

УДК 666.75

МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ СТЕКЛОКОМПОЗИТІВ СТРАТЕГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Казимиренко Юлія Олексіївна,

доктор технічних наук, доцентка, професорка;

Таранущенко Віталій Вікторович,

студент магістратури

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua

Зростання світового попиту на композиційні матеріали зумовлено необхідністю їх застосування в технологіях проєктування і виготовлення суден, підводних технічних засобів, зокрема трубопровідного транспорту, об'єктів енергетики та інфраструктури, авіа- і ракетобудування тощо. На часі використання легковажних тепло- та звукоізоляційних матеріалів, здатних працювати в умовах іонізуючих випромінювань, підвищених температур, вібрацій, термоциклічних і всебічних гідростатичних навантажень [1]. Для їх виготовлення найкращою сировиною є неорганічні, зокрема скляні мікросфери, виробництво яких поставлено на потік у США, Японії, Німеччині.

Це є замкнені сферичні оболонки, у більшості випадків натрійборсилікатного і натрійборкальційсилікатного складу, технологія виготовлення яких ґрунтується на здатності розчинів Na і K спінюватися при нагріванні з різким збільшенням об'єму і наступній грануляції у воду. Як спінювачі застосовуються карбонати, бікарбонати, сульфіти, органічні кислоти тощо. Під час високотемпературної обробки шихти, мікрочастинки одночасно оплавляються та наповнюються газом (сірчаним ангідридом, воднем, гелієм тощо), вибір якого безпосередньо залежить від призначення мікросфер. Для згладжування мікродефектів мікросфери зазнають поверхневої обробки силановими апретами, що на 10–20 % підвищує їх міцність за всебічного гідростатичного стискання. На відбивній здатності та оптичних властивостях ґрунтуються технології виготовлення радіопрозорих та рентгенозахисних композиційних матеріалів [2]. Через теплоізоляційну здатність ($\lambda \approx 0,022\text{--}0,03 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) скляні мікросфери застосовуються для формування теплозахисних покриттів у ракетній техніці.

На рисунку 1 наведено оптичну мікрофотографію скляних мікросфер натрійборсилікатного складу (фірми «ЗМ Со») з дисперсністю 20–100 мкм і товщиною стінки 1 мкм.

Більшість видів композиційних матеріалів і покриттів за участю скляних

мікросфер одержують за технологіями холодного твердіння з використанням полімерних сполучників. Щільність таких матеріалів знаходиться у діапазоні 450–700 кг/м³, вони характеризуються теплоізоляційною здатністю ($\lambda \approx 0,45\text{--}0,65 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) і можуть бути використані на глибинах до 12000 м, проте через деструкційні процеси та плинність полімерної матриці не спроможні працювати в умовах підвищених температур та теплових ефектів.



Рисунок 1. Скляні мікросфери (темне поле, $\times 200$)

Сучасною альтернативою є композиційні матеріали за авторською назвою «синтактичне піноскло» [1], які одержані спіканням скляних мікросфер натрійборсилікатного складу без сполучників. Їх густина складатиме 300–700 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності наближається до 0,40 Вт/(м·К); у складі комбінованих блоків плавучості вони здатні працювати в умовах всебічного гідростатичного навантаження до 20 МПа. В основу створення радіопоглинаючих композиційних матеріалів і покриттів покладено ефект металізації скляних мікросфер, що створює додатковий шар у структурно неоднорідному середовищі та підвищує їх електро- та теплопровідність. Проте процес металізації є дуже складним та дороговартісним, через технологічні особливості характеризується великим відсотком відбракуваних мікросфер. Альтернативним рішенням є додавання скляних мікросфер до складу сталевих і алюмінієвих електродугових покриттів, що значно підвищило їх рентгенозахисні характеристики [2].

Спеціальні властивості розглянутих склокомпозитів обумовлено особливостями їх структури, а можливість створення композицій із завданими фізико-механічними і експлуатаційними характеристиками вимагатиме розробки комп'ютерних моделей геометрії елементарної комірки. Для цього в роботі застосовано фрактальний підхід до опису структури гетерогенних матеріалів [3], фізичну модель процесів гідростатичного навантаження зачиненопористої комірки матеріалу плавучості [4], фізико-хімічні положення формування

поверхні поділу фаз у гетерогенних неорганічних матеріалах [5], а також результати власних спостережень з вивчення поведінки композитів в реальних умовах експлуатації та досліджень їх мікроструктури [1, 2]. Геометричне моделювання розглянуто як напрямок математичного моделювання з описом геометричних образів у двомірному просторі. Як приклад, на рисунку 2 наведено геометричну модель елементарної комірки метал-скляного покриття (а) і модель розподілу теплової енергії по його товщині (б).

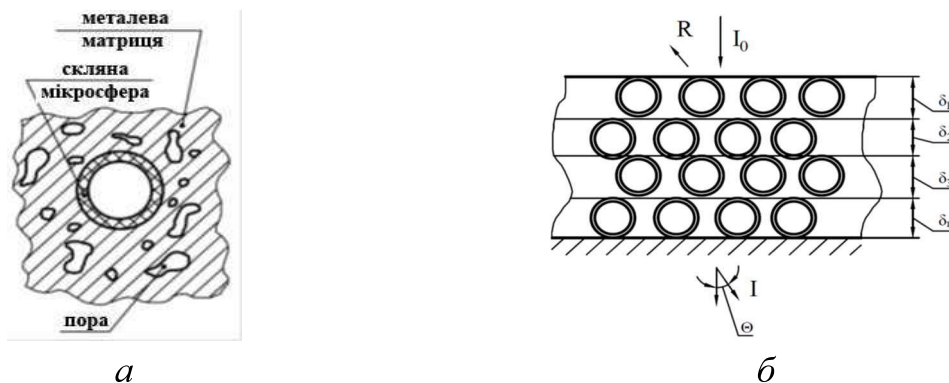


Рисунок 1. Геометрична модель елементарної комірки метал-скляного покриття (а) і розподілу теплової енергії по товщині покриття (б)

Результати подальших досліджень пов'язані з розробкою спеціального програмного середовища для чисельного моделювання з метою прогнозування функціональних властивостей розроблених стеклокompозитів.

Список використаних джерел

1. Kazymyrenko Yu., Solomoniuk N., Drozd O. Glass microspheres thermo-deformation sintering processes in the technologies of obtaining materials for underwater technical equipment. Polish maritime research. 2023. Vol. 30 Pp. 174–180.
2. Kazymyrenko, Y. Patterns and Mechanisms of interaction of Radioactive Cargo Radiation with Metal-Glass Layer of Watercrafts Structure. The advanced science journal. 2014. Iss. 12. P. 45–48.
3. Большаков В. И., Волчук В. М., Котов М. А., Фісуненко Д. П. Аспекти застосування фрактального моделювання. Металознавство та термічна обробка металів. 2022. № 2 (97). С. 7–18.
4. Коробейнікова В. О., Соломонюк Н. С. Теплопровідність блоків плавучості підвищеної теплостійкості на базі піноскла. Збірник наукових праць НУК. 2018. № 3-4 (474). С. 13–18.
5. Корнілович Б. Ю., Пилипенко І. В., Ковальчук І. А. Фізико-хімія сучасних неорганічних матеріалів. Ел. мережеве навч. вид. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. 134 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42130/1/Neorh_material.pdf [Назва з екрана]