

## ОБОСНОВАНИЕ МАТЕРИАЛА КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН РЕЗИНОКЕРАМИЧЕСКОЙ ФУТЕРОВКИ ПРИВОДНЫХ БАРАБАНОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Е.Ю. ЗИБОРОВА<sup>1</sup>, инж., В.У. МНАЦАКАНЯН<sup>2</sup>, д-р техн. наук,  
А.А. КОМИССАРОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук, С.В. СЕВАГИН<sup>2</sup>, асп.,  
Д.О. СОЛОДОВ<sup>2</sup>, студ.

<sup>1</sup> АО НПП «Исток» им. А.И. Шокина,

141190, Московская область, Фрязино, ул. Вокзальная, 2а

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
119049, Москва, Ленинский проспект, 4а, стр.1, e-mail: artvik@bk.ru

© Зиборова Е.Ю., Мнацакян В.У., Комиссаров А.А.,  
Севагин С.В., Солодов Д.О., 2022

Статья посвящена вопросам повышения долговечности резинокерамической футеровки приводных барабанов тяжело нагруженных ленточных конвейеров на основе рационального выбора материала для керамических вставок футеровочного полотна. Анализ характера взаимодействия керамических пластин с конвейерной лентой, а также исследование напряжений, вызываемых в пластине под действием эксплуатационных нагрузок, позволили установить комплекс требований к механическим свойствам алюмооксидной керамики, обеспечивающим надежную работу привода и эффективную эксплуатацию конвейера. Предложены марки алюмооксидной керамики, представлены основные технологические этапы и условия изготовления пластин, которые способствуют получению требуемых механических характеристик и пористости, а также приведены результаты испытаний на изгиб и трещиностойкость образцов из предлагаемых марок материалов.

*Ключевые слова:* ленточный конвейер, приводной барабан, резинокерамическая футеровка, алюмооксидная керамика, технология получения, структура, свойства, пористость.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2022-2-57-68**

### ВВЕДЕНИЕ

В горнодобывающей отрасли широко используются ленточные конвейеры, обеспечивающие транспортировку насыпных грузов и кусковых природных материалов на достаточно большие расстояния. Основным тяговым органом и транспортирующим звеном таких конвейеров является конвейерная лента. С целью обеспечения высокой эффективности эксплуатации и производительности конвейеров отечественными и зарубежными производителями выпускаются высокопрочные конвейерные ленты двух вариантов – резинотканевые и резинотросовые [1, 2].

Для возможности использования высокопрочных конвейерных лент требуются приводы с высокими тяговыми характеристиками, что особенно актуально для тяжело нагруженных высокопроизводительных конвейеров с большими приводными барабанами, диаметры которых превышают 1 000 мм. Для повышения тягового усилия такие барабаны обтягивают, как правило, одно-, двух-, трехкомпонентными футеровочными полотнами – резиновыми, резинокерамическими или металлорезино-керамическими. В некоторых случаях керамические пластины могут закрепляться непосредственно на обечайке приводного барабана без резиновой подложки [3, 4].

Использование керамической футеровки на приводных барабанах тяжело нагруженных конвейеров позволяет значительно повысить коэффициент сцепления барабана с резиновой обкладкой ленты (до 0,8) и стабилизировать его, практически исключить проскальзывание ленты в экстремальных условиях (условиях повышенной влажности и обводненности). С этой целью для вставок, обеспечивающих надежный фрикционный контакт с лентой, успешно применяются различные марки алюмооксидной керамики. Применение высокофрикционной футеровки позволяет также упростить конструкцию привода и его габариты, что особенно важно для конвейеров, которые используются в подземных условиях [5, 6].

Обладая комплексом достоинств, такими как высокая твердость, коррозионно- и износостойкость, теплостойкость, хорошие фрикционные свойства и другие, керамические материалы характеризуются также низкой трещиностойкостью и усталостной прочностью, что ограничивает их применение в условиях действия знакопеременных и ударных нагрузок. В связи с этим в вопросах обеспечения высокой эксплуатационной надежности и долговечности конвейерных приводов при использовании резинокерамических футеровок важными этапами являются выбор и изготовление для футеровочных пластин рационального керамического материала с требуемым комплексом механических характеристик.

Передача тягового усилия ленте в конвейерах с приводными устройствами барабанного типа может осуществляться трением, трением с зацеплением и только зацеплением. Двухкомпонентные резинокерамические футеровки передают тяговое усилие ленте трением и зацеплением, для чего на поверхности керамических вставок предусматривают выступы различной формы, расположенные, как правило, в шахматном порядке (рис. 1). Таким образом, несущими элементами футеровки являются сами выступы, поскольку они воспринимают основную нагрузку.

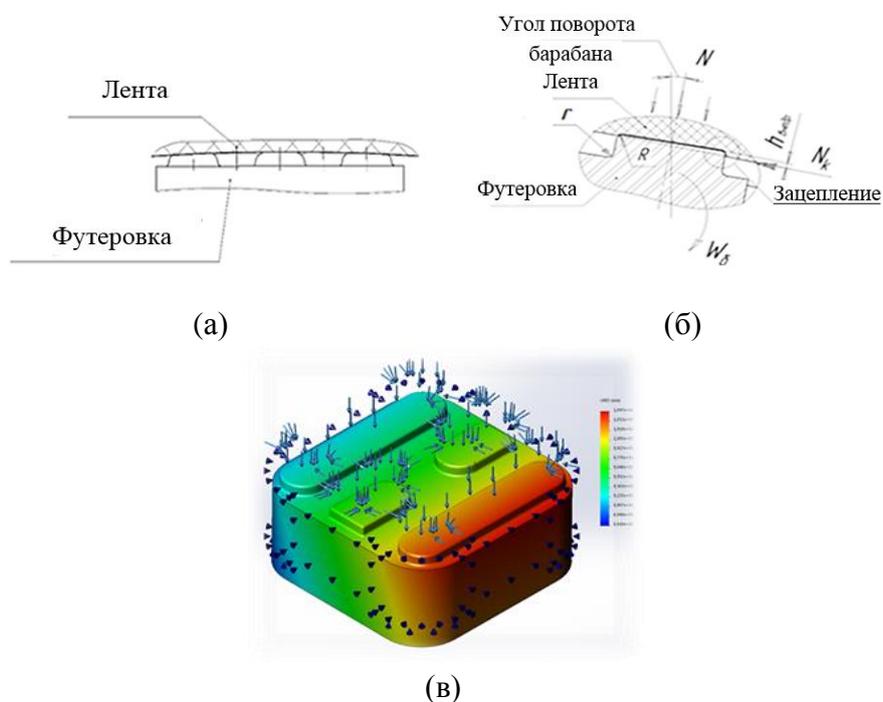


Рис. 1. Схема контакта выступов керамических пластин футеровки с конвейерной лентой: контакт выступов с лентой (а); схема действия сил на пластину (б); напряженное состояние пластины в момент захвата ленты (в)

Из теории ленточных конвейеров известно, что футеровка воспринимает как нормальную нагрузку, так и касательную. Другими словами, она работает на сжатие и изгиб в условиях циклического нагружения. Второй вид напряженного состояния является более сложным и может привести к поломке выступа либо выпадению пластины из тела резиновой подложки, что снижает эффективность передачи тягового усилия ленте. Таким образом, ограничивающим условием работоспособности пластины является должный предел прочности на изгиб керамического материала, характеризующий усталостную прочность, а следовательно, и ресурс футеровки.

Компьютерное моделирование напряженного состояния керамических пластин при воздействии на приводной барабан экстремальных нагрузок (см. рис. 1в) показало, что для надежной работы футеровки без разрушения выступов предел прочности на изгиб керамической пластины должен быть в диапазоне 300...320 МПа. Однако предел прочности алюмооксидной керамики, широко применяемой для фрикционных вставок, не превышает 280 МПа (в первую очередь из-за неоднородной структуры материала и наличия в керамическом теле пористости). В связи с этим возникла необходимость в обосновании материала керамических плиток футеровочного полотна для тяжело нагруженных конвейеров с учетом величины и характера действующих нагрузок.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Усталостная прочность и трещиностойкость керамики во многом обусловлены как ее химическим составом, так и структурой и технологией получения. Таким образом, при решении задач, связанных с обеспечением плотной равномерной зернистой структуры керамических тел, большое внимание уделялось химическому составу и дисперсности исходных порошков.

Для исследования были выбраны порошки алюмооксидной керамики марок ВК-94 и А-995 с добавлением минерализаторов. Порошки представляли собой ультрадисперсную фракцию шарообразной формы – сферолиты, средний размер которых находился в пределах 0,1...5 мкм. Химический и фракционный состав порошков представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав исследуемых материалов

Марка керамики	Химический состав, %					Фракционный состав сферолитов, %		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	До 1 мкм	1...5 мкм	5 мкм
ВК-94	94	2,76	2,35	–	0,49	48,0	Ост.	3,0
А-995	99,6	0,03	–	До 0,4	–	52,0	Ост.	3,0

Для получения более равномерной структуры, а также стабилизации и повышения механических свойств керамики в исходные порошки рассматриваемых марок вводили высококачественные органические связки, участвующие в снижении температуры вакуумного уплотнения, в количестве 14 % масс. парафина и 2...3 % масс. пчелиного воска с температурой плавления 52...56 °С и минимальным содержанием примесей. Формование образцов осуществлялось методом горячего шликерного литья под давлением, для чего из латуни была изготовлена специальная оснастка – литейная форма с автоматической срезкой литника (высокой точности исполнения, рис. 2), обеспечивающая шероховатость поверхности полученных образцов *Ra* (0,63 мкм). В форме были предусмотрены пазы глубиной 0,2 мм для выхода воздуха со стороны

литникового канала, матрицы и пуансона. Для керамических тел, полученных шликерным литьем, характерны такие особенности, как вязкая и однородная структура, плотность упаковки частиц.



Рис. 2. Латунная литевая форма для отливки образцов футеровочных пластин на основе алюмооксидной керамики

Матрица и пуансон литейной формы были рассчитаны с учетом объемной и линейной усадки материала в процессе спекания. Усадку, полученную опытным путем, считали для марки ВК-94 равной 13,5 %, а для марки А-995 – 13,2 %. Данные расчеты проверяли путем измерений линейных размеров готовой пластины.

Спекание является самой важной операцией синтеза керамического тела с заданными техническими свойствами. Это обусловлено структурной перестройкой, при которой зерна корунда увеличиваются в размерах, а их центры стремятся к сближению (рис. 3). После кристаллизации и взаимодействия межзеренных границ с минерализатором между частицами остаются пустоты, сообщающиеся закрытые поры [7].

Для надежного воспроизведения плотной однородной микроструктуры с равномерно сшитыми межзеренными границами спекание образцов осуществлялось со строгим поддержанием заданных температурных градиентов.

Спекание керамических материалов марки ВК-94 проводилось в два этапа. На первом осуществлялось удаление технологической связки, на втором – спекание керамического тела до вакуумно-плотного состояния. Для марки А-995 спекание производилось в одну стадию.

Окончательное высокотемпературное спекание всех образцов происходило в туннельной водородной электрической печи в вакууме при температуре свыше 1 600...1 650 °С.



Рис. 3. Спеченные керамические образцы марки ВК-94 (слева) и марки А-995 (справа) с цилиндрическими и эллиптическими выступами

Для исследования основных физико-механических характеристик керамических образцов марок А-995 и ВК-94 были изготовлены специальные шлифы на пресс-заливочном оборудовании BUEHLER SimpliMet 4000 с последующей черновой и отделочной обработкой (рис. 4).



Рис. 4. Образцы для исследования свойств керамических материалов: запрессованные в бакелитовую смолу до шлифования (а); отполированные до получения зеркальной поверхности (б)

В микроструктурных исследованиях применялась растровая электронная микроскопия. Для проведения элементного анализа твердых веществ с помощью электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 LMU использовался энергодисперсионный рентгеновский детектор (EDS-детектор). Метод, лежащий в основе детектора, базируется на анализе возбуждаемого электронным пучком рентгеновского излучения, характерного для каждого химического элемента. Исследуя энергетический спектр такого излучения, можно сделать вывод о фазовом составе образцов.

Установление предела прочности на изгиб предлагаемых керамических материалов производилось на разрывной машине INSTRON 3369 согласно ГОСТ Р 57749-2017. Определение трещиностойкости керамических образцов марок ВК-94 и А-995 проводилось методом индентирования.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Структурный состав алюмооксидной керамики марки ВК-94 после спекания: кристаллофаза ~ 85 %; стеклофаза ~ 10 %; газовая фаза ~ 5 %. Фазовый состав марки А-995 после спекания: кристаллофаза ~ 94,5 %; стеклофаза ~ 0,5 %; газовая фаза (поры) ~ 5 %.

Для сравнения: широко применяемые для футеровок керамические пластины имеют пористость в пределах 10...12 %, что отрицательно сказывается на их эксплуатационных свойствах.

Кажущуюся плотность, открытую и общую пористость полученных спеченных керамических образцов определяли согласно ГОСТ 2211-2020 путем сравнения массы сухих пластин ( $m_0$ ) и пропитанных спиртом ( $m_1$ ), взвешенных в сосуде с деионизированной водой. Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Эксперименты показали, что образец на основе алюмооксидной керамики марки А-995 имеет показатель относительной плотности  $\rho_{отн}$  меньше, чем образец марки ВК-94. Это может означать, что добавление примесей марганца MnO и оксида хрома CrO<sub>3</sub> в керамический материал марки ВК-94 служит связкой для эффективного сдерживания быстрого роста зерен кристаллов в процессе спекания и повышения вязкости стеклофазы. Спекание керамики марки ВК-94 сопровождается участием

жидкой фазы. Из этого следует, что применение рассматриваемых в работе добавок способствует лучшему смачиванию и ориентации твердых частиц, так как жидкая фаза распределяется по объему системы равномерно. Внедрение описанных элементов в кристаллическую фазу керамики ВК-94 благоприятно влияет на процессы массопереноса в твердой фазе и придает спекаемой системе большую устойчивость против деформации. Влияние такого эффекта на показатели плотности и пористости керамических тел показано в результатах исследования.

Таблица 2. Результаты исследования керамических образцов на кажущуюся плотность и пористость

Марка алюмо-оксидной керамики	$m_0$ , г	$m_2$ , г	$m_1$ , г	$\rho_{\text{каж}}$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{\text{отн}}$ , %	$P_{\text{об}}$ , %	$P_{\text{от}}$ , %
А-995	12,342 4	9,021 2	12,344 8	3,72	95,2	4,78 ± 0,1	0,30 ± 0,1
ВК-94	12,214 3	9,038 2	12,216 7	3,84	99,3	0,7 ± 0,1	0,31 ± 0,1

Для испытания на трехточечный изгиб использовали круглые керамические стержни (рис. 5) длиной  $L_{\text{об}} = 61,8$  мм и диаметром  $d = 7$  мм, а также А-995 длиной  $L_{\text{об}} = 50$  мм и диаметром  $d = 7$  мм.

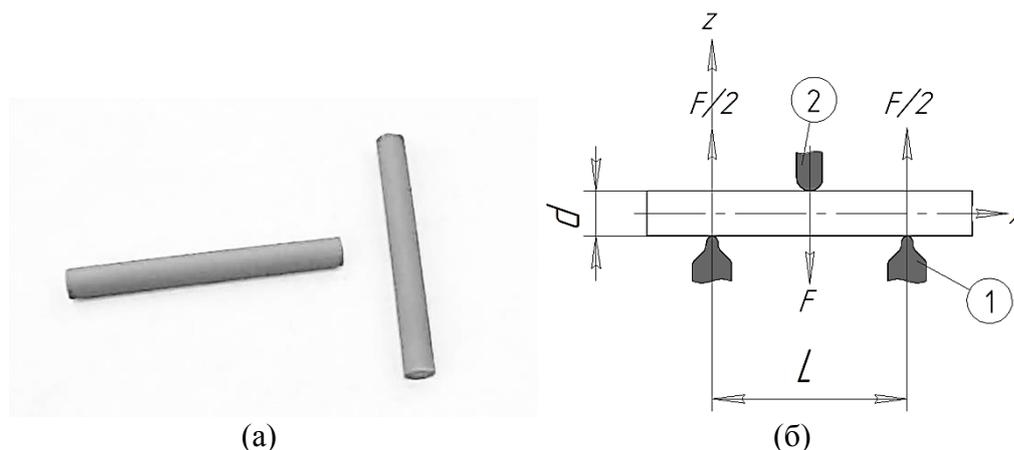


Рис. 5. Изображение стержней из алюмооксидной керамики для испытания на трехточечный изгиб (а) и схема нагружения для испытания керамического стержня на трехточечный изгиб (б):  
1 – опоры; 2 – наконечник;  $L$  – расстояния между центрами опор;  
 $d$  – диаметр керамического образца

Высокоплотные керамические материалы несущественно отличаются друг от друга по прочностным показателям. Средний предел прочности на изгиб образцов рассматриваемых марок лежит в диапазоне 346,2...368,7 МПа, образцы ломаются на две части без сколов и крупной крошки (рис. 6).

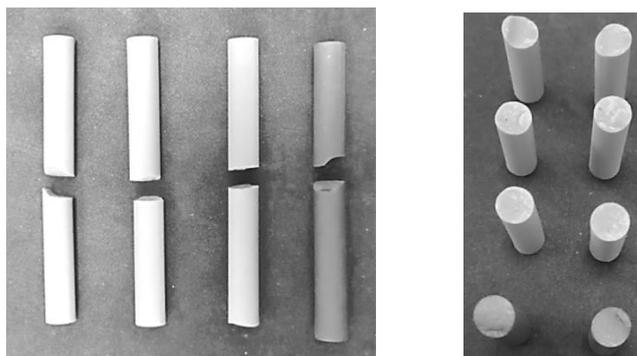


Рис. 6. Изображения разрушенных образцов на основе алюмооксидной керамики

Для выявления характера поведения материала под изгибающей нагрузкой и очагов распространения крупных трещин были сделаны макроснимки изломов керамических образцов (рис. 7).

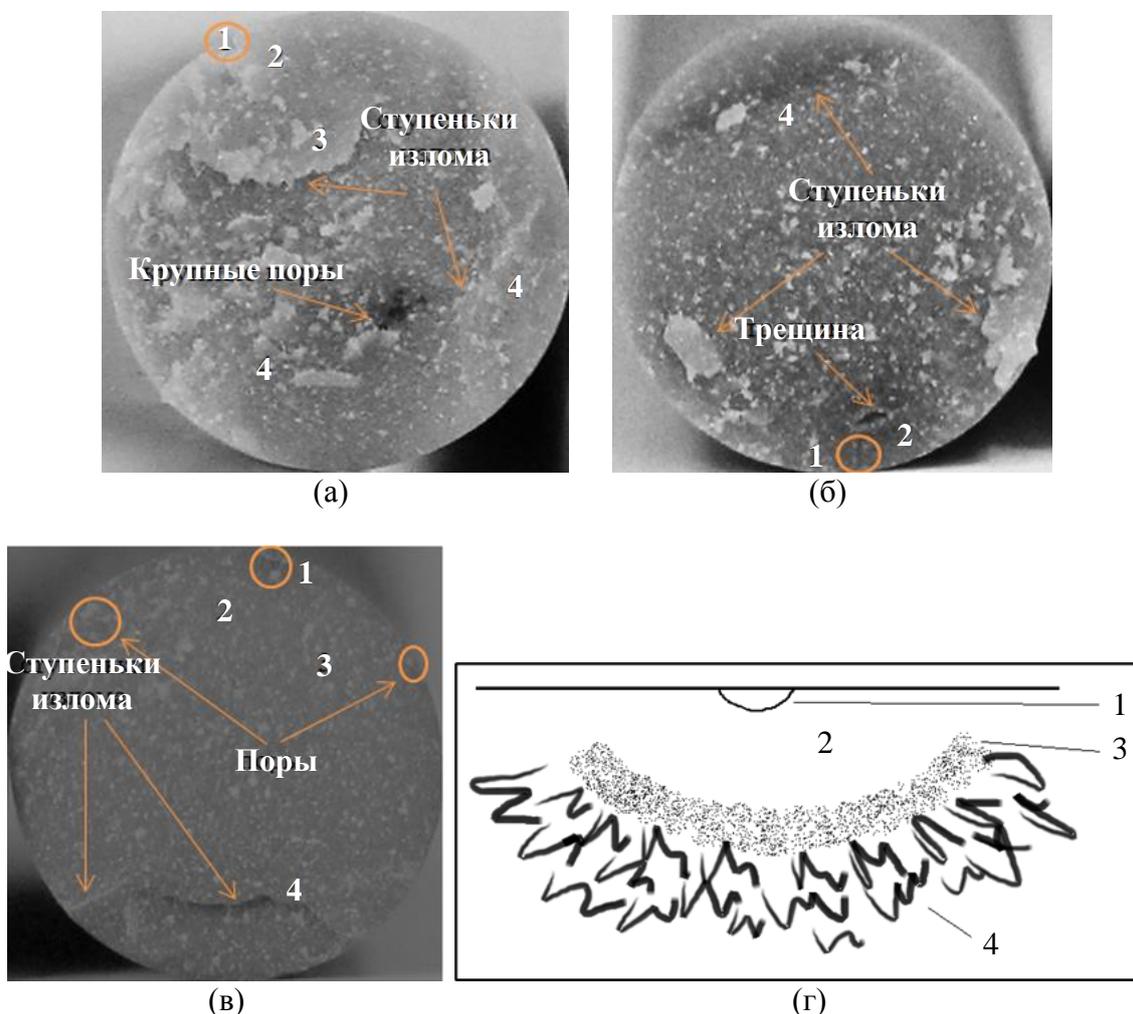


Рис. 7. Макрофотографии изломов серий образцов на основе алюмооксидной керамики марок ВК-94 (а), (б); А-995 (в); схематичное изображение зон излома керамического тела (г); 1 – фокус трещины (очаг зарождения трещины); 2 – «зеркало» излома; 3 – «типог», т. е. более грубая, по сравнению с зонами 2, поверхность; 4 – фасетки ручьистого излома [11]

На поверхности разрушения видна характерная фрагментация деформируемой зоны на множество частей (с распространением крупных магистральных трещин). Подобный тип поведения материалов свидетельствует о разрушении, сопряженном с высокими затратами энергии [6]. В зависимости от размеров кристаллов и пустот трещина на пути своего распространения встречает большее или меньшее число барьеров, на преодоление которых необходимо затратить дополнительную энергию. Барьерами для распространяющейся трещины служат границы зерен, а также закрытые поры. Таким образом, можно сделать вывод о типичном хрупком разрушении исследуемых керамических образцов марок ВК-94 и А-995. При этом очагами зарождения трещин и их распространения являются несколько источников концентрации напряжения: дефекты приповерхностного слоя, места сращивания зерен, сферические закрытые микропоры и открытые макропоры на поверхности, несплошности в кристаллической фазе, неразрушенные гранулы спекшегося материала, локальные укрупненные объемы стеклофазы в керамическом образце марки ВК-94.

Определение трещиностойкости керамических образцов марок ВК-94 и А-995 осуществлялось методом индентирования. Химические связи, формы и размеры структурных образований (фаз) керамики, а также спаянность кристаллов между собой определяют ее прочностные свойства. В керамических материалах всегда присутствуют трещиноподобные дефекты (из-за особенностей технологического процесса получения материалов), которые являются дислокациями напряжений и под нагрузкой инициируют начало хрупкого разрушения керамики [7–9].

Наличие микро- и макротрещин на поверхности, а также опасных пор в готовых керамических изделиях зависит от технологии изготовления последних [10, 11]. В процессе внедрения микроиндентора в керамическое тело наблюдается сдвиговый скользящий процесс. Сдвиговая деформация приводит к движению микродефектов и пересечению их с различными дислокациями (это, например, границы зерен, межзеренное пространство и межфазное пространство зерен, поры), вследствие чего образуются микротрещины. При достижении критического напряжения очаг зарождения микротрещины увеличивается в размерах, и микротрещина перерастает в макротрещину (магистральную трещину).

Исследование трещиностойкости методом индентирования дает возможность оценить характер разрушения керамического материала по траектории распространения трещин, зарождающихся в углах оставшегося отпечатка после удаления индентора. Результаты такого рода позволяют количественно оценить эффективность работы керамического тела на основе алюмооксидной керамики марок ВК-94 и А-995 и создают предпосылки для повышения надежности футеровочных керамических пластин.

Трещиностойкость оценивалась по значению коэффициента интенсивности напряжения  $K_{IC}$  с помощью формулы [11]:

$$K_{IC} = \frac{0,203 \cdot H_V \cdot a^2}{c^{1/5}}, \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2},$$

где  $H_V$  – твердость, ГПа;  $a$  – полудиагональ отпечатка индентора, мкм;  $c$  – длина сформировавшейся трещины, мкм. Значения  $K_{IC}$  для образцов с цилиндрическими выступами обеих марок алюмооксидной керамики представлены на рис. 8. Полученные данные соответствуют значениям, приведенным в различных литературных источниках для плотной керамики [3].

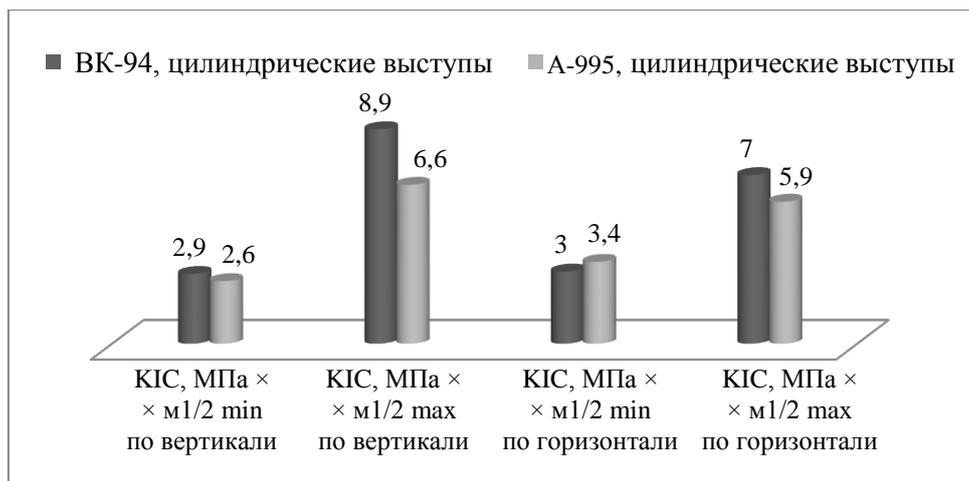


Рис. 8. Значения критических коэффициентов интенсивности напряжений, полученные методом индентирования  $K_{IC}$  для образцов с цилиндрическими выступами

Наличие стеклофазы в керамических образцах ВК-94 положительно сказывается на повышении уровня трещиностойкости. При столкновении с ней распространение трещины приобретает затухающий характер.

Анализ испытаний керамических образцов на трещиностойкость позволил охарактеризовать влияние различных дефектов, границ раздела зерен и их размеров, морфологии структурных компонентов керамического материала на движение и траекторию распространения микротрещин. На рис. 9 представлены типичные трещины, образующиеся в процессе нагружения керамического материала четырехгранной алмазной пирамидкой.

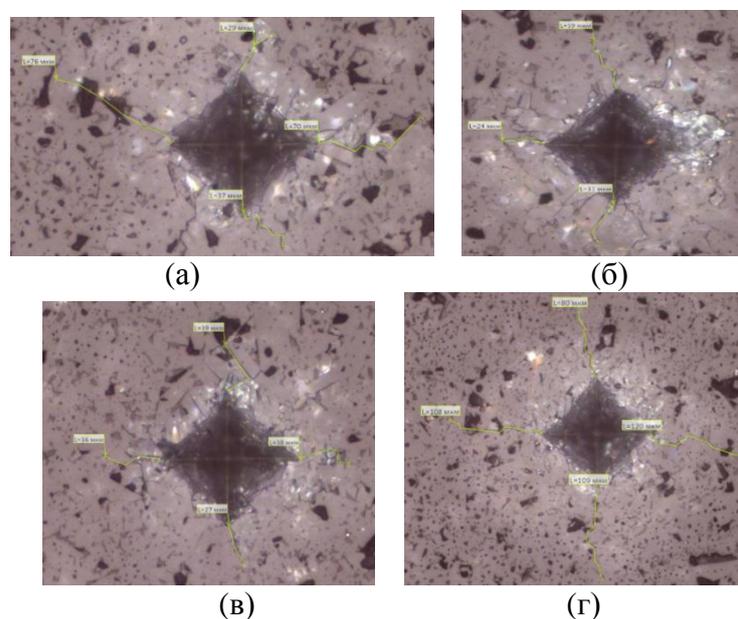


Рис. 9. Траектории распространения трещин при внедрении индентора в керамическое тело марки ВК-94: на рабочей части выступа по краям пластины при нагрузке на индентор 5 кг ( $L_{min} = 24$  мкм,  $L_{max} = 76$  мкм) (а), (б); на части центрального выступа пластины при нагрузке на индентор 5 кг ( $L_{min} = 27$  мкм,  $L_{max} = 36$  мкм) (в); на части центрального выступа пластины при нагрузке на индентор 10 кг ( $L_{min} = 80$  мкм,  $L_{max} = 120$  мкм) (г)

Установленная особенность движения микротрещины в месте контактного нагружения заключается в характере поведения и отклонения траектории микротрещины при встрече с различными структурными элементами, составляющими керамическое тело. На рис. 10 показано, как трещина, образованная в условиях нагружения тела индентором, движется от угла отпечатка вдоль межзеренного пространства. Ее рост прекращается при встрече препятствий в виде структурных составляющих различного типа.

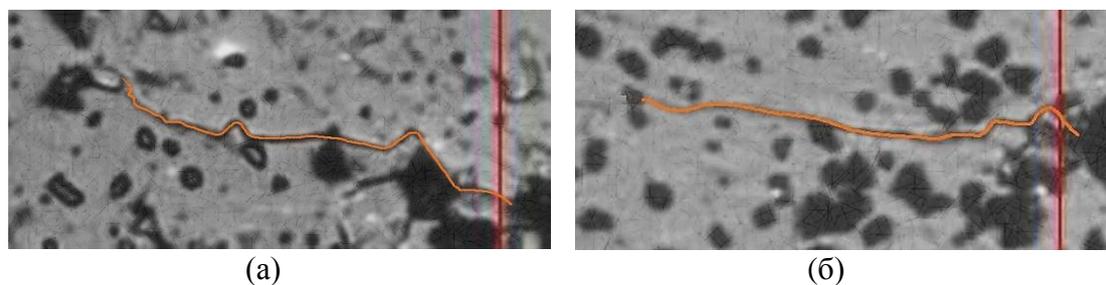


Рис. 10. Траектория движения и отклонения микротрещины в керамическом теле после удаления индентора: марка ВК-94 (а); марка А-995 (б)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведенных исследований сформулированы требования к материалам керамических пластин резинокерамических футеровок и выявлены технологии их получения. Установлено, что должный ресурс футеровки приводных барабанов тяжело нагруженных конвейеров можно обеспечить применением керамики с пределом прочности на изгиб не менее 300 МПа.

2. Для изготовления керамических вставок футеровочных полотен предложены марки алюмооксидной керамики ВК-94 и А-995, обладающие комплексом необходимых механических и эксплуатационных свойств, а также спроектирована технологическая оснастка для формования пластин.

3. Для создания плотной структуры керамических тел с высокими механическими свойствами рекомендовано использовать ультрадисперсные исходные сферические порошки с размером частиц в пределах 1...5 мкм и до 1 мкм. Описаны основные технологические особенности получения высокоплотных керамических тел.

4. Определены фазовый состав, пористость и основные характеристики предложенных керамических материалов, влияющих на ресурс футеровки. Среднее значение предела прочности на изгиб предложенной алюмооксидной керамики составляет 346,2...368,7 МПа.

5. Описаны механика развития трещины и ее траектория в зависимости от фазового состава керамики. Так, выявлено, что коэффициент интенсивности напряжений для керамики ВК-94 несколько выше, чем для марки А-995, вероятно, вследствие наличия в структуре керамики стеклофазы. В то же время предел прочности на изгиб у керамики А-995 выше, чем у керамики ВК-94.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Р.А., Гнутов А.Н., Дьячков В.К., Зенков Р.Л., Пертен Ю.А. Конвейеры: справочник / под общ. ред. Ю.А. Пертена. Л.: Машиностроение. 1984. 367 с.
2. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Современные ленты для специальных ленточных конвейеров // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2016. № S1. С. 382–395.

3. Патент РФ 81949. *Приводной барабан ленточного конвейера* / Соловьев В.Г., Соловьев С.В.; Заявл. 25.07.2008. Оpubл. 10.04.2009. Бюл. № 10.
4. Полуниин В.Т., Гуленко Г.Н. Эксплуатация мощных конвейеров. М.: Недра. 1986. 344 с.
5. Адамчук В.М. Исследование тяговых способностей футерованных различными материалами приводных барабанов ленточных конвейеров // *Труды ВНИИПТМАШ. Конвейеры*. 1961. № 9 (20). 14 с.
6. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий: учебное пособие. 2-е изд. М.: Горная книга. 2011. 542 с.
7. Батыгин В.Н., Метелкин И.И., Решетников А.М. Вакуумно-плотная керамика и ее спай с металлами / под ред. Н.Д. Девяткова. М.: Энергия. 1973. 409 с.
8. Хасанов О.Л., Струц В.К., Соколов В.М., Полисадова В.В., Двилис Э.С., Бикбаева З.Г. Методы измерения микротвердости и трещиностойкости наноструктурных керамик: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет. 2011. 101 с.
9. Эванс А.Г., Лэнгдон Т.Г. Конструкционная керамика / пер. с англ. Л.П. Карпиловского, Б.И. Поляка. М.: Металлургия. 1980. 256 с.
10. Ушанова С.Е., Зиборова Е.Ю. Повышение долговечности узлов трения горного оборудования и конвейерного транспорта // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020. № S15. С. 3–8.
11. Черкасова Н.Ю. Фазовый состав, структура и свойства композиционных материалов на основе оксида алюминия и диоксида циркония с включениями гексаалюмината стронция. Дисс... канд. техн. наук. Новосибирск. 2019. 181 с.

**Для цитирования:** Зиборова Е.Ю., Мнацакян В.У., Комиссаров А.А., Севагин С.В., Солодов Д.О. Обоснование материала керамических пластин резинокерамической футеровки приводных барабанов ленточных конвейеров // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 2 (14). С. 57–68.

### **SUBSTANTIATION OF THE LINING PLATES MATERIAL FOR BELT CONVEYORS DRIVE DRUMS**

E.Yu. ZIBOROVA<sup>1</sup>, engineer, V.U. MNATSAKANYAN<sup>2</sup>, Dr. Sc.,  
A.A. KOMISSAROV<sup>2</sup>, Cand. Sc., S.V. SEVAGIN<sup>2</sup>, postgraduate,  
D.O. SOLODOV<sup>2</sup>, student

<sup>1</sup> JSC “RPC “Istok” named after Shokin”, 2a, Vokzalnaya st.,  
141190, Moscow region, Fryazino, Russian Federation

<sup>2</sup> National Research Technological University MISIS, 4a, building 1, Leninsky pr.,  
119049, Moscow, Russian Federation, e-mail: artvik@bk.ru

The article is devoted to the issues of increasing the durability of the rubber ceramic lining of the drive drums of heavily loaded conveyor belts based on the rational choice of material for ceramic inserts of the lining cloth. The analysis of the nature of the interaction of ceramic plates with the conveyor belt, as well as the study of stresses caused in the plate under the action of operational loads, allowed us to identify a set of requirements for the mechanical properties of aluminum-oxide ceramics that ensure reliable operation of the drive and efficient operation of the conveyor. The article proposes grades of alumina ceramics,

*Вестник Тверского государственного технического университета.  
Серия «Технические науки». № 2 (14), 2022*

presents the main technological stages and conditions for the manufacture of plates that contribute to obtaining the required mechanical characteristics and porosity of ceramics, and also presents the results of bending and crack resistance tests of samples from the proposed grades of materials.

*Keywords:* belt conveyor, drive drum, rubber ceramic lining, aluminum oxide ceramics, production technology, structure, properties, porosity.

## REFERENCES

1. Volkov R.A., Gnutov A.N., Dyachkov V.K., Zenkov R.L., Perten Yu.A. *Konveyery: spravochnik [Conveyors: Handbook]* / under the total. ed. Yu.A. Perten. Leningrad: Mashinostroenie. 1984. 367 p.
2. Galkin V.I., Sheshko E.E. Modern tapes for special belt conveyors. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*. 2016. No. S1, pp. 382–395. (In Russian).
3. Patent RF 81949. *Privodnoy baraban lentochnogo konveyera [Belt conveyor drive drum]*. Solovyov V.G., Solovyov S.V. Declared 25.07.2008. Published 10.04.2009. Bulletin No. 10.
4. Polunin V.T., Gulenko G.N. *Ekspluatatsiya moshchnykh konveyerov [Operation of powerful conveyors]*. Moscow: Nedra. 1986. 344 p.
5. Adamchuk V.M. Investigation of traction abilities of belt drive drums lined with various materials, conveyors. *Trudy VNIPTMASH. Konveyery*. 1961. No. 9 (20). 14 p. (In Russian).
6. Galkin V.I., Dmitriyev V.G., Dyachenko V.P., Zapenin I.V., Sheshko E.E. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornykh predpriyatiy: uchebnoye posobiye [Modern theory of belt conveyors of mining enterprises: study guide]*. 2nd ed. Moscow: Gornaya kniga. 2011. 542 p.
7. Batygin V.N., Metelkin I.I., Reshetnikov A.M. *Vakuumno-plotnaya keramika i yeye spai s metallami [Vacuum-tight ceramics and its junctions with metals]* / ed. N.D. Devyatkov. Moscow: Energiya. 1973. 409 p.
8. Khasanov O.L., Strutz V.K., Sokolov V.M., Polisadova V.V., Dvilis E.S., Bikbaeva Z.G. *Metody izmereniya mikrotrvordosti i treshchinostoykosti nanostrukturnykh keramik: uchebnoye posobiye [Methods for measuring microhardness and crack resistance of nanostructured ceramics: textbook]*. Tomsk: Tomskiy politekhnicheskiy universitet. 2011. 101 p.
9. Evans A.G., Langdon T.G. *Konstruktsionnaya keramika [Structural ceramics]* / Tr. from English L.P. Karpilovsky, B.I. Polyak. Moscow: Metallurgiya. 1980. 256 p.
10. Ushanova S.E., Ziborova E.Yu. Increasing the durability of friction units of mining equipment and conveyor transport. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*. 2020. No. S15, pp. 3–8. (In Russian).
11. Cherkasova N.Yu. Phase composition, structure and properties of composite materials based on aluminum oxide and zirconium dioxide with inclusions of strontium hexaaluminate. Cand. Diss. (Engineering). Novosibirsk. 2019. 181 p. (In Russian).

Поступила в редакцию/received: 10.03.2022; после рецензирования/revised: 25.03.2022;  
принята/accepted: 28.03.2022