

Лекция № 24.

Технологические операции сверления и резки металлов с помощью лазера.

1. Лазерное сверление отверстий.

Сверление отверстий заключается в удалении локально расплавленного материала под воздействием пучка сфокусированного лазерного излучения большой плотности мощности. Обычно, для этого используют импульсные твердотельные лазеры рубиновые или неодимовые с энергией импульса 10 - 20 Мдж, работающие с частотой импульсов до нескольких десятков герц. Продолжительность импульсов - несколько сот микросекунд. В зависимости от энергии импульсов и размеров отверстия его можно обрабатывать используя один или несколько импульсов.

Для изготовления отверстий также используют: CO_2 лазеры импульсного действия мощностью до 500 Вт (единичный импульс длительностью до 100 мс) или мощностью до нескольких кВт (короткие импульсы 10-100 мкс, следующие с частотой до 100 Гц); лазеры на иттрий алюминиевом гранате непрерывного действия с модуляцией добротности (частота импульса до 30 кГц, энергия 1 МДж).

Импульсные рубиновые и неодимовые лазеры используют для изготовления отверстий в металлах, металлокерамических сплавах, полупроводниках, некоторых диэлектриках, рубине, алмазе, керамике. CO_2 лазеры используют, главным образом, для получения отверстий в керамике, стекле, кварце, пластмассе, резине, цветных металлических сплавах.

Отверстия, получаемые с помощью пучков лазерного излучения, имеют круглую форму, шероховатую боковую поверхность и конусообразное сечение в глубину. Сходимость конуса продольного сечения отверстия зависит от глубины отверстия, диаметра выходного отверстия, а также числа и энергии использованных лазерных импульсов. Когда чистота поверхности отверстия очень важна, лазерное сверление является предварительной операцией, после которой отверстие необходимо подвергать другим видам обработки. Выходные диаметры отверстий равны 10-3000 мкм в зависимости от вида и толщины материала, а также параметров пучка излучения. Так, например, рубиновые или неодимовые лазеры с импульсной накачкой позволяют получать выходные диаметры 10-800 мкм, импульсные CO_2

лазеры – 100-3000 мкм, а импульсные лазеры на иттрий алюминиевом гранате с непрерывной генерацией 10-200 мкм. Отверстия больших диаметров от нескольких мм. и выше получают используя перемещения сфокусированного пучка по заданной траектории на поверхности материала.

Получение отверстий круглой формы зависит от распределения интенсивности излучения в сфокусированном пятне пучка, наиболее качественную форму обеспечивают пучки нулевой гауссовой моды. Повторяемость диаметра и формы отверстия, выполняемых с помощью импульсно накачиваемых неодимовых и рубиновых лазеров, работающих в режиме свободной многомодовой генерации, составляет $\pm 10-20\%$, а повторяемость диаметра отверстий при использовании лазеров с пучком TEM_{00} моды и выше и составляет $\pm 5 - 10\%$.

Для увеличения эффективности воздействия сфокусированного лазерного пучка при изготовлении отверстий часто используют явление взрыва сжатых паров расплавленного металла, во время которого выбрасывается значительная часть жидкого металла. Взрыв, однако, является причиной неконтролируемых деформаций и неравномерности боковой поверхности отверстий и ухудшает повторяемость размеров изготавливаемых отверстий.

Остальное промышленное применение в технике лазерной обработки отверстий – изготовления алмазных фильер для производства тонкой проволоки, а также изготовления рубиновых и сапфировых часовых камней. Для обработки отверстий в алмазных фильерах используют импульсные твердотельные лазеры, чаще всего, рубиновые или иттрий алюминиевом гранате, реже применяют лазеры на неодимовом стекле свободно генерирующие многомодовый пучек излучения.

Энергия используемых лазерных импульсов составляет 0,1-1 Дж, продолжительность 130-750 мкс, частота следования импульсов 1- 25 Гц, как показано ниже в таблице 24.1.

Проходной диаметр отверстия, мм	Глубина отверстия, мм	Энергия импульса, Дж	Продолжительность импульса, мкс	Частота импульсов, Гц.	Число импульсов	Время сверление отверстия, мин	Лазер
0,1	1,6	0,5	0,15	10	--	1	ИАГ
0,1	1	0,5	0,2	10	600	2	ИАГ

0,4	1	0,5	0,2	10	1900	6,3	ИАГ
0,95	1,5	0,5	0,2	10	3500	11,7	ИАГ
0,03	1,1	2,6	1,5	0,5	38	--	Рубиновый
0,46	1,5	2-3	0,6	1	550	--	Рубиновый

Отверстия в алмазных фильерах имеют сложную форму: входной конус, сужение, выходной конус. Минимальный диаметр сужения 10 мкм, полная глубина отверстия 1- 3 мм. Получение тонкого отверстия требует значительного числа (до нескольких тысяч) лазерных импульсов излучения с небольшой энергией (чтобы избежать микротрещин в алмазе). Вся операция состоит из нескольких фаз, как показано на рис.24.1, а продолжительность операции достигает нескольких минут.

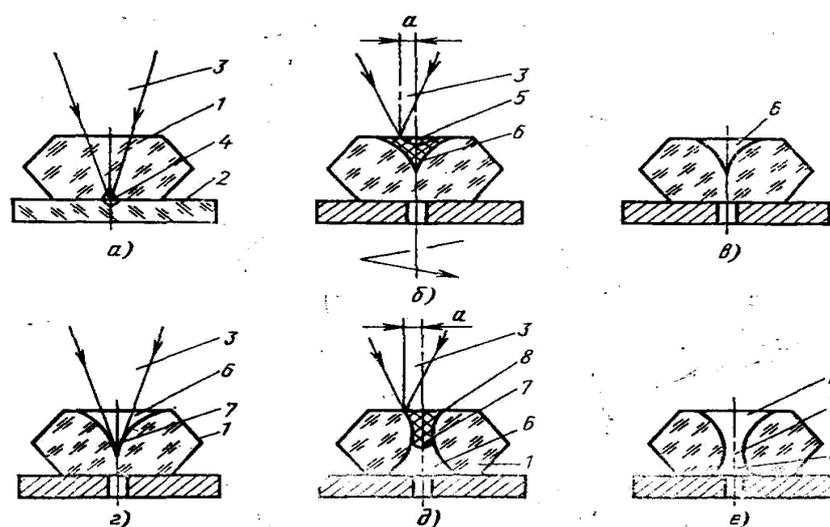


Рис 24.1 Последовательные фазы сверления отверстия в алмазной фильере лазерной установкой «Квант 9». а) образование начальной лунки; один импульс с энергией 1 Дж, сфокусированный в место контакта алмазной и поглощающей пластин; б) переворачивание кристалла, увеличение входного конуса; 50-100 импульсов с энергией 0.5-2 Дж частотой 1 Гц, алмаз вращается со скоростью 10-20 об/мин; в) калибровка и чистовая обработка входного конуса ультразвуковым методом; г) сверление рабочего канала, 1-2 импульса с энергией 0,3-0,5 Дж; д) обработка входного конуса; е) калибровка и чистовая обработка выходного конуса ультразвуковым методом; 1-алмаз; 2-поглощающая пластина; 3-лазерный пучок; 4-зона поглощения; 5-начальная лунка; 6-входной (смазочный) конус; 7-сужение (рабочий канал); 8-выходной конус.

Время получения отверстия в алмазном фильере лазерным методом сокращается по сравнению со сверлением механическими методами примерно в 100 раз. Для начала процесса обработки необходимо локальное увеличение поглощения лазерного излучения в месте фокусировки пучка. Для этой цели обрабатываемую поверхность локально покрывают тонким слоем графита.

Другое успешное применение техники лазерного сверления – получения отверстий с очень маленьким проходным диаметром, например, в диафрагме

оптического пространственного фильтра, сверления отверстий в экранах пропускающих лазерный пучок.

2. Лазерная резка металлов.

Для резки материалов в приборостроении чаще всего используют CO₂ лазеры и лазеры на иттрий алюминиевом гранате. В приборостроении различают:

- 1) резка тонких и толстых пленок материала без повреждения подложки, на которую они нанесены (обычно металлические и углеродные пленки, толщиной не более 20 мкм, нанесенные на диэлектрические подложки);
- 2) плиточное скрайбирование материалов, например керамики или полупроводников в электронных технологиях;
- 3) резка металлов и других материалов большой толщины при их разделке на заготовки.

Для резки материалов применяют в основном CO₂ лазеры высокой мощности непрерывного режима генерации (не ниже 150-200 Вт). Основные достоинства лазерной резки:

- 1) Большая скорость резки.
- 2) Простота вырезания заготовок сложной формы.
- 3) Высокое качество кромки реза.
- 4) Малая величина зоны термического воздействия в разрезаемом материале.
- 5) Высокая чистота реза за счет бесконтактного воздействия.

Скорость резки, толщина разрезаемого материала, ширина прорези и зоны термического воздействия изменяются в большом диапазоне зависимостью от мощности излучения лазерного пучка, степени фокусировки его и фотохимических параметров разрезаемого материала.

Промышленно достигнуто средняя скорость резки металлов 1-8м/мин, мах скорость резки достигнута 25м/мин при средней толщине материала 0,5-3 мм, средняя ширина реза 0,2-0,5 мм, максимально достигнутая 1,5 мм. Средняя скорость резки диэлектриков составляет 1-10 м/мин при толщине материала 0,5-10 мм и ширине реза 0,3-0,8 мм. Максимальные величины скорости резки достигнуты 100 м/мин, максимальная толщина 30 мм.

Для увеличения эффективности воздействия лазерного излучения резку осуществляют в присутствии активного (кислород) или инертного (азот, аргон или воздух) газа, подаваемого через сопло к месту резки.

Активная атмосфера чаще всего кислорода используется в основном при лазерной резке металлов. Подвод кислорода в зону воздействия лазерного пучка обеспечивает значительное увеличение температуры поверхности материала и как следствие снижает коэффициент отражения. Это увеличивает долю поглощенного излучения в результате окисления поверхности материала, увеличивание температуры металла в месте обработки из-за выделения тепла во время экзотермической реакции окисления, удаления с зоны обработки паров и брызг расплавленного металла, что улучшает доступ лазерного излучения к разрезаемому материалу.

Расход кислорода составляет порядка нескольких десятков литров в минуту. Слишком большой расход вызывает излишнее охлаждение материала. Использование кислорода повышает скорость резки до 40 %, однако часто снижает гладкость края реза и увеличивает его ширину из-за неконтролируемого процесса «самогорение» материала (интенсивного плавления и испарения связанного с экзотермическими химическими реакциями).

Лазерная резка материалов применяется для разделки стали, титана и его сплавов, тантала, циркония, никеля, алюминия, золота. Лазерная резка металлов в атмосфере инертного газа применяется в приборостроении для получения узких отверстий. Действие инертного газа заключается в:

- 1) удалении с места обработки расплавившегося или испаряющегося материала, что улучшает доступ лазерного излучения;
- 2) перемещение области воздействия лазерного излучения вглубь реза;
- 3) предотвращении горения верхнего края реза из-за охлаждения протекающим газом.

В качестве инертного газа чаще всего используют сжатый воздух, а иногда азот или аргон. Глубина, ширина и форма реза зависят от скорости резки, мощности лазерного пучка, степени фокусировки лазерного пучка а также расхода газа.