

УДК 621.921.34

І.О.Горобець, к-т. техн.. наук, проф., **М.В. Голубов**, ст..викладач.
Донецький національний технічний університет
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛІФУВАННЯ ЗАГОТІВКИ ІЗ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

Досліджується питання продуктивності процесу шліфування виробів з природного каменю. Розглянуто питання впливу ультразвукових коливань на продуктивність шліфування. Розроблено план проведення експериментальних досліджень. Обрані технологічні засоби, апаратура та методи досліджень. Наведено результати експериментальних досліджень процесу шліфування граніту з використанням ультразвукових коливань. Проаналізовано отримані результати.
Ключові слова: природний камінь, абразивний круг, режими, коливання продуктивність

Вступ. Крихкі неметалічні матеріали є останнім часом незамінні через свої унікальні міцності 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 нерационально використовувати метали. У таких випадках завдання вирішується за рахунок розробки і впровадження неметалічних матеріалів.

В даний час на виробництві виникають підвищені вимоги до якості вироблюваних виробів, що у свою чергу підвищує вимоги, що пред'являються до контролю а, отже, до контрольно - вимірювальних пристроїв. Відповідальні елементи пристосувань повинні забезпечувати необхідну точність вимірів в різних умовах експлуатації при тривалому часі роботи. Новим вирішенням цієї проблеми є вживання нетрадиційних матеріалів, у тому числі неметалічних, для виготовлення контрольно-вимірювальних пристроїв. 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.

Наукові відкриття і технічний прогрес дозволяють все ширше практикувати для обробки каменя фізико-технічні методи, що знаходяться у вітчизняній і зарубіжній практиці у стадії розширених досліджень і дослідно-промислових випробувань [1].

Ефективність алмазного шліфування ламких неметалевих матеріалів (скла, кераміки, каменя) можливо значно підвищити шляхом накладання на круг коливань ультразвукової частоти (УЗК).

Цілью роботи є дослідження впливу ультразвукових коливань на продуктивність обробки шліфуванням заготовок із природнього каменя.

© Горобець І.О., Голубов М.В.; 2012.

Основний зміст та результати роботи. Для розрахунку продуктивності та точності обробки деталей на начальному ступені необхідно виконати аналіз кінематики мікрорізання, а саме розрахунок траєкторії мікрорізання одиничним шліфуючим зерном, довжини дуги його контакту з оброблюваною деталлю L , шаром зжимаемого їм шару 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 роз положення 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. 2.1) 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.

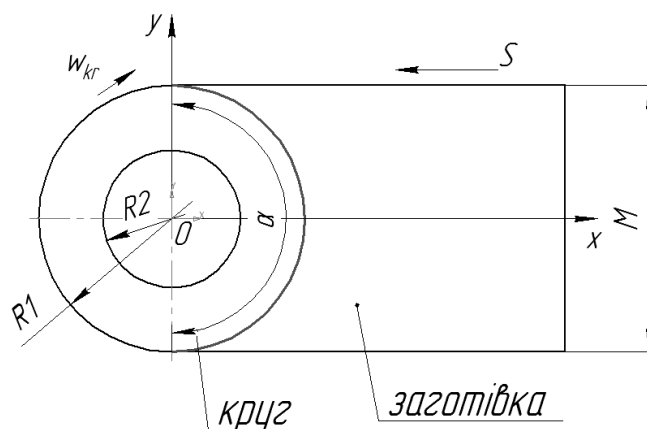


Рис. 1. Схема розрахунку довжини дуги контакту L при прямолінійному руху заготовки без накладання вібрацій

Параметричне рівняння, яке характеризує траєкторію руху ріжучого зерна на зовнішньому діаметрі шліфувального круга (рис. 2) 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.

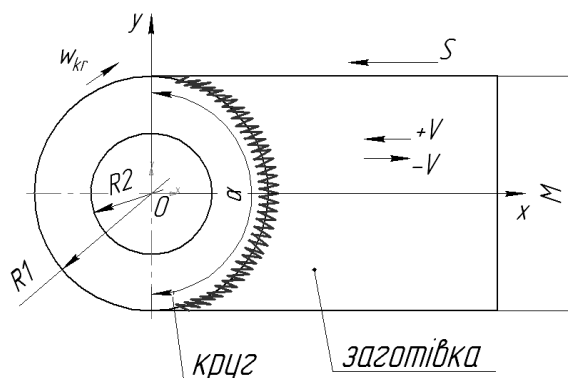


Рис. 2. Схема розрахунку довжини дуги контакту L при прямолінійному русу заготовки з накладанням вібрацій

Визначимо довжину контакту ріжучого зерна з накладанням вібрацій:

$$L_R = n_R \cdot 4A_1$$

де n_R - кількість колвань за певний період часу;

A_1 - амплітуда ультразвукових коливань;

Отже можна сказати, що довжина контакту абразивного зерна з заготовкою під час накладання ультразвукових коливань більше ніж без накладання, що дозволяє прогнозувати підвищення продуктивності обробки при додаванні ультразвукових коливань у зону різання.

З метою підтвердження цього припущення проведено експериментальні дослідження процесу обробки заготовок з крихкого матеріалу шляхом шліфування.

В якості пристрою для генерації ультразвукових коливань, вибираємо магнітострикційний перетворювач ПНС1-1 (рис.3), який перетворює енергію магнітного поля в механічну, звукову або ультразвукову енергію.

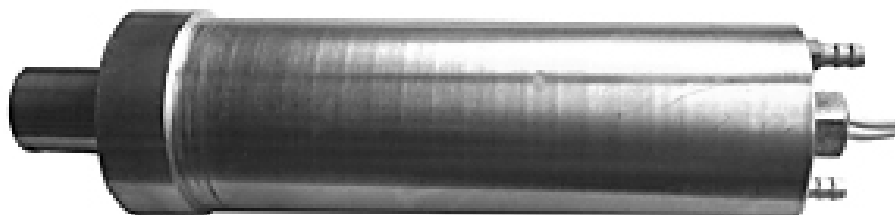


Рис. 3. Магнітострикційний перетворювач ПНС1-1

Механічні коливання перетворювача збуджують в твердій або у рідкій середі, з якою він стикається, хвилі ультразвуку тієї ж частоти. За звичай такі перетворювачі працюють на власній частоті механічних коливань, через те що на ній найбільш

ефективне перетворювання енергії з однієї форми в іншу. Технічні характеристики пристрою приведені в таблиці 1

Таблиця 1 – Технічні характеристики ПНС1-1

Модель	Призначення	Виконання	Потужність кВт	Амплітуда, мкм	Частота, кГц	Габарити, мм	Вага кг
ПМС-1.0/22 з охолодженням	а) розмірна обробка твердих й хрупких матеріалів; б) озвучення жидких середовищ; в) зварка металів та пластмасс; г) фінішна обробка.	ВО, плоска, розподілена	1.0	15	2	о67x350	33.0

Отже, для того щоб поєднати магніострикційний генератор із тензOMETричним столом було розроблено спеціальний утримувач (рис.4). 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 тензOMETричного стола 4 прикріплено кутик 5, до іншого кінця котрого за допомогою шпильки 6 з'єднаємо генератор коливань.

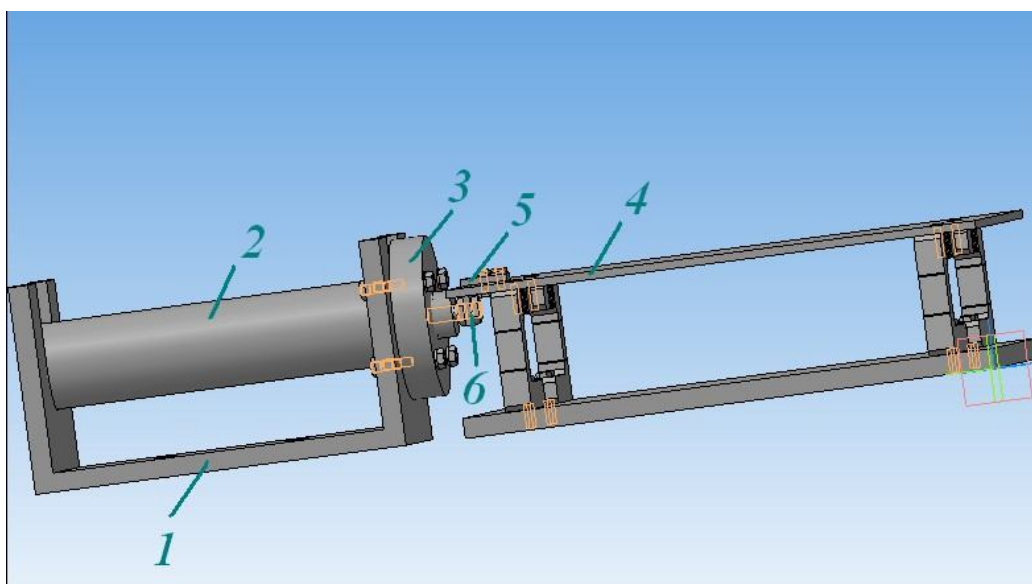


Рис. 4. Схема з'єднання генератора ПНС1-1 із тензOMETричним столом

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.

В якості заготовок при проведенні експериментальних досліджень приймаємо граніт. Граніт є найбільш типовим представником гірських порід. Він відноситься до міцної групи каменів (міцність при стисненні 210МПа, щільність $2,62\text{--}2,82\text{г/см}^3$), що робить його привабливим для виготовлення з нього високоточних деталей. Для кожного зразка граніту проведемо повний факторний експеримент.



а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Основні складові експериментальної установки:
 (а)- персональний комп'ютер, підсилювач та аналого-цифровий претворювач; б) – тензометричний стіл, гранітна плита, шпиндельна головка; в) – ультразвуковий генератор УЗГ1-1; г) – магнітострикційний перетворювач ПНС 1-1)

Рівні варіювання факторів:

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

Змінюючим параметром була величина зйому матеріалу h мкм, яка проводилась в 25 точках поверхні з інтервалом в 30мм. Експериментальна установка складається з основного технологічного обладнання, вимірювальних приладів та оснастки, а також допоміжних пристроїв (рис.5).

Експеримент проводився в два етапи: без використання ультразвуку та з ультразвуком.

Отже в однакових умовах було проведено два паралельних опиту, та в результаті було отримано дві виборки. Перша – число вимірів n_1 ; математичне очікування \bar{x}_1 ; дисперсія S_1 . Друга - число вимірів n_2 ; математичне очікування \bar{x}_2 ; дисперсія S_2 . При цьому $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$; Таким чином, слід перевірити, що різниця між \bar{x}_1 й \bar{x}_2 - значима [2].

Позначимо $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = Z$, де Z - довірчий інтервал.

n_1 : 550; 545; 811; 550; 404; 989; 571; 652; 720;

n_2 : 497; 462; 532; 600; 474; 789; 569; 543; 620.

Знайдемо оцінки математичних очікувань:

$$\bar{x}_1 = \frac{550 + 545 + 811 + 550 + 404 + 989 + 571 + 652 + 720}{9} = 643.5;$$

$$\bar{x}_2 = \frac{497 + 462 + 532 + 600 + 474 + 789 + 569 + 543 + 620}{9} = 565.$$

Визначимо оцінки дисперсій:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(\bar{x} - x_i)^2}{N};$$

$$S_1=30387; S_2=8613.$$

Позначимо $S_x = M_k \cdot S$;

$$S_{x1} = 1.051 \cdot \sqrt{30387} = 174.31;$$

$$S_{x2} = 1.051 \cdot \sqrt{8613} = 92.81.$$

Для перевірки однорідності паралельних іспитів у вибірках визначимо довірчий інтервал:

$$\bar{x}_1 \pm t_\alpha \cdot S_{x1} = 643.5 \pm 2.571 \cdot 174.31 = (643.5 \pm 448.15);$$

$$\bar{x}_2 \pm t_\alpha \cdot S_{x2} = 565 \pm 2.571 \cdot 92.81 = (565 \pm 238.61).$$

Таким чином, кожна з вибірок состоїть з однорідних результатів. Перевіримо однорідність дисперсій. Визначимо розрахункове значення критерію Фішера:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{30387}{6813} = 3.52.$$

Табличне значення F критерію при рівні значимості $\alpha = 0.05$ и $f_1 = f_2 = 8$ становить 3.44. Отже дисперсії однорідні.

Позначаємо середньозважену дисперсію:

$$S_{CB}^2 = \frac{S_1^2 F_1 + S_2^2 F_2}{F_1 + F_2} = \frac{643.3 \cdot 3.44 + 365 \cdot 3.44}{3.44 + 3.44} = 604.3.$$

Тоді довірчий інтервал:

$$Z = \pm 2.228 \cdot \sqrt{604.3} \cdot \sqrt{\frac{9+9}{9 \cdot 9}} = \pm 25.8.$$

Завдяки тому, що інтервал не включає в себе різницю між математичними очікуваннями:

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 643.5 - 565 = 78.5,$$

то з ймовірністю $P=0.95$ можливо запевняти, що продуктивність в першому випадку збільшилась.

На основі отриманих результатів за допомоги програмного забезпечення Matlab підготовлені 3D поверхні зміни величини зйому від глибини шліфування та подачі приклади яких наведено на рис. 6 і 7.

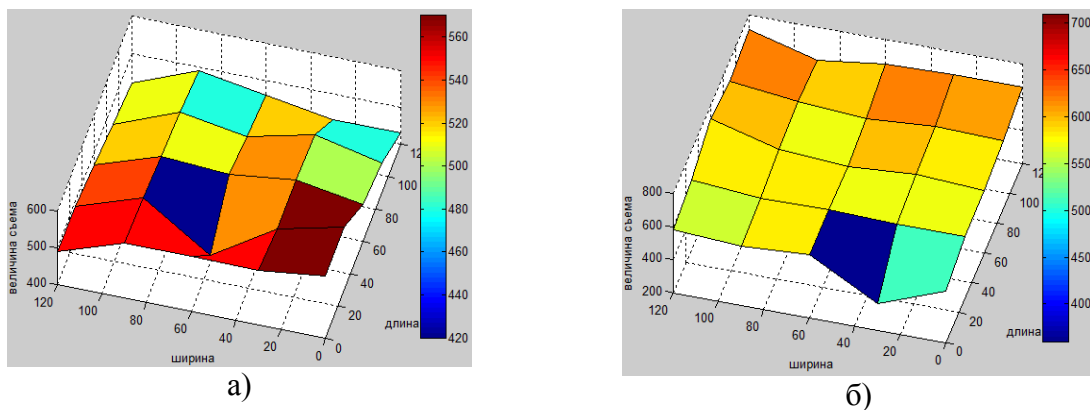


Рис. 6. Віртуальні 3D поверхні, які отримані після обробки при подачі $S=400$ мм/хв й глибині різання $t=0.4$ мм (а)- поверхня після обробки без ультразвуку; б) - поверхня після обробки з ультразвуком)

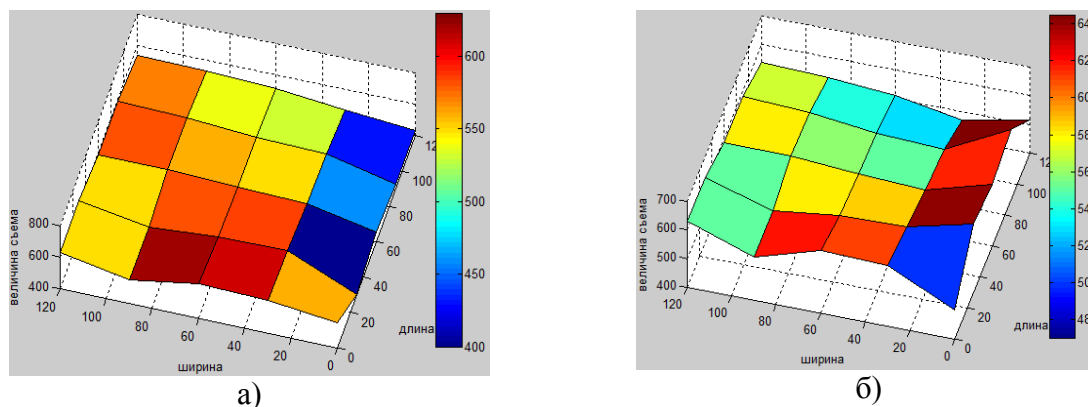


Рис. 7. Віртуальні 3D поверхні, які отримані після обробки при подачі $S=800$ мм/хв й глибині різання $t=0.6$ мм (а)- поверхня після обробки без ультразвуку; б) - поверхня після обробки з ультразвуком)

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що зона максимумів без використання ультразвуку досягає свого максимуму при $S=800$ мм/хв. та 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 $S=800$ та глибинах різання $t=0.4$ та $t=0.6$ мм, продуктивність із використанням ультразвуку також значна і перевищує максимальну продуктивність без використання ультразвуку на 0.35 та 12.7% відповідно. Отже, можна сказати що самими оптимальними режимами при використанні ультразвуку будуть $S=400$ мм/хв та $t=0.8$ мм, але через те, що оброблюваний матеріал хрупкий і щоб запобігти розколу плити при шліфуванні, необхідно зменшити глибину різання та збільшити подачу, тим самим зменшуємо осьову силу різання та збільшуємо стійкість шліфувального круга. Отже, рекомендовані режими різання: $S=800$ мм/хв та $t=0.6$ мм.

Представимо данні продуктивності в процентному відношенні в наступному графіку (рис.8).

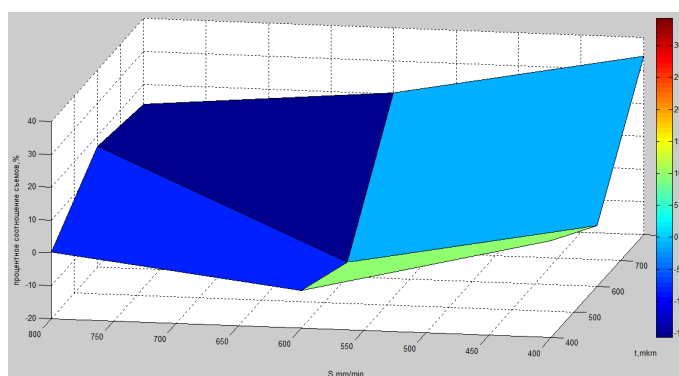


Рис. 8. Залежність продуктивності від режимів різання

Висновки. у результаті виконання роботи можливо зробити висновки:

1. Зона максимумів без використання ультразвуку досягає свого максимуму при $S=800$ мм/хв. та при $t=0.8$ мм та монотонно зменшується із збільшенням глибини різання;
2. 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 $S=800$ та глибинах різання

$t=0.4$ та $t=0.6$ мм, продуктивність із використанням ультразвуку також значна і перевищує максимальну продуктивність без використання ультразвуку на 0.35 та 12.7% відповідно.

3. Оптимальними режимами при використанні ультразвуку будуть $S=400$ мм/хв та $t=0.8$ мм.

4. Через те, що оброблюваний матеріал хрупкий і щоб запобігти розколу плити при шліфуванні, необхідно зменшити глибину різання та збільшити подачу, тим самим зменшуємо осьову силу різання та збільшуємо стійкість шліфувального круга. Отже, рекомендовані режими різання: $S=800$ мм/хв. та $t=0.6$ 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: УкрНИИИТИ, 1968 – 23с.

2. Болтян А.В., Горобец И.А. «Теория инженерних исследований»: Учебное пособие (издание 3-е переработанное и дополненное).-Донецк, ДонНТУ, 2011. -172с.

Надійшла до редакції 31.06.2014

И.А. Горобец, Н.В. Голубов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИФОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Исследуется вопрос производительности процесса шлифования изделий из природного камня. Рассмотрены вопросы влияния ультразвуковых колебаний на производительность шлифования. Разработан план проведения экспериментальных исследований. Выбраны технологические средства, аппаратура и методы исследований. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса шлифования гранита с использованием ультразвуковых колебаний. Проанализированы полученные результаты.

Ключевые слова: природный камень, абразивный круг, режимы, колебания производительность

I. Gorobets, N. Golubov

RESEARCH OF INFLUENCE ULTRASONIC VIBRATIONS TO THE GRINDING OF THE WORKPIECE QUALITY OF NATURAL STONE

We study the performance issue of the grinding process of natural stone. Questions of influence of ultrasonic vibrations on grinding performance. A plan of experimental studies. Selected technology tools, equipment and research methods. The experimental results of the grinding process granite using ultrasonic vibrations. Analyzed the results.

Keywords: natural stone, grinding wheel, modes, performance fluctuations