



Physico-Mechanical Investigations of Foamed Glass Granules

Marin MARINOV, Bojidar JIVOV, Lyuben LAKOV,
Stanko YORDANOV, Krasimira TONCHEVA

Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with Hydro- and Aerodynamics Centre
“Acad. A. Balevski” at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria,
e-mail: ma.neshev@hotmail.com

Abstract

A series of experimental foam glass granules were prepared from waste glass raw materials using various foaming agents (glycerin $C_3H_5(OH)_3$ or calcium carbonate $CaCO_3$). The test samples were obtained after granulation of the compositions and application of heat treatment (at a maximum temperature of $900^\circ C$) until a foamed cell structure was forming. According to standard methodology, applicable to the examination of spherical vitreous bodies were performed physico-mechanical laboratory tests. An average density $\rho=0.227 \text{ g/cm}^3$ was recorded for glycerin foam silicate samples and compressive strength from 0.175 to 0.576 MPa. For the foam granules prepared with the application of $CaCO_3$ the average density is $\rho=0.460 \text{ g/cm}^3$ and the compressive strength is from 0,163 to 0,487 MPa. From the performed researches it has been established that the samples prepared by introducing glycerin into the compositions have more favorable operational characteristics (lower values of density and higher compressive strength). The obtained experimental data are applicable in optimizing the used technological methodology for the production of foam glass granules and products from them.

Keywords: waste glass, foam glass granules, physico-mechanical investigations.

Физико-механични изследвания на разпенени стъклени гранули

Марин МАРИНОВ, Божидар ЖИВОВ, Любен ЛАКОВ,
Станчо ЙОРДАНОВ, Красимира ТОНЧЕВА

1. Увод

Поради повишаване на екологичните изисквания и навлизане в промишлеността на нови технологични решения се засилва тенденцията съществуващите отпадъчни продукти да се разглеждат като изходни суровини, приложими в редица индустриални дейности. На базата на отпадъчно стъкло различни производители развиват своите възможности за производство на пеностъклени материали [1, 2] под формата на разнообразни изделия (панели, блокове, пеностъклен чакъл, гранули и др.). Подходящи изходни суровини представляват осигурените чрез разделно събиране стъклени битови отпадъци (предимно стандартни стъклени опаковки и други) или производствен брак от стъklarската промишленост [2]. Въз основа на експериментални данни [3-8] и математически модел [2, 9] са изследвани технологичните фактори, определящи характеристиките на различни видове пеностъклени материали.

Панели от монолитно пеностъкло намират употреба при топло- и звукоизолация на производствени цехове, обществени архитектурни обекти, жилищни сгради и други [2, 10]. Разнообразни изделия получени от пеностъкло са приложими в промишлеността за термична изолация [1] на различни съоръжения и оборудване: резервоари, цистерни, реакционни съдове, тръбопроводи, производствени агрегати и др. Пеностъкленият чакъл

[2] намира употреба при извършване на пътно-строителни дейности и в ландшафтната архитектура.

Фракции пеностъклени гранули с фино зърнеста структура са подходящи пълнители за изготвяне на тънкостенни топлоизолационни замазки и нанасяне на изолационни мазилки на стени от различен тип [2]. Други алтернативни възможности за приложение на разнообразни фракции пеносиликатни гранули [2, 11] представляват получаването на изолационни леки бетони, изграждане на дренажни системи, стабилизиране на почвени слоеве, употреба като насипни изолационни и запълващи материали и т.н. На базата на гранулирано пеностъкло и неорганични свързващи вещества са получени изолационни композиционни материал, приложими при изготвяне на различни профили, изолационни плоскости за облицовка на сгради, панели за изграждане на интериорни стени и други [12, 13].

Цел на настоящата работа е изследване в лабораторни условия на механичните характеристики на експериментални серии пеностъклени гранули, получени от отпадъчно стъкло (стъклени опаковки – бутилки и буркани) и различни пенообразуватели. Резултатите могат да бъдат използвани за оптимизиране на използвания технологичен режим за изготвяне на гранулирано пеностъкло и продукти от него.

2. Експериментална част

За провеждане на предвидените изпитания са изготвени серии експериментални пеностъклени гранули чрез методика от поредица технологични етапи: осигуряване на отпадъчно силикатно стъкло (битови отпадъци), смилане на стъкловидната суровина до прахообразно състояние, подготвяне на шихти от прахообразно стъкло и пенообразуваща добавка (глицерин $C_3H_5(OH)_3$ или калциев карбонат $CaCO_3$), получаване от съставите на изходен суров гранулат, разпенване на изготвения гранулат при термично третиране до $900^\circ C$ (изотермична задръжка 10 min) и сортиране на получените фракции гранули.

При подготовка на суровината и шихтите са използвани лабораторни везни, ахатов хапан, топкова мелница с обем 50 литра, стандартен комплект сита и др. При подготовка и хомогенизация на шихтите течният пенообразувател (глицерин) по-ефективно и равномерно прониква в обема на изходната стъкловидна прахообразна маса в сравнение със съставите с наличие на $CaCO_3$. В изготвените експериментални шихти глицеринът е въведен до 3 %, а $CaCO_3$ до 5 %. Термичното третиране на подготвения изходен гранулат до разпенване на образците е осъществено в програмируема муфелна пещ с наличие на програматор за контрол на скоростта ($5-10^\circ C/min$) на нарастване и понижаване на температурата и времето на използваната изотермична задръжка. Съобразно спецификата на въведените пенообразуватели са разработени режими на термична обработка, подходящи за изготвяне на образци с разпенена клетъчна структура. Прилагането на по-продължителни термични задръжки на разпенване при по-ниски температурни стойности позволява получаване на пенопродукти с експлоатационни показатели сходни с характеристиките на материали, изготвени при по-краткотрайни интервали на разпенване, но при по-високи температури.

Плътността на получените експериментални образци (гранули) е определена по метода на хидростатично теглене чрез хидростатична везна. Поведението на разрушаване на експерименталните образци е изследвано при едноосев натиск на изследваните гранули. При проведените експерименти е използвана модернизирана машина за стандартни изпитвания опън/натиск (фиг. 1) и е приложена методика, подходяща за изследване на сферични стъкловидни тела [14].

3. Резултати и дискусия

Съвременното развитие на стандартните методи за определяне на механични характеристики при изпитвания на опън/натиск изискват използването на дигитални методи за директен запис на диаграмата $\sigma=f(\epsilon)$ – напрежение-деформация. Записът на диаграмата $F=f(\Delta R)$ – натоварване-преместване е регистриран на записващо устройство, работещо на механичен принцип. Модернизацията на регистриращата система на машината е постигната чрез вграждане на два броя линейни, потенциометрични датчици серия LZW1 (на фирма WayCon). За записващата система е използван сигнален преобразовател РМХ-24, (на фирма WayCon), който преобразува потенциометричните сигнали от датчиците в дигитални данни. Получените данни от преобразователя РМХ-24 се обработват от персонален компютър с наличие на специализиран софтуер, който визуализира диаграмите $F=f(\Delta R)$ – натоварване-преместване и $\sigma=f(\epsilon)$ – напрежение-деформация по време на изпитване на опитния образец. Натоварването на образците е осъществено между накрайници с успоредни, плоски повърхнини от закалена, инструментална стомана с твърдост 64HRC (фиг. 1). Изпитвани са образци с диаметри от 8 до 21 mm при скорост на натоварване от 0,2 до 0,8 mm/s и максимален обхват на натоварване 2 kN. Записи на диаграмите $F=f(\Delta R)$ и $\sigma=f(\epsilon)$ от изпитване на натиск на гранули, разпенени с глицерин и гранули, разпенени с участие на CaCO_3 , по разработената методика са представени на фиг. 2 и фиг. 3. Обобщени данни от изследваните физико-механични характеристики на гранули, разпенени с глицерин или CaCO_3 са представени в таблица 1 и таблица 2. Регистрираните стойности на изследваните механични характеристики варират при отделните пробни образци, поради съществуващите микропукнатини и микронеоднородности, формирани при получаване на отделните пеностъклените гранули.



Фиг 1. Машина за изпитване на натиск.

При експерименталните образци, получени чрез въвеждане в състави на пенообразуващ агент глицерин, са установени средна плътност $\rho=0,227 \text{ g/cm}^3$ и стойности за якост на натиск от 0,175 до 0,576 МПа (таб. 1). Пеностъклените гранули се характеризират с наличие на сравнително неравномерни пори и черен цвят.

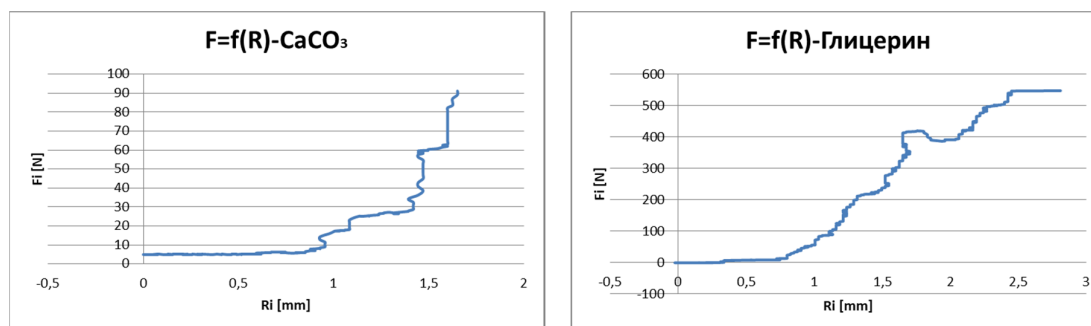
Таб. 1. Експериментални данни от проведените физико-механични изпитания.

Гранули, разпенени с глицерин									
Среден диаметър,	Плътност,	Средна плътност,	Максимално разрушаващо натоварване,					Средна сила на натиск,	Якост на натиск,
d	ρ	ρ_{cp}	Fm					Fm _{cp}	σ
mm	g/cm ³	g/cm ³	N					N	MPa
19,0	0,190	0,227	421,4	686,0	117,6	-	-	408,3	0,576
18,0	0,190		88,2	205,8	135,0	142,1	313,6	176,9	0,278
15,5	0,200		151,9	78,4	98,0	142,1	112,7	116,6	0,247
14,0	0,240		181,3	151,9	98,0	107,8	186,2	145,0	0,377
11,5	0,260		88,2	34,3	130,4	137,2	117,6	101,5	0,391
8,5	0,280		58,0	53,9	37,2	29,4	49,0	45,5	0,175

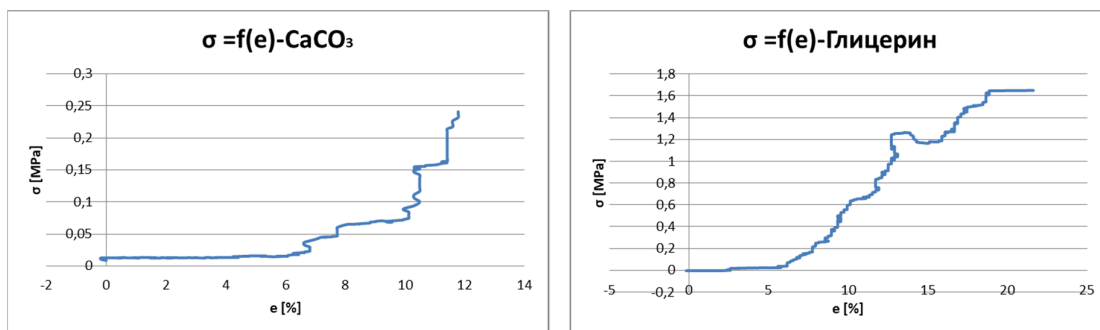
При пробните образци, изготвени с употреба на пенообразувател CaCO₃, са регистрирани средна плътност $\rho=0,460 \text{ g/cm}^3$ и якост на натиск от 0,163 до 0,487 МПа (таб. 2).

Таб. 1. Експериментални данни от проведените физико-механични изпитания.

Гранули, разпенени с CaCO ₃									
Среден диаметър,	Плътност,	Средна плътност,	Максимално разрушаващо натоварване,					Средна сила на натиск,	Якост на натиск,
d	ρ	ρ_{cp}	Fm					Fm _{cp}	σ
mm	g/cm ³	g/cm ³	N					N	MPa
21,0	0,400	0,460	73,5	112,7	98,0	83,3	338,1	141,1	0,163
17,5	0,500		88,2	147,0	117,6	73,5	78,4	100,9	0,168
15,5	0,460		78,4	117,6	127,4	78,4	78,4	96,0	0,204
13,5	0,420		220,5	132,3	39,2	102,9	103,4	119,7	0,335
11,5	0,520		215,6	264,6	88,2	63,7	107,8	126,4	0,487



Фиг.2. Запис на диаграма от изпитване на натиск на разпенени гранули: F_i – Нарастване силата на натиск; R_i – Намалване радиуса на гранулите.



Фиг.3. Запис на диаграма от изпитване на натиск на разпенени гранули: σ – Нарастване на напрежението на натиск; ϵ – Деформация на гранулите.

След съпоставка на експерименталните данни получените при термично третиране на състави със съдържание на пенообразувател глицерин са констатирани по-ниски температурни стойности на разпенване на пробните тела и същевременно намаляване на необходимото време за разпенване. Изготвените пеносиликатни експериментални образци (с разпенващ агент глицерин) притежават по-благоприятни експлоатационни характеристики – по-висока степен на разпенване, по-ниски стойности на плътност и по-високи якостни показатели.

4. Изводи

Получени са експериментални серии пеностъклени гранули от отпадъчни стъклени суровини и въвеждане в съставите на различни пенообразуватели ($C_3H_5(OH)_3$ или $CaCO_3$). Подготвените състави (прахообразно стъкло – пенообразувател) са подложени на гранулиране и термично третиране ($900^\circ C$) до образуване на разпенена клетъчна структура.

Извършени са физико-механични лабораторни изпитвания по методика, приложима за изследване на сферични стъкловидни тела. При пробните образци, изготвени чрез въвеждане в състави на глицерин, са констатирани средна плътност $\rho=0,227 \text{ g/cm}^3$ и стойности за якост на натиск от 0,175 до 0,576 МРа, докато при пеносиликатни гранули, получени с пенообразуващ агент $CaCO_3$, са установени средна плътност $\rho=0,460 \text{ g/cm}^3$ и якост на натиск от 0,163 до 0,487 МРа.

Доказано е, че материалите, изготвени чрез въвеждане в състави на пенообразувател глицерин, притежават по-благоприятни експлоатационни показатели (по-висока степен на разпенване, по-ниски стойности на плътност и по-високи якостни характеристики). Експерименталните резултати, получени при настоящето изследване, са приложими при оптимизиране на използваната технологична методика за изготвяне на пеностъклени гранули и различни продукти с тяхно участие.

Литература

1. Hurley J., "A UK Market Survey for Foam Glass", Glass Research and Development Final Report, WRAP Creating Markets for Recycled Resources, Published by: The Waste and Resources Action Programme, The Old Academy, 21 Horsefair, Banbury, Oxon OX16 0AH, 2003.
2. Toncheva K., Doctoral Dissertation, „Creation and research of a blowing section of a system for obtaining a continuous strip of foam glass“, Specialty: "Technologies, machines and systems of foundry production", code 02.01.18, Sofia, 2013.
3. Tulyaganov D. U., H. R. Fernandes, S. Agathopoulos, J. M. F. Ferreira, "Preparation and Characterization of High Compressive Strength Foams from Sheet Glass", *J. Porous Mater.*, Vol. 13, 2006, pp. 133–139.
4. Attila Y., M. Güden, A. Taşdemirci, "Foam Glass Processing Using a Polishing Glass Powder Residue", *Ceramics International*, Vol. 39, 2013, pp. 5869-5877.
5. Lakov L., K. Toncheva, A. Staneva, T. Simeonova, Z. Ilcheva, "Composition, synthesis and properties of insulation foam glass obtained from packing glass waste", *Journal University of Chemical Technology and Metallurgy* 48 (2), 2013, pp. 125–129.
6. Toncheva K., L. Lakov, N. Gidikova, M. Marinov and A. Staneva, "Glycerin as a Frother in Obtaining Foam Glass", *Journal of Materials Science and Technology*, Vol. 21, No. 3, 2013, pp. 194-206.
7. König J., R. R. Petersen, Y. Yue, "Fabrication of highly insulating foam glass made from CRT panel glass", *Ceram. Int.* 41, 2015, pp. 9793–9800.
8. Marinov M., L. Lakov, K. Toncheva, "Granulated foam glass. Production. Physical and mechanical characteristics", In the Proceedings of the XIII Scientific congress on machines, technologies and materials 2016, 14-17 September, 2016, Varna, Bulgaria, Part II, 2016, pp. 56-58.
9. Toncheva K., L. Lakov, J. Dochev, P. Zlatev, "A variant a mathematical model referring to some areas of an industrial furnace manufacturing foamglass insulation material", *Journal University of Chemical Technology and Metallurgy*, 47 (4), 2012, pp. 459-464.
10. Asdrubali F., F. D'Alessandro, S. Schiavoni, "A review of unconventional sustainable building insulation materials", *Sustainable Materials and Technologies*, Vol. 4, 2015, pp. 1-17.
11. Barovsky N., I. Rostovsky, P. Chobanov, L. Lakov, "Lightweight concretes based on lightweight aggregates produced through thermal treatment of waste glass", In the Proceedings of the International Conference on Civil Engineering Design and Construction (Science and Practice), DCB 2014, 11-13 September 2014, Varna, Bulgaria, pp. 39-45,
12. Lakov L., B. Jivov, M. Aleksandrova, Y. Ivanova, K. Toncheva, „An innovative composite material based on sintered glass foam granules“, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 53, 6, 2018, pp. 1081-1086.
13. Lakov L., B. Jivov, Y. Ivanova, S. Yordanov, M. Marinov, S. Rafailov, "Composite Materials Obtained from Foamed Silicate Products", *International Journal "NDT Days"*, Volume II, Issue 2, Year 2019, pp. 188-194.
14. Shipway P. H., I.M. Hutchings, Fracture of brittle spheres under compression and impact loading. I. Elastic stress distributions, *Philos. Mag. A*, 67, 1993, pp. 1389-1404.