

АРМОВАНІ КАМ'ЯНІ ВИРОБИ ДЛЯ ОЗДОБЛЕННЯ ФАСАДІВ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовано актуальність проблем розробки нових типів будівельних виробів на основі природних матеріалів. Представлено узагальнені характеристики порід кам'яних матеріалів і відмічено перспективні напрямки використання їх для виготовлення оздоблювальних покриттів будівель. Визначено перспективні напрямки технічного вирішення проблеми підвищення фізико-механічних характеристик кам'яних оздоблювальних виробів. Висвітлено методику розробки інженерно-технічних заходів стосовно покращення накосників механічної стійкості виробів виготовлених з кам'яних матеріалів до вигинів і розтягу.

Ключові слова: будівництво, кам'яні матеріали, огорожувальні конструкції, армовані вироби.

Abstract

The relevance of the problems of developing new types of construction products based on natural materials is substantiated. Generalized characteristics of stone materials are presented and promising directions of their use for the production of decorative coatings of buildings are noted. Prospective directions for the technical solution of the problem of improving the physical and mechanical characteristics of stone decorative products have been identified. The methods of development of engineering and technical measures regarding the improvement of the mechanical resistance of products made of stone materials to bending and stretching are highlighted

Keywords: construction, stone materials, fence structures, reinforced products

Серед різноманіття будівельних виробів, які використовуються для оздоблення елементів будівель, значна увага приділяється природним матеріалам. З давніх часів відомо, що використання виробів з кам'яних порід для зведення об'єктів нерухомості є фундаментальним принципом забезпечення довговічності, естетичної привабливості, екологічності та надійності будівель і споруд.

Технологічні рішення з використання природних кам'яних матеріалів завжди були пов'язані з будівництвом або реконструкцією інфраструктури населених пунктів, а також об'єктів промисловості, в будь-які періоди економіки, чи то зростання, чи то падіння. У першому випадку зростає потреба у матеріальних ресурсах, яка призводить до зростання цін на них, у другому – зменшується споживча здатність учасників ринку. Окрім того, специфіка споживання будівельних матеріалів під час таких коливань вимагає простого і гнучкого способу виробництва.

Існуючі традиційні технології виготовлення штучних будівельних виробів на підприємствах виробничої бази будівельної галузі є складними, громіздкими і досить енергозатратними, що в свою чергу негативно впливає на вартість продукції підприємств і як наслідок на вартість самих будівель та споруд. Найбільш популярні в будівельній практиці бетони та залізобетон широко застосовуються як конструкційні матеріали при влаштуванні основ, фундаментів, каркасів, несівних стін та перекриттів, тому в більшості випадків важко знайти альтернативу таким композитам. Разом з тим слід приймати до уваги, що технологія виготовлення бетону передбачає видобуток крупних заповнювачів з використання динамічних і механічних впливів, що призводить до появи макро – і мікроруїнівних дефектів з послабленням механічної стійкості отриманих шматків гірських порід. Вагомою складовою частиною у загальній собівартості таких заповнювачів є значна металоємність та технологічні потреби в багатоступеневості циклів переробки цих природних ресурсів.

У сучасній будівельній практиці і архітектурному проектуванні природні лицювальні камені є незамінним матеріалом для облицювання фасадів і внутрішніх приміщень будівель і споруд через їхню красоту і монументальність. Це також є вагомим при виготовленні архітектурно-будівельних деталей та скульптур. Найвищим вимогам архітектури відповідають такі гірські породи, як кварцит, граніт, мармур, габро, лабрадорит. Завдяки високим фізико-механічним властивостям, довговічності й декоративності природний камінь широко застосовується як ефективний стіновий та лицювальний матеріал. Лицювальні матеріали і вироби з гранітів, габро і кварцитів характеризуються високою

стійкістю й довговічністю. До них відносяться такі будівельні матеріали, як плити, блоки, русти, карнизи, колони, сходи, підвіконня, бортовий камінь тощо.

Найціннішим облицювальним каменем є граніт. Він широко використовується для зовнішнього та внутрішнього облицювання будівель та споруд, у монументальному будівництві, для виготовлення п'єдесталів, стелобатів, постаментів пам'яток, для виробництва технічних (вали, вальці, поди, жорна, бігуни, ковзанки) та різних архітектурних виробів [1].


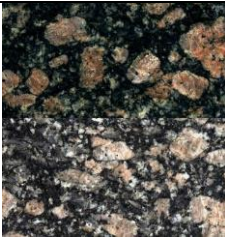

Граніт (від латинського слова *опіт-зерно*) являє собою повнокристалічну інтрузивну або рідше метасоматичну кислу світлозбарвлену гірську породу, що складається на 60-70 % з польового шпату, на 30-40% з кварцу [1]. Вміст темнокольорових мінералів у граніті не перевищує 10 % за обсягом. Другорядні мінерали: мусковіт, біотит, літєві слюди, турмалін, егірін, лужні амфібіоли, рогова обманка, топаз, гранат. Акцесорні мінерали - сфен, ільменіт, ортит, апатит, циркон. Текстура породи масивна. Структура граніту гіподіоморфнозерниста, яку часто називають просто гранітна. Згідно класифікації професора І.С. Солонінко всі облицювальні граніти України за схожістю кольору і текстурно-структурними особливостями поділяються на три групи [2]:

– сірі (від світло – до темно-сірих) граніти середньо- і дрібнозернисті, порфіроподібні. Інформація про основні характеристики і область використання виробів наведено у таблиці 1;


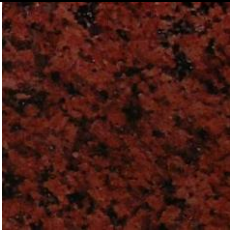


– червоні, рожево-червоні рівномірнізернисті, порфіроподібні або трахітоїдні граніти. Інформація про основні характеристики і область використання виробів наведено у таблиці 2

– рожево-сірі, рожеві крупно- і середньозернисті, порфіроподібні. Інформація про основні характеристики і область використання виробів наведено у таблиці 3.

Таблиця 1. – Характеристики гранітних порід групи – Сірі граніти [2]

Зразок і назва торгівельної марки	Основні характеристики та область використання виробів з представленої породи
 Cardinal Grey	Жежелівське родовище. Граніт середньозернистий, іноді нерівномірнізернистий з виділенням значно крупніших вкраплень польових шпатів і скупчень гранату. Колір граніту темно-сірий. Фізико-механічні властивості граніту цього родовища: щільність 2,65 г/см ³ , межа міцності при стисненні 130-150 МПа. Граніт використовується для облицювання колон, цоколів і інших частин будівель, для виготовлення сходів і настилу підлоги у місцях з інтенсивним рухом людей.
 Leopard	Корнинське родовище. Граніт середньозернистий, порфіроподібний, сірий і рожево-сірий. Мінералогічний склад граніту цього родовища: біотит 3-25 %, кварц 10-35 %. Фізико-механічні властивості граніту: щільність – 2,65-2,79 г/см ³ , міцність при стисненні 120-160 МПа. Граніт використовується для виробництва постаментів під пам'ятники і монументи, для облицювання елементів будівель, для настилу підлоги, виготовлення сходів в місцях з інтенсивним рухом людей.
 Kudashivsk	Кудашівське родовище. Граніт дрібно- і середньозернистий, сірий. Склад: мікроклін 20-60 %, плагіоклаз 30-40 %, кварц 25-30 %, біотит 6-10 %. Фізико-механічні властивості: щільність 2,69 г/см ³ , межа міцності при стисненні 100-140 МПа. Граніт використовується для виготовлення постаментів під пам'ятники і монументи, для мостового опор і облицювання набережних і будинків.
 Real Grey	Сірі граніти – Янцевське родовище граніту. Граніт середньозернистий, сірий і світло-сірий з блакитним відтінком. Мінеральний склад (в %): плагіоклазу 40, калієвого польового шпату 30, кварцу 25, біотиту 2-5. Фізико-механічні властивості граніту: щільність 2,62-2,82 г/см ³ , межа міцності при стисненні 94-220 МПа. Граніт використовується для облицювання зовнішніх частин будівель, настилу підлоги, облицювання набережних і мостових опор.

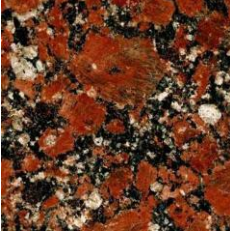

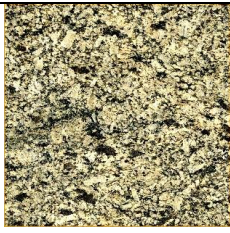
Таблиця 2. – Характеристики гранітних порід групи – Червоні, рожево-червоні граніти [2]

Зразок і назва торгівельної марки	Основні характеристики та область використання виробів з представленої породи
 <p>Rosso Pink</p>	<p>Горіхівське родовище. Граніт середньо- і крупнозернистий, рожево- і яскраво-червоний та рожево-сірий. Мінеральний склад (в %): мікрокліну – 15-75, плагіоклазів – 5-45, кварцу – 15-70, біотиту 1-5, гранату – 4. Фізико-механічні властивості граніту: щільність 2,65-2,7 г/см³, межа міцності при стисненні 80-143 МПа. Граніт використовується для всіх видів облицювальних робіт, а також для виготовлення постаментів під монументи і пам'ятники.</p>
 <p>Maple Red</p>	<p>Лізниківське родовище. Граніт середньозернистий, біотитовий, рожево-червоний і червоний. Мінеральний склад (в %): польового шпату рожевого і червоного 65, кварцу (часом димчатого) до 30, біотиту та інших мінералів 5. Фізико-механічні властивості граніту: щільність 2,68 г/см³, межа міцності при стисненні 138-270 МПа. Граніт використовується для облицювання монументальних споруді будинків.</p>
 <p>Rosso Toledo</p>	<p>Омелянське родовище. Граніт крупно- і середньозернистий, порфіроподібний, оранжево-червоний. Мінеральний склад: мікроклін 65 %, плагіоклаз 10 %, кварц 20 %, біотит 4 %. Колір граніту залежить від кольору польового шпату, включення якого досягають 2-3 см. Фізико-механічні властивості: щільність 2,57-2,66 г/см³, міцність при стисненні 120-140 МПа. Граніт придатний для виготовлення пам'ятників, монументів, облицювання різного роду будинків.</p>
 <p>Carpazi i Caramel</p>	<p>Токівське родовище. Граніт дрібно- і середньо-зернистий, однорідний, коричнево- червоний і рожево-сірий. Фізико-механічні властивості граніту: щільність 2,66-2,71 г/см³, межа міцності при стисненні 125-290 МПа. Граніт добре колеться і піддається всім видам фактурної обробки, використовується для відповідальних інженерних споруд, постаментів під пам'ятники і монументи, для облицювання частин будівель, колон, для настилу підлоги з інтенсивним рухом людей.</p>

Граніти родовищ кожної групи мають багато загальних і водночас значну кількість різних особливостей. Наприклад, рожево-червоні та червоні граніти другої та третьої груп містять мікроклін до 50%, а для першої групи, до якої входять сірі граніти, характерна наявність біотиту, гіперстену, іноді граната, що часто сильно ускладнює обробку граніту у зв'язку з високою твердістю цього мінералу. Також чим більший вміст кварцу в складі граніту, тим він важче піддається обробці на всіх стадіях: при розпилюванні, шліфуванні, поліруванні та фрезеруванні (окантовці). Саме тому перевага надається гранітам з меншим вмістом зерен кварцу. Наявність біотиту, особливо у вигляді великих кристалів, призводить до викривлення його при обробці.

Високі показники декоративності гранітів залежать насамперед від можливості їх приймати полірування високої якості, досягаючи дзеркального блиску. Дрібнозернисті граніти, що містять у незначних кількостях темнокольорові мінерали та гранат, обробляються з меншими трудовими затратами та поліруються найкраще. До декоративних властивостей каміння відносяться колір гірської породи і вигляд структурного малюнка, який створюється певним розміщенням мінералів в гірській породі. Поєднання червоних, темно-сірих і сірих кольорів гранітоутворюючих мінералів створює однорідний колірний фон, як правило, позбавлений будь-якого малюнка, тому такі граніти доцільно використовувати для облицювання великих деталей споруд, тому що в цьому випадку відпадає потреба у підборі плит за декоративними властивостями [1, 2].

Таблиця 3. – Характеристики гранітних порід групи – Рожево-сірі, рожеві граніти [2]

Зразок і назва торгівельної марки	Основні характеристики та область використання виробів з представленої породи
 <p data-bbox="220 521 405 551">Rosso Santiago</p>	<p data-bbox="454 286 1439 517">Капустинське родовище. Граніт крупно- і нерівномірнозернистий, масивний, яскраво- і рожево-червоний, високодекоративний. Мінеральний склад (в %): мікроклін 15-75, плагіоклаз 5-45, кварцит 15-20, гранат 4, біотит 1-5. Фізико-механічні властивості граніту: щільність 2,69-2,73 г/см³, межа міцності при стисненні 180-210 МПа. Граніт крихкий, використовується головним чином для облицювання будинків, для виготовлення постаментів для пам'ятників і монументів.</p>
 <p data-bbox="256 795 368 824">Withered</p>	<p data-bbox="454 560 1439 824">Новоданилівське родовище. Граніт середньо-, рідше крупнозернистий, текстура масивна, колір рожево-сірий і рожевий. Мінеральний склад (в %): плагіоклаз 25-35, мікроклін 25-35, кварц 15-30, біотит 5-15. Фізико-механічні властивості граніту: щільність 2,67-2,71 г/см³, межа міцності при стиску 104-267 МПа. Граніт використовується для облицювання набережних, мостових опор, постаментів для пам'ятників і монументів, облицювання зовнішніх частин будинків, для виготовлення сідців і настилу підлоги з інтенсивним рухом людей.</p>
 <p data-bbox="240 1070 384 1099">Sophiyvsky</p>	<p data-bbox="454 835 1439 1048">Софіївське родовище. Граніт рожево-сірий, середньо-крупнозернистий, порфіроподібний. Добре обробляється та приймає полірування високої якості. Тріщини та каверни відсутні. Мінеральний склад (в %): плагіоклаз 25-35, мікроклін 30-40, кварц 15-30, біотит 5-15, гранат 5-10, інше 1-5. Фізико-механічні властивості граніту: щільність 2,59-2,71 г/см³, межа міцності при стиску 149,8-213,8 МПа.</p>

Аналізуючи представлені в таблицях 1-3 матеріали теоретичних досліджень, слід зробити висновок, що окрім переваг якісних параметрів естетичного фону поверхні і кількісних параметрів по міцності і середній густині, для кам'яних виробів також характерні недоліки. Зокрема, такі матеріали характеризуються не високою міцністю на вигин і розтяг, а також є придатними лише для вузького спектру використання в будівництві.

Для забезпечення більшої міцності природнього каменю на згин та розтяг необхідно вирішити питання його армування. Було проведено необхідний комплекс аналітичних досліджень серед відомих способи армування природнього каменю. Одним зі можливих варіантів кам'яних виробів є метод, згідно якого в елементах, що підлягають армуванню, прорізають канавки, вкладають туди арматурні стрижні і закладають розчином або бетоном [3].

Також окрім внутрішнього армування тіла виробу може використовуватись зовнішнє підсилення площини за допомогою кріплення по поверхні композиційних матеріалів, яке дозволяє отримати достатньо високі механічні характеристики виробу. Відомо, що при армуванні тонких гранітних плит зовнішнім багатошаровим скловолокном, приклеєним до поверхні каменю за допомогою епоксидної смоли, дозволяє зменшити товщину плит до 78 % і підвищити межу міцності граніту на вигин на 60 % [4-5].

Аналізуючи методики розрахунків, стає очевидним, що застосування природнього каменю міцних порід призводить до підвищення несучої здатності конструкції при таких однакових загальних умовах, як площа прямокутного поперечного перерізу конструкції, діаметр та клас арматурних стрижнів. Це означає, що при однакових умовах навантаження таких елементів, їх поперечний переріз або діаметр арматурних стрижнів може бути зменшений. На рис. 1 представлено схеми армування блоку різними способами. Для обрання більш відповідної схеми армування необхідно провести додаткові дослідження несучої здатності, напружено-деформованого стану, жорсткості та тріщиностійкості таких блоків.

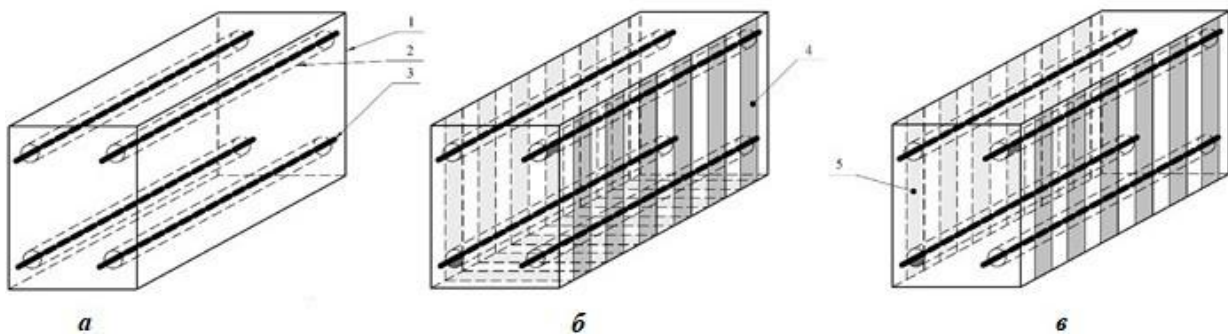


Рисунок 1 – Схеми армування: а – армування стрижнями; б – армування стрижнями та U-подібними композитними стрічками; в - армування стрижнями та композитними стрічками по боках; 1 – блок каменю; 2 – отвори для розміщення арматури; 3 – арматурні стрижні; 4 – U-подібна композитна стрічка; 5 – композитні стрічки, що наклеюються по боках

Сучасна промисловість може виготовляти тонкі облицювальні плити, але невеликих розмірів. Це в першу чергу пов'язано з операціями, які виконуються з плитами під час виготовлення. Мінімальна товщина складає 10 мм при ширині плити до 800 мм для III категорії і 20 мм при ширині плити до 1200 мм для I категорії. Використання таких плит в якості облицювальних у будівництві висуває до них додаткові умови. Навантаження під час експлуатації збільшуються і це вимагає їхнього армування. Окрім того, армування плит-заготовок безпосередньо перед зняттям їх з розпилювального верстату забезпечить їхню цілісність під час наступних операцій.

Мінімальна товщина армованої композитним шаром цокольної плити з граніту абразивної фактури довжиною 500 мм складає 0,18 мм. Таким чином, товщина армованої посиленої плити з міцних порід довжиною до 500 мм повинна бути не менше $0,18 \times 20 \square 4$ мм. В наслідок технологічних особливостей процесу виготовлення таких плит, їх товщина може бути не менше 8 мм.

Аналогічно для плит з граніту довжиною до 1500 мм, мінімальна товщина не армованої плити складає 17,5 мм. У практиці застосовуються цокольні плити з таких порід і таких розмірів товщиною 60 мм [2]. Відповідно коефіцієнт збільшення для плит таких розмірів буде дорівнювати $60/17,5 = 3,43$. Мінімальна товщина армованої композитним шаром плити з граніту абразивної фактури довжиною 1500 мм складає 8,1 мм.

Висновок

Застосування будівельних виробів з природнього каменю має наступні переваги: собівартість готової конструкції з блочного каменю знижується за рахунок зниження витрат на подвійне транспортування сировини; скорочення обсягів капітальних витрат на придбання спеціального обладнання для виготовлення композиційних матеріалів з традиційними технологіями бетонних і залізобетонних виробів; також виготовленні огорожувальних елементів будівель за технологією збірної конструкції дозволяє скоротити терміни будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Монтаж облицювальної продукції з каменю: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготов. "Гірництво" / О. О. Ремезова, Н. М. Остафійчук, О. М. Стаде; Житомир. держ. технол. ун-т. - Житомир: ЖДТУ, 2011. - 301 с.
2. Xiaopeng Gao, Zhongfan Chen, Xiaomeng Ding, Erxiang Dong, "Experimental Investigation on Flexural Behavior of Granite Stone Slabs with Near Surface Mounted CFRP Bars and Screw-Thread Steels", *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2018, Article ID 9807140, 30 pages, 2018.
3. Polini W., Sorrentino L., Turchetta S., Fiorini M. Polymeric composite laminate to increase the performance of natural stones. *International Journal of Engineering and Technology*. 2015. 7. P. 453-460.
4. Bellini C., Polini W., Sorrentino L., Turchetta S. Mechanical performances increasing of natural stones by GFRP sandwich structures. *Procedia Structural Integrity*. 2018. 9. P. 179-185.
5. López-Buendía, A. M., Guillem, C., Cuevas, J. M., Mateos, F., & Montoto, M. Natural stone reinforcement of discontinuities with resin for industrial processing. *Engineering Geology*. 2013. 166. P. 39–51.

Хоменчук Олег Володимирович – доцент, к.т.н., Державного університету «Житомирська політехніка». студент групи БМ-21мз факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, Житомир. E-mail: khomenchuk@ztu.edu.ua.

Науковий керівник – **Христич Олександр Володимирович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. Email: dockhristichv@i.ua.