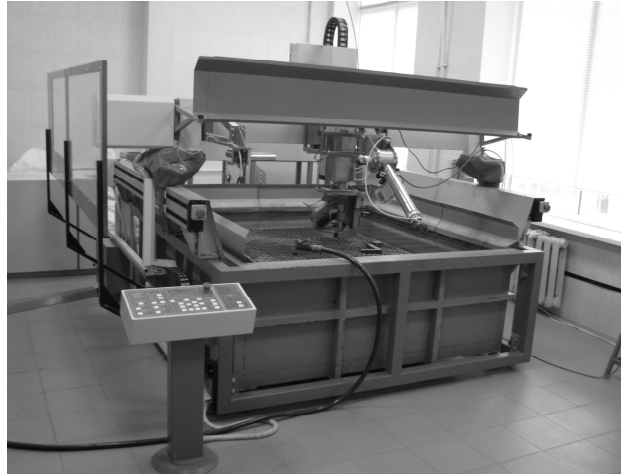


Рис. 3. Загальний вигляд комплексу ЛСК-400-5

Обробку листової заготовки з фольги АМг-2Н товщиною 55 мкм піддали перфоруванню з такими режимами: потужність лазера – 200 Вт, частота проходження імпульсів – 50 і 75 Гц, швидкість скануючої подачі – 15,0–30,0 м/хв., крок отворів перфорації – 5,0–10,0 мм, встановлений діаметр отворів – 0,1; 0,35 і 0,7 мм (відповідно до використовуваних соплових насадків).

Рідина – вода деаерована, деіонізована, подавалася в робочу зону з витратою 0,003–0,05 дм<sup>3</sup>/с. Діаметр сопла відповідав діаметру одержуваного отвору.

Для механічних випробувань з обробленої заготовки вирізали зразки алюміній-магнієвої фольги товщиною 55 мкм і розмірами 30 на 35 мм (рис. 4), які вклеювалися в державки відповідно до методики випробувань. При цьому проводили випробування зразків, отриманих різними методами: механічним проколюванням індентором, лазерною прошивкою, з продувкою робочої зони і без продувки, а також з охолодженням потоком рідини.

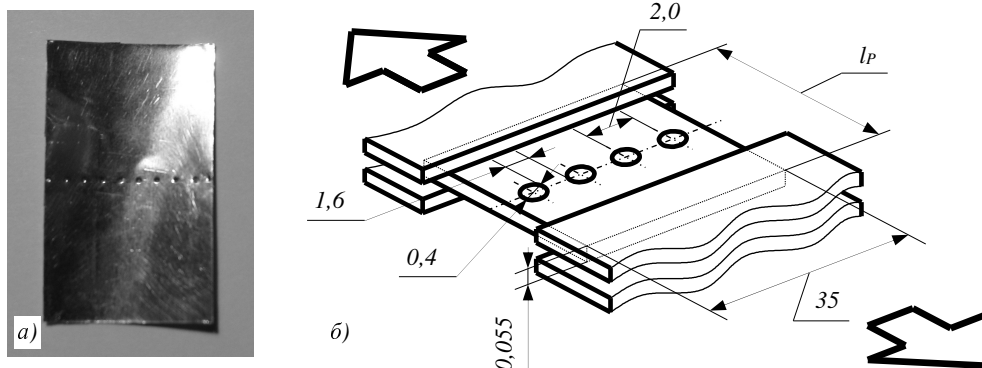


Рис. 4. Зразок перфорованої фольги АМг товщиною 55 мкм (а) і схематичне зображення кріплення випробуваного зразка при випробуванні на розтягування із зазначенням його геометричних характеристик (б)

Дослідження проводилися з використанням універсальної випробувальної машини УМЭ-10, тензодатчика KELI DEG 50 кг [8] (рис. 5, а) і реєструвалися за допомогою АЦП m-DAQ [9] (рис. 5, б) разом з підсилювачем сигналу. На кожному зі зразків отвори перфорації, отримані різними методами обробки, були однакового діаметра, розташовувалися з кроком  $t = 2,0$  мм, а сама перфорація розташовувалася перпендикулярно до лінії прикладення розтягуючого зусилля випробувальної машини. Навантажування зразка здійснювали з подачею 100 мм/хв., деформацію та напруження, що виникають, оцінювали за часовим рядом, отриманим за допомогою m-DAQ. З метою статистичної обробки даних, було досліджено по 30 зразків кожного з методів перфорації.

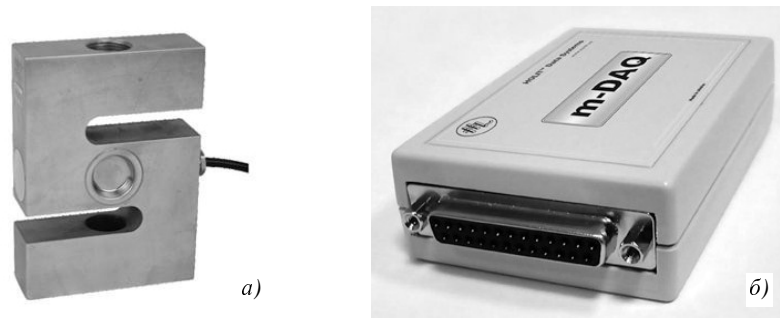


Рис. 5. Обладнання, що використовується:  
а – тензодатчик KELI DEG 50 кг; б – аналогово-цифровий перетворювач m-DAQ

Результати механічних досліджень представлено на рисунку 6. Статичного навантаження зазнали зразки з перфорацією, що виконана за зазначеними вище методами. При цьому навантаження зразків проводилося за рекомендаціями [10].

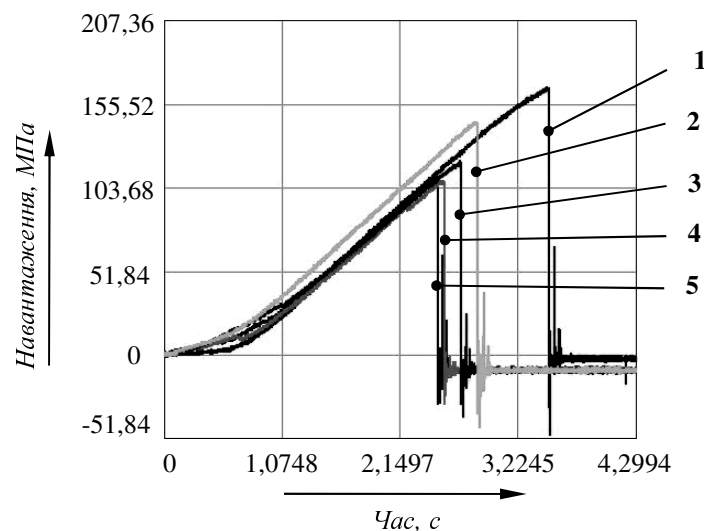


Рис. 6. Результати експериментів щодо розриву зразків з фольги АМг товщиною 55 мкм за попередньо нанесеною перфорацією при статичному навантаженні.  
Методи виконання перфорації: 1 – лазерно-струменевий; 2 – механічним проколюванням;  
3 – лазером з продувкою і охолодженням водою; 4 – лазером з продувкою;  
5 – лазером без продувки

Аналіз результатів залежності часу до руйнування зразка від прикладеного навантаження по перфораційній лінії показав, що зразок з алюміній-магнієвої фольги, оброблений лазерно-струменевою перфорацією, витримує навантаження на розтягування більше на:

- 12 %, порівняно зі зразками, отриманими механічним способом;
- 20–35 %, порівняно зі зразками отриманими іншими способами (лазер без продувки, лазер з продувкою, лазер з продувкою і охолодженням водою).

Це можна пояснити зменшенням зон термодеструкції та кількості концентраторів напружень у вигляді розривів і тріщин, що виникають в момент отримання отвору.

#### Висновки:

1. При мікрообробці тонколистових заготовок, а саме – виготовленні отворів за методом лазерно-струминної обробки матеріалів, підтверджена можливість зменшення дефектного шару і концентраторів напружень.

2. Досягнуто підвищення міцності та якості отворів перфорованої алюміній-магнієвої фольги за рахунок виключення концентраторів напружень і зон термічного впливу.

3. Використання методу лазерно-струминної обробки матеріалів при перфорації фольги дозволяє підвищити міцність готового виробу.

4. Перехід на виготовлення отворів методом лазерно-струминної обробки матеріалів замість використання барабанів з голками дозволить відмовитись від виготовлення оснащення у вигляді

барабанів, і, як результат, зменшити загальну собівартість виготовлення виробу.

#### Список використаної літератури:

1. Колганов И.М. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Ч. 1 : учеб. пос. / И.М. Колганов, П.В. Дубровский, А.Н. Архипов. – Ульяновск : Университет, 2003. – 148 с.
2. Соколов Н.И. Сферопластики авиационного назначения на основе эпоксидных клеев и дисперсных наполнителей / Н.И. Соколов, В.Т. Минаков // ВИАМ/2011. – 205948. – 2011.
3. Воронько В.В. Экспериментальное исследование точности отверстий, перфорируемых в листовых деталях авиационных двигателей способом электрогидравлической штамповки / В.В. Воронько, Я.С. Жовноватюк // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2015. – № 3. – С. 56–64.
4. About some results of exploration of water jet guided laser onto the solids' surface / O.Salenko, O.Fomovska, V.Dudyuk, O.Mana // Unitex-10 : International scientific conference (19–20 novem. 2010). – Gabrovo, 2010. – Pp. 414–421.
5. Martin R. Natural diamond cutting using water jet-guided laser / R.Martin // Laser LIM. – 25.05.2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.synova.ch/conferences>.
6. Methods of cutting for workpieces of hardmetal and cBN-based polycrystalline superhard material / A.F. Salenko and others // Sverkhtrverdye Materialy. – 2015. – Vol. 37, № 4. – Pp. 76–90 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://link.springer.com/article/10.3103/S1063457615040073>.
7. Саленко А. Особенности методики исследования профильных отверстий малого размера для процесса лазерно-струйной обработки материалов / А.Саленко, В.Холодный // Unitex-2013 : International scientific conference (22–23 novem. 2013). – Gabrovo, 2013. – P. III-139–III-145.
8. Тензодатчик KELI DEG 50 кг. – ООО “ДКЛ”, 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://dkl.kiev.ua/product/tenzodatchik-keli-deg-50kg>. – Загол. з екрану.
9. Микросистема сбора данных m-DAQ . – ООО “ХОЛИТ Дэйта Системс”, 2013. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.holit.ua/ru/products/comp/ind/expansion/adc/vneshnie/2842.html>. – Загол. з екрану.
10. Orientation Effects of Stress Concentrators on the Material Deformation Behaviour during Tensile Testing of Thin AISI 316 Stainless Steel Strips / A.Jahubar, S.K. Pandey, K.S. Pandey // International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). – 2014. – 4 (10). – Pp. 43–48.

ХОЛОДНИЙ Володимир Юрійович – асистент кафедри процесів і обладнання механічної та фізико-технічної обробки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Наукові інтереси:

- процеси механічної обробки;
- математичне моделювання.

КОВАЛЬЧУК Дмитро Сергійович – студент Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Наукові інтереси:

- процеси механічної обробки.

БАЙКО Олександра Сергіївна – студентка Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання.

ЯЦИНА Микола Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри процесів і обладнання механічної та фізико-технічної обробки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Наукові інтереси:

- механотроніка;
- математичне моделювання.

Стаття надійшла до редакції 12.10.2015.