ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXV, № 4, 1972 Серия технических наук

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Б. К. ДЕМИДОВИЧ, Н. Э. ОВАНЕСОВА

ОБРАЗОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ СТРУКТУРЫ ПЕНОСТЕКЛА В ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ

Любое пенообразование протекает при наличии в системе двух фаз: жидкой и газообразной. В зависимости от свойств материалов, представляющих обе фазы, пенообразование может протекать по-разному. Способ порошковой технологии производства пеностекла предусматривает сначала превращение посредством нагрева порошковой смеси в жидкость (расплав) и последующее образование в нем газообразной фазы. Причем, выделение газообразных продуктов должно начинаться ранее, чем наступит полное расплавление частичек стекла.

Структура пенообразующей смеси, находящейся в пропластическом состоянии представляет собой гетерогенную систему, в которой одновременно присутствуют все фазы: твердая—пенообразователь, жидкая—стекломасса и газообразная—мелкие пузырьки воздуха, механически введенного при помоле смеси. Последние играют также роль пенообразователя. Таким образом, в отличие от плотных систем, в рассматриваемой смеси схема зародышеобразования элементарных пузырьков несколько иная. Прежде всего она отличается тем, что ко времени начала разложения пенообразователя в ней содержится множество воздушных пузырьков, которые в дальнейшем также развиваются в элементарные ячейки.

Действие пенообразователя обнаруживается к моменту его разложения. В связи с тем, что образование газовой фазы происходит в результате восстановления присутствующего в стекле SO_3 восстанавливающим пенообразователем углеродом, желательно, чтобы поверхность контакта между стеклом и пенообразователем была возможно большей. Это указывает на необходимость применения для вспенивания смеси с большой удельной поверхностью и весьма равномерным распределением пенообразователя.

Скорость роста газового пузырька в следующие моменты, после его образования, определяется температурой и свойствами расплава (химическое сродство расплава и пенообразователя, поверхностное натяжение расплава, его вязкость и др.). Пузырек в эти моменты находится в неравновесном состоянии; при каждом приращении его

объема уменьшается давление и температура газа в пузырьке. Рост пузырей в объеме материала и активизация окислительно-восстановительных реакций, вызванных повышением температуры всей системы, определяют интенсивность вспенивания. Поэтому чем выше частота образования пузырей в возможно более коротком температурном интервале и больше количество порообразования в единице объема, тем активнее процесс вспенивания.

Чтобы возникший пузырек мог существовать заметное время в жидкой фазе (расплаве), должны быть соблюдены два условия равновесия — механическое и термодинамическое [1, 2]. Условие механического равновесия выражает требование равенства давления P газа в пузырьке радиуса r сумме внешнего P_0 и лапласовского давления

$$P = P_0 + \frac{2\sigma}{r}, \qquad (1)$$

где σ — поверхностное натяжение.

Термодинамическое условие определяет равенство потоков молекул, переходящих при вспенивании в пузырек, и молекул, конденсирующих из него в жидкую фазу. Указанное динамическое равновесие будет, очевидно, иметь место, если давление газа в пузырьке P равно упругости его паров над вогнутой поверхностью расплава, т. е.

$$P = P_\infty \exp\left(\frac{2\sigma v_\infty}{r_{кр}}\right), \qquad (2)$$

где v_∞ — объем жидкой фазы, приходящейся на одну молекулу;

$r_{кр}$ — радиус критического зародыша.

Равенства (1) и (2) верны для случая насыщения пен, т. е. когда объем газообразной фазы относительно невелик. По мере перехода пены к полиэдрической структуре на ее устойчивость, кроме рассмотренных факторов, влияют также: вязкость, величина и форма ячеек, толщина разделительных стенок и др. Наряду с этим, при формировании ячеек большое влияние оказывает скорость вспенивания. Она зависит от характера изменения вязкости расплава. Для «длинных» стекол допустимо быстрое раздувание пузырьков. У «коротких» — при быстром вспенивании наблюдается выраженная неравномерность разделительных стенок.

На рис. 1 показаны снимки аншлифов, приготовленных из кусочков пеностекла, вспененного из специально приготовленных смесей. В каждую пробу, состоящую из порошка стекла и антрацита, совместно смолотых в шаровой мельнице до удельной поверхности 6000 *см²/г*, добавлялось 10, 20 и 30% порошка стекла фракции 0,1—0,25 *мм*. Пропорционально добавкам стекла вводился антрацит аналогичного грансостава из расчета 1,7%. Смесь тщательно перемешивалась и подвергалась вспениванию.

Как видно из рис. 1*а*, присутствие в пенообразующей смеси

крупных зерен стекла приводит к неравномерности структуры пеностекла. Наблюдается выраженная неравномерность толщины разделительных стенок и в меньшей мере ячеек. Присутствие в смеси крупных частиц пенообразователя в большей степени влияет на неравномерность

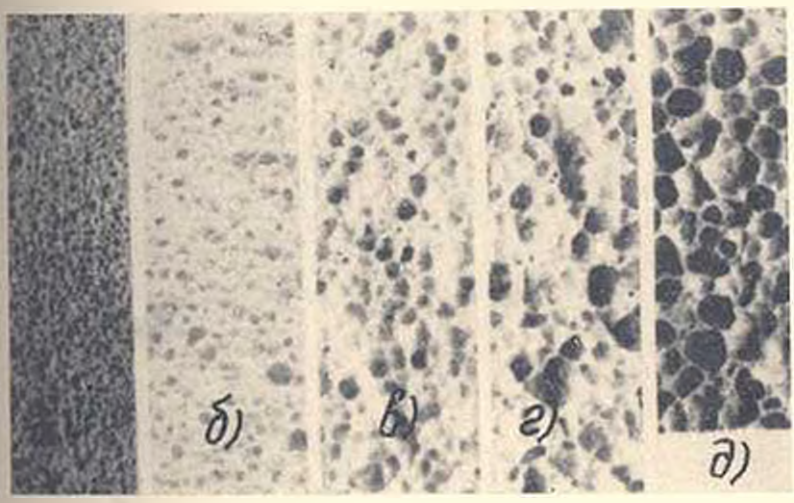

Рис. 1. Особенности развития структуры пеностекла: а — при полидисперсном гранулоставе стекла; б — то же для пенообразователя; в, г, д — при различных вязкостях характеристиках пенообразующей смеси

ячеек (рис. 1, б). Наблюдаются также группы ячеек с выраженной перфорацией, что, очевидно, объясняется образованием избыточного количества газов при разложении крупных частиц пенообразователя.

Аналогичные результаты были получены также при введении в пенообразующую смесь добавок стекла с более высокой температурой вспенивания. Небольшие добавки (до 10%) кроме незначительного повышения температуры вспенивания, практически не влияют на структуру пеностекла (рис. 1, а), заметное действие обнаруживается при введении 20—30% (рис. 1, г и д). При этом, наряду с повышением температуры вспенивания, увеличивается объемный вес пеностекла, наблюдается большое количество перфораций.

Исследование структуры пеностекла, полученного на карбонатных пенообразователях, в котором обнаруживается большое количество перфораций, показывает, что разрыв стенок происходит в сторону больших пузырьков, по-видимому, вследствие большего давления в малом пузырьке. Об этом свидетельствует форма пузырьков, полученных нами в специально приготовленных пробах на основе калиевого мыла (рис. 2). Наблюдения показали, что при сближении двух различных по величине пузырьков они объединяются, образуя общую разделительную стенку, направленную выпуклостью в сторону большего пузырька (рис. 2, а). Направление прогиба разделительной стенки указывает на большее давление в малом пузырьке. В соединении на

трех пузырей (рис. 2, *б*) радиусы кривизны всех пластинок изменяются до тех пор, пока во всех трех ячейках не установится равновесное давление. Это требование справедливо также для соединений, состоящих из любого количества пузырьков.

Скопления пузырьков образуют многогранную пену (рис. 2, *г*), для которой свойственна равновесная структура. В ней три пластинки сходятся вдоль одного ребра и каждые две из них образуют между собой угол в 120°. Число сходящихся в одной точке граней составляет 4,

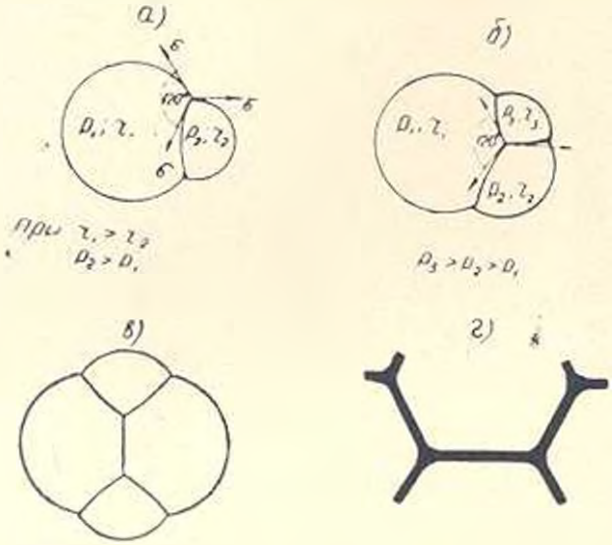

Рис 2. Изменение формы элементарных ячеек и профиля разделительных стенок в период развития и формирования пены

и каждые две из них пересекаются под углом четырехгранника (109,47°). Если случайно, вследствие механических повреждений, такая структура отсутствует, пластинки и грани начинают самопроизвольно изменять свою длину и объем до достижения равновесия в структуре. Очевидно это обуславливается стремлением капиллярной энергии к минимальной величине.

Исследуя текучесть различных пен, Э. Манегольд [3] обнаружил снижение подвижности пены при увеличении общей ее поверхности за счет уменьшения размеров элементарных ячеек. Позже Вагнер и Фишер [4] путем механического взбивания получили сухую пену, которая была совершенно неподвижной, измельчалась на мелкие куски. Авторы пришли к выводам, что по мере уменьшения размеров многогранников увеличивается общая поверхность, уменьшается толщина разделительных стенок и концентрация пленкообразователя, а жесткость пластинок при этом возрастает. Вывод, сделанный авторами, полностью согласуется с данными изменения прочности образцов пеностекла с различной структурой [5—8].

Анализ причин, вызывающих образование и развитие ячеистой

структуры в силикатных пенах позволяет сделать вывод о том, что пеностекло с малым объемным весом можно получить регулируя процессом вспенивания, начиная со стадии выбора материалов для приготовления пенообразующей смеси, способов ее подготовки и заканчивая процессом собственного вспенивания. При этом следует иметь в виду, что наиболее стабильными являются пены с минимальными размерами ячеек и предельно тонкими стенками. В этом случае объемный вес пены также минимальный. Снижение же объемного веса пеностекла за счет увеличения ячеек является не только экономически нецелесообразным, но и технологически неоправданным. Вязкие силикатные пены с большими ячейками менее устойчивы и быстро оседают, а в затвердевшем состоянии менее прочны.

Поступило 19 VII 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. *Будников П. П., Харитонов В. Я.* «Строительные материалы», 1969, № 5, 28—30.
2. *Волынин И. П.* Исследования по технологии керамзита. Научно-технический отчет Минского ГосНИИСМ, 1959.
3. *Manegold E.* Die Schaum, Straßenbau, Chemie und Technik Verlags. in. b. H. Heidelberg, 1953.
4. *Wagner H., Fischer K.* „Kolloid", 1936, № 12.
5. *Шилл Ф.* Пеностекло. Промстройиздат, М., 1965.
6. *Hübscher M.* „Silikattechnik", 1954, № 6.
7. *Шустер Р. Л., Ковалев Л. К.* «Изв. АН Каз. ССР. Серия горного дела, металлургии, строительства и стройматериалов», вып. 3, 1957.
8. Научно-технический отчет по теме № 831 за 1969 г. Минский ГосНИИСМ.