- СКО оценок высот (столбец 5), полученных с использованием опорных точек и коэффициентов из файла, который автоматически формируется при регистрации изображений, по данным с дополнительной ошибкой – 15,5;
- СКО оценок высот (столбец 6), полученных по тем же исходным данным (с дополнительной ошибкой) с уточнением параметров модели формирования изображений с использованием разработанных алгоритмов – 8,6.

Заключение

В статье рассмотрена информационная технология построения рельефа по космическим снимкам, включающая алгоритм уточнения коэффициентов по опорным точкам на изображениях. Проведены экспериментальные исследования предложенного алгоритма на натурных изображениях. Алгоритм основан на формировании согласованной подсистемы, наиболее свободной от шума, в задаче согласованного оценивания с использованием вспомогательной системы, полученной из исходной путем редукции в пространстве столбцов.

1. Tao, C.V. A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing / Y. Hu, C.V. Tao // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2001. – Vol. 67, № 12. – P. 1347-1358.
2. Fraser, C.S. Sensor orientation via RPCs / C.S. Fraser, G. Dial, J. Grodecki // ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2006. – Vol. 60, № 3. – P. 182-194.
3. Демиденко, Е.З. Линейная и нелинейная регрессии / Е.З. Демиденко. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 304 с.
4. Fursov, V.A. Parametric Identification by Means of Consequent Formation of a Conformed Estimations / V.A. Fursov, A.V. Gavrilov, and Ye.V. Goshin // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – Vol. 49, № 13. – P. 123-128.
5. Key Parameters of the IRS-P5 Sensors. – http://www.euromap.de/products/prod_041.html
6. IRS-P5 Cartosat-1 PAN-A and PAN-F Products. – https://www.euromap.de/docs/doc_004.html
7. Карты Google. – <https://google.com/maps>
8. User guide ENVI – Режим доступа: http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/dem_extraction_module.pdf

Кривошеев А.В., Пономаренко С.Л., Бинков И.И., Поваляхин Д.В. Малов И.Е.
Особенности разделения листового флоат стекла методом лазерного термораскалывания

*МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-11-2019-11

idsp: ljjournal-11-2019-11

Аннотация

Одним из перспективных методов разделения листового стекла является метод лазерного термораскалывания. В силу энергетических особенностей лазерного воздействия на стеклянную пластину, данный метод широко применяется при разделении стекла. В данной работе описывается термораскалывание стекла на лазерной установке КЛП-400 с использованием твердотельного излучателя. Проведен анализ режимов и подобраны оптимальные параметры для разделения листового флоат стекла.

Ключевые слова: листовое стекло, флоат-стекло, термораскалывание, скрайбирование, лазерная обработка стекла, твердотельный лазер.

Введение

В настоящее время во всем мире основная доля высококачественного листового стекла всех номиналов толщиной от 1 до 20 мм вырабатывается с помощью непрерывного флоат-процесса, который отличается высокой производительностью и

высоким качеством выпускаемой продукции [1]. Резка непрерывной ленты стекла на заготовки, как правило, осуществляется механически, с помощью твердосплавных роликов [2]. Основными недостатками механической резки стекла в процессе выработки являются:

- низкое качество резки из-за наличия большого количества микротрещин вдоль линии реза и, как следствие этого, низкая механическая прочность стекла, составляющая по рядка 15 – 20 МПа;
- загрязнение поверхности стекла в зоне резки стеклянной пылью и продуктами смачивания режущих роликов, требующее дополнительной очистки поверхности стекла;
- необходимость частой замены режущих роликов в процессе выработки стекла, что сопровождается увеличением брака продукции.

Поэтому поиск и разработка новых высокоэффективных методов резки листового стекла в процессе выработки во всем мире является задачей чрезвычайно важной и актуальной.

В последнее время для точной безотходной резки таких хрупких неметаллических материалов, как стекло, керамика, сапфир, кварц и полупроводниковые материалы активно развивается метод лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ) хрупких неметаллических материалов [3], который свободен от перечисленных выше недостатков.

Сущность метода

Облучение листового стекла лазерным излучением индуцирует появление областей растягивающих и сжимающих напряжений в объеме или на поверхности стекла. Распределение этих напряжений зависит от многих факторов, но прежде всего от конфигурации и размеров пятна облучения, толщины стекла, скорости движения пятна облучения во время резки [4]. С изменением мощности пропорционально изменяется величина напряжений, но пространственная картина распределения напряжений остается неизменной (это справедливо в рамках линейной теории термоупругости, когда физические свойства материала предполагаются независимыми от температуры) [5, 6]. Возможно поднять скорость термораскалывания путем подачи хладогента вслед за лучом, что позволяет увеличить относительный перепад температуры [7, 8]. Также возможно использование предварительного подогрева стекла, что позволит поддерживать постоянный градиент температуры и стабилизировать процесс термораскалывания [9].

Области применения и возможности метода

Метод ЛУТ может быть эффективно использован для прецизионной резки различных неметаллических материалов, таких как стекло, керамика, различные кристаллы и полупроводниковые материалы. При резке перечисленных выше материалов метод ЛУТ имеет множество преимуществ над традиционными методами: высокую чистоту процесса резки, нулевую ширину реза, более низкие энергетические затраты, высокую скорость резки, высокую точность раскроя материалов, повышение механической прочности изделий до 5 раз в сравнении с механической обработкой [10, 11].

Термораскалывание возможно проводить излучением твердотельного лазера ($\lambda=1064\text{нм}$) или излучением CO_2 лазера ($\lambda=10,6\text{ мкм}$). Излучение CO_2 лазера поглощается в поверхностном слое стекла, излучение же Nd:YAG лазера ($\lambda=1064\text{нм}$) очень слабо поглощается флоат-стеклом, коэффициент поглощения равен 33 1/м [12]. Для стекла толщиной 2 мм около 80% излучения проходит сквозь стекло, поглощается только 20%.

Процесс термораскалывания.

В момент начала действия линейного источника тепла в пластине возникают область растягивающих напряжений, максимум которых находится в точках, отстоящих на расстоянии, стремящемся к нулю от этого источника.

В ходе дальнейшего нагрева расстояние $r_{\max}$ увеличивается, при этом значения $\sigma_{\max}$ не меняются. С течением времени происходит расширение области сжимающих и растягивающих напряжений.

Вероятность зарождения трещины на краю пластины значительно выше чем в середине. Если край бездефектный – нужно создать искусственный дефект. Исходя из расчетов разница в размерах между краевым дефектом и дефектом в глубине материала, необходимых для зарождения трещины при одинаковых условиях – 6.5 раз [13]. В процессе термораскалывания баланс напряжений позволяет трещине распространяться контролируемо. Управляемое развитие трещины происходит благодаря балансу сил, стимулирующих ее развитие («Давление», раздвигающее берега трещины) и сил, сдерживающих это развитие (силы сжатия действующие в области вершины трещины). При любых скоростях и мощностях трещина не может обогнать лазерный луч из-за резкого возрастания сжимающих напряжений вблизи луча. [13]. На завершающем этапе термораскалывания при любых скоростях и мощностях нагрузка на берега трещины возрастает настолько, что трещина обгоняет и перегоняет лазерный луч, если край пластины без дефектов. Если на краю есть дефекты – образуется встречная трещина. Критический размер этих дефектов до 8 раз меньше чем при зарождении первичной трещины. Это происходит из-за большого градиента температур. При образовании встречной трещины она флуктуационно развивается к основной трещине и смыкается с ней в области лазерного воздействия, из-за этого образуется краевой дефект. Если на краю нет дефектов, то из-за повышающихся сжимающих напряжений трещина уходит вбок.

Что бы избежать обгон трещиной луча нужно или снижать мощность или увеличивать скорость луча. Это позволяет добиться одновременного выхода на край пластины лазерного луча и трещины. Если слишком сильно увеличить скорость или снизить мощность, то лазерный луч покинет пластину раньше трещины и трещина перестанет расти.

Оптимизация параметров лазерного управляемого термораскалывания

Для достижения стабильного термораскалывания требуется оптимизация технологических параметров ЛУТ.

Стабильность процесса термораскалывания можно определить стабильностью расстояния h между лучом и трещиной. Чем больше уровень поперечных напряжений в стекле, тем h стабильнее [14]. Процесс термораскалывания следует вести на максимальных мощностях, не приводящих к вредному разрушению (скрайбированию).

Пропорциональное изменение мощности и скорости обработки не приводит к изменению стабильности процесса. Существует 4 области режимов, определяемых экспериментально (рис. 1).

Рисунок 1. Диаграмма четырех характерных областей термораскалывания

1. Область режимов, при которых происходит остановка трещины. h увеличивается слишком сильно при отдалении источника от края пластины.
2. Область нестабильного роста трещины. h может меняться в большом диапазоне.
3. Область стабильного термораскалывания.
4. Область, в которой происходят вредные разрушения поверхности стекла.

Границу между 3 и 4 областями можно перемещать, меняя диаметр луча. Чем меньше диаметр луча, тем выше перемещается эта граница.

Диаметр луча не оказывает существенного влияния на напряжения и на стабильность процесса, но он оказывает большое влияние на точность. Так как стекло неоднородно, а луч – не идеальный гаусс то чем больше пятно, тем шире зона перемещение трещины.

Экспериментальная часть

Процесс ЛУТ проводился на лазерной установке КЛП-400, в качестве образцов были использованы пластины флоат стекла с размерами 57x200x2 мм. Стекланные пластины закреплялись на высоте 200мм от поверхности координатного стола для избежания воздействия отраженного от стола излучения на процесс. Для проведения эксперимента была выбрана мощность $P=1$ кВт и диаметр пятна $d=2$ мм, равный толщине стекла. В процессе эксперимента менялись скорости обработки стекла, эти скорости варьировались в пределах от 240 до 1080 мм/мин. Результаты, полученные в результате изменения скорости обработки показаны в таблице 2.

Таблица 2

Скорости обработки и полученные процессы

Скорость обработки, мм/мин	Наблюдаемый результат
240	Испарение стекла по всей толщине, белый налет, перегрев
300	
330	
345	Скрайбирование
350	Нестабильное термораскалывание
600	Стабильное термораскалывание
700	
900	
990	
1020	
1080	

Анализ результатов

При проведении эксперимента было замечено, что расположение раскалываемого стекла на расстоянии 100 мм от подложки стекло подвергается воздействию отраженного от подложки излучения, а так же воздействию инфракрасного излучения нагретой подложки. Это отраженное излучение приводит к термическим повреждениям стеклянной пластины. Для достижения наилучших результатов и минимизирования вредного излучения раскалываемые стеклянные пластины были расположены на расстоянии 300 мм от металлической подложки. В ходе эксперимента было выявлено что при скоростях обработки менее 345 мм/мин происходит перегрев стекла и его неконтролируемое разрушение, на скоростях обработки 345-350 мм/мин наблюдается режим скрайбирования – образование канавки по всей длине стекла последующим доломом по которой можно добиться качественного разделения листа. При повышении скорости обработки выше 350 мм/мин наблюдается режим стабильного термораскалывания. На завершающем этапе обработки наблюдается уход трещины в бок, это связано с отсутствием градиента

мощностей и скоростей процесса при подходе контролируемой трещины к краю пластины.

Экспериментальным путем установлено, что при обработки данных образцов листового стекла с мощностью $P=1$ кВт и диаметри пятна $d=2$ мм переход от режимов термораскалывания к режимам скрайбирования осуществляется при скорости обработки $V=350$ мм/мин. Исходя из этого рассчитаем поправочный коэффициент k_1 :

$$k_1 = \frac{v_i}{P} = \frac{0.0058 \text{ м/с}}{1000 \text{ Вт}} = 5.8 \cdot 10^{-6} \text{ м/Дж} \quad (1)$$

С использованием полученных данных был построен график зависимости максимальной скорости термораскалывания $V_{и}$ от мощности лазерного луча P (рис.2).

Рисунок 2. График зависимости максимальной скорости термораскалывания $V_{и}$ от мощности лазерного луча P .

Вывод по работе

В ходе работы проведен анализ зависимостей качества термораскалывания от параметров процесса. Выяснено, что граница между режимами термораскалывания и режимами скрайбирования при разделении флоат-стекла толщиной 2 мм описывается уравнением 2,

$$v_i = k_1 \cdot P \quad (2)$$

где поправочный коэффициент $k_1=5.8 \cdot 10^{-6}$ м/Дж. Для разделения листового стекла методом термораскалывания следует выбирать режимы из области, соответствующей неравенству 3.

$$v_i > k_1 \cdot P \quad (3)$$

Также следует снижать мощность излучения и увеличивать скорость процесса на завершающем этапе термораскалывания для избежания ухода трещины вбок.

1. Линии по производству полированного стекла ("флоат" - процесс) // Стекло мира. - 2004. - № 6. - С. 64. - Рус.
2. Жирков В.Ф., Лапин А.Н., Махевич В.Е. Автоматизация управления раскромом, резкой, и контроль качества листового стекла. – М.: ВНИИ ЭСМ, 1974. – 47с.

3. В. С. Кондратенко, Лазерное управляемое термораскалывание хрупких материалов (М., МГУПИ, 2007).
4. Мачулга Г.А. Лазерная обработка стекла. – М.: Советское радио, 1979. – 136с.
5. В. В. Бучанов, М. А. Казарян, Е. Ф. Кустов и др., в сборнике трудов симпозиума “Лазеры на парах металлов”, с .23, Лоо, Ростов-на-Дону, 2014 (Ростов-на-Дону, Ростовский университет, 2014).
6. Verheyen A. «Diamond» replaces diamonds // EuroLaser. – 1998. - №1. – P.16-18.
7. Пат. 2024441 (Россия). Способ резки неметаллических материалов / В.С. Кондратенко. – 1994. – 26с.
8. Pat. 4468534 (USA). Method and device for cutting glass / F.W. Boddicker. – 1984. – 4p.
9. Pat. 07323385 (Japan). Method for cutting brittle material / M. Hideki. – 1995. – 4p.
10. Жималов А.Б., Солинов В.Ф., Кондратенко В.С., Каплина Т.В. Влияние способа раскроя лены стекла на его прочностные свойства. // Стекло и керамика. №10. 2006г.
11. V.S. Kondratenko, P.D. Gindin, O.V. Trubienko, Hsu Muschi, A.S. Naumov // Laser strengthening of the edge of glass. Journal of Optical Technology. Vol. 76. Issue 11, November 2009, pp. 733-736.
12. Шепелев Г.В., Малов И.Е., Шиганов И.Н. технологические особенности разделения листового стекла излучением твердотельного лазера // Лазеры в науке, технике и медицине: Тез. докл. X Междунар. конф. – Сочи, 1999. – С.36.
13. Малов И.Е. Разработка технологии управляемого термораскалывания листового стекла излучением твердотельного лазера. [Текст]: дис.....канд. тех. наук: 05.03.07/ Малов Илья Евгеньевич. – Москва, 2000. – 185 с.
14. Панасюк В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. – Киев: Наукова думка, 1968. – 246с.

Курмазова Н.А.

Результаты проведения денсиметрического анализа проб угля Татауровского месторождения бурых углей

*Забайкальский государственный университет
(Россия, Чита)*

doi: 10.18411/lj-11-2019-12

idsp: ljjournal-11-2019-12

Аннотация

Сущность денсиметрического (фракционного) анализа сводится к разделению исходного материала на фракции различной плотности с помощью тяжелых жидкостей. Расслоение на фракции обеспечивает сила Архимеда, которая зависит от плотности жидкости. Частицы менее плотные всплывают, а более плотные тонут. Исследование угля с помощью фракционного анализа применяют для получения фракций с убывающими или возрастающими зольностями.

Ключевые слова: анализ, концентрация, плотность, проба, тяжелая жидкость, фракции.

Abstract

The essence of densimetric (fractional) analysis is reduced to the separation of the starting material into fractions of different densities using heavy liquids. Separation into fractions provides the strength of Archimedes, which depends on the density of the liquid. Particles less dense float, while more dense particles sink. The study of coal using fractional analysis is used to obtain fractions with decreasing or increasing ash levels. The essence of fractional analysis is reduced to the separation of the starting material into fractions of different densities using heavy liquids. Particles less dense float, while more dense particles sink. Separation into fractions provides the strength of Archimedes, which depends on the density of the liquid. This method can be used if the density difference is 0.1-0.01. The lower limit of density is from 3 to 6 mm., The upper limit is limited by the size of the apparatus.

Keywords: analysis, concentration, density, sample, heavy liquid, fractions.