

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-4-96-104

^{1,*}Бузов А.А., ²Трубицын М.А., ¹Белюсова А.А., ²Воловичева Н.А., ²Фурда Л.В., ²Лисняк В.В.¹Акционерное общество «Опытно-экспериментальный завод «ВладМиВа»²Белгородский государственный национальный исследовательский университет

*E-mail: buzov@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИНТЕНСИФИКАТОРА НА КИНЕТИКУ ПОМОЛА СТЕКЛА СИСТЕМЫ SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F

Аннотация. В статье представлена зависимость кинетики помола стоматологического стекла системы SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F от содержания добавки-интенсификатора на основе этаноламина и этиленгликоля в диапазоне 0,05–0,2 масс.%. Установлено, что при сухом помоле стоматологического стекла оптимальное содержание данного интенсификатора составляет 0,1 масс.%. Показано, что в промышленных условиях при заданных технологических параметрах и введении 0,1 масс.% интенсификатора на основе этаноламина и этиленгликоля оптимальным временем помола стекла является 20 часов. За данное время обеспечиваются оптимальные характеристики стеклоиномерного цемента на его основе. Представлена зависимость содержания активных центров в стекле системы SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F от содержания введенной при помоле добавки-интенсификатора в диапазоне 0,05–0,2 масс.%. Представлено подтверждение нейтрализации поверхностных активных центров добавкой-интенсификатором. Выявлены закономерности влияния «старения» в течение 20 суток порошка стекла с оптимальной концентрацией добавки (0,1 масс.%) на кислотные свойства поверхности и содержание активных центров.

Ключевые слова: алюмосиликатное стекло, сухой помол, интенсификатор помола, активные центры, стеклоиномерный цемент, стоматологический материал.

Введение. Стеклоиномерный цемент (СЦ) широко применяется в стоматологической практике в качестве пломбировочного и фиксирующего материала [1–3]. Данный вид цемента отверждается в результате кислотно-основной реакции между водным раствором гомополимера или сополимера акриловой кислоты и порошком алюмосиликатного стекла [4–5].

Дисперсность порошка стекла определяет его реакционную способность, в значительной мере влияет на протекание процесса отверждения цемента и функциональные характеристики цемента. Порошок стекла в составе стеклоиномерного цемента является высокодисперсным материалом, максимальный размер частиц не должен превышать 15–45 мкм [6]. Необходимый гранулометрический состав порошка СЦ формируется в результате тонкого помола стекла. Данный процесс является одним из наиболее энергоемких этапов при производстве цемента. В последние десятилетия проблема дезагломерации тонкодисперсных частиц при достижении ими критического размера в процессе помола успешно решается введением в систему определенного количества специальных поверхностно-активных веществ (ПАВ), традиционно называемых интенсификаторами помола или, согласно англоязычной терминологии, добавками, улучшающими измельчение (Grinding aid additives)

[7–10]. В настоящее время действие таких добавок объясняют, прежде всего, уменьшением сил сцепления между частицами, что, в свою очередь, приводит к снижению агломерационных процессов в порошках. Благодаря этому снижаются значительные потери энергии на преодоление «псевдовязкой помольной среды» и улучшаются микропроцессы развития разрушающих напряжений внутри помольного агрегата. Это особенно важно для шаровых мельниц, в которых частицы подвергаются послойному нагружению между мелющими телами [7, 11, 12].

Что касается стоматологической практики, то среди ассортимента интенсификаторов помола различного химического состава [13–14] предпочтение стоит отдавать таким добавкам, которые не только способствуют интенсификации измельчения алюмосиликатного стекла, но и не оказывают негативного влияния на процесс отверждения и прочностные характеристики стеклоиномерного цемента [15].

По результатам наших предыдущих исследований показано, что интенсификатор на основе этаноламина и этиленгликоля в наибольшей степени интенсифицирует процесс помола стекла системы SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F. Целью настоящего исследования являлось изучение влияния концентрации данного интенсификатора на ки-

нетику процесса тонкого сухого помола и физико-химические свойства стоматологического стекла системы $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-F}$.

Методология. В настоящей работе в качестве исходного сырья использовали дробленое стекло системы $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-F}$, полученное на опытно-производственной базе АО «ОЭЗ «ВладМиВа». Стоматологическое стекло измельчали в лабораторной шаровой мельнице объемом 2 л с цильпесами высотой 15 мм при частоте вращения 100 об/мин и в промышленной шаровой мельнице объемом 200 л с цильпесами высотой 45 мм при частоте вращения 30 об/час. Добавку-интенсификатор на основе этаноламина и этиленгликоля вводили в концентрации 0,05; 0,1 и 0,2 % сверх массы измельчаемого стекла в образцы К1, К2 и К3, соответственно. Также был проведен контрольный помол образца К0 без введения интенсификатора. В процессе измельчения для контроля гранулометрического состава и величины удельной поверхности порошков отбирали пробы каждые 2 часа.

Для определения гранулометрического состава применялся метод лазерной дифракции света, реализованный на анализаторах размера

частиц «LS 13 320» (Beckman Coulter, США) и «Microtrac S3500» (Microtrac Inc., США) с ультразвуковым диспергированием пробы в дисперсионной среде.

Количество активных центров и кислотно-основные свойства поверхности измельченного стоматологического стекла изучали индикаторным методом Гаммета по адсорбции одноосновных красителей различного типа из водных растворов со значениями рКа в интервале от -0,3 до +12,80.

Испытание функциональных характеристик (рабочее время и время твердения) стеклоиономерного цемента на основе порошков стекла проводили в соответствии с ГОСТ 31578–2012. Порошок стекла смешивали с полиакриловой кислотой в массовом соотношении 2,2/1.

Основная часть. На первом этапе экспериментальной работы в лабораторных условиях исследовали кинетику процесса измельчения стоматологического стекла системы $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-F}$ в присутствии различного массового содержания добавки-интенсификатора. Кинетические кривые помола стекла представлены на рис. 1–4.

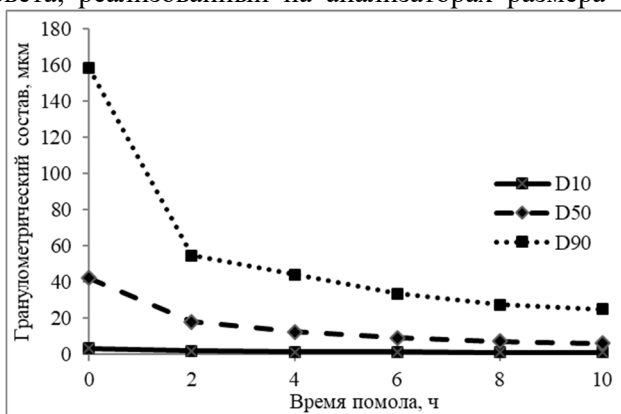


Рис. 1. Кинетическая кривая помола стоматологического стекла без интенсификатора

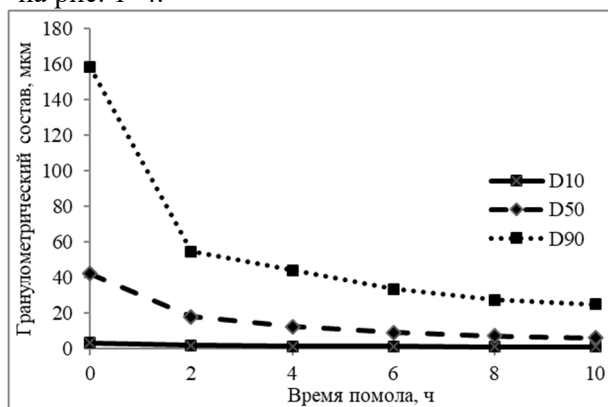


Рис. 2. Кинетическая кривая помола стоматологического стекла в присутствии 0,05 масс.% интенсификатора

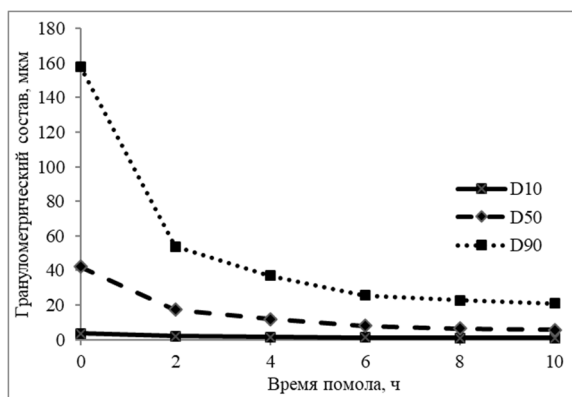


Рис. 3. Кинетическая кривая помола стоматологического стекла в присутствии 0,1 масс.% интенсификатора

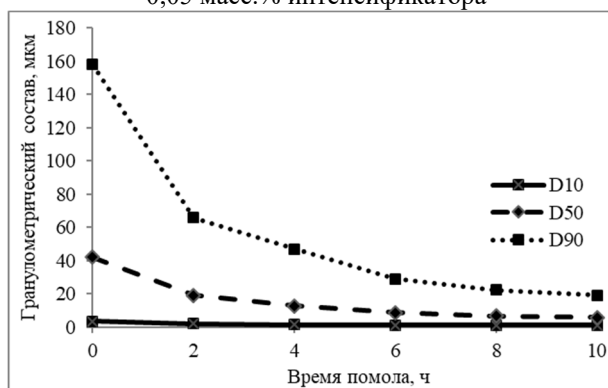


Рис. 4. Кинетическая кривая помола стоматологического стекла в присутствии 0,2 масс.% интенсификатора

Начальная фаза помола стоматологического стекла (0–2 ч) характеризуется наиболее интен-

сивным дроблением, особенно в присутствии интенсификатора, процесс переходит в фазу исти-

рания. Во временном промежутке 2–6 ч наблюдается постепенное снижение скорости помола. В конечной фазе помола (6–10 ч) процесс помола становится малоэффективен, механизм истирания превалирует над механизмом дробления. Накопление на данном этапе частиц размером менее 5 мкм способствует формированию «псевдовязкой помольной среды», которая обеспечивает демпфирующий эффект между крупными частицами и диссипацию значительной доли кинетической энергии раскалывания крупных частиц.

Гранулометрический состав измельченного в присутствии различной концентрации интенсификатора в течение 10 ч стоматологического стекла представлен в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав измельченного в присутствии интенсификатора стекла

Образец	Содержание интенсификатора, масс. %	Гранулометрический состав, мкм		
		D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
K0	0,0	1,14	6,22	24,96
K1	0,05	1,12	5,95	21,07
K2	0,1	1,12	5,75	20,87
K3	0,2	1,12	5,68	19,26

Различия полученных порошков стекла по показателю D₁₀ (размер частиц, соответствующий

объемной доле 10%) выражены незначительно. Показатели D₅₀ и особенно D₉₀ (размер частиц, соответствующий объемной доле 50 и 90% соответственно), демонстрируют значительные различия между контрольным помолом и помолами в присутствии интенсификатора. Показано, что процесс помола протекает эффективнее при содержании интенсификатора 0,05–0,2 масс.%, чем в контрольном опыте. Повышение содержания добавки-интенсификатора приводит к снижению размеров частиц измельчаемого стекла за счет сокращения крупной фракции. При этом различия гранулометрического состава порошков стекла с массовым содержанием 0,1 и 0,2 % незначительны. Таким образом, введение 0,2 % добавки-интенсификатора является экономически нецелесообразным, а ее оптимальным содержанием является 0,1 %. На втором этапе исследования процесс измельчения стекла с данным содержанием добавки-интенсификатора был исследован в промышленных условиях.

Гранулометрический состав измельченного в промышленных условиях при заданных технологических параметрах стекла представлен в табл. 2. Наблюдается снижение показателей D₁₀, D₅₀ и D₉₀ измельченного стекла на протяжении всего процесса помола. В результате помола в течение 16 и более часов получен тонкодисперсный порошок стекла с медианным размером частиц менее 7 мкм.

Таблица 2

Гранулометрический состав измельченного в промышленных условиях стекла

Размер частиц, мкм	Время помола, ч										
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
D ₁₀	4,42	3,99	3,07	2,87	2,13	1,87	1,44	0,83	0,68	0,56	0,36
D ₅₀	43,20	27,48	18,41	15,02	11,55	9,81	7,83	6,75	5,77	5,69	5,03
D ₉₀	144,40	92,59	55,67	44,52	36,31	30,55	26,65	25,04	23,87	22,56	22,05

Анализ кривых, представленных на рис. 5, показал, что в первые восемь часов осуществляется наиболее интенсивное измельчение. Во временном диапазоне 8–16 ч скорость измельчения заметно снижается, а после 16 ч становится минимальной. Так как помол стекла свыше 16 ч характеризуется низкой энергоэффективностью, то необходимо определить минимальное время помола, при котором обеспечиваются оптимальные характеристики стеклоиномерного цемента.

Исследованы функциональные характеристики стеклоиномерного цемента на основе порошков стекла, полученных при различном времени помола (табл. 3). Показано, что порошки стекла, полученные в результате менее чем 16 ч помола, не позволяют получить пластичное цементное тесто, поэтому их использование в качестве компонента невозможно. Порошки стекла, полученные в результате помола в течение 16–22

ч, пригодны для получения стеклоиномерного цемента, но оптимальные функциональные характеристики цемента – удлиненное рабочее время при сокращенном времени твердения, достигаются при помоле стоматологического стекла в течение 20 ч.

Таким образом, в промышленных условиях при заданных технологических параметрах и введении 0,1 масс.% интенсификатора на основе этаноламина и этиленгликоля оптимальным временем помола стекла является 20 ч. За данное время обеспечиваются оптимальные характеристики цемента. Кроме того, проведение дальнейшего измельчения нецелесообразно, поскольку не приводит к значимому изменению гранулометрического состава порошка стекла.

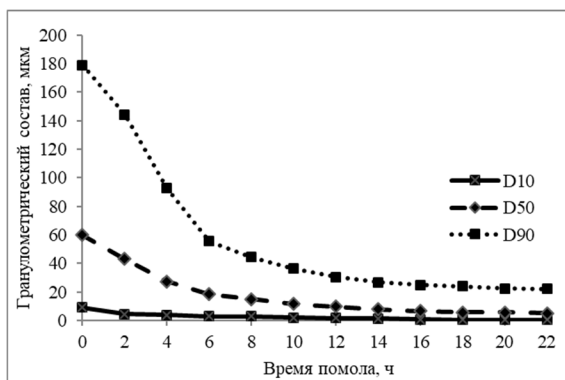


Рис. 5. Изменение гранулометрического состава порошков стекла в зависимости от времени измельчения

На третьем этапе исследования определены концентрации активных центров, рассчитано их

суммарное содержание после помола в течение 4 и 10 часов, а также функция кислотности поверхности образцов. Результаты представлены на рис. 6 и в табл. 4.

Таблица 3

Функциональные характеристики стеклоиономерного цемента на основе продуктов измельчения стекла

Время помола, ч	Рабочее время, мин:сек	Время твердения, мин
16	2:00	7,0
18	2:10	6,5
20	2:30	6,5
22	2:10	6,0

4 часа помола

10 часов помола

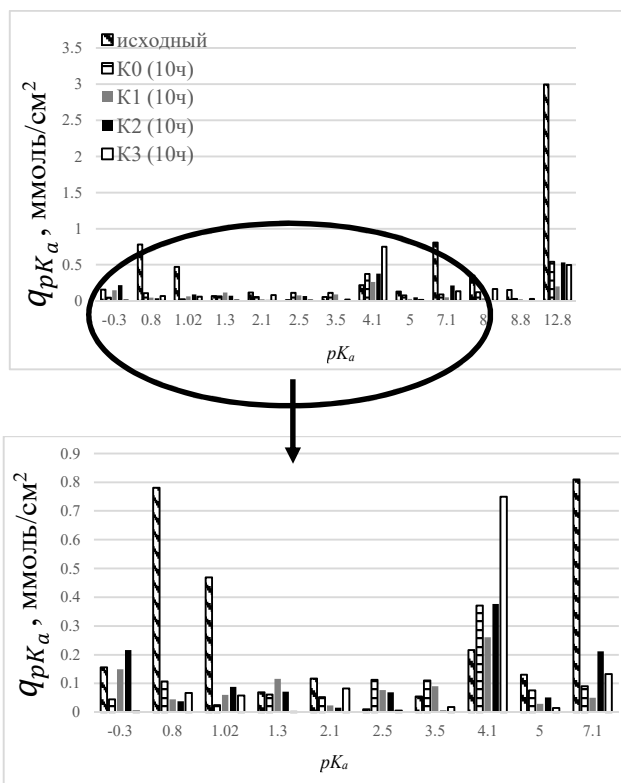
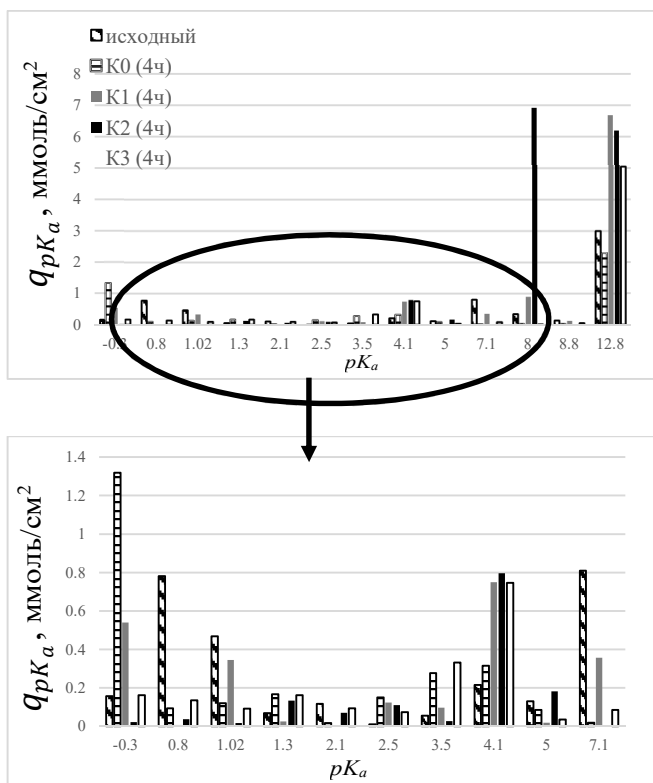


Рис. 6. Гистограммы распределения кислотно-основных центров на поверхности стекла

После помола в течение 4 часов наблюдаются изменения содержания активных центров в зависимости от содержания добавки-интенсификатора. Анализ образцов через 4 ч помола показал, что в контрольном помоле происходит снижение содержания активных центров от 6,31 до 4,91. Для образцов, содержащих интенсификатор (K1, K2 и K3) зарегистрирован рост суммарного содержания активных центров до 9,99, 14,52 и 7,02 ммоль/см² соответственно и в частности основных центров Бренстеда с рКах = 12,8. Для образца K2 также отмечен значительный рост активных центров с $pK_a^x = 8,0$. Значение функции

кислотности поверхности в образцах с интенсификатором, независимо от его содержания, повышается по сравнению, как с исходным образцом, так и с контрольным помолом без интенсификатора, которые близки к нейтральной области.

Через 10 ч помола распределение активных центров изменяется значительно, происходит значительное снижение содержания активных центров во всех случаях (до 1,16–1,82 ммоль/см²) и кислотности поверхности.

Образцы K1, K2 и K3 демонстрируют резкое снижение содержания как основных, так и кисти-

лотных активных центров относительно исходного образца. Значение функции кислотности во всех случаях уменьшается. Для образцов К0, К2, К3 оно близко к нейтральной области, а для об-

разца К1 является минимальным и смещено в область кислой среды. Это свидетельствует об адсорбции молекул добавки-интенсификатора на вновь образованной поверхности стекла и блокирования части поверхностных активных центров.

Таблица 4

Кислотно-основные параметры измельченного стекла

Образец	Время помола, ч	Суммарное содержание активных центров ($\sum q_{pK_a^x}$), ммоль/см ²	Функция кислотности Гаммета, H_0
Исходное стекло	0	6,31	8,14
К0	4	4,91	6,73
К0	10	1,74	6,68
К1	4	9,99	10,07
К1	10	1,16	4,63
К2	4	14,52	9,62
К2	10	1,70	6,28
К3	4	7,02	10,08
К3	10	1,82	6,79

На заключительном этапе работы проведено исследование влияния эффекта «старения» на кислотно-основные свойства поверхности измельченного стекла. В эксперименте проанализирован порошок, полученный в результате помола исходного стоматологического стекла в присутствии 0,1 масс.% интенсификатора – образец К2. Для данного образца были выполнены

определения содержания активных центров непосредственно сразу после помола и через 20 суток хранения в герметично закрытом пластиковом контейнере. Характер распределения поверхностных активных центров представлен на рисунке 7.

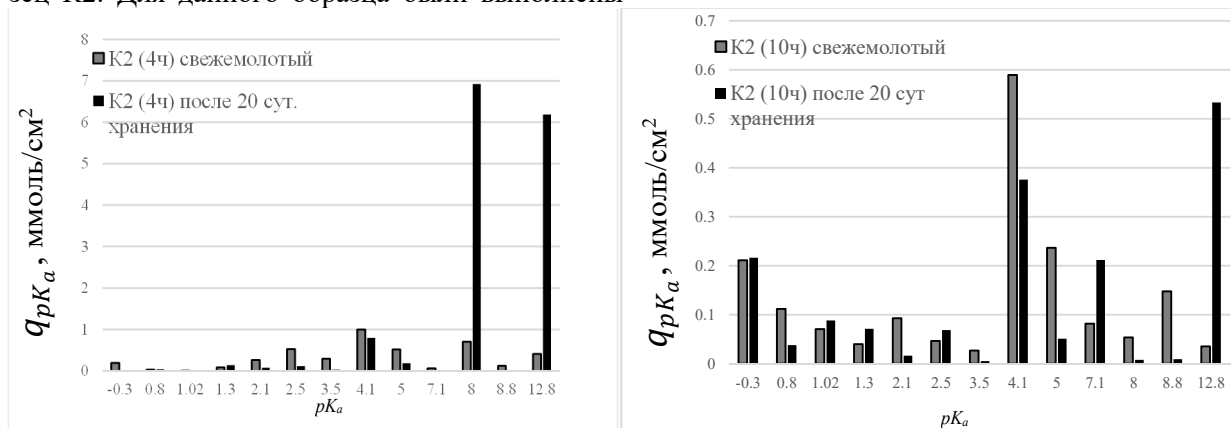


Рис. 7. Гистограммы распределения кислотно-основных центров на поверхности исследуемых образцов

В процессе «старения» образца К2 после помола в течение 4 ч фиксируется перераспределение соотношения кислотных и основных центров, а именно уменьшение количества кислотных центров Бренстедовского типа ($pK_a^x = 2,1, 2,5, 3,5, 4,1$ и $5,0$) и значительный рост содержания аналогичных основных центров с $pK_a^x = 8,0$

и $12,8$. Наряду с этим также отмечается повышение суммарного количества активных центров в 3,5 раза, а значение H_0 возрастает от 5,24 до 9,62 и поверхность материала после старения приобретает основной характер (табл. 5).

Таблица 5

Кислотно-основные параметры измельченного стекла после хранения

Образец	Время помола, ч	Суммарное содержание активных центров ($\sum q_{pK_a^x}$), ммоль/см ²	Функция кислотности Гаммета, H_0
К2 свежемолотый	4	4,18	5,24
К2 после 20 сут. хранения	4	14,53	9,62
К2 свежемолотый	10	1,75	3,97
К2 после 20 сут. хранения	10	1,70	6,28

Согласно данным таблицы для образца К2, подвергнутого измельчению в течение 10 ч, в процессе «старения» принципиальных изменений суммарного содержания активных центров представленного ряда не наблюдается ($\sum q_{pK_a^x} = 1,70-1,75$ ммоль/см²). Стоит отметить лишь незначительный рост количества центров Бренстедовского типа с $pK_a^x = 12,8$ в результате чего наблюдается снижение кислотных свойств поверхности.

Выводы

1. Экспериментально установлено, что при сухом помоле исследованного стоматологического стекла оптимальная концентрация вводимого интенсификатора (основа композиции – этаноламин и этиленгликоль), составляет 0,1 масс.%. Повышение концентрации вводимого интенсификатора 0,2 масс.% не оказывает существенного интенсифицирующего эффекта и является нецелесообразным.

2. В промышленных условиях при заданных технологических параметрах и введении 0,1 масс.% интенсификатора на основе этаноламина и этиленгликоля оптимальным временем помола стекла является 20 часов. За данное время обеспечиваются оптимальные характеристики цемента. Кроме того, проведение дальнейшего измельчения нецелесообразно, поскольку не приводит к значимому изменению гранулометрического состава порошка стекла.

3. После помола стекла в течение 4 часов в контрольном помоле происходит снижение содержания активных центров от 6,31 до 4,91. Для образцов, содержащих 0,05, 0,1 и 0,2 масс.% интенсификатора зарегистрирован рост суммарного содержания активных центров до 9,99, 14,52 и 7,02 ммоль/см², соответственно. Значение функции кислотности поверхности в образцах с интенсификатором, независимо от его содержания, повышается по сравнению, как с исходным образцом, так и с контрольным помолом без интенсификатора, которые близки к нейтральной области.

4. Через 10 ч помола происходит значительное снижение содержания активных центров во всех случаях (до 1,16–1,82 ммоль/см²) и кислотности поверхности. Образцы с интенсификатором демонстрируют резкое снижение содержания как основных, так и кислотных активных центров относительно исходного образца. Значение функции кислотности во всех случаях уменьшается, что свидетельствует об адсорбции молекул добавки-интенсификатора на вновь образованной поверхности стекла и блокирования части поверхностных активных центров.

5. В процессе «старения» для образца стекла с оптимальной концентрацией добавки (0,1 масс.%), измельченных в течение 10 ч, заметных изменений суммарного содержания активных

центров представленного ряда не наблюдается ($\sum q_{pK_a^x} = 1,7-1,75$ ммоль/см²). Также установлен незначительный рост количества центров Бренстедовского типа с $pK_a^x = 12,8$, в результате чего наблюдается некоторое понижение кислотных свойств поверхности порошков стекла. Таким образом, введение 0,1 масс.% добавки в измельчаемое стоматологическое стекло обеспечивает после 10 часов помола максимальную нейтрализацию поверхностных активных центров за счет адсорбции молекул данного интенсификатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Pfeifer C.S., Ferracane J., Sakaguchi R.L. *Craig's Restorative Dental Materials*. USA: Mosby, 2025. 262 p.
2. Noort R., Barbour M.E. *Introduction to Dental Materials*. UK, Mosby Elsevier, 2013. 246 p.
3. Mahalaxmi S. *Materials used in Dentistry*. Second Edition. India: Wolters Kluwer, 2018. 944 p.
4. Sidhu S.K. *Glass-Ionomers in Dentistry*. UK: Springer, 2016. 162 p.
5. Xie D., Brantley W.A., Culbertson B.M., Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements // *Dental Materials*. 2000. № 6. Pp. 129–138. DOI: 10.1016/s0109-5641(99)00093-7
6. Nicholson J.W. *The Chemistry of Medical and Dental Materials*. Edition 2. UK: Royal Society of Chemistry, 2020. 272 p.
7. Trubitsyn M.A., Volovicheva N.A., Furda L.V., Lisnyak V.V., Gaynutdinov R.M., Kukharev O.I. Research in the area of preparing activated alumina. Part 3. Efficiency of using Russian additive-intensifiers during milling high-alumina raw materials // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2022. Vol. 63. Pp. 370–377. DOI: 10.1007/s11148-023-00738-9
8. Ravaszova S., Dvorak K. The Effect of Different Grinding Technologies on the Mechanical Properties of Portland Cement Depends on the Type of Intensifier // *Solid State Phenomena*. 2023. № 352. Pp. 103–107. DOI: 10.4028/p-kins9I
9. Jiang Y., Deng L., Chen W., Zhang B. Study on Preparation and Performance of Liquid Grinding Aid // In book: *Proceedings of the 2023 5th International Conference on Structural Seismic and Civil Engineering Research*. 2023. Pp. 128–135.
10. Njiru E., Muthengia J., Munyao O., Mutitu D., Musyoki D. Review of the Effect of Grinding Aids and Admixtures on the Performance of Cements // *Advances in Civil Engineering*. 2023. Vol. 2023. Pp. 1–9. DOI: 10.1155/2023/6697842
11. Jin Hyok R., Yong Ho K., Yong Su H., Song Gun K., Ju Hyon Y. Cement grinding aid based on glycerol-waste antifreeze // *Magazine of Civil Engineering*. 2022. Vol. 112(4). 11214. DOI: 10.34910/MCE.112.14

12. Prziwara P., Kwade A. Grinding aids for dry fine grinding processes. Part II: Continuous and industrial grinding // Powder Technology. 2021. Vol. 394. Pp. 207–213. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.08.039

13. Popov A., Chernev G. Effect of grinding aids on cement properties and grinding process // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2024. Vol. 59. Pp. 132–1330. DOI: 10.59957/jctm.v59.i6.2024.6

14. Kapeluszna E., Kotwica L. The effect of various grinding aids on the properties of cement and its compatibility with acrylate-based superplasticizer // Materials. 2022. Vol. 2. 614. DOI: 10.3390/ma15020614

15. Zhao H. Analysis on influencing factors of grinding aid effect of cement grinding aids // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1798. 1. Pp. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/1798/1/012037

Информация об авторах

Бузов Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, технический директор. E-mail: buzov@mail.ru. АО «Опытно-экспериментальный завод «ВладМиВа». Россия, 308023, Белгород, ул. Студенческая, д.19.

Трубицын Михаил Александрович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: trubitsin@bsuedu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85.

Белоусова Анастасия Андреевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: neanas@mail.ru. АО «Опытно-экспериментальный завод «ВладМиВа». Россия, 308023, Белгород, ул. Студенческая, д.19.

Воловичева Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: volovicheva@bsuedu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85.

Фурда Любовь Владимировна, кандидат химических наук, доцент. E-mail: furda@bsuedu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Лисняк Виктория Владимировна, ассистент кафедры общей химии. E-mail: lisnyak@bsuedu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85.

Поступила 07.11.2025 г.

© Бузов А.А., Трубицын М.А., Белоусова А.А., Воловичева Н.А., Фурда Л.В., Лисняк В.В., 2026

^{1,*}Buzov A.A., ²Trubitsyn M.A., ¹Belousova A.A., ²Volovicheva N.A., ²Furda L.V., ²Lisnyak V.V.

¹VladMiVa Experimental Plant JSC

²Belgorod National Research University

*E-mail: buzov@mail.ru

EFFECT OF INTENSIFIER CONCENTRATION ON THE KINETICS OF GRINDING DENTAL GLASS OF THE SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F

Abstract. This article presents the dependence of the grinding kinetics of dental glass in the SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F system on the content of an intensifier additive based on ethanolamine and ethylene glycol in the range of 0.05–0.2 wt%. It was found that for dry grinding of dental glass, the optimal content of this intensifier is 0.1 wt%. It is shown that under industrial conditions, with the given process parameters and the addition of 0.1 wt% of an intensifier based on ethanolamine and ethylene glycol, the optimal grinding time is 20 hours. This time ensures the optimal properties of glass ionomer cement based on it. The dependence of the active site content in glass of the SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F system on the content of the intensifier additive introduced during grinding in the range of 0.05–0.2 wt% is presented. Confirmation of the neutralization of surface active sites by an intensifying additive is presented. Patterns of influence of 20-day aging of glass powder with an optimal additive concentration (0.1 wt%) on the acidic properties of the surface and the content of active sites are revealed.

Keywords: aluminosilicate glass, dry grinding, grinding intensifier, active centers, glass ionomer cement, dental material.

REFERENCES

1. Pfeifer C.S., Ferracane J., Sakaguchi R.L. *Craig's Restorative Dental Materials*. USA: Mosby, 2025. 262 p.
2. Noort R., Barbour M.E. *Introduction to Dental Materials*. UK, Mosby Elsevier, 2013. 246 p.
3. Mahalaxmi S. *Materials used in Dentistry*. Second Edition. India: Wolters Kluwer, 2018. 944 p.
4. Sidhu S.K. *Glass-Ionomers in Dentistry*. UK: Springer, 2016. 162 p.
5. Xie D., Brantley W.A., Culbertson B.M., Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements. *Dental Materials*. 2000. No 6. Pp. 129–138. DOI: 10.1016/s0109-5641(99)00093-7
6. Nicholson J.W. *The Chemistry of Medical and Dental Materials*. Edition 2. UK: Royal Society of Chemistry, 2020. 272 p.
7. Trubitsyn M.A., Volovicheva N.A., Furda L.V., Lisnyak V.V., Gaynutdinov R.M., Kukharev O.I. Research in the area of preparing activated alumina. Part 3. Efficiency of using Russian additive-intensifiers during milling high-alumina raw materials. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2022. Vol. 63. No 4. Pp. 370–377. DOI: 10.1007/s11148-023-00738-9
8. Ravaszova S., Dvorak K. The Effect of Different Grinding Technologies on the Mechanical Properties of Portland Cement Depends on the Type of Intensifier. *Solid State Phenomena*. 2023. No 352. Pp. 103–107. DOI: 10.4028/p-kins9I
9. Jiang Y., Deng L., Chen W., Zhang B. Study on Preparation and Performance of Liquid Grinding Aid. In book: *Proceedings of the 2023 5th International Conference on Structural Seismic and Civil Engineering Research*. 2023. Pp. 128–135.
10. Njiru E., Muthengia J., Munyao O., Mutitu D., Musyoki D. Review of the Effect of Grinding Aids and Admixtures on the Performance of Cements. *Advances in Civil Engineering*. 2023. Vol. 2023. Pp. 1–9. DOI: 10.1155/2023/6697842
11. Jin Hyok R., Yong Ho K., Yong Su H., Song Gun K., Ju Hyon Y. Cement grinding aid based on glycerol-waste antifreeze. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. Vol. 112(4). 11214. DOI: 10.34910/MCE.112.14
12. Prziwara P., Kwade A. Grinding aids for dry fine grinding processes. Part II: Continuous and industrial grinding. *Powder Technology*. 2021. Vol. 394. Pp. 207–213. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.08.039
13. Popov A., Chernev G. Effect of grinding aids on cement properties and grinding process. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2024. Vol. 59. Pp. 1327–1330. DOI: 10.59957/jctm.v59.i6.2024.6
14. Kapeluszna E., Kotwica L. The effect of various grinding aids on the properties of cement and its compatibility with acrylate-based superplasticizer. *Materials*. 2022. Vol. 2. 614. DOI: 10.3390/ma15020614
15. Zhao H. Analysis on influencing factors of grinding aid effect of cement grinding aids. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1798. 1. Pp. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/1798/1/012037

Information about the authors

Buzov, Andrey A. PhD, technical director. E-mail: buzov@mail.ru. VladMiVa Experimental Plant JSC, Russia, 308023, Belgorod, st. Studencheskaya, 19.

Trubitsyn, Mikhail A. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: trubitsin@bsuedu.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Belousova Anastasia A. PhD, Senior researcher. E-mail: neanas@mail.ru. VladMiVa Experimental Plant JSC. Russia, 308023, Belgorod, st. Studencheskaya, 19.

Volovicheva, Natalya A. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: volovicheva@bsuedu.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Furda Lyubov V. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: furda@bsuedu.ru. Belgorod National Research University Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Lisnyak, Viktoriya V., Assistant of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: lisnyak@bsuedu.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Received 07.11.2025

Для цитирования:

Бузов А.А., Трубицын М.А., Белоусова А.А., Воловичева Н.А., Фурда Л.В., Лисняк В.В. Влияние содержания интенсификатора на кинетику помола стекла системы SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 4. С. 96–104. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-4-96-104

For citation:

Buzov A.A., Trubitsyn M.A., Belousova A.A., Volovicheva N.A., Furda L.V., Lisnyak V.V. Effect of intensifier concentration on the kinetics of grinding dental glass of the SrO–Al₂O₃–SiO₂–P₂O₅–F. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 4. Pp. 96–104. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-4-96-104