

АКАДЕМИЯ НАУК КАЗАХСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

Инж. С. СУЛЕЙМЕНОВ

Исследование некоторых физико-химических свойств пеностекла в процессе его получения

СССР

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель—доцент,
кандидат технических наук
Л. К. КОВАЛЕВ

АЛМА-АТА
1955

Работа выполнена в лаборатории стекла
Института архитектуры, строительства
и стройматериалов АН КазССР

94633
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР

I. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В свете директив XIX съезда КПСС и последующих постановлений Партии и Правительства осуществление большого размаха строительства в нашей стране требует перехода на индустриально-скоростные методы строительства с применением сборных конструкций, крупных блоков и панелей. В выполнении этого требования особо важное значение имеет применение в строительстве наиболее прогрессивных легковесных строительных материалов. К числу таких материалов относится пеностекло, получаемое путем вспенивания смеси стеклопорошка и газообразователя (известняка, кокса, торфянного коксика и др.). Пеностекло играет большую роль, как изоляционно-строительный материал, обладающий соответствующими физико-механическими свойствами, в частности, низким коэффициентом теплопроводности и достаточной механической прочностью при малом объемном весе. Благодаря этим свойствам пеностекло может найти широкое применение в ряде отраслей народного хозяйства, в частности, в строительстве промышленных и жилых зданий.

Однако, несмотря на то, что пеностекло объединяет в себе ряд ценных свойств разнообразных строительных материалов, широкое применение его в строительстве задерживается его высокой стоимостью. Последняя обусловлена, в основном, несовершенством технологии его производства и применением в качестве исходного сырья относительно дорогого стекольного боя.

В исследованиях И. И. Китайгородского, Б. Лонга, Т. Н. Кешисяна, Л. М. Бутт, Л. К. Ковалева, Р. Л. Шустер и других освещены вопросы изменения физико-механических свойств пеностекла, в основном, в зависимости от природы и количества газообразователя, температуры спекания и зернового состава шихты, частично, от химического состава исходных стеклопорошков. Изучены также некоторые вопросы, касающиеся процесса химического взаимодействия компонентов пеностекольных шихт в процессе получения пеностекла и его структуры, а также наличия в пеностекле кристаллических новообразований и их оптических свойств.

Однако, имеющиеся в литературе материалы не дают достаточных количественных и качественных характеристик по вопросу о влиянии отдельных окислов Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 на процесс порообразования стекломассы, физико-механические свойства и структуру получаемого пеностекла.

В опубликованных материалах также почти не освещены вопросы значения вязкости пеностекляной массы и зависимости величины вязкости от температуры и химического состава исходного стекла, которые имеют важное значение в процессе получения пеностекла.

При нагревании пеностекляных шихт вследствие термической диссоциации газообразователя происходит вспучивание стекломассы и образование гетерогенной системы — пеностекляной массы, состоящей, в основном, из жидкой и газовой фаз. Наличие газовой фазы в пеностекляной массе должно уменьшить ее вязкость по сравнению с вязкостью исходного стекла.

Вязкость пеностекляной массы определяется ее структурой, так как с изменением структуры изменяется сила внутреннего трения этой системы. Исходя из этого можно полагать, что изменение вязкости пеностекляной массы оказывает существенное влияние на свойства получаемого пеностекла. Однако, этот вопрос в литературе остается пока не освещенным.

Из приведенных литературных материалов, посвященных теоретическим и практическим вопросам процесса получения пеностекла вытекает необходимость исследования некоторых вопросов, касающихся физико-химических его свойств, в частности, следующих:

1. Изучение влияния отдельных окислов Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 в химическом составе стекол:

- на температуру начала их размягчения,
- на процесс их порообразования.

2. Исследование вязкости пеностекляной массы в зависимости от температуры и изменения количества Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 за счет SiO_2 .

3. Установление зависимости между химическим составом стекол и некоторыми физико-механическими свойствами получаемого из них пеностекла.

Исследование проводилось на 20 составах стекол, химический состав которых приводим в таблице 1.

В качестве исходных компонентов для варки стекол нами применялись следующие материалы: кварцевый песок Опановского месторождения, сода кальцинированная, известняк отборный Каскеленского месторождения, окиси магния, алюминия и железа. Химический состав указанных компонентов приведен в таблице 2.

Компоненты шихты, за исключением песка, измельчались до полного прохождения через сито 900 отв/см². При этом максимальный размер зерна не превосходил 200 микрон.

Шихта составлялась из расчета получения 3 кг готовой стекломассы. Варка стекол производилась в шамотных горшках в нефтяном горне при температуре 1450°. Помол сваренных стекол производился в фарфоровой шаровой мельнице. Тонкость помола опытных стеклопорошков характеризовалась полным проходом их через сито 1600 отв/см² (величина частиц менее 150 микрон). В ряде лабораторных исследований и в промышленных условиях на Ивотском

стекляном заводе указанный зерновой состав пеностекляной шихты дал удовлетворительное по качеству пеностекло.

Таблица 1
Химический состав исследуемых стекол

№№ стекло	Содержания в %/о					
	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3
1	72	15	10	2	1	—
2	71	16	10	2	1	—
3	70	17	10	2	1	—
4	69	18	10	2	1	—
5	75	16	6	2	1	—
6	72	16	9	2	1	—
7	69	16	12	2	1	—
8	66	16	15	2	1	—
9	75	16	7	1	1	—
10	74	16	7	2	1	—
11	73	16	7	3	1	—
12	72	16	7	4	1	—
13	72	16	7	2	3	—
14	69	16	7	2	6	—
15	66	16	7	2	9	—
16	63	16	7	2	12	—
17	71	16	7	2	3	1
18	69	16	7	2	3	3
19	67	16	7	2	3	5
20	64	16	7	2	3	8

Таблица 2
Химический состав исходных сырьевых материалов

Наименование сырья	Содержания в %/о									
	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	H_2O	п.п.п.	Сумма
Песок	98,57	0,15	0,4	сл.	0,55	0,04	0,09	сл.	0,14	99,94
Сода	—	44,44	сл.	сл.	сл.	сл.	—	24,3	31,61	100,35
Известняк	0,47	—	55	0,58	0,2	0,05	—	сл.	43,74	100,04
Окись магния	сл.	—	сл.	92,72	—	—	—	1,0	6,37	100,09
Окись алюминия	сл.	—	сл.	сл.	97,64	0,04	—	1,16	1,15	99,99
Окись железа	—	—	—	0,1	—	99,96	—	—	0,2	100,26

В качестве газообразователя в шихту добавлялся 1% известняка. Известняк является одним из широко распространенных в природе дешевых и недефицитных материалов.

Согласно литературным данным известняк полностью отвечает предъявляемым требованиям соответствия температурного интервала его диссоциации и интервала размягчения стекол.

а) При определении температуры начала размягчения опытных стекол нами был применен метод прогиба стекольной нити, предложенный Л. К. Ковалевым и Р. Л. Шустер.¹ Он основан на определении температуры, при которой исследуемая нить (диаметром 0,2 мм и длиной 70 мм) под действием собственного веса приобретает определенную стрелу прогиба (0,5 мм). Наши исследования, проведенные этим методом, показали, что с точностью $\pm 5^\circ$ можно определить температуру начала размягчения стекол.

б) Для определения кинетики процесса порообразования и относительного увеличения объема при нагревании пеностекольных шихт из исходных стеклопорошков нами был использован прибор, описанный Г. Г. Сентюриным.² Для изучения процесса порообразования стекломассы, отвешенные по весу 10 г шихты (99% стеклопорошка и 1% известняка) смешивались вручную в течение 25—30 минут в стеклянной баночке с фарфоровыми шарами. Спекание пеностекольных шихт производилось в цилиндрических шамотных тиглях, помещенных в электрическую печь типа ТГ — 1. Скорость нагревания составляла 5 град/мин. Изменение уровня шихты в процессе ее нагрева отмечалось с помощью специального указателя на миллиметровой шкале с точностью до 0,25 мм.

в) Из обзора опубликованных ранее работ следует, что почти все исследования по вязкости стекол выполнены с применением метода коаксиальных цилиндров. Следовательно, этот метод является наиболее распространенным и оправдывающим себя в этой области. Однако, существующие вискозиметры этого типа предназначены для определения вязкости гомогенной стекломассы, в то время как в наших исследованиях мы имеем дело с гетерогенной системой — пеностекольной массой. В литературе не имеется сведений, касающихся методики исследования вязкости указанной массы. В связи с этим нами была разработана соответствующая методика и сконструирован вискозиметр с вращающимся наружным цилиндром, видоизмененный с целью измерения вязкости пеностекольной массы в процессе получения пеностекла. Осуществленный прибор, являющийся своеобразным комплексом двух существующих типов вискозиметров с вращающимся цилиндром, как показали наши опыты, оказался достаточно точным и пригодным для определения вязкости пеностекольной массы. Прибор основан на измерении угла закручивания внутреннего цилиндра, закрепленного пружиной, при вращении наружного цилиндра (тигля с исследуемой массой).

Измерение производилось следующим образом: тигель с предварительно определенным оптимальным количеством пеностекольной шихты устанавливался на подставке. Центрировка вискозиметра производилась путем спуска внутреннего цилиндра в тигель. После центрировки вся верхняя измерительная часть снималась с

¹ Вестник АН КазССР № 1, с. 81—85, 1953.

² Труды Московского химико-технологического института. Вып. XVII, с. 113—117, 1952.

трубчатых стоек и печь подключалась к сети. При достижении температуры, определяющей начало спекания пеностекольных шихт, измерительная часть прибора вставлялась в трубчатые стойки прибора. После того, как температура внутреннего цилиндра достигала заданного уровня, внутренний цилиндр с помощью нарезного винта погружался в пеностекольную шихту. При дальнейшем нагревании происходил процесс порообразования стекломассы. Погруженный в пеностекольную массу внутренний цилиндр полностью смачивался этой массой. После выравнивания температуры по всей массе, тигель приводился во вращение электромотором (2—4 оборота в минуту). При этом, вследствие возникновения сил внутреннего трения в массе, внутренний цилиндр увлекался и поворачивался на определенный угол, закручивая при этом пружину. При достижении равенства моментов, приложенных к внутреннему цилиндру со стороны сил внутреннего трения пеностекольной массы и пружины, указательная стрелка останавливалась на некотором делении шкалы, которое и являлось мерой, характеризующей вязкость исследуемой нами массы. При каждой температуре для одного и того же состава пеностекольной массы производилось 3—5 замеров до установления постоянной величины угла закручивания. При этом отклонения повторяемости последовательных измерений не превышали 1—2%.

Измерение температуры производилось хромалюмелевой термопарой и гальванометром первого класса.

Для перехода от полученных данных эксперимента к вязкости в абсолютных единицах, показания вискозиметра градуированы по раствору канифоли в трансформаторном масле, вязкость которого, до 10^5 пуазов предварительно была определена методом падающего шара, а при больших значениях вязкости выше 10^5 пуазов — консистометром Гепплера. При этом для термостатирования раствора применялся водяной ультратермостат с точностью измерения до $0,01^\circ$.

При градуировке прибора получены кривые, выражающие логарифмическую зависимость вязкости градуировочного раствора от угла закручивания. Значение вязкости пеностекольной массы находилось с помощью этих кривых.

Наблюдаемые погрешности эксперимента, связанные с измерением угла закручивания и температуры спекания не превышали 7%. С целью проверки и уточнения погрешности прибора проведено сравнение опытных данных и вычисленных значений вязкости по формуле М. В. Охотина для стекла № 6 при температуре $770—860^\circ$. Это сравнение подтвердило указанные пределы точности измерения.

г) Определения физико-механических свойств образцов пеностекла: объемного веса, предела прочности при сжатии и водопоглощения, были произведены методами, применяемыми при определении свойств строительных материалов по ГОСТам, указанным в ТУ № 159.

д) Структура пеностекла изучалась под микроскопом в прозрач-

ных шлифах. Наличие кристаллической фазы в пеностекле подтвердилось рентгенографическим методом исследований.

3. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАЧАЛА РАЗМЯГЧЕНИЯ СТЕКОЛ НА ПРОЦЕСС ПОРООБРАЗОВАНИЯ

По принятым методам нами определены температура начала размягчения опытных стекол и кинетика процесса порообразования. Известно, что температура начала размягчения стекла T_f является функцией его химического состава и она имеет важное значение в процессе получения пеностекла и предопределяет температурный интервал порообразования стекломассы. Чем меньше величина T_f , тем процесс капсуляции частиц стеклопорошка вокруг равномерно распределенного газообразователя происходит при более низкой температуре. Это связано с уменьшением вязкости стекломассы. При уменьшении вязкости стекломассы в интервале ее порообразования вспученная масса увеличивается в объеме, так как противодействующая сила внутреннего трения давлению газа в порах

Таблица 3

Изменение температуры начала размягчения исследуемых стекол и интервала порообразования в зависимости от их химического состава

№№ стекол	Температура начала размягчения в °С	Температура начала порообразования в °С	Предельная температура порообразования в °С	Температурный интервал порообразования в °С
1	590	730	860	130
2	580	720	850	130
3	570	710	860	150
4	560	700	850	150
5	570	710	850	140
6	580	720	850	130
7	590	740	860	120
8	600	750	860	110
9	570	730	850	120
10	575	720	840	120
11	580	730	860	130
12	575	720	850	130
13	570	730	850	120
14	585	740	850	110
15	600	770	870	100
16	620	790	880	90
17	565	740	860	120
18	555	730	850	120
19	550	710	850	140
20	540	690	830	140

уменьшается. Указанное, как видно из таблицы 3, наблюдается в пеностекляных шихтах из стекол составов №№ 1, 2, 3 и 4 при повышении содержания Na_2O от 15% до 18% за счет SiO_2 от 72% до 69% при прочих постоянных окислах. При этом увеличение окиси

натрия в указанных пределах приводит к снижению величины T_f от 590° до 560° и удлинению температурного интервала порообразования стекла от 130° до 150°.

Подобное явление также наблюдается в процессе порообразования пеностекляных шихт из стекол составов №№ 17, 18, 19 и 20, в которых содержание Fe_2O_3 изменялось от 1% до 8% за счет SiO_2 . При этом температурный интервал порообразования увеличивается от 120° до 140°. Указанное объясняется небольшим изменением температуры начала размягчения стекол от 565° до 540° и, следовательно, вязкости пеностекляных масс.

Как показали наши исследования, увеличение содержания CaO от 6% до 15% за счет уменьшения SiO_2 от 75% до 66% в стеклах №№ 5, 6, 7 и 8 уменьшает интервал их порообразования от 140° до 110°, причем снижается выход пеностекла. Это, очевидно, связано с повышением температуры начала размягчения стекол от 570° до 600° и увеличением вязкости пеностекляных масс. Изменение содержания CaO в пределах от 12 до 15% менее существенно сказывается на изменении структуры пеностекла. При этом, следует отметить, что существующее мнение о том, что увеличение содержания CaO от 10% до 14,5% увеличивает выход пеностекла, не подтвердилось в результате наших исследований.

Характерное явление в изменении процесса порообразования наблюдается в пеностекляных шихтах на основе стекол №№ 13, 14, 15 и 16, в которых содержание Al_2O_3 изменялось от 3% до 12% за счет уменьшения SiO_2 . Изменение Al_2O_3 в указанных пределах приводит к снижению интервала порообразования от 120° до 90°, причем уменьшается выход пеностекла. Это объясняется изменением температуры начала размягчения стекол от 570° до 620° и значительным повышением вязкости пеностекляной массы.

Проведенные исследования позволили выяснить влияние отдельных окислов Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 за счет SiO_2 на температуры начала размягчения стекол и на процессы их порообразования.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ПЕНОСТЕКЛЯНОЙ МАССЫ

При исследовании вязкости пеностекляной массы мы сделали допущение, приняв ее за двухфазную систему, хотя на основании приведенных в диссертации материалов видно, что пеностекляная масса состоит из трех фаз. Однако, количество кристаллической фазы, как показали микроскопические и рентгенографические исследования, незначительно и потому возможно наличие этой фазы во внимание не принимать.

Как показано в предыдущем разделе, основные процессы порообразования при нагревании пеностекляных шихт происходят при температурах от 770° до 870°, при которых происходит образование структуры и других свойств получаемого пеностекла. Поэтому для проведения экспериментов нами приняты температуры: 770°, 800°, 830° и 860°.

По изложенной выше методике нами проведены около 600 измерений. Опытные данные по исследованию вязкости пеностекольной массы в зависимости от температуры и состава приведены в таблице 4.

Таблица 4
Опытные данные вязкости пеностекольных масс и вязкости стекол, рассчитанной по формуле М. В. Схотина¹

№№ стекол	Опытные данные логарифма вязкости пеностекольных масс при температурах в °С				Расчетные данные логарифма вязкости стекол при температурах в °С			
	770	800	830	860	770	800	830	860
1	5,34	4,92	4,60	4,33	6,55	6,09	5,68	5,32
2	5,06	4,71	4,45	4,14	6,33	5,89	5,51	5,15
3	4,91	4,59	4,26	3,97	6,14	5,71	5,33	4,98
4	4,72	4,39	4,13	3,82	5,92	5,51	5,14	4,81
5	4,77	4,43	4,14	3,92	6,48	6,05	5,70	5,38
6	4,98	4,65	4,34	4,08	6,37	5,93	5,55	5,21
7	5,21	4,88	4,58	4,36	6,24	5,78	5,38	5,01
8	5,48	5,12	4,84	4,58	6,11	5,60	5,17	4,79
9	4,89	4,58	4,27	3,99	6,44	6,04	5,64	5,32
10	—	—	—	—	6,46	6,04	5,64	5,31
11	—	—	—	—	6,48	6,04	5,64	5,31
12	4,92	4,59	4,26	3,97	6,50	6,04	5,64	5,30
13	5,36	4,94	4,61	4,36	6,59	6,18	5,80	5,45
14	5,71	5,32	4,97	4,69	6,80	6,37	5,97	5,62
15	6,21	5,79	5,44	5,13	7,03	6,55	6,14	5,78
16	6,58	6,14	5,80	5,51	7,23	6,75	6,33	5,95
17	5,23	4,86	4,53	4,27	—	—	—	—
18	5,14	4,75	4,42	4,15	—	—	—	—
19	5,03	4,66	4,29	4,04	—	—	—	—
20	4,88	4,47	4,16	3,87	—	—	—	—

В связи с отсутствием в литературе данных по вопросу исследования вязкости пеностекольной массы мы не имели возможности сравнить полученные нами экспериментальные данные с результатами других исследователей и ограничивались выяснением того вопроса существует ли аналогия между зависимостью вязкости пеностекольной массы от температуры и вязкостью стекломассы от температуры. Для этой цели было проведено сравнение характера кривых, выражающих зависимости логарифма вязкости этих систем от обратной величины абсолютной температуры $(\lg \eta - \frac{1}{T})$. Оказалось, что характеры этих кривых аналогичны друг другу, причем криволинейность у пеностекольной массы выражена круче, чем у гомогенной стекломассы. Такая зависимость вязкости от температуры для пеностекольной массы, повидимому, объясняется не только повышением температуры, но и резким изменением структуры пеностекольной массы, связанной с увеличением объема содержащейся в ней газовой фазы. Последнее обстоятельство может быть одним

из факторов, влияющих на сравнительно резкое изменение вязкости пеностекольной массы от температуры.

Результаты экспериментальных исследований показали, что снижение вязкости исследуемых нами пеностекольных масс находится, в основном, на одну степень ниже вязкости исходных стекол при одинаковых температурных условиях. Такое снижение абсолютной величины вязкости пеностекольных масс по сравнению с вязкостью стекол происходит, очевидно, за счет наличия газообразной фазы.

Увеличение содержания Na_2O от 15% до 18% за счет уменьшения содержания SiO_2 от 72% до 69%, при прочих постоянных окислах в составе стекла, приводит к уменьшению вязкости пеностекольной массы. Последнее, очевидно, объясняется тем, что с увеличением содержания Na_2O в указанных пределах происходит снижение вязкости исходного стекла и изменение структуры пеностекольной массы, выражающееся в увеличении диаметра пор и утоньшении стенок пор. Указанное и приводит к снижению силы внутреннего трения всей образовавшейся гетерогенной системы — пеностекольной массы.

При увеличении содержания CaO от 6% до 15% за счет уменьшения SiO_2 от 75% до 66%, при постоянном содержании остальных окислов, наблюдается повышение вязкости пеностекольной массы. Указанное, повидимому, связано с тем, что в пеностекольной массе из стекла с большим содержанием CaO до 15%, вследствие повышения вязкости исходного стекла в интервале температур (650—700°) процесс порообразования замедляется и образование пузырьков в этой стекломассе практически происходит при высокой температуре (770°—860°), то есть этот процесс совершается за более короткое время, чем в стекле с меньшим содержанием CaO . Вследствие этого из стекла с большим содержанием CaO образуется масса с меньшим количеством газовой фазы и более толстостенными порами. Поэтому в пеностекольных массах с увеличением содержания CaO вязкость повышается и именно за счет изменения структуры, связанной с уменьшением газовой фазы и утолщением стенок пор.

Изменение содержания MgO в пределах от 1% до 4% за счет уменьшения SiO_2 от 75% до 72%, при прочих постоянных окислах, оказывает практически незначительное влияние на вязкость пеностекольной массы. Указанное может быть объяснено небольшим изменением вязкости стекломассы, при которой не наблюдалось существенных изменений структуры пеностекольной массы.

Повышение содержания Al_2O_3 от 3% до 12% за счет снижения SiO_2 от 72% до 63%, при постоянном содержании окислов натрия, кальция и магния в составе пеностекольной массы, приводит к увеличению ее вязкости. Последнее, повидимому, связано с повышением вязкости исходного стекла.

Небольшое снижение вязкости наблюдается в пеностекольных массах, в которых содержание Fe_2O_3 изменялось от 1% до 8% за счет уменьшения SiO_2 . Изменение вязкости пеностекольной массы в сторону небольшого ее снижения объясняется незначительным

¹ Журн. Стекло и керамика, № 1, с. 7—11, 1954.

уменьшением вязкости исходного стекла, при котором не наблюдалось резких изменений структуры пеностекольной массы.

На основании экспериментальных данных установлено, что изменение вязкости пеностекольных масс в зависимости от их химического состава дает линейную зависимость, аналогичную зависимости вязкости для самих исходных стекол.

5. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТЕКОЛ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ НИХ ПЕНОСТЕКЛА

Поскольку вязкость пеностекольной массы определяется ее структурой и, очевидно, что изменение вязкости этой массы в зависимости от химического состава приводит к изменению свойств получаемого пеностекла.

Физико-механические свойства: объемный вес, водопоглощение и предел прочности при сжатии пеностекла определялись по принятым во втором разделе методикам. Результаты определений приведены в таблице 5.

Таблица 5

Изменение некоторых физико-механических свойств пеностекла, полученного при температурах 770°, 800°, 830° и 860° в зависимости от состава исходных стекол

№ стекла	Объемный вес в г/см ³ при °С				Предел прочности при сжатии в кг/см ² при °С				Водопоглощение в % по объему при °С			
	770	800	830	860	770	800	830	860	770	800	830	860
1	0,665	0,530	0,425	0,315	124	82	52	27	1,5	3,0	5,0	7
2	0,600	0,460	0,405	0,280	107	62	41	22	2,0	5,0	6,0	8
3	0,550	0,420	0,350	0,255	74	48	25	12	3,5	5,5	9,5	20
4	0,515	0,390	0,325	0,240	63	38	18	9	4,0	7,0	10,0	25
5	0,520	0,375	0,340	0,245	93	62	32	13	2,0	3,0	4,0	8
6	0,580	0,400	0,375	0,275	100	68	43	25	2,0	4,0	5,0	9
7	0,600	0,495	0,405	0,320	102	78	52	30	5,0	8,0	10,0	29
8	0,715	0,605	0,460	0,355	111	91	60	36	4,0	7,0	12,0	34
13	0,650	0,540	0,425	0,360	120	80	54	35	2,0	4,0	8,0	15
14	0,725	0,615	0,460	0,400	145	116	65	52	1,0	3,0	7,0	8
15	0,940	0,720	0,510	0,435	—	161	87	66	0,8	2,0	4,0	6
16	1,320	0,995	0,545	0,480	—	—	104	82	0,5	2,0	3,0	5
17	0,640	0,540	0,420	0,350	115	78	49	36	2,0	5,0	6,0	10
18	0,625	0,515	0,400	0,315	106	69	42	30	3,0	4,0	5,0	6
19	0,595	0,450	0,350	0,250	100	50	32	23	2,5	4,5	5,0	5
20	0,560	0,405	0,320	0,220	—	38	25	10	3,5	5,5	30,0	34

Образцы пеностекла с содержанием 15% Na₂O и 18% Na₂O при практически одинаковом объемном весе 0,530 г/см³ и 0,515 г/см³ обладали пределом прочности при сжатии 82 кг/см² и 63 кг/см². Понижение предела прочности во втором образце, очевидно, объясняется его увеличением диаметра пор и утоньшением стенок пор. Это же объясняет структуру пеностекла,

повидимому, происходит вследствие уменьшения вязкости пеностекольной массы. В этом случае снижение вязкости пеностекольной массы способствует увеличению размера и количества сообщающихся пор и, следовательно, образованию крупнопористого пеностекла, вследствие чего возрастает его водопоглощение. Приведенные данные подтверждают выводы, сделанные И. И. Китайгородским и Т. Н. Кешишяном¹ по поводу увеличения размера пор и водопоглощения пеностекла.

Повышение содержания CaO от 6% до 15% за счет SiO₂ в составе исходных стекол приводит к понижению механической прочности пеностекла. Так, например, при одинаковом объемном весе 0,400 г/см³ образцы пеностекла из стекла № 6 с содержанием 9% CaO обладали пределом прочности при сжатии 68 кг/см², а образцы из стекла № 7 с содержанием 12% CaO — 52 кг/см², причем последние образцы имели более мелкопористую структуру. Несмотря на это, в стенках пор этих образцов наблюдались сообщающиеся микропоры, которые благоприятствовали более быстрому разрушению при механическом воздействии. Указанное обусловило наблюдаемое нами явление, состоящее в том, что образцы с сообщающимися порами обладали пониженным пределом прочности при сжатии и повышенным водопоглощением.

При увеличении содержания Al₂O₃ от 3% до 12% за счет изменения SiO₂ от 72% до 63% наблюдалось повышение механической прочности пеностекла. При объемном весе порядка 0,540 г/см³ образцы пеностекла на основе стекла № 16 с содержанием 12% Al₂O₃ обладают пределом прочности при сжатии порядка 104 кг/см², а образцы из стекла № 13 с содержанием 3% Al₂O₃ — 80 кг/см². Образцы пеностекла на основе стекол с содержанием Al₂O₃ в пределах от 6% до 12% при объемном весе 0,550—0,600 г/см³ обладали сравнительно повышенным пределом прочности при сжатии порядка 104—116 кг/см². Указанное, очевидно, связано с образованием мелкопористой структуры при повышении вязкости пеностекольной массы. Водопоглощение указанных образцов при объемном весе 0,400—0,480 г/см³, соответствующем пределу прочности при сжатии 52—82 кг/см², не превышало 5—8%.

Незначительное изменение при испытании предела прочности при сжатии показали образцы пеностекла из стекол с повышением содержания Fe₂O₃ от 1% до 8% за счет SiO₂. В этом случае механическая прочность уменьшалась незначительно. Однако, как показали наши опыты, образцы пеностекла, полученные из стекол с содержанием Fe₂O₃ от 1% до 5% и Al₂O₃ 3% при объемном весе от 0,600 до 0,650 г/см³ обладали пределом прочности при сжатии 100—115 кг/см², а водопоглощение не превышало 3%. При этом стенки пор образцов пеностекла не имели сообщающихся микропор, что благоприятствовало их упрочнению и уменьшению водопоглощения. Образцы пеностекла с замкнутыми порами обладали повышенным пределом прочности при сжатии. Образцы из стекол с содержанием

¹ Пеностекло. Промстройиздат, 1953.

Fe_2O_3 от 1% до 5% и Al_2O_3 3% при объемном весе 0,250—0,350 г/см³ обладали пределом прочности при сжатии 23—36 кг/см² и имели водопоглощение 5—10%. Последнее связано с образованием пеностекла, в основном, с замкнутыми порами. В образцах из стекла с содержанием 8% Fe_2O_3 и 3% Al_2O_3 при объемном весе 0,220—0,320 г/см³ наблюдалось резкое повышение водопоглощения, связанное с увеличением количества сообщающихся пор.

Различное действие Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 в химическом составе стекол на механическую прочность и водопоглощение получаемого из них пеностекла может быть объяснено изменением вязкости пеностекляной массы. Последняя, обусловленная химическим составом исходных стекол, сильно влияет на свойства конечного продукта.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведено исследование изменения величин температур начала размягчения изучаемых стекол и процесса их порообразования от химического состава. Показано, что температура начала размягчения стекла предопределяет температурные условия процесса порообразования и, следовательно, между ними существует определенная взаимосвязь.

2. Выяснено влияние замены количественного содержания отдельных окислов Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 за счет SiO_2 на процесс порообразования исследуемых стекол.

3. Разработана методика исследования вязкости пеностекляной массы, для чего сконструирован вискозиметр коаксиальных цилиндров, позволяющий с точностью порядка 7% производить измерение вязкости пеностекляной массы.

4. Исследовано изменение вязкости пеностекляной массы в интервале температур порообразования (770°, 800°, 830° и 860°) в зависимости от химического состава стекла. Показано, что повышение в химическом составе стекол содержания Na_2O , MgO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 за счет соответственного снижения содержания SiO_2 , при постоянстве содержания прочих окислов, приводит к изменению вязкости пеностекляных масс, аналогичному изменению вязкости стекол того же химического состава.

а) Введение в химический состав стекла Na_2O от 15% до 18% за счет соответственного уменьшения SiO_2 от 72% до 69%, при постоянном содержании CaO 10%, MgO 2% и Al_2O_3 1%, приводит к снижению вязкости пеностекляной массы.

б) Увеличение содержания MgO от 1% до 4% в химическом составе стекла за счет соответственного уменьшения SiO_2 от 75% до 72%, при постоянном содержании Na_2O 16%, CaO 7% и Al_2O_3 1%, практически почти не оказывает влияния на изменение вязкости пеностекляной массы.

в) Увеличение количественного содержания в химическом составе стекла Al_2O_3 от 3% до 12% за счет уменьшения SiO_2 от 72% до 63%, при постоянном содержании Na_2O 16%, CaO 7% и MgO 2%, приводит к увеличению вязкости пеностекляной массы.

г) Возрастание содержания Fe_2O_3 от 1% до 8% за счет уменьшения SiO_2 от 71% до 64%, при постоянном содержании Na_2O 16%, CaO 7%, MgO 2% и Al_2O_3 3%, приводит к снижению вязкости пеностекляной массы.

д) При введении в химический состав стекла CaO от 6% до 15% за счет снижения содержания SiO_2 от 75% до 66%, при постоянном содержании Na_2O 16%, MgO 2% и Al_2O_3 1%, вязкость пеностекляной массы повышается.

5. Сопоставление характера графиков зависимости вязкости пеностекляных масс и вязкости изучаемых стекол от их состава показывает наличие полной аналогии, причем оказалось, что зависимости выражаются в виде прямых линий. Установлено, что вязкость пеностекляных масс у большинства изучаемых стекол в процессе порообразования, ниже на одну степень (в 10 раз) по сравнению с вязкостью стекол того же химического состава при одинаковых температурных условиях.

6. Показано, что кривые зависимости логарифма вязкости пеностекляных масс и стекол того же состава от температуры и от обратной величины абсолютной температуры носят аналогичный друг другу характер.

Таким образом, на основе сопоставления зависимостей вязкости пеностекляных масс и вязкости стекол от состава и температуры показано, что в характере этих зависимостей (для различных по составу систем) существует общая аналогия.

7. Изучено влияние количественного содержания отдельных окислов в составе стекол на физико-механические свойства получаемого из них пеностекла (предел прочности при сжатии, объемный вес и водопоглощение). Показана зависимость этих свойств от изменения вязкости пеностекляной массы.

а) Показано, что увеличение содержания Na_2O за счет уменьшения SiO_2 , при постоянном содержании CaO , MgO и Al_2O_3 в составе стекла, приводит к снижению предела прочности при сжатии образцов пеностекла и увеличению их водопоглощения.

б) Установлено, что при увеличении содержания CaO за счет уменьшения SiO_2 , при постоянном содержании Na_2O , MgO и Al_2O_3 в химическом составе стекла, наблюдается понижение предела прочности при сжатии пеностекла и водопоглощение его возрастает.

в) Выявлено, что повышение содержания MgO от 1% до 4% за счет соответственного снижения SiO_2 , при постоянном содержании Na_2O , CaO и Al_2O_3 в химическом составе стекла, практически не оказывает существенного влияния на предел прочности при сжатии пеностекла.

г) Показано, что увеличение содержания Al_2O_3 за счет соответственного уменьшения SiO_2 , при постоянном содержании Na_2O , CaO и MgO в стекле, повышает предел прочности при сжатии пеностекла и уменьшает его водопоглощение.

д) Установлено, что увеличение содержания Fe_2O_3 в пределах от 1% до 8% за счет уменьшения SiO_2 , при постоянном содержании Na_2O , CaO , MgO и Al_2O_3 в химическом составе стекла, снижает

предел прочности при сжатии пеностекла. Однако, образцы пеностекла с содержанием Fe_2O_3 от 1% до 5% обладают высокой механической прочностью и имеют водопоглощение, не превышающее 5—10%, а в образцах пеностекла с содержанием до 8% Fe_2O_3 механическая прочность сравнительно уменьшается и водопоглощение резко возрастает.

8. Результаты работы можно использовать при проектировании химических составов стеклопорошков, идущих на производство пеностекла. Они позволят предопределить поведение пеностекольной массы и проектировать температурные участки процесса порообразования пеностекольной шихты. Учитывая, что до настоящего времени состав стеклопорошка для производства пеностекла ограничивался исключительно составом оконного стекла, данные этой работы позволят получить исходный материал при проектировании других составов стекол.

94633

