

## ЗВ'ЯЗОК МІЖ ПОРИСТИСТІЮ ТА ТВЕРДІСТЮ СПІНЕНОГО ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ РІЗНОЇ ЩІЛЬНОСТІ

<sup>1</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка»

### Анотація.

*Проаналізовано особливості пороутворення у структурі спіненого полівінілхлориду різної щільності та встановлено закономірності розподілу пор по товщині їх листів. За результатами оцінювання площі пор на одиничній площі зображення в оптичному мікроскопі виявлено, що чим менша щільність спіненого полівінілхлориду, тим більша різниця за площею пор у перерізі їх листів. Заміряли твердість за Шором на поверхні листів і по товщині їх перерізу та встановили її кореляцію зі щільністю. Хоча у центрі перерізу листів твердість практично не залежала від щільності матеріалу. Отримані результати важливі для вдосконалення і технології виготовлення листів зі спіненого полівінілхлориду, його структури та, відповідно, механічних властивостей.*

**Ключові слова:** спінений полівінілхлорид, пороутворення, твердість, щільність.

Спінений полівінілхлорид (СПВХ) відносять до перспективних полімерів завдяки його низькій вазі, достатній міцності, звукоізоляційним властивостям та вологостійкості [1–3]. Важливою перевагою СПВХ є також невисока займистість. Його застосовують у автомобільній, електротехнічній, меблевій галузях, тощо. У будівництві СПВХ можливо використовувати для виготовлення опалубки для заливання монолітних бетонних конструкцій, однак існує обмеження через його недостатню міцність за ударних навантажень. Для ефективного застосування листів у цій галузі необхідна оптимізація як структури матеріалу, так і технології виготовлення.

Проаналізували листи СПВХ щільністю 0,5; 0,6 та 0,65 г/см<sup>3</sup> і виявили неоднорідність розподілу пор по їх товщині. Зауважили також дещо неправильну форму пор, що свідчило про різний опір їх розширенню в різних напрямках під час спінювання полівінілхлориду. Біля поверхонь листів виявили безпориштий шар полімеру. Від поверхні листів до центру їх перерізу кількість і розміри пор збільшувалися. Зокрема, у листах щільністю 0,5 г/см<sup>3</sup> на віддалі 0,5 та 2 мм від поверхні листа розміри пор в середньому становили 60 та 105 мкм, відповідно, а в центрі перерізу листів 200 мкм. З наближенням до центра перерізу листа розподіл пор ставав щораз рівномірнішим. З урахуванням морфології пор та їх розподілу по товщині листів визначили відсоток одиничної площі зображення, що припадав на пори. Встановили, що у листа щільністю 0,5 г/см<sup>3</sup> відсоток пор був вищим ніж у 0,6 та 0,65 г/см<sup>3</sup>. Також слід відзначити, що у листів щільністю 0,6 та 0,65 г/см<sup>3</sup> морфологічна невідповідність за площею пор у взаємно перпендикулярних перерізах ставала менш очевидною. Отже, що вищою була щільність СПВХ, то меншими були відмінності за пороутворенням в поздовжньому і поперечному перерізах його листів. Припускали, що таку різницю визначає рідкотекучість маси та температура охолодження поверхневих шарів СПВХ під час формування листів. Вважали, що під час виготовлення переохолодження зовнішніх шарів листа щільністю 0,5 г/см<sup>3</sup> було найсильнішим, що й призвело до їх швидкого затвердіння з утворенням дрібних пор в околі бічних поверхонь. У СПВХ щільністю 0,6 г/см<sup>3</sup> виявили меншу кількість пор у поперечному перерізі листа, але вони були дещо більшими за розмірами. З урахуванням загальних уявлень про вплив пористості на властивості спінених матеріалів такий розподіл і морфологія пор мали б забезпечити матеріалу вищу і міцність, і стійкість за дії механічних навантажень, хоча при цьому частково і втрачалися би їх переваги за вагою і теплопровідністю. Адже значна частина перерізу листа припадала на затверділий, а не на порожнистий полівінілхлорид. Така морфологія пор і їх розподіл у

поперечному перерізі листів СПВХ поліпшуватиме також стійкість елементів за дії напружень стиску і матеріал витримуватиме значно вищі механічні навантаження, не втрачаючи форми і не руйнуючись, виявлятиме меншу схильність до деформування та розривів. Через вищий відсоток твердого полівінілхлориду у складі матеріалу зростатиме його стійкість до ударів і зношування, а отже, знизиться його схильність до механічних пошкоджень – подряпин, вм'ятин чи тріщин. Адже щільніший СПВХ менш інтенсивно деформується за дії високих навантажень стиском або розтягом, а отже, стає надійнішим матеріалом для інженерних та будівельних застосувань.

Оскільки розмір та морфологія пор у СПВХ змінюється по товщині листів, то це впливає на його твердість. Закономірності зміни твердості листів по товщині стінки виявилися практично ідентичними. У поверхневих шарах листів щільністю 0,5, 0,6 та 0,65 г/см<sup>3</sup> твердість становила 55, 71 та 78 одиниць за Шором, відповідно. В центрі їх перерізів вона була нижчою, і залежно від щільності листів змінювалася від 20 до 32. Отже, твердість СПВХ на поверхні листів корелює з їх щільністю, що обумовлено зменшенням частки пористого полімеру у їх приповерхневих шарах з підвищенням частки твердого полімеру. Така закономірність зміни твердості була оберненою до розподілу пор у перерізі листів, чим підтвердили, що саме перетинки між суміжними порами визначатимуть його механічні властивості. Це важливо враховувати, обираючи матеріал для елементів збірних конструкцій, щоб забезпечити їм необхідну стійкість. Отримані результати засвідчили важливість контролю процесу пороутворення в об'ємі спінених полімерів, щоб забезпечити їм необхідні функціональні властивості.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mathews G. PVC. Production, properties and uses. 2024. 400 p. <https://doi.org/10.1201/9781003575863>.
2. Maddah H. A. Polyvinyl Chloride (PVC): Production, Properties and Uses. American J. of Sci. Res. 2016. 2. P. 143–151. <https://doi.org/10.54560/jracr.v12i3.335>
3. Zhou Y., Wang D. Mechanical and thermal properties of foamed PVC composite materials. Polymer Composites. 2011. 32, 3. P. 437–443. <https://doi.org/10.1002/pc.21071>.

**Галушак Андрій Володимирович** – аспірант відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, andrii.galushchak@gmail.com;

**Крецьовська Галина Василівна** – доктор технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, krechkovskahalyna@gmail.com;

**Діана-Галина Володимирівна Шабатура** – студентка бакалаврату, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, diana-halyna.shabatura.mz.2024@lpnu.ua.

## RELATIONSHIP BETWEEN POROSITY AND HARDNESS OF FOAMED POLYVINYL CHLORIDE OF VARIOUS DENSITIES

### Abstract.

*The features of pore formation in the structure of foamed polyvinyl chloride of different densities were analysed, and the patterns of pore distribution by the thickness of their sheets were established. According to the results of pore area assessment on a unit area of the image in an optical microscope, it was found that the lower the density of foamed polyvinyl chloride, the greater the difference in area between the pores in the cross section of their sheets. Based on measurements of Shore hardness on the surface of the sheets and by their thickness, its correlation with density was established. It is also established that in the center of the sheet cross-section, the hardness was practically independent of the material density. The obtained results are important for improving both the technology of manufacturing sheets from foamed polyvinyl chloride and its structure and, accordingly, mechanical properties.*

**Keywords:** foamed polyvinyl chloride, pore formation, hardness, density.

**Andriy Halushchak** – PhD student, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, andrii.galushchak@gmail.com;

**Halyna Krechkovska** – D.Sc., Senior Research Fellow, Leading researcher of the Department of Diagnostics of Materials Corrosion-Hydrogen Degradation, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, krechkovskahalyna@gmail.com;

**Diana-Halyna Shabatura**, Bachelor student, Lviv Polytechnic National University, Lviv, diana-halyna.shabatura.mz.2024@lpnu.ua.