

УДК: 54.02/.08

DOI: 10.20535/iwccmm2025326594

ОСОБЛИВОСТІ ЗМОЧУВАННЯ ВИСОКОГІДРОФОБНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ДІАТОМІТУ

Артем НАУМЧИК,

Студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського,

naumchyk.artem@lil.kpi.ua

Олексій МИРОНЮК,

Д.т.н., доцент

КПІ ім. Ігоря Сікорського,

o.myronyuk@kpi.ua

Анотація: У роботі досліджено особливості формування супергідрофобних покриттів на основі діатоміту в акриловій полімерній матриці. Доказано, що завдяки мікро- та наноструктурованій пористій формі діатоміт ефективно створює текстуру, необхідну для досягнення стану Касі, коли крапля рідини частково спирається на повітряні кишені. Визначено, що покриття з вмістом діатоміту від 60 до 85 мас. % забезпечують контактні кути $>150^\circ$ та зберігають високу частку поверхні краплі в контакті з повітрям ($f_2 \approx 0,77-0,81$). Це вказує на стабільні супергідрофобні властивості в широкому концентраційному діапазоні, що дозволяє оптимізувати не лише змочуваність, а й механічні характеристики покриттів. Отримані результати підтверджують ефективність використання діатоміту для створення доступних та функціональних супергідрофобних матеріалів.

Ключові слова: полімер, частинки, діатоміт, змочування, гідрофобність

Аномалія змочування рідинами, тобто значна різниця між кутами змочування на гладкій та текстурованій поверхні, пояснюється виникненням станів Венцля і Касі (стану Касі-Бакстера). В останньому стані крапля рідини не проникає в мікро- або наноструктурні елементи поверхні, а спирається лише на її виступи, між якими залишаються повітряні кишені. Така комбінація твердої поверхні та повітря значно зменшує площу контакту рідини з матеріалом і сприяє збільшенню кута змочування. Саме завдяки цьому ефекту поверхня набуває супергідрофобної властивості — практично не змочується водою, краплі води легко скочуються з неї, забираючи частинки пилу чи бруду [1]. Стан Касі є ключовим у розробці функціональних покриттів зі здатністю до відштовхування рідини.

Математично, стан Касі описується відповідним рівнянням (1)

$$\cos\theta_{\text{app}} = f_1 \cos\theta_1 + f_2 \cos\theta_2 \quad (1)$$

де $\cos\theta_{\text{app}}$ – кут змочування текстурованої поверхні, град; f_1 – доля поверхні краплі, яка знаходиться в контакті з виступами поверхні твердого тіла; $\cos\theta_1$ – власний кут змочування поверхні твердого тіла; f_2 – доля поверхні краплі, яка знаходиться в контакті з кишнями повітря; $\cos\theta_2$ – кут змочування повітря водою (180°).

Для створення водовідштовхувальних поверхонь можуть використовуватися або упорядковані, тобто одержані методом лазерної абляції, або стохастичні текстури – на основі мікро- і наночастинок. В обох випадках поверхня цих текстур повинна бути гідрофобізована для досягнення вищих значень кута змочування. Перевагою використання стохастичних текстур є їх висока масштабованість, що зумовлює можливість використання даної технології в широкому переліку галузей – від покриття конструкційних матеріалів до конденсаційних систем збирання води.

Діатоміт — це природний кременистий матеріал, що складається з мікроскопічних решток діатомових водоростей [2]. Завдяки своїй унікальній пористій структурі та високій питомій поверхні, він є перспективним матеріалом для створення супергідрофобних покриттів. Основною функцією діатоміту в таких покриттях є формування мікро- та нанорельєфу. Крім того, діатоміт — дешевий, екологічно чистий та легко модифікується гідрофобними агентами [3], що дозволяє створювати ефективні й доступні покриття для захисту від вологи, забруднень або корозії з перспективою застосування в різних галузях — від будівництва до біомедицини.

При розробці структури композиційного матеріалу важливо витримати баланс між високими водовідштовхувальними властивостями (які досягаються при максимальній реалізації рель'єфу частинок за невеликих кількостей полімерної матриці) та механічними властивостями (які покращуються при

підвищенні вмісту матриці). Відповідно, дисперсний матеріал тим більше буде придатний для використання в таких системах чим ширше буде концентраційне вікно збереження супегідрофобних властивостей.

Метою даної роботи є визначення зміни долі міжфазного контакту рідин з поверхнею діатоміт-акрилових систем в залежності від співвідношення компонентів.

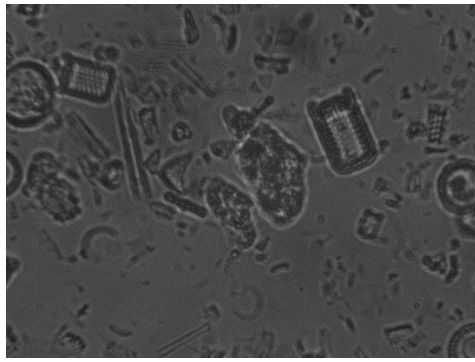
Для досягнення даної мети була досліджена морфологія частинок діатоміту, створені композиції на його основі і акриловій матриці, визначені параметри змочування і розраховані відносні долі поверхні крапель, які знаходяться в контакті з повітряними кишеньками.

Для встановлення параметру f_2 з рівняння Касі використовувався підхід, описаний в роботі [4]. Основою підходу є графічне вирішення рівняння (2), вихідні дані для розрахунків - експериментальні значення кутів змочування плоскої поверхні полімеру (θ_1) та стохастичних структур (θ_{app}). Роль пробних рідин виконували водно-ізопропанольні суміші з фіксованим поверхневим натягом.

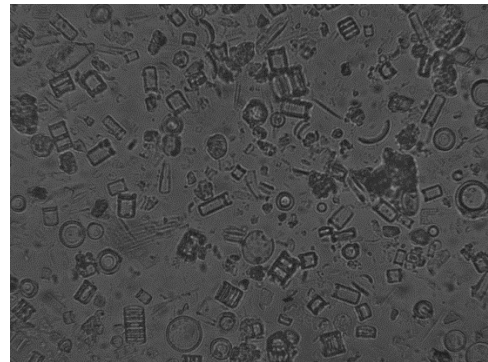
$$\cos\theta_{app}=f_1\cos\theta_1-f_2 \quad (2)$$

Діатоміт, використаний в роботі - PERLITECH® D (вир. Imerys), акриловий полімер – Neocryl B 880 (DSM NeoResins), в якості розчинника-носія використано ксилол (ХЧ). Поверхню діатоміту було гідрофобізовано за допомогою поліметилгідридсилоксану Xiameter 1107. Покриття виготовлялися нанесенням сумішей аплікаторами на предметне скло. Отвір аплікатора складав 200 мкм (в 10 разів вище середнього розміру частинок діатоміту).

Частинки діатоміту (Рис. 1) мають форму циліндрів з субрельєфом на поверхні. Вони є пористими, що забезпечує проникнення зв'язуючого полімеру всередину та утримання частинок на субстраті.



а



б

Рис. 1 Частинки діатоміту (оптична мікроскопія): а – збільшення 1000 разів; б – збільшення 400 разів.

Покриття на основі діатоміту досягають стану супергідрофобності на проміжку вмісту наповнювача від 60 мас. % (і, вірогідно, нижче) до 85 мас. %. При перевищенні цієї межі кут змочування знижується.

Таблиця 1 – Змочування поверхонь водно-ізопропанольними рідинами

Вміст діатоміту в покритті, мас. %	Кут змочування водою, град.	Доля поверхні в контакті з карманами повітря f_2 за рівн. (2)
0	85	0
60	152	0,81
70	154	0,80
80	153	0,80
85	150	0,77
90	149	0,75
95	145	0,72

Така ж сама тенденція спостерігається і у випадку параметра f_2 : він поступово спадає при підвищенні вмісту наповнювача. Обидва цих факти вказують на зниження якості водовідштовхування при перевищенні певної (оптимальної) концентрації діатоміту в покритті. Це явище може бути пояснене зміною розподілу частинок на площі покриття, відповідно зниженням густини розташування виступів, яка за концентрації близьких до 60 мас. % досягає найбільш ефективного значення при цьому розмірі краплі. Подібне спостерігалось в роботі [5] по відношенню до кристалів кальциту різних розмірів.

Звертає на себе увагу і той факт, що достатньо високе водовідштовхування спостерігається в широкому діапазоні концентрацій – 25 мас. %, що дає змогу варіювати, в тому числі, механічні властивості, довготривалу стабільність в агресивних середовищах, тощо.

ВИСНОВОК

Показано, що властивості змочування подвійних систем стиролакриловий полімер-діатоміт зберігаються на рівні супергідрофобних в діапазоні концентрацій від 60 до 85 мас. %. При цьому доля поверхні краплі, яка знаходиться в контакті з повітрям складає 0,77-0,81. Це вказує на придатність використання таких систем для розробки супергідрофобних поверхонь різного призначення.

Список літератури:

1. Shigrekar, M., & Amdoskar, V. (2024b). A review on recent progress and techniques used for fabricating superhydrophobic coatings derived from biobased materials. *RSC Advances*, 14(44), 32668–32699. <https://doi.org/10.1039/d4ra04767b>
2. Hunegnaw, Y., & Getaneh, W. (2024). Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of volcano-sedimentary hosted Lake Abiyata diatomite in central main Ethiopian Rift. *Heliyon*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36132>
3. Kucuk, F., Sismanoglu, S., Kanbur, Y., & Tayfun, U. (2020). Effect of silane-modification of diatomite on its composites with thermoplastic polyurethane. *Materials Chemistry and Physics*, 256, 123683. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123683>
4. Myronyuk, O., Vanagas, E., Rodin, A. M., & Wesolowski, M. (2024). Estimation of the Structure of Hydrophobic Surfaces Using the Cassie–Baxter Equation. *Materials*, 17(17), 4322. <https://doi.org/10.3390/ma17174322>
5. Myronyuk, O., Baklan, D., & Novoseltsev, A. (2021). Evaluation of the surface energy of solids using two-component mixtures of test liquids. *Herald Of Khmelnytskyi National University*, 297(3), 81–86. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2021-297-3-81-86>

References:

1. Shigrekar, M., & Amdoskar, V. (2024b). A review on recent progress and techniques used for fabricating superhydrophobic coatings derived from biobased materials. *RSC Advances*, 14(44), 32668–32699. <https://doi.org/10.1039/d4ra04767b>
2. Hunegnaw, Y., & Getaneh, W. (2024). Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of volcano-sedimentary hosted Lake Abiyata diatomite in central main Ethiopian Rift. *Heliyon*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36132>
3. Kucuk, F., Sismanoglu, S., Kanbur, Y., & Tayfun, U. (2020). Effect of silane-modification of diatomite on its composites with thermoplastic polyurethane. *Materials Chemistry and Physics*, 256, 123683. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123683>

4. Myronyuk, O., Vanagas, E., Rodin, A. M., & Wesolowski, M. (2024). Estimation of the Structure of Hydrophobic Surfaces Using the Cassie–Baxter Equation. *Materials*, 17(17), 4322. <https://doi.org/10.3390/ma17174322>
5. Myronyuk, O., Baklan, D., & Novoseltsev, A. (2021). Evaluation of the surface energy of solids using two-component mixtures of test liquids. *Herald Of Khmelnytskyi National University*, 297(3), 81–86. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2021-297-3-81-86>

WETTING FEATURES OF HIGHLY HYDROPHOBIC COATINGS BASED ON DIATOMITE

Artem NAUMCHYK

Srudent,

Oleksiy MYRONYUK

Doctor of Technical Sciences,

Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute

Abstract: *The paper investigates the features of the formation of superhydrophobic coatings based on diatomite in an acrylic polymer matrix. It has been shown that due to its micro- and nanostructured porous form, diatomite effectively creates the texture necessary to achieve the Cassi state, when a liquid drop partially rests on air pockets. It was determined that coatings with diatomite content from 60 to 85 wt. % provide contact angles $>150^\circ$ and retain a high proportion of the surface of the droplet in contact with air ($f_2 \approx 0.77-0.81$). This indicates stable superhydrophobic properties in a wide concentration range, which allows to optimize not only the wettability but also the mechanical characteristics of the coatings. The obtained results confirm the effectiveness of using diatomite for the creation of affordable and functional superhydrophobic materials.*

Keywords: *polymer, particles, diatomite, wetting, hydrophobicity*