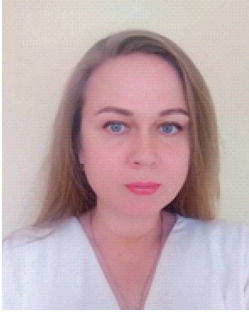




Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2023-5>

УДК 624.04; 538.9



**ОЛЕКСІЄНКО О. Б.**

Канд. техн. наук, в.о. завідувача відділу будівельної фізики та енергоефективності, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, тел. +38 (066) 93-84-096, e-mail: mb-elena@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5329-2217



**ВЕРГУН Л. Ю.**

Кандидат фіз.-мат. наук, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії «Фізика рідин, полімерів та фазових переходів в них» фізичного факультету КНУ ім. Тараса Шевченка, м. Київ, Україна, тел. +38 (093) 044-23-30, e-mail: LienaVergun@univ.net.ua, ORCID 0009-0005-6086-6548

## ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ ДІЙНОЇ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ НА ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ НАНЕСЕННЯ ГЕРМЕТИЗУЮЧИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

### АНОТАЦІЯ

Розглядається питання щодо оцінки якості зчеплення між герметиками та твердими будівельними матеріалами. Зазначається, що якість зчеплення між герметиком та твердою поверхнею залежить від структури зони контакту, яка утворюється в процесі тверднення. Зазначається також, що одним із важливих компонентів такої зони є структурні новоутворення з переважним вмістом Si (кремнієвмісні складові). Останні можуть бути причиною зчеплення домішкових молекул, які знижують ступінь адгезійної міцності. Під час взаємодії домішкових молекул як з твердою поверхнею, так із шаром герметика в процесі тверднення може відбуватися розпорядкування зони контакту. Під навантаженнями утворені розпорядкування змінюють механізми зчеплення між адгезивом і субстратом і, як наслідок, можуть бути причиною руйнування. Традиційним методом, на основі ДСТУ Б В.2.7-133:2007 «Матеріали герметизуючі полімерні отвердіваючі однокомпонентні. Методи випробування» було проведено визначення адгезійної міцності між герметиком та бетоном та визначено її величину. Для оцінки впливу кремнієвмісних структур на величину адгезійної

міцності запропоновано фізичну модель та показано вплив руйнівного навантаження на поверхневі області зони контакту. Для визначення імовірності утворення областей розпорядкувань в процесі затвердіння запропоновано визначати величину «дійсної адгезійної міцності», яка б враховувала ступінь утворення кремнієвмісних структур між твердою поверхнею та герметиком.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** герметики (герметизуючий матеріал), адгезійна міцність, кремнієвмісні складові, зчеплення, тверда поверхня.

**EFFECT OF ACTUAL ADHESIVE STRENGTH ON DETERMINATION OF APPLICATION CONDITIONS FOR SEALING POLYMER MATERIALS**

### ABSTRACT

The authors herein consider the issue of evaluating the quality of adhesion between sealants and solid building materials. The authors specify that the quality of adhesion between the sealant and the solid surface depends on the structure of the contact area, which is formed during the curing process. The authors also indicate that one of the important components of the



contact area is structural neoplasms with a predominant content of Si (silicon-containing components). The latter can cause impurity molecules to adhere, which reduces the degree of adhesive strength. During the interaction of impurity molecules with both the solid surface and the sealant layer, the contact area can be disordered during the curing process. When loaded, the resulting disorders change the adhesion process between the adhesive and the substrate and, as a result, can cause destruction. Based on the traditional method specified by DSTU B V.2.7-133:2007 "Single-Component Sealing Polymer Curing Materials. Test Methods", the adhesive strength between the sealant and concrete and its values were determined. To assess the effect of silicon-containing structures on the value of adhesive strength, a physical model is proposed and the effect of destructive load on the surface of the contact area is demonstrated. To determine the probability of the formation of disorder areas during the curing process, the authors propose that the value of the "actual adhesive strength" should be determined so that the degree of formation of silicon-containing structures between the solid surface and the sealant is taken into account.

**KEYWORDS:** sealants (sealing material), adhesive strength, silicon-containing components, bonding, solid surface.

## ВСТУП

Відповідно до роботи [1] одним із критеріїв характеристики герметизуючих матеріалів є адгезійна міцність між адгезивом (герметиком або клейовим шаром) та субстратом (твердою підкладкою – підкладками). Як відомо [2], адгезійна міцність визначає можливість зчеплення адгезиву і субстрату під різними режимами навантаження. Проведення випробувань щодо якості зчеплення герметизуючих матеріалів зі зразками твердих будівельних матеріалів (бетону або фібробетону) полягає у визначенні стійкості герметеків до деформацій та встановленні впливу умов їх нанесення на поверхні зразків на стійкість до серії знакозмінних циклів рівних за значеннями навантажень і змін температури [1].

Якість зчеплення між герметиком та поверхнею залежить від взаємодії між субстратом та адгезивом в процесі виникнення зони контакту. Під час такої взаємодії відбувається утворення структур, які під час навантажень змінюють міцність в цій зоні і, як наслідок, можуть бути причиною руйнування [3]. Зазначені взаємодії є причиною появи різноманітних дефектів, які спричиняють проникнення води, молекул кисню. Залежно від ступеня та глибини проникнення у структуру матеріалу останній може утворювати сукупність окремих шарів, які відрізняються між собою певними параметрами, в тому числі і адгезійною міцністю [4]. Відомо, що основним із складових будівельних

матеріалів є пісок, який містить кремнієвмісні компоненти, в тому числі діоксид кремнію  $\text{SiO}_2$  [5]. На поверхні твердих речовин, що містять згадані кремнієвмісні компоненти, при контакті з полімерними матеріалами відбуваються перебудови, що супроводжуються розривом кількох містків Si-O-Si з подальшим зв'язуванням з полімерними ланцюгами [6].

Зважаючи на вищевикладене, метою даної статті є визначення величини адгезійної міцності, яка б характеризувала максимальну здатність до зчеплення між герметиком та поверхнею, без врахування можливих шарів з наявністю домішкових молекул.

## МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Традиційним методом на основі [1] експериментально визначено адгезійну міцність між прямокутними зразками бетону та полімерним герметиком.

Пробу герметика було нанесено тонким шаром на поверхні двох пластинок з бетону, які виготовлені з цементу марки 400, піску і води у співвідношенні 1:3:0,45, за розмірами: довжина  $(50 \pm 2)$  мм, ширина  $(50 \pm 2)$  мм, висота  $(30 \pm 2)$  мм; які потім було з'єднано між собою. Тверднення підготовленого зразка відбувалося упродовж 7 діб.

Загальний вигляд випробуваних зразків показано на рис. 1.

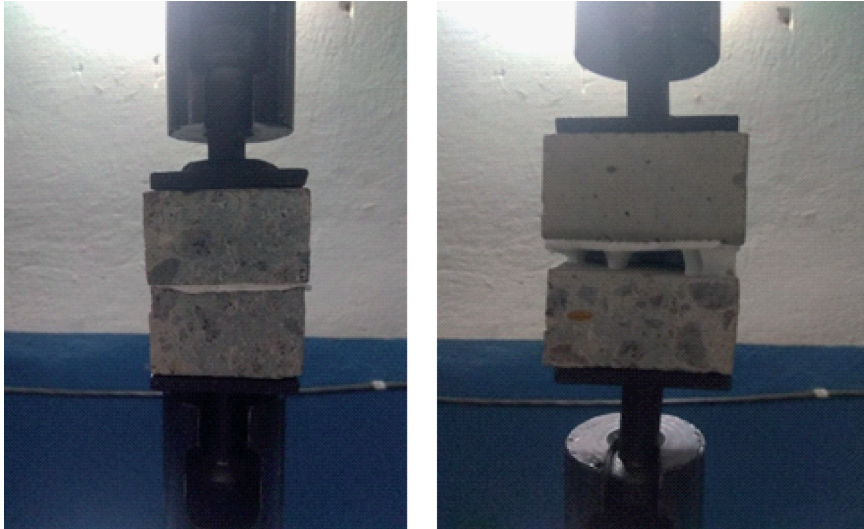
На рис.2. зображено загальний вигляд зразків під час випробування.

На рис.3 наведено зовнішній вигляд зразків після випробування.

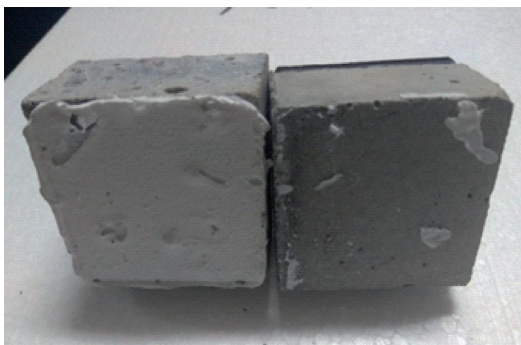
Дослідження адгезійної міцності провадилося також, за експериментальною методикою наведеною в [7]. В даному методі за фізичну модель, що моделює адгезійну міцність між субстратом (бетоном) та адгезивом (затверділий герметик) для визначення виключно участі кремнієвмісних структур в процесі з'єднання, використовувались скляні пластини з нанесеною полімерною композицією. Полімерна клейова композиція складалася із двох компонентів — основи та твердника. Основою був полімер, синтезова-



**Рисунок 1** – Загальний вигляд випробувальних зразків



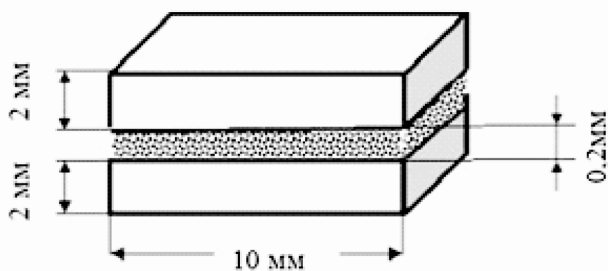
**Рисунок 2** – Загальний вигляд зразків під час випробування



**Рисунок 3** – Адгезійний розрив дослідного зразка після випробування

ний з полідіетиленглікольадипінату (ММ 800) та гексаметилендіізоціанату при співвідношенні 1:2. Тверднення клейової композиції проводили триметилолпропаном (ТМП) при 60°C протягом 8–10 годин з утворенням нерозчинних зшитих продуктів без виділення будь-яких летючих речовин [7].

Зразки являли собою прямокутні скляні пластини з нанесенням між цими пластинами шару

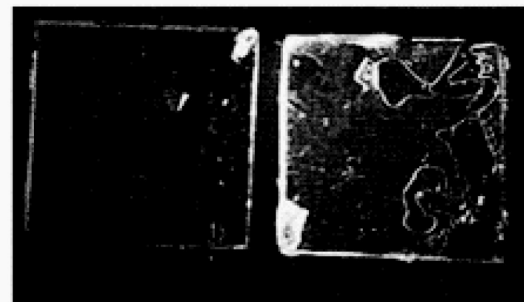


**Рисунок 4** – Параметри досліджуваного зразка

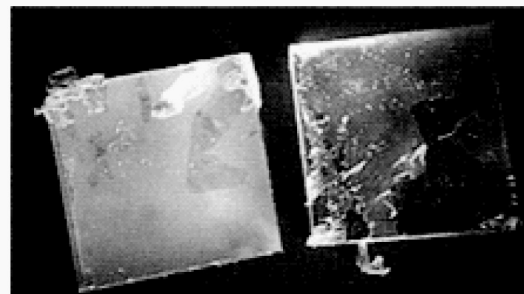
полімерної суміші. Параметри досліджуваного зразка наведені на рисунку 4. Однією із особливостей проведеного дослідження було визначення адгезійної міцності скляних пластин з гладкою та шорсткою поверхнею. На рис.5 наведено зовнішній вигляд дослідних зразків після руйнування.

В таблиці 1 наведено результати випробувань щодо адгезійної міцності між бетоном та герметиком, а також, для порівняння, результати роботи [7].

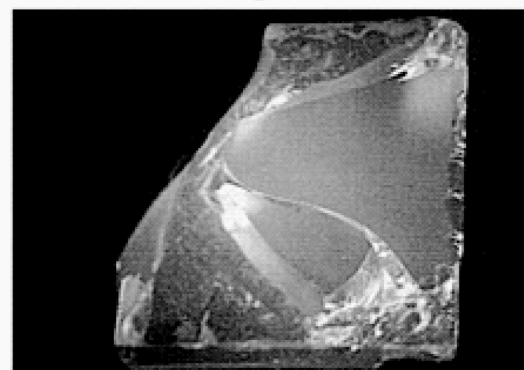
Як видно з наведеної



*a*



*б*



*в*

**Рисунок 5** – Зовнішній вигляд дослідних зразків після руйнування [7] ( а – зразок, що складався з скляних пластин з низьким ступенем шорсткості, б – зразок, що складався з пластин із низьким і високим ступенем шорсткості, в – зразок, що складався із скляних пластин із високим ступенем шорсткості).



Таблиця 1 - Експериментальні дані щодо адгезійної міцності полімерних сумішей із твердими підкладками: бетону та скла

Адгезійна міцність між бетоном та полімерним герметиком	Зсувна (адгезійна) міцність між скляними пластинами із низьким ступенем шорсткості та полімерною композицією	Зсувна (адгезійна) міцність між скляними пластинами із низьким та високим ступенем шорсткості та полімерним клеєм	Зсувна (адгезійна) міцність між скляними пластинами із високим ступенем шорсткості та полімерним клеєм
0,692 МПа±0,01	2,3МПа±0,2	3,5МПа±0,3	3,2МПа±0,3

поверхніма пропонується визначити величину дійсної адгезійної міцності шляхом створення шорсткості на твердій поверхні. Ця величина не враховує наявності кремнієвмісних поверхневих шарів і при порівнянні із адгезійною міцністю між необробленими поверхнями і герметиком може надати інформацію щодо розподілу «інертних» (неконтактуючих) ділянок твердої поверхні. Наявність таких ділянок в подальшому може суттєво впливати на експлуатаційні характеристики будівельних матеріалів.

таблиці, при наявності шорсткості на скляних пластинах зсувна адгезійна міцність значно вище порівняно із скляними пластинами із низьким ступенем шорсткості. Крім того, наявність двох пластин із високою шорсткістю не впливає на значення адгезійної міцності. Ця величина є однаковою в межах похибки, як для зразків із однією шорсткою пластиною, так і для зразків з двома шорсткими пластинами. Наявність шорсткості на обох пластинах, як це видно із рис. 5, в, приводить до повного руйнування зразка. Таким чином дійсною адгезійною міцністю між скляним зразком та полімерною композицією є величина 2,9 МПа (3,2МПа-0,3), оскільки це значення не враховує поверхневих кремнієвмісних шарів (або плівки SiO). Як видно з таблиці 1, наявність кремнієвмісного поверхневого шару зменшує величину адгезійної міцності в 1,3 рази.

Неврахування цих обставин при підборі герметиків може вплинути і на експлуатаційні характеристики будівельних матеріалів, які контактують із герметиком. Саме тому для визначення величини оксидних плівок на поверхні матеріалу слід проводити випробування як із твердими поверхнями без попередньої обробки, так і випробування із створенням шорсткості на поверхні випробувального зразка.

## ВИСНОВКИ

Для перешкодження зношенню будівельних конструкцій в зоні контакту герметика з твердими

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ Б В.2.7-133:2007 Матеріали герметизуючі полімерні отвердівуючі одноконтентні. Методи випробування.
2. Tomáš Kalina, František Sedláček (2019) Design and Determination of Strength of Adhesive Bonded Joints. Manufacturing Technology. Vol. 19, No. 3, 409-413.
3. Vergun L.Yu., Zabashta Yu.F., Todosiychuk T.T, and other (2014) Evaluation of protective coating and inert surfaces adhesion. Functional Materials 21, No1, 64-68.
4. Булавін Л.А., Забашта Ю.Ф., Бровко О.О., Вергун Л.Ю. та ін.(2016) Вплив магнітного поля на розподіл домішкових молекул у структурі оптично-прозорих полімерних плівок. Полімерний журнал. 38№3, 205-210.
5. Flores-Vivian Ismael, Pradoto Rani G.K, Moini Mohamadrezza, et all. (2017). The effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticles derived from hydrothermal solutions on the performance of portland cement based materials. Frontiers of Structural and Civil Engineering 11(42) DOI: 10.1007/s11709-017-0438-2
6. Haukka S., Kytökivi A., Lakomaa E.-L., Lehtovirta U., Lindblad M., Lujala V., and Suntola T., Studies in Surface Science and Catalysis, edited by B. Delmon and J.T. Yates -Elsevier Science B.V., Amsterdam, 1995, Vol. 91, p. 957.
7. Булавін Л.А., Забашта Ю.Ф., Тодосійчук Т.Т. та ін. (2010). Метод визначення зсувної



адгезійної міцності захисних полімерних покриттів. Технологічні системи №2, 38-41.

#### REFERENCES

1. DSTU B.V2.7-133:2007. (2007). Single-Component Sealing Polymer Curing Materials. Test Methods
2. Kalina, T., & Sedláček, F. (2019). Design and determination of strength of adhesive bonded joints. *Manufacturing Technology*, 19(3), 409-413.
3. Vergun, L. Yu., Zabashta, Yu. F., Todosiychuk, T. T., & others. (2014). Evaluation of protective coating and inert surfaces adhesion. *Functional Materials*, 21(1), 64-68.
4. Bulavin L.A., Zabashta Yu.F., Brovko O.O., Vergun L.Yu., and others. (2016). Influence of magnetic field on distribution of impurity molecules in the structure of optically transparent polymer films. *Polymer Journal*, 38(3), 205-210.
5. Flores-Vivian, I., Pradoto, R. G. K., Moini, M., et al. (2017). The effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticles derived from hydrothermal solutions on the performance of Portland cement-based materials. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 11(4), DOI: 10.1007/s11709-017-0438-2.
6. Haukka, S., Kytökivi, A., Lakomaa, E.-L., Lehtovirta, U., Lindblad, M., Lujala, V., & Suntola, T. (1995). *Studies in Surface Science and Catalysis*, edited by B. Delmon and J.T. Yates -Elsevier Science B.V., Amsterdam, 1995, Vol. 91, p. 957.
7. Bulavin, L.A., Zabashta, Y.F., Todosiychuk, T.T., & others. (2010). Method for determining the shear adhesive strength of protective polymer coatings. *Technological systems*, 2, 38-41.

Стаття надійшла до редакції 26.02.2023 року