

УДК 678.8:620.179

## Способ контроля высоты поверхностных трещин в изделиях из конструкционной керамики

С.И. Минин<sup>1</sup>, М.Ю.Русин<sup>1,2</sup>, А.В. Терехин<sup>1</sup>, Д.И. Чулков<sup>1</sup>, А.А. Филатов<sup>1</sup><sup>1</sup> ГНЦ РФ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана

## Approach to controlling the surface crack height in products made of structural ceramics

S.I. Minin<sup>1</sup>, M.Yu.Rusin<sup>1,2</sup>, A.V. Terehin<sup>1</sup>, D.I. Chulkov<sup>1</sup>, A.A. Filatov<sup>1</sup><sup>1</sup> Obninsk Research and Production Enterprise Technologiya named after A.G. Romashin JSC<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University

При производстве изделий из конструкционной керамики существует высокая вероятность образования трещин, которые приводят к их разрушению даже при незначительной эксплуатационной нагрузке. В связи с этим наличие трещин в изделиях из конструкционной керамики является недопустимым. На стадии механической обработки таких изделий поверхностные трещины могут быть удалены, а изделия не забракованы, если высота трещины меньше глубины механической обработки. Показано, что для снижения количества брака при производстве изделий из керамических материалов важной и актуальной задачей является разработка способа оперативного неразрушающего контроля высоты поверхностных трещин, позволяющего получать информацию для принятия решения о возможной механической доработке заготовки керамического изделия. Приведены результаты разработки ультразвукового способа определения высоты поверхностных трещин в изделиях из кварцевой керамики и стеклокерамики, позволяющего проводить технологический контроль высоты поверхностных трещин неразрушающим методом с помощью прямого ультразвукового преобразователя при одностороннем доступе к поверхности объекта контроля.

EDN: BXXBQU

**Ключевые слова:** конструкционная керамика, технологический контроль, высота трещины, дифракция ультразвуковых волн, амплитуда донного сигнала

Manufacture of products made of structural ceramics faces high probability of cracks formation leading to the product destruction even under the minor operation loads. In this regard, cracks in products made of structural ceramics are not allowed. Surface cracks could be removed at the stage of such products machining, and they are not rejected, if the crack height is lower than the machining depth. Therefore, in order to reduce the number of defects in manufacturing products of the ceramic materials, an important and urgent task is to develop a method for prompt non-destructive testing of the surface cracks height making it possible to obtain information and make a decision on possible mechanical modification of the ceramic product workpiece. The paper presents results of developing an ultrasonic method to determine the surface cracks height in products made of quartz ceramics and glass ceramics, which allows for technological control of the surface cracks height by the non-destructive method using a direct ultrasonic transducer with one-sided access to the test object surface.

EDN: BXXBQU

**Keywords:** constructional ceramics, technological control, crack height, ultrasonic wave, diffraction of ultrasonic waves, amplitude of bottom signal

Изделия из конструкционных керамических материалов находят все более широкое применение во многих отраслях современной промышленности благодаря уникальным физико-техническим и эксплуатационным свойствам [1, 2]. В авиационной, ракетно-космической и атомной промышленности наибольшее распространение получили такие керамические материалы, как кварцевая керамика ( $\text{SiO}_2$ ), стекло-керамика, алюмооксидная керамика ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), а также керамика на основе нитрида и карбида кремния [3, 4].

Технология изготовления изделий из конструкционной керамики неизбежно связана с вероятностью образования трещин в материале, которые при нагрузке существенно меньше предельного значения и могут привести к разрушению и потере несущей способности изделия в процессе эксплуатации.

В связи с этим контроль заготовок и изделий из конструкционной керамики на отсутствие трещин является неотъемлемой частью технологического процесса их производства. При обнаружении трещин в керамических заготовках до их механической обработки поверхностные трещины, высота которых меньше глубины обработки, могут быть удалены вместе со снимаемым слоем материала.

Цель исследования — разработка способа оперативного и неразрушающего контроля высоты поверхностной трещины, позволяющего получать информацию для принятия решения о возможной механической доработке керамической заготовки, что позволит снизить количество брака при производстве изделий из керамических материалов.

Известен ультразвуковой метод определения высоты трещины путем измерения перемещения ультразвукового преобразователя поперек ее расположения, описанный в ГОСТ Р ИСО 16827–2016 (Контроль ультразвуковой. Определение характеристик несплошностей). Однако при контроле изделий из конструкционной керамики этот метод не обеспечивает достаточную точность вследствие высокой погрешности измерения перемещения преобразователя при оперативном контроле.

Предлагаемый способ измерения высоты трещин основан на анализе распространения упругих ультразвуковых волн (УЗВ) в керамическом материале, содержащем трещину. В основу большей части способов, реализующих ультразвуковые методы неразрушающего кон-

троля, положено лучевое представление о распространении и рассеянии УЗВ на дефектах, размеры которых существенно больше длины волны, подчиняющееся законам геометрической оптики [5–8].

Законы геометрической оптики позволяют корректно описывать поля распространения и рассеяния УЗВ в широком интервале углов падения, частот колебаний и форм отражателей. Однако существуют области, где законы геометрической оптики не выполняются, и ультразвуковые поля являются дифракционными (ДП) [9–11].

В этом случае под дифракцией понимают явление, возникающее при взаимодействии УЗВ с препятствием и заключающееся в изменении амплитуды и фазы УЗВ и ее отклонении от прямолинейного пути распространения. В соответствии с этим представлением законы геометрической оптики нарушаются в переходных областях, где образуются не учитываемые этими законами ДП.

В твердом теле существуют переходные области четырех типов (где возникают соответствующие ДП):

- 1) острые края дефектов и трещин (ДП первого типа);
- 2) поверхность гладких тел, в которых УЗВ касаются ее и порождают дифракционные волны соскальзывания (ДП второго типа);
- 3) падение УЗВ на границу раздела двух сред под первым, вторым или третьим критическими углами (ДП третьего типа);
- 4) слоисто-неоднородные среды, в которых меняется групповая скорость УЗВ (ДП четвертого типа).

Все перечисленные области являются источниками волн дифракции.

Чтобы решить дифракционные задачи рассеивания УЗВ в однородном твердом теле, применяют волновые уравнения Гельмгольца для потенциалов смещения в результирующей продольной  $l$  и поперечной  $t$  УЗВ:

$$\begin{cases} \nabla^2 \varphi + k_l^2 \varphi = 0; \\ \nabla^2 A + k_t^2 A = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $\nabla$  — оператор Гамильтона,

$$\nabla = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \mathbf{k}$$

( $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  — единичные орты декартовой системы координат);  $k_l$  и  $k_t$  — волновые числа для продольных и поперечных волн,

$$k_l = w/c_l; \quad k_t = w/c_t,$$

где  $w$  — циклическая частота;  $c_l$  и  $c_t$  — скорости продольных и поперечных волн.

Граничными условиями является равенство нулю нормальных и касательных напряжений на границе раздела сред.

Интегрируя выражение (1) методом преобразования Фурье, получаем потенциалы смещений в виде

$$\begin{aligned} \varphi(x, y, z) &= \\ &= \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \varphi(k_x, k_y, z) e^{-j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y; \\ A_i(x, y, z) &= \\ &= \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} A_i(k_x, k_y, z) e^{-j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\varphi(x, y, z)$  и  $A_i(x, y, z)$  — функции проекций волнового вектора  $\mathbf{k}$  на оси  $x, y, z$ , представляющие собой спектральные плотности компонентов скалярных и векторных потенциалов;  $i$  — любая компонента векторного потенциала.

После подстановки выражений (2) в систему уравнений (1) имеем

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \varphi(x, y, z)}{\partial z^2} + [k_t^2 - (k_x^2 + k_y^2)] \varphi(k_x, k_y, z) = 0; \\ \frac{\partial^2 A(x, y, z)}{\partial z^2} + [k_l^2 - (k_x^2 + k_y^2)] A_i(k_x, k_y, z) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Используя введенные обозначения

$$\xi^2 = k_t^2 - k^2; \quad \eta^2 = k_l^2 - k^2; \quad k^2 = k_x^2 + k_y^2,$$

преобразуем систему уравнений (3) следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \varphi(x, y, z)}{\partial z^2} + \xi^2 \varphi(k_x, k_y, z) = 0; \\ \frac{\partial^2 A(x, y, z)}{\partial z^2} + \eta^2 A_i(k_x, k_y, z) = 0. \end{cases}$$

Эти дифференциальные уравнения имеют структуру, подобную волновым уравнениям, поэтому их решение представим в виде бегущих от преобразователя УЗВ:

$$\begin{aligned} \varphi(k_x, k_y, z) &= \varphi(k_x, k_y) e^{-j\xi z}; \\ A_i(k_x, k_y, z) &= A_i(k_x, k_y) e^{-j\eta z}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\varphi, A_x, A_y, A_z$  — неизвестные члены уравнений, определяемые из граничных условий (2), которые с учетом (4) можно записать как

$$\begin{aligned} \varphi(x, y, z) &= \\ &= \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \varphi(k_x, k_y, z) e^{-j(k_x x + k_y y + \xi z)} dk_x dk_y; \\ A_i(x, y, z) &= \\ &= \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} A_i(k_x, k_y, z) e^{-j(k_x x + k_y y + \eta z)} dk_x dk_y. \end{aligned} \quad (5)$$

При приеме УЗВ из выражений (5) получаем формулу для напряжения

$$\sigma_{zz}^{i \text{ mp}} = -(\lambda k_t^2 + 2\eta \xi^2) \varphi|_{z=H}, \quad (6)$$

где  $\lambda$  — длина УЗВ;  $H$  — расстояние, пройденное волной от излучения до приема.

Амплитуда электрического сигнала от принятой продольной УЗВ определяется как среднее значение напряжения на приемном преобразователе:

$$U_l = \frac{1}{S_{\text{п}}} \left| \iint_{S_0} \sigma_{zz}^{i \text{ mp}} \right|, \quad (7)$$

где  $S_{\text{п}}$  — площадь поверхности приемного преобразователя;  $S_0$  — площадь поверхности излучающего преобразователя.

Подставляя выражение (6) в соотношение (7), получаем формулу для амплитуды электрического сигнала от принятой продольной УЗВ

$$\begin{aligned} U_l &= \frac{1}{S_{\text{п}}} \left| \iint_{S_0} \left[ (\lambda k_t^2 + 2\eta \xi^2) \frac{\sigma_0 S_{\text{п}}}{(2\pi)^2 \eta k_t^2} \times \right. \right. \\ &\quad \times \left. \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{2J(\eta^2 - k_t^2)(\eta^2 + k_t^2)}{k_l F(k_l)} \times \right. \\ &\quad \left. \left. \times e^{-j(k_x x + k_y y + \xi z)} dk_x dk_y \right] dS_{\text{п}} \right|, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\sigma_0$  — амплитуда нормальной компоненты напряжения;  $J$  — цилиндрическая функция Бесселя.

Из формулы (8) следует, что дифракционные поправки зависят от волнового числа, площади излучателя и пройденного волной расстояния от излучателя до приемника.

В практике ультразвукового контроля давно замечено явление ослабления донного сигнала при расположении преобразователя над трещиной, ориентированной вдоль направления распространения УЗВ [12, 13], причем как для металлов, так и для керамики. Ославление донного сигнала связано с образованием дифрагированных головных и боковых УЗВ. При распространении продольной УЗВ вдоль трещины

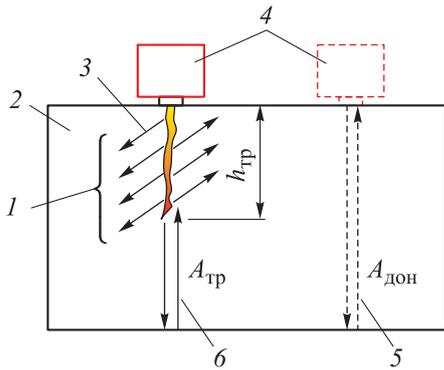


Рис. 1. Схема для определения дифракционного ослабления донного сигнала:  
 1 — направление распространения боковых поперечных УЗВ; 2 — объект контроля;  
 3 — вертикально-ориентированная трещина высотой  $h_{тр}$ ; 4 — прямой ПЭП; 5 и 6 — донный сигнал при отсутствии и наличии трещины

часть ее энергии в результате взаимодействия с краями трещины переходит в две головные волны, которые в свою очередь излучают две боковые поперечные волны, отходящие под третьим критическим углом.

При обратном ходе продольной волны вновь излучаются головные и боковые волны, которые могут быть приняты приемным преобразователем. Амплитуда дифрагированных волн существенно меньше амплитуды ультразвуковой волны, образовавшей их [13].

Таким образом, для оперативного (с технологической точки зрения) контроля высоты поверхностной трещины можно использовать отношение  $A_{тр}/A_{дон}$  (рис. 1), где  $A_{тр}$  — амплитуда УЗВ, прошедшей по трещине, отраженной от противоположной поверхности контролируемого изделия и вернувшейся назад на ультразвуковой преобразователь;  $A_{дон}$  — амплитуда УЗВ, прошедшей по контролируемой бездефектной области материала изделия, отраженной от его

противоположной поверхности и вернувшейся назад на ультразвуковой преобразователь.

Для проверки предлагаемого способа на практике при производстве изделий из керамических материалов проведены экспериментальные исследования по определению зависимости между высотой трещины  $h_{тр}$  и отношением амплитуд  $A_{тр}/A_{дон}$  для двух типов материалов, наиболее широко применяемых при производстве элементов конструкции летательного аппарата, — кварцевой керамики НИАСИТ и стеклокерамики ОТМ-357.

При обнаружении дефекта типа трещины из керамических изделий изготавливали образцы для установления зависимости  $h_{тр} = f(A_{тр}/A_{дон})$ . С помощью ультразвукового дефектоскопа УСД-60 и прямого пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) в изготовленных образцах измеряли амплитуды донного сигнала при установке ПЭП на трещине  $A_{тр}$  и бездефектном участке  $A_{дон}$  в непосредственной близости от трещины. Измерения осуществляли в эхо-импульсном режиме на частоте 10 МГц.

Осциллограммы на экране ультразвукового дефектоскопа УСД-60 при установке ПЭП на поверхностную трещину и бездефектный участок образца приведены на рис. 2.

Высоту (глубину) трещин  $h_{тр}$  измеряли следующим образом: наносили и выдерживали на образце цветную индикаторную жидкость по второму классу чувствительности, разрушали его по трещине и определяли с помощью измерительной оптической лупы размеры индикаторного следа на сколе образца. Внешний вид поверхностных трещин 1 после нанесения цветной проникающей жидкости и разрушения керамических образцов из кварцевой керамики НИАСИТ (а) и стеклокерамики ОТМ-357 показан на рис. 3.

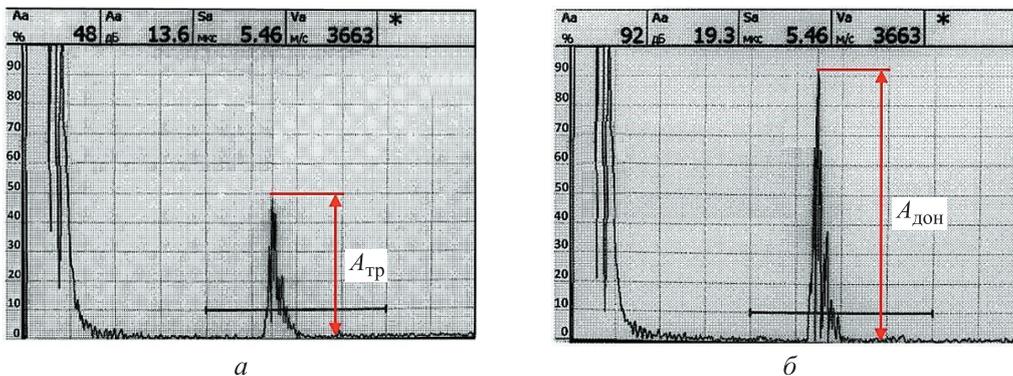


Рис. 2. Осциллограммы на экране ультразвукового дефектоскопа УСД-60 при установке ПЭП на поверхностную трещину (а) и бездефектный участок (б) образца

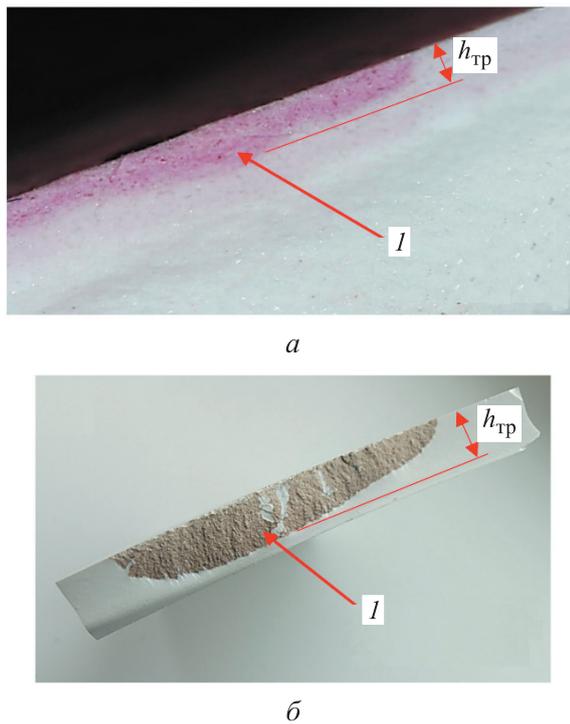


Рис. 3. Внешний вид поверхностных трещин после нанесения цветной проникающей жидкости и разрушения образцов из кварцевой керамики НИАСИТ (а) и стеклокерамики ОТМ-357 (б)

По результатам проведенных измерений определены отношения амплитуд донного сигнала  $A_{тр}/A_{дон}$  и построены зависимости высоты вертикально ориентированных плоскостных дефектов (трещин) в образцах из стеклокерамики ОТМ-357 и кварцевой керамики НИАСИТ от отношения амплитуд  $A_{тр}/A_{дон}$  (рис. 4). Установлено, при отклонении плоскости трещины от нормали к поверхности контролируемого изделия на угол не более  $30^\circ$  погрешность определения высоты трещины не превышает 20 % [14].

Полученные экспериментальные зависимости (рис. 4) использованы для экспресс-контроля высоты поверхностных трещин в керамических заготовках в условиях серийного производства элементов конструкций летательного аппарата при принятии решения о возможности устранения обнаруженной трещины путем механической обработки и целесо-

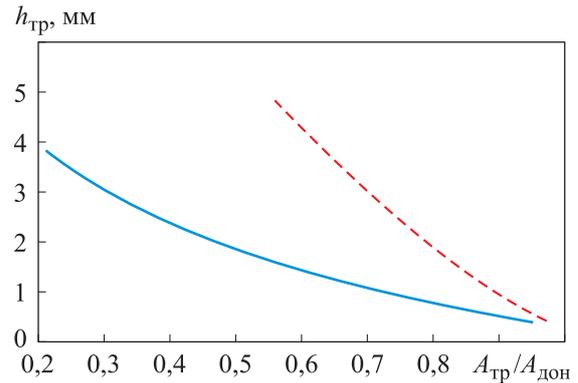


Рис. 4. Зависимости высоты вертикально ориентированных плоскостных дефектов (трещин) в образцах из стеклокерамики ОТМ-357 (---) и кварцевой керамики НИАСИТ (—) от отношения амплитуд  $A_{тр}/A_{дон}$

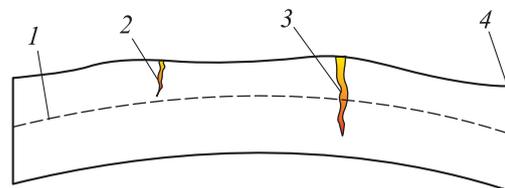


Рис. 5. Внешний вид трещин в заготовке: 1 — теоретический контур изделия; 2 и 3 — устранимая и неустраняемая трещины; 4 — фактический контур заготовки

образности ее проведения для заготовки, трещина в которой расположена в пределах теоретического контура изделия (рис. 5).

## Выводы

1. Получены зависимости между отношением амплитуд  $A_{тр}/A_{дон}$  и высотой вертикально ориентированных плоскостных дефектов в образцах из стеклокерамики и кварцевой керамики.
2. На основе полученных зависимостей разработан оперативный ультразвуковой неразрушающий способ определения высоты поверхностных трещин в заготовках и изделиях из конструкционной керамики.
3. Использование разработанного способа ультразвукового неразрушающего контроля в процессе серийного производства изделий из конструкционной керамики позволит снизить количество брака.

## Литература

- [1] Харитонов Д.В., Тычинская М.С., Анашкина А.А. и др. *Керамические материалы для авиации и космоса*. Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. 120 с.

- [2] Суздальцев Е.И., Харитонов Д.В., Анашкина А.А. Анализ существующих радиопрозрачных огнеупорных материалов, композиций и технологий для создания обтекателей скоростных ракет. Часть 1. Анализ уровня показателей свойств и предельных возможностей радиопрозрачных огнеупорных неорганических материалов. *Новые огнеупоры*, 2010, № 6, с. 45–49.
- [3] Русин М.Ю. *Проектирование головных обтекателей ракет из керамических и композиционных материалов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 63 с.
- [4] Русин М.Ю., ред. *Радиопрозрачные обтекатели летательных аппаратов*. Харьков, ХАИ, 2003. 239 с.
- [5] Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. *Неразрушающий контроль*. Т. 3. *Ультразвуковой контроль*. Москва, Машиностроение, 2004. 864 с.
- [6] Крауткремер Й., Крауткремер Г. *Ультразвуковой контроль материалов*. Москва, Металлургия, 1991. 752 с.
- [7] Выборнов Б.И. *Ультразвуковая дефектоскопия*. Москва, Металлургия, 1985. 256 с.
- [8] Зацепин А.Ф. *Акустический контроль*. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2016. 211 с.
- [9] Вopilкин А.Х. *Дифракционные методы в ультразвуковом неразрушающем контроле*. Москва, Изд-во НПО Приборпром, 1989. 70 с.
- [10] Вopilкин А.Х. Волны дифракции и их применение в ультразвуковом неразрушающем контроле. *Дефектоскопия*, 1985, № 1, с. 20–34; № 2, с. 72–85.
- [11] Боровиков В.А., Кинбер Б.Е. *Геометрическая теория дифракции*. Москва, Связь, 1978. 248 с.
- [12] Алешин Н.П. *Физические основы акустических методов контроля*. Москва, Изд-во МВТУ, 1986. 44 с.
- [13] Алешин Н.П., Белый В.Е., Вopilкин А.Х. и др. *Методы акустического контроля металлов*. Москва, Машиностроение, 1989. 456 с.
- [14] Минин С.И., Русин М.Ю., Терехин А.В. и др. *Ультразвуковой способ измерения высоты вертикально ориентированных плоскостных дефектов в стеклокерамических материалах элементов конструкций летательных аппаратов*. Патент РФ 2760487. Заявл. 20.04.2021, опубл. 25.11.2021.

## References

- [1] Kharitonov D.V., Tychinskaya M.S., Anashkina A.A. et al. *Keramicheskie materialy dlya aviatsii i kosmosa* [Ceramic materials for aviation and space]. Moscow, RKhTU im. D.I. Mendeleeva Publ., 2022. 120 p. (In Russ.).
- [2] Suzdaltsev E.I., Kharitonov D.V., Anashkina A.A. Analysis of existing radioparent refractory materials, composites and technology for creating high-speed rocket radomes. Part 1. Analysis of the level of property indices and limiting possibilities of radioparent inorganic refractory materials. *Novye огнеупоры*, 2010, no. 6, pp. 45–49. (In Russ.). (Eng. version: *Refract. Ind. Ceram.*, 2010, vol. 51, no. 3, pp. 202–205, doi: <https://doi.org/10.1007/s11148-010-9289-2>)
- [3] Rusin M.Yu. *Proektirovanie golovnykh obtekateley raket iz keramicheskikh i kompozitsionnykh materialov* [Design of rocket head fairings from ceramic and composite materials]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2005. 63 p. (In Russ.).
- [4] Rusin M.Yu., ed. *Radioprozrachnye obtekateli letatelnykh apparatov* [Radio-transparent fairings of aircraft.]. Kharkov, KhAI Publ., 2003. 239 p. (In Russ.).
- [5] Ermolov I.N., Lange Yu.V. *Nerazrushayushchiy kontrol*. Т. 3. *Ul'trazvukovoy control* [Nondestructive control. Vol. 3. Ultrasonic control]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 864 p. (In Russ.).
- [6] Krautkremer Y., Krautkremer G. *Ul'trazvukovoy kontrol materialov* [Ultrasonic control of materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1991. 752 p. (In Russ.).
- [7] Vybornov B.I. *Ul'trazvukovaya defektoskopiya* [Ultrasonic defectoscopy]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 256 p. (In Russ.).
- [8] Zatselin A.F. *Akusticheskiy control* [Acoustic control]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta Publ., 2016. 211 p. (In Russ.).
- [9] Vopilkin A.Kh. *Difraktsionnye metody v ul'trazvukovom nerazrushayushchem kontrole* [Diffraction methods in ultrasonic nondestructive testing]. Moscow, Izd-vo NPO Priborprom Publ., 1989. 70 p. (In Russ.).

- [10] Vopilkin A.Kh. Diffraction waves and their application in ultrasonic nondestructive testing. *Defektoskopiya*, 1985, no. 1, pp. 20–34; no. 2, pp. 72–85. (In Russ.).
- [11] Borovikov V.A., Kinber B.E. *Geometricheskaya teoriya diffraktsii* [Geometrical theory of diffraction]. Moscow, Svyaz Publ., 1978. 248 p. (In Russ.).
- [12] Aleshin N.P. *Fizicheskie osnovy akusticheskikh metodov kontrolya* [Physical bases of acoustic methods of control]. Moscow, Izd-vo MVTU Publ., 1986. 44 p. (In Russ.).
- [13] Aleshin N.P., Belyy V.E., Vopilkin A.Kh. et al. *Metody akusticheskogo kontrolya metallov* [Methods of acoustic inspection of metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 456 p. (In Russ.).
- [14] Minin S.I., Rusin M.Yu., Terekhin A.V. et al. *Ultrazvukovoy sposob izmereniya vysoty vertikalno orientirovannykh ploskostnykh defektov v steklokeramicheskikh materialakh elementov konstruksiy letatelnykh apparatov* [Ultrasonic method for measuring the height of vertically oriented planar defects in glass-ceramic materials of aircraft structural elements]. Patent RU 2760487. Appl. 20.04.2021, publ. 25.11.2021. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 20.11.2023

## Информация об авторах

**МИНИН Сергей Иванович** — доктор технических наук, ведущий специалист научно-исследовательской лаборатории. ГНЦ РФ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» (249031, Обнинск, Российская Федерация, Киевское шоссе, д. 15, e-mail: info@technologiya.ru).

**РУСИН Михаил Юрьевич** — доктор технических наук, директор НПК, главный конструктор. ГНЦ РФ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»; профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: info@technologiya.ru).

**ТЕРЕХИН Александр Васильевич** — кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории. ГНЦ РФ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» (249031, Обнинск, Российская Федерация, Киевское шоссе, д. 15, e-mail: info@technologiya.ru).

**ЧУЛКОВ Дмитрий Игоревич** — инженер второй категории научно-исследовательской лаборатории. ГНЦ РФ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» (249031, Обнинск, Российская Федерация, Киевское шоссе, д. 15, e-mail: info@technologiya.ru).

**ФИЛАТОВ Анатолий Анатольевич** — инженер научно-исследовательской лаборатории. ГНЦ РФ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» (249031, Обнинск, Российская Федерация, Киевское шоссе, д. 15, e-mail: info@technologiya.ru).

## Information about the authors

**MININ Sergey Ivanovich** — Doctor of Science (Eng.), Leading Expert, Scientific Research Laboratory. Obninsk Research and Production Enterprise *Technologiya* named after A.G. Romashin JSC (249031, Obninsk, Russian Federation, Kievskoe Shosse, Bldg. 15, e-mail: info@technologiya.ru).

**RUSIN Mikhail Yurievich** — Doctor of Science (Eng.), SPC Director, Chief Designer. Obninsk Research and Production Enterprise *Technologiya* named after A.G. Romashin JSC; Professor. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: info@technologiya.ru).

**TEREKHIN Alexander Vasilyevich** — Candidate of Science (Eng.), Head of Scientific Research Laboratory. Obninsk Research and Production Enterprise *Technologiya* named after A.G. Romashin JSC (249031, Obninsk, Russian Federation, Kievskoe Shosse, Bldg. 15, e-mail: info@technologiya.ru).

**CHULKOV Dmitry Igorevich** — Engineer of the Second Category, Scientific Research Laboratory. Obninsk Research and Production Enterprise *Technologiya* named after A.G. Romashin JSC (249031, Obninsk, Russian Federation, Kievskoe Shosse, Bldg. 15, e-mail: info@technologiya.ru).

**FILATOV Anatoly Anatolyevich** — Engineer, Scientific Research Laboratory. Obninsk Research and Production Enterprise *Technologiya* named after A.G. Romashin JSC (249031, Obninsk, Russian Federation, Kievskoe Shosse, Bldg. 15, e-mail: info@technologiya.ru).

### Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Минин С.И., Русин М.Ю., Терехин А.В., Чулков Д.И., Филатов А.А. Способ контроля высоты поверхностных трещин в изделиях из конструкционной керамики. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 2, с. 52–58.

### Please cite this article in English as:

Minin S.I., Rusin M.Yu., Terehin A.V., Chulkov D.I., Filatov A.A. Approach to controlling the surface crack height in products made of structural ceramics. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 2, pp. 52–58.