

Изобретение относится к способам обработки материалов, в частности к способу лазерной резки хрупких неметаллических материалов, преимущественно стекла и керамики, под действием термоупругих напряжений по замкнутым криволинейным контурам.

Изобретение может быть использовано в автомобилестроении при изготовлении стекол и зеркал, в электронной промышленности при вырезке прецизионных подложек для жидкокристаллических индикаторов, магнитных и магнитооптических дисков, в часовой промышленности для изготовления защитных стекол, а также в других областях техники и производства, где существует необходимость обработки изделий из хрупких неметаллических материалов.

Известен способ резки стекла и других хрупких неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений, возникающих в результате лазерного нагрева поверхностных слоев вдоль линии реза и образования в материале сквозной разделяющей трещины [1].

При реализации этого способа разделение материала происходит по всей толщине и характеризуется низкой скоростью, определенное увеличение которой возможно за счет повышения мощности лазерного излучения. Однако чрезмерное увеличение мощности лазерного излучения приводит к перегреву стекла и образованию поперечных трещин вдоль линии обработки.

Кроме этого, известный способ не может обеспечить высокую точность обработки, в особенности при резке по замкнутому криволинейному контуру.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому способу является способ резки хрупкого неметаллического материала, преимущественно стекла, по замкнутому криволинейному контуру путем нанесения предварительного надреза на поверхности материала, поверхностного нагрева материала по контуру резки эллиптическим лазерным пучком, ориентированным по касательной к контуру резки, при относительном перемещении лазерного пучка и материала, и локального охлаждения зоны нагрева [2].

Однако известный способ имеет существенные недостатки, затрудняющие его использование при термораскалывании хрупких неметаллических материалов по замкнутым криволинейным траекториям.

Так, в случае обработки по криволинейному контуру, особенно характеризующемуся небольшими радиусами кривизны, известным способом возникают существенные отклонения наносимой микротрещины от линии лазерного воздействия.

Это объясняется тем, что ориентация эллиптического пучка по касательной в любой точке криволинейного контура приводит к нарушению симметрии распределения термоупругих напряжений, характерной для прямолинейной резки. Указанная асимметричность распределения полей напряжений относительно контура обработки обусловлена тем, что края эллиптического пучка не совмещаются с линией реза, и тем самым определяют несимметричный нагрев материала относительно контура обработки.

Это приводит к отклонению трещины от перпендикулярного к поверхности материала направления и резко ухудшает качество резки.

Кроме этого, при использовании известного способа возникают существенные отклонения наносимой микротрещины от контура обработки в месте его замыкания. Предусмотренное для этого в известном способе нанесение предварительного надреза по линии обработки с плавно возрастающей глубиной не позволяет в значительной мере устранить этот недостаток.

Техническая задача, решаемая изобретением, заключается в повышении точности и качества разделения хрупких неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений по замкнутым криволинейным контурам.

Технический результат, достигаемый заявляемым изобретением, заключается в устранении отклонения угла плоскости наносимой микротрещины трещины от нормального к поверхности материала и в устранении отклонения наносимой микротрещины от контура обработки в месте его замыкания.

ВУ 11830 С1 2009.04.30

Технический результат достигается тем, что в способе резки хрупкого неметаллического материала, преимущественно стекла, по замкнутому криволинейному контуру путем нанесения предварительного надреза на поверхности материала, поверхностного нагрева материала по контуру резки эллиптическим лазерным пучком, ориентированным по касательной к контуру резки, предварительный надрез наносят радиально контуру резки до пересечения с ним, нагрев эллиптическим лазерным пучком начинают из точки пересечения предварительного надреза с контуром резки и одновременно осуществляют дополнительный объемный нагрев материала другим лазерным пучком, центр которого смещен от эллиптического лазерного пучка в радиальном направлении от центра за контур резки.

Сущность заявляемого способа резки хрупкого неметаллического материала заключается в следующем.

Поверхность хрупкого неметаллического материала нагревают вдоль контура обработки эллиптическим лазерным пучком с длиной волны, обеспечивающей поверхностный нагрев обрабатываемого материала (для силикатного стекла целесообразно применение лазерного излучения с длиной волны 10,6 мкм). При этом эллиптический лазерный пучок ориентируют по касательной к точкам контура обработки, а нагрев осуществляют до температуры, не превышающей температуру размягчения материала. Одновременно с эллиптическим лазерным пучком, обеспечивающим поверхностный нагрев, на материал воздействуют лазерным пучком с длиной волны, обеспечивающей объемный нагрев обрабатываемого материала (для силикатного стекла целесообразно применение лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм). Причем объемный нагрев материала осуществляют со смещением от линии реза в радиальном направлении от центра криволинейного контура.

Использование объемного нагрева обрабатываемого материала, выполняемого со смещением от контура обработки, обеспечивает создание пространственной конфигурации полей напряжений, позволяющей скомпенсировать их асимметрию, возникающую из-за воздействия эллиптического лазерного пучка, ориентированного по касательной к криволинейному контуру обработки.

Таким образом, дополнительное воздействие лазерного излучения с длиной волны, соответствующей объемному поглощению материалом, обеспечивает отклонение угла плоскости наносимой микротрещины трещины от нормального к поверхности материала.

Предварительный надрез на поверхности материала инициирует появление разделяющей микротрещины в поверхностных слоях материала.

Нанесение предварительного надреза радиально контуру обработки при совмещении точки пересечения надреза и контура обработки с началом линии реза позволяет на завершающем этапе нанесения микротрещины в месте замыкания линии реза исключить влияние на распространение наносимой микротрещины ее собственного "хвоста", являющегося концентратором значительных по величине напряжений.

В результате это позволяет устранить отклонения наносимой микротрещины от линии лазерного воздействия в месте замыкания контура обработки.

Сущность изобретения поясняется чертежами, на которых представлены:

фиг. 1 - схема взаимного расположения зон воздействия лазерных пучков и хладагента;

фиг. 2 - схема взаимного расположения зон воздействия лазерных пучков и хладагента в начале обработки.

На схеме взаимного расположения зон воздействия лазерных пучков и хладагента (фиг. 1) изображено сечение эллиптического лазерного пучка 1 с длиной волны, обеспечивающей поверхностный нагрев обрабатываемого материала, зона воздействия хладагента 2, сечение лазерного пучка 3 с длиной волны, обеспечивающей объемный нагрев обрабатываемого материала, обрабатываемый материал 4. Стрелкой отмечено направление перемещения материала. Отрезком АВ обозначен предварительный надрез на поверхности материала, нанесенный радиально началу контура линии реза. Точкой О обозначено начало контура обработки.

ВУ 11830 С1 2009.04.30

Способ осуществляют следующим образом.

Берут исходную заготовку обрабатываемого материала 4, например лист стекла (фиг. 2). Укладывают его на плиту координатного стола. Включают перемещение стола с заготовкой и наносят предварительный надрез АВ на поверхности материала радиально началу контура линии реза (возможно нанесение предварительного надреза в виде лазерной микротрещины).

Направляют эллиптический лазерный пучок 1 с длиной волны, обеспечивающей интенсивное поглощение излучения поверхностными слоями обрабатываемого материала (для силикатного стекла целесообразно применение лазерного излучения с длиной волны 10,6 мкм) на поверхность материала 4 в начало контура обработки (точка О) по касательной к нему. Одновременно воздействуют на обрабатываемый материал лазерным пучком 3 с длиной волны, соответствующей объемному поглощению излучения обрабатываемым материалом (для силикатного стекла целесообразно применение лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм), при этом лазерный пучок смещают в радиальном направлении от центра к краю криволинейного контура.

Координатный стол перемещает изделие 4 по контуру обработки, при этом одновременно подают хладагент 2 в зону, нагретую лазерным излучением.

В месте подачи хладагента 2 инициируется разделяющая микротрещина, которая развивается в зоне растягивающих напряжений, сформированных хладагентом. Далее разделяющая микротрещина распространяется по контуру обработки материала.

Таким образом, за счет объемного лазерного нагрева обрабатываемого материала обеспечивается устранение отклонения угла плоскости наносимой микротрещины трещины от нормального к поверхности материала.

На завершающем этапе развития микротрещины происходит замыкание линии реза в точке О, при этом на распространение наносимой микротрещины исключается влияние ее собственного "хвоста", вершина которого совмещена с предварительно нанесенным перпендикулярно контуру обработки надрезом АВ. В этом случае в месте замыкания контура лазерной обработки не происходит формирование дополнительной зоны значительных по величине напряжений у вершины "хвоста" криволинейной микротрещины, вследствие чего достигается устранение отклонения наносимой микротрещины от линии лазерного воздействия в месте замыкания контура обработки.

Далее целесообразно для окончательного разделения материала по контуру обработки осуществлять последующий кратковременный нагрев поверхности материала со стороны, противоположной воздействию лазерных пучков, источником тепла, форма внешней границы которого совпадает с формой контура обработки. (Например, в случае круговой микротрещины целесообразно использование кольцевого источника тепла с внешним радиусом, немного меньшим радиуса обработки). В результате такого кратковременного нагрева происходит окончательное формирование сквозной разделяющей трещины, конфигурация и размеры которой исключают заметные отклонения от контура обработки, при получении конечного изделия, которое возможно путем небольшой деформации обрабатываемого изделия.

Качественная оценка выполненных результатов осуществлена при нанесении круговых микротрещин радиусом $R = 10-25$ мм в образцах из стекла марок М3-М5 толщиной 2-4 мм. В работе использовали лазер ИЛГН 802 с регулируемой мощностью излучения до 80 Вт, с длиной волны излучения $\lambda = 10,6$ мкм. И YAG - лазер ЛТН-103 с регулируемой мощностью до 100 Вт, с длиной волны излучения $\lambda = 1,06$ мкм. При разделении стекла лазерное излучение с $\lambda = 10,6$ мкм фокусировали сфероцилиндрической линзой в эллиптические пучки с геометрическими размерами $a \times b$, где большая ось $a = 6-14$ мм, а малая ось $b = 0,5-2$ мм, а излучение с $\lambda = 1,06$ мкм сферической линзой в круглые пучки радиусом $r = 0,5-2,5$ мм. Смещение пучка с $\lambda = 1,06$ мкм от центра контура обработки (за линию реза) составляло 0,1-3 мм. Линейная скорость резки образцов составляла 10-50 мм/с. В качестве

источника тепла для осуществления кратковременного нагрева использовали стальные кольца, нагреваемые до 400-500 °С.

При этом реализация предложенного способа обеспечила устранение отклонения угла плоскости наносимой микротрещины трещины от нормального к поверхности материала и устранение отклонения наносимой микротрещины от контура обработки в месте его замыкания.

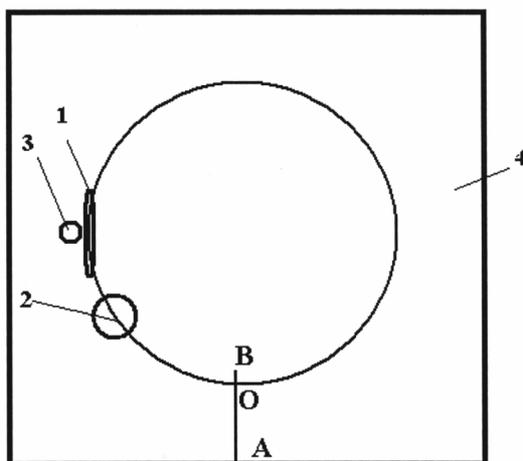
Для сравнения было осуществлено разделение аналогичных образцов по способу, изложенному в прототипе. В ходе экспериментов было определено, что реализация процесса по способу, изложенному в прототипе, характеризуется отклонениями наносимой микротрещины от линии лазерного воздействия при обработке вдоль криволинейного контура, отклонениями наносимой микротрещины от линии лазерного воздействия в месте замыкания контура обработки. Кроме этого, при докалывании аналогичных образцов по способу, изложенному в прототипе, наблюдался большой процент брака.

Анализируя результаты проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что предлагаемый способ обеспечивает повышение эффективности и качества разделения хрупких неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений по замкнутым криволинейным контурам.

Указанные условия оптимизации процесса резки неметаллических материалов, преимущественно стекла, по замкнутым криволинейным контурам под действием термоупругих напряжений обеспечивают возможность получения изделий с высококачественными торцами, перпендикулярными поверхности обрабатываемого материала, и высокую точность геометрических размеров вырезаемых изделий.

Источники информации

1. Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла. - М.: Сов. радио, 1979. - 136 с. (Массовая б-ка инженера "Электроника").
2. Патент РФ 2024441, МПК⁷ С 03В 33/02. - Оpubл. 1994.12.15 (прототип).



Фиг. 2