

УДК 621.375.826:621

В.П. Котляров, Є.О. Лавріненков,  
О.О. Титаренко, М.А. Аліверді

## ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНОГО ГРАВІРУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПЛАСТМАС

### Вступ

У нашій попередній публікації [1] наведено алгоритм проектування технологічних операцій лазерного поверхневого гравірування виробів із різноманітних матеріалів за умови поверхневого поглинання енергії лазерного променя заготівкою та випарного механізму руйнування її матеріалу. Такі умови беззастережно виконуються під час гравірування металевих виробів, тому що всі види лазерного випромінювання (від ультрафіолетового до інфрачервоного) поглинаються поверхнево (коефіцієнт поглинання Бугера  $\alpha \gg 10^3 \text{ см}^{-1}$ ), хоча і з різними рівнями коефіцієнта поверхневого поглинання  $A$ , що вимагає використання додаткових засобів підвищення поглинальної здатності поверхні заготівки (див., наприклад, [2, 3]). До класу діелектриків належать як природні (слюда, алмаз, кристалічний кварц, деревина та ін.), так і штучні (кераміка, пластмаси, скло тощо) матеріали, поглинальні властивості яких (коефіцієнти  $\alpha$  і  $A$ ) залежать від довжини хвилі випромінювання  $\lambda$ . Наприклад, конструкційна кераміка 22ХС ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) з майже однаковими коефіцієнтами поверхневого поглинання  $A$  для довжини хвилі  $\lambda$ , яка дорівнює 1,06 і 10,6 мкм, має істотно різні значення коефіцієнта  $\alpha$ : 30 і  $10^4 \text{ см}^{-1}$ , відповідно. Це дає можливість застосовувати різні механізми руйнування матеріалу (плавлення, випаровування або зміна оптичних властивостей) як при поверхневому характері впливу, так і об'ємно за рахунок використання променя з відповідною довжиною хвилі.

Найбільш широкою за властивостями та використанням матеріалу як конструкційний або оздоблювальний є група пластмас у вигляді термореактивних (фторопласт, текстоліт тощо) та термопластичних (акрил) матеріалів. Перші використовуються найчастіше для виготовлення корпусних і несучих елементів електротехнічних виробів з ізоляційними властивостями, а другі — для деталей побутової електроніки і техніки, комп'ютерів. При виготовленні виробів із пластмас лазерна обробка за-

стосовується для їх контурної вирізки з листових заготівок, в операціях виготовлення з них об'ємних форм гнуттям та нанесенням текстової або графічної інформації. Для одержання різних якісних і кількісних результатів лазерного гравірування створено шаруваті види листових пластмасових та комбінованих заготівок [4], що дає можливість наносити змістову або кольорову інформацію за допомогою дозованого видалення окремих шарів матеріалу.

Якщо операції контурного різання та формування об'ємних виробів можуть бути розроблені за алгоритмом, наведеним в [1], то особливі методи гравірування виробів із пластмас потребують виконання як додаткових досліджень механізму поверхневого і об'ємного руйнування пластмаси, так і розробки нових схем виконання технологічних операцій.

### Постановка задачі

Для створення інформаційної бази проектування операцій лазерного гравірування виробів із пластмас необхідно:

- розробити технологічну схему поверхневого гравірування виробів із термореактивних пластмас (наприклад, корпусів штепсельних роз'ємів (ШР));
- визначити залежність розмірних і якісних результатів лазерного гравірування (поперечні розміри контурної лінії) листових заготівок із найбільш поширеної акрилової пластмаси (поліметилметакрилату) різного кольору;
- розробити умови гравірування виробів з об'ємними елементами контуру;
- забезпечити технологічним оснащенням розроблені операції.

### Гравірування виробів із термореактивних пластмас

Вироби з термореактивних пластмас (електричні вилки, розетки, роз'єми) виготовляються у великій кількості, тобто виробництво має багатосерійний або масовий характер. Особливістю цього виду виробництва є велика кількість виробів у партії, у зв'язку з чим переналагодження обладнання відбувається досить рідко, що дає змогу використовувати спеціальні види технологічного оснащення для спрощення технологічної операції і підвищення її продуктивності.

Найбільш продуктивною є перша схема гравірування [1] за допомогою використання

методу копіювання змісту маски, яку розміщено між джерелом випромінювання (технологічним лазером) та поверхнею заготовки. Звичайно застосовують одну з двох технологічних схем реалізації методу гравірування копіюванням:

- маска розміщується на шляху пучка випромінювання (перед елементом, що концентрує енергію випромінювання, наприклад об'єктивом) і має переріз, менший, ніж поперечний розмір пучка [5];

- при розміщенні маски на поверхні заготовки профіль малюнка, який вирізано в ній, копіюється на поверхні виробу її опроміненням у межах площі малюнка.

Особливості цієї схеми, що обумовлюють її недоліки, такі:

- обробка виконується профільованим інструментом, який вирізається з пучка випромінювання межами отвору в масці, тобто "відрізана" частина енергії випромінювання витрачається даремно;

- розміри елементів малюнка на поверхні виробу залежать від параметрів пучка випромінювання: характеру розподілу енергії випромінювання в перерізі пучка, стабільності його енергетичних, часових та просторових характеристик і параметрів оптичного елемента, що концентрує пучок випромінювання в зону обробки;

- джерело випромінювання (технологічний лазер) має бути достатньо енергетичним, щоб забезпечити необхідний рівень інтенсивності в зоні обробки, який визначається вибраним механізмом руйнування матеріалу заготовки.

Інші недоліки, які властиві гравіруванню копіюванням [1], зникають при обробці термоактивної пластмаси внаслідок низького рівня інтенсивності, який необхідний для вибраного механізму руйнування поверхні виробу – зміни її вихідної шорсткості після операції виготовлення виробу.

Для зменшення впливовості наведених недоліків видозмінено технологічну схему копіювання з розміщенням маски на поверхні заготовки та поступовим формуванням малюнка на ній (рис. 1).

На заготовці 1 через прокладки 3 розміщується маска 2, виготовлена з більш стійкого до лазерного випромінювання матеріалу, ніж матеріал заготовки, наприклад із металевої фольги, в останній у вигляді трафарету вирізано (наприклад лазерним променем) вікно 4 (вікна), розміри якого (яких) дорівнюють розмірам

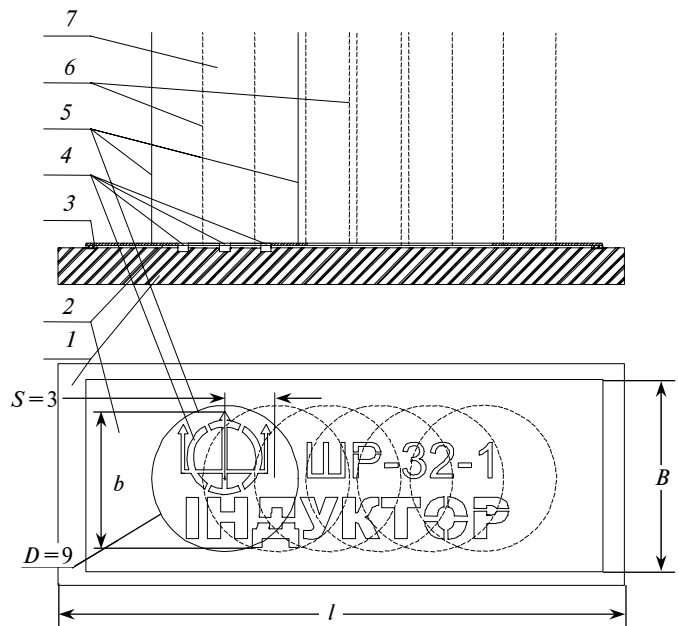


Рис. 1. Схема послідовного формування малюнка на заготовці копіювання

елементів малюнка. Для формування копії вікна (вікон) із маски на поверхні заготовки використовується пучок лазерного випромінювання з довжиною хвилі, яка останньою добре поглинається, наприклад, від твердотільних лазерів (на гранаті  $\text{YAG: Nd}^{+3}$  або волоконного лазера з  $\text{Yt}^{+3}$ ) ( $A_{1,06} \sim 0,5-0,7$ ) або газового лазера на  $\text{CO}_2$  ( $A_{10,6} = 0,8$ ).

Апертура лазерного променя  $5D$  має перевищувати ширину малюнка на масці  $B$ , а інтенсивність  $I_p$  в зоні опромінювання досягати рівня, необхідного для деструкції поверхні заготовки, наприклад зміни її вихідної шорсткості або кольору. Для придання пучку випромінювання потрібних властивостей можна використати перетворювальні оптичні елементи: лінзу (сферичну або циліндричну), систему лінз (телескопи Кеплера, Галілея або Кассагрена). Результатом дії першого імпульсу випромінювання 5 є формування частини малюнка 4 на поверхні заготовки 1, а відносне переміщення маски із заготовкою та променя на крок  $S$  вздовж довжини малюнка забезпечує формування наступної ділянки малюнка (наприклад, променем  $b$  на рис. 1). Величина кроку вибирається з умови відсутності пропусків у змісті малюнка на поверхні заготовки. Повторне опромінення деяких ділянок малюнка не викликає помітних змін у його зовнішньому вигляді (рис. 2), якщо на поверхні заготовки лише змінюється її структура або колір.



Рис. 2. Зразок гравірування штепсельного роз'єму

Для гравірування виробів масового виробництва за цією схемою розроблено конструкцію лазерного гравера [6], що може бути застосований на універсальному лазерному технологічному обладнанні (ЛТО), якщо режим роботи випромінювача дає можливість одержати вибраний технологічний ефект. На рис. 3 показано його схему.

Корпус гравера 3 закріплюється на оптичній системі ЛТО 1, причому може бути використано штатний перетворювальний елемент або застосовано додаткову оптичну систему, наприклад лінзу 2, фокусна відстань якої розраховується. Вздовж осі корпусу 3 від дії пружини 11 переміщується каретка 4, яка містить дві пари конічних роликів 5 і 6, установлених із можливістю обертання навколо своїх осей, причому для однієї з пар унеможливлено відносне провертання розміщенням між їх осей, наприклад, кардану 13. Ролики виготовлено з жорсткої гуми і кожний має на одному з торців зубчастий обід 7, на них утримуються дві перфоровані нескінченні стрічки 8 і 9. Останні виготовлено з матеріалу, який має вищу променеву стійкість, ніж матеріал заготовки (на-

приклад, для текстоліту можливо застосування фольги товщиною  $\delta > 0,1$  мм з латуні, міді, алюмінію або сталі). Сумарна ширина двох стрічок має перевищувати ширину малюнка  $B \geq b$ , а довжина кожної (в розвороті)  $L = \pi D_p + 2a = ql$ , де  $D_p$  – діаметр ролика;  $a$  – відстань між центрами пар роликів;  $l$  – довжина заготовки 14;  $q$  – ціле число ( $\geq 1$ ). Пропонується такий порядок виготовлення маски (стрічок 8 і 9):

- в стрічці вибраних розмірів ( $B \times L \times \delta$ ) лазерною або електроерозійною обробкою вирізається  $q$  комбінацій наскрізних вікон, що утворюють  $q$  заданих малюнків, з кроком, який дорівнює довжині заготовки 14  $l$ , та перфорується бокові сторони прямокутними отворами з розмірами та кроком, які відповідають зубцям 7 на поверхні роликів 5 і 6;
- вибраним видом обробки стрічка розрізається на дві частини 8 і 9 однакової ширини  $B/2$  вздовж її довжини;
- стрічки зварюються або паяються в нескінченну форму, одягаються на дві пари роликів 5 і 6 і натягуються відповідними пристроями для зняття їх провисання і зміщення вздовж малюнка.

Конічна конструкція роликів забезпечує тісний боковий контакт двох стрічок 8 і 9 на поверхні заготовки 14 та залишає зазор між ними з боку надходження пучка випромінювання. Його ширина має бути достатньою для пропуску стиснутого лінзою 2 пучка випромінювання до поверхні стрічок 8 і 9, які розміщені на заготовці. В разі відсутності тісного контакту між ними на малюнку створюється додатковий символ у вигляді смуги 3 (див. рис. 2).

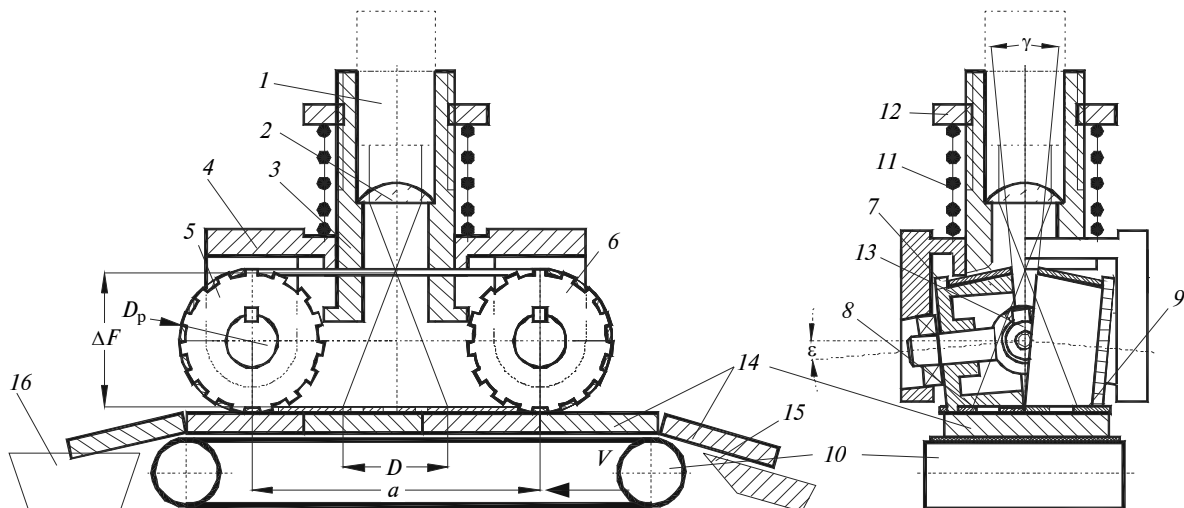


Рис. 3. Схема пристрою для послідовного нанесення змісту малюнка методом копіювання

Доставку заготовок одна за одною в зону опромінення здійснює однокоординатний транспортер 10, до якого вони подаються загрузочним пристроєм 15 і після обробки збираються в бункері 16. Під час руху заготівка повернутою, на яку наноситься малюнок, за рахунок сил тертя з виступами 7 роликів повертає її, що забезпечує переміщення малюнка на масці з однаковою швидкістю  $V$  з поверхнею заготівки 14.

**Порядок вибору режиму обробки.** Для реалізації розробленої технологічної схеми обробки необхідно визначити:

- імпульсну енергію випромінювання:

$$E \geq \frac{\pi D^2}{4} I_p^{\text{заг}} \tau,$$

де  $I_p^{\text{заг}}$  – інтенсивність випромінювання на поверхні заготівки:  $I_p^{\text{заг}} = W_p^{\text{заг}} / A$  ( $W_p^{\text{заг}}$  – щільність потужності теплового потоку, яка достатня для руйнування поверхні заготівки у вибраному режимі (для зміни шорсткості поверхні виробу з текстоліту достатньо рівня  $8 \cdot 10^2$  Вт/см<sup>2</sup>);  $A$  – коефіцієнт поглинання поверхні заготівки ( $A_{1,06} = 0,8$ ));  $t$  – тривалість імпульсу (в зв'язку з низьким рівнем теплопровідності пластмаси імпульси можуть мати тривалість декілька мілісекунд);  $D$  – діаметр пучка випромінювання на поверхні маски (заготівки):  $D \geq b$  ( $b$  – ширина малюнка);

- зміщення поверхні заготівки з фокальної площини лінзи:

$$\Delta F = \frac{(D - F\theta)F}{D_{\text{п}}},$$

де  $F$  – фокусна відстань лінзи 2;  $D_{\text{п}}$  – діаметр пучка випромінювання на рівні головної площини лінзи:  $D_{\text{п}} = D_{\text{л}} \Gamma$  ( $D_{\text{л}}$  – діаметр пучка випромінювання лазера;  $\Gamma$  – збільшення телескопа);  $\theta$  – кут розбіжності пучка випромінювання (рад) після телескопа  $\theta = \theta_{\text{л}} / \Gamma$  ( $\theta_{\text{л}}$  – кут розбіжності пучка після лазера);

- діаметр роликів 5 і 6:

$$D_p = \Delta F;$$

- кут нахилу осей роликів для забезпечення зазору між верхніми сторонами стрічок 8 і 9:

$$\varepsilon = \gamma / 2 = \arcsin \frac{F\theta}{2D_p};$$

- швидкість переміщення заготівки відносно пучка випромінювання  $V$ :

$$V = fS,$$

де  $f$  – частота надходження імпульсів випромінювання;  $S$  – крок відносного зміщення пучка випромінювання і заготівки.

Якщо в операції використовується лазер безперервної дії, то порядок розрахунків залишається, лише змінюються величини, які характеризують пучок випромінювання.

### Поверхнєве гравірування виробів із термопластмас

Описаний вище метод гравірування не застосовується для виробів із термопластмас, тому що, по-перше, в зоні обробки необхідно збільшити критичний за фазовими переходами (по плавленню або випаровуванню) рівень густини потужності і, по-друге, наявність у ній розплаву матеріалу істотно знижує якість малюнка. Тому ці операції частіше виконуються за схемою контурного гравірування [1]. Додатковою особливістю цих матеріалів є можливість мати різний колір і насиченість при одній матриці, наприклад із поліметилметакрилату (акрилу), за рахунок використання барвників. Тому вироби з одного й того ж матеріалу (за складом) можуть бути ефективно оброблені різними за довжиною хвилі пучками випромінювання: більш прозорі, для яких  $\alpha < 10^2$  см<sup>-1</sup> (наприклад, від лазера на гранаті YAG: Nd<sup>+3</sup> або волоконного Yt<sup>+3</sup>), піддаються об'ємному руйнуванню внаслідок створення в зоні опромінення об'ємного теплового джерела, тоді як випромінювання з поверхневим характером поглинання енергії ( $\alpha > 10^3$  см<sup>-1</sup>) впливає на вироби поверхнево – випаровуючи матеріал шар за шаром. З метою використання цих можливостей впливу на вироби з термопластмас створена широка номенклатура останніх, в тому числі з металевими прошарками, які дають змогу в оздоблювальних цілях, а також для виготовлення з них промислових виробів, наприклад елементів друкарських форм, вибірково (пошарово) руйнувати матеріал заготівки. Випадки з поверхневим впливом випромінювання на заготівку розглянуто в [1, 7], але відсутність даних з обробки пластмас утруднює використання наведених методик.

Дослідження, які виконано в другій частині статті, необхідні для створення інформа-

ційної бази оптимізації операцій лазерної обробки в операціях поверхневого гравірування.

*Об'єктом досліджень* було усвідомлено вибрано акрилову пластмасу (поліметилметакрилат), тому що цей конструкційний і оздоблювальний матеріал широко обробляють лазерним випромінюванням.

*Метою досліджень* було:

- рішення завдання вибору типу лазера і режиму його роботи з міркувань ефективності обробки та якості її результатів;
- визначення розмірної оброблюваності пластмас та можливостей керування результатами обробки;
- розроблення рекомендацій для режимного забезпечення операцій поверхневого гравірування.

*Методика досліджень.* Експерименти виконано за класичною (однофакторною) методикою фізичних (пізнавальних) експериментів, тому що кібернетичні методи не дають можливості одержати результати, які придатні для змістовного обговорення явищ. При обробці експериментальних даних використано елементи математичної статистики для оцінки числових характеристик випадкових величин.

*Обладнання.* Лазерну установку українського виробництва серії ГПЛТ, яку має сучасний стіл на повітряній подушці з лінійними приводами і програмним керуванням переміщень від процесора, було підготовлено до експериментів із використанням одномодових випромінювачів: на  $\text{CO}_2$ , з імпульсною накачкою (частота подачі імпульсів до 5 кГц) із середньою потужністю до 10 Вт, а також на  $\text{YAG}$ :

$\text{Nd}^{+3}$  з безперервною накачкою та модуляцією випромінювання акусто-оптичним затвором до одержання імпульсного режиму з частотою до 25 кГц при середній потужності 8 Вт. Промінь останнього перетворювали штатною оптичною системою СОК-1, для налагодження якої застосовано додатковий He–Ne-лазер за схемою [8]. Для налагодження спеціальної оптичної системи з перетворювальною лінзою із SeZn відносно поверхні зразка використовували видиме випромінювання напівпровідникового лазера на  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $\lambda = 0,62$  мкм).

*Результати досліджень.* Попередні експерименти, які виконано з пучками випромінювання різної довжини хвилі (1,06 і 10,6 мкм) за різних умов подачі енергії (безперервний та імпульсний) на зразках з акрилу різного забарвлення, дали можливість обмежити об'єм досліджень, оскільки:

- використання безперервного режиму подачі енергії при відносно низькому рівні потужності випромінювання нераціонально внаслідок низької якості контурної лінії, що пов'язано з великою кількістю розплаву в зоні обробки;

- обробка випромінюванням лазера на гранаті ( $\lambda = 1,06$  мкм) при однакових просторових та енергетичних характеристиках пучка характеризується меншою ефективністю процесу і низькою якістю результатів (більшою варіацією розмірів, особливо глибини) через невідомість рівня та характеру поглинання випромінювання майже видимої частини спектра як окремими ділянками одного зразка, так і різними за кольором пластмасами.

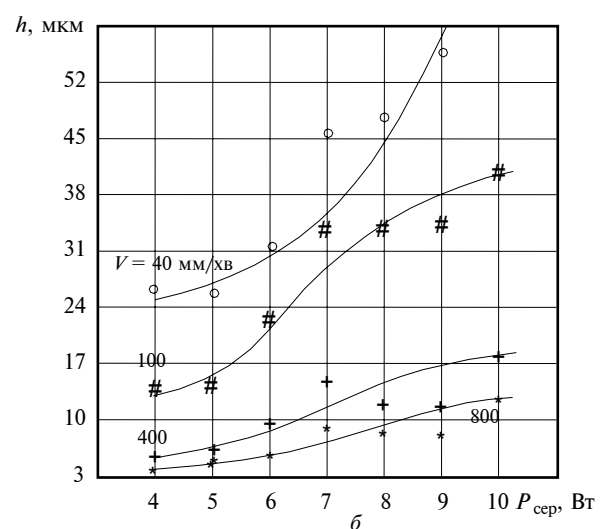
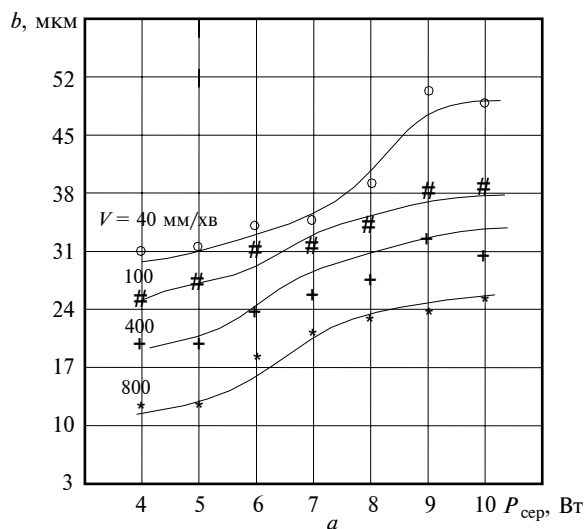


Рис. 4. Розмірні показники контурної лінії (ширина  $b$  (а) і глибина  $h$  (б)) на зразку з акрилу, гравіровані випромінюванням  $\text{CO}_2$ -лазера (імпульсний режим, частота 5 кГц), фокусна відстань лінзи 50 мм

Цим пояснюється вибір випромінювача – імпульсного лазера на  $\text{CO}_2$  (10,6 мкм) моделі ЛГІ-50-3 середньої потужності 10 Вт українського виробництва (м. Рівне).

На рис. 4 наведено одержані розмірні результати досліджень, показники їх відтворюваності (коефіцієнти варіації) не перевищували значення 3 %, тому їх залежності виключено.

### Об'ємне гравірування виробів із термопластмас

Зменшений рівень коефіцієнта поглинання  $\alpha$  за умови відповідного співвідношення типу пластмаси та довжини хвилі випромінювання дає можливість створювати об'ємні інформативні символи за поверхневою, тобто двокоординатною, схемою обробки. Така можливість досягається за умови концентрації енергії випромінювання в глибині матеріалу заготовки під поверхневим шаром до рівня щільності потужності, достатнього для комбінованого руйнування пластмаси розплавленням та випаровуванням.

Запропонований вид гравірування [9] реалізується сфокусованим пучком лазерного випромінювання, який направляють на поверхню виробу, причому довжину хвилі випромінювання вибирають з умови об'ємного поглинання його енергії матеріалом виробу, а перетяжку сфокусованого пучка заглиблюють під поверхню виробу на величину  $\Delta F$  (“–”), зумовлену теплофізичними властивостями матеріалу, розмірами символу, який наноситься (шириною його контуру), і потужністю випромінювання  $P$ . Швидкість контурного переміщення променя  $V$  вздовж контурної лінії малюнка визначається величиною необхідної енергії для переробки матеріалу виробу вздовж одиничної його довжини. Реалізація способу здійснюється в такий спосіб: для відомого матеріалу виробу вибирають тип випромінювання за довжиною хвилі залежно від розрахункового значення коефіцієнта поглинання  $\alpha_p$  (Бугера):

$$\alpha_p = \alpha = \frac{B c_p W_p^{\text{пл}}}{K L_{\text{пл}}},$$

де  $B$  – нормалізований коефіцієнт поглинання ( $B \leq 0,1$  – поглинання об'ємне);  $c_p$  – питома теплоємність;  $W_p^{\text{пл}}$  – критична за плавленням щільності потужності теплового потоку для ма-

теріалу заготовки;  $K$  – коефіцієнт теплопровідності;  $L_{\text{пл}}$  – питома теплота плавлення її матеріалу. Далі визначають величину заглиблення перетяжки каустики пучка випромінювання в заготовку:

$$\Delta F \leq -\frac{1}{a_p} \ln \frac{\pi d_0^2 W_p^{\text{пл}}}{4P},$$

де  $d_0$  – діаметр перетяжки каустики пучка випромінювання, і вибирають лінзу за необхідною фокусною відстанню:

$$F \leq D \Delta F \left\{ \left[ \frac{4P}{\pi W_p^{\text{пл}}} \right]^{1/2} - d_0 \right\}^{-1}.$$

Після коректування кута розбіжності пучка випромінювання до величини  $\theta = d_0/F$  за допомогою телескопа та налаштування приводу переміщення виробу на рівень швидкості

$$V \leq \frac{4P}{\pi d_0 \Delta F L_0}, \quad (4)$$

( $L_0$  – питома енергія плавлення матеріалу виробу) виконують обробку контуру малюнка. Формування малюнка на поверхні виробу базується не на принципі чистого випаровування матеріалу, а на принципі його спінування, тобто сумісних процесів плавлення та випаровування. На рис. 5 показано приклад гравірування на виробі з акрилу. Випромінювач – ЛГІ-502 ( $P \leq 30$  Вт для  $\text{TEM}_{mn}$  та  $P \leq 8$  Вт із 100-ною % модуляцією для  $\text{TEM}_{00}$ ), режими обробки:  $P = 25$  Вт;  $f = 15$  кГц;  $V = 200$  мм/хв;  $F = 50$  мм;  $\Delta F = -1$  мм.

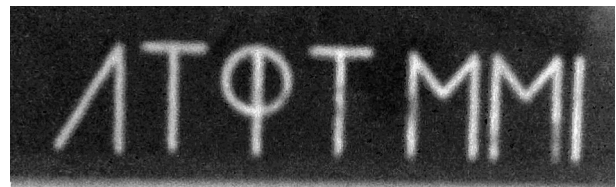


Рис.5. Приклад об'ємного гравірування

Цей спосіб гравірування використовувався для нанесення написів на клавіатурі персональних комп'ютерів. Матеріал клавіш – полістирол ( $W_p^{\text{пл}} = 10^3$  Вт/см<sup>2</sup>,  $K = 0,01$  кал/см·с·град,  $c_p = 0,15$  кал/г·град;  $L_{\text{пл}} = 0,1 \cdot 10^3$  кал/г,  $L_0 =$

$= 0,6 \cdot 10^3 \text{ Дж/см}^3$ ). Розрахункові значення параметрів:  $\alpha_p = 15 \text{ см}^{-1}$  (для  $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ ),  $\Delta F = -0,08 \text{ см}$ ,  $F = 3,9 \text{ см}$ ,  $\theta = 0,015$ ,  $V = 3,54 \text{ см/с}$ . Час гравірування одиничного знака довжиною  $0,5 \times 0,6 \text{ см}$  дорівнював  $0,5 \text{ с}$ , що дало змогу скоротити тривалість виготовлення одного набору клавіатури в 10 разів. Використання запропонованого способу сприяє формуванню опуклого знака на поверхні виробу без порушення його суцільності. Нанесений знак має змінене (біле матове) забарвлення, найбільш контрастне на темних сортах полістиролу (акрилу).

### Висновки

Ефективний метод гравірування виробів із пластмаси вибирається із врахуванням її властивостей:

- копіюванням маски на поверхню заготовок із термореактивних матеріалів з використанням механізму зміни якостей поверхні заготовки в межах малюнка (кольору або шорсткості);

- заготовки з термопластичних пластмас можуть оброблятися в режимі випаровування елементів малюнка (необхідно використовувати лазерне випромінювання з поверхневим характером поглинання його енергії, наприклад від  $\text{CO}_2$ -лазера) або з формуванням об'ємних його елементів (ліній) внаслідок спінування приповерхневого шару пластмаси без руйнування поверхні заготовки (потрібне випромінювання з об'ємним поглинанням енергії, наприклад, видимого або близького інфрачервоного діапазонів).

Виконані дослідження (див. рис. 4) дають можливість керувати розмірними параметрами контурної лінії умовами опромінення заготовки в операціях поверхневого гравірування, тоді як одержання подібних залежностей для об'ємного гравірування ускладнюється додатковим впливом кольору барвника та його насиченістю в заготовці, тому розрахунковий режим потребує експериментального уточнення.

Розв'язанню останньої задачі будуть присвячені наступні роботи із вдосконалення режимного забезпечення операцій об'ємного гравірування термопластичних пластмас.

В.П. Котлярів, Е.А. Лавриненков, А.А. Титаренко, М.А. Аліверді

#### ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ГРАВИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

Приведены результаты разработанных операций поверхностного гравирования изделий из термореактивных и термопластичных пластмасс, первые из которых обрабатываются методом копирования с изменением вида поверхности заготовки в границах рисунка, а другие – гравировются контурным методом, но в зависимости от типа лазерного излучения контурная линия может быть в виде следа испарения или выпуклой. Последнее интересно для нанесения букв и знаков на клавиатуре ПК.

V.P. Kotlyarov, Ye.O. Lavrinenkov, O.O. Titarenko, M.A. Aliverdi

#### THE SPECIFICITY OF LASER ENGRAVING OF PLASTIC PRODUCE

This paper highlights the developed techniques of the surface engraving of thermosetting and thermoplastic plastics. Thermosetting plastics are processed by the printing method with the change of surface state of the detail parts within the picture boundaries. Thermoplastic plastics are engraved by the contour method but depending on the laser radiation type a contour line can be depicted as an evaporation track or a protuberant. The latter procedure can be of practical use for engraving letters and signs on the personal computer keyboard.

1. Котлярів В.П., Кіані А.К., Рахшані А.Р. Технологічне забезпечення операцій лазерного гравірування // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2007. – № 2. – С. 46–55.
2. Патент України № 52116 В23К 26/00. Спосіб обробки матеріалів лазерним випромінюванням / В.П. Котлярів, М.В. Галина, М.Х. Хаджі. – Оуб. 24.08.2010; Бюл. № 16.
3. А.с. СССР № 745104 В23К 26/04. Сопло фокусирующего устройства для газолазерной обработки материалов / В.П. Котлярів, В.И. Волгин, В.С. Коваленко, 1978.
4. <http://plastics.com.ua>
5. Вейко В.П. Лазерная микрообработка. – СПб.: ГУ ИТМО, 2005. – 110 с.

6. *Патент України № 42237 В23К 26/08*. Установа для лазерного гравірування / В.П. Котляров, Е. Вахдатінія. – Оуб. 25.06.2009; Бюл. № 12.
7. *Котляров В.П.* Вопросы качества изготовления печатных форм методами лазерной технологии // *Технологія і техніка друкарства (ВПІ) НТУУ “КПІ”*. – 2006. – № 3. – С. 12–34.
8. *Патент України № 41613 В23К 26/06*. Пристрій для лазерної обробки / В.П. Котляров, А.М. Аліверді. – Оуб. 25.05.2009; Бюл. № 10.
9. *Патент України № 51707 В23К 26/00*. Спосіб лазерного гравірування / В.П. Котляров, Є.О. Лавріненко, М.Х. Хаджі. – Оуб. 26.07.2010; Бюл. № 14.

Рекомендована Радою  
Механіко-машинобудівного інституту  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
10 серпня 2010 року