

В.Г. Левицький, аспір.  
Житомирський державний технологічний університет

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГІДРОАБРАЗИВНОГО РІЗАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПРОДУКЦІЇ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

(Представлено д.т.н., проф. Бакка М.Т.)

*Розглянута сучасна технологія гідроабразивного різання природного каменю, а саме – фізична суть процесу обробки, комплекс обладнання та номенклатура кам'яної продукції, яку можливо виготовляти за допомогою даної технології. Визначені основні переваги і недоліки гідроабразивної обробки каменю, порівняно з механічною.*

**Вступ.** Науково-технічні досягнення останніх років сприяли перетворенню каменеобробки в сучасне промислове виробництво з високорозвинутою заводською технологією. Основні напрямки розвитку каменеобробного виробництва зводяться до такого: інтенсифікація технологічних процесів обробки каменю за рахунок оптимізації режимів, удосконалення устаткування й інструмента, організації потокового виробництва; розробка і впровадження нових видів вітчизняного каменеобробного устаткування на рівні кращих світових зразків; поліпшення якості облицювальних виробів, що випускаються; освоєння випуску нових облицювальних виробів, у тому числі з відходів каменеобробного виробництва; підвищення рівня автоматизації та комплексної механізації виробничих процесів; впровадження маловідходних і безвідходних технологій.

Одним зі шляхів реалізації вище перерахованих напрямків є впровадження технології гідроабразивного різання на каменеобробних підприємствах України, тому аналіз і дослідження даного способу обробки природного каменю є актуальним питанням на сучасному етапі розвитку каменеобробної промисловості.

**Постановка проблеми.** Розвиток механічних способів не йде шляхом інтенсифікації процесів обробки, а характеризується лише тенденцією збільшення зусилля, прикладеного до робочого органу, який, в свою чергу, діє на оброблюваний матеріал. Збільшення зусилля на робочому органі призводить до його швидкого виходу з ладу, а застосування дорогих матеріалів, що підвищують його міцність і зносостійкість, не дає достатнього ефекту та часто економічно невигідно. Робочий орган став найбільш уразливим у технологічній схемі застосування машин механічного принципу дії.

Дані досліджень і аналізу показують, що при недостатній продуктивності та обмеженій сфері застосування кожна машина механічного принципу дії має підвищену масу і габарити, вимагає високих енергозатрат і застосування додаткових механізмів.

На сьогодні мета інтенсифікації технології обробки повинна бути досягнута шляхом застосування інших принципово нових технологічних процесів та обладнання.

**Метою статті** є визначення доцільності впровадження і використання гідроабразивної обробки природного каменю, її конкурентноздатності серед інших способів обробки з врахуванням основних переваг і недоліків, а також визначення можливості розширення номенклатури кам'яної продукції за рахунок впровадження даної технології.

**Викладення основного матеріалу статті.** Основою принципу гідроабразивного різання є спосіб розділення матеріалів за допомогою рідинно-абразивного струменя високого тиску. Вода, стиснена насосом-мультиплікатором, до тиску більше 400 МПа, проходить через водяне сопло, яке утворює струмінь діаметром близько 0,5 мм, що потрапляє в змішувальну камеру (рис. 1). У змішувальній камері струмінь води змішується з абразивом, який має розмір часток до 0,4 мм, і далі проходить через друге, твердосплавне сопло із внутрішнім діаметром 1 мм. Із цього сопла струмінь води з абразивом виходить зі швидкістю близько 1200 м/с і направляється на поверхню оброблюваного матеріалу. Оскільки відстань від зрізу сопла до поверхні матеріалу становить кілька міліметрів, тиск струменя перевищує межу міцності природного каменю – за рахунок цього й здійснюється різання.

Власне процес гідроабразивного різання складається з чотирьох фаз (рис. 2).

**Фаза № 1. Утворення вигнутої фронтальної поверхні різання.** Сфокусований гідроабразивний струмінь прорізає в заготовці вузьку щілину – струмінь поступово вводиться в заготовку і з постійною швидкістю різання рухається по ній. У напрямку, протилежному напрямку різання, поступово утворюється вигнута фронтальна поверхня різання.

**Фаза № 2. Початок утворення сходинок (обриву).** Кут між неспотвореним струменем і поверхнею різання поступово збільшується. В результаті чого гідроабразивний струмінь все більше і більше відхиляється в напрямку, протилежному напрямку різання. Внаслідок своєї інертності тверді частинки

більше не здатні переміщатися разом з несучим струменем. В такий спосіб відбувається поділ струменя і забезпечується локалізація процесу знімання.

*Фаза № 3. Завершення утворення сходинок (обриву), зміщення її вниз.* Знімання шару матеріалу відбувається лише на невеликому відрізку фронтальної поверхні різання, при цьому на поверхні різання утворюється сходишка. Кут відхилення на поверхні сходишки поступово збільшується, під нею відділяється все менше і менше матеріалу.

*Фаза № 4. Відновлення вихідного стану.* Сходишка досить швидко "вдавлюється" у заготовку доти, поки частинки абразиву більше не зможуть робити знімання матеріалу. У міру зсуву сходишки вниз знову утворюється рівна фронтальна поверхня різання – початковий стан різання відновлюється. Описаний вище процес має циклічний характер.

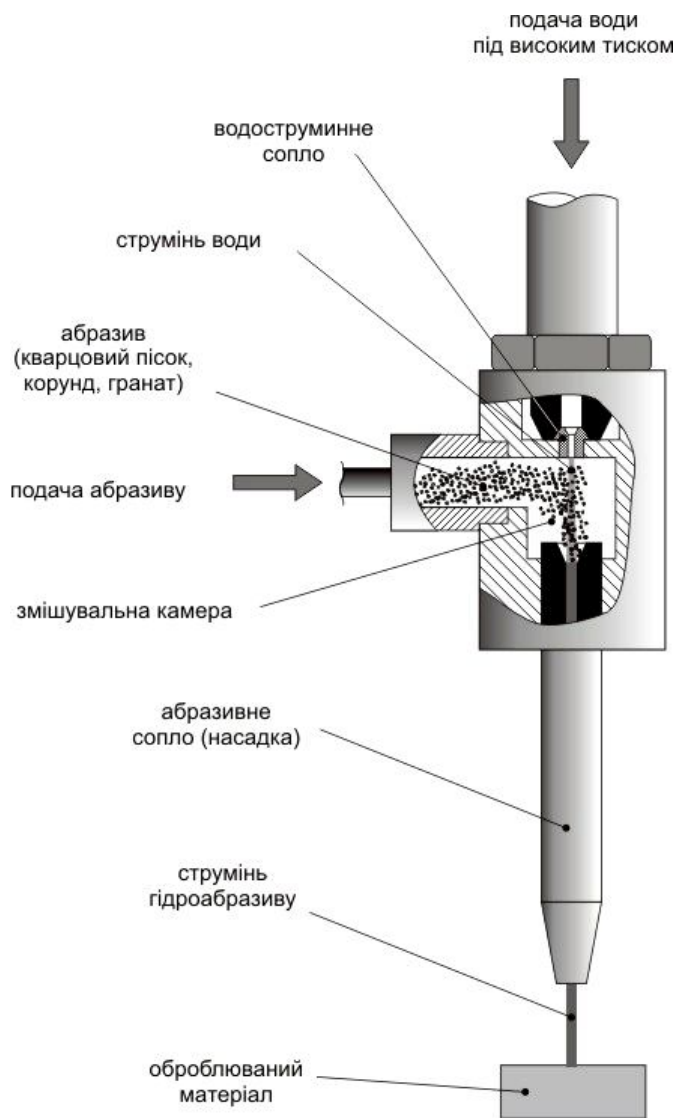


Рис. 1. Принцип роботи гідроабразивної ріжучої головки

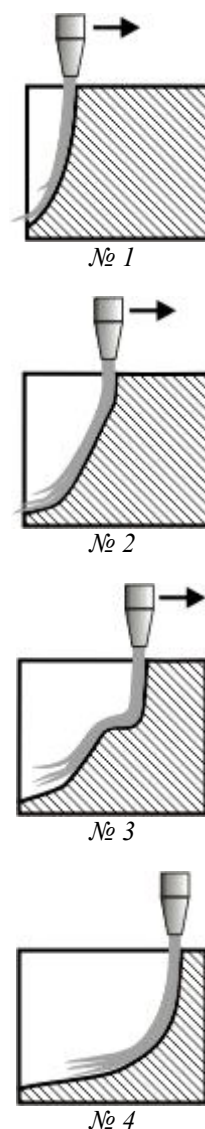


Рис. 2. Фази процесу гідроабразивного різання

В процесі різання гідроабразивним струменем вода виконує лише функцію носія. Різання обумовлене зніманням (сколюванням) певної кількості шарів матеріалу, яке спричинене ударами твердих частинок абразиву. Наявність абразиву в струмені збільшує його технологічні можливості – дозволяє різати тверді і важкооброблювані матеріали значної товщини, зокрема міцні граніти.

Найбільш поширеними абразивами є кварцовий пісок, гранатовий абразив, олівін, карбід кремнію та електрокорунд. Широке застосування вказаних вище абразивних матеріалів пояснюється їх відносною дешевизною, твердістю і високими ріжучими властивостями. Наприклад, гранатовий абразив є твердим (7,5–8 Моос) і важким (4,1 г/см<sup>3</sup>); завдяки цьому він є фактично стійким протягом усього циклу використання. Це дає можливість одержувати високу якість зрізу із певною глибиною шорсткості,

залежно від розміру зерна й швидкості різання. На основі високої в'язкості такий абразив неодноразово може бути використаний повторно. Вітчизняні підприємства в основному використовують кварцовий пісок.

Матеріал для різання розміщується на координатному столі, який переміщує ріжучу головку з високою точністю в трьох координатах, а це, в свою чергу, дозволяє обробляти як плоскі, так і об'ємні заготовки. Діапазон можливих швидкостей гідроабразивного різання (переміщення ріжучої головки над столом) коливається від 1 до 15000 мм/хв., що дає можливість якісно і точно різати на одній і тій же установці деталі, різні за розмірами і товщиною. Швидкості різання граніту і мармуру гідроабразивним верстатом вітчизняного виробництва «КГА1-Р-1600» (м. Черкаси) наведені в табл. 1 [4].

Таблиця 1

Матеріал	Швидкість різання, не менше мм/хв.* при товщині матеріалу					
	5 мм	10 мм	15 мм	20 мм	30 мм	40 мм
Мрамур	600	400	250	200	100	60
Граніт	500	200	150	90	60	45

\* якість різку – висока, абразив – кварцовий пісок.

До комплексу обладнання для гідроабразивного різання входять: насос високого тиску, ріжуча головка, координатний стіл і приводи переміщень ріжучої головки, система подачі абразиву, ємність для збору відпрацьованого абразиву та води, система програмного керування, а також додаткове обладнання. До останнього відносять пристрій для запобігання зіткнень ріжучої головки із заготовкою, систему з декількох ріжучих головок, механічну систему попереднього свердління, систему регенерації абразиву (повторного його використання) та ін. На такому устаткуванні можливе застосування програмного забезпечення для оптимального розкрою, що дозволяє в деяких випадках значно скоротити кількість відходів та автоматизувати процес обробки.

Як і при будь-якому виді обробки матеріалів, найбільш сприятливі умови для освоєння процесу гідроабразивного різання можуть бути досягнуті за рахунок вибору його оптимальних технологічних параметрів: тиску робочої рідини, форми і діаметра отвору водяного і абразивного сопел, кількості абразиву, що подається, відстані від сопла до розрізаючої поверхні, швидкості подачі, якості поверхні різання. Аналіз цих параметрів потребує детального вивчення та має суттєве значення при дослідженні даної технології.

В каменеобробній галузі гідроабразивне різання використовується в основному для виготовлення складних контурів із плоских плит. Завдяки дуже вузькому пропилю можливо створювати інкрустації для виробництва декоративних й оздоблювальних матеріалів. Застосувавши технологію обробки каменю струменем води високого тиску, можна виготовити стільниці для кухонь і ванних кімнат, підвіконня, сходи, фасонні вироби, мозаїки і бордюри, вітражі, орнаменти, художні мармурові і гранітні панно для обробки інтер'єрів і фасадів будинків, які містять складні елементи різних відтінків і форми, у тому числі флорентійські підлоги, а також інші вироби з каменю будь-якої складності. Виробляють також логотипи фірм, елементи реклами та кам'яну галантерею, літери та написи у різній колористиці і з різних матеріалів.

Декоративне панно з каменю використовується для внутрішніх і зовнішніх стін будинку (настінне панно) або може бути викладене на підлозі (напольне панно). Найчастіше панно виконується з мармуру, граніту або керамограніту. Панно з каменю може бути будь-якої форми і кольору. Панно з натурального і штучного каменю має одну з найцінніших властивостей – воно вічне в часі, тому що кам'яні фарби не тьмяніють, не вицвітають і не обсіпаються.

Панно флорентійської мозаїки – елемент декору, який можна використовувати в оформленні інтер'єра при обробці як внутрішніх приміщень, так і фасадів будинків. Технологія виготовлення дозволяє виконувати панно флорентійської мозаїки будь-яких розмірів. За технікою флорентійської мозаїки також може бути виконана як стільниця, так і напольне чи настінне панно необмежених розмірів.

Високонапірний абразивно-рідинний струмінь дозволяє здійснювати не лише наскрізне різання каменю, але й вибірку обмежених певним контуром масивів каменю, а це означає, що струмінь води може бути інструментом скульптора. Використовуючи дану технологічну особливість, стало можливим виготовляти вироби округлої форми, а саме балясини. Для здійснення такої обробки необхідно оброблюваній деталі-заготовці надати обертальний рух навколо її ж осі. При цьому ріжуча головка повинна переміщуватись по траєкторії профілю виробу, попередньо заданої в програмі керування процесом різання, з певною швидкістю вздовж заготовки, яка обертається. На сьогодні ще не розроблено гідроабразивного верстату, який би міг обробляти деталі округлої форми, тому конструктивне вдосконалення верстатів даного типу є одним із актуальних напрямків дослідження.

Гідроабразивне різання каменю має ряд переваг перед традиційною механічною обробкою:

- процес різання протікає практично без нагрівання. Ця характеристика є вирішальною при обробці каменю, як матеріалу з низькою теплопровідністю. Невеликі сила (1-100 Н) і температура (60–90 °С) у зоні різання виключають деформацію й оплавлення заготовки;
- ударне навантаження на виріб мінімальне, відсутня зворотна реакція на різальний інструмент, тому що між виробом й інструментом немає безпосереднього контакту;
- низьке тангенціальне зусилля на заготовку дозволяє в ряді випадків обійтися без затискача і фіксування цієї заготовки;
- інструмент різання (струмінь води з абразивом) не має потреби в переточуванні;
- різання може здійснюватися в будь-яких напрямках, по лінії будь-якої кривизни і складності. Струмінь гідроабразиву по своїх технічних можливостях наближається до ідеального точкового інструмента, який дозволяє обробляти складний профіль із будь-яким радіусом закруглення;
- можливість обробки заготовок товщиною більше 40 мм за один прохід;
- висока швидкість різання;
- забезпечення високої якості розрізаної поверхні, тобто в багатьох випадках відпадає необхідність у додатковій обробці кромки зрізу.
- мала кількість споживання води при різанні. Середнє значення споживання води становить 3–4 л/хв., незважаючи на високі тиски подачі (400 МПа і більше);
- використання системи комп'ютерного керування, оптичних слідкуючих пристроїв;
- відсутня небезпека вильоту шлакових чи мілкодисперсних частинок;
- відсутність пилу та забруднення повітря на робочому місці, так як продукти руйнування виносяться із зони обробки потоком віддробленої рідини;
- низький рівень шуму – в межах 80–95 дБ.

До недоліків даної технології відносять:

- конструктивні труднощі, які виникають при створенні високого тиску рідини;
- досить низьку стійкість водяного і абразивного сопел – швидке стирання (ресурс вітчизняних сопел становить 50 год., іноземних – 500–1000 год.);
- складність виготовлення сопла;
- утворення косини до  $1,5^\circ$  по висоті заготовки (рис. 3). У міру зношування абразивного сопла або збільшення швидкості різання ширина щілини збільшується – профіль щілини має слабо виражену V-подібну форму. При дуже низькій швидкості різання профіль щілини має A-подібну форму – турбулентність викликає ерозію матеріалу.



Рис. 3. Профіль щілини зрізу:

а – при високій швидкості різання; б – при дуже низькій швидкості різання

- верхні кромки різання мають незначне закруглення, причому округлість збільшується у міру віддалення абразивного сопла від поверхні матеріалу (рис. 4). Даний ефект в деяких випадках вважається позитивним, якщо потрібні закруглені верхні крайки.



Рис. 4. Профіль щілини різання:

а – при відстані між соплом і заготовкою 2–4 мм;

*б – при відстані між соплом і заготовкою більше 4 мм*

**Висновки.** Застосування та впровадження технології гідроабразивного різання природного каменю дозволить розширити номенклатуру продукції, підвищити її якість, зробити процес обробки екологічно безпечним та більш продуктивним. Насамперед, промисловим способом можна робити те, що раніше потрібно було робити вручну. Оскільки сучасний асортимент продукції каменю, виготовлений за допомогою даної технології, досить широко застосовується для облицювання та декорування приміщень, то впровадження гідроабразивних верстатів на середніх та великих каменеобробних підприємствах України призведе до підвищення їх техніко-економічних показників.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Технологія різання струменем води // Камінь. – 2004. – № 2. – С. 18–19.
2. Технологія різання струменем води й обладнання waterjet для каменярської галузі // Камінь. – 2005. – № 6. – С. 22–24.
3. *Крайник В.Г.* Гидроабразивная резка // Мир техники и технологий. – 2006. – № 1 (50). – С. 42–45.
4. ТОВ «Родень» – виробник гідроабразивних верстатів (Україна, м. Черкаси) / Спосіб доступу: URL:<http://www.roden.ck.ua>.

ЛЕВИЦЬКИЙ Володимир Григорович – аспірант кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– маркшейдерська справа;

– фізичні процеси видобування і обробки природного каменю.

Подано 26.03.2007

## Анотація

УДК 622.35

**Использование технологии гидроабразивного резания при изготовлении продукции из природного камня / В.Г. Левицкий // Вісник ЖДТУ / Технічні науки – 2007. – №2(41). – С.100-105: ил.4. – Табл.1. – Библиогр.: 4 назв.**

Рассмотрена современная технология гидроабразивного резания природного камня, а именно физическая суть процесса обработки, комплекс оборудования и номенклатура каменной продукции, которую появилась возможность изготавливать с помощью данной технологии. Определены основные преимущества и недостатки гидроабразивной обработки камня в сравнении с механической.

УДК 622.35

**Use of technology of abrasive waterjet cutting at manufacturing production from a natural stone / V.G. Levitskiy// Вісник ЖДТУ / Технічні науки – 2007. – №2(41). – P.100-105: ill.4. – Table.1. – Refs.: 4 titles.**

The modern technology of abrasive waterjet cutting of a natural stone, namely physical essence of process of treatment, complex of the equipment and the nomenclature of stone production which there was an opportunity to make by means of the given technology is considered. The basic advantages and lacks of abrasive waterjet processing of a stone in comparison with mechanical are certain.