

УДК 62-294.4

І.О. Горобець, О.М. Михайлов, М.В. Голубов, І.О. Горбулін
Донецький національний технічний університет, Україна
tm@mech.dgtu.donetsk.ua (+38 062) 305-01-04

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ШЛІФУВАННЯ ЗАГОТІВКИ ІЗ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

Досліджуються питання підвищення продуктивності обробки заготовок із природного каменю при шліфуванні з додаванням ультразвукових коливань. Теоретично обґрунтовано можливість підвищення продуктивності за рахунок додавання у зону обробки ультразвукових коливань. Розроблено план проведення експериментальних досліджень. Обрані технологічні засоби, апаратура та методи досліджень. Наведені результати експериментальних досліджень процесу шліфування граніту з додаванням ультразвукових коливань.

Ключові слова: *граніт, шліфування, продуктивність, ультразвук, коливання, експеримент, результати.*

Вступ.

Крихкі неметалічні матеріали є останнім часом незамінні через свої унікальні міцностні і експлуатаційні характеристики, серед яких слід зазначити високу твердість, високий опір тиску при низькій питомій щільності, термостійкість, стійкість до силової напруженості і зовнішнього гідростатичного тиску. Ці властивості роблять крихкі неметалічні конструкційні матеріали найбільш придатними для вживання в умовах агресивних середовищ океану і космосу, в літакобудуванні, ракето- і машинобудуванні. З розвитком науки і техніки перед сучасним машинобудуванням ставиться ряд багатообразних завдань, одна з яких - надійне забезпечення технічних характеристик виробів, що працюють в широкому діапазоні температур, при складному поєднанні змінних силових і теплових дій, в агресивних робочих середовищах. Часто умови експлуатації виробів такі, що для їх виготовлення неможливо або нераціонально використовувати метали. Одним з таких матеріалів є природний камінь, зокрема граніт. Важливою характеристикою граніту є майже повна відсутність у нього лінійного розширення при збільшенні температури, що робить його практично ідеальним матеріалом для виготовлення контрольно-вимірювальних пристроїв або їх відповідальних частин.

Основним методом обробки граніту є шліфування. При обробці каменя шліфуючим інструментом відбувається механічний процес руйнування каменя за рахунок масового дряпання оброблюваної поверхні зернами алмазу або абразиву, безладно виступаючими із зв'язки інструменту.

Процес руйнування крихких матеріалів, при шліфуванні, визначається явищами крихкого відриву, обумовленими періодичним процесом розвитку випереджаючої тріщини (рис. 1). Залежно від характеру розподілу напруги в оброблюваній поверхні, який визначається режимами обробки, геометрією і властивостями інструменту, мікротріщини поширюються углиб матеріалу [1]. Такі мікротріщини 4 при обробці більшістю з активних зерен 2 діамантові круги 3 поширюються як у бік вектора швидкості головного руху, що сприяє відділенню шару матеріалу, так і углиб заготовки 1. Характер і розміри мікротріщин залежать від контактної напруги в поверхневому

шарі заготовки і зумовлюють величину дефектного шару, який підлягає видаленню. Останній факт поширення мікротріщин формує додатково до макро- і мікронерівностям ще і дефектний шар. Ця обставина знижує експлуатаційні і споживчі властивості виробів з каменя, унаслідок зменшення їх довговічності, погіршення зовнішнього вигляду (із-за появи тріщин, що розростаються, виколів матеріалу і ін.). Це приводить до того, що погіршується якість поверхневого шару, унаслідок чого необхідно робити декілька проходів для зняття дефектного шару. Це знижує ефективність і продуктивність процесу обробки [2].

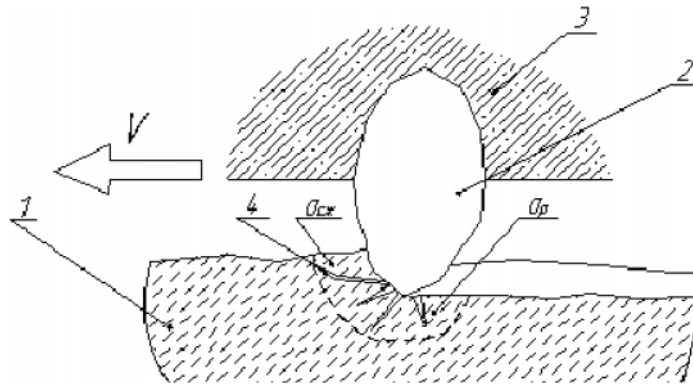


Рис. 1. Розташування мікротріщин при шліфуванні поверхні заготовок з каменя

Одним з найбільш ефективних методів фінішної обробки деталей машин складної конфігурації до яких виставляють високі вимоги за якістю поверхонь є вібраційна обробка [3]. Ефективність алмазного шліфування ламких неметалевих матеріалів (скла, кераміки, каменя) можливо значно підвищити шляхом накладання на круг коливань ультразвукової частоти (УЗК). В результаті досліджень встановлено, що накладання УЗК на круг значно інтенсифікує процес шліфування високо твердої кераміки. При звичайному шліфуванні круг губить ріжучу здатність, після 3 хвилин шліфування та зняли припуск 50 мкм, а з накладанням УЗК – після 22 хвилин шліфування було знято 215мкм. Таким чином авиор запевняє, що накладання УЗК з частотою 22.5кГц та амплітудою коливань 12 мкм в радіальному напрямку і 2мкм в нормальному найбільш ефективні [3].

Так, наприклад, з [3] відомо, що якість поверхні матеріалів з каменя (а саме в якості кераміки) чинить суттєвий вплив на їх властивості, також автор затверджує , що напрям обробки (поздовжній чи поперечний) може привести до суттєвої втрати міцності виробу (до 30%). З [3] ми маємо можливість побачити результати досліджень й практичної реалізації вперше розробленої автором технології високопродуктивного шліфування (5000 - 10000 мм/хв), яка заснована на використанні поєднання процесів вібрації та процесії. При цьому технологічна шліфувальна система (ТШС) представлена автором як сукупність зв'язаних між собою нелінійних підсистем, які включають в себе верстатну (шпиндельний вузол) й шліфувальні круги з СТМ.

Ціль роботи – дослідження процесу обробки виробів із природного каменя з додаванням ультразвукових коливань.

Досягнення цієї цілі складатиметься з вирішення завдань:

- теоретичне обґрунтування можливості підвищення продуктивності процесу обробки шліфування природного каменя як з накладанням коливань так і без них;
- експериментальні дослідження процесу обробки заготовок з природного каменя шляхом шліфування із накладанням ультразвукових коливань.

Результати роботи.

Для розрахунку продуктивності та точності обробки деталей на початковому ступені необхідно виконати аналіз кінематики мікрорізання, а саме розрахунок траєкторії мікрорізання одиничним зерном, довжини дуги його контакту з оброблюваною деталлю L , шару, що їм стискається a_z , площі контакту шліфувального круга й деталі S .

Розрахуємо величини L при торцевому шліфуванні з урахуванням того, що продуктивність й точність обробки при цьому у значній мірі залежить від взаємного розположення заготовки й робочої поверхні круга й виду траєкторії руху заготовки: прямолінійне або кругове.

Параметричне рівняння, яке характеризує траєкторію руху ріжучого зерна на зовнішньому діаметрі шліфувального круга (рис. 2) у координатах XOY із початком у центрі його обертання без накладання вібрацій :

$$L_d = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180},$$

де R – зовнішній радіус круга, мм; α – центральний кут.

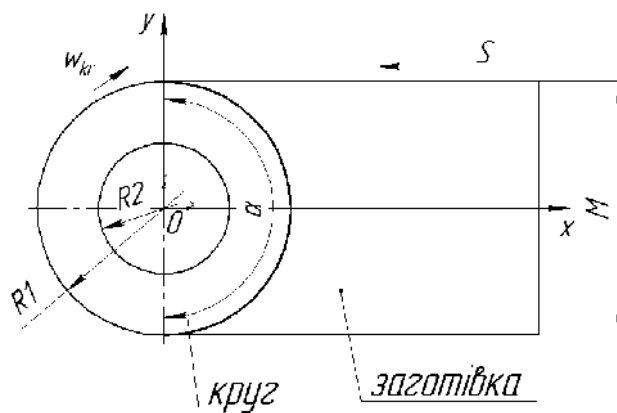


Рис. 2. Схема розрахунку довжини дуги контакту L при прямолінійному русі заготовки без накладання вібрацій

Параметричне рівняння, яке характеризує траєкторію руху ріжучого зерна на зовнішньому діаметрі шліфувального круга (рис.) у координатах XOY із початком у центрі його обертання з накладанням вібрацій прийме вигляд :

$$\Delta L = L_d + L_k,$$

де L_d - довжина траєкторії руху ріжучого зерна без накладання вібрацій ;

L_k - довжина контакту руху ріжучого зерна з накладанням вібрацій.

Довжина контакту ріжучого зерна з накладанням вібрацій:

$$L_k = n_k \cdot 4A,$$

де n_k - кількість коливань за певний період часу;

A – амплітуда ультразвукових коливань;

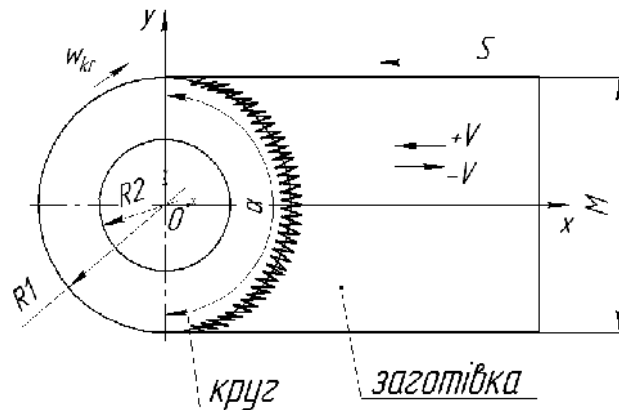


Рис. 3. Схема розрахунку довжини дуги контакту L при прямолінійному русі заготовки з накладанням вібрацій

Прийнявши діаметр абразивного круга й ширину оброблюваної заготовки однаковими, а саме: $D = M = 160\text{ мм}$, амплітуда ультразвукових коливань $A = 15\text{ мкм}$, частоту коливань 2000 Гц та використовуючи відповідні формули отримаємо $L_d = 215,2\text{ мм}$, $L_k = 37,5\text{ мм}$. Можна зробити висновок, що довжина контакту абразивного зерна з заготовкою під час накладання ультразвукових коливань зростає майже на 13%. Отже можна очікувати відповідного зростання продуктивності обробки.

Для підтвердження цього висновку необхідно провести експериментальні дослідження процесу обробки заготовок з крихкого матеріалу шляхом шліфування.

В якості джерела вибираємо магнітострикційний перетворювач ПНС1-1 (рис.4), який перетворює енергію магнітного поля в механічну, звукову або ультразвукову енергію. Амплітуда коливань, що генеруються 15 мкм , частота коливань – 2 кГц , потужність 1 кВт . Його дія основана на магнітопружному ефекті, тобто на тому, що деякі метали (залізо, нікель, кобальт) та їх сплави деформуються у магнітному полі. Механічні коливання перетворювача збуджують в твердих або рідких середовищах, з якою він стикається, хвилі такої ж частоти. За звичай хвилі перетворювача працюють на власній частоті механічних коливань, тому що на ній найбільш ефективно перетворення енергії з однієї форми в іншу.

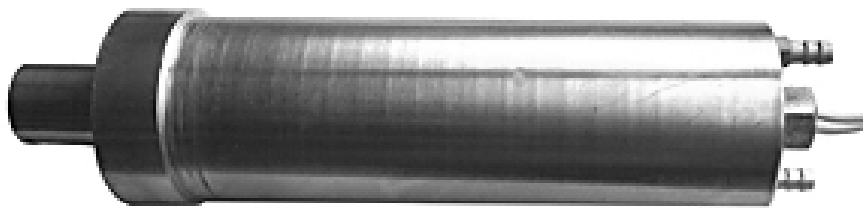


Рис. 4. Магнітострикційний перетворювач ПНС1-1

Для того щоб поєднати магнітострикційний генератор із тензометричним столом було розроблено спеціальний утримувач (рис.5). На спеціальну підставку 1, що встановлюється безпосередньо на стіл верстата (на рис. не показано) встановлюємо генератор коливань 2, який закріплюється за допомогою фланця 3. На верхню плиту тензометричного стола 4 прикріплено кутик 5, до іншого кінця котрого за допомогою шпильки 6 з'єднаємо генератор коливань.

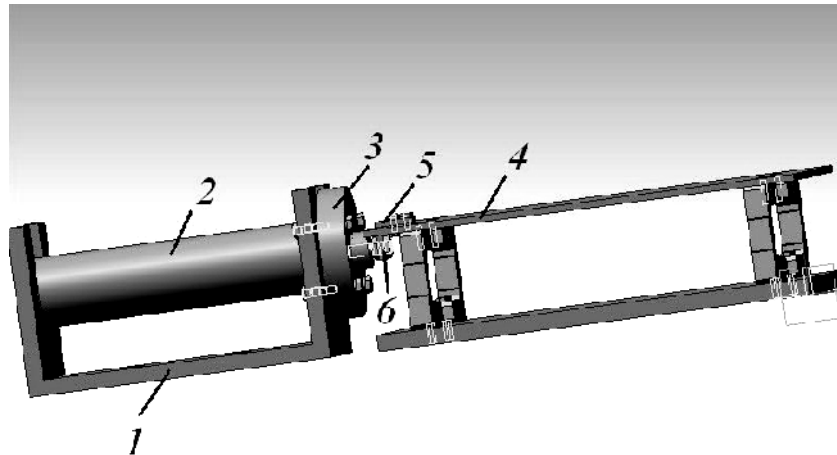


Рис. 5. Схема з'єднання генератора ПНС1-1 із тензометричним столом

Реалізація торцевого плоского шліфування здійснюватиметься на модернізованому вертикально-фрезерному верстаті 6М13П. Модернізація верстата полягає у встановленні на кінці шпинделя спеціальної головки для кріплення торцевого шліфувального інструмента та подачі СОЖ через центровий отвір шліфувального круга.

Для проведення експерименту використовуємо плоске шліфування заготовки за допомогою алмазного круга АГШГ Д160 мм АС50 400/315 М6-14.50% ТУ 88 Україна 90. 513-81 виробництва ИСМ НАНУ.

Під час шліфування заготовка оброблюється подвійними ходами на різних режимах різання. В якості варійованих параметрів приймаємо подачу заготовки та глибину шліфування. Після кожного подвійного ходу проведемо вимірювання. В якості вимірюваних та контрольованих величин приймемо:

- вхідні величини: режими різання, які характеризуються швидкістю головного руху V , швидкістю подачі S , припуском t ;
- вихідні величини: величина зйому матеріалу h , осьова сила різання P , продуктивність обробки Π .

Після обробки вимірювалася величина зйому матеріалу h мкм, яка проводилася в 25 точках поверхні з інтервалом в 30мм. Для вимірювання використовувався спеціальний пристрій.

Осьова сила різання P вимірювалася за допомогою тензометричного стола.

В якості заготовок при проведенні експериментальних досліджень приймався граніт. Граніт відноситься до міцної групи каменів (міцність при стисненні 210МПа, щільність $2,62 \div 2,82 \text{ г/см}^3$), що робить його привабливим для виготовлення з нього високоточних деталей виробів машинобудування. Для кожного зразка граніту проводився повний факторний експеримент.

Факторним полем для проведення експерименту:

- n , частота обертання шпинделя - 1600об/хв;
- S , подача: 400; 630; 800 мм/хв;
- t , величина припуску: 0,4; 0,6; 0,8 мм.

Експериментальна установка складається з основного технологічного обладнання, вимірювальних приладів та оснастки, а також допоміжних пристроїв (рис.4.5 а, б, в, г).



а)



б)



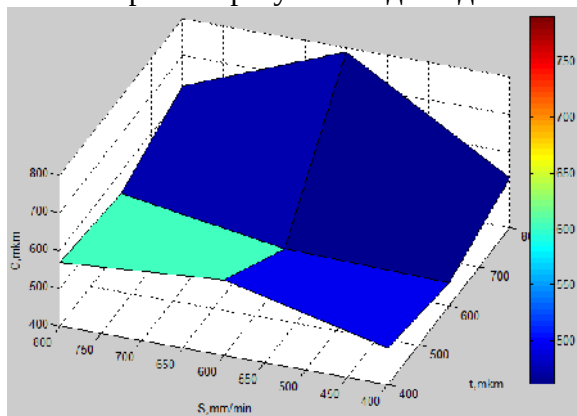
в)



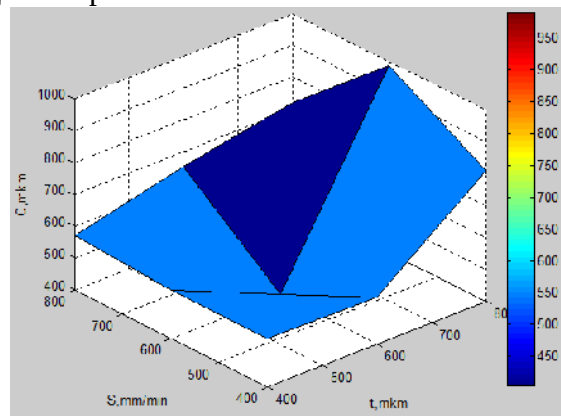
г)

Рис.6. Основні складові експериментальної установки (а)- персональний комп'ютер, підсилювач та аналого-цифровий перетворювач; б) – тензометричний стіл, гранітна плита, шпиндельна головка; в) – ультразвуковий генератор УЗГ1-1; г) – магнітострикційний перетворювач ПНС 1-1)

Отримані результати досліджень наведені на рис. 7.



а)



б)

Рис.7. Залежність середніх величин зйому від глибини різання й подачі (а) – без впливу ультразвуку; б) – з впливом ультразвуку)

Після аналізу графіків (рис.7) можна зробити висновки, що, величина з'йому матеріалу із збільшенням глибини різання поступово зменшується, але на великих глибинах ($t=0.8$ мм) досягає свого максимуму. Цю закономірність можна побачити як при використанні ультразвуку так і без нього (рис.7 а, б). Найбільш продуктивними режимами для обробки каменю з ультразвуковими коливаннями є подача $S=630$ мм/хв та глибина різання $t=0.8$ мм.(без використання ультразвуку $s=789.2$ мкм, та з використанням ультразвуку $s=989.6$ мкм).

Результати розрахунку продуктивності обробки наведені на рис. 8.

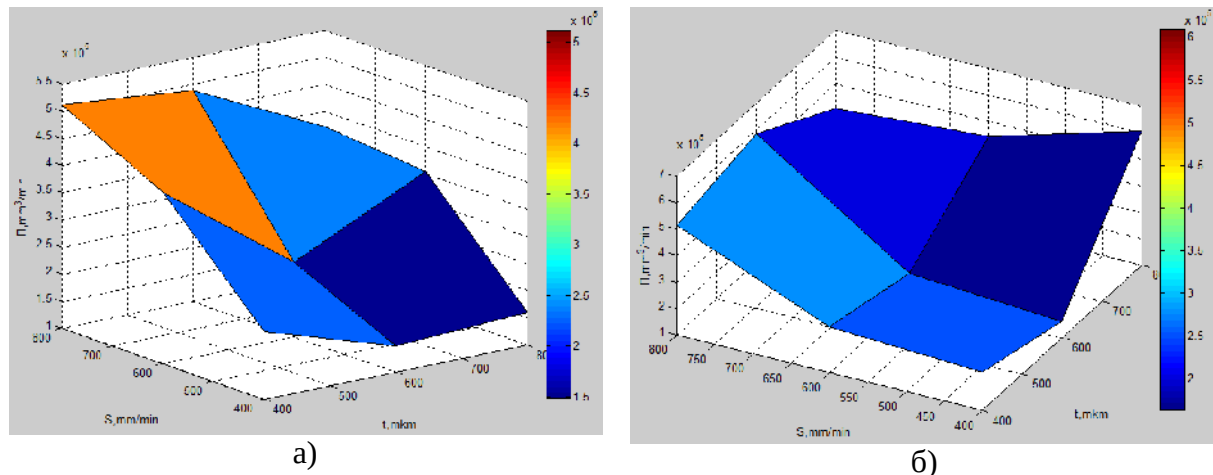


Рис. 8. Залежність продуктивності від глибини різання й подачі (а) – без впливу ультразвуку; б) – з впливом ультразвуку)

Аналізуючи графічні матеріали, рис.8, можна зробити висновок, що зона максимумів без використання ультразвуку досягає свого найбільшого значення при $S=800$ мм/хв. і при $t=0.8$ мм та монотонно зменшується із збільшенням глибини різання; при використанні ультразвуку максимум досягає своїх значень при $S=400$ мм/хв. та при $t=0.8$ мм, але слід зазначити що й при подачі $S=800$ мм/хв. та глибинах різання $t=0.4$ мм та $t=0.6$ мм, продуктивність із використанням ультразвуку також значна і перевищує максимальну продуктивність без використання ультразвуку на 12.7%. Отже, можна зазначити, що самими продуктивними режимами при використанні ультразвуку будуть $S=400$ мм/хв та $t=0.8$ мм. Але з урахуванням крихкості матеріалу обробки, необхідно зменшити глибину різання та збільшити подачу, тим самим зменшується осьова сила різання та збільшується стійкість шліфувального круга. Отже, рекомендовані режими різання: $S=800$ мм/хв та $t=0.6$ мм.

Висновки.

У ході досліджень розраховано та порівняно довжину контакту абразивного зерна із заготівкою в двох випадках: з накладанням на заготівку ультразвукових коливань, та без коливань. Розрахунком було отримано: довжина контакту інструмента з заготівкою складає 251.2 мм, а з накладанням коливань - 288.7мм, таким чином, за однаковий період часу при використанні коливань, можна очікувати підвищення продуктивності до 13%. Зона максимумів продуктивності без використання ультразвуку досягається при $S=800$ мм/хв. та при $t=0.8$ мм та монотонно зменшується із збільшенням глибини різання. При використанні ультразвукових коливань максимум продуктивності досягає своїх значень при $S=400$ мм/хв та при $t=0.8$ мм, але слід

зазначити що й при подачі $S=800$ та глибинах різання $t=0.4$ та $t=0.6$ мм, продуктивність із використанням ультразвуку також значна і перевищує максимальну продуктивність без використання ультразвуку до 12.7%. Рациональними режимами обробки при використанні ультразвуку слід вважати параметри: $S=400$ мм/хв та $t=0.8$ мм.

Список літератури:

1. Добыча и обработка природного камня: Справочник/ Под общ. Ред. А.Г.Смирнова – М.: Недра, 1990 – 445с. 4. Карюк Г.Г., Оситинский Б.Л. Обработка камня инструментом из синтетических алмазов – Киев: УкрНИИНТИ, 1968 – 23с.
2. Горобец И.А. Михайлов А.Н. Управление качеством поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.71. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – с.164 – 174.
3. А.П. Бабичев, И.А.Бабичев. Основы вибрационной технологии. – Ростов н/Д, 1999. – 621 с.

Надійшла до редколегії 15.06.2012 р.

**И.А. Горобец, А.Н. Михайлов,
Н.В. Голубов, И.А. Горбулин**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

**I. Gorobets, A. Mihaylov,
N. Golubov, I. Gorbulin**

PROBE OF INFLUENCE OF ULTRASONIC FLUCTUATIONS ON PRODUCTIVITY OF GRIND OF PREPARATION FROM THE NATURAL STONE

Исследуются вопросы повышения производительности обработки заготовок из природного камня при шлифовании с добавлением ультразвуковых колебаний. Теоретически обоснована возможность повышения производительности за счет добавления в зону обработки ультразвуковых колебаний.. Разработан план проведения экспериментальных исследований. Выбраны технологические средства, аппаратура и методы исследований. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса шлифования гранита с добавлением ультразвуковых колебаний.

Ключевые слова: гранит, шлифование, производительность, ультразвук, колебания, эксперимент, результаты.

Questions of increase of productivity of processing of preparations from a natural stone are investigated when grinding with addition of ultrasonic fluctuations. Possibility of increase of productivity at the expense of addition in a zone of processing of ultrasonic fluctuations is theoretically proved. The plan of carrying out pilot studies is developed. Technological means, equipment and methods of researches are chosen. Results of pilot studies of process of grinding of a granite with addition of ultrasonic fluctuations are given.

Key words: granite, grinding, productivity, ultrasound, fluctuations, experiment, results.