

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 16479

(13) С1

(46) 2012.10.30

(51) МПК

С 03В 33/02 (2006.01)

С 03В 33/09 (2006.01)

(54)

## СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ РЕЗКОЙ ХРУПКОГО НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ

(21) Номер заявки: а 20101081

(22) 2010.07.15

(43) 2012.02.28

(71) Заявитель: Учреждение образования "Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины" (ВУ)

(72) Авторы: Шалупаев Сергей Викентьевич; Никитюк Юрий Валерьевич; Серeda Андрей Александрович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины" (ВУ)

(56) ВУ 10167 С1, 2007.

ВУ 1979 U, 2005.

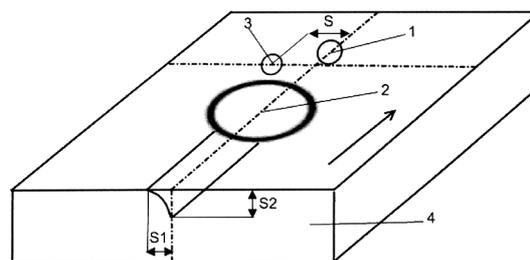
RU 2206526 С2, 2003.

RU 2354616 С2, 2009.

KR 2002/0047479 А.

(57)

Способ разделения резкой хрупкого неметаллического материала, преимущественно стекла, под действием термоупругих напряжений, в котором при перемещении материала во время обработки формируют в нем лазерно-индуцированную микротрещину и осуществляют ее развитие посредством нанесения предварительного надреза на поверхности материала, одновременного поверхностного и объемного нагрева материала двумя лазерными пучками соответственно до температуры, не превышающей температуру релаксации термоупругих напряжений, и последующего поверхностного охлаждения зоны лазерного нагрева подачей хладагента, **отличающийся** тем, что центр лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев обрабатываемого материала, размещают на отрезке прямой, перпендикулярной линии перемещения центра лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, и проходящей через отрезок этой линии, ограниченный центром лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, и фронтом зоны охлаждения, причем расстояние  $S$  от центра лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев обрабатываемого материала, до отрезка линии перемещения центра лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, ограниченного центром лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, и фронтом зоны охлаждения, определяют из равенства



$$S = S1/K1,$$

ВУ 16479 С1 2012.10.30

# BY 16479 C1 2012.10.30

где  $S1$  - ширина формируемой наклонной микротрещины;

$K1$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров используемых лазерных пучков, скорость  $V$  относительного перемещения материала и зон нагрева и охлаждения определяют из равенства

$$V = S1/(S2 \cdot K2),$$

где  $S2$  - глубина формируемой наклонной микротрещины;

$K2$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств обрабатываемого материала,

радиус зоны охлаждения  $R3$  определяют из условия

$$R3 \geq S + R1 + R2,$$

где  $R1$  - радиус лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала;

$R2$  - радиус лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев обрабатываемого материала.

Изобретение относится к способам обработки материалов, в частности к способу лазерного термораскалывания хрупких неметаллических материалов, преимущественно стекла, обеспечивающему возможность формирования наклонных кромок с заданной геометрией под действием термоупругих напряжений.

Изобретение может быть использовано в электронной, стекольной и авиационной отраслях промышленности, в области архитектуры и стройматериалов, а также в других областях техники и производства, где существует необходимость прецизионной 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, 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 возможность получения разделяющих трещин заданной формы.

Известен способ разделения резкой неметаллического материала, преимущественно стекла, под действием термоупругих напряжений путем нанесения предварительного надреза на поверхности материала, поверхностного нагрева материала эллиптическим лазерным пучком до температуры, не превышающей температуры релаксации термоупругих напряжений, и локального охлаждения зоны нагрева, осуществляемого со смещением центра зоны охлаждения относительно линии реза при перемещении по обрабатываемой поверхности зон нагрева и охлаждения [2].

Основным недостатком известного способа является отсутствие возможности эффективного управления пространственной конфигурацией термоупругих полей в объеме материала в случае обработки стеклоизделий большой толщины.

Еще одним недостатком известного способа является низкая стабильность процесса формирования лазерно-индуцированной трещины.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому способу является способ разделения резкой хрупкого неметаллического материала под действием термоупругих напряжений, в котором при перемещении материала во время обработки формируют в

## BY 16479 C1 2012.10.30

нем лазерно-индуцированную микротрещину и осуществляют ее развитие посредством нанесения предварительного надреза на поверхности материала, одновременного поверхностного и объемного нагрева материала двумя лазерными пучками соответственно до температуры, не превышающей температуру релаксации термоупругих напряжений, и последующего поверхностного охлаждения зоны лазерного нагрева подачей хладагента [3].

К недостаткам известного способа следует отнести невозможность его применения для получения наклонных кромок с заданной геометрией.

В основу настоящего изобретения положена задача создания надежного способа лазерного термораскалывания хрупких неметаллических материалов, включая стекло, при реализации которого обеспечивается возможность формирования наклонных кромок с заданной геометрией в стеклоизделиях большой толщины, которые отличаются повышенными прочностными характеристиками.

Технический результат, достигаемый заявляемым изобретением, заключается в создании заданной асимметричной относительно контура обработки конфигурации полей термоупругих напряжений в объеме материала при обработке изделий большой толщины, величина и направление которых приводят к образованию разделяющей трещины необходимой пространственной формы.

Технический результат достигается тем, что в способе разделения резкой хрупкого неметаллического материала под действием термоупругих напряжений, в котором при перемещении материала во время обработки формируют в нем лазерно-индуцированную трещину и осуществляют ее развитие посредством нанесения предварительного надреза на поверхности материала, одновременного поверхностного и объемного нагрева материала двумя лазерными пучками соответственно до температуры, не превышающей температуру релаксации термоупругих напряжений, и последующего поверхностного охлаждения зоны лазерного нагрева подачей хладагента, центр лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев обрабатываемого материала, размещают на отрезке прямой, перпендикулярной линии перемещения центра лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, и проходящей через отрезок этой линии, ограниченный центром лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала и фронтом зоны охлаждения, причем расстояние  $S$  от центра лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев материала, до отрезка линии перемещения центра лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, ограниченного центром лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, и фронтом зоны охлаждения, определяют из равенства

$$S = S1/K1,$$

где  $S1$  - ширина формируемой наклонной микротрещины;

$K1$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров используемых лазерных пучков,

скорость  $V$  относительного перемещения материала и зон нагрева и охлаждения определяют из равенства

$$V = S1/(S2 \cdot K2),$$

где  $S2$  - глубина формируемой наклонной микротрещины;

$K2$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств обрабатываемого материала,

радиус зоны охлаждения  $R3$  определяют из условия

$$R3 \geq S + R1 + R2,$$

где  $R1$  - радиус лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала;

$R2$  - радиус лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев обрабатываемого материала.

# BY 16479 C1 2012.10.30

Сущность изобретения поясняется фигурой, на которой представлена схема образования наклонной трещины в стеклянной пластине с помощью двух лазерных пучков и хладагента.

Позицией 1 отмечена зона воздействия лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, позицией 2 - зона воздействия хладагента, позицией 3 - зона воздействия лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев обрабатываемого материала на плоскости обработки. Позиция 4 - заготовка из хрупкого неметаллического материала. Стрелкой отмечено направление перемещения изделия.

Способ осуществляют следующим образом.

Берут исходную заготовку 4, например лист стекла. Укладывают его на плиту координатного стола. Включают перемещение стола с заготовкой 4 и наносят дефект (закол, надрез) в начале линии обработки. Далее координатный стол перемещает заготовку 4, в результате чего на плоскости обработки осуществляют перемещение по обрабатываемой поверхности зоны воздействия лазерного пучка 1, зоны воздействия лазерного пучка 3 и зоны воздействия хладагента 2.

Центр зоны воздействия хладагента 2 размещают на отрезке прямой, перпендикулярной линии перемещения центра лазерного пучка 1 и проходящей через отрезок этой линии, ограниченный центром лазерного пучка 3 и фронтом зоны охлаждения.

Управление геометрическими параметрами формируемой наклонной трещины в соответствии с заявляемым способом осуществляют

выбором расстояния  $S$  от центра лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев материала, до отрезка линии перемещения центра лазерного пучка 1, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала и ограниченного центром лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала, и фронтом зоны охлаждения,

выбором скорости  $V$  относительного перемещения по обрабатываемой поверхности зон нагрева и охлаждения при заданной ширине  $S1$  и глубине  $S2$  наклонной трещины.

Расстояние  $S$  определяют из равенства

$$S = S1/K1,$$

где  $S1$  - ширина формируемой наклонной микротрещины,

$K1$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров используемых лазерных пучков 1, 2.

Скорость  $V$  определяют из равенства

$$V = S1/(S2 \cdot K2),$$

где  $S1$  - ширина формируемой наклонной микротрещины,

$S2$  - глубина формируемой наклонной микротрещины,

$K2$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств обрабатываемого материала.

Радиус зоны охлаждения  $R3$  определяют из условия

$$R3 \geq S + R1 + R2,$$

где  $R1$  - радиус лазерного пучка, обеспечивающего поверхностный нагрев обрабатываемого материала,

$R2$  - радиус лазерного пучка, обеспечивающего объемный нагрев обрабатываемого материала.

В месте подачи хладагента 2 инициируется разделяющая наклонная микротрещина, которая, зародившись от нанесенного дефекта, развивается в зоне растягивающих напряжений, сформированных хладагентом 2. Максимальных значений растягивающие напряжения на поверхности материала достигают на расстоянии  $S1$  от линии, соединяющей центр лазерного пучка 1 и центр зоны воздействия хладагента 2. В более глубоких слоях границы области максимальных растягивающих напряжений смещаются к вертикальной плоскости, проведенной через линию перемещения центра лазерного пучка 1.

## ВУ 16479 С1 2012.10.30

В результате этого в объеме материала формируется асимметричная относительно контура обработки конфигурация полей термоупругих напряжений, величина и направление которых приводят к образованию наклонной разделяющей трещины.

После нанесения наклонной разделяющей микротрещины прекращают подачу лазерного излучения и хладагента 2. Далее координатный стол перемещает заготовку 4 в начало следующей линии разделения для повторения описанной выше последовательности действий.

После нанесения всех разделяющих микротрещин отключают подачу лазерных пучков 1, 3 и хладагента 2 и останавливают координатный стол. Разделение материала производят по нанесенным наклонным трещинам. В результате окончательного разделения осуществляется формирование наклонных кромок у стеклоизделий большой толщины, которые отличаются повышенными прочностными характеристиками.

При этом повышение прочностных характеристик обусловлено как бездефектностью полученных кромок, так и их геометрией.

Пример осуществления заявляемого способа и качественная оценка выполненных результатов осуществлена при нанесении наклонных трещин в образцах из стекла марок М3-М5 толщиной 3-7 мм.

В качестве лазера 1 использовали лазер ИЛГН 802 мощностью излучения, изменяемой в диапазоне 0-80 Вт, с длиной волны излучения  $\lambda = 10,6$  мкм, обеспечивающей максимальное поглощение излучения тонким поверхностным слоем силикатных стекол.

В качестве лазера 3 - YAG-лазер мощностью излучения, изменяемой в диапазоне 0-100 Вт, с длиной волны излучения  $\lambda = 1,06$  мкм, соответствующей объемному поглощению излучения силикатными стеклами.

При разделении стекла лазерное излучение с  $\lambda = 10,6$  мкм фокусировали в круглые пучки с радиусом  $R1 = 1,0-2,2$  мм, а излучение с  $\lambda = 1,06$  мкм фокусировали сферической линзой в круглые пучки радиусом  $R2 = 0,7-1,6$  мм.

В качестве хладагента 2 использовали воздушно-водяную смесь.

Скорость резки образцов составляла 3-35 мм/с. При этом безразмерный коэффициент  $K1$  принимал значения в диапазоне 0,05-0,2, а коэффициент  $K2$  принимал значения в диапазоне 1-2 с/мм.

Реализация предложенного способа обеспечила нанесение наклонных разделяющих микротрещин шириной  $S1 = 0,05-0,6$  мм и глубиной  $S2 = 0,3-1,6$  мм.

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 недостаточно глубоким трещинообразованием из-за использования в качестве технологического инструмента лазерного излучения с длиной волны, поглощаемой тонким поверхностным слоем обрабатываемого материала.

Анализируя результаты проведенных экспериментальных исследований, можно сделать вывод, что предлагаемый способ разделения хрупких неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений обеспечивает создание в объеме материала заданной асимметричной относительно контура обработки конфигурации полей термоупругих напряжений, величина и направление которых приводят к образованию разделяющей трещины необходимой пространственной формы, в том числе в случае обработки изделий большой толщины.

# **ВУ 16479 С1 2012.10.30**

Источники информации:

1. Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла. - М.: Сов. Радио, 1979. - С.48-67.
2. RU 2024441, С1, МПК<sup>7</sup> С 03В 33/02, 1994.
3. ВУ 10167, С1, МПК (2006) С 03В 33/00 (прототип).
4. ВУ 11830, С1, МПК (2006) С 03В 33/00.