

Лазерне скрайбування та терморозколення крихких матеріалів

Лазерне випромінювання знайшло дуже ефективне використання для розділення твердих та крихких матеріалів, таких, наприклад, як скло, кераміка напівпровідники, тощо. Причому, в цьому випадку немає необхідності весь процес різання виконувати у повному обсязі, тобто весь об'єм матеріалу переводити в розплавлений чи газоподібний стан, і таким чином витратити значну кількість енергії на обробку. Замість цього, створюючи за допомогою лазерного випромінювання особливий напружено-деформований стан, можна для розділення цих матеріалів використати їхню основну властивість – крихкість.

8.1 Лазерне скрайбування

Слово “скрайбування” походить від англійського “to scribe” – дряпати. Процес скрайбування – це традиційний метод розділення крихких матеріалів. Суть технології скоайбування полягає в тому, що якимось твердосплавним чи алмазним інструментом на матеріал, що оброблюється, наноситься направляюча подряпина (так званий “підріз”), по якій навіть при незначному зусиллі відбувається розділення крихкої речовини. Проте такий процес досить трудомісткий і характеризується виникненням досить високого відсотку браку після обробки.

У випадку використання лазерного променя як інструмента для скрайбування неглибокий надріз може бути виконаним як за допомогою імпульсного, так і за допомогою неперервного лазерного випромінювання. Такий спосіб скрайбування порівняно з традиційним має ряд переваг:

1. високу швидкість скрайбування (до 15 м/хв);
2. можливість отримання більшої у 2 – 3 рази порівняно з алмазним скрайбуванням, глибини підрізу;
3. без контактність обробки, а значить і відсутність руйнування матеріалу по краях виробу, який розділяється.
4. висока якість скрайбування.

Глибина скрайбування, як і при звичайному лазерному різанні, залежить від режимів обробки, властивостей матеріалів та швидкості обробки. Оптимальна глибина підрізу, при якій відбувається легке розділення матеріалу, повинна складати близько 25 – 35 % від товщини пластини. Як приклад, можна навести залежність глибини H підрізу у кремнієвій пластинці при середній потужності імпульсного лазерного випромінювання 5 кВт від швидкості обробки v і частоті імпульсів f (таблиця 4.7).

У багатьох випадках для розділення крихких матеріалів суцільний надріз не є обов'язковим – достатньо виконати серію не наскрізних отворів уздовж

лінії розділу пластини. Параметри таких отворів залежать від матеріалу, що оброблюється, і, як правило, змінюється у таких межах: $D = 75 \div 200$ мкм, $H = 100 \div 200$ мкм, $s = 75 \div 200$ мкм.

Таблиця 8.1

H , мкм	v , м/хв	f , кГц
50	12	35
62	9	25
73	6	20
85	4,5	18
107	3	15

Найчастіше для скрайбування використовуються газові CO_2 лазери або твердотільні YAG лазери, тобто, як неперервні, так і імпульсні з високою частотою слідування імпульсів. Вибір випромінювання визначається властивостями матеріалу, що оброблюється. Наприклад, кераміка дуже добре поглинає інфрачервоне випромінювання CO_2 лазера. У той же час, короткохвильове випромінювання YAG лазера може бути сфокусованим у дуже малу пляму, що значно підвищує локалізацію теплової дії.

В таблиці 8.2 наведені режими скрайбування різних матеріалів.

Таблиця 8.2

Матеріал	δ , мкм	D , мм	P , Вт	v , м/хв
Кераміка	0,43	0,25	5	0,30
	0,68	0,25	8	0,30
	0,89	0,25	11	0,30
	1,01	0,38	16	0,07
	0,65	0,15	20	4,5
	0,75	0,125	50	4,5
Скло	1,2	0,38	3	0,30
	1,6	0,50	9	0,30
	1,0	0,50	3	0,30
Сапфір	0,25	0,1	13,5	1,5
	1,3	0,38	12	0,07
Кварц	0,82	0,38	3	0,60
Ферит	0,2	0,3	2,5	1,2

8.2 Лазерне терморозколення матеріалів

Технологію терморозколення крихких твердих матеріалів можна віднести до практично безвідходних технологій. Суть терморозколення полягає в тому, що за допомогою лазерного променя створюються локальні термічні напруження уздовж необхідної лінії розділу матеріалу, які й призводять до напрямленого руйнування матеріалу.

Величина таких напружень визначається із співвідношення

$$\sigma = \frac{\beta ET}{2(1 - \mu)}, \quad (8.1)$$

де β - лінійний коефіцієнт термічного розширення;

E - модуль пружності (модуль Юнга);

T - температура в зоні дії променя;

μ - коефіцієнт Пуассона.

У більшості випадків значення напружень, що розвиваються у зоні лазерної дії, у 4 – 6 разів перевищують границю міцності крихкого матеріалу, який оброблюється.

У випадку високого ступеня локалізації лазерного випромінювання необхідною є досить мала потужність для ініціювання руйнування матеріалу. Наприклад, при терморозколенні скла достатньо потужності променя величиною 25 Вт, діаметра фокусування 0,2 – 0,3 мм і швидкості обробки 3,5 м/хв, щоб забезпечити розлом скла по заданому контуру.

Виникаючі в зоні лазерної дії градієнти температур і напруженостей іноді бувають настільки високими, що приходить їх знижувати попереднім нагріванням заготовки (частіше всього газовими горілками або струмом) до температур 150 – 400 °С.

8.3 Області використання лазерного різання

8.3.1 Кроїння металевого листового матеріалу

У промисловості, звичайно, при великій серійності виробів, що випускаються, отримання складних заготовок з листових матеріалів здійснюється за допомогою вирубних штампів. Проте при малих серіях виготовлення складних вирубних штампів не окупається. Тоді найбільш раціональним методом отримання таких заготовок при товщинах матеріалу, які не перевищують 10 мм є лазерне кроїння. Особливо воно є доцільним при виготовленні виробів зі складним просторовим профілем (наприклад, у авіації, космонавтиці, автомобілебудуванні, тощо). Таке кроїння може здійснюватися як за програмою, так і вручну (в залежності від кількості деталей, складності обробки, тощо). Лазерне кроїння листового матеріалу використовується при виготовленні порожнин несучого гвинта гелікоптера, для вирізання деталей

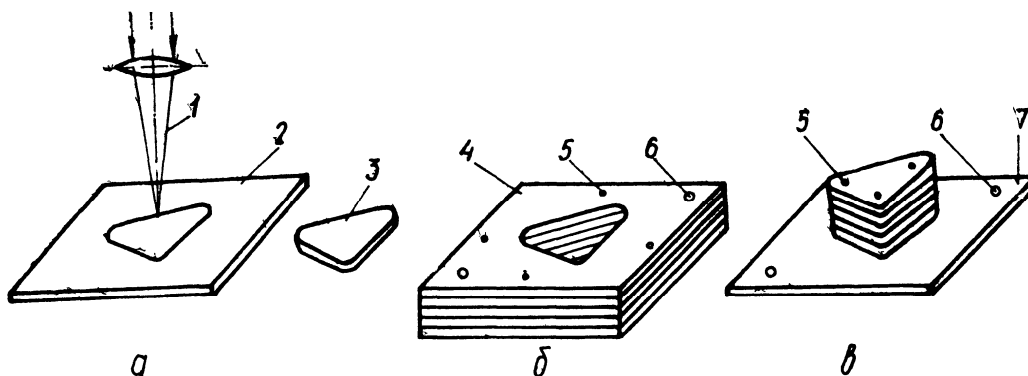
кузовів і дверей автомобілів, направляючих площин, обшивок літаків, тощо. При цьому економиться до 80 % часу порівняно з ручним кроїнням на електроножицях, наприклад деталей кузовів автомобілів (при несерійному виробництві).

При виготовленні корпусних конструкцій суден листовий матеріал товщиною 4 – 5 мм складає у загальному обсязі близько 15 % від усього об'єму листового матеріалу. Така товщина є найбільш сприятливою для лазерного різання. Це дало можливість з високою ефективністю використовувати лазерне випромінювання у суднобудівництві.

Висока точність різання дозволяє використовувати лазерне випромінювання для виготовлення спеціального ріжучого інструменту, зокрема при виробництві дискових пилок, що мають різний профіль ріжучих зубів. Переваги лазерного різання у порівнянні з механічним методом профілювання ріжучих зубів наступні:

- зона термічного впливу, що утворюється під час різання, має підвищену твердість і сприяє зростанню зносостійкості зубів пилки;
- при потужності випромінювання 750 – 800 Вт CO₂ – лазера з програмним управлінням столом забезпечується висока продуктивність різання швидко переналадка обладнання на виготовлення інструменту із заданим профілем зубів.

У ряді випадків, особливо для вирубки деталей із м'яких, листових матеріалів, використовують лазерне різання для отримання пуансона і матриці. Враховуючи, що найкраща якість різку забезпечується при лазерному різанні листів матеріалу порівняно невисокої товщини, матрицю та пуансон роблять набірними. При цьому використовується також важлива перевага лазерного різання – мала ширина різку. Завдяки цьому вирізана внутрішня частина матриці може бути використаною як одна із складових частин пуансона. Набір таких елементів потім цементується і фіксується спеціальними кріпленнями (рис. 8.1).



a – вирізка елемента матриці та пуансона; *б* – набирання матриці; *в* – набирання пуансона;

1 – лазерний промінь; 2 – елемент матриці; 3- елемент пуансона; 4 – матриця у зборі; 5 – фіксуючі елементи; 6 – отвори під направляючі елементи; 7 – установочна плита пуансона.

Рис. 8.1

8.3.2 Мікрообробка (отримання щілин, пазів)

При обробці матеріалів порівняно значної товщини для цих цілей використовується звичайно лазерне випромінювання з високою піковою потужністю.

Одним з прикладів мікро різання є отримання пазів у кристалах природних алмазів. Такі пази необхідно отримати перед наступним пилянням кристалів алмазу дисками.

Інший приклад – отримання пазів у ситалових підкладках мікросхем. Розміри підкладки, наприклад, 10x10x1 мм, ширина пазів – 100 – 150 мкм, глибина 0,3 – 0,4 мм, довжина – до 2,5 мм. Розміри вікон складають декілька квадратних міліметрів. Основна вимога при виготовленні пазів та вікон – збереження цілою тонкоплівкової схеми. Існуючими методами механічної обробки такі операції виконати практично неможливо. Високочастотне лазерне випромінювання дозволяє виконувати ці процеси з необхідною якістю.

Технологія лазерного різання широко використовується при виготовленні деталей із слюди. При різанні імпульсним випромінюванням слюда не розшаровується, дефектний шар практично відсутній. Необхідно зазначити, що якість різання слюди залежить від густини потужності випромінювання. При високій густині потужності спостерігається розшарування матеріалу по границях різання, що викликано виникненням ударної хвилі, підвищенням тиску парів матеріалу, який випаровується, при інтенсивному введенні енергії в зону обробки.

8.3.3 Області використання лазерного випромінювання при скрайбуванні та терморозколенні

У мікроелектронній промисловості операції лазерного скрайбування виконуються на пластинах з кремнію, арсеніду галію або із спеціальних керамік.

Для цього використовуються, як правило, установки на базі YAG-лазерів неперервного випромінювання з модуляцією добротності. Типовими є такі режими обробки: $\tau = 0,15 - 0,30$ мкс, $f = 1 - 40$ кГц, $P_n = 1 - 40$ Вт, $P_{cp} = 0,5 - 16$ Вт. При густині потужності у плямі фокусування $10^8 - 10^9$ Вт/см² температура підвищується до 2000 °С, що викликає локальне плавлення та випаровування напівпровідникового матеріалу. Проте зона термічного впливу при цьому залишається незначною за розмірами (близько 50 мкм).

На сучасному обладнанні для скрайбування можна надрізати і надломити 3000 пластин розміром 75 мм протягом 40 годин при кроці ліній надрізання рівному 2,4 мм. При цьому час на закріплення, установку та зняття кожної пластини складає близько 20 с. Для порівняння: такий об'єм робіт на механічному алмазному скрайбуючому обладнанні виконується за 100 годин на трьох установках.

Скрайбування керамічних пластин з мікросхемами виконують імпульсним високочастотним лазерним випромінюванням на основі CO_2 - або YAG-лазерів.

При використанні CO_2 – лазерів використовуються режими: $\tau = 0,15 - 0,30$ мкс, $f = 0,1 - 1,0$ кГц, $P_n = 40 - 150$ Вт, $P_{cp} = 20 - 50$ Вт.

На установках з YAG-лазером забезпечується більш висока частота слідування імпульсів ($f = 40 - 50$ кГц), що дозволяє отримати хорошу якість скрайбування.

Високу ефективність показує використання методу лазерного терморозколювання для розділення скляних труб. Наприклад, скляна труба із зовнішнім діаметром 67 мм і товщиною стінки 5 мм в процесі лазерної обробки обертається з частотою $0,5 - 3,5 \text{ с}^{-1}$. Фокусувань лазерне випромінювання потужністю 200 – 300 Вт направляється на зовнішню поверхню труби, що обертається. При нормальному падінні випромінювання на поверхню труби час розділення складає близько 70 с. При відхиленні лазерного випромінювання від нормалі на 15 – 20 градусів час скорочується до 45 с.

Лазерне випромінювання використовується також при розколенні кристалів алмазів. Використовується імпульсне лазерне випромінювання.