

Римар Т.Е., Сечко Р.В.

ТЕРМОПЛАСТИЧНІ ЕЛАСТОМЕРНІ ПІНИ НА ОСНОВІ SEBS КАУЧУКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛІМЕРНИХ МІКРОСФЕР, ЩО ТЕРМОРОЗШИРЮЮТЬСЯ, ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА УЩІЛЬНЮВАЧІВ

Останнім часом, активувались дослідження з отримання на основі термопластичних еластомерів спінених матеріалів. Такі полімерні піни мають широкий спектр застосування від пакування до аерокосмічної промисловості. Це обумовлено їх малою вагою, високою теплоізоляцією, високою удароміцністю та демпфуючими властивостями. Піни з термопластичних еластомерів отримують з застосуванням як хімічних, так і фізичних спінюючих агентів. При використанні хімічного спінюючого агента піни мають нерегулярну структуру з відкритими осередками, тоді як при виробництві з використанням інкапсульованого фізичного спінюючого агента, утворюється регулярна структура із закритими осередками. Інкапсульовані фізичні спінюючі агенти являють собою терморозширювані мікрокапсули. Вони складаються з полімерної оболонки, яка інкапсулює насичені вуглеводні. При нагріванні, оболонка розм'якшується, а внутрішній тиск зростає, що призводить до роздування мікрокапсули. В роботі проводилось дослідження властивостей та структури спінених, з використанням полімерних мікросфер, що терморозширюються, стирол-етилен-бутилен-стирольних термопластичних еластомерів, призначених для виготовлення ущільнювачів та килимів салону автомобілів. В роботі показано, що легкотекуча полімерна матриця мікросфери підвищує здатність до розширення, забезпечуючи низьку щільність навіть за низьких рівнів додавання. Тобто спостерігається зниження щільності матеріалу при невеликій кількості добавки мікросфер, оскільки вони збільшуються в обсязі до 60 разів, при цьому структура ядро-оболонка не руйнується, за рахунок чого досягається ефект спінювання. Після охолодження мікросфер полімерна оболонка все ще залишається твердою у стані розширення. Використання мікросфер дозволяє досягати дуже важливого фактора в процесі спінювання - контролю і в той же час сприяє зниженню ваги та покращенню герметизації у виробництві автомобільних ущільнювачів та килимків. Розширюючий агент мікросфер забезпечує такі переваги, як легкість, теплоізоляція, покращення текстури та поглинання ударів, що робить їх цінними в галузях, що потребують покращених властивостей матеріалів.

Ключові слова: термопластичні еластомери, спінені матеріали, мікросфери, інкапсульовані фізичні спінюючі агенти, властивості, структура.

Актуальність дослідження. Термопластичні еластомери (ТПЕ) набули величезної популярності за останні кілька десятиліть через їх універсальні спеціалізовані властивості та широку сферу застосування [1-4]. ТПЕ є багатофазною системою з об'єднаними характеристиками як еластомерів, так і термопластів. Вони проявляють як експлуатаційні властивості вулканізованої та армованої гуми, так і технологічні властивості термопластичного полімеру. ТПЕ можна класифікувати за різними типами в залежності від їх компонентів, тобто: стирольні блок-сополімери, термопластичний поліуретан, термопластичний еластомер на основі полієфірефіру, термопластичний еластомер на основі поліаміду [5-7] і так далі. Фази переважно некристалічні, і несумісність мономерів дозволяє їм збиратися у фазово-розділені мікродомени. Вони зазвичай показують сферичну, циліндричну/гіроїдну та пластинчасту морфологію. Морфологію можна легко змінити залежно від складу та молекулярної маси [8]. В ТПЕ на основі блок-сополімерів кожна фаза хімічно пов'язана з іншою фазою ковалентним зв'язком. Тверда фаза складається з склоподібних, сегрегованих термопластиків, які забезпечують міцність і механічну цілісність, роблячи продукт, який можна термічно обробляти [9-10]. З іншого боку, еластомерна фаза забезпечує еластичність, гнучкість і ударну в'язкість матеріалів [11]. Більше того, кожна фаза показує свою певну температуру склування (T_g) та температуру плавлення кристалів (T_m). Робоча температура лежить між T_g еластомерної фази і T_g або T_m твердої фази. Завдяки своїм особливим властивостям ТПЕ поступово замінюють звичайні каучуки на ринках еластомерів. Особливе місце займають лінійні триблочні кополімери (типу АВА) з різними фізичними властивостями, робочими температурами, гнучкістю та областями застосування, це: блок-сополімери стирол/бутадієн/стирол (SBS), стирол/ізопрен/стирол (SIS), стирол/етилен-бутилен/стирол (SEBS), стирол/ізобутилен/стирол (SIBS), стирол/етилен-пропілен/стирол (SEPS) і т.д. [7].

Постановка проблеми. Останнім часом, активувались дослідження з отримання на основі даних ТПЕ спінених матеріалів. Полімерні піни мають широкий спектр застосування від пакування до аерокосмічної промисловості. Це обумовлено їх малою вагою, високою теплоізоляцією, високою удароміцністю та демпфуючими властивостями. Застосування піни залежить від її морфології та структури осередків. Морфологія осередку залежить

від ступеня кристалічності, міцності розплаву та в'язкості полімеру. На ринку доступні різні термопластичні та еластомірні піни, проте все ще існує проблема розробки термопластичної еластомірної піни. Це пов'язано з гібридною природою матеріалу, тобто наявністю як термопластичних, так і гумових сегментів [12].

Теоретичний аналіз дослідження. Перспективним є впровадження каучукоподібних матеріалів в термопласти. Так в роботах [13-14] були досліджені матеріали зі спіненого стирол-бутадієнового каучуку (SBR) у поєднанні з етиленвінілацетатом (EVA), який вводиться в матрицю спіненого SBR на основі процесу поперемінного зшивання для створення каркасної опорної структури. Отримані спінені SBR/EVA з нижчою усадкою та чудовою розмірною стабільністю. В роботі [15] були досліджені поліпропіленові (PP) нанокомпозити, що містять різні кількості блок-сополімеру стиролу-етилену-бутилену-стиролу (SEBS), із застосуванням як спінюючого агенту надкритичного азоту. Було досліджено вплив вмісту SEBS на структуру осередків та міцність композитів SEBS/PP. Після додавання SEBS випробування показали, що розмір зерна композитів зменшився, а їхня міцність збільшилася. В роботі [16] розроблено спінену маткову суміш термопластичного еластомеру на основі блок-сополімеру стиролу та бутадієну і блок-сополімеру етилену та октилену, із застосуванням поєднання мікросферичного спінюючого агента та хімічного спінюючого агента. Отримана піна має дрібні та однорідні осередки та регульовану щільність.

Тобто, ТПЕ піни отримують з застосуванням як хімічних, так і фізичних спінюючих агентів. Порівняння таких процесів проводилось в роботі [17]. Досліджувався процес спінювання термопластичного еластомеру з використанням хімічного спінюючого агента та інкапсульованого фізичного спінюючого агента на морфологічний розвиток у матриці сополімеру етилену та октену. Дослідження показали, що при використанні хімічного спінюючого агента зразки демонстрували нерегулярну структуру з відкритими осередками, тоді як при виробництві з використанням інкапсульованого фізичного спінюючого агента, утворювалась регулярна структура із закритими осередками.

Інкапсульовані фізичні спінюючі агенти являють собою терморозширювані мікрокапсули. Вони складаються з полімерної оболонки, яка інкапсулює насичені вуглеводні. При нагріванні, оболонка розм'якшується, а внутрішній тиск зростає, що призводить до роздування мікрокапсули. У порівнянні з іншими технологіями спінювання, створені мікроструктури не включають явища нуклеації клітин і дифузії газу [17].

Такий мікросферичний піноутворювач, що розширюється, має структуру ядро-оболонка з термопластичною акриловою полімерною оболонкою і алкановим газовим ядром, що утворює сферичні пластиківі частинки. Його діаметр зазвичай становить 10-30 мікрон. Товщина полімерної оболонки становить 2-15 мікрон, з гарною еластичністю та може витримувати значний тиск. При нагріванні полімерна оболонка розм'якшується, а газ всередині оболонки розширюється, змушуючи вуглеводень всередині оболонки розширюватися в 20-50 разів від свого початкового обсягу за короткий час. Зовнішня оболонка спіненої мікросфери не розривається і залишається герметичною сферою. Мікросфери мають високу пружність і легко стискаються. Після скидання тиску мікросфери повертаються до свого початкового об'єму.

На відміну від інших типів піноутворювачів, піноутворювач з мікросферами, що розширюються, не має пір, що дозволяє уникнути таких проблем, як нерівні пори, розрив пір і погана пружність. Повна сферична структура забезпечує добрі механічні характеристики. Діапазон температур спінювання становить від 70°C до 200°C. Термопластична оболонка має виняткову стійкість до тиску і може витримувати поверхневий тиск 300 кг/см². Хороша пружність дозволяє їй витримувати багаторазові цикли підвищення та зниження тиску без розриву [18].

Таким чином, завдяки поєднанню властивостей мікросфер та розуміння властивостей ТПЕ можна створювати матеріали з низькою щільністю, високими амортизаційними та фізико-механічними властивостями, такими як різні види ущільнювачів, демпфуючі прокладки та інші амортизуючі матеріали. Крім того, полімерні мікросфери нетоксичні і не забруднюють довкілля, що робить їх ідеальними для використання як екологічно чистих агентів, що спінують, у високотехнологічних продуктах.

Отже, **метою даної роботи** є дослідження властивостей та структури спінених, з використанням полімерних мікросфер, що терморозширюються, SEBS термопластичних еластомерів, призначених для виготовлення ущільнювачів та килимів салону автомобілів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Стирол-етилен-бутилен-стирольний (SEBS) термопластичний еластомер одержують шляхом гідратування стирол-бутадієн-стиролу (SBS). Після гідрогенізації сополімер складається з полістиролу (S) - поліетилену (E) - полібутилену (B) - полістиролу (S), звідси і скорочення SEBS. На відміну від SBS каучуку він менш сприйнятливий до температури та окисного впливу УФ-променів через ненасичені подвійні зв'язки. SEBS добре поєднується з поліпропіленом (PP) та поліетиленом (PE), завдяки чому його використовують для підвищення міцності PP/PE або змішують з даними полімерами для отримання термопластичної гуми [19]. Чудова атмосферостійкість SEBS робить його придатним для використання у зовнішніх продуктах, таких як ущільнювачі, килимки салону автомобілів тощо.

У складі рецептури, призначеної для виробництва даних виробів містяться: як полімерна основа - SEBS каучук, поліпропілен – для підвищення жорсткості, як пластифікатор - олія парафінова, мінеральний наповнювач - кальцит, суперконцентрат пігменту.

Один тільки SEBS з його більш низьким вмістом стиролу не може бути фізично спіненим, зберігаючи при цьому розмір стабільної форми через його більш високу газопроникність та більш низьку жорсткість. Тому використовували SEBS в поєднанні з PP.

На підставі літературного огляду для спінування композиції було обрано Мікросфери Exrapcel, з високою температурою початку розширення 160 °C (максимальна температура розширення 230°C), що обумовлено умовами переробки композицій на основі SEBS каучуку, початковий діаметр таких мікросфер становить 20-30 мкм. Це єдиний тип мікросфер з температурою розширення понад 160°C. Вони зменшують щільність продукту, тим самим знижуючи його вагу і вартість.

Мікросфери використовувалися в різних співвідношеннях, яке змінювалось від 1 до 2,5%. З використанням різної кількості мікросфер було отримано різну щільність та структуру спінених матеріалів, які наведені на рис. 1 і 3.

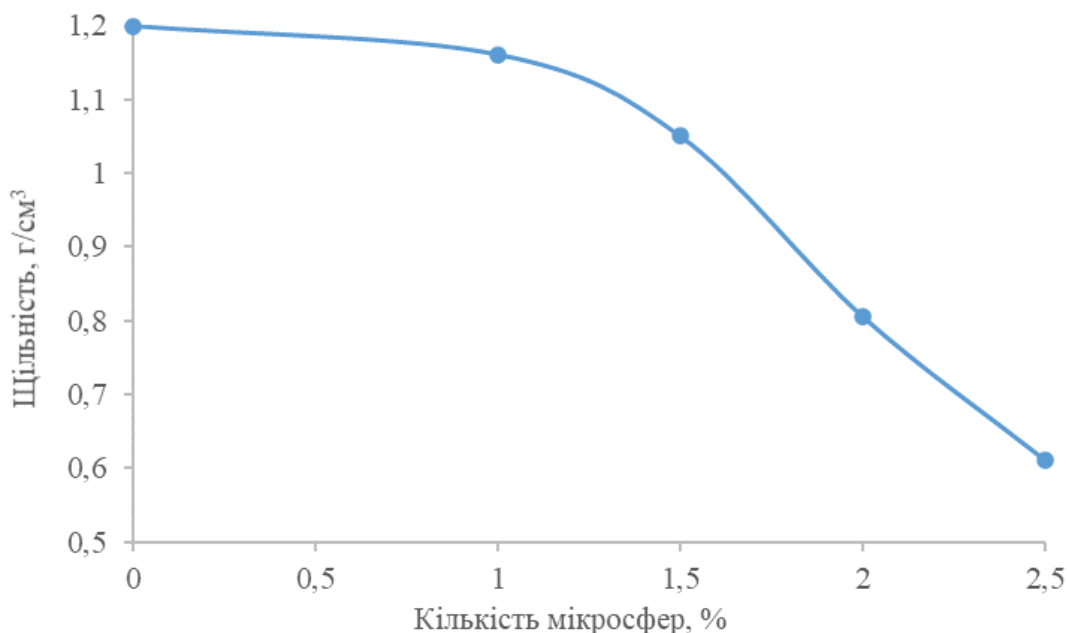


Рисунок - 1. Залежність щільності термоеластопласту на основі SEBS каучуку від кількості мікросфер

З наведеної залежності видно, що при збільшенні кількості мікросфер спостерігається зниження щільності матеріалу з 1,161 до 0,61 г/см³ при введенні від 1 до 2,5 % мікросфер. Початкова щільність такої композиції складала 1,2 г/см³. Легкотекуча матриця підвищує здатність до розширення, забезпечуючи низьку щільність навіть за низьких рівнів додавання. Тобто спостерігається зниження щільності матеріалу при невеликій кількості добавки мікросфер, оскільки вони збільшуються в обсязі до 60 разів, при цьому структура ядро-оболонка не руйнується, за рахунок чого досягається ефект спінування. Після охолодження мікросфер полімерна оболонка все ще залишається твердою у стані розширення. Таким чином, об'єм зберігається в стані нагріву, тому щільність мікросфер зменшується, в той час як зовнішня оболонка має хорошу еластичність, щоб витримувати більший тиск, тому піноутворювач, виготовлений з мікросфер, що розширюються, не зламається після розширення при нагріванні.

Схематичне зображення процесу спінування мікросфери наведено на рис.2 [20].

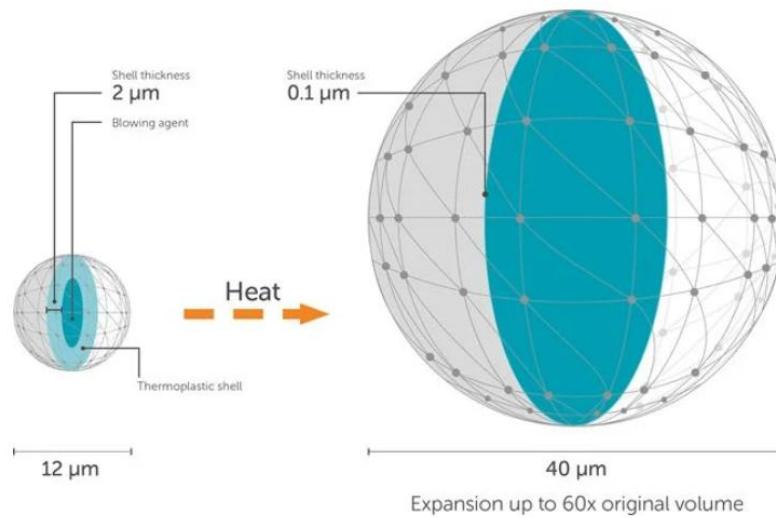
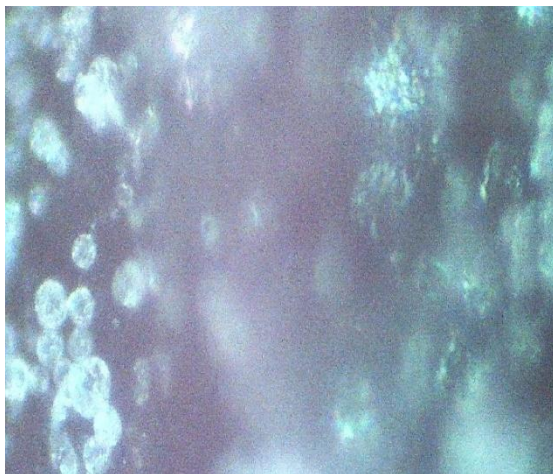
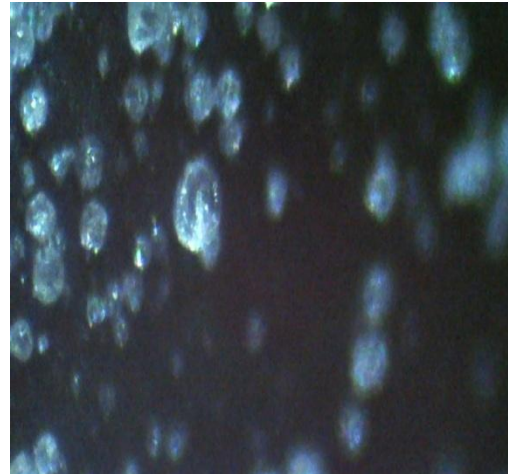


Рисунок 2 - Схематичне зображення процесу спінювання мікросфери

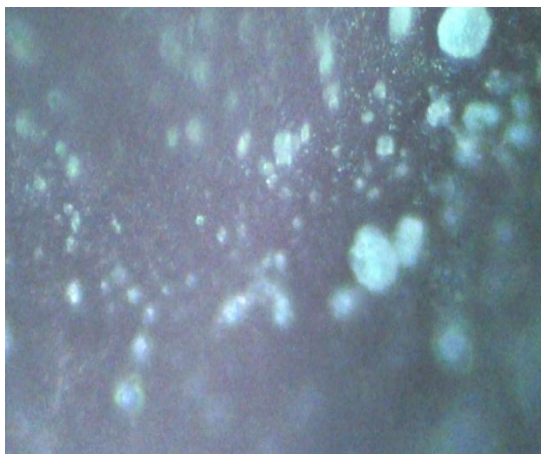
Фотографії мікроструктури зразків наведені на рис. 3



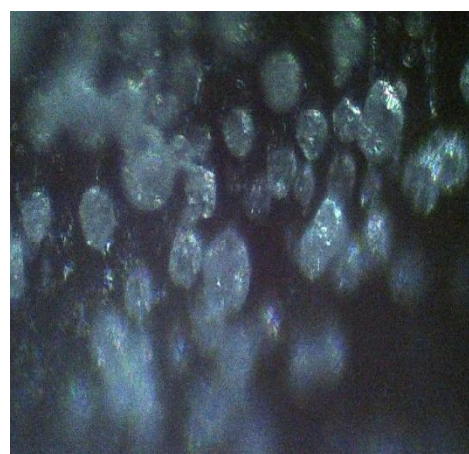
а) мікросфери у кількості 1%



б) мікросфери у кількості 1,5%



в) мікросфери у кількості 2%



г) мікросфери у кількості 2,5%

Рисунок 3 - Фотографії мікроструктури зразків спіених SEBS каучуків (мікроскоп BIO-MICRO, збільшення $\times 60$)

На фотографіях спостерігається закритопориста структура осередків, обумовлена висококонтрольованим піноутворенням при використанні мікросфер. Така структура забезпечує захист від проникнення води у виробу, а створений внутрішній тиск у мікросфері дозволяє запобігти їх усадці.

З точки зору розподілу та розміру спіненних осередків, найкращі зразки були отримані з використанням 1-1,5% мікросфер. Тут спостерігалися осередки однакового діаметру, які регулярно розподілені в матриці, але щільність таких зразків занадто висока. При 2 % вмісті добавки спостерігалася більш розвинена пориста структура, але діаметри осередків були різними. Велика кількість спінюючого агента, понад 2 %, значно зменшує щільність виробів, таким чином можна отримати надлегкі продукти, але виникають проблеми, пов'язані з технологією отримання виробів, які потребують більш складного та вартісного устаткування.

Мікрофотографії показали, що середній розмір пор пін зменшується при збільшенні кількості мікросфер. Але слід зауважити, що при невеликому вмісті мікросфер утворюється піна з максимальною кількістю неспінених ділянок, тоді як за певної межі дозування утворюється піна з більш розвинутою ячеїстою структурою та дуже малою кількістю неспінених ділянок.

Таким чином оптимальною кількістю введених мікросфер для виготовлення автомобільних ущільнювачів та килимків є 2 %. За такого дозування спостерігається щільність порядку $0,8 \text{ г/см}^3$ та досить високі фізико-механічні властивості, що задовольняє вимогам до даних виробів.

Висновки. Використання мікросфер Exrapcel дозволяє досягати дуже важливого фактора в процесі спінювання - контролю і в той же час сприяє зниженню ваги та покращенню герметизації у виробництві автомобільних ущільнювачів та килимків. Розширюючий агент мікросфер забезпечує такі переваги, як легкість, теплоізоляція, покращення текстури та поглинання ударів, що робить їх цінними в галузях, що потребують покращених властивостей матеріалів. Таким чином, даний спосіб спінювання, що ґрунтується на введенні газонаповнених осередків у матеріал, є ефективним способом задоволення вимог щодо поліпшення демпфуючих здатностей і зменшення щільності при відносно низькій твердості.

Література

1. R. J. Spontak, N. P. Patel. Thermoplastic elastomers: fundamentals and applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2000. V. 5. P. 333-340. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(00\)00070-4](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(00)00070-4).
2. S. V. Ranade, R. E. Richard, M. N. Helmus. Styrenic block copolymers for biomaterial and drug delivery applications. *Acta Biomaterialia*, 2005. V. 1. P. 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2004.09.004>.
3. Y. A. Elabd, M. A. Hickner. Block Copolymers for Fuel Cells. *Macromolecules*, 2010. V. 44. P. 1-11. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ma101247c>.
4. B. F. Gonçalves, P. Costa, J. Oliveira, S. Ribeiro, V. Correia, G. Botelho, S. Lanceros-Mendez. Green solvent approach for printable large deformation thermoplastic elastomer based piezoresistive sensors and their suitability for biomedical applications. *Journal of Polymer Science, B: Polymer Physics*, 2016. V. 54. P. 2092-2103. <https://doi.org/10.1002/polb.24118>
5. K. Naskar. Thermoplastic Elastomers Based on PP/EPDM Blends by Dynamic Vulcanization. *Rubber Chemistry and Technology*, 2007. V. 80 (3). P. 504-519. <https://doi.org/10.5254/1.3548176>.
6. G. Holden, *Handbook of Elastomers* (Eds: A. K. Bhowmik, H. L. Stephens), CRC Press, New York, USA 2000 Ch.11.
7. D. Whelan, *Plastic Materials* (Ed: M. Gilbert), Oxford, United Kingdom, Elsevier 2017 Ch.24.
8. S. Hölzer, M. Gan, K. Schneider, K. Knoll, R. Weidisch. Deformation mechanisms in lamellar S-S/B-S triblock copolymers. *European Polymer Journal*, 2013. V. 49. P. 261-269. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.06.001>.
9. M. Das, S. Pal, K. Naskar. Exploring various metal-ligand coordination bond formation in elastomers: Mechanical performance and self-healing behavior. *Express Polymer Letters*, 2020. V. 14. P. 860-880. DOI:10.3144/expresspolymlett.2020.71.
10. M. Das, K. Naskar. Development, characterization and applications of a unique self-healable elastomer: Exploring a facile metal-ligand interaction. *Polymer*, 2021. V. 237. P. 124373. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.124373>.
11. W. Wang, W. Lu, A. Goodwin, H. Wang, P. Yin, N. G. Kang, K. Hong, J. W. Mays. Recent advances in thermoplastic elastomers from living polymerizations: Macromolecular architectures and supramolecular chemistry. *Progress in Polymer Science*, 2019. V. 95. P. 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.04.002>.
12. Pratiksha Awasthi, Aiswarya S, and Shib Shankar Banerjee. Thermoplastic Elastomeric Foams: Challenges, Opportunities and New Approaches, *American Chemical Society, Polymeric Foams: Fundamentals and Types of Foams*, 2023. V. 1. Ch. 5. P. 91-119. DOI: 10.1021/bk-2023-1439.ch005.

13. Zhanyou Ji, Jianzhong Ma, Xin Qin, Yingke Wu. Improved dimensional stability of styrene butadiene rubber/ethylene vinyl acetate composite foams with skeleton support structure based on alternately cross-linking process. *Journal of Applied Polymer Science*, 2018. V. 157. DOI:10.1016/j.polymer.2018.10.028.
14. Zhanyou Ji, Jianzhong Ma, Xiaojing Guo, Yingke Wu, Zhonglei Ma, Jianbin Qin, Liang Shao. Enhanced dimensional stability and mechanical properties of SBR/EVA foam by a scaffold structure constructed in the bubble cavity-wall. *Composites Science and Technology*, 2021. V. 213. P. 108936, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108936>.
15. Wei Guo, Zicheng Zheng, Wei Li, Hao Li, Fankun Zeng, Huajie Mao. The Cellular Structure and Toughness of Hydrogenated Styrene-Butadiene Block Copolymer Reinforced Polypropylene Foams. *Polymers*, 2023. V. 15(6). P. 1503. V. 136(8), P. 47358, DOI:10.1002/app.47358.
16. M. Rioua, G. Ausias, Y. Grohens, T. Gaudry, J.-M. Veillé, J. Férec. Thermoplastic foaming with thermo-expandable microcapsules: Mathematical modeling and numerical simulation for extrusion process. *Chemical Engineering Science*, 2020. V. 227. P. 115852. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115852>.
17. The Differences Between TPE Elastomers SBS and SEBS. URL: <https://www.lcycic.com/en/product/elastomers/article/the-differences-between-tpe-elastomers-sbs-and-sebs>.
18. When it comes to blowing agents, a controlled foam structure makes your production process go a lot smoother. URL: <https://www.nouryon.com/products/expancel-microspheres/blowing-agents/>

References

1. J. Spontak, N. P. Patel. Thermoplastic elastomers: fundamentals and applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2000. V. 5. P. 333-340. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(00\)00070-4](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(00)00070-4).
2. S. V. Ranade, R. E. Richard, M. N. Helmus. Styrenic block copolymers for biomaterial and drug delivery applications. *Acta Biomaterialia*, 2005. V. 1. P. 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2004.09.004>.
3. Y. A. Elabd, M. A. Hickner. Block Copolymers for Fuel Cells. *Macromolecules*, 2010. V. 44. P. 1-11. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ma101247c>.
4. B. F. Gonçalves, P. Costa, J. Oliveira, S. Ribeiro, V. Correia, G. Botelho, S. Lanceros-Mendez. Green solvent approach for printable large deformation thermoplastic elastomer based piezoresistive sensors and their suitability for biomedical applications. *Journal of Polymer Science, B: Polymer Physics*, 2016. V. 54. P. 2092-2103. <https://doi.org/10.1002/polb.24118>
5. K. Naskar. Thermoplastic Elastomers Based on PP/EPDM Blends by Dynamic Vulcanization. *Rubber Chemistry and Technology*, 2007. V. 80 (3). P. 504–519. <https://doi.org/10.5254/1.3548176>.
6. G. Holden, *Handbook of Elastomers* (Eds: A. K. Bhowmik, H. L. Stephens), CRC Press, New York, USA 2000 Ch.11.
7. D. Whelan, *Plastic Materials* (Ed: M. Gilbert), Oxford, United Kingdom, Elsevier 2017 Ch.24.
8. S. Hölzer, M. Gan, K. Schneider, K. Knoll, R. Weidisch. Deformation mechanisms in lamellar S–S/B–S triblock copolymers. *European Polymer Journal*, 2013. V. 49. P. 261-269. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.06.001>.
9. M. Das, S. Pal, K. Naskar. Exploring various metal-ligand coordination bond formation in elastomers: Mechanical performance and self-healing behavior. *Express Polymer Letters*, 2020. V. 14. P. 860-880. DOI:10.3144/expresspolymlett.2020.71.
10. M. Das, K. Naskar. Development, characterization and applications of a unique self-healable elastomer: Exploring a facile metal-ligand interaction. *Polymer*, 2021. V. 237. P. 124373. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.124373>.
11. W. Wang, W. Lu, A. Goodwin, H. Wang, P. Yin, N. G. Kang, K. Hong, J. W. Mays. Recent advances in thermoplastic elastomers from living polymerizations: Macromolecular architectures and supramolecular chemistry. *Progress in Polymer Science*, 2019. V. 95. P. 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.04.002>.
12. Pratiksha Awasthi, Aiswarya S, and Shib Shankar Banerjee. Thermoplastic Elastomeric Foams: Challenges, Opportunities and New Approaches, American Chemical Society, *Polymeric Foams: Fundamentals and Types of Foams*, 2023. V. 1. Ch. 5. R. 91-119. DOI: 10.1021/bk-2023-1439.ch005.
13. Zhanyou Ji, Jianzhong Ma, Xin Qin, Yingke Wu. Improved dimensional stability of styrene butadiene rubber/ethylene vinyl acetate composite foams with skeleton support structure based on alternately cross-linking process. *Journal of Applied Polymer Science*, 2018. V. 157. DOI:10.1016/j.polymer.2018.10.028.
14. Zhanyou Ji, Jianzhong Ma, Xiaojing Guo, Yingke Wu, Zhonglei Ma, Jianbin Qin, Liang Shao. Enhanced dimensional stability and mechanical properties of SBR/EVA foam by a scaffold structure constructed in the bubble cavity-wall. *Composites Science and Technology*, 2021. V. 213. R. 108936, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108936>.
15. Wei Guo, Zicheng Zheng, Wei Li, Hao Li, Fankun Zeng, Huajie Mao. The Cellular Structure and Toughness of Hydrogenated Styrene-Butadiene Block Copolymer Reinforced Polypropylene Foams. *Polymers*, 2023. V. 15(6). P. 1503. V. 136(8), P. 47358, DOI:10.1002/app.47358.

16. M. Rioua, G. Ausias, Y. Grohens, T. Gaudry, J.-M. Veillé, J. Férec. Thermoplastic foaming with thermo-expandable microcapsules: Mathematical modeling and numerical simulation for extrusion process. Chemical Engineering Science, 2020. V. 227. P. 115852. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115852>.

17. The Differences Between TPE Elastomers SBS and SEBS. URL: <https://www.lcycic.com/en/product/elastomers/article/the-differences-between-tpe-elastomers-sbs-and-sebs>.

18. When it comes to blowing agents, a controlled foam structure makes your production process go a lot smoother. URL: <https://www.nouryon.com/products/expancel-microspheres/blowing-agents/>

Recently, research has been activated on obtaining foamed materials based on thermoplastic elastomers. Such polymer foams have a wide range of applications from packaging to the aerospace industry. This is due to their low weight, high thermal insulation, high impact resistance and damping properties. Foams from thermoplastic elastomers are obtained using both chemical and physical foaming agents. When using a chemical foaming agent, the foams have an irregular structure with open cells, whereas when produced using an encapsulated physical foaming agent, a regular structure with closed cells is formed. Encapsulated physical foaming agents are heat-expandable microcapsules. They consist of a polymer shell encapsulating saturated hydrocarbons. When heated, the shell softens and the internal pressure increases, which leads to the microcapsule swelling. The paper studies the properties and structure of foamed, using thermally expanding polymer microspheres, styrene-ethylene-butylene-styrene thermoplastic elastomers intended for the manufacture of seals and carpets for car interiors. The paper shows that the easily flowing polymer matrix of the microspheres increases the expansion capacity, providing low density even at low addition levels. That is, a decrease in the density of the material is observed with a small amount of microsphere additives, since they increase in volume up to 60 times, while the core-shell structure is not destroyed, due to which the foaming effect is achieved. After cooling the microspheres, the polymer shell still remains rigid in the expanded state. The use of microspheres allows achieving a very important factor in the foaming process - control and at the same time helps to reduce weight and improve sealing in the production of automotive seals and mats. The expanding agent of microspheres provides advantages such as lightness, thermal insulation, improved texture and shock absorption, making them valuable in industries requiring improved material properties.

Keywords: thermoplastic elastomers, foams, microspheres, encapsulated physical blowing agents, properties, structure.

Римар Т. Е. – професор кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;

Сечко Р. В. - аспірант кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.