

## **Тема 1 Анализ методов размерной обработки хрупких неметаллических материалов**

Перечень изучаемых вопросов :

1. Цели и задачи курса, литература.
2. Механические способы размерной обработки материалов электронной техники
3. Недостатки традиционных механических способов размерной обработки.
4. Классификация методов лазерной резки и анализ их особенностей.

### **Цели и задачи курса :**

Целью изучения дисциплины является освоение физических основ реализации процессов лазерного термораскалывания и приобретение навыков инженерных расчетов соответствующих технологических параметров.

Основная задача дисциплины – овладение навыками отработки режимов разделения материалов методами термораскалывания и обучение приемам инженерного расчета процессов термораскалывания.

### **Механические способы размерной обработки материалов электронной техники:**

Среди различных методов раскроя материалов электронной техники наиболее известными и распространёнными являются:

1. резка круглыми алмазными пилами



**Рисунок 1- Круглая алмазная пила**

## 2. механическое скрайбирование твердосплавными (алмазными) резцами.

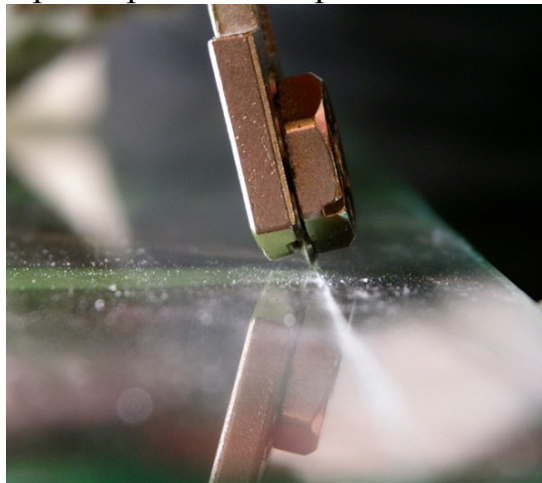


Рисунок 2-Алмазный резец

(Резка пилами используется в основном для разделки толстого стекла, стеклоблоков, полых толстостенных стеклоизделий и т.п. Существенным недостатком данного метода является высокая дефектность по краям получаемых деталей. В связи с этим после резки материала обязательно необходимо осуществлять его шлифовку и полировку. )

(Суть механического скрайбирования заключается в том, что на поверхности материала вдоль всего контура разделения наносится царапина, которая, являясь концентратором напряжений, снижает прочность материала. Затем за счет изгибающей нагрузки осуществляется докол по заданному контуру.

По сравнению с резкой дисковыми пилами, данный метод создаёт краевые дефекты гораздо меньшего размера. Тем не менее, их наличие не позволяет отказаться полностью от последующих операций шлифовки и полировки.)

## 3. Гидроабразивная резка



Рисунок 3-Гидроабразивная резка

## **Недостатки традиционных механических способов размерной обработки:**

Традиционные технологии механической резки стекла в производстве дисплейных панелей, а также механического скрайбирования приборных пластин на кристаллы обладают следующими недостатками:

- низкое качество резки;
- низкая механическая прочность;
- значительные потери материала разрезаемых пластин за счет ширины пропила;
- разрушительное воздействие процесса разделения на функциональные и эксплуатационные параметры получаемых приборов;
- невозможность проведения операций резки в помещениях высокой вакуумной гигиены за счет образования стеклянных частиц при механической резке.

## **Классификация методов лазерной резки :**

- лазерная резка испарением материала по линии реза;
- газолазерная резка с подачей струи сжатого газа для выдувания расплавленного материала;
- газолазерная резка с инициированием термической реакции посредством активного газа;
- лазерное скрайбирование;
- лазерное термораскалывание.

## **Лазерная резка испарением материала по линии реза**

Механизм испарения при лазерном разделении неметаллов является характерным и очень часто реализуется на практике — при лазерной резке органических материалов (как термо-, так и реак-топластов), многих видов стекол, минералов и т.д.

На стадии, предшествующей полному испарению вещества в зоне воздействия излучения, механизм разрушения большинства неметаллических материалов, представляющих собой сложное химическое соединение или многокомпонентную разнородную систему, состоит в последовательном испарении элементов, начиная с наиболее легкоплавких, поэтому правильней в данном случае говорить о возгонке вещества. Тем не менее очень часто можно выделить некоторый компонент вещества, определяющий кинетические (скорость испарения, время выхода на стационарный режим и время полного испарения) и энергетические (удельная энергия разрушения, импульс отдачи,

степень экранировки поверхности) характеристики процесса разрушения. В общем случае можно сказать, что механизм испарения характерен для лазерного разделения сублимирующих материалов, удельная энергия испарения которых приблизительно равна или даже ниже их удельной энергии плавления. С другой стороны, механизм испарения реализуется при разделении всех материалов, облучаемых короткими импульсами, обеспечивающими плотность мощности на поверхности не менее  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>.

Лазерная резка стекла путем возгонки и испарения материала по линии реза отличается простотой, особенно при раскрое кварцевого стекла, что и привлекло внимание специалистов к этому способу. Простота резки кварцевого стекла заключается, во-первых, в том, что в отличие от остальных силикатных стекол, из-за низкого коэффициента линейного термического расширения процесс резки можно осуществлять без предварительного нагрева. Во-вторых, поскольку температура плавления кварцевого стекла близка к температуре возгонки окиси кремния, то в зоне воздействия лазерного излучения практически не образуется жидкая ванна, а происходит небольшое оплавление краев среза.



Рисунок 4-Небольшое оплавление краёв реза

#### **Газолазерная резка с подачей струи сжатого газа для выдувания расплавленного материала**

Скорость резки путем испарения можно увеличить, используя поддув струи воздуха в зону воздействия лазерного излучения. Струя воздуха обеспечивает выдувание расплавленного стекла из зоны резки, что предотвращает затекание образующейся в стекле щели. Энергоемкость газолазерной резки в 10 раз меньше, чем лазерной резки без поддува воздуха, но вдвое выше газолазерной резки с использованием активного газа. Например, увеличивается скорость резки при подаче в зону воздействия лазерного пучка через сопло водородосодержащей смеси следующего состава:

а) аргон - 8%, водород - 92%; б) азот - 75%, водород - 25%.

Кроме высокой скорости резки достигается высокое качество реза – ровная, гладкая поверхность, не содержащая трещин.

Таким образом, газолазерная резка кварцевого стекла нашла практическое применение в стекольном производстве благодаря простоте, высокой производительности и качеству резки, не смотря на большие энергозатраты,

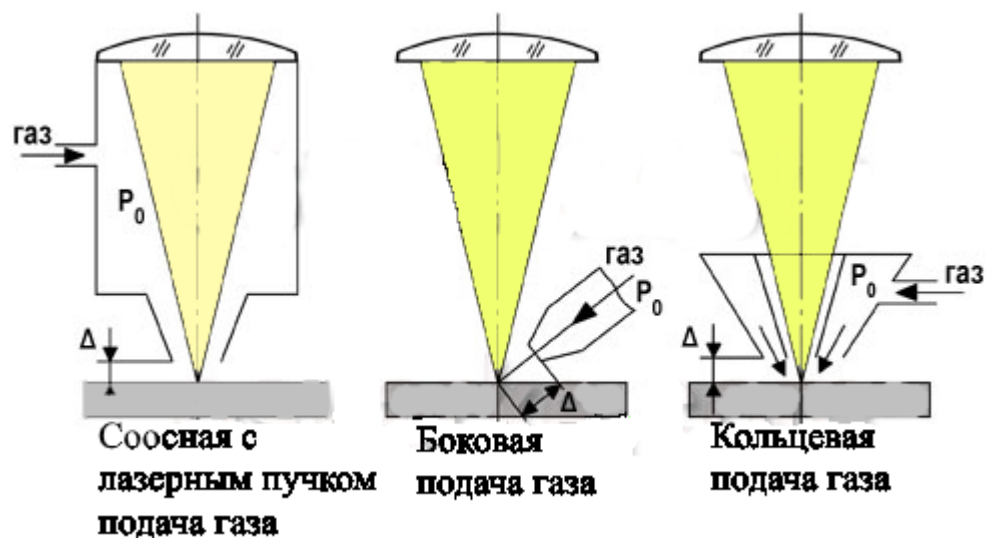


Рисунок 5-Различные виды подачи газа

Значительно сложнее осуществить лазерную или газолазерную резку обычных силикатных стекол. Для предотвращения растрескивания стекла за счет остаточных напряжений необходимо осуществлять подогрев холодного стекла перед резкой, а сразу после резки оно должно поступать в печь для отжига при температуре 500...600 °С. Кроме того, для реализации лазерной или газолазерной резки силикатных стекол в производственных условиях необходимо использовать лазерное излучение очень больших уровней мощности - порядка 5...10 кВт и более.

### Лазерное скрайбирование

Энергетически более выгодным по сравнению с лазерной и газолазерной резкой является лазерное скрайбирование, которое заключается в нанесении на поверхности стекла узкой канавки или ряда близко расположенных отверстий путем возгонки и испарения материала.

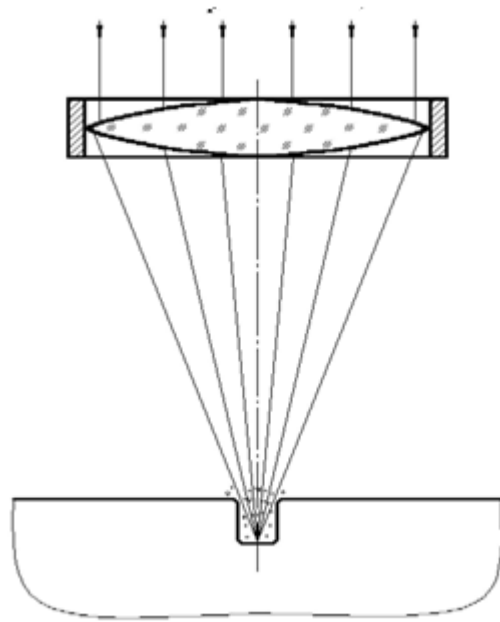


Рисунок 6– Схема лазерного скрайбирования

Для эффективного испарения стекла, не вызывающего большого расплавления поверхности, необходимо обеспечить плотность мощности лазерного излучения в зоне обработки не менее  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. В противном случае вдоль линии реза образуется сеть поперечных микротрещин, снижающих механическую прочность кромки стеклоизделия. Лазерное скрайбирование можно осуществлять при высоких скоростях на низких уровнях мощности лазерного излучения.

Лазерное скрайбирование обеспечивает достаточно высокую производительность и точность резки, отличается высокой энерго-экономичностью и не сопровождается заметным изменением свойств материала вдоль линии реза. Однако процесс сопровождается загрязнением рабочей поверхности стекла продуктами возгонки и испарения, а прочность края стекла из-за микротрещин не превышает прочности стеклоизделия после механической обработки.

### Лазерное термораскалывание

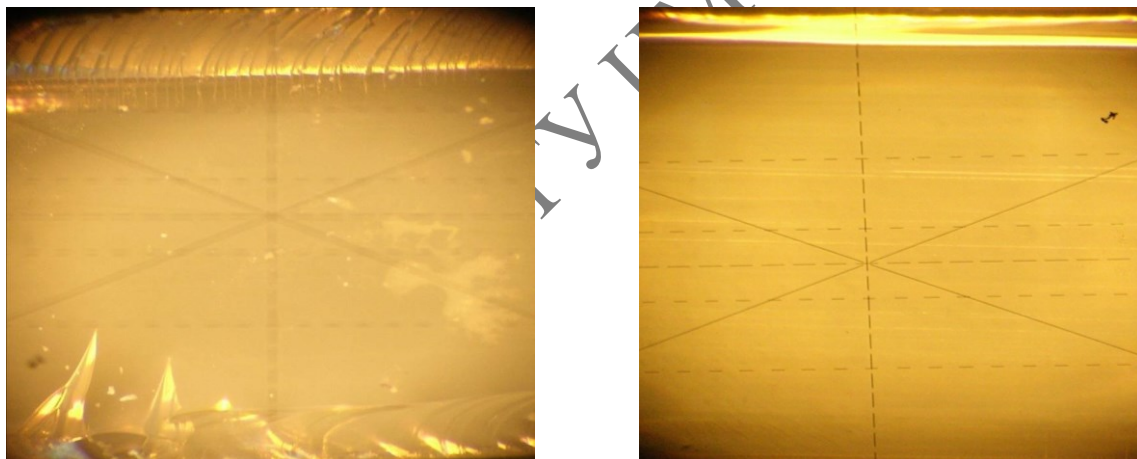
Суть лазерного термораскалывания стекла состоит в нагреве материала лазерным лучом до температуры меньше температуры «стеклования», то есть температуры, при которой стекло теряет упругие свойства. При этом в материале возникают термоупругие напряжения (растягивающие или сжимающие) величина и пространственная конфигурация которых зависит от таких параметров как форма и размеры лазерного пучка, плотность мощности лазерного излучения, длина волны излучения, скорость обработки, наличие или

отсутствие дополнительного хладагента и др. В случае превышения величин растягивающих напряжений предела прочности материала происходит хрупкое разрушение стекла. Подбирая параметры обработки можно добиться развития разделяющей трещины в заданном направлении.

Преимущества методов лазерного термораскалывания

- высокая скорость резки;
- высокая точность при размерной резке;
- наиболее низкая энергоемкость процесса по сравнению с другими известными способами резки;
- высокая чистота процесса, основанная на безотходности процесса разделения;
- нулевая ширина реза;
- повышение механической прочности получаемых изделий по сравнению с другими традиционными способами резки;
- возможность полной автоматизации процесса размерной резки

Вид торца стеклопластины при резке алмазным резцом и методом лазерного термораскалывания.



**Рисунок 7– Вид торца стеклопластины при резке алмазным резцом и методом лазерного термораскалывания**

**Таблица 1–Характерные режимы различных методов лазерной размерной резки стекла:**

Метод лазерной размерной резки	Мощность лазерного излучения, Вт	Скорость резки, мм/с	Толщина стекла, мм
Лазерная	200	0,42	3,5
Газолазерная	200	6,35	1,57
Скрайбирование	50	58	6
Сквозное термораскалывание	9	5,1	1,6
Управляемое термораскалывание	25	39	3

## Особенности методов лазерной размерной обработки:

Лазерная и газолазерная резка испарением материала по линии реза является энергоемким процессом и не отличается высокой точностью обработки, что делает неэффективным использование данных методов для получения прецизионных изделий из хрупких неметаллических материалов; Лазерное скрайбирование также характеризуется низким качеством кромок обрабатываемых изделий и, кроме того, применение этого метода сопряжено с загрязнением поверхности материала продуктами испарения. Вследствие этого применение скрайбирования для высокоточной обработки в ряде случаев становится нецелесообразным. Выше перечисленные недостатки не свойственны методам лазерного термораскалывания.

## Список вопросов для самоконтроля

- 1 Перечислите наиболее распространенные механические способы раскроя материалов электронной техники.
- 2 В чем заключается суть механического скрайбирования?
- 3 Приведите недостатки традиционных технологий механической резки хрупких неметаллических материалов.
- 4 Дайте классификацию методов лазерной резки неметаллических материалов.
- 5 При каких условиях возможна лазерная резка материалов испарением?
- 6 Опишите схему газолазерной резки неметаллических материалов.
- 7 В чем заключается суть лазерного скрайбирования?
- 8 Изложите механизм образования разделяющей трещины в процессе лазерного термораскалывания хрупких неметаллических материалов.
- 9 Выделите преимущества лазерного термораскалывания перед традиционными механическими методами разделения хрупких неметаллических материалов.

## Список рекомендуемой литературы

- 1 Мачулка, Г. А. Лазерная обработка стекла / Г. А. Мачулка. – М.: Сов. радио, 1979. – 136 с.
- 2 Лазерная техника и технология: в 7 кн.: учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, А. А. Соколов; под ред. А. 2. Г. Григорьянца. – М.: Высш. шк., 1988. – Кн. 4: Лазерная обработка неметаллических материалов. – 191 с.



3 Кондратенко, В. С. Лазерное управляемое термораскалывание хрупких материалов: курс лекций / В. С. Кондратенко. – М.: МГАПИ, 2004. – 88 с.

4 Концевой, Ю. А. Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур / Ю. А. Концевой, Ю. М. Литвинов, Э. А. Фаттахов. – М. : Радио и связь, 1982. – 240 с.

5 Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

6 Дьюли, У. Лазерная технология и анализ материалов: пер. с англ. / У. Дьюли. – М.: Мир, 1986. – 504 с.

Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справочник / Н. Н. Рыкалин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМ. Ф. СКОРИНЫ