

Лазерна розмірна обробка

Розділ 3 (подовження)

Презентація 6

електронний дидактичний демонстраційний
матеріал

супроводження дисципліни

Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(протокол №9 від "21" ТРАВНЯ 2015 р.)

Автор: проф. Котляров В.П.

Відповідальний редактор електронного посібника
доц. Зоренко О.В. (ВПІ НТУУ «КПІ»)

Розділ 3. **Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення технологічних операцій ЛРО (подовження)**

- | | |
|---|-------------------------|
| 3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин | През. №5, сл.№8 |
| 3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин | През. №6, сл.№4 |
| 3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів | През №5, сл.№21 |
| 3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО | През. №5, сл.№2 |
| Додаток до розділу 3 (завдання на СРС) | През. №5, сл.№41 |
| Контрольні запитання та завдання | През. №5, сл.№51 |
| Бібліографічний опис | През. №5, сл.№57 |

Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення технологічних операцій ЛРО

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.1. *Прийоми, які сприяють здобуттю порожнини заданого рівня якості*

През. №6, сл.№4

3.2.2. *Методи усунення розтріскування матеріалу заготовок у стінок порожнини*

През. №6, сл.№5

3.2.3. *Методи покращення поперечної форми оброблювальної порожнини*

През. №6, сл.№7

3.2.4. *Методи покращення подовжньої форми оброблювальної порожнини*

През. №6, сл.№8

През. №6, сл.№10

Додаток до розділу 3.2. (завдання на СРС)

През. №6, сл.№16

Контрольні запитання та завдання

През. №6, сл.№18

Бібліографічний опис до розділу 3.2

През. №6, сл.№19

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

Враховуючи, що **якість** є комплексним критерієм обробки, вживані прийоми вдосконалення процесу можуть стосуватися її окремих показників або комплексної властивості:

- прийоми, які підвищують рівень якості порожнини до заданого рівня;
- методи усунення тріщинуватості стінок порожнини;
- методи покращення поперечної форми оброблювальної порожнини;
- методи покращення подовжньої форми оброблювальної порожнини.

3.2.1. Прийоми, які сприяють здобуттю порожнини заданого рівня якості.

1. Простим способом підвищення якості результатів обробки порожнини (зменшення величини поля розсіяння розмірів попереку, усунення **недоліків поперечної та повздовжньої форми**, видалення застиглої розплави зі стінок порожнини) є її **доопрацювання механічними засобами**, наприклад, **прошивкою пуансонами**, прокачуванням гідро абразивної суміші, **ультра звуковою обробкою**.

Зовнішні недоліки – утворення ґрату довкола вхідної кромки – можуть бути усунені дією ріжучого інструменту, рухомого по поверхні заготовки від механічного приводу і який встигає зняти матеріал до його повного охолодження [68].

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.1. Прийоми, які сприяють здобуттю порожнини заданого рівня якості.

2. Обробка порожнин достатньої якості в заготовках із легкоплавких матеріалів або з високою теплопровідністю ускладнюється великою кількістю розплаву в порожнині під час обробки. Окрім оптимізації режимів опромінення заготовки і вживання додаткових засобів дії на розплав (стисле повітря, енергія полів, вакуум і ін.) виключити заплавлення порожнини можна при **підвищенні тиску пари в зоні обробки**, використовуючи додатковий матеріал що вводиться в зону опромінення (рис. 3.26) і має низьку в порівнянні з матеріалом заготовки температуру випари T_e . Це можна реалізувати **двома пучками лазерного випромінювання 1 і 2**, наприклад видимого **1** (робочого) і інфрачервоного діапазонів **2** (додаткового), що направляються на загальну фокусуючу лінзу **3** за допомогою інтерференційного дзеркала **4**. Промені можуть подаватися одночасно або другий за першим. На поверхню заготовки **5** в місці обробки порожнини наноситься крапля **6** з матеріалу, який має температуру випари T_e суттєво меншу, ніж температура плавлення матеріалу заготовки ($T_e \ll T_{пл}$) та прозорий для робочого випромінювання. Промінь **1**, проходячи через краплю **6**, розплавляє матеріал заготовки в об'ємі передбачуваної порожнини **7**. Пучок випромінювання **2** у цей момент випаровує краплю **6**, утворюючи співвісний з променями вибуховий газоподібний потік, який виносить розплав **8** з порожнини **7** [69].

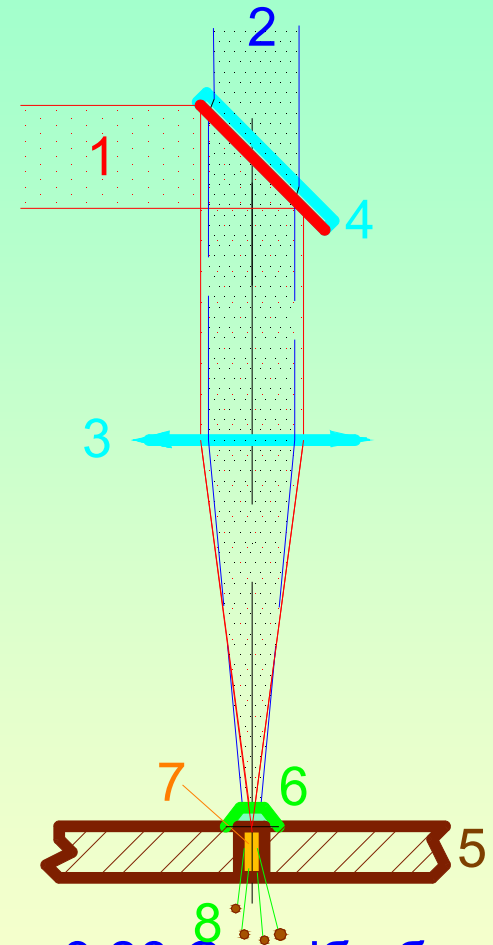


Рис.3.26. Спосіб обробки порожнини з очищенням її каналу паром з каплі

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.1. Прийоми, які сприяють здобуттю порожнини заданого рівня якості.

3. Обробка порожнини великого розміру ($D > 1$ мм), за схемою випарювання матеріалу заготовки зі всієї її площі, потребує високого рівня енергії променя для досягнення необхідного рівня інтенсивності випромінювання в зоні опромінення. **Контурна вирізка** згідно із схемою рис.3.27 вимагає меншої імпульсної енергії, хоча і менш продуктивна, причому, можлива **схема опромінення пучком кільцевої форми**, або при обході контуру порожнини пучком з простою поперечною формою (рис.3.27). У останньому випадку необхідно забезпечити **захист стінок різку** від налипання матеріалу, що руйнується, особливо при використанні імпульсних режимів подачі енергії. Достатньою якістю характеризуються отвори, оброблені **за наступною послідовністю** (рис.3.28). Спочатку прошивають **уздовж контуру розміром D** систему отворів **1** розміром d з кутовим кроком $\varphi > 360d/\pi D$, потім формується система отворів **2**, які руйнують перемички між отворами ряду **1** [70].

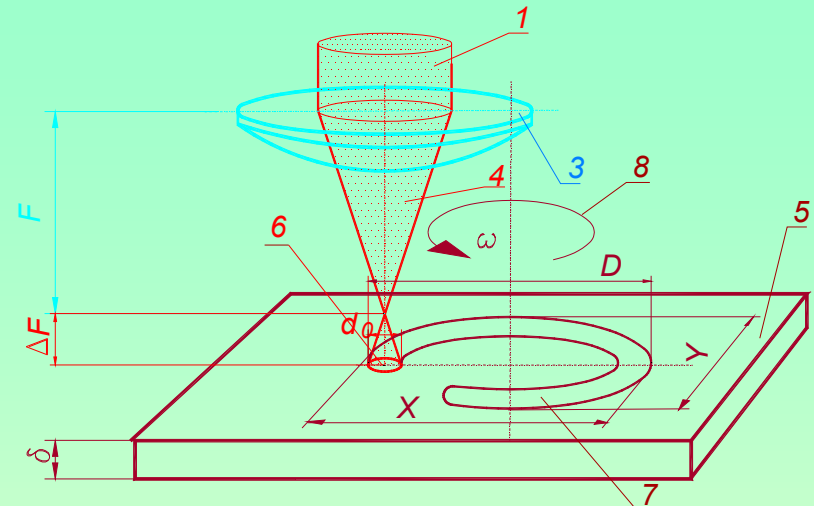


Рис.3.27. Схема обробки отворів великих розмірів методом трепанції

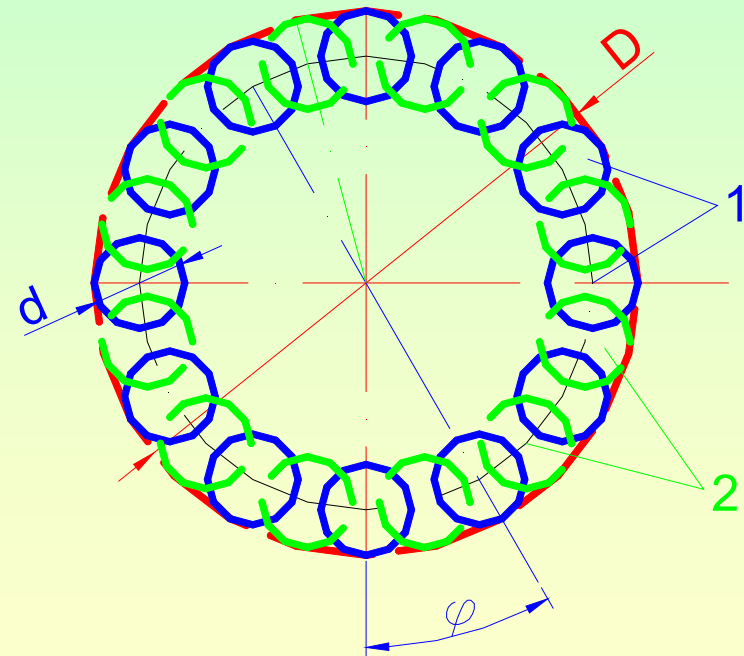


Рис.3.28. Схема формоутворення порожнини великого розміру 6

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.2. Методи усунення розтріскування матеріалу заготовок у стінки порожнини

Чинниками тріщинуватості є низька теплопровідність і крихкість матеріалу, його недостатня міцність, а також великий об'єм паротворення при композиційній будові матеріалу заготовки (порошкові, спечені зв'язкою, насичені волокнами і ін.).

1. При обробці скляних заготовок (прошивці отворів, вирізанні пазів складної форми) навіть застосування випромінювання, що добре поглинається склом ($\lambda = 10,6\text{мкм}$), не дозволяє виконувати якісну обробку із-за тріщинуватості матеріалу. Ці недоліки усуваються при обробці заготовок, підігрітих до $T = 260 - 560^\circ\text{C}$ [71].

2. Подібні недоліки при виготовленні виробів із штучних або природних алмазів пояснюються інтерференцією ударних хвиль, що виникають в зоні дії пучка лазерного випромінювання і відбиваються від внутрішніх стінок заготовки. Нагрів останньої не дає помітного ефекту, тоді як її розміщення на час операції в ртуті [72], яка добре розсіює механічні коливання і усуває тріщинуватість заготовки.

3. Заготовки, виготовлені методами порошкової металургії, що містять порожнечі, газові включення або легкоплавкі добавки, при лазерній обробці мають тенденцію до розтріскування із-за їх швидкого скипання і утворення усередині матеріалу пари з високим тиском. Для усунення цього заготовку просочують в вакуумі полімерною смолою або металом з низьким паротворенням, потім на поверхню наносять поверхневе покриття у вигляді тонкої плівки із тієї ж смоли з наповнювачем: Al_2O_3 , склом або іншими. Перед обробкою заготовку обтискують, що спільно з просоченням і покриттям попереджає утворення тріщин [73, 74].

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.3. Методи покращення поперечної форми оброблювальної порожнини

1. Методи формування отворів правильної простої і складної форми розглянуто вище, додаткові прийоми призначено для спрощення технологічної операції і засновані на оптимізації режимного забезпечення та матеріального оснащення.

2. Порожнини прямокутного контуру будь-яких розмірів в тонких листових заготовках 1 (рис.3.29) за відсутності приводу програмного відносного переміщення променя та заготовки можна виготовляти переміщенням вздовж контуру порожнини не профільованого променя, заздалегідь обтиснувши заготовку з двох сторін допоміжними пластинами з матеріалу 2 і 3 високої теплопровідності і теплоємності. В обох пластинах заздалегідь виготовляються наскрізні порожнини відповідного профілю і розміру, а у верхній пластині робиться скіс 4 для зменшення діафрагмування пучка [75].

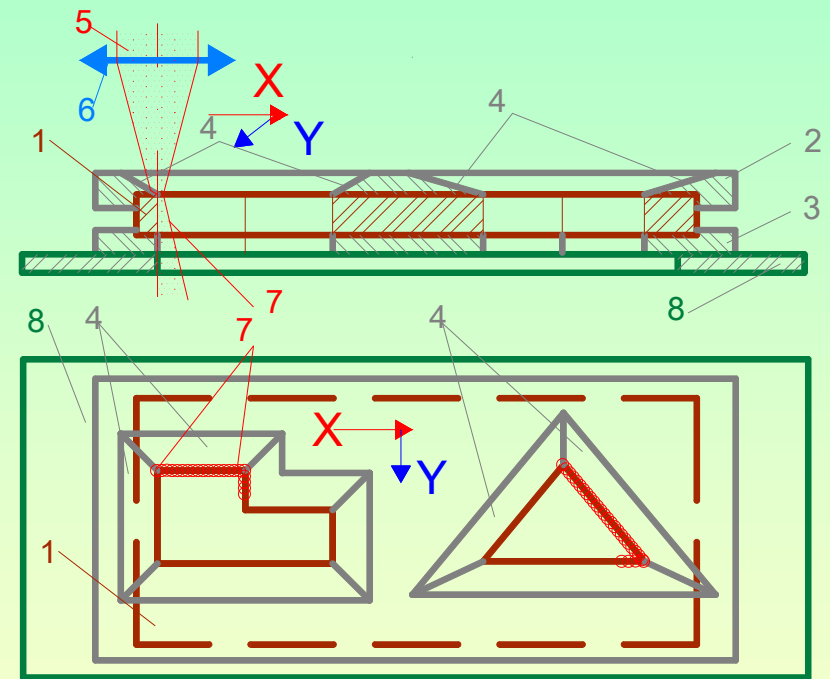


Рис.3.29. Схема обробки та приладдя для вирізання прямокутних вікон (пазів)

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.3. Методи покращення поперечної форми оброблювальної порожнини

3. Покриття поверхні заготовки шарами жаростійкої плівки дозволяє уникнути приварювання рідких крапель, налипання грату. Якщо використовувати, наприклад, плівку з нітриду бору, вона видаляється гарячою водою, лугом.

4. Систему порожнин з їх точним розташуванням у відсутність позиціонеру з числовим програмним керуванням (ЧПК) зручно обробляти через шаблон з прозорого або непрозорого матеріалу, в якому виготовлено систему координатно розташованих вікон незначно більшого розміру, чим оброблювальні. Поєднуючи центр перехрестя наглядової оптичної системи ЛТУ з центрами вікон в шаблоні, досягають точного розташування оброблювальних елементів після їх обробки через вікна в шаблоні. Краї вікон в шаблоні можуть мати скоси і використовуватися для обрізання периферійної ділянки променя, що підвищить якість поперечної форми оброблених порожнин. [76].

5. Принциповим при прошивці круглих отворів в рухомій листовій заготовці є співпадіння напрямів руху заготовки і прокачування газу в CO_2 – лазері з поперечним прокачуванням. В цьому випадку при дії променя в межах зони опромінення здійснюється перекриття пічків лазерного випромінювання і отвір набуває круглої форми навіть при русі заготовки [77].

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.4. Методи покращення подовжньої форми оброблювальної порожнини

Як відомо, подовжня форма оцінюється мірою її відповідності заданій по загальній конфігурації і хвилястістю стінок. Якщо перший недолік пов'язаний з мірою відповідності каустики випромінювання оптимальній, то другою причиною є нестабільність формування і руху розплаву в час і після закінченні обробки.

1. Багато імпульсний режим (БІО) формування порожнин супроводжується додатковим спотворенням профілю із-за багатократної переплавки і твердіння матеріалу на стінці отвору. Внаслідок цього радикальним представляється такий спосіб обробки, при якому пауза у надходженні імпульсів має бути недостатньою для повного охолодження матеріалу, тоді розплав рухається безперервно, утворюючи гладку поверхню стінки порожнини. Проте, враховуючи локальність нагріву і високі швидкості відведення тепла, реалістичнішим здається метод утримання температури матеріалу біля стінки отвору шляхом підігрівання зони обробки електричним струмом, електромагнітним полем або плазмою в разі його охолодження в перервах між імпульсами [78].

2. При формуванні крізної порожнини в одноімпульсному режимі завданням підвищення якості подовжнього профілю є усунення залишкових об'ємів розплаву, які не видалилися самі в процесі паротворення матеріалу в порожнині. Найбільш очевидним представляється шлях створення штучного робочого потоку газу, що виконує функцію «двірника».

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.4. Методи покращення подовжньої форми оброблювальної порожнини

Першими для цієї мети були запропоновані способи продування оброблювальної порожнини **попутним** (а) або **зустрічним** по відношенні до пучка випромінювання (б) **поток**ом повітря (рис. 3.30). У першому випадку зона обробки на поверхні заготовки **герметизується зверху** камерою 1 з вікном 2, прозорим для випромінювання 3. Створений надлишковий тиск p газу, що подається у камеру, не лише сприяє **винесенню розплаву**, але і прискорює формування крізної порожнини [79]. У другому варіанті камера 1 розташовується знизу заготовки 4 і тиск газу p , який подається знизу заготовки і досягає величин 0,3-2 МПа, «прориває» канал порожнини при проплавленні заготовки тепловим потоком. Основні **недоліки** цієї схеми – газ діє лише на розплав, що утворюється в кінці операції, посилюється викид продуктів руйнування у бік оптичного елемента, що вимагає його ретельного захисту [80].

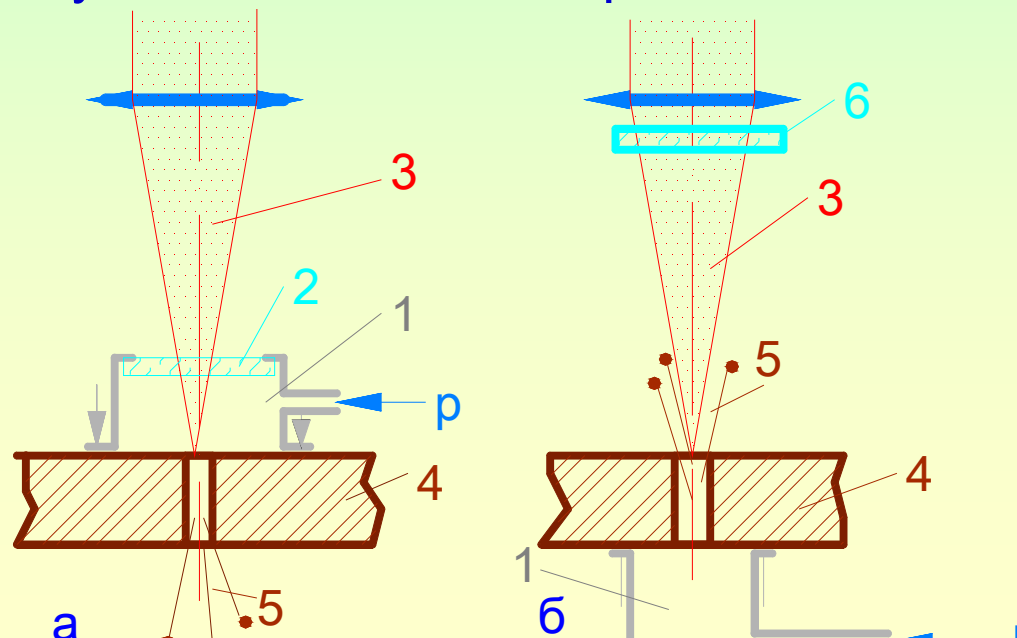


Рис. 3.30. Схема обробки порожнини з очищенням її каналу стислим газом

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.4. Методи покращення подовжньої форми оброблювальної порожнини

3. Подібного ефекту, проте, простішими матеріальними засобами, можна досягти при формуванні штучного газового потоку, що «промиває» порожнину, і використанні залишкової енергії імпульсу для його ініціації. З цією метою при обробці заготовку необхідно розташувати на підкладці з матеріалу, який легко випарюється або горить, створюючи великий об'єм пари, наприклад пластиліну [81], пластику (який горить) [82], порошку із скла, графіту [83] або поміщаючи заготовку в контакт з добре поглинаючою рідиною [84].

4. Окрім боротьби з розплавом методом його видалення із порожнини тим, чи іншим засобом застосовуються способи зменшення об'єму на етапі формоутворення порожнини. Як відомо, при поверхневому поглинанні випромінювання товщина розплаву визначається теплофізичними властивостями матеріалу і тривалістю теплової дії ($z_p \approx 4\sqrt{at}$), тоді одним із шляхів є скорочення тривалості імпульсу. Інший шлях – зменшення теплових властивостей оброблювального матеріалу, що можливо в деяких межах впливом на структуру матеріалу. Це досягається при її подрібненні тим або іншим способом, наприклад, в результаті пластичної поверхневої деформації або термообробки. Для цього можна зміщувати операцію ЛРО в порядку технологічного процесу за операцію термічної або хіміко-термічної обробки (якщо така передбачена в технологічному процесі виготовлення виробу). Або можна скористатися можливістю місцевого загартування матеріалу пучком лазерного випромінювання, тобто виконувати розмірну обробку після попереднього опромінення зони обробки лазерним випромінюванням в зміцнюючому режимі.

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.4. Методи покращення подовжньої форми оброблювальної порожнини

В такому технологічному процесі в **порядку операцій** повинні чередувати **зміцнюючі** і **руйнівні** їх види або відповідні **переходи** в одній операції **БЮ** із своїми режимами обробки (рис.3.31), тобто із зміною тривалості діяння τ і інтенсивності в зоні обробки: від $\tau_1 = 10^{-2}$ с і $I_p < 10^4$ Вт/см² до $\tau_2 = 10^{-4}$ с і $I_p > 10^7$ Вт/см² [85]. Такий ступінчастий режим опромінення може бути реалізований роботою **двох різних випромінювачів**, або **перемиканням режиму роботи одного** (рис.3.31). Для цього в його резонаторі обертається **диск 1** з двома **круговими пазми 2 і 3**. Паз **2** пропускає весь імпульс випромінювання з режимами τ_1, E_1 , а **3** – затримує його початок, нагромаджуючи **інверсію** в **активному середовищі** (φ_3) і обрізує задню частину **укороченим пазом 3** до $\tau_{пор}$. Схема синхронізації (отвір **4**) **забезпечує початок роботи випромінювача через паз 2**. [86].

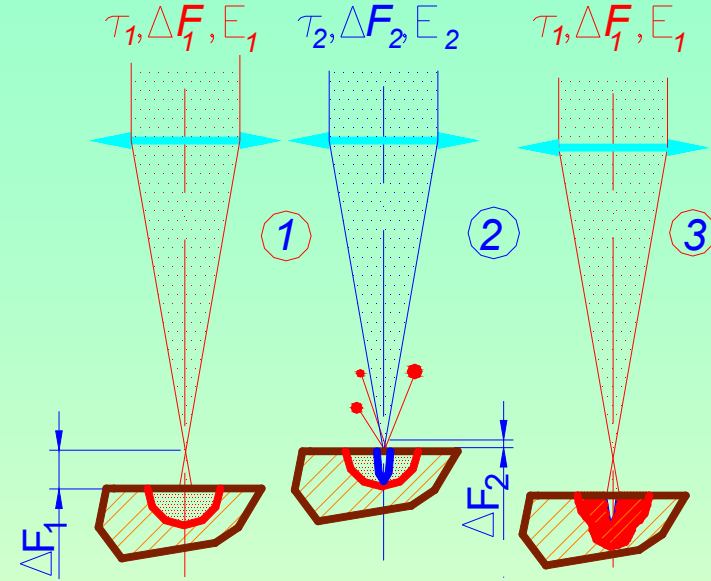


Рис. 3.31. Схема операції з комплексом переходів

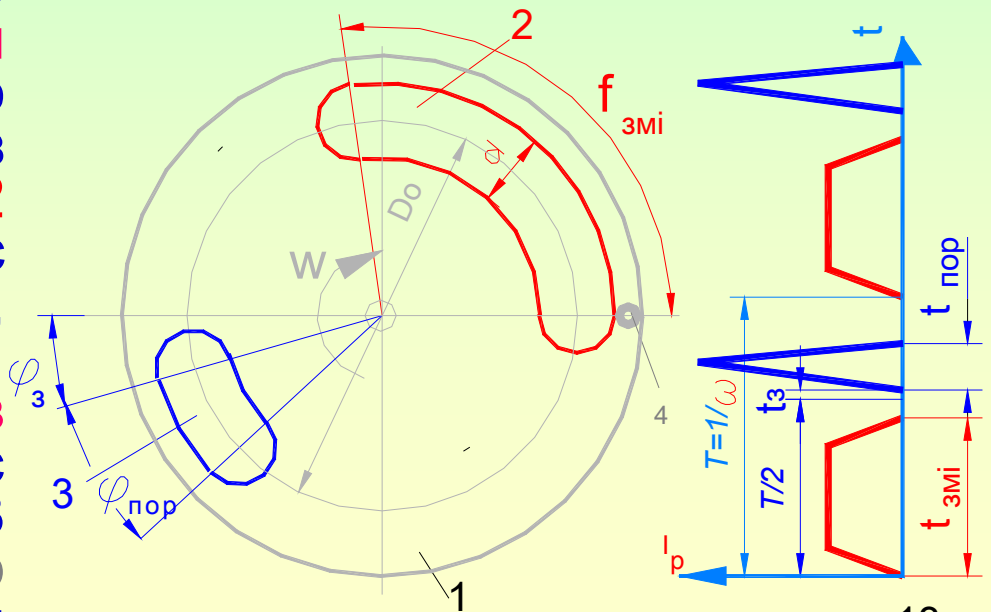


Рис. 3.32. Пристрій для формування череди імпульсів різної інтенсивності

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.4. Методи покращення подовжньої форми оброблювальної порожнини

4. Для усунення інших недоліків подовжньої форми у порожнини – вхідного і вихідного конуса застосовують метод **компенсаційної пластини**, що накладається **зверху** 4 [87] або **знизу** 5 [88], і в яку переводяться конусні частини порожнини ($D_k - d_k$) або для цього залишають **припуск**, що видаляється на подальших операціях.

5. **Управління подовжнім профілем** порожнини можна здійснювати шляхом **доопрацювання вихідної її частини** за рахунок використання енергії випромінювання, що пройшла через сформовану порожнину. Для цього за заготівкою розташовують **плоске** (1), **конічне** (2) або **сферичне дзеркало** (3), що надає потрібну форму **каустиці пучка** випромінювання для обробки нижньої ділянки порожнини (рис. 3.34).

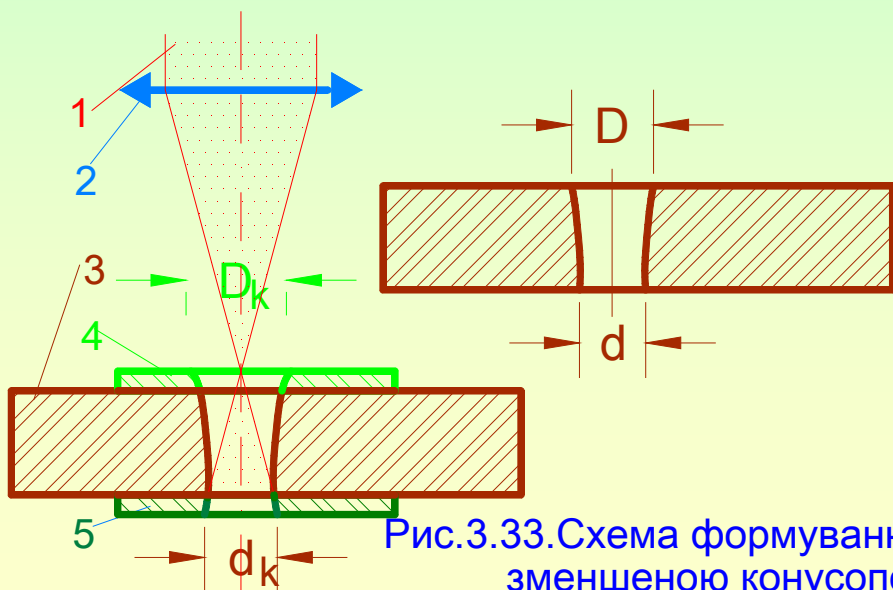


Рис.3.33.Схема формування отвору із зменшеною конусоподібністю

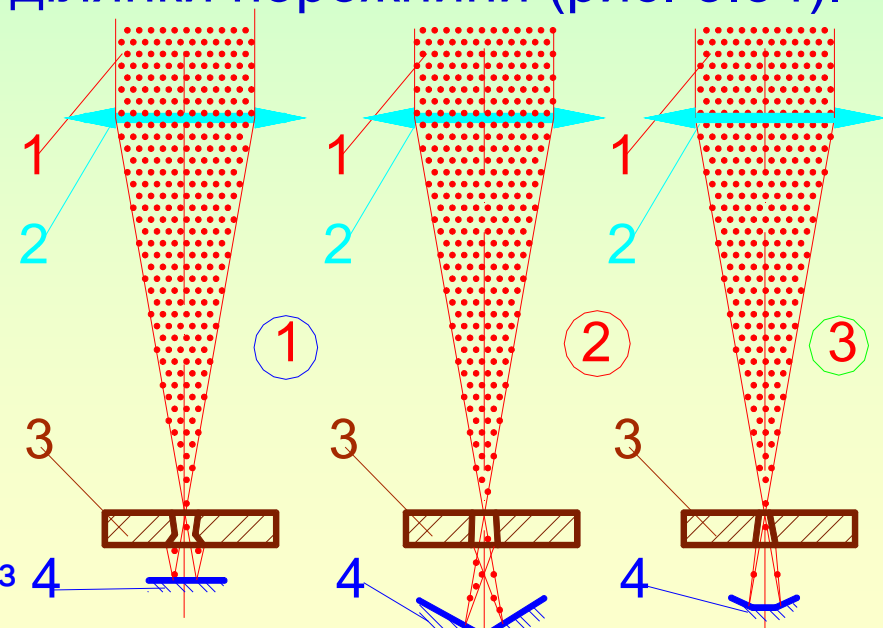


Рис.3.34.Схема доопрацювання порожнини зворотнім дінням пучка випромінювання

3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

3.2.4. Методи покращення подовжньої форми оброблювальної порожнини

Для керування подовжньою формою порожнини можливе застосування декількох методів обробки в одній технологічній операції. Прикладом цієї схеми може бути електролазерна обробка, що поєднує лазерну чорнову обробку з ініціацією за допомогою факелу електроерозійного розряду між заготівкою і додатковим електродом. За першою схемою (а) – електродом служить кільце 1 з дроту, через яке проходить пучок випромінювання, по другій (б) – додаткова пластина 1, на якій через пластину із діелектрику (основа кіноплівки) 2 розташовується заготівка 3 (рис. 3.35). У першому випадку розрядний контур RC працює під час кожного імпульсу, обробляючи електричним розрядом лунку, що утворилася, в іншому - розряд ініціюється один раз при формуванні крізного каналу порожнини і руйнуванні діелектрика 2. Ерозійний факел при випарі електроду 1 іонізує розрядний проміжок 3-1, а виникаючий розряд каналізується в межах отвору в діелектрику 2 і формує порожнину заданого профілю і розміру. Управління процесом відбувається енергією і розміром пучка лазерного випромінювання, ємністю і рівнем запасеної в ній енергії $CU^2/2$, а також кількістю імпульсів розряду [89].

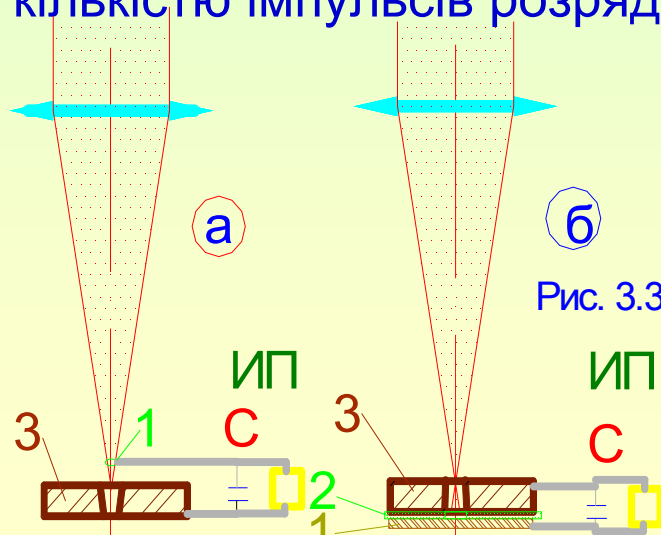


Рис. 3.35. Схема операцій електролазерної обробки порожнини

Додаток до розділу 3.2. (завдання на СРС)

1. Завдання на СРС 1: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу механічного доопрацювання отвору після лазерної обробки з метою усунення одного з недоліків операції (за вибором студента).

2. Завдання на СРС 2: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу створення умов для реалізації додаткового очищення порожнини отвору діянням додаткових видів енергії з метою підвищення якості результатів технологічної операції (критерій якості - за вибором студента).

3. Завдання на СРС 3: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу оперативного впливу на конфігурацію резонатора технологічного лазера з метою компенсації його часової деградації або планового змінення для варіативного керування режимом лазерної обробки протягом операції.

4. Завдання на СРС 4: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу контурного вирізання порожнин з простим за формою попереком (круглої, багатогранної форми, подовжнього пазу) у випадку недостатності енергетичних властивостей променя або із його надмірною потужністю (за вибором студента).

5. Завдання на СРС 5: Розробити схему або конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу усунення тріщин біля обробленого лазерним променем елемента виробу із схильних для розтріскування матеріалів внаслідок своїх теплофізичних і механічних властивостей або складу та структури.

6. Завдання на СРС 6: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу формування порожнини методом трепанації за умови відсутності програмно керуваного відносного переміщення інструмента та заготовки.

Додаток до розділу 3.2. (завдання на СРС)

7. Завдання на СРС 7: Розробити конструкцію пристрою (модулятора добротності резонатора) для керування часовою структурою імпульсу випромінювання із оптимальною скважністю пічків, яка виключає вихолодження матеріалу в порожнині під час перерви в їх подачі нижче температури його отвердіння (кристалізації) або запропонувати інший спосіб обробки з цією (за вибором студента).

8. Завдання на СРС 8: Запропонувати схему технологічної операції, в якій використано додатковий вплив на розплавлений матеріал заготовки в оброблювальній порожнині (надлишковий тиск, вакуум, енергія полів, сили інерції, тощо) та пристрою для її реалізації (схематично або конструктивно) (за вибором студента).

9. Завдання на СРС 9: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу поєднання впливу на теплопровідність матеріалу заготовки (шляхом її термічної обробки або місцевого наклепу) з переходами формування порожнини лазерним променем. Бажано виконання обох видів обробки в одній операції на єдиному технологічному обладнанні.

10. Завдання на СРС 10: Розробити конструкцію дзеркального пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу доопрацювання обробленої порожнини зворотнім діянням лазерного променя, який залишився невикористаним після виходу із порожнини з тилу заготовки або при подачі додаткових імпульсів. Необхідно передбачити можливість оперативного змінення конфігурації дзеркальної поверхні для створення можливості керування повздовжнім профілем оброблювальної порожнини.

11. Завдання на СРС 11: Розробити конструкцію пристрою для реалізації електролазерного методу формування отвору з можливістю оперативного (автоматизованого) змінення діелектричної прокладки та додаткового електроду.

Контрольні запитання та завдання

1. Якими способами обробки можна досягти заданого рівня якості обробки порожнини (хвилястості та шорсткості поверхні її стінок, відсутності тріщин та ін.)?
2. Які причини та засоби усунення погрешностей поперечної форми порожнин?
3. Які причини та засоби усунення погрешностей подовжньої форми порожнин?
4. Яким чином можна керувати формою подовжнього профілю порожнини (не режимні засоби)?
5. Які похибки супроводжують ЛРО пазів та щілин та якими засобами можна усунути недоліки в їх формоутворенні?

Бібліографічний опис до розділу 3.2

68. Заявка Японії № 58-32591 В23К 26/00, оп. 25.02.1983р
69. Заявка Японії № 56-144890 В23К 26/00, оп. 11.11.1981р
70. А.с. 1140356 СРСР МКІ³ В23К 26/00 / Пристрій для лазерної обробки [Текст] / Є.Д.Вакс, Б.М.Соколов, Н.Е.Соколова (СРСР) - №3684654/27; 04.01.1984 . опубл. 27.01.1997
71. Патент США № 4410008 В23К 27/00, оп. 12.06.1984р
72. Заявка Японії № 50-21717 В26F 1/30, оп. 24.07.1975р
73. Патент США № 4267427 В23К 27/00, оп. 12.05.1981р
74. Заявка Японії № 52-156431 В23К 27/00, оп. 21.12.1977р
75. Заявка Японії № 58-9782 В23К 26/00, оп. 20.01.1983р
76. Заявка Японії № 56-128691 В23К 26/04, оп. 08.10.1981р
77. Заявка Японії № 61-82987 В23К 26/00, оп. 26.04.1986р
78. Патент США № 4288769 В23К 26/16, оп. 08.09.1981р
79. Патент Великобританії № 247666 В23К 27/80, оп. 23.03.1971р
80. А.с. СРСР № 189083 В23К 26/00, оп. 12.08.1967р
81. Заявка Японії № 55-33886 В23К 26/00, оп. 10.03.1980р
82. Заявка Японії № 56-42393 В23К 26/16, оп. 09.05.1981р
83. Заявка Японії № 58-218387, В23К 26/00, оп. 19.12.1983р
84. Заявка Японії № 57-42433 В23К 26/00, оп. 08.09.1981р
85. Патент 42516 Україна, МКІ³ В23К 26/06. Спосіб лазерної обробки отворів в металевих заготовках [Текст] / В.П. Котляров, Хамеді - № u 2009 00916 ; заявл. 06.02.2009 ; опубл. 10.07.2009 , бюл. №13. 3 с. : іл.
86. Патент 42519 Україна, МКІ³ В23К 26/06. Пристрій для лазерної обробки отворів в металевих виробах [Текст] / В.П. Котляров, А.Аліверді, І.Вахдатінія - № u 2009 00919 ; заявл. 06.02.2009 ; опубл. 10.07.2009 , бюл. №13. 3 с.: іл.

Бібліографічний опис до розділу 3.2

87. Заявка Японії № 49-22577 B26F 1/30, оп. 08.06.1974р

88. Заявка Японії № 58-58987 B23K 26/00, оп. 07.04.1983р

89. Заявка Японії № 48-21796 H01S 1/04, від. 30.04.1973р

Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення технологічних операцій ЛРО

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

През.№6, сл.№22

3.3.1. *Вдосконалення режимів обробки в операціях ЛРО пазів*

През.№6, сл.№23

3.3.2. *Лазерне вирізання пазів з використанням додаткових видів енергії*

През.№6, сл.№28

3.3.3. *Особливі засоби лазерної розмірної вирізки пазів*

През.№6, сл.№31

Додаток до розділу 3.3. (завдання на СРС)

През. №6, сл.№32

Контрольні запитання та завдання

През. №6, сл.№33

Бібліографічний опис до розділу 3.3

През. №6, сл.№34

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

Основними недоліками ЛРО пазів є: грат біля їх вхідної частини, клиноподібність та хвилястість поверхні стінок пазу і розплав на нижній крайці різі у нижній поверхні заготовки (дрос).

Розмірна обробка листових матеріалів виконується за однією із наступних схем:

- крихке руйнування керованою термопружною напругою (вирізка пазів в заготовках із скла);
- дряпання (скрайбування) заготовки на деяку глибину з подальшим механічним ламанням;
- крізне плавлення заготовки з вимиванням розплаву додатковим газовим струменем;
- крізний випар матеріалу з самовидаленням розплаву енергією газового потоку.

Способи вдосконалення операцій цього виду ґрунтуються на оптимізації режиму опромінення, поєднанні лазерної обробки з дією додаткових видів енергії, а також застосуванні особливих прийомів для деяких операцій.

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.1. Вдосконалення режимів обробки в операціях ЛРО пазів

До цих прийомів можна віднести способи, опромінення, що відрізняються умовами, і по технології формування пазу.

1. При розмірній обробці скла для виведення початкових зон руйнування за межі контуру виробу і виключення перетворення випару в режим термічного розколювання необхідно починати опромінення заготовки зі скла в русі вздовж лінії пазу із-за його меж на оптимальній швидкості і потужності випромінювання, причому швидкість має бути більшою, ніж швидкість поширення теплової хвилі в склі ($V_{т.хв.} \sim 50\text{мм/с}$). Необхідна потужність для наскрізної обробки заготовки із скла товщиною 5 мм дорівнює 500-1000Вт [90].

2. При скрайбуванні заготовок з напівпровідникових матеріалів з метою їх розділення на розмірні частини пропонується некрізний різ (скрайб) робити хвилеподібним по глибині з виходом на протилежну сторону різа з максимальною глибиною. Це дозволяє виконувати повний комплекс обробки на цілісній заготовці, не побоюючись її передчасної ломки. Керування глибиною різку пропонується виконувати:

- зміною інтенсивності накачування активного середовища ($I_{нак}$, $P_{нак}$)
- перемиканням добротності резонатору $Q = (100 - \tau_{пр})/100$ ($\tau_{пр}$ – коефіцієнт пропускання напівпрозорого дзеркала резонатора);
- зміною швидкості переміщення заготовки V_3 при опроміненні з постійною потужністю випромінювання $P = \text{Const}$ [91].

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.1. Вдосконалення режимів обробки в операціях ЛРО пазів

3. Тупикові пази необхідно закінчувати не виключенням швидкості або потужності випромінювання, а плавною зміною умов опромінення (рис.3.37) – у бік зменшення інтенсивності випромінювання [92]

4. Пази та вікна в листових заготовках із трансформаторного заліза, які поступають після лазерного вирізання на збірку, не повинні мати **напливів або грату** (дрос) на їх нижній стороні. Це досягається при її одночасній обробці з двох сторін (рис.3.38) двома пучками випромінювання – потужним 1 для формування основного пазу і менш потужним 2 – що формує канавку 4 із зворотного боку заготовки, глибина якого h не менше висоти грату δ [93].

5. При замкнутому контурі пазу його початок обробляють у вигляді отвору, для формоутворення якої змінюють частоту шпаруватості подачі імпульсів. Спочатку частота мінімальна, період найбільший. У міру зростання глибини порожнини шпаруватість зменшують із-за чого зростає енерговклад діяння в одиницю часу. Як тільки утворюється крізний отвір, випромінювання переводять в безперервний режим. Цим уникають перегріву матеріалу на початковій ділянці пазу [94].

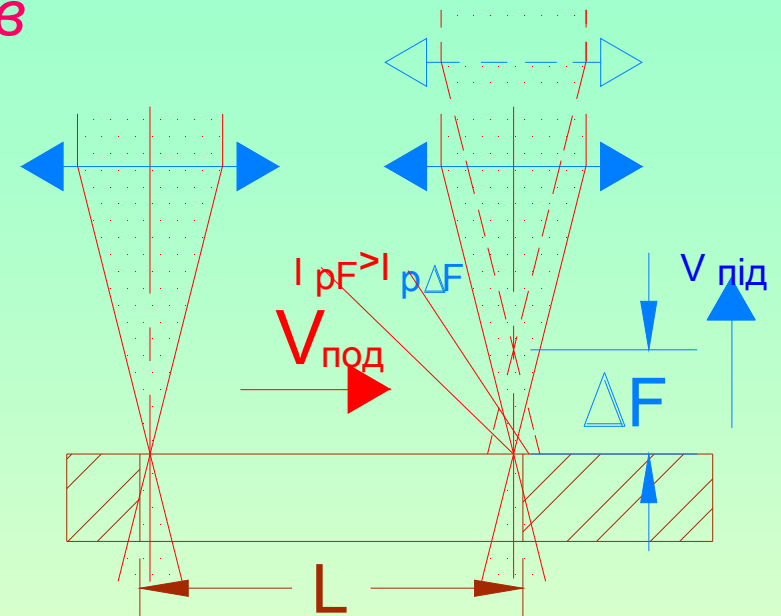


Рис.3.37.Схема формування тупикового різ

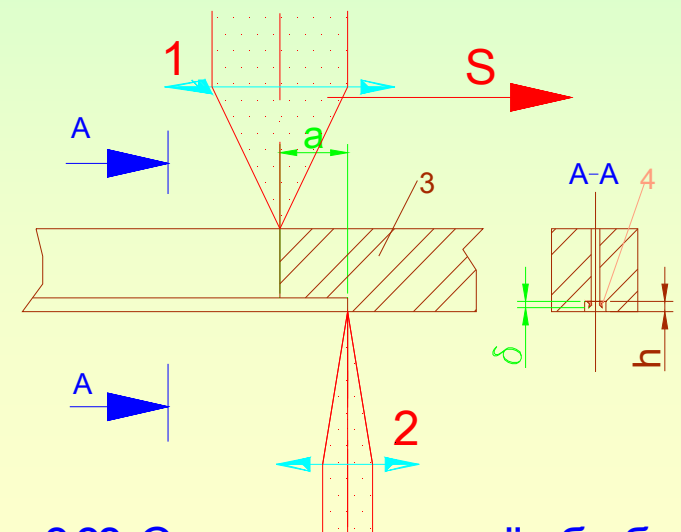


Рис.3.38. Схема двохсторонньої обробки пазу в заготовці без дросу на її тильній стороні

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.1. Вдосконалення режимів обробки в операціях ЛРО пазів

3. Тупикові пази необхідно закінчувати не виключенням швидкості або потужності випромінювання, а плавною зміною умов опромінення (рис.3.37) – у бік зменшення інтенсивності випромінювання [92]

4. Пази та вікна в листових заготовках із трансформаторного заліза, які поступають після лазерного вирізання на збірку, не повинні мати **напливів або грату** (дрос) на їх нижній стороні. Це досягається при її одночасній обробці з двох сторін (рис.3.38) двома пучками випромінювання – потужним 1 для формування основного пазу і менш потужним 2 – що формує канавку 4 із зворотного боку заготовки, глибина якого h не менше висоти грату δ [93].

5. При замкнутому контурі пазу його початок обробляють у вигляді **отвору**, для формоутворення якої змінюють частоту шпаруватості подачі імпульсів. Спочатку частота **мінімальна**, період найбільший. У міру зростання глибини порожнини **шпаруватість зменшують** із-за чого зростає енерговклад діяння в одиницю часу. Як тільки утворюється **крізний отвір**, випромінювання переводять в безперервний режим. Цим уникають **перегріву матеріалу** на початковій ділянці пазу [94].

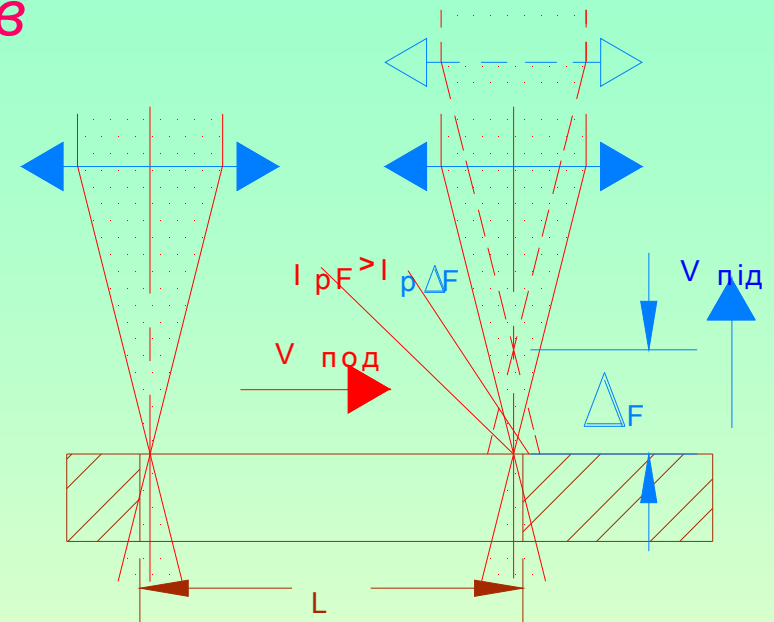


Рис.3.37.Схема формування тупикового різь

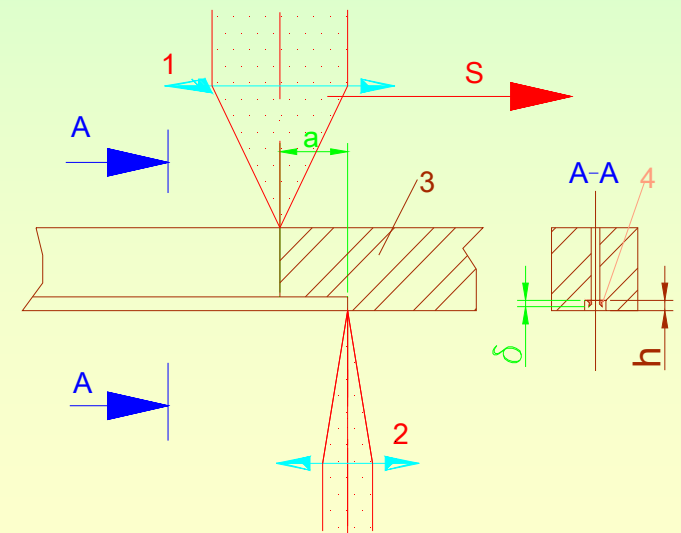


Рис.3.38. Схема двохсторонньої обробки пазу в заготовці без дросу на її тильній 25 стороні

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.1. *Вдосконалення режимів обробки в операціях ЛРО пазів*

6. Усунення клиноподібності пазу (різу) може бути досягнуте при підтримці оптимального рівня інтенсивності випромінювання вздовж товщини заготовки. Для цього необхідно під час лазерного опромінення здійснювати коливальні переміщення каустики уздовж осі пучка. В практиці випромінювання подається оптичним волокном до зони обробки, а коливання надають перетворюючій лінзі синхронно з величиною сигналу, пропорційному інтенсивності відбитого від оброблювальної поверхні випромінювання або інтегральній величині свічення поверхні зони опромінювання. У міру видалення (випари) матеріалу із зони обробки інтенсивність випромінювання на поверхні руйнування матеріалу швидко зменшується, тому пов'язані з цим зсуви лінзи відновлюють початкові умови опромінення, що дозволяє зберегти постійній ширину пазу [95].

7. Використання лінійно-поляризованих променів при обробці пазів з обходом його контуру дозволяє зменшити на 40-50% ширину формоутворюючого різку в порівнянні з обробкою плоскополяризованим променем, проте, якщо площина поляризації не збігається з напрямом різання, то ширина удвічі збільшується, тому при обробці складних за формою пазів необхідно змінювати напрям поляризації, погоджуючи його з напрямом швидкості різання. При взаємно перпендикулярних напрямках переміщень (вирізка прямокутних порожнин) необхідно повертати вектор на 90° [96] методом зміни шляху пучка випромінювання, що проходить через орієнтовані під кутом 90° один до одного чверть хвильові френелівські призми в кожному каналі. Якщо паз має складніший профіль, то напрям вектора повинен плавно змінюватися за допомогою пристрою для обертання площини поляризації (рис. 3.39), що містить ряд дзеркал 1-3, причому кожне з них встановлене під кутом Брюстера до осі пучка ($\varphi_B = \arctg n_n/n_o$). При повороті корпусу пристрою на кут β площина поляризації пучка після нього обертається на кут 2β [97].

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.1. Вдосконалення режимів обробки в операціях ЛРО пазів

3.3.2. Лазерне вирізання пазів з використанням додаткових видів енергії

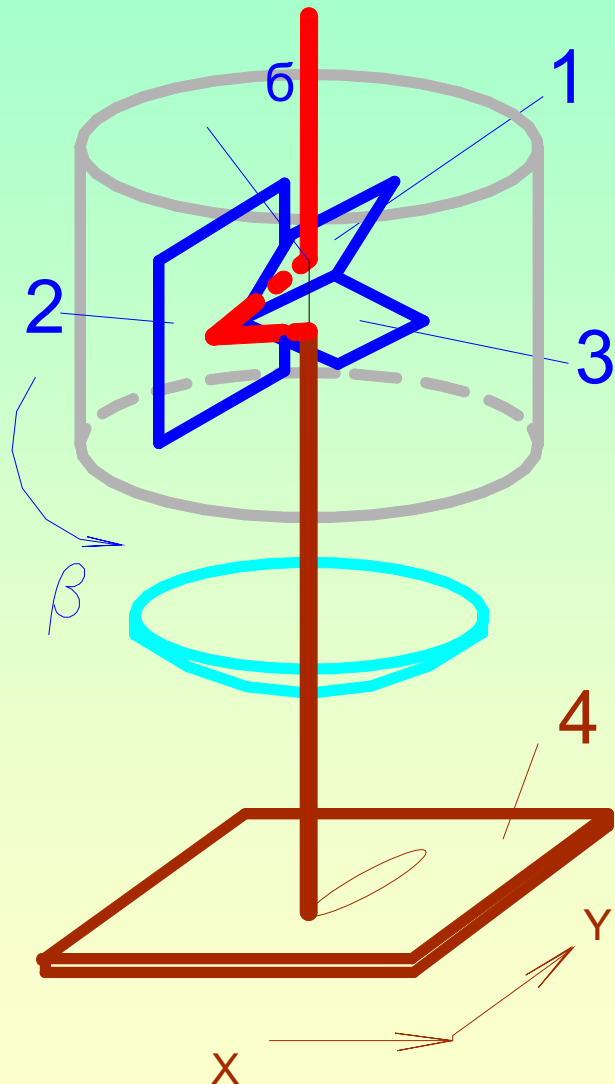


Рис.3.39. Пристрій для лазерної обробки пазів складної поперечної форми

1. Як і розмірна обробка отворів, вирізання пазів і щілин здійснюється з кращою якістю при додатковому підігріванні заготовки, наприклад, поміщаючи її на столі ЛТУ [98], що нагрівається, або підігріваючи заготовку гарячим газом, випереджаючи дію пучка лазерного випромінювання [99].

2. Позитивно на якість обробки (усунення грату з поверхні виробу та розплаву із стінок пазу) позначається накладення на нижню і верхню сторони заготовки магнітного поля від потужних електромагнітів [100].

3. Часто при обробці крізних пазів лазерним випромінюванням процес активізують потоком газу для вимивання розплаву, який може прямувати співвісно або під кутом до променя. Крім того, можна газовими струменями, що подаються одночасно співвісно і похило, залучити плазму в процес обробки. Співвісний газ утворює плазму, а похилий - направляє її у потрібному напрямі [101].

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.2. Лазерне вирізання пазів з використанням додаткових видів енергії

4. Підігрів заготовки може виконуватися за допомогою робочого пучка лазерного випромінювання унаслідок його перетворення. Промінь 1 (рис. 3.40) прямує на напівпрозоре дзеркало 2, нахилене під кутом 45° . Основна частина пучка, відбившись від дзеркала 3, концентрується в зону обробки лінзою 4. Частина пучка 5 від дзеркала 2 потрапляє на опукле сферичне дзеркало 6, створюючи промінь 7, що розходиться, і дзеркалом 3 і лінзою 4, додатково опромінює зону обробки на поверхні заготовки 8, що обробляється основним пучком. Після нагріву поверхні заготовки до температури необхідного рівня дзеркало 6 зміщується в положення 6', пропускаючи промінь 5 на дзеркало і лінзу 10, яка його гостро фокусує в зону дії основного пучка, що продовжує обробляти заготовку [102].

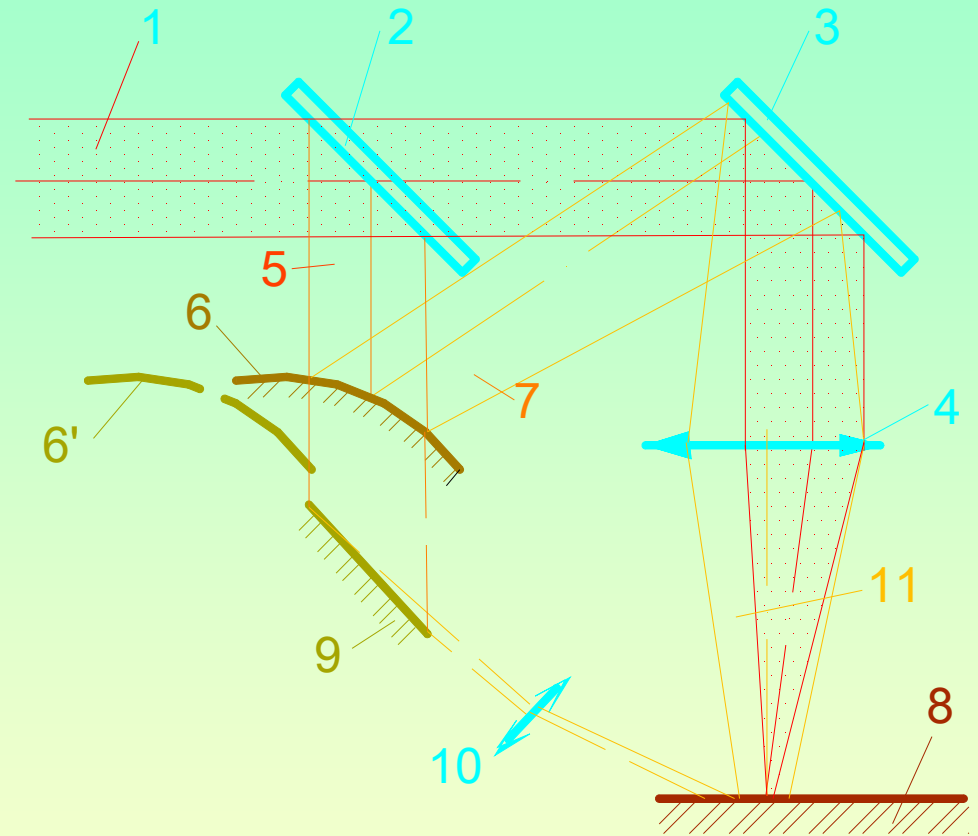


Рис.3.40. Схема лазерного вирізання пазів підігрівом поверхні заготовки

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.2. Лазерне вирізання пазів з використанням додаткових видів енергії

5. Додаткове підвищення якості і продуктивності операції вирізки пазів отримують при поєднанні енергії лазерного випромінювання і дуги електричного розряду (рис. 3.41). Розряд 1 формується між заготовкою 2 і електродом 3, встановленим на торці різачу 4, через який подається захисний газ (N_2 , Ar , He або ін.). Електрод зазвичай виготовляється з тугоплавких матеріалів (вольфрам, кераміка і ін.). Розряд може бути електричним [103] або коронним кільцевим [104].

6. Струмінь газу може виключити формування дросу на нижній кромці стінки різучого пазу. Наприклад, при вирізанні пазу в стінці трубчастої заготовки досить прокачувати через неї повітря або охолоджений газ з швидкістю до 15-20 м/с [105].

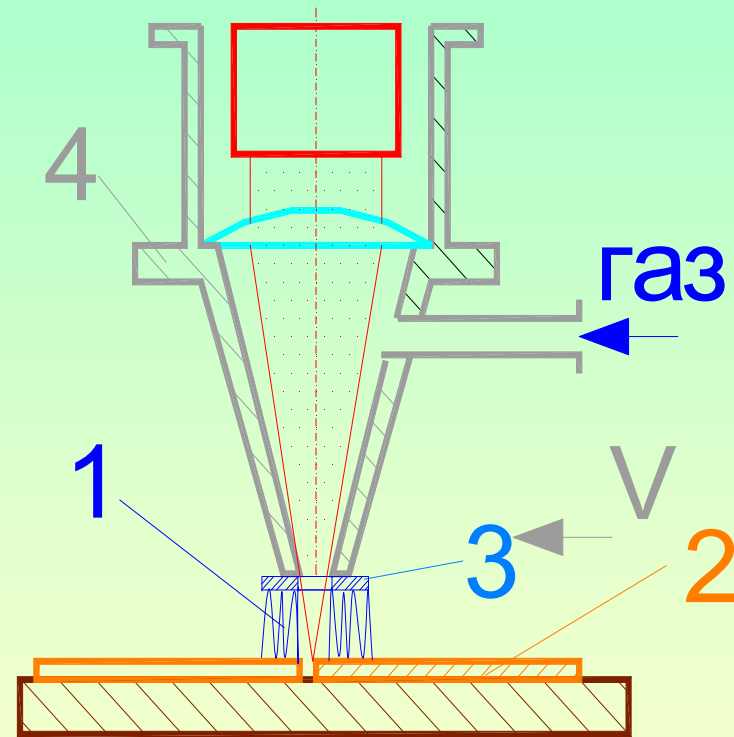


Рис. 3.41. Схема комплексної (лазерної та дугової) ЛРО пазів

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.2. Лазерне вирізання пазів з використанням додаткових видів енергії

7. При ЛРО пальних матеріалів в газолазерному режимі з подачею газу, який утримує кисень, з одного боку, процес обробки активізується, з іншого боку, можливе його перетворення в автогенний. Якщо подавати неактивний газ (N_2 , CO_2 або інертний газ Ar , Xe , He) можна зберегти режим лазерної обробки з властивою їй якістю, проте ефективність процесу падає.

Компроміс може бути досягнутий при подачі окислювача і інертного газу, які чергуються, з частотою f :

$$f = V^2 / a,$$

де V - швидкість різання, a – коефіцієнт теплопровідності [106].

8. Стабілізація температури заготовки і утилізація продуктів лазерної ерозії, які знаходяться в порожнині пазу, що вирізається лазерним променем (особливо при опроміненні в імпульсному режимі), досягаються при розміщенні заготовки в рідині (воді) на деякій глибині. Доступ випромінювання до поверхні заготовки забезпечується при здуванні з неї рідини струменем газу і формуванні в останній лунки [107].

3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

3.3.3. Особливі засоби лазерної розмірної вирізки пазів

1. В операції контурного вирізання пазу зменшення ширини зони термічного впливу і підвищення чистоти поверхні пазу досягаються при опроміненні заготовки через накладку з міді, що розташовується на її поверхні, і має крізні отвори $\varnothing 0,1-0,5$ мм вздовж контуру пазу для пропуску випромінювання. Товщина накладки 1 – 4 мм [108].

2. Для запобігання налипанню крапель розплаву оброблюваного матеріалу на нижню кромку вирізаємого пазу заготовку на час обробки розташовують на підкладці, яку виготовлено з матеріалу, що має підвищену адгезію оброблювального матеріалу [109].

3. Пази в термопластичному тканому матеріалі вирізаються якісно в пакеті, якщо шари тканини чергувати з шарами з не термопластичного матеріалу, що запобігає зварці шарів по кромках різу [110].

4. Для запобігання розтіканню тепла із зони обробки при вирізанні пазу в заготовці із крихкого матеріалу, що могло б викликати його розтріскування, контуру майбутнього пазу передують з внутрішнього його боку неглибокою канавкою, що не впливає на якість профілю пазу, але заважає розтіканню тепла з майбутньої зони його вирізання (рис.3.42)[111].

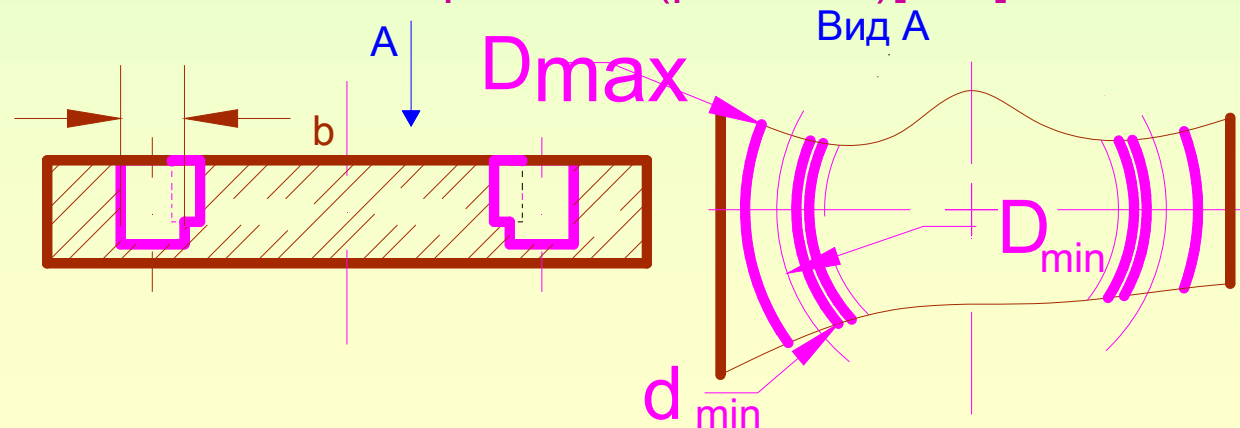


Рис.3.42. Схема обмеження відтіку тепла із зони опромінення пазу створенням додаткового із його внутрішній сторони

Додаток до розділу 3.3. (завдання на СРС)

1. Завдання на СРС 1: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного розкроювання крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням відомих рекомендацій.
2. Завдання на СРС 2: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного скрайбування крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням рекомендацій або оригінальних.
3. Завдання на СРС 3: Розробити пристрій для швидкого змінення умов опромінення для формування якісного тупикового різу (пазу).
4. Завдання на СРС 4: Розробити схему або конструкцію оптичної силової системи для сканування каустики пучка випромінювання вздовж передньої крайки різу (по товщині заготовки) для підвищення прямолінійності стінок вирізаємих виробів.
5. Завдання на СРС 5: Розробити конструкцію оптичної системи для керування направленням лінійної поляризації променя в операціях контурного вирізання розмірних пазів.
6. Завдання на СРС 6: Розробити пристрій для комбінованої електролазерної обробки кільцевих пазів.
7. Завдання на СРС 7: Розробити систему швидкісного чередування при подачі активного (кисень) та неактивного газів із заданою частотою співвісно з віссю лазерного променя.
8. Завдання на СРС 8: Створити технологічне забезпечення операції формування розмірних пазів в заготовках із крихких матеріалів з виключенням їх розтріскування шляхом обмеження розтікання тепла із зони опромінення.

Контрольні запитання та завдання

1. Якими способами обробки можна досягти заданого рівня якості обробки пазів (форми їх попереку, хвилястості та шорсткості поверхні стінок, відсутності тріщин та ін.)?
2. Які причини та засоби усунення погрешностей поперечної форми пазів після лазерної обробки?
3. Якими пристроями повинна бути наділена ЛТУ для прорізання пазів кільцевої або прямокутної подовжньої форми?
4. Яким чином можна керувати формою попереку пазів в операціях лазерної обробки (не режимні засоби)?
5. Які похибки супроводжують ЛРО пазів та щілин та якими засобами можна усунути недоліки в їх формоутворенні?
6. Яким чином впливає вид поляризації лазерного променя на результати контурного вирізання пазів та щілин? Які рекомендації можна запропонувати для зменшення або усунення впливу цього фактору?
7. Чи ефективно застосування додаткових видів енергії в операціях ЛРО для підвищення якості вирізання пазів та щілин? Які види енергетичних впливів застосовуються для підвищення якості операцій? Навести їх приклади.

Бібліографічний опис до розділу 3.3

90. Заявка Японії № 61-88991 В23R 26/00, оп. 07.05.1986р
91. Заявка Японії № 51-3955 В26F 3/14, оп. 06.02.1976р
92. Заявка Японії № 59-76687 В23К 26/00, оп. 01.05.1984р
93. Заявка Японії № 58-224090 В23К 26/00, оп. 26.12.1983р
94. Заявка Японії № 61-38698 В23К 26/00, оп. 09.07.1986р
95. Заявка Японії № 58-38698 В23К 26/02, оп. 07.03.1983р
96. Заявка Японії № 59-150691 В23К 26/08, оп. 28.08.1984р
97. Заявка Японії № 58-16786 В23К 26/06, оп. 31.01.1983р
98. Заявка Японії № 58-196188 В23К 26/00, оп. 15.11.1983р
99. Заявка Японії № 61-86090 В23К 26/14, оп. 01.05.1986р
100. Заявка Японії № 61-37391 В23К 26/00, оп. 22.02.1986р
101. Заявка ФРН № 2506645 В23К 26/14, оп. 03.12.1982р
102. Заявка Японії № 56-154290 В23К 26/00, оп. 28.11.1981р
103. Заявка Японії № 59-191587 В23К 26/12, оп. 30.10.1984р
104. Патент США № 4167602 В23К 9/00, оп. 11.09.1979р
105. Заявка Японії № 57-138600 В23F 3/06, оп. 26.08.1982р
106. А.с. 1202176 СРСР МКІ³ В23К 26/12. Способ газолазерной резки горючих материалов [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, В.В.Романенко (СРСР) - №3773544 /25-27 ; заявл. 20.06.1984р. (без публ.)
107. Патент США № 4125757 В23К 26/02, оп. 14.11.1978р
108. Заявка Японії № 59-27792 В23К 27/00, оп. 14.02.1984р
109. Заявка Японії № 61-126987 В23К 26/00, оп. 14.06.1986р
110. Заявка Японії № 61-33785, В23К 26/00, оп. 17.02.1986р
111. Заявка Японії № 56-6794 В23К 26/00, оп. 23.01.1981р