

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний
(повне найменування інституту, факультету)
Технології машинобудування
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістрський (судний)
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження силоти з її параметрами. Адрозлення
з'яток на танцюванні з'яток між логікою РТД.

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-1801

Спеціальності 131 Промислова механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування
Католіко Д.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Степанов Д.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Козубов О.Б.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
Кафедра Технології машинобудування
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 131-Приміани механіки
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМБ
С. І. Дедя, к.т.н., проф.
« 16 » 12 20 19 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Костюченко Дмитро Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження шквотів дії напівінертно-абразивних шліфів на точності деталей типу лопатки РТД.

керівник проекту (роботи) Степанов Дмитро Миколайович, інженер вищої кваліфікації
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 26 » листопада 20 19 року № 416

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Дослідження шквотів дії напівінертно-абразивних шліфів на точності деталей типу лопатки РТД

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз наукової літератури.

2. Методику виконання досліджень

3. Визначення напружень та деформацій при обробці ПАШ

4. Аналіз проведених досліджень

5. Економічний ефект.

6. Оцінка ризику та безпеки з наукової точки зору

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація - 20 слайдів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
15 частини	Кіселев Д. М. старший викладач		
6. Вправа 1	К.Т.Н. доцент Шмигун Віра Іванівна	06.11.19	05.12.19
Корисні поради	Горюхов А. І. старший викладач, к.т.н.		Горюхов 16.12
8			

7. Дата видачі завдання « 02 » березня 20 19 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Методи емпіричної обробки товщини деталі.	17.03.2019	
2	Методи визначення мінімальної товщини обробленої деталі.	21.03.2019	
3	Визначення напружень та деформацій деталі виконаною при обробці ПАШ	25.10.2019	
4	Аналіз результатів дослідження	8.11.2019	
5	Економічний ефект від програмних розрахунків.	10.11.2019	
6	Оформлення праці	20.11.2019	
7	Оформлення ПЗ та презентації	29.11.2019	
8	Корисні поради	13.12.2019	
	Резюме	13.12.2019	

Студент(ка)

(підпис)

Кіселев Д. С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Кіселев Д. С.
(прізвище та ініціали)

Національний університет "Запорізька політехніка"

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ ДИПЛОМНОГО(Ї) ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

Направляється студент Костюченко Д.С. до захисту дипломного проекту (роботи)
(прізвище та ініціали)
за напрямом підготовки 131 Прикладна механіка
спеціальністю 131-1 технології машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

на тему: Дослідження силової дії полімерно-абразивних шіток на тонкостінні деталі типу лопаток ГТД

(назва теми)

Дипломний проект (робота) і рецензія додаються
Директор інституту, декан факультету

(підпис)

Довідка про успішність

Костюченко Д.С. за період навчання в інституті, на факультеті, у відділенні
(прізвище та ініціали студента)

Машинобудівний з 20 18 року до 20 19 року повністю
виконав навчальний план за напрямом підготовки, спеціальністю з таким розподілом
оцінок за:

національною шкалою: відмінно 50 %, добре 25 %, задовільно 8,33 %;
100-бальною шкалою

шкалою ECTS: A 50 %; B 8,33 %; C 16,67 %; D 0 %; E 8,33 %.

Секретар інституту, факультету (відділення)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Висновок керівника дипломного проекту (роботи)

Студент (ка) Костюченко Д.С. виконав дипломний проект в
повному обсязі, в установлені терміни. Дипломний проект
визначає функції виконавця ДСТУ ГОСТ ЕСТО ЕСКД та
іншим нормативним документам. Студент виконав всі
необхідні дослідження, розрахунки, аналіз проєкту, конструктивні
рішення, висновки. Студент правдиво відобразив засади, вплив.
Виходячи з цього дипломний проект заслуговує оцінки "задовільно", а студент
Костюченко Дмитро Сергійович присвоєння кваліфікації: інженер-
механік, викладач університетів та вищих навчальних закладів

Керівник проекту (роботи)

Д.П. Степанов

(підпис)

" 12 "

12

2019 року

Висновок кафедри про дипломний проект (роботу)

Дипломний проект (робота) розглянуто (а): Студент (ка) Костюченко Д.С.

(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даного (ї) проекту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

(назва)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

" " "

20 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломний проект (роботу)

Дослідження шквотів підлінійно-абразивних
взіток на тонкошліфувальній фланцевій шквоті
Студент (ка) Косинюченко А.С.

Спеціальність 131 Трихвостова механіка
(код, найменування спеціальності)

Обсяг проекту 87

Кількість аркушів креслень -

Кількість сторінок пояснювальної записки -

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень

В проекті з'ясовано вплив підлінійно-абразивних шквотів на тонкошліфувальні деталі.

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню

праці повністю відповідає завданню.

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

розділи проекту відповідають сучасним досягненням науки і техніки

г) негативні особливості виконання проекту (роботи) в роботі переважно коментарі на літературній основі.

д) позитивні особливості

повно розкрито питання використання ПАТ для шквоток ПАТ

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи)

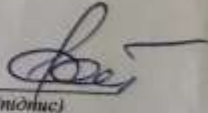
написана записка оформлена

згідно великою ситуації.

є) відгук про проект (роботу) загалом
в роботі багато матеріалу, але
стиль виконав самостійно.

ж) інші зауваження літературні джерела
оформлені не по ГОСТу.

з) оцінка проекту (роботи)
Спеціаліст Космогонко А.С. засну-
вав оцінку "Відмінно".

Рецензію склав доц. каф. ТМБ Коробка Алла Борисівна 
(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

«16» 12 2013 р.

[14:10:37] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №342 [3] (200060 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:10:59] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №347 [3] (200044 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:11:14] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №352 [3] (200060 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:11:29] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №357 [3] (200044 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:11:43] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №362 [3] (200028 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:12:08] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №367 [3] (200028 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:12:21] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №372 [3] (200044 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:12:22] Тип проверки: *Стандартная*

[14:12:22] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 29%)**

[14:12:22] **Уникальность текста 97%** [©] (Проиигнорировано подстановок: 0%)

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Костюченко Д.С., провів зав. навч. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

12.12.2019р.



РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить сторінок, 38 рисунків, 19 таблиць, 1 додатків. Було використано 10 джерел.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Робота присвячена дослідженню полімерно-абразивних щіток та впливу їх на деталі при обробці, а саме на прикладі лопаток, та практичне їх застосування при обробці тонкостінних деталей.

В наш час йде дуже стрімкий розвиток технологій в тому числі і в машинобудівній галузі у зв'язку з цим конструкції стають більш складними та містять більшу кількість деталей. Деталі набувають складної форми, стають тонше та виробляються з матеріалів які важко обробляти старими методами.

Обробка полімерно-абразивними щітками один із сучасних методів фінішної обробки. Щітки завдяки своїй конструкції можуть обробляти деталі малої товщини завдяки не великим зусиллям.

МЕТОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ є з'ясувати який саме вплив полімерно-абразивних щіток на тонкостінні деталі і наскільки мінімальним може бути товщина деталі при обробці цим методом.

Досягнення поставленої мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Аналіз існуючих методів обробки тонкостінних деталей.
2. Ознайомлення з полімерно-абразивними щітками, з їх будовою, властивостями, та можливостями.
3. Поетапний опис проведення експерименту.
4. Моделювання різних ситуацій обробки деталі за допомогою полімерно-абразивних щіток за допомогою декількох комп'ютерних програм.
5. Порівняння одержаних результатів.

ОБ'ЄКТОМ ДОСЛІДЖЕННЯ є визначення за допомогою комп'ютерних програм можливої товщини деталі оброблюваної за допомогою полімерно-абразивних щіток.

ПРЕДМЕТОМ ДОСЛІДЖЕННЯ є полімерно-абразивні щітки їх властивості та обробка деталей за допомогою щіток.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ – розрахунково-аналітичний.

В магістерській роботі проаналізований вплив полімерно-абразивних щіток на оброблювану деталь, виконаний порівняльний аналіз даних отриманих різними програмами, розрахована оптимальна мінімальна товщина деталей оброблюваних полімерно-абразивними щітками, всі розрахунки проведені за допомогою комп'ютерних програм.

ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНА ЩІТКА, ДЕТАЛЬ, ОБРОБКА, ОПЕРАЦІЯ, ІНСТРУМЕНТ, ЕСКІЗ, РОЗМІР, РІЗАННЯ,

ЗМІСТ

1 МЕТОДИ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ, СУЧАСНЕ РІШЕННЯ ДАНОГО ПИТАННЯ

1.1 Існуючі методи фінішної обробки

1.2 Застосування та переваги полімерно-абразивних щіток

1.3 Застосування програм для розрахунку мінімальної товщини оброблюваної деталі, як раціональний метод проведення експерименту

1.4 Висновки

2 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ОБРОБЛЮВАНОЇ ДЕТАЛІ

2.1 Специфіка та принцип роботи ПАЩ

2.2 Програмне забезпечення для проведення експериментів

2.3 Зразки для експериментів

2.4 Висновки

3 ВИЗНАЧЕННЯ ВНУТРІШНІГ НАПРУГ ВИНИКАЮЧИХ ПРИ ОБРОБЦІ ПАЩ

3.1 Розробка плану експерименту

3.2 Проведення експериментальних досліджень

3.2.1 Розрахунок за допомогою програми ANSYS

3.2.2 Розрахунок за допомогою програми NX

3.2.3 Розрахунок за допомогою програми Abaqus

3.2.4 Розрахунок напруження та деформації деталі математичним методом

3.3 Порівняння та аналіз отриманих результатів

3.3.1 Порівняння результатів отриманих при навантаженні деталі на площину по центру

3.3.2 Порівняння результатів отриманих при навантаженні деталі на площину с краю

3.3.3 Порівняння результатів отриманих при навантаженні деталі на лінію с краю

3.3.4 Розрахунок розбіжності отриманих даних різних програм

3.3.5 Аналіз даних що до рекомендованої мінімальної товщини оброблюваної деталі

3.4 Висновки

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Рекомендації що до використання розрахункових програм

4.2 Рекомендації вибору мінімальної товщини деталі

5. ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

ГДК	Граничнодопустима концентрація
ГН	Гігієнічні норми
ДБН	Державні будівельні норми
ДРЛ	Дугова ртутна лампа
ДСН	Державні санітарні норм
ДСТУ	Державний стандарт України
КПО	Коефіцієнт природної освітленості
ЛБ	Люмінісцентна біла
ЛД	Люмінісцентна денна
НАПБ	Нормативний акт з пожежної безпеки
НПАОП	Нормативно-правовий акт з охорони праці
ПАІ	Полімерно-абразивний інструмент
ПАЩ	Полімерно-абразивні щітки
ПЗВ	Пристрій захисного відключення
ПУЕ	Правил улаштування електроустановок
СНиП	Будівельні норми і правила
СЧ	Сірий чавун
ЧПУ	Числове програмне управління

ВСТУП

В сучасному світі наука набуває дуже швидкого темпу розвитку. Кожен рік конструкції механізмів стають більш складніші, до деталей пред'являють більш високі вимоги. Так як сучасні деталі стає складніше оброблювати з'являється багато нових методів обробки які забезпечують високу точність та продуктивність як чорнової так і фінішної обробки деталей.

Один з достатньо нових інструментів фінішної обробки який забезпечує високу якість оброблюваної поверхні з мінімальним навантаженням на деталь є щітковий полімерно-абразивний інструмент або полімерно-абразивні щітки. З появою щіток обробка складнопрофільних та тонкостінних деталей стала легше, за допомогою щіток також можна округляти гострі кромки при цьому зберігаючи форму вихідного виробу.

Важливим напрямком вивчення роботи полімерно-абразивних щіток є дослідження впливу щіток на обробку тонкостінних деталей.

Для визначення впливу обробки, полімерно-абразивними щітками, деталей, використовували комп'ютері програми ANSYS NX Abaqus. За їх допомоги аналіз став набагато легшим та швидшим що дає можливість провести більше експериментів. Завдяки великій кількості експериментів похибка у вимірах зменшується, також точність розрахунків забезпечує те що вони проводяться за допомогою різних програм які потім порівнюються.

1 МЕТОДИ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ, СУЧАСНЕ РІШЕННЯ ДАНОГО ПИТАННЯ

1.1 Існуючі методи фінішної обробки

Кожна деталь машини повинна мати певні експлуатаційні властивості - міцність, зносостійкість, довговічність і т.д. Але залежать вони не тільки від матеріалу, з якого деталь виготовлена, але і в значній мірі від шорсткості поверхні деталі. Чистова обробка виконується не тільки для отримання точної і гладкої поверхні, але і для найбільш високих механічних і фізичних властивостей поверхневого шару. Швидке зростання технічного прогресу пред'являє все більші вимоги до сучасних машин, а це змушує машинобудівників шукати нові більш досконалі методи обробки поверхонь деталей.

У сучасному світі широко використовуються наступні методи фінішної обробки:

1) Шліфування - спосіб обробки матеріалу за допомогою ріжучого абразивного інструменту. Оброблювана поверхня може бути циліндричною, конічною, фасонною і ін. Абразивні інструменти складаються з зерен абразивного матеріалу, зацементованих зв'язкою. Це шліфувальні круги, головки, сегменти і бруски. З шліфувальних верстатів найбільшого поширення в масовому виробництві отримав плоскошліфувальний з прямокутним столом, що працює периферією круга. Шліфована деталь встановлюється на магнітній плиті, яка зі столом робить рух подачі. Обертається шліфувальний круг, закріплений в бабці і прикритий захисним кожухом, видаляє нерівності, що залишилися після попередньої обробки металорізальними інструментами. Коло встановлюють в необхідне положення за допомогою маховичків.

2) Притирка. Притирання або доведення - операція механічної обробки деталей машин, приладів та інших виробів. Цією операцією досягаються висока точність (до 1-го класу) і високий клас шорсткості обробки (до 14-го

класу). Інструментом служить притир, виготовлений з більш м'якого матеріалу, ніж оброблюваний. Це може бути чавун марок СЧ 15 або СЧ 20, червона мідь, тверді породи деревини і т.д. На поверхню цих матеріалів наносять абразивний порошок в маслі або пасту. Процес насичення поверхні притирання абразивним матеріалом називається шаржування. Притиранням роблять точне доведення різьбових, круглих і гладких калібрів, вимірювальних плиток, розгорток і ін. В машинобудуванні цей процес набув значного поширення при виготовленні кульок і роликів для підшипників, а також колінчастих валів (доведення шийок), клапанів, циліндрів, плунжерів, поршневих кілець і інших деталей, що вимагають високої точності або герметичності при з'єднанні. В даний час створено багато різних конструкцій притиральних верстатів і пристосувань від простих обертових дисків-притирів до найскладніших.

3) Хонінгування. Це спосіб шліфувально-притирочної обробки зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь. Він проводиться спеціальним інструментом - хоном, що складається з головки зі вставленими по колу абразивними брусками. Хонінгувальна головка (хон) має два рухи: порівняно повільний обертальний навколо осі оброблюваного отвору і зворотно-поступального уздовж цієї осі. Хонінгувальні головки мають конструкцію, яка дозволяє зрушувати або розсовувати бруски як під час введення, так і виведення з отвору, а також і в процесі роботи для отримання потрібного розміру по діаметру.

4) Суперфінішування - один з найбільш продуктивних процесів обробки. Цим способом обробляються головним чином зовнішні поверхні тіл обертання і площин. Сутність процесу полягає в тому, що голівці з абразивними брусків з дуже дрібною зернистістю повідомляється зворотно-поступальний, коливальний рух, а оброблюваної деталі - обертальний. Процес суперфінішування широко застосовується для обробки відповідальних деталей автомобільних і авіаційних двигунів (поршнів, шийок колінчастих

валів, підшипників і т.д.). Суперфінішування дозволяє отримати шорсткість поверхні $Rz0,160 \dots 0,040$, в окремих випадках $Rz0,100 \dots 0,050$.

5) Полірування - обробна операція, яка застосовується для додання поверхні деталі металевому блиску, підвищення довговічності і зовнішньої краси, або як підготовча операція перед хромуванням, нікелюванням і іншими покриттями. Полірувальник зазвичай має форму кола і обертається з великою швидкістю. Для попереднього полірування застосовуються абразивні порошки, скляна і наждачна шкурка, а для остаточного полірування - поліруючі склади, пасти, для наведення блиску - фетр і скло. Широке застосування для полірування знаходить паста ГОІ - суміш абразивного порошку з поверхнево-активними речовинами. В цьому випадку шорсткість поверхні може бути доведена до дзеркального блиску. Полірування виконується як на простих полірувальних верстатах, так і на напівавтоматичних і автоматичних.

6) Алмазне вигладжування - дуже ефективний метод обробки і поверхневого зміцнення деталей. Вигладжуванням легко піддаються поверхні сталевих деталей, цементовані і азотовані, що мають тверді покриття, а також деталі з бронзи та інших сплавів. Здійснюється цей процес на токарних або розточувальних верстатах і не вимагає особливої оснастки. Кристал алмазу, закріплений в оправці пристосування, переміщається разом з супортом верстата. Наконечник для вигладжування зазвичай виготовляють зі штучних алмазів.

7) Еластичні щітки в даний час в промисловості все більш широко починають застосовуватися, основою яких є полімерно-абразивні волокна, що складаються з поліаміду (капрон) і 20-30% абразивного порошку (електрокорунд або карбід кремнію зелений) з розмірами зерен від 20 до 160 мкм. Асортимент діаметрів готових моноволокон від 0,3 до 1.3 мм. При обробці деталей еластичними щітками поверхня щітки може підлаштовуватися під контур поверхні деталі. При цьому знімання матеріалу відбувається не тільки торцями волокон, а й бічною поверхнею волокон. Тому

при зносі волокон щетина зберігає шліфувальний ефект і не вимагає редагування або підрізання інструменту.

1.2 Застосування та переваги полімерно-абразивних щіток

Висока еластичність щіток і знімання матеріалу мікроскопічними частинками визначає основні області застосування цих щіток: остаточна обробка поверхонь, незалежно від того є вони плоскими, циліндричними, конічними або фігурними; обробка поверхонь які містять різноманітні отвори, пази, виступи; видалення слідів інструменту, задирок, гострих країв на повністю обробленій деталі; обробка високотвердих і в'язких металів; видалення тонких окисних плівок (наприклад зачистка друкованих плат без збільшення радіусів отворів і закупорки отворів частинками абразивного матеріалу); обробка профільованих деталей (наприклад видалення задирок з зубців мініатюрних шестерень); чистова обробка широких металевих листів і смуг.

При декоративній чистовій обробці полімерні щітки забезпечують більш контрольовану якість оброблюваної поверхні при відсутності дефектів. Висока еластичність полімерно-абразивних волокон виключає можливості поломок щетини, що дозволяє застосовувати такий інструмент як для ручної, так і автоматичної обробки, причому в останньому випадку різко знижуються вимоги до точності підведення інструменту до оброблюваної поверхні, що дозволяє застосовувати їх в робототехніці і верстатах з ЧПУ. Полімерна основа волокон не абсорбує охолоджуючих або мастильних засобів, тому щітки придатні як для сухого, так і мокрого шліфування.

На даний момент ПАІ включає в себе сім видів щіток (рис. 1.1) різної конфігурації.

Область застосування цих шліфованих щіток зумовлена тим фактом що як кінчики, так і бокова поверхня полімерної щетини покривається шліфувальним засобом. Так як жорсткість, загостреність шліфувальних тіл істотно вище ніж кінчики дротяної щітки очікується швидке розширення сфер застосування щіток.



а) дискова



б) йоршикова



в) циліндрична



г) торцева



д) пелюсткова



е) чашкова



ж) кінцева

Рисунок 1.1 - Види полімерно-абразивних щіток

Перевагами ПАЩ є:

- 1) висока еластичність і гнучкість, що виключають небезпеку поломок;
- 2) рівномірність шліфуючої дії так як при шліфуванні поверхневого матеріалу звільняється новий шліфувальний матеріал;
- 3) відсутність засмічення щетини робочими залишками;
- 4) відсутність необхідності в спеціальних швидкостях;
- 5) зниження потреби робочого ефекту або іскріння, перевантаження;
- 6) придатність для мокрого та сухого шліфування, так як полімер не абсорбує будь-яких значних кількостей охолоджуючих і мастильних засобів;
- 7) концентричне обертання без биття і небалансу під час всього терміну служби щітки;

- 8) не потрібне підрізання щетини;
- 9) тривалий час служби.

Тому мова може йти не тільки про новий вид щіток, а й одночасно про новий шліфувальний інструмент. На відміну від дротяних щіток, які могли видаляти тільки когезійні нашарування на поверхні, шліфувальні щітки видаляють, обробляючи матеріал мікроскопічно тонкою стружкою. Перед використанням шліфувальних щіток доцільно перевірити за допомогою шматка паперу, досяжний бажаний ефект від шліфування. Якщо результат виявляється позитивним, це заперечення може більш раціонально виконуватися за всіма правилами шліфувальними щітками.

Особливо зарекомендувало себе використання шліфувальних щіток, якщо деталь має наступні властивості:

- 1) загартована або виготовлена з особливо тонкого металу;
- 2) оброблені тиском метали, особливо, там, де при використанні дротяних щіток виникає небезпека пошкодження і зміни країв;
- 3) профільовані, деталі, які: мають піддатися рівномірній остаточній обробці;
- 4) деталі які в подальшому піддаються впливам корозії;
- 5) деталі з забрудненням поверхні (плівки), відкладення, корки, яке повинно бути видалено так, щоб не викликати щбільшення шорсткості поверхні матеріалу;
- 6) повністю оброблені прецизійною обробкою деталі, з яких повинні бути видалені сліди інструменту, незначні задирки, гострі краї і дрібні похибки до якості деталі;
- 7) необхідна обробка поверхні на 0,2-0,25мікрон;
- 8) видалення тонкої і надзвичайно твердої і в'язкої плівки оксиду;
- 9) форма деталі руйнується застосуванням раніше звичайними шліфувальними інструментами;
- 10) деталь з дірками, розрізами і іншими поглибленнями, в яких збирається бруд;

- 11) деталі, які повинні остаточно оброблятися на одній технологічній лінії, причому слід виключити можливість засмічення установки залишками шліфувального засобу.

Нижче описані загальні межі продуктивності:

- 1) оброблюваний матеріал повинен мати мікроскопічні розміри знімання поверхневого шару менш 0,00025мм
- 2) радіус 0,25-0,32мм покриття виступів;
- 3) важливою метою процесу чистки є коригування або поліпшення геометрії, або картини поверхні; зміна розміру деталей. не передбачається;
- 4) необхідним результатом чистки має бути вирівнювання країв і поверхонь, але не поява, шорсткості як, наприклад, при пікоструйній обробці;
- 5) специфікація кінцевої обробки повинна бути менше 0,25 мікрон. [4]

У разі необхідності фінішної обробки тонкостінних деталей машин силовий вплив на поверхню деталі повинно бути по можливості мінімальним. Однак деталі газотурбінних двигунів (ГТД) виготовляються з важкооброблюваних жароміцних сталей і сплавів, тому зменшення силового впливу шліфувальних і полірувальних інструментів призводить до втрати продуктивності і, відповідно, до зростання собівартості фінішних операцій. Тонке шліфування та полірування з досить високою продуктивністю забезпечують відносно нові полімерно-абразивні (ПА) інструменти за умови застосування раціональних умов обробки.

1.3 Застосування програм для розрахунку мінімальної товщини оброблюваної деталі, як раціональний метод проведення експерименту

Попередні випробування інструменту на основі полімерно-абразивних волокон показали «м'який» вплив на поверхню, а також невисокий температурний рівень в зоні різання (ПАІ має один обмежуючий фактор - при температурі 80 ... 120 ° C полімерна основа волокон розм'якшується, а потім і плавиться, залишаючи на оброблюваній поверхні помітні сліди).

Обробка ведеться на дуже високих швидкостях (4 ... 35 м / с), тому контактна взаємодія волокна і поверхні на довжині обробки 20 мм триває 0,5 ... 5 рс. Вимірювання сил на натурних зразках в різних місцях зони контакту досить технічно складне - враховується усереднене значення сил, тому що технічно складно при такому малому часу контакту виміряти силовий вплив на зразок від одиночного удару одиничного волокна. Тому один з найкращих методів для проведення даного розрахунку це розрахунок за допомогою комп'ютерних програм. [3]

Зараз все частіше при розрахунках звертаються до інженерних програм, так як їх з'являється все більше, вони вдосконалюються, отримують більше можливостей, та стають точнішими. При розрахунках за допомогою програм інженерного напрямку значно полегшується процес отримання результатів та скорочується час на проведення розрахунку, особливо це корисно коли потрібно зробити дуже багато різних розрахунків зі зміною всього одного або декількох параметрів.

В сучасному світі багато інженерних програм для моделювання та розрахунків, ми розглянемо та порівняємо, такі як ANSYS, NX, Abaqus. Чому саме вони, бо вони прості в користуванні, точні в розрахунках, та широко застосовуються. За допомогою них проводять безліч розрахунків на міцність, коливання, деформацію та ін.

1.4 Висновки

1. Провів літературний аналіз джерел описав найпоширеніші методи фінішної обробки тонкостінних деталей.
2. Розглянув інструменти фінішної обробки деталей, описав їх можливості та з'ясував переваги полімерно-абразивних щіток порівняно з іншими інструментами.
3. Ознайомився з полімерно-абразивними щітками більш детально, описав види будову та принципом роботи.
4. Розглянув переваги розрахунків за допомогою комп'ютерних програм інженерного напрямку, та вибрав ті за допомогою яких буду проводити розрахунки.

2 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ОБРОБЛЮВАНОЇ ДЕТАЛІ

2.1 Специфіка та принцип роботи ПАЩ

Широкому поширенню даного виду інструменту заважає відсутність теоретичних напрацювань за рекомендаціями використання і практичних напрацювань щодо застосування, і рекомендацій по режимам. Відсутня і інформація про характер взаємодії волокна абразивно-полімерних щіток з оброблюваною поверхнею; про необхідні і достатні зусилля в зоні контакту волокон з виробом; вплив зернистості абразиву, розподіленого в волокні, вплив полімеру, в якому розподілені абразивні зерна на процес контактної взаємодії; впливу діаметрів і довжин вильоту абразивного волокна на процеси обробки і т.д.

Говорячи, про величину знімання металу при обробці абразивно-полімерними щітками слід зазначити, що цей процес пов'язаний не тільки з впливом абразивних зерен, розподілених в волокні, на оброблювану поверхню, але і з ударною дією кожного волокна, що стикається з нею. Це вплив зростає зі збільшенням швидкості обертання щітки і лімітується міцностними властивостями волокна і температурою плавлення волокна. Очевидно, що полімерна основа волокна надає амортизуючий вплив на зерно, вдаряє по оброблюваній поверхні. Це знижує ріжучі здатності зерна і зменшує з'їм металу кожним одиничним зерном і щіткою в цілому.

Якщо розглядати процес обробки деталі циліндричної щіткою, то можна побачити, що в процесі взаємодії абразивно-полімерних волокон з оброблюваною поверхнею найбільше значення має зусилля притиску щітки, діаметр полімерного волокна, зернистість абразивного матеріалу і властивості оброблюваного матеріалу. В процесі обробки ворс відгинається і прослизає по оброблюваній поверхні. Чим більше зусилля притиску щітки, тим більше відхиляється ворс щітки під відповідним кутом від радіального його

розташування. При цьому характерним є те, що практично не відбувається вигину ворсу по його довжині, а відхилення відбувається поворотом волокна відносно точки його закріплення. Це є своєрідною особливістю роботи абразивно-полімерного волокна, що істотно відрізняє його від взаємодії дроту дротяних щіток, або робочих елементів пелюсткових кіл з оброблюваною поверхнею. В результаті на торці волокна утворюється майданчик зносу під кутом приблизно відповідному куту відхилення волокна. Завдяки цьому збільшується кількість абразивних зерен, що вступають в контакт з оброблюваною поверхнею і отже, підвищується продуктивність обробки.

Слід сказати про те, що для розширення використання абразивно-полімерних щіток в машинобудуванні необхідно розробити довідкові матеріали по вибору ефективного застосування цих інструментів з даними по режимам обробки стосовно до різних оброблюваних матеріалів з рекомендаціями за різними технологічними операціями.

2.2 Програмне забезпечення для проведення експериментів

Сьогодні практично у всіх галузях промисловості при розробці нових виробів використовуються технології чисельного моделювання. Компанії, які піклуються про своє становище на ринку і перспективи, активно впроваджують ці технології, щоб в найближчому майбутньому залишатися конкурентоспроможними і отримувати віддачу від інвестицій в інженерні розрахунки. Для з'ясування взаємодії деталі та інструменту, при обробці за допомогою полімерно-абразивних щіток, ми використовуємо програми такі як ANSYS, NX, Abaqus.

Програмний комплекс ANSYS є найбільш універсальним і доступним інженерним інструментом, що підвищує швидкість розробки виробів у віртуальному середовищі і дозволяє враховувати різні комплексні та

міждисциплінарні явища в області гідродинаміки, міцності і електромагнетизму. Інноваційна стратегія розробки нових виробів ANSYS, Inc. - Simulation Driven Product Development [™] - дозволяє за рахунок багатокритеріальної і міждисциплінарної оптимізації виробу істотно скоротити час проектування, а також підвищити їх надійність і безпеку.

Програмний комплекс ANSYS розробляється американською компанією ANSYS Inc., яка протягом останніх років входить до списку найбільш швидко зростаючих і динамічно розвиваються компаній США. Використання програмних продуктів ANSYS дає можливість користувачам проектувати і виробляти вироби високої якості і досягати успіху на ринку значно швидше. Компанія ANSYS Inc. протягом більш ніж 45 років безперервно удосконалює свої технології для чисельного моделювання, використання яких в різних галузях промисловості забезпечує повноцінну інженерну підтримку процесів розробки і максимальну ефективність витрат на обчислювальну техніку і програмні засоби.

NX - флагманська CAD / CAM / CAE - система від компанії Siemens PLM Software. NX широко використовується в машинобудуванні, особливо в галузях випускаючих вироби з високою щільністю компоновки і великим числом деталей (енергомашинобудування, газотурбінні двигуни, транспортне машинобудування і т.д.) і виготовляють вироби зі складними формами (авіаційна, автомобільна і т.д.)

NX надає повне програмне рішення для розробки керуючих програм для обладнання з ЧПУ (CAM), постпроцесування і симуляції роботи верстатів. Розширені функції програми NX CAM в кожному з його модулів можуть максимально збільшити віддачу від інвестицій в новітні технології обробки. Інженерний аналіз (CAE) Пакет засобів інженерного аналізу NX Digital Lifecycle Simulation - основа системи аналізу в NX, що працює під управлінням Teamcenter. Даний пакет інтегрований з додатком NX Design і використовує можливості і ресурси як NX, так і Teamcenter.

NX Nastran є інструментом для проведення комп'ютерного інженерного аналізу (CAE) проєктованих виробів, який дозволяє вирішувати більшість розрахункових завдань при створенні виробів. NX Nastran забезпечує аналіз напружень і руйнувань, вібрацій, втоми і довговічності, передачі тепла, шуму, акустики і аеропружності. Система забезпечує інтеграцію з великим числом CAE додатків.

ABAQUS - універсальна система загального призначення, призначена як для проведення багатоцільового інженерного багатодисциплінарного аналізу, так і для науково-дослідних і навчальних цілей в самих різних сферах діяльності, в числі яких:

- 1) автомобілебудування (компанії BMW, FORD, General Motors, Mercedes, Toyota, Volvo, GoodYear);
- 2) авіабудування та оборонна промисловість (General Dynamics, Lockheed Martin, US Navy, Boeing);
- 3) електроніка (HP, Motorola, IBM, Digital);
- 4) металургія (British Steel, Dupont);
- 5) виробництво електроенергії (ABB, AEA Technology, EPRI, «Атоменергопроект»);
- 6) виробництво товарів народного споживання (3M, Kodak, Gillette);
- 7) загальна механіка і геомеханіка (GeoConsult, ISMES, «Гидропроект»).

За допомогою комплексу ABAQUS можна вирішувати такі складні завдання, як розрахунок міцності турбомашин і проєктування рухових установок, аналізувати роботу шасі і трансмісій, визначати поведінку шин, розраховувати зварні з'єднання, проводити аналіз аварійних зіткнень (краш-тести), здійснювати тести на падіння, моделювати надпластичного формування, лиття металів, пробивання матеріалу, виконувати розрахунки композиційних структур, враховувати контактну взаємодію великого числа тіл і самоконтакт, сейсмічні взаємодії вибуховими впливами, проводити розрахунки надійності ядерних реакторів, аналіз міцності електронних компонентів і т.д.

2.3 Зразки для експериментів

Експерименти обробки деталей за допомогою ПАЩ проводились на моделі деталі, лопатка авіаційного двигуна, але для полегшення розрахунків деталь була спрощена до плоскої пластини (рис. 2.1). Матеріал вибрали один з найпоширеніших при виготовленні лопаток авіаційних двигунів, титан. Товщина зразка змінювалася впродовж експерименту від 0.4 до 2мм.

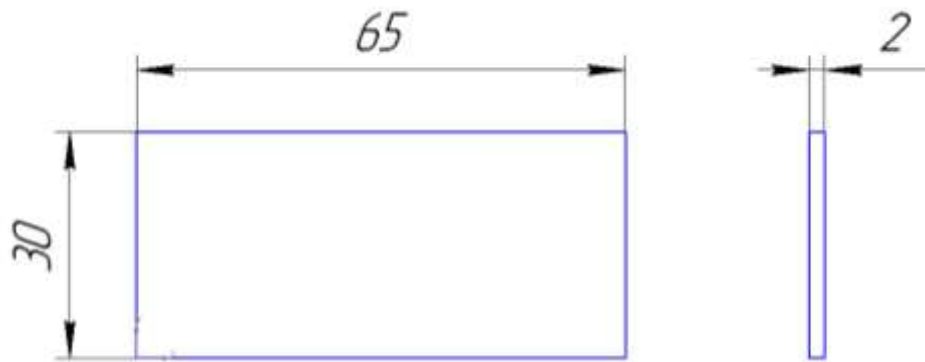


Рисунок 2.1 – Ескіз зразка для експерименту

2.4 Висновки

1. Ознайомився з впливом ПАЩ на тонкостінні деталі та описав основні питання виникаючі при обробці даним інструментом
2. Розібрався з програмним обладнанням описав їх призначення, сфери застосування та вивчив їх основні можливості.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ВНУТРІШНІГ НАПРУГ ВИНИКАЮЧИХ ПРИ ОБРОБЦІ ПАЩ

3.1 Розробка плану експерименту

Спочатку розглянемо вихідні дані та ознайомимося зі зразком, в нашому випадку це пластина розміром 65х30х2 мм зроблена зі сплаву титану, дана пластина при обробці дисковою полімерно-абразивною щіткою діаметром 150 мм та товщиною 8 мм бере на себе навантаження починаючи з краю деталі, коли щітка тільки входить в контакт з деталлю і до того моменту коли щітка повністю увійде в обробку, при цьому утворюючи зону контакту 15х8 мм, тому при розрахунку беремо три типи навантаження, навантаження на лінію з краю деталі рисунок 3.3, навантаження на площину з краю деталі рисунок 3.2, та навантаження на площину в центрі деталі рисунок 3.1. При цьому у всіх випадках деталь міцно закріплена по всім напрямках на двох протилежних гранях. Силу навантаження при цьому беремо 30Н та 100Н, з експериментальних даних. [1]

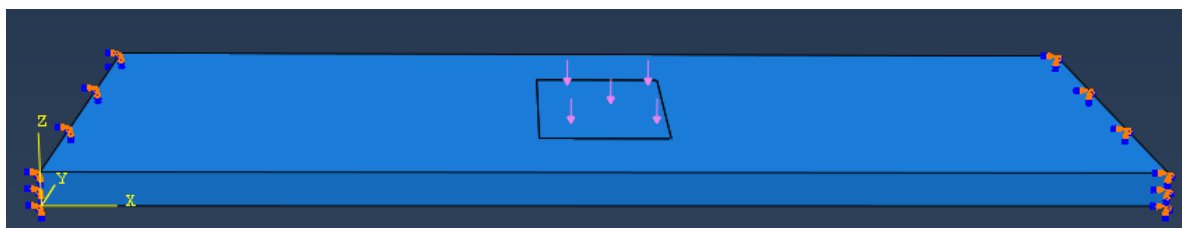


Рисунок 3.1 – Схема закріплення та навантаження експеримент 1.

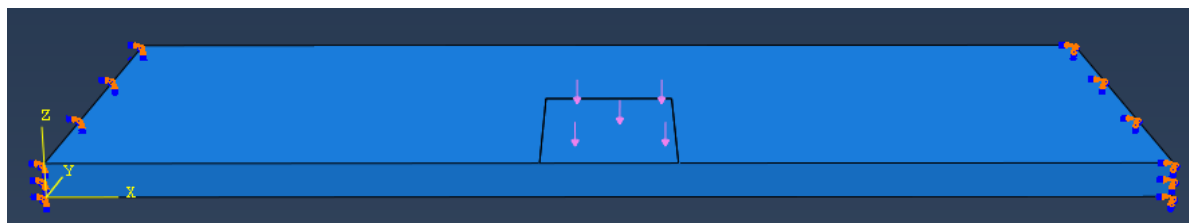


Рисунок 3.2 – Схема закріплення та навантаження експеримент 2.

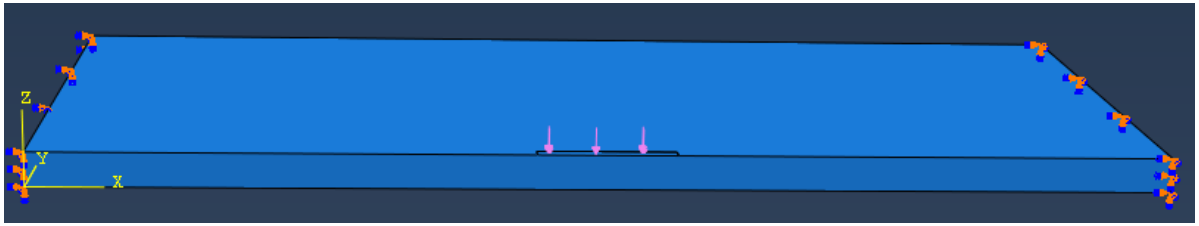


Рисунок 3.3 – Схема закріплення та навантаження експеримент 3.

Для визначення мінімальної товщини обробки деталі проводимо ці три експерименти змінюючи товщину пластини від 2 до 0.4 мм. І все це повторюємо за допомогою трьох програм ANSYS, NX, Abaqus. Після цього математичним методом проводимо розрахунок першого експерименту для того щоб порівняти точність розрахунку програм між собою та з розрахунком за допомогою формул сопромот і встановити величину похибки розрахунків та з'ясувати яка з програм точніша. Останнім порівнюємо отримані значення та робимо висновки.

3.2 Проведення експериментальних досліджень

Експериментальна частина магістерської роботи полягає в дослідженні фінішної обробки тонкостінних деталей за допомогою ПАЩ на зразках типу лопатки різної товщини з титанового сплаву.

Метою дослідження є з'ясувати який саме вплив полімерно-абразивних щіток на тонкостінні деталі і наскільки мінімальним може бути товщина деталі при обробці цим методом, та провести порівняльний аналіз інженерних програм ANSYS, NX, Abaqus.

Експериментальна частина проводилась за допомогою комп'ютера та програм типу CAD (ANSYS, NX, Abaqus). За допомогою цих програм ми симулювали обробку лопатки полімерно-абразивними щітками, шляхом прикладення зусилля яке виникає при обробці ПАЩ.

Вихідні дані для експерименту:

1. Модель спрощеної лопатки (пластина розміром 65x30x2)
2. Матеріал моделі титан BT5
3. Інструмент (ПАЩ D=150мм, B=8мм)
4. Допустиме напруження деталі $[\sigma_v] = 980 \text{ Мпа}$

Обробка ПАЩ відбувається на високих швидкостях, і зусилля яке виникає при обробці даним інструментом може мати значення від мінімального в 30Н, саме це мінімальне значення при якому починає проходити процес обробки, та максимальне значення 100Н, значення при якому процес обробки проходить без руйнування інструменту та деталі. Саме ці два крайні значення ми й будемо враховувати в розрахунках. [2]

За допомогою ПАЩ оброблюють складнопрофільні деталі цей інструмент здатний обробляти як тонкі краї деталі, так і площини та важко доступні місця западини, галтелі, канавки і т.д. Ми розглянемо декілька варіантів таких як обробка площини розміром 15x8мм посередині та с краю деталі, а також як безпосередньо впливає ПАЩ на грані деталі, задаючи при цьому навантаження від інструменту на тонку лінію розміром 8 мм на грані деталі.

Експеримент буде проводитись за допомогою трьох програма (ANSYS, NX, Abaqus) які в подальшому будуть порівнюватись між собою в точності отриманих результатів, в швидкості та зручності розрахунків. За допомогою цих програм ми визначимо внутрішні напруження деталі які виникають в середині при навантаженні та значення деформації деталі від заданих сил.

3.2.1 Розрахунок за допомогою програми ANSYS

В першому експерименті розглянемо вплив полімерно-абразивної щітки на деталь товщиною 2мм, навантаження в 100Н буде прикладене в центрі деталі за допомогою комп'ютерної програми ANSYS, рисунок 3.4, 3.5.

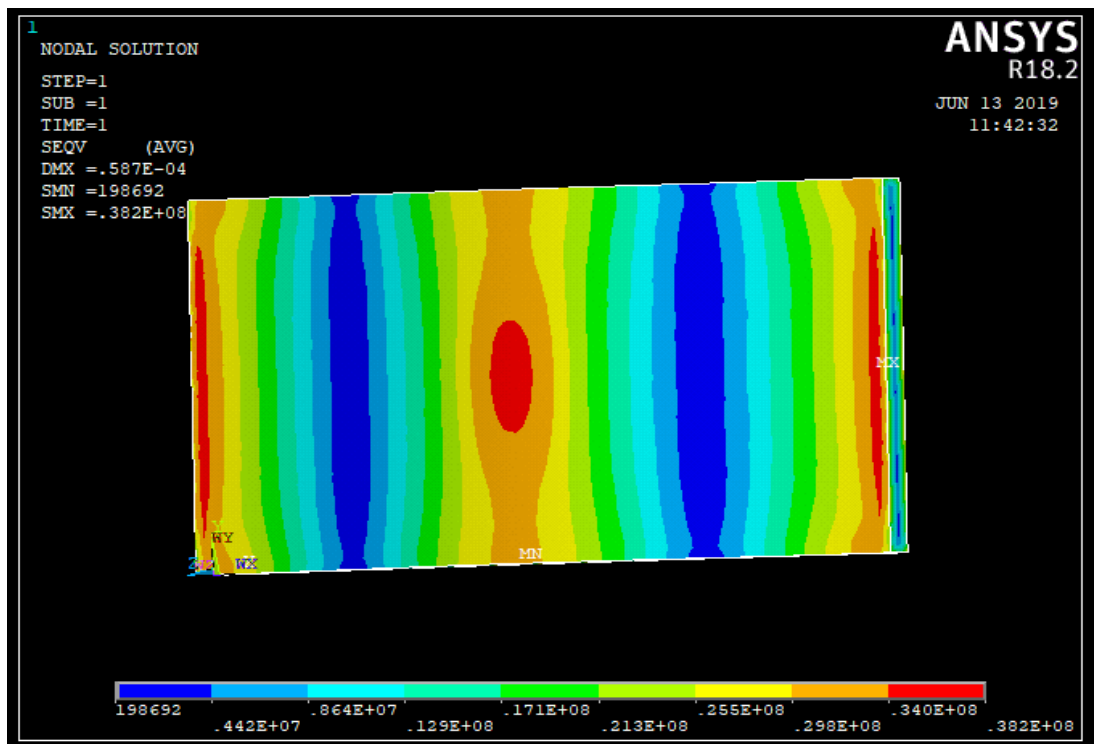


Рисунок 3.4 – Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 1 програма ANSYS.

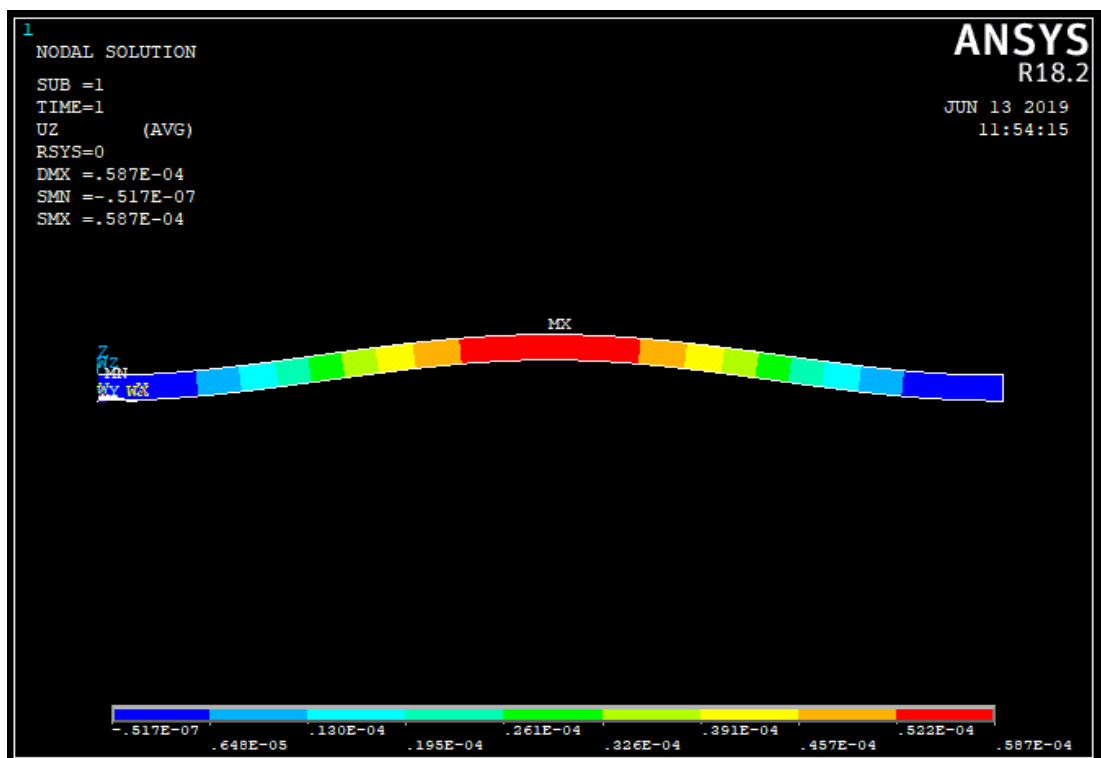


Рисунок 3.5 – схема розподілення деформації деталі експеримент 1 програма ANSYS.

Для інших випадків першої частини експерименту змінюючи тільки товщину деталі та силу навантаження за допомогою програми ANSYS розглянемо отримані результати зробимо висновки та занесемо отримані дані до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – результати першого експерименту отримані за допомогою програми ANSYS.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на плоскість в центрі деталі	100Н	напруження, МПа	38,2	144	594	923
		деформація, м	5,87E-05	4,65E-04	0,0037	0,0073
	30Н	напруження, МПа	12,4	46,8	193	300
		деформація, м	1,91E-05	1,51E-04	0,0012	0,0023

В другому експерименті розглянемо вплив полімерно-абразивної щітки на деталь товщиною 2мм, навантаження в 100Н буде прикладене с краю деталі за допомогою комп'ютерної програми ANSYS, рисунок 3.6, 3.7.

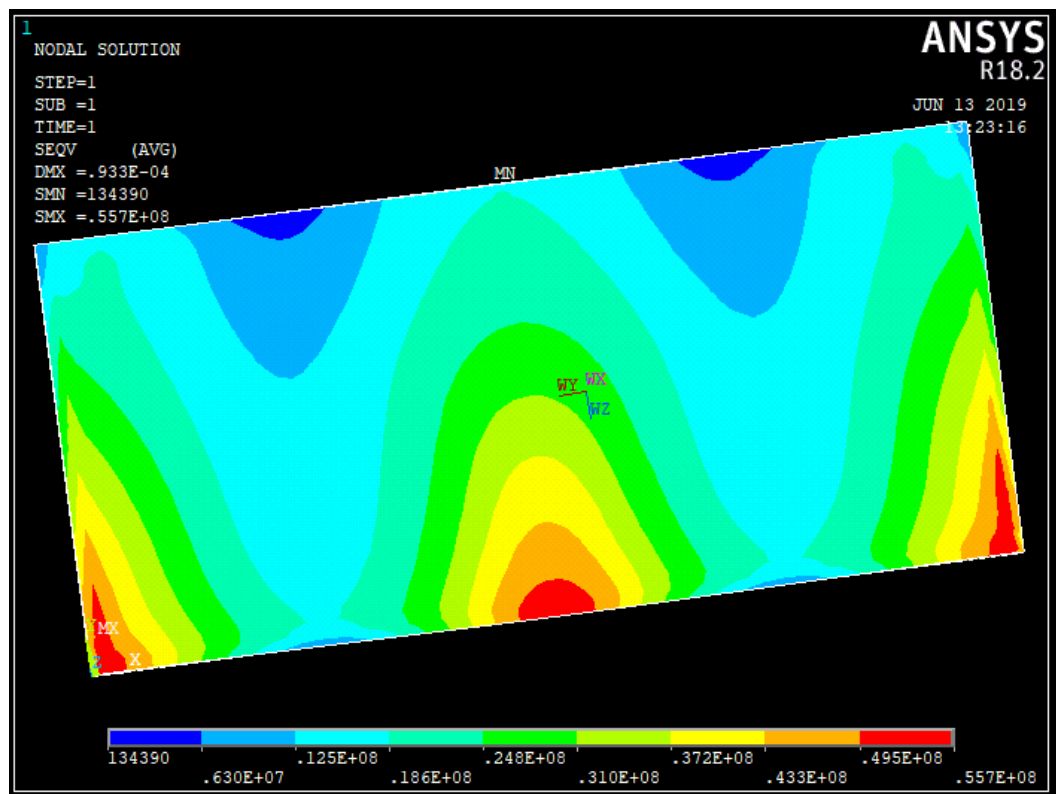


Рисунок 3.6- Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 2 програма ANSYS.

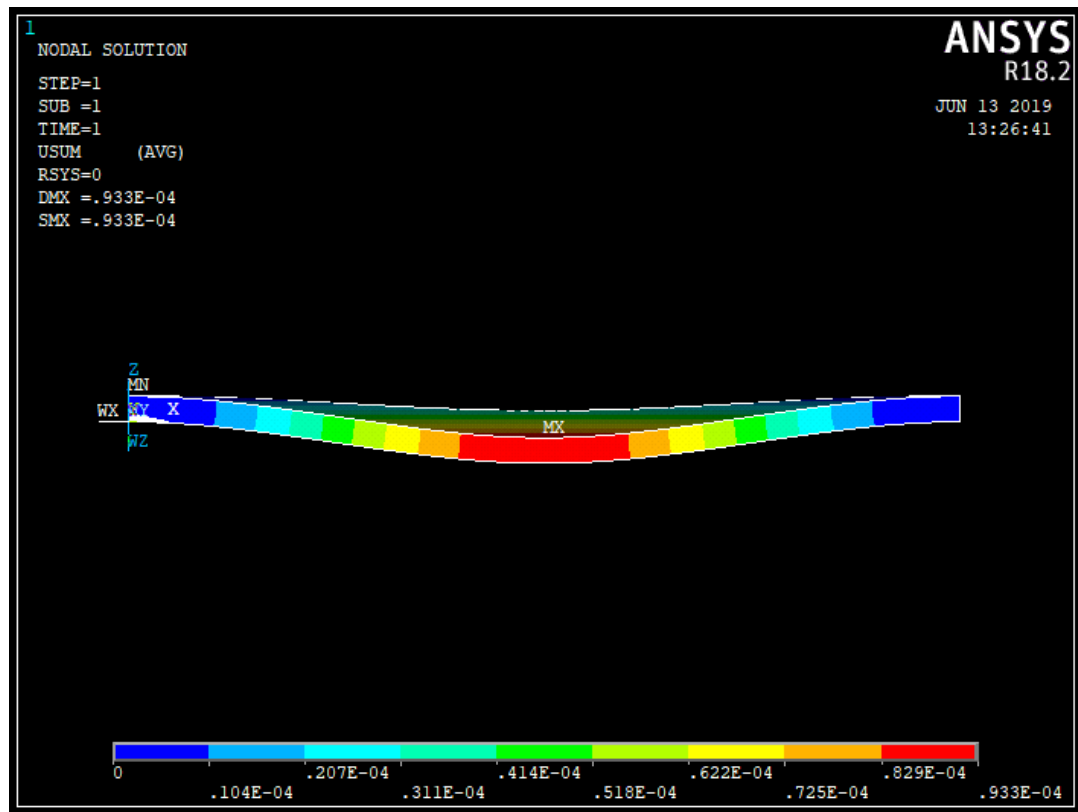


Рисунок 3.7 – схема розподілення деформації деталі експеримент 2 програма ANSYS

Для інших випадків другої частини експерименту змінюючи тільки товщину деталі та силу навантаження за допомогою програми ANSYS розглянемо отримані результати зробимо висновки та занесемо отримані дані до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – результати другого експерименту отримані за допомогою програми ANSYS.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на плоскість с краю деталі	100Н	напруження, МПа	56	216	887	1390
		деформація, м	0,93E-04	0,73E-03	0,0058	0,011
	30Н	напруження, МПа	19	73	299	468
		деформація, м	0,32E-04	0,25E-03	0,0019	0,0038

В третьому експерименті розглянемо вплив полімерно-абразивної щітки на деталь товщиною 2мм, навантаження в 100Н буде прикладене с краю деталі на лінію за допомогою компютерної програми ANSYS, рисунок 3.8, 3.9.

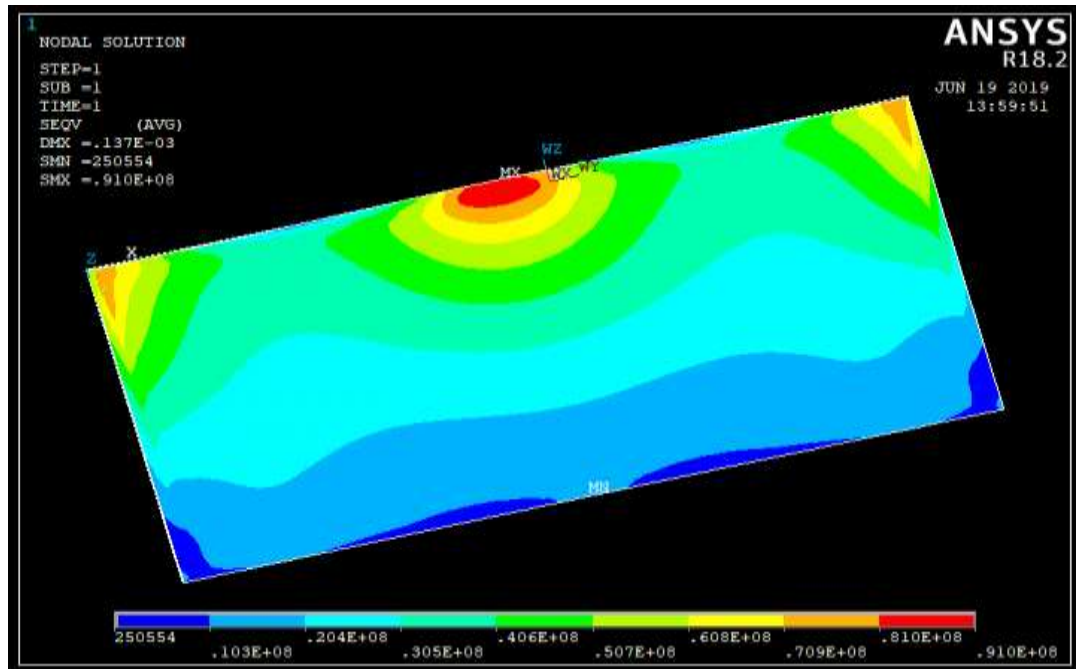


Рисунок 3.8- Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 3 програма ANSYS.

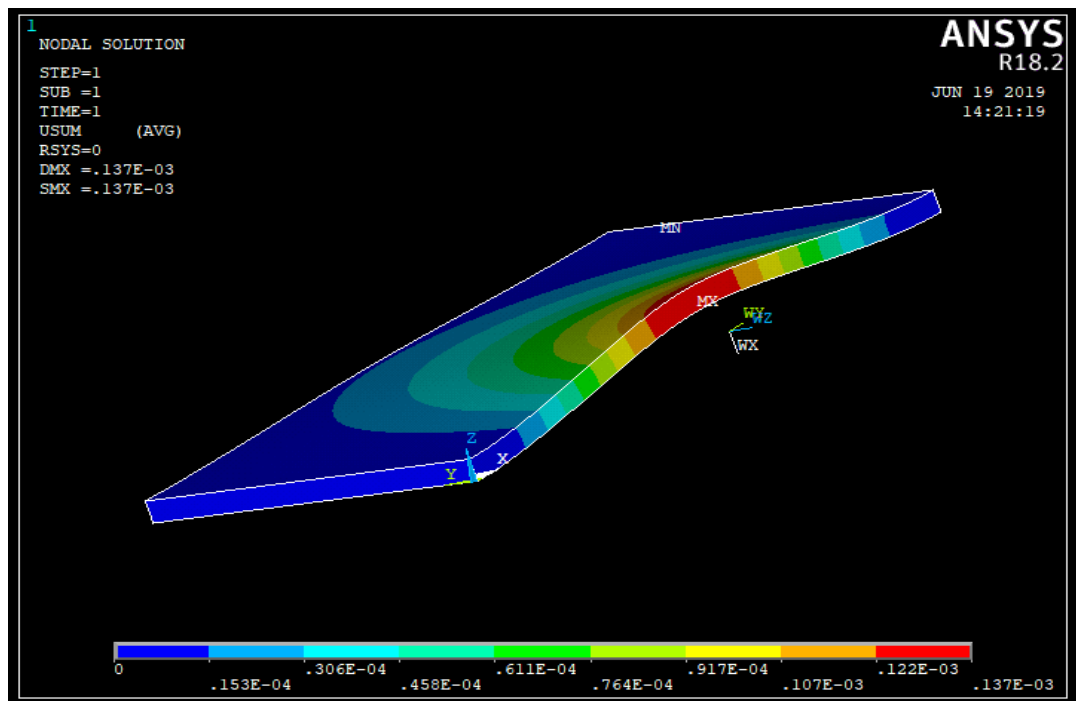


Рисунок 3.9 – схема розподілення деформації деталі експеримент 3 програма ANSYS.

Для інших випадків третьої частини експерименту змінюючи тільки товщину деталі та силу навантаження за допомогою програми ANSYS розглянемо отримані результати зробимо висновки та занесемо отримані дані до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – результати третього експерименту отримані за допомогою програми ANSYS.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на лінію с краю деталі	100Н	напруження, МПа	91	970	1500	-
		деформація, м	0,14E-03	0,0011	0,0085	-
	30Н	напруження, МПа	27	111	452	-
		деформація, м	0,41E-04	0,32E-03	0,0026	-

Наступним кроком для порівняння отриманих результатів проводимо ті самі розрахунки але за допомогою двох інших програм таких як NX та Abaqus. Також при цьому порівнюємо не тільки отримані результати а й сам процес роботи з даними програми та їх можливості.

3.2.2 Розрахунок за допомогою програми NX

Друга програма для розрахунку буде NX за допомогою неї проводимо той самий вище вказаний експеримент який ми проводили за допомогою програми ANSYS. Беремо всі ті дані та умови як і в першому випадку, результат першого розрахунку можемо бачити на рисунку 3.10, 3.11 та в таблиці 3.4.

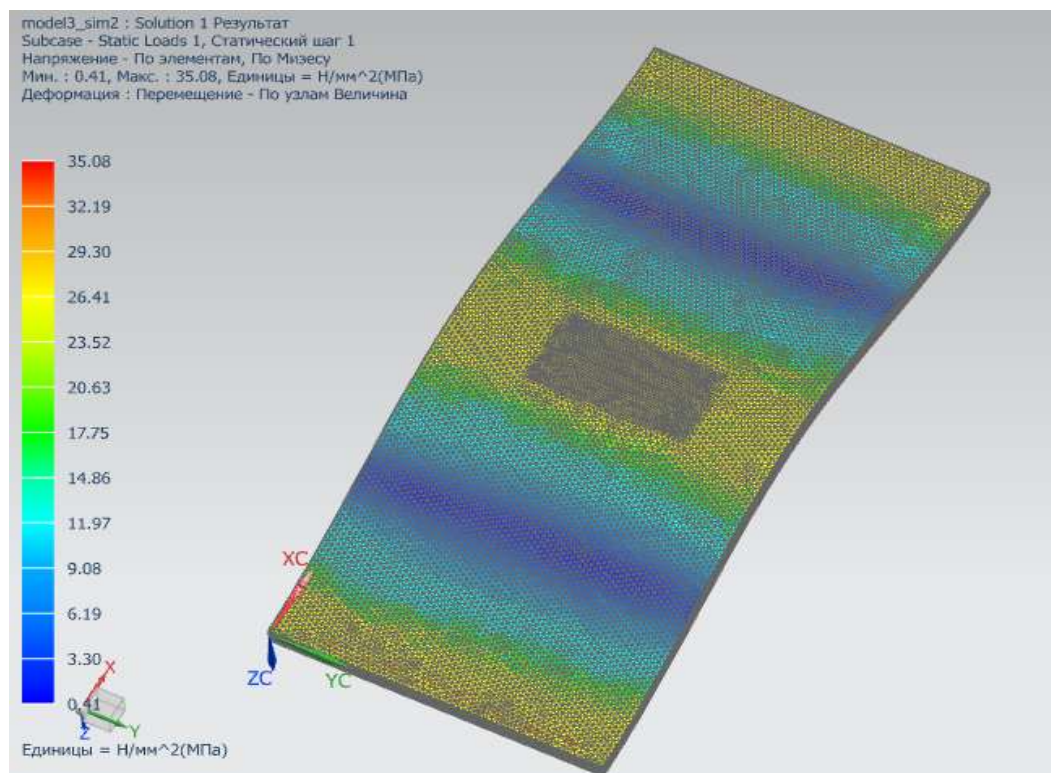


Рисунок 3.10 - Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 1 програма NX.

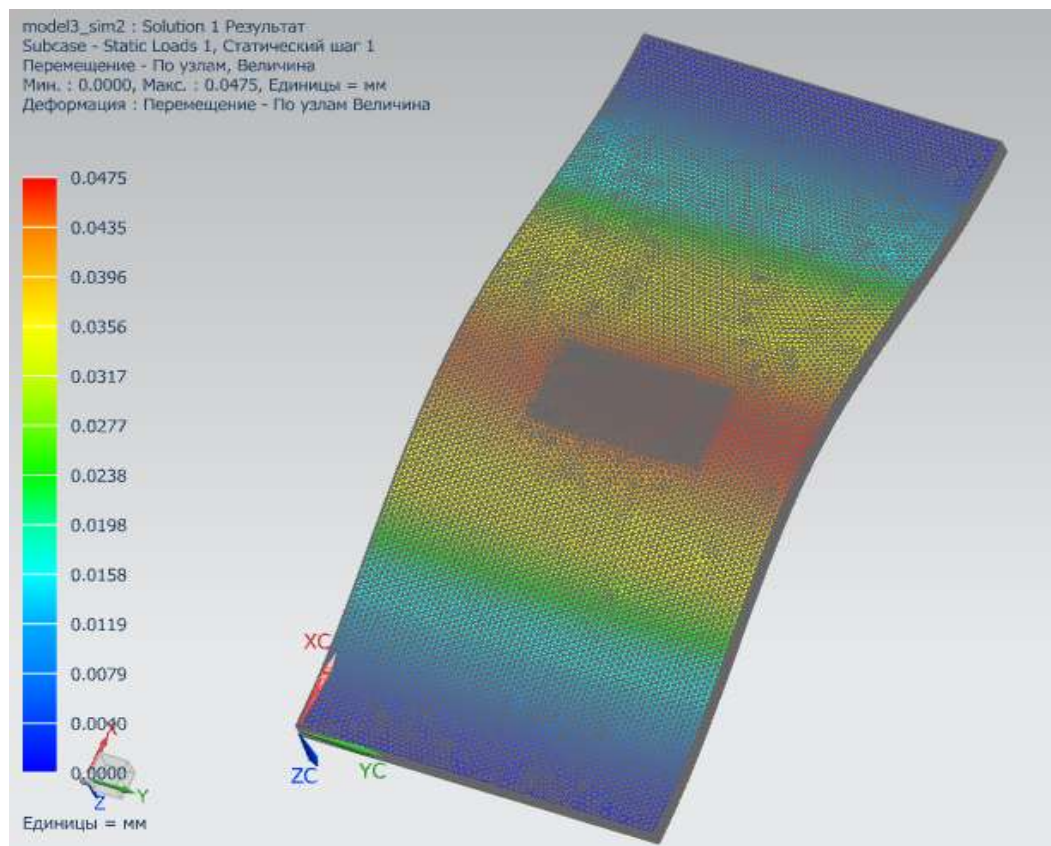


Рисунок 3.11 - схема розподілення деформації деталі експеримент 1 програма NX.

Таблиця 3.4 – результати першого експерименту отримані за допомогою програми NX.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на плоскість в центрі деталі	100Н	напруження, МПа	35	112	529	1061
		деформація, м	4,75E-05	2,67E-04	0,00099	0,002
	30Н	напруження, МПа	10	34	158	318
		деформація, м	1,4E-05	0,8E-04	0,0003	0,0006

В другому експерименті розглянемо вплив полімерно-абразивної щітки на деталь товщиною 2мм, навантаження в 100Н буде прикладене с краю деталі на лінію за допомогою комп'ютерної програми NX, рисунок 3.12, 3.13.

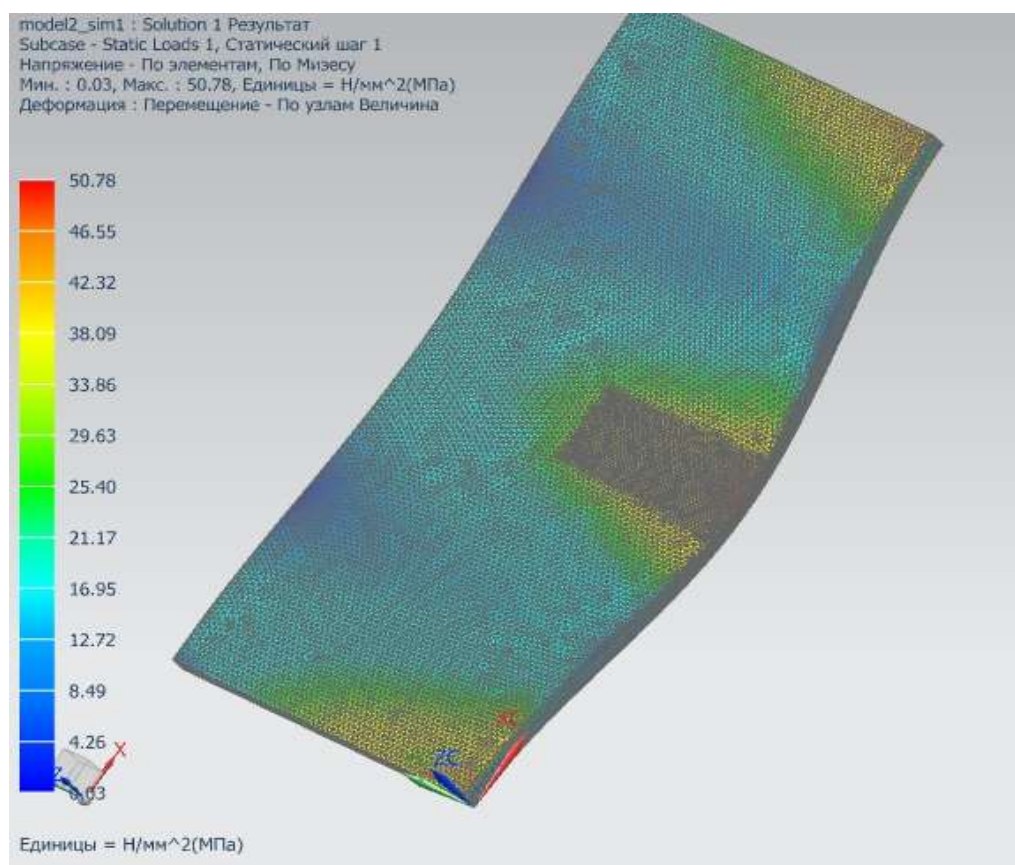


Рисунок 3.12 - Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 2 програма NX.

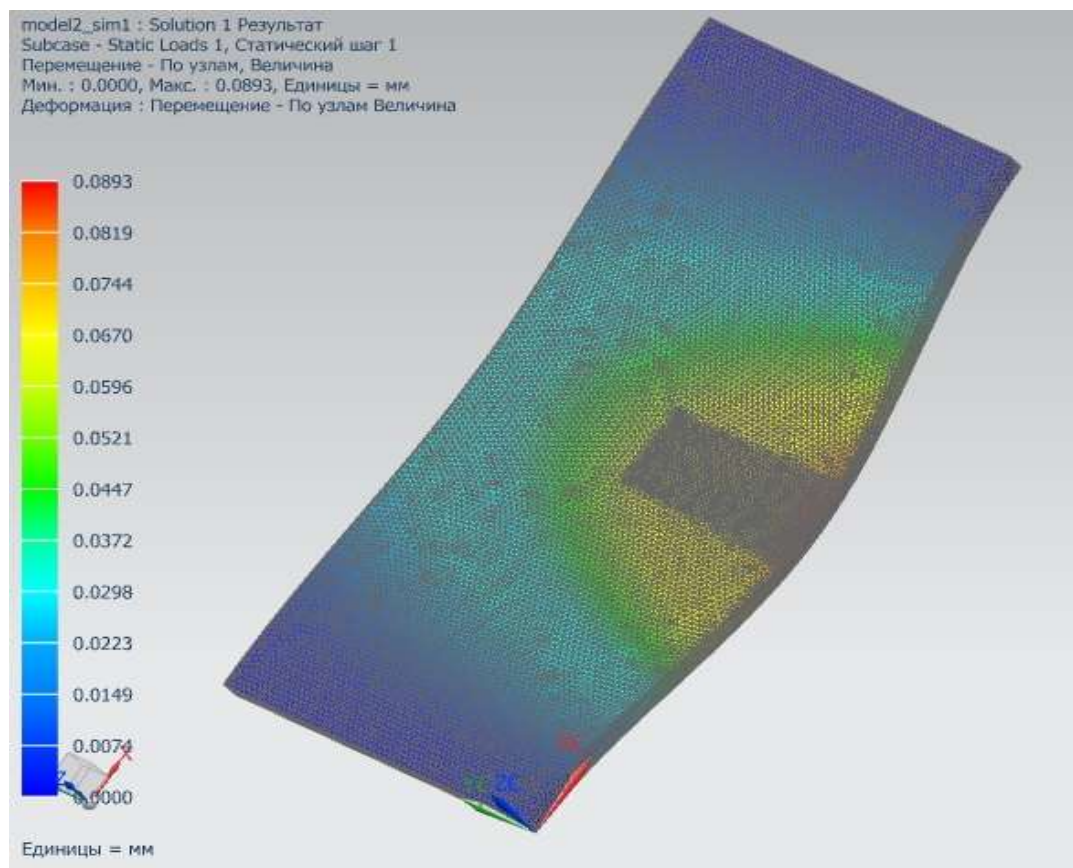


Рисунок 3.13 - схема розподілення деформації деталі експеримент 2
програма NX.

Таблиця 3.5 – результати другого експерименту отримані за допомогою
програми NX.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на плоскість с краю деталі	100Н	напруження, МПа	50	194	656	1034
		деформація, м	8,93E-05	7,01E-04	0,0058	0,011
	30Н	напруження, МПа	15	58	209	310
		деформація, м	2,68E-05	2,1E-04	0,0017	0,0032

В третьому експерименті розглянемо вплив полімерно-абразивної щітки на деталь товщиною 2мм, навантаження в 100Н буде прикладене с краю деталі на лінію за допомогою комп'ютерної програми NX, рисунок 3.14, 3.15.

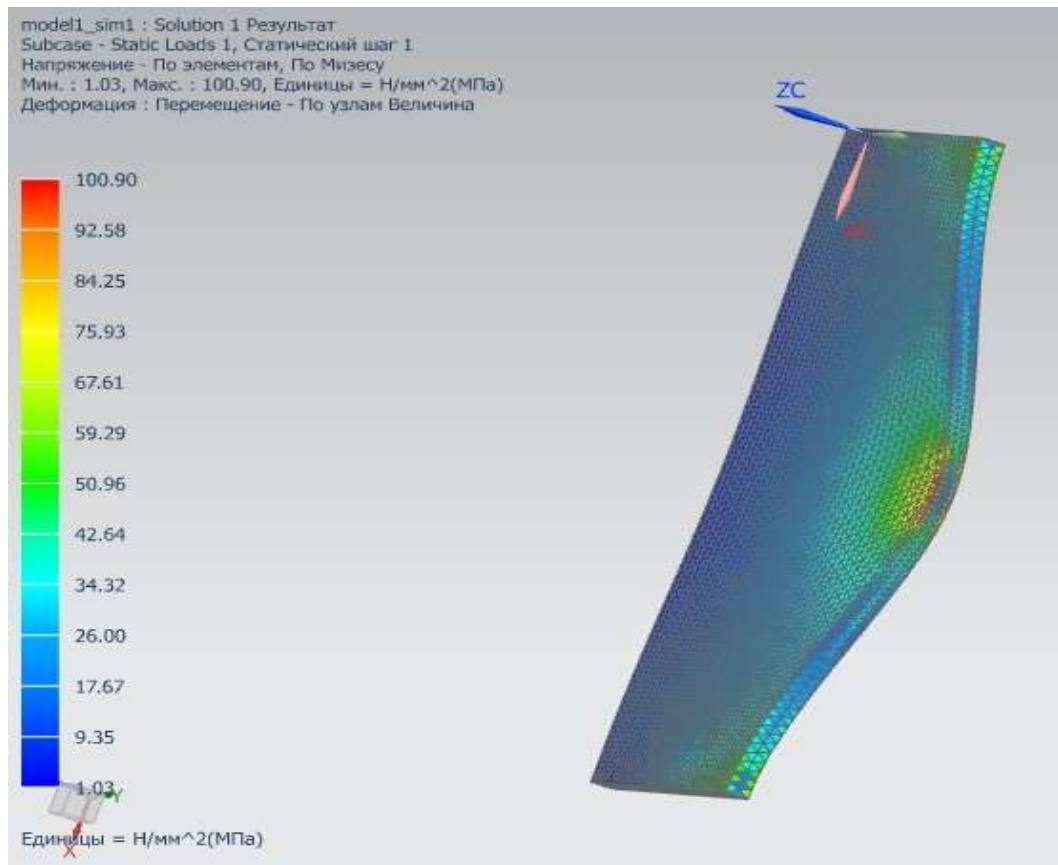


Рисунок 3.14 - Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 3 програма NX.

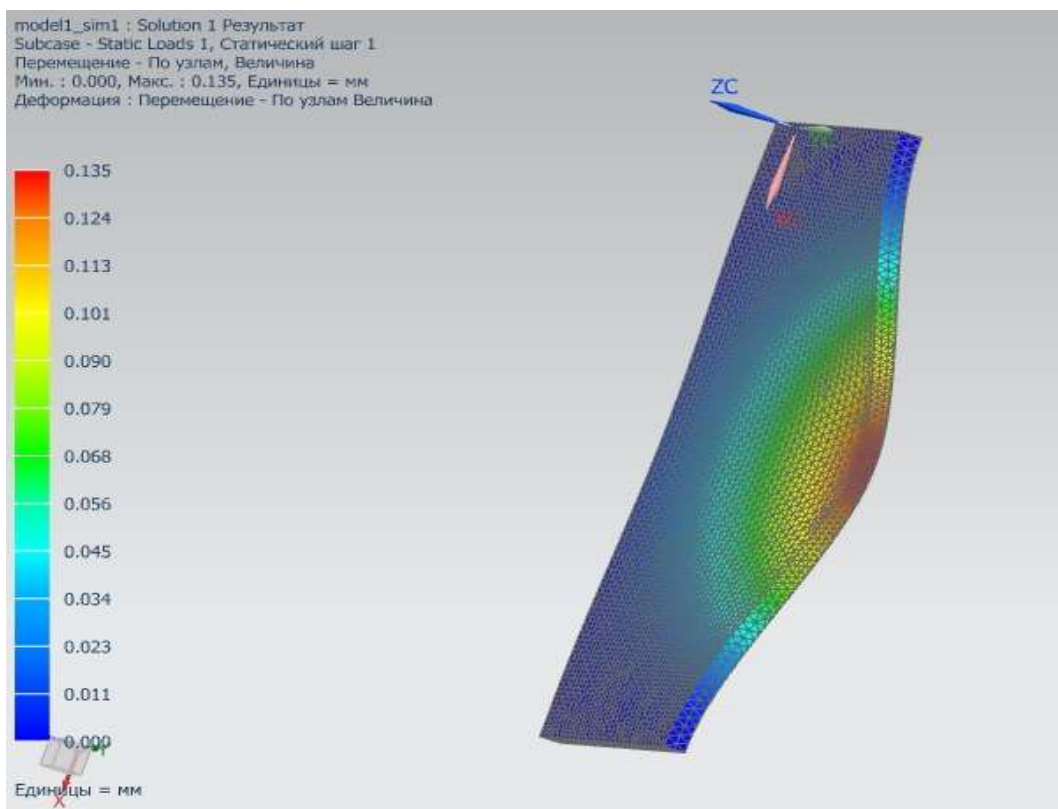


Рисунок 3.15 - схема розподілення деформації деталі експеримент 3 програма NX.

Таблиця 3.6 – результати третього експерименту отримані за допомогою програми NX.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на лінію с краю деталі	100Н	напруження, МПа	100	290	1177	-
		деформація, м	1,35E-06	0,001	0,0084	-
	30Н	напруження, МПа	55	105	352	-
		деформація, м	4,07E-05	3,16E-04	0,0025	-

3.2.3 Розрахунок за допомогою програми Abaqus

Експеримент перший з навантаження на площину в центрі деталі результати рисунок 3.16, 3.17.

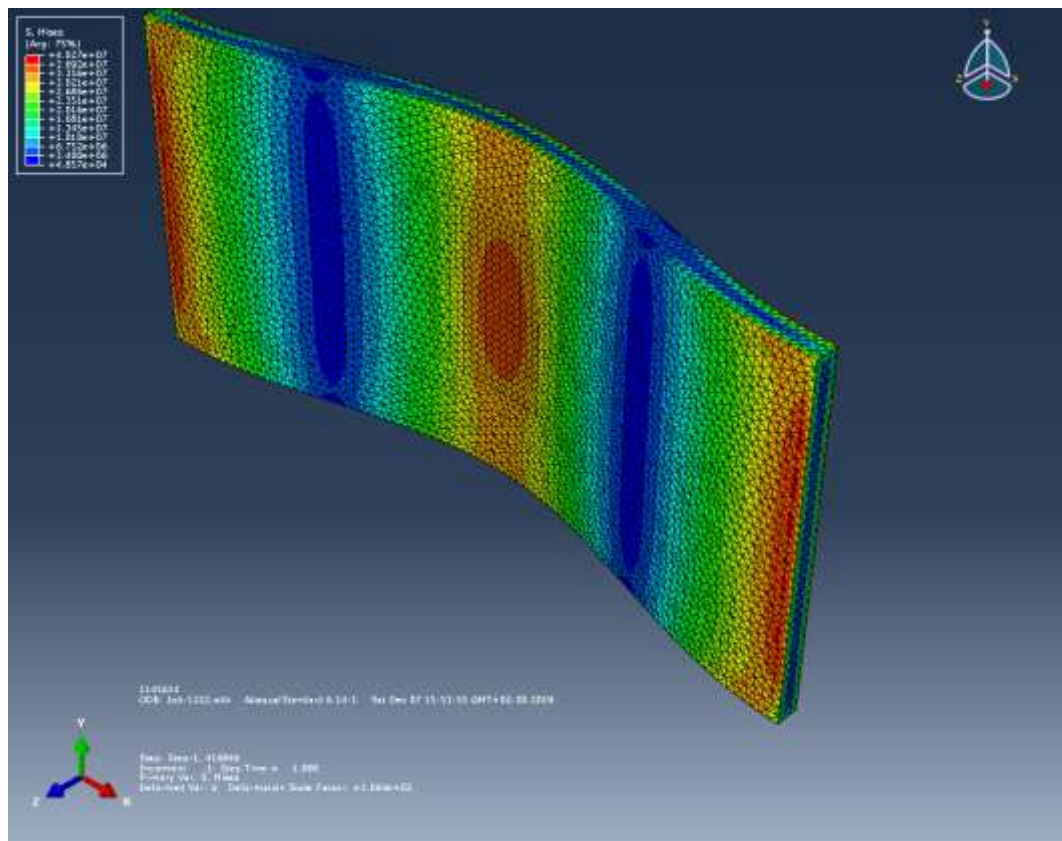


Рисунок 3.16 - Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 1 програма Abaqus.

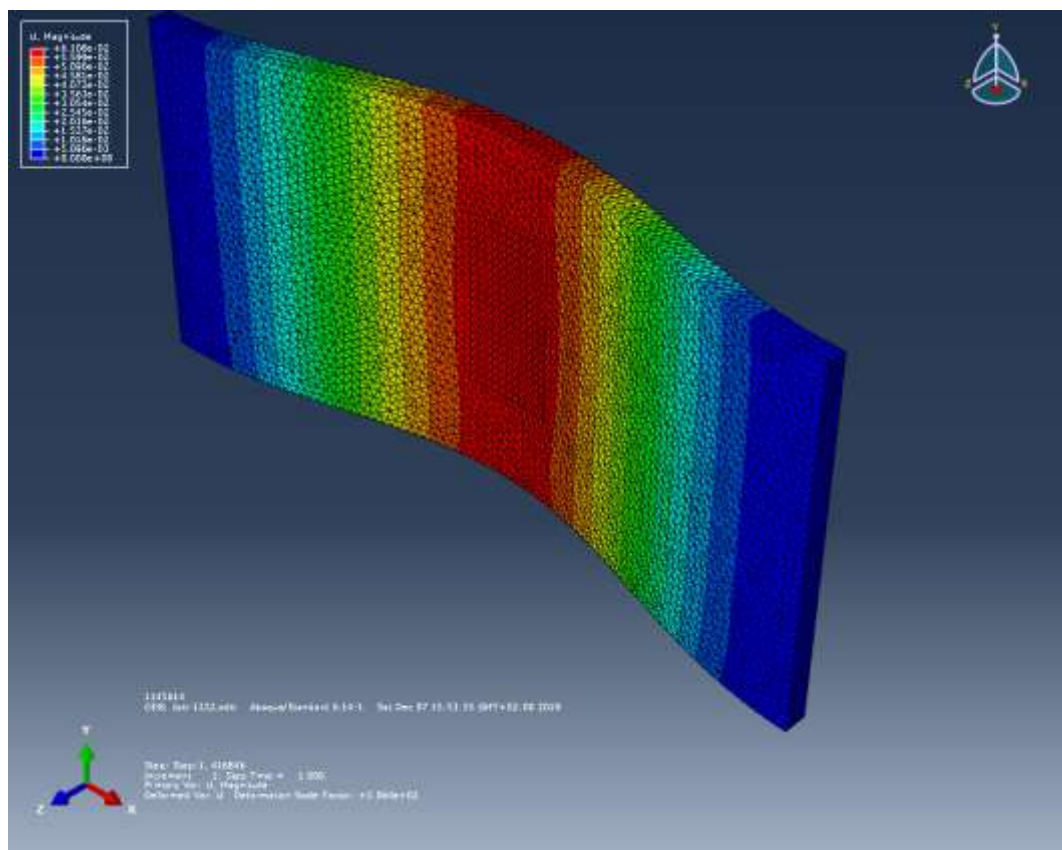


Рисунок 3.17 - схема розподілення деформації деталі експеримент 1 програма Abaqus.

Таблиця 3.7 – результати першого експерименту отримані за допомогою програми Abaqus.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на плоскість в центрі деталі	100Н	напруження, МПа	40	149	597	932
		деформація, м	6,1E-05	4,84E-04	0,0039	0,0075
	30Н	напруження, МПа	13	49	194	303
		деформація, м	1,98E-05	1,57E-04	0,0013	0,0024

Експеримент другий з навантаження на площину з краю деталі результати рисунок 3.18, 3.19.

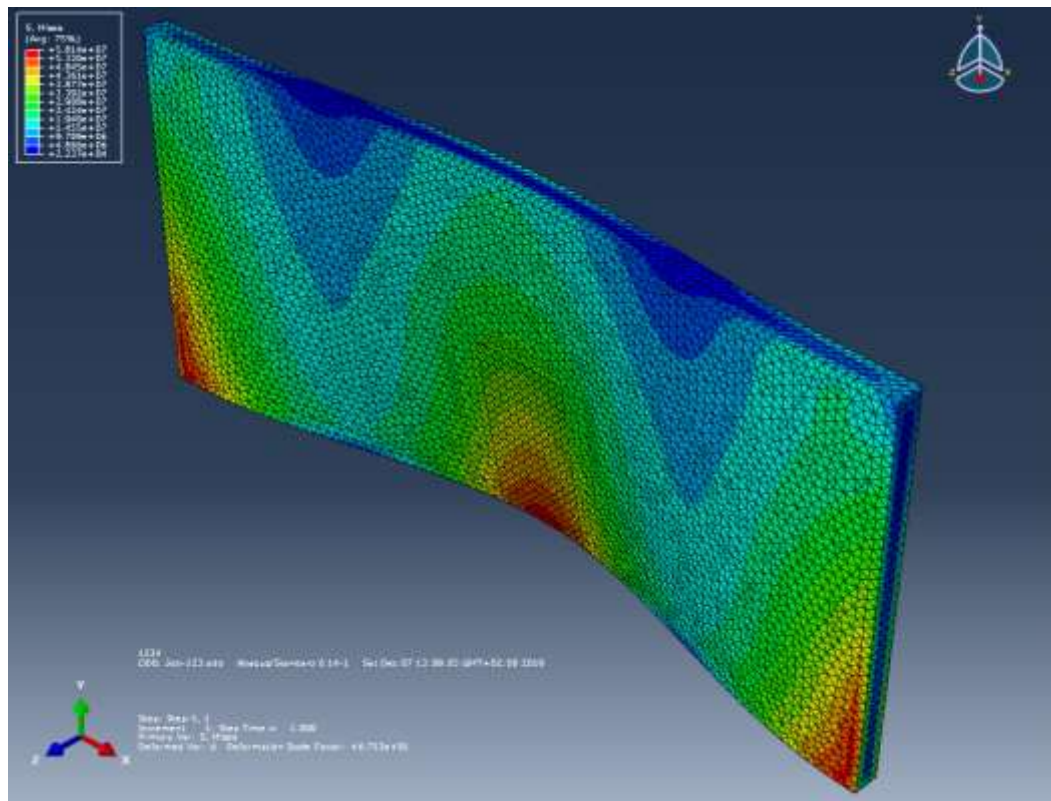


Рисунок 3.18 - Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 2 програма Abaqus.

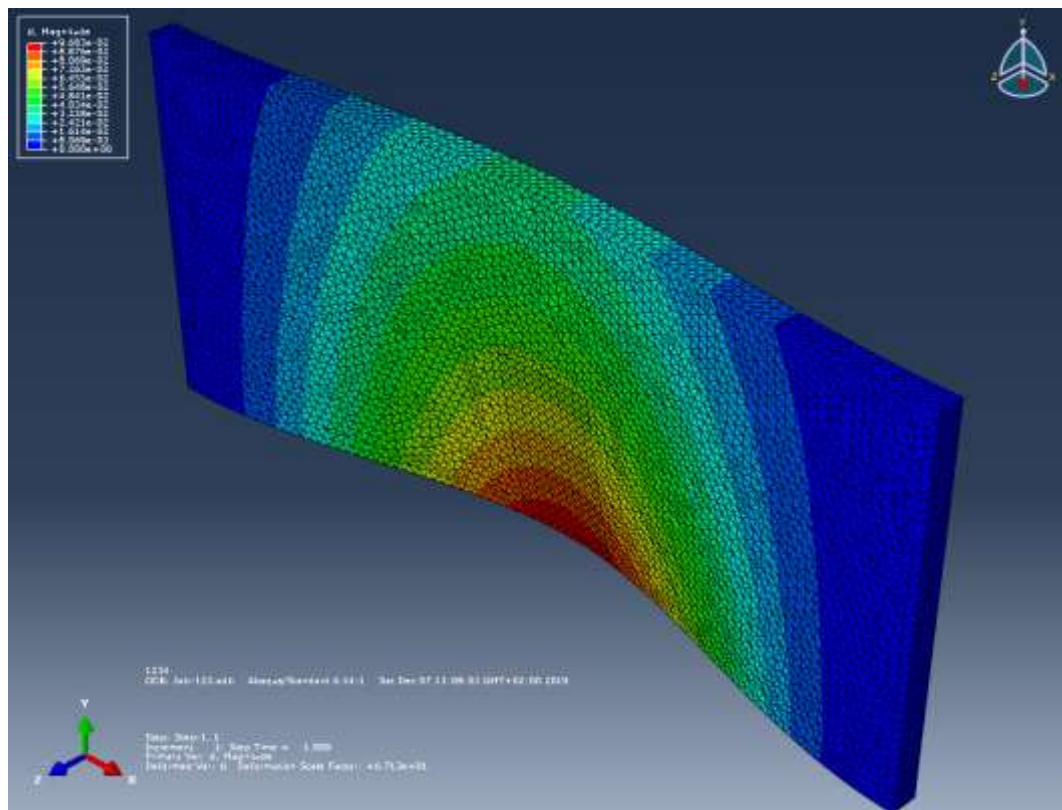


Рисунок 3.19 - схема розподілення деформації деталі експеримент 2 програма Abaqus.

Таблиця 3.8 – результати другого експерименту отримані за допомогою програми Abaqus.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на площину з краю деталі	100Н	напруження, МПа	58	224	902	1427
		деформація, м	9,68E-05	7,61E-04	0,006	0,011
	30Н	напруження, МПа	19	73	294	464
		деформація, м	3,15E-05	2,48E-04	0,0019	0,0038

Експеримент третій з навантаження на площину з краю деталі, результати рисунок 3.20, 3.21.

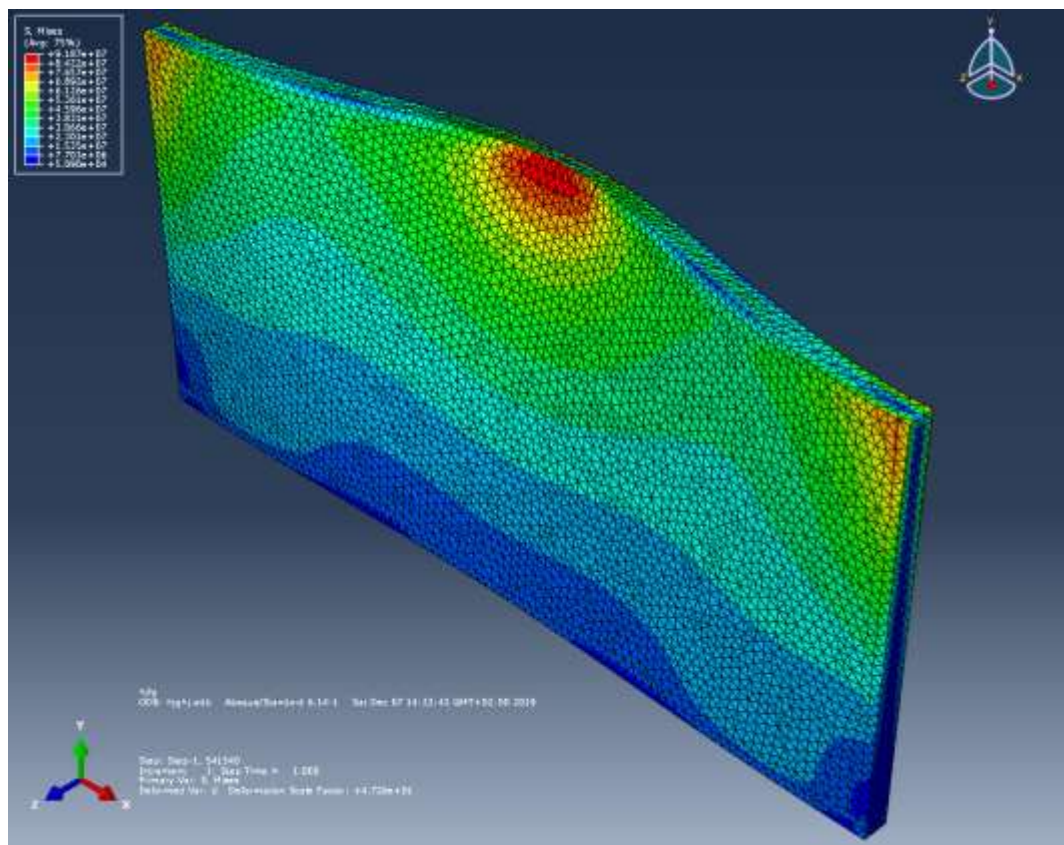


Рисунок 3.20 - Схема розподілення внутрішніх напружень експеримент 3 програма Abaqus.

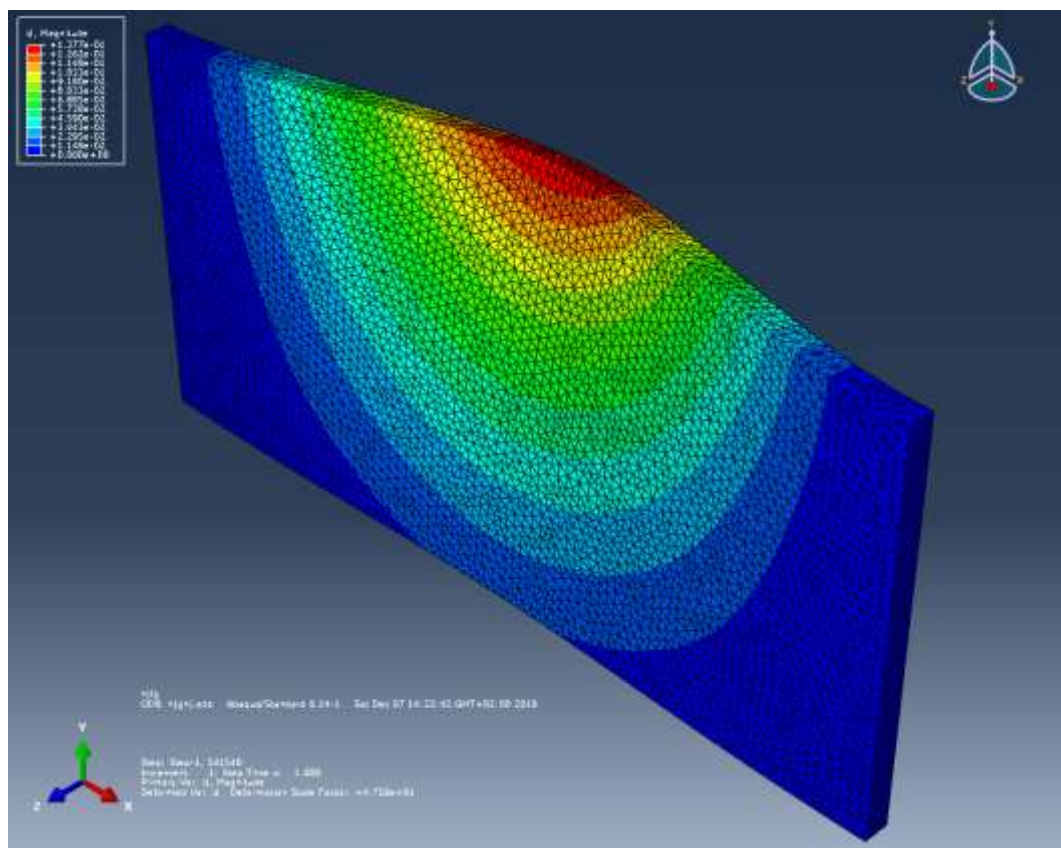


Рисунок 3.21 - схема розподілення деформації деталі експеримент 2 програма Abaqus.

Таблиця 3.9 – результати третього експерименту отримані за допомогою програми Abaqus.

Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
Навантаження на лінію с краю деталі	100Н	напруження, МПа	91	919	1493	-
		деформація, м	1,38E-04	1,07E-03	0,0085	-
	30Н	напруження, МПа	28	111	450	-
		деформація, м	4,15E-05	3,24E-04	0,0026	-

Після проведення всіх розрахунків за допомогою комп'ютерних програм проводимо розрахунок першого експерименту математичним методом.

3.2.4 Розрахунок напруження та деформації деталі математичним методом

Наша деталь представляє собою плоску балку жорстко закріплену з обох кінців та силою навантаження в 100Н в центрі. Даний тип схеми є стандартним типом статично не визначеної балки. Розрахунок такої ведеться наступним чином:

Спрощена схема закріплення та навантаження рисунок 3.22.

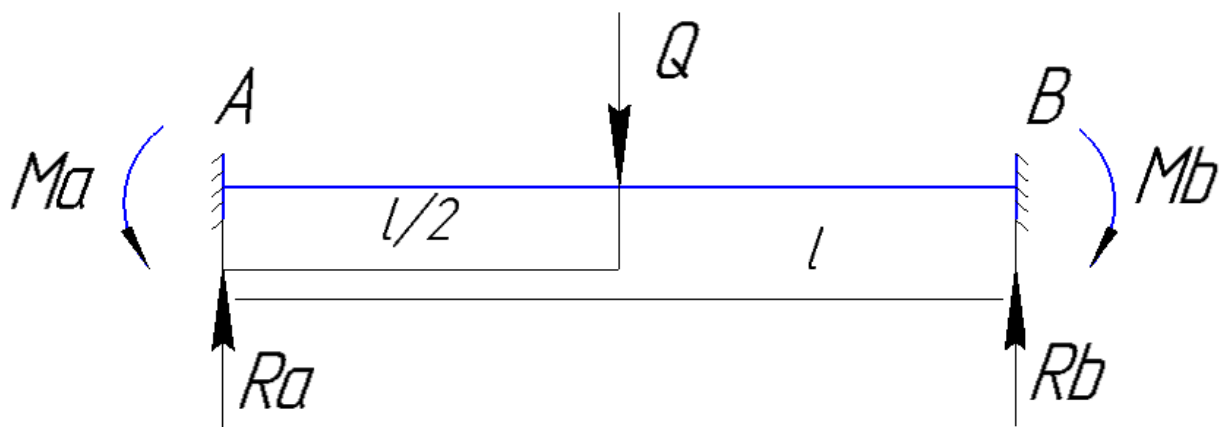


Рисунок 3.22 – Спрощена схема балки с навантаженням.

Вихідні дані для розрахунку даної схеми:

$L=0.065\text{м}$ – довжина пластини

$H=0.002\text{м}$ – товщина пластини

$B=0.03\text{м}$ – ширина пластини

$Q=100\text{Н}$ - навантаження

$E=112\cdot 10^9\text{Па}$ – модуль юнга для титана

Розрахунок максимального напруження та максимальної деформації.

За даною схемою реакції опор R_a та R_b рівні та розраховуються за наступною формулою:

$$R_a = R_b = \frac{Q}{2}; \quad 3.1$$

$$Ra = Rb = \frac{100}{2} = 50\text{Н}$$

Виникаючі моменти M_a та M_b також рівні та розраховуються за наступною формулою:

$$Ma = Mb = -\frac{Ql}{8}; \quad 3.2$$

$$Ma = Mb = -\frac{100 \cdot 0,065}{8} = -0.8125\text{Н} \cdot \text{м}$$

Знаходимо максимальний момент за формулою:

$$M_{max} = \frac{Ql}{8}; \quad 3.3$$

$$M_{max} = \frac{100 \cdot 0.065}{8} = 0.8125\text{Н} \cdot \text{м}$$

Для визначення значень максимального напруження та максимальної деформації спочатку необхідно знайти осьовий момент інерції J_x та осьовий момент супротиву W_x за наступними формулами:

$$J_x = \frac{B \cdot H^3}{12}; \quad 3.4$$

$$J_x = \frac{0.065 \cdot 0.002^3}{12} = 2 \cdot 10^{-11} \text{см}^4$$

$$W_x = \frac{B \cdot H^2}{6}; \quad 3.5$$

$$W_x = \frac{0.065 \cdot 0.002^2}{6} = 2 \cdot 10^{-8} \text{см}^3$$

За допомогою знайдених значень моменту інерції та моменту супротиву знаходимо максимальні значення напруження σ_{max} яке виникає в деталі та максимальне значення деформації f_{max} за наступними формулами 3.6 та 3.7:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x}; \quad 3.6$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.8125}{2 \cdot 10^{-8}} = 40.6 \text{ МПа}$$

$$f_{max} = -\frac{Q \cdot l^3}{192 E J}; \quad 3.7$$

$$f_{max} = -\frac{100 \cdot 0.065^3}{192 \cdot 112 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-11}} = 6.39 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Всі подальші розрахунки проводимо за допомогою програми Excel змінюючи товщину пластини на 1мм, 0.5мм та 0.4мм, а також міняючи навантаження на 30Н всі дані заносимо до таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Дані математичного розрахунку напруження та деформації пластини.

Товщина пластини	навантаження 100Н				навантаження 30Н			
	2мм	1мм	0,5мм	0,4мм	2мм	1мм	0,5мм	0,4мм
l, м	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
P, м	0,002	0,001	0,0005	0,0004	0,002	0,001	0,0005	0,0004
B, м	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Q, Н	100	100	100	100	30	30	30	30
E, Па	1,12E+11	1,12E+11	1,12E+11	1,12E+11	1,12E+11	1,12E+11	1,12E+11	1,12E+11
J, см ⁴	2E-11	2,5E-12	3,13E-13	1,6E-13	2E-11	2,5E-12	3,13E-13	1,6E-13
W _x , см ³	2E-08	5E-09	1,25E-09	8E-10	2E-08	5E-09	1,25E-09	8E-10
A=B, Н	50	50	50	50	15	15	15	15
Ma=Mb, Н*м	-0,8125	-0,8125	-0,8125	-0,8125	-0,24375	-0,24375	-0,24375	-0,24375
Mmax, Н*м	0,8125	0,8125	0,8125	0,8125	0,24375	0,24375	0,24375	0,24375
Fmax, м	6,39E-05	0,000511	0,004087	0,0079818	1,92E-05	0,000153	0,001226	0,002395
σ, Па	40625000	1,63E+08	6,5E+08	1015625000	12187500	48750000	1,95E+08	3,05E+08

3.3 Порівняння та аналіз отриманих результатів

В попередньому розділі були проведені всі експерименти, отримані та записані всі дані. Були розраховані внутрішні напруження та деформації деталей різної товщини та при різних умовах навантаження, за допомогою трьох програм та математичного методу. Розглянемо проаналізуємо та порівнюємо дані отримані в першому експерименті.

3.3.1 Порівняння результатів отриманих при навантаженні деталі на площину по центру

Для порівняння отриманих даних першого експерименту заносимо дані до таблиці 3.11 та 3.12.

Таблиця 3.11 – Внутрішні напруження першого експерименту

навантаження на площину по центру (100Н)				
товщина пластини, мм	напруження виникаючі в деталі, Мпа			
	розрахунок	ANSYS	NX	Abaqus
2	41	38	35	40
1	162	144	112	149
0,5	650	594	529	597
0,4	1015	923	1061	932
навантаження на площину по центру (30Н)				
	розрахунок	ANSYS	NX	Abaqus
2	12	12	10	13
1	49	47	34	49
0,5	195	193	158	195
0,4	305	300	318	303

По даним таблиці 3.11 для наглядного результату будуємо графіки залежності внутрішніх напружень від товщини деталі при різних навантаженнях в 30Н та 100Н.

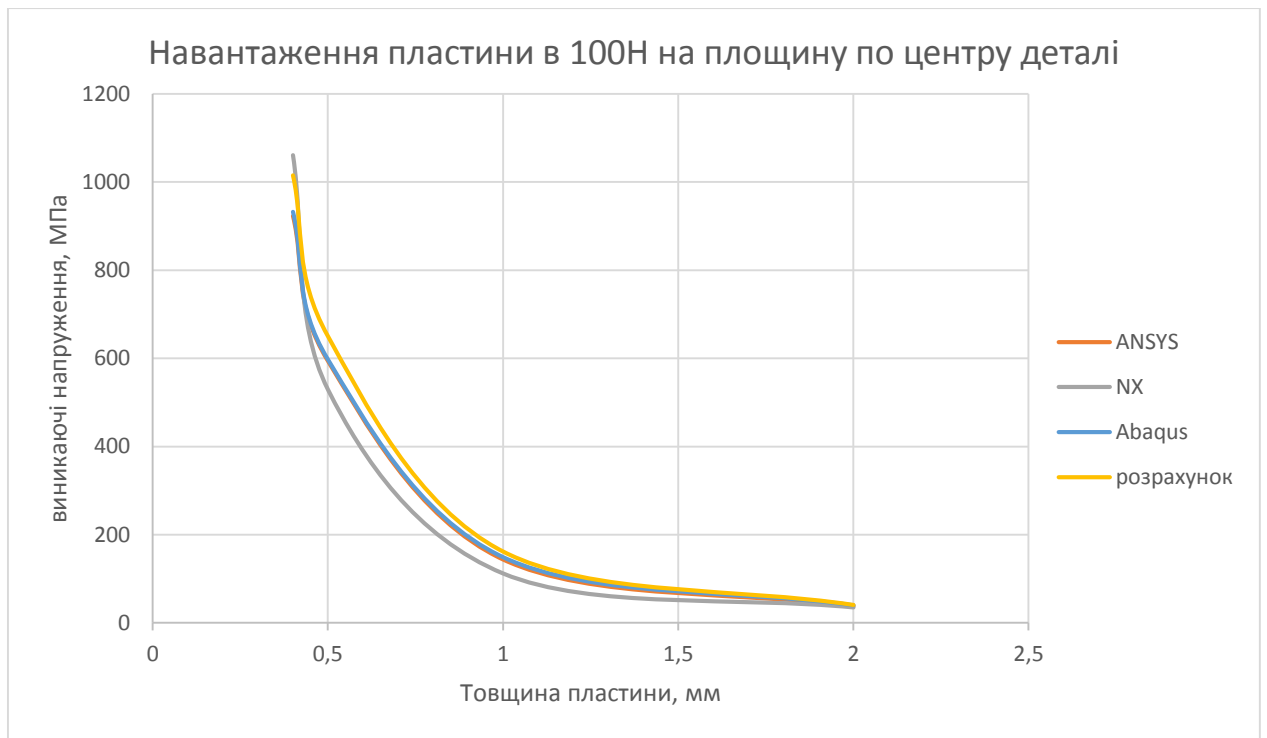


Рисунок 3.21 – Діаграма напружень експеримент 1 навантаження 100Н.

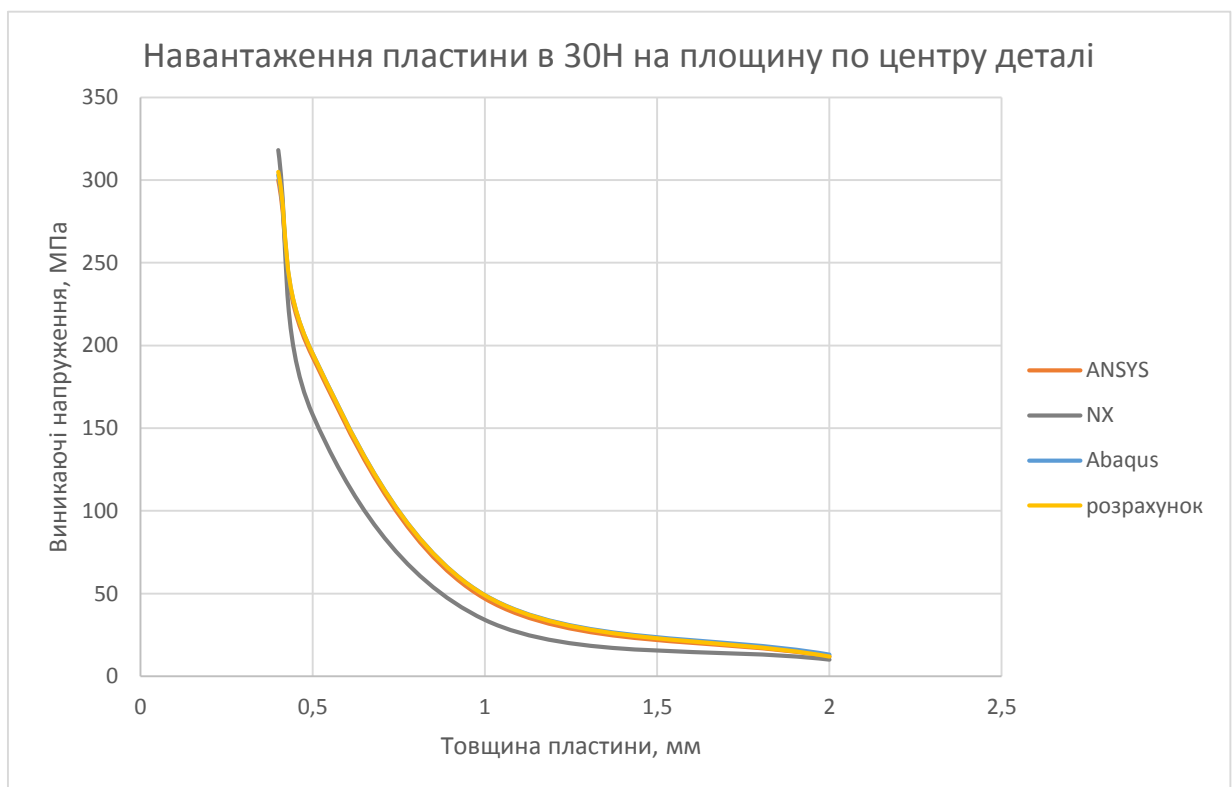


Рисунок 3.22 – Діаграма напружень експеримент 1 навантаження 30Н.

Таблиця 3.12 – Деформації деталі першого експерименту.

навантаження на площину по центру (100Н)				
товщина пластини, мм	деформації виникаючі в деталі, м			
	розрахунок	ANSYS	NX	Abaqus
2	6,39E-05	5,87E-05	4,75E-05	6,10E-05
1	5,11E-04	4,65E-04	2,67E-04	4,84E-04
0,5	0,004087	0,0037	0,00099	0,0039
0,4	0,007982	0,0073	0,002	0,0075
навантаження на площину по центру (30Н)				
	розрахунок	ANSYS	NX	Abaqus
2	1,92E-05	1,91E-05	1,40E-05	1,98E-05
1	1,53E-04	1,51E-04	8,00E-05	1,57E-04
0,5	0,001226	0,0012	0,0003	0,0013
0,4	0,002395	0,0023	0,0006	0,0024

По даним таблиці 3.12 для наглядного результату будуємо графіки залежності деформації деталі від її товщини при різних навантаженнях в 30Н та 100Н.

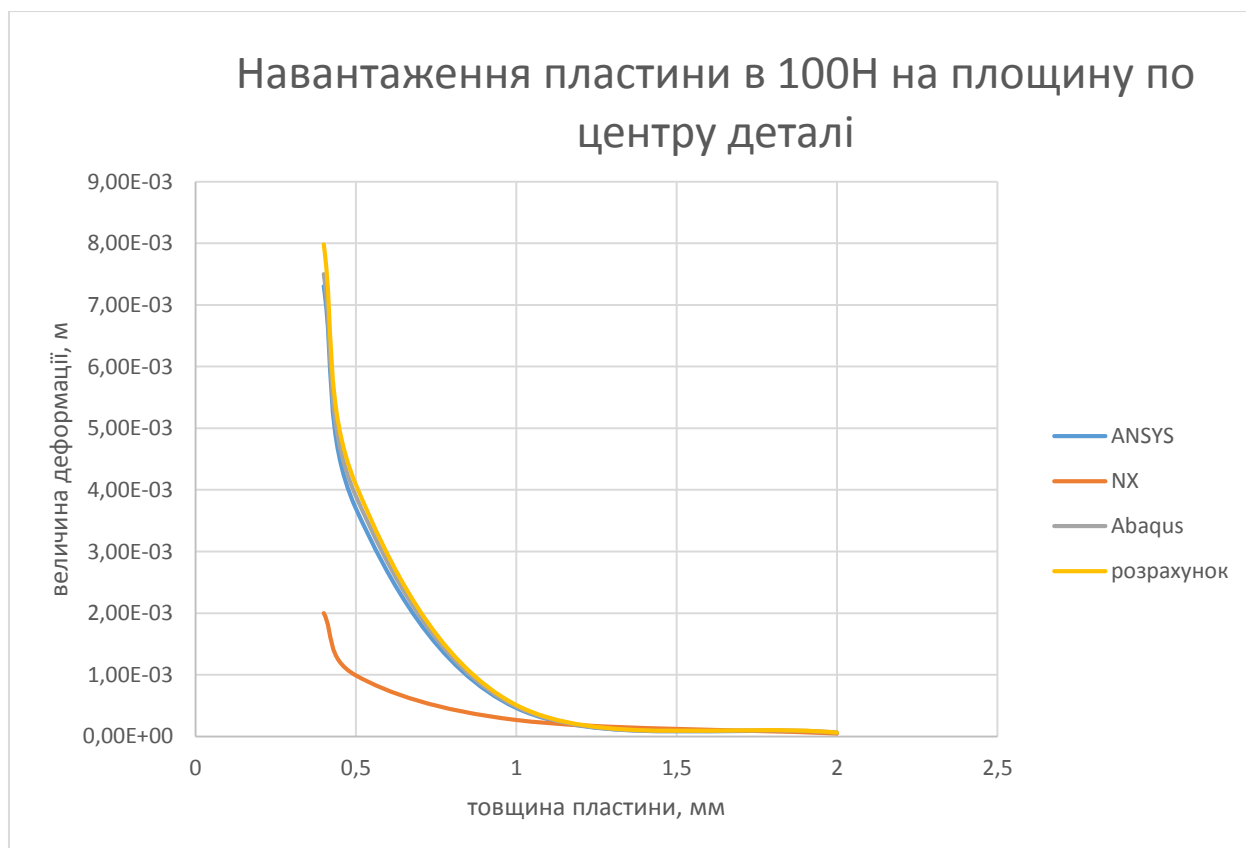


Рисунок 3.23 – Діаграма деформацій експеримент 1 навантаження 100Н.

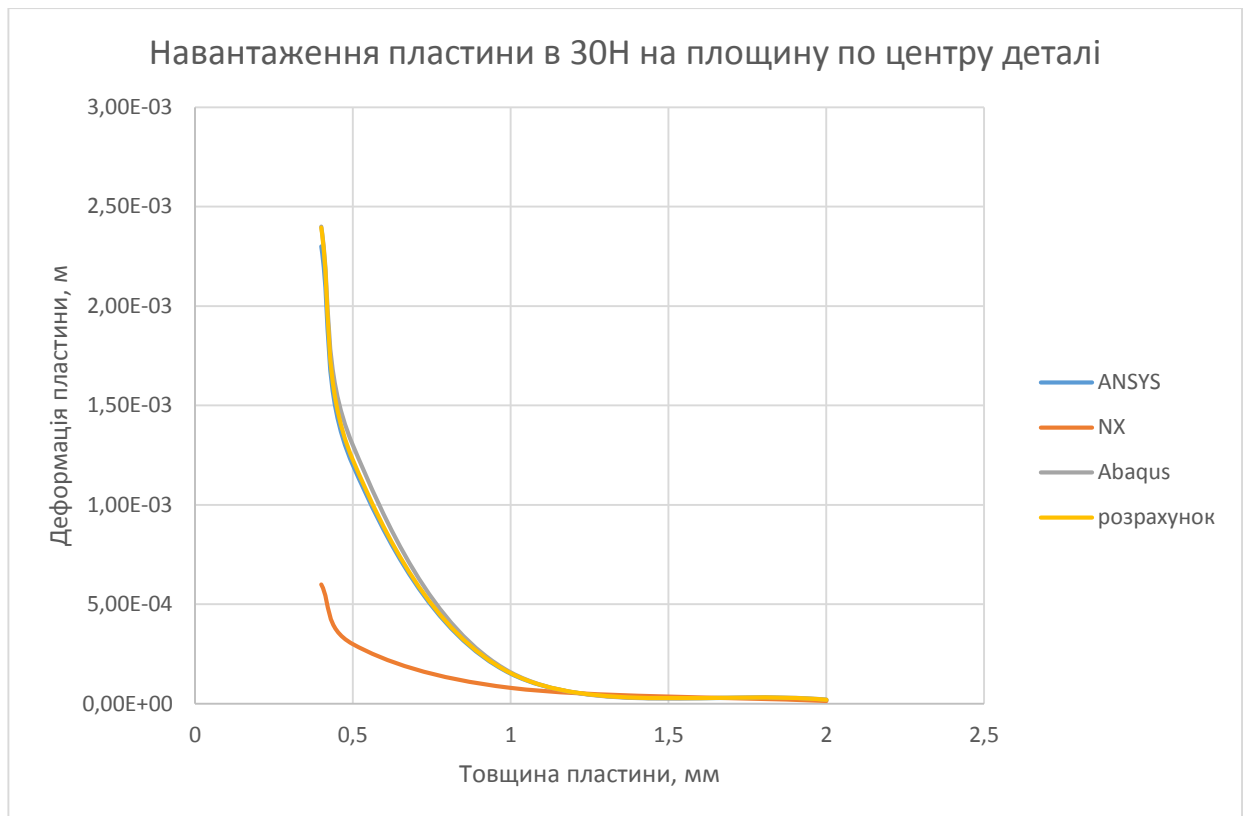


Рисунок 3.24 – Діаграма деформацій експеримент 1 навантаження 30Н.

3.3.2 Порівняння результатів отриманих при навантаженні деталі на площину с краю

Для порівняння отриманих даних другого експерименту заносимо дані до таблиці 3.13 та 3.14.

Таблиця 3.13 – Внутрішні напруження першого експерименту

навантаження на площину с краю (100Н)			
товщина пластины, мм	напруження виникаючі в деталі, Мпа		
	ANSYS	NX	Abaqus
2	56	50	58
1	216	194	224
0,5	887	656	902
0,4	1390	1034	1427
навантаження на площину с краю (30Н)			
	ANSYS	NX	Abaqus
2	19	15	19
1	73	58	73
0,5	299	209	294
0,4	468	310	464

По даним таблиці 3.13 для наглядного результату будуюмо графіки залежності внутрішніх напружень деталі від її товщини при різних навантаженнях в 30Н та 100Н.

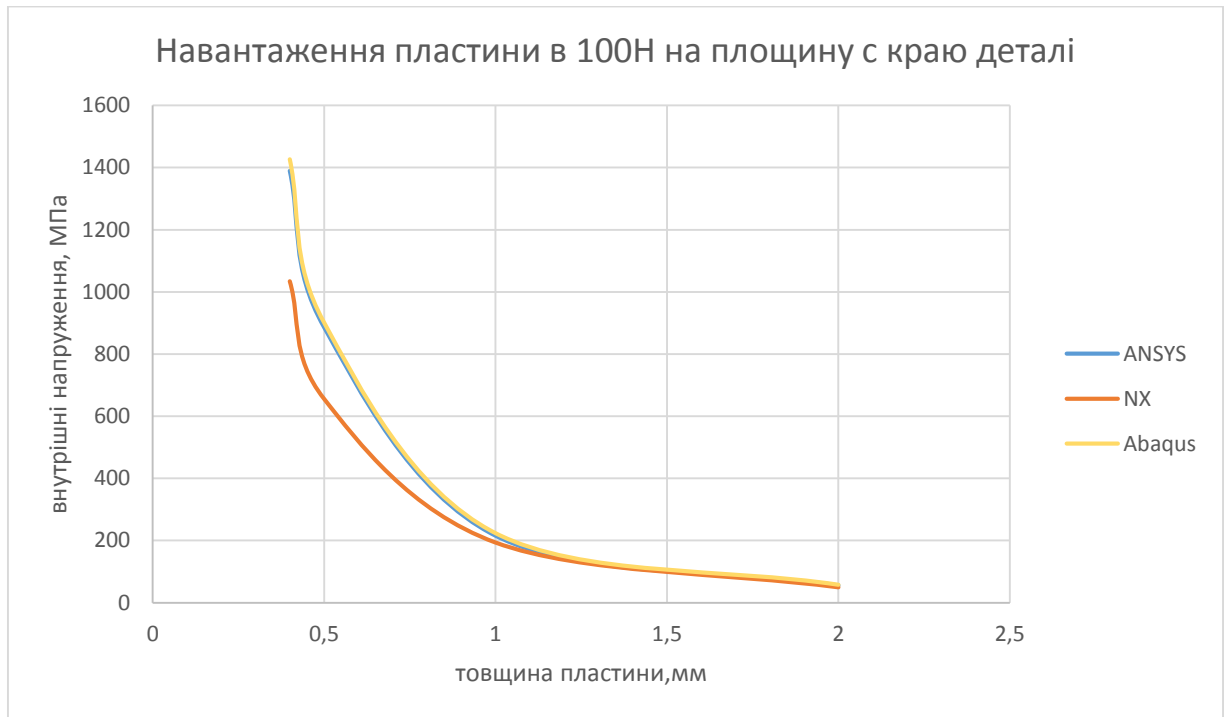


Рисунок 3.25 – Діаграма напружень експеримент 2 навантаження 100Н.

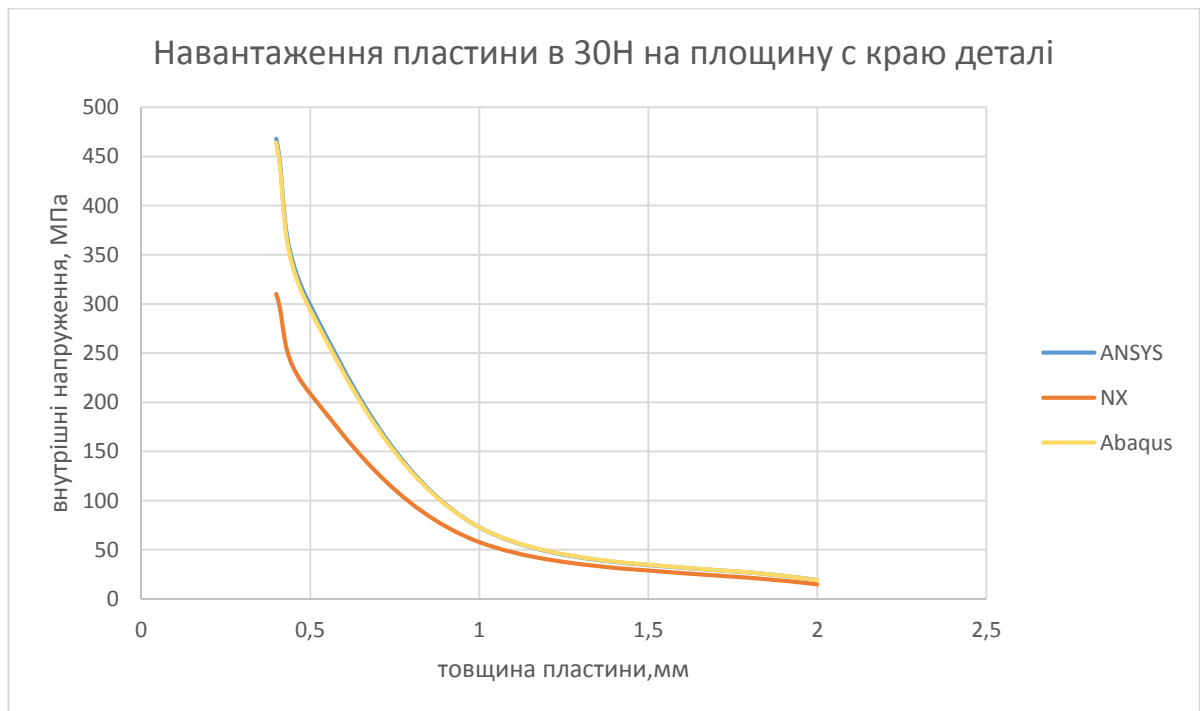


Рисунок 3.26 – Діаграма напружень експеримент 2 навантаження 30Н.

Таблиця 3.14 – деформації деталі другого експерименту.

навантаження на площину с краю (100Н)			
товщина пластини, мм	деформації виникаючі в деталі, м		
	ANSYS	NX	Abaqus
2	9,30E-05	8,93E-05	9,68E-05
1	7,30E-04	7,01E-04	7,61E-04
0,5	0,0058	0,0058	0,006
0,4	0,011	0,011	0,011
навантаження на площину с краю (30Н)			
	ANSYS	NX	Abaqus
2	3,20E-05	2,68E-05	3,15E-05
1	2,50E-04	2,10E-04	2,48E-04
0,5	0,0019	0,0017	0,0019
0,4	0,0038	0,0032	0,0038

По даним таблиці 3.14 для наглядного результату будемо графіки залежності деформацій деталі від її товщини при різних навантаженнях в 30Н та 100Н.

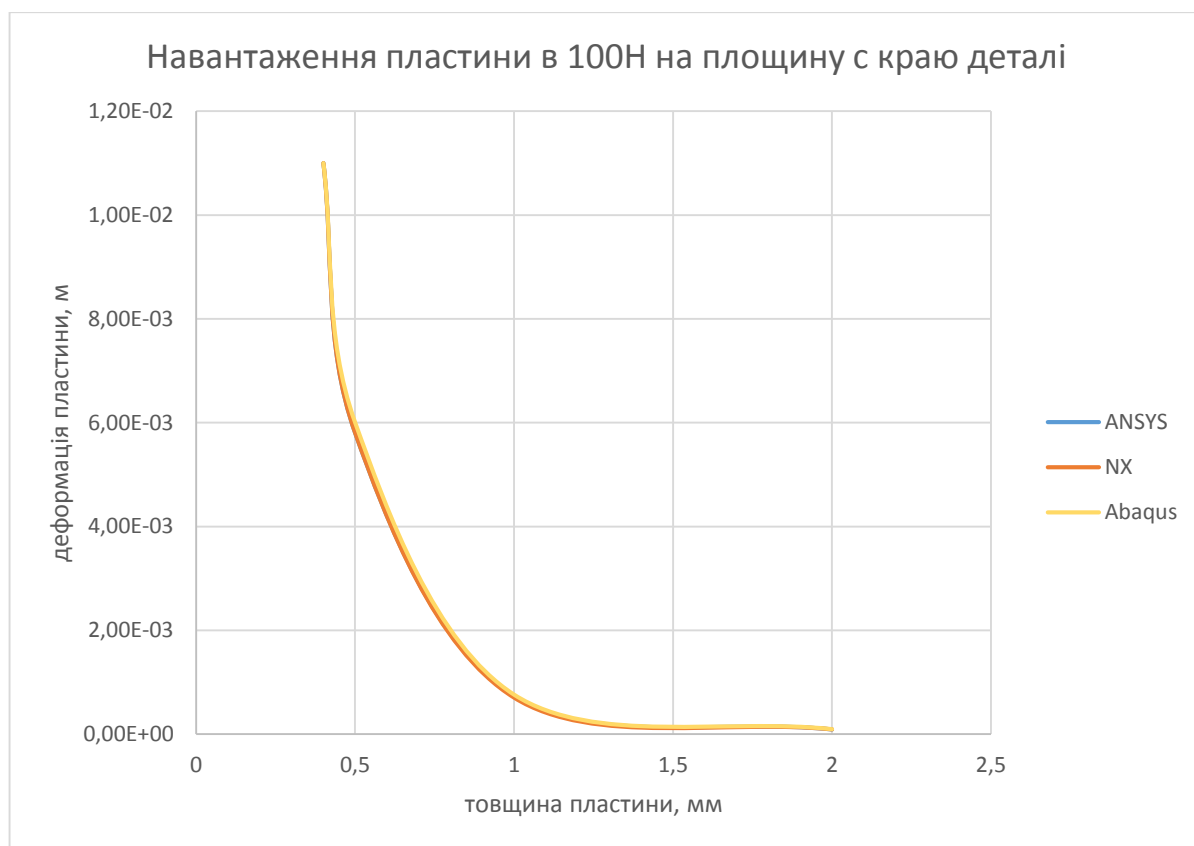


Рисунок 3.27 – Діаграма деформацій експеримент 2 навантаження 100Н.

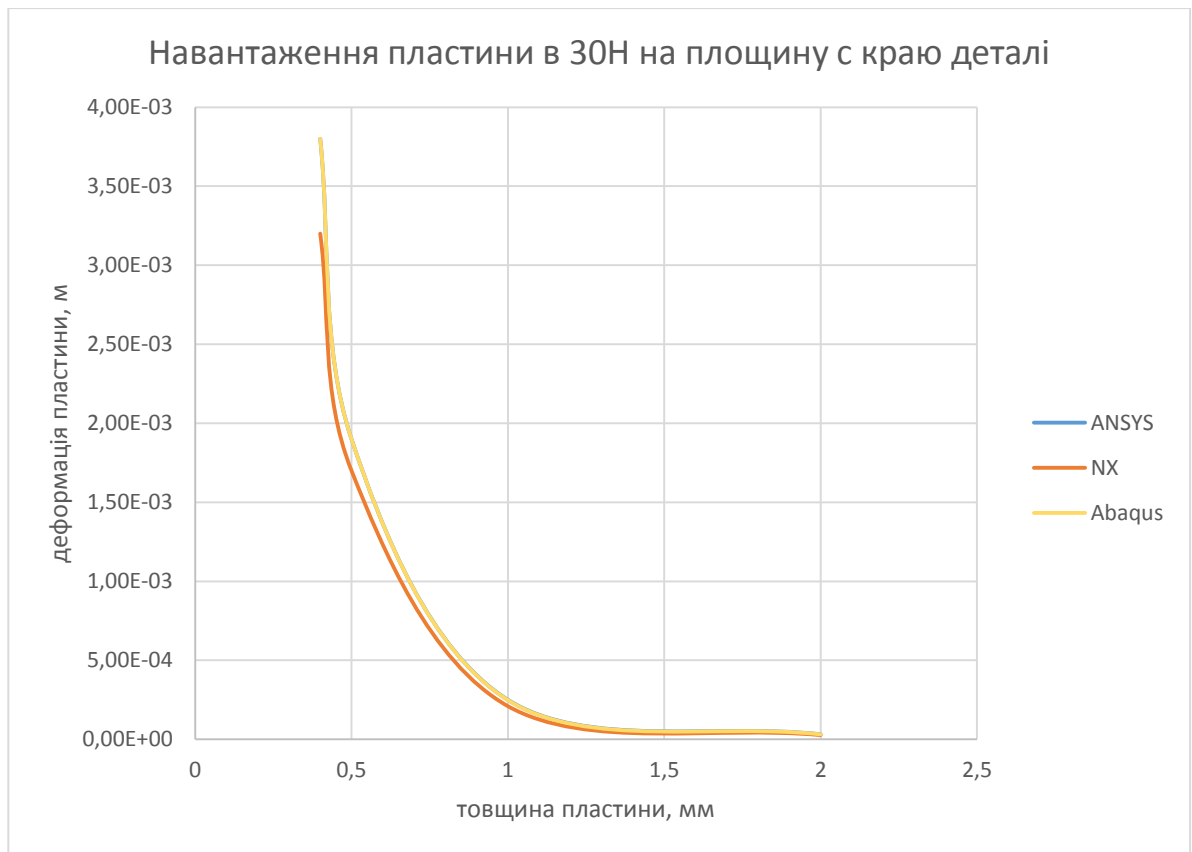


Рисунок 3.27 – Діаграма деформацій експеримент 2 навантаження 30Н.

3.3.3 Порівняння результатів отриманих при навантаженні деталі на лінію с краю

Для порівняння отриманих даних третього експерименту заносимо дані до таблиці 3.15 та 3.16.

Таблиця 3.15 – Внутрішні напруження третього експерименту.

навантаження на лінію с краю (100Н)			
товщина пластини, мм	напруження виникаючі в деталі, Мпа		
	ANSYS	NX	Abaqus
2	91	100	91
1	970	290	919
0,5	1500	1177	1493
навантаження на лінію с краю (30Н)			
	ANSYS	NX	Abaqus
2	27	55	28
1	111	105	111
0,5	452	352	450

По даним таблиці 3.15 для наглядного результату будуюмо графіки залежності внутрішніх напружень деталі від її товщини при різних навантаженнях в 30Н та 100Н.

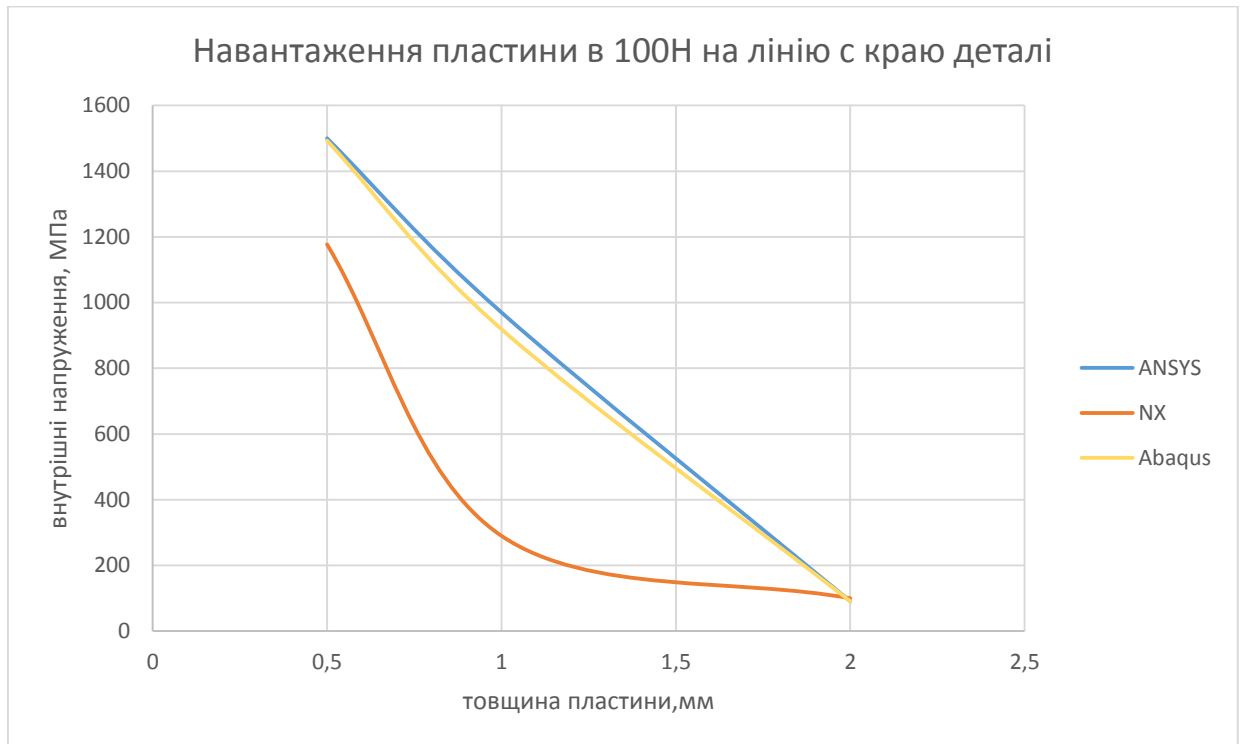


Рисунок 3.28 – Діаграма напружень експеримент 3 навантаження 100Н.

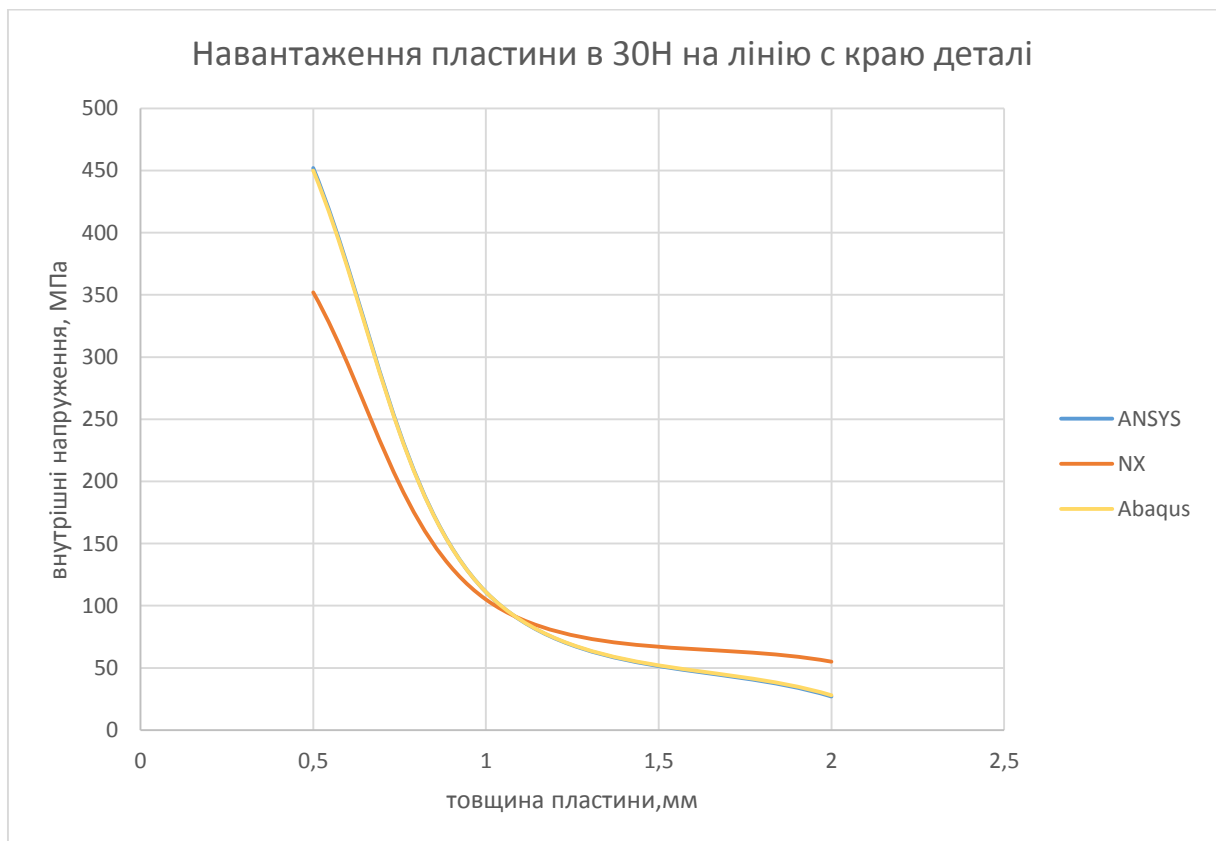


Рисунок 3.29 – Діаграма напружень експеримент 3 навантаження 30Н.

Таблиця 3.16 – деформації деталі третього експерименту.

навантаження на лінію с краю (100Н)			
товщина пластини, мм	деформації виникаючі в деталі, м		
	ANSYS	NX	Abaqus
2	1,40E-04	1,35E-06	1,38E-04
1	1,10E-03	1,00E-03	1,07E-03
0,5	0,0085	0,0084	0,0085
навантаження на лінію с краю (30Н)			
	ANSYS	NX	Abaqus
2	4,10E-05	4,07E-05	4,15E-05
1	3,20E-04	3,16E-04	3,24E-04
0,5	0,0026	0,0025	0,0026

По даним таблиці 3.16 для наглядного результату будуюмо графіки залежності деформацій деталі від її товщини при різних навантаженнях в 30Н та 100Н.

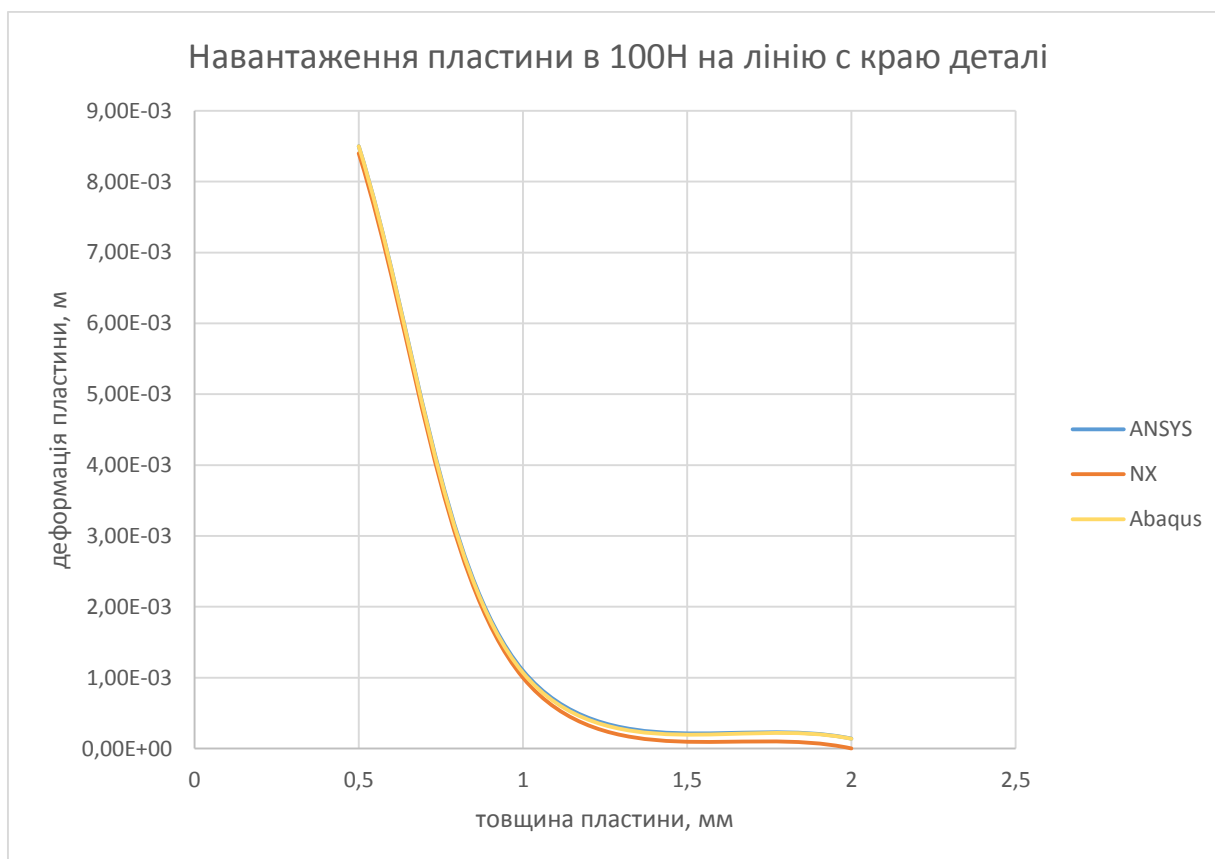


Рисунок 3.30 – Діаграма деформацій експеримент 3 навантаження 100Н.

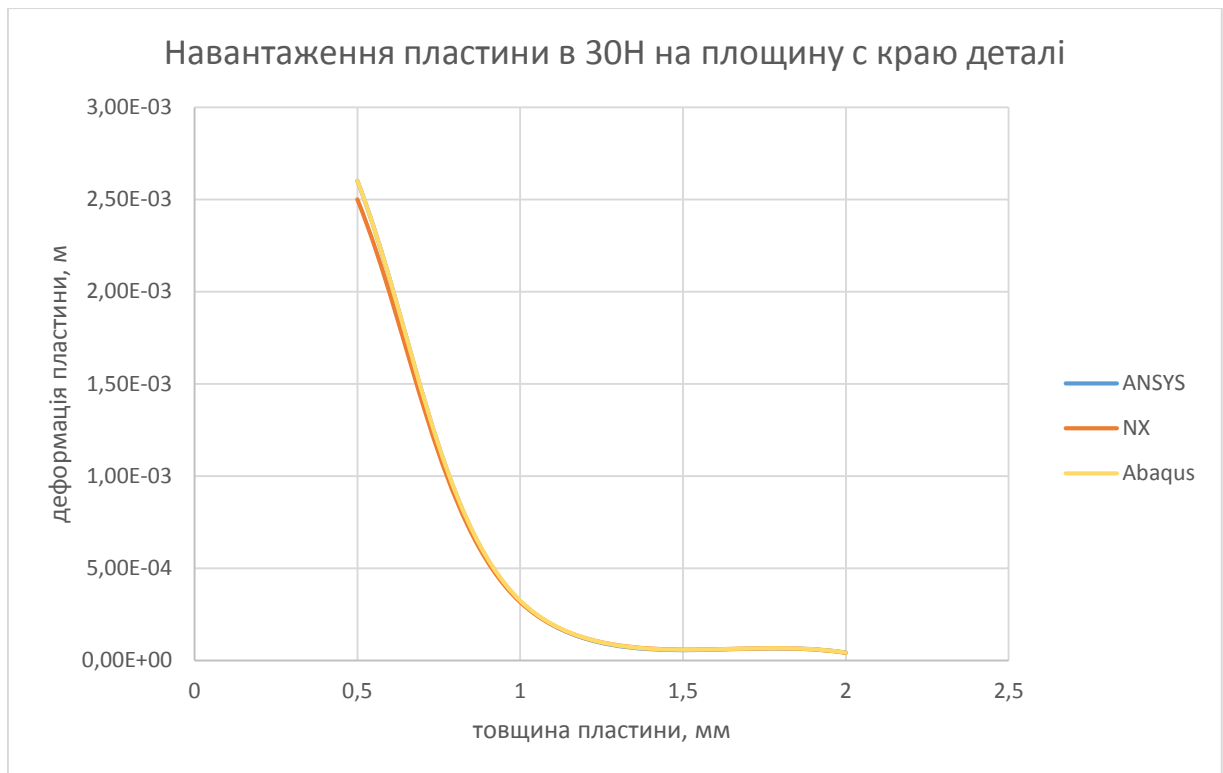


Рисунок 3.31 – Діаграма деформацій експеримент 3 навантаження 30Н.

3.3.4 Розрахунок розбіжності отриманих даних різних програм

По даним першого експерименту, провівши порівняльний аналіз програм та розрахунку по формулам можемо зробити висновок що дані отримані за допомогою програм ANSYS та Abaqus майже не відрізняються від розрахункових даних, на відміну від програми NX розбіжність розрахунків якої значно більша ніж у двох інших програм. Наступним кроком ми розрахуємо значення розбіжності розрахунків кожної програми. Значення розрахунку за формулами беремо за базове та рахуємо розбіжність відносно нього за формулою 3.8, 3.9.

$$\delta_{\sigma} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} \cdot 100, \% \quad 3.8$$

де - σ_1 - значення напруження розрахованого за формулами;

σ_2 - значення напруження отриманих за допомогою програми.

$$\delta_F = \frac{F_1 - F_2}{F_1} \cdot 100, \% \quad 3.9$$

де - F_1 - значення деформації розрахованого за формулами;

F_2 - значення деформації отриманих за допомогою програми.

Розраховуємо розбіжність математичного розрахунку та програмного (ANSYS) за формулами 3.8, 3.9:

$$\delta_\sigma = \frac{41 - 38}{41} \cdot 100 = 7,32\%$$

$$\delta_F = \frac{6,39 \cdot 10^{-5} - 5,87 \cdot 10^{-5}}{6,39 \cdot 10^{-5}} \cdot 100 = 8\%$$

Розрахунки інших експериментів проводимо за допомогою програми Excel та дані заносимо до таблиці 3.17 та 3.18.

Таблиця 3.17 – Дані розбіжностей напружень отриманих в першому експерименті.

розбіжність напруження програмних розрахунків з математичним, %			
товщина пластини, мм	навантаження на площину по центру (100Н)		
	ANSYS	NX	Abaqus
2	7,32	14,63	2,44
1	11,11	30,86	8,02
0,5	8,62	18,62	8,15
0,4	9,06	4,53	8,18
	навантаження на площину по центру (30Н)		
	ANSYS	NX	Abaqus
2	0,00	14,63	2,44
1	4,08	30,86	8,02
0,5	1,03	18,62	8,15
0,4	1,64	4,53	8,18

Таблиця 3.18 – Дані розбіжностей деформацій отриманих в першому експерименті.

Розбіжність деформацій програмних розрахунків з математичним, %			
товщина пластини, мм	навантаження на площину по центру (100Н)		
	ANSYS	NX	Abaqus
2	8,14	25,67	4,54
1	9,00	47,75	5,28
0,5	9,47	75,78	4,58
0,4	8,54	74,94	6,04
	навантаження на площину по центру (30Н)		
2	0,52	27,08	0,00
1	1,31	47,71	0,02
0,5	2,12	75,53	0,12
0,4	3,97	74,95	0,24

Для наглядного показу розбіжності в розрахунках між програм будуюмо графіки розбіжності значень напружень та деформацій (рисунок 3.32 - 3.35)

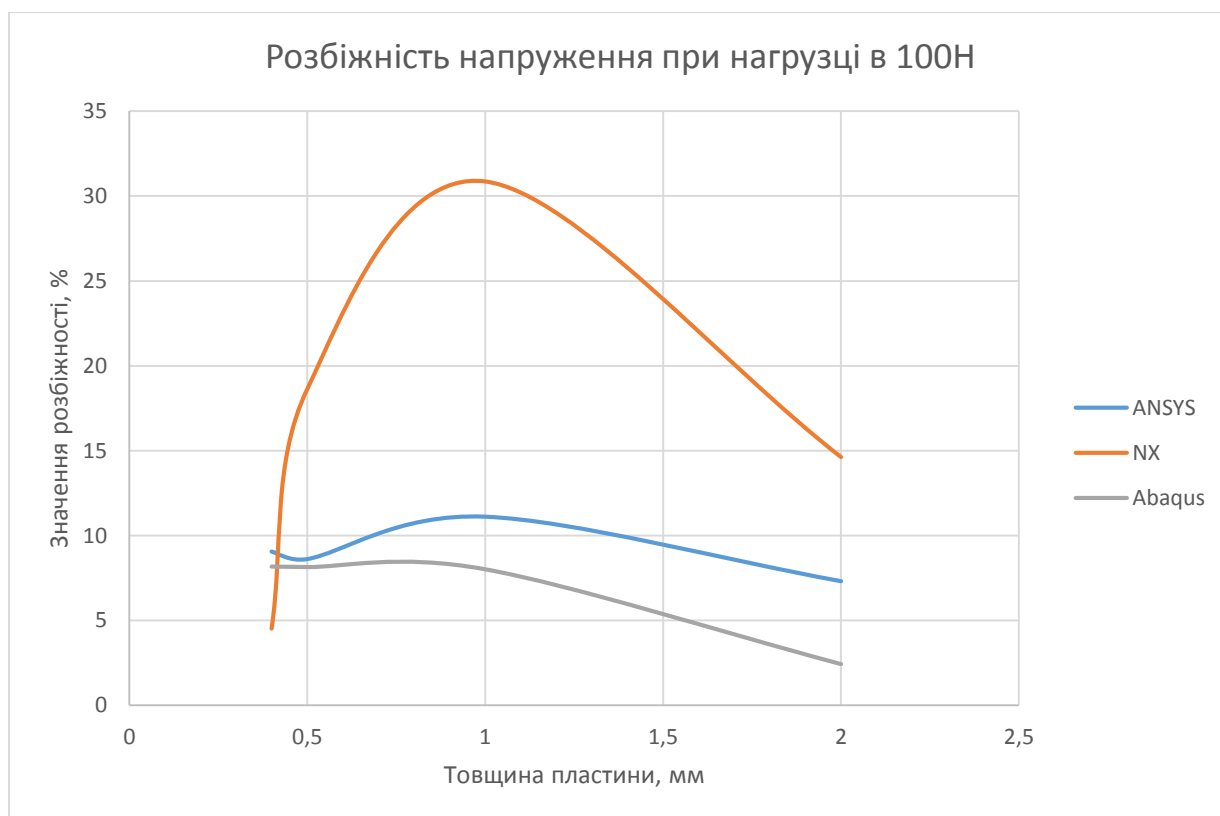


Рисунок 3.32 – Діаграма розбіжності значень напружень при нарузці на площину по центру в 100Н.

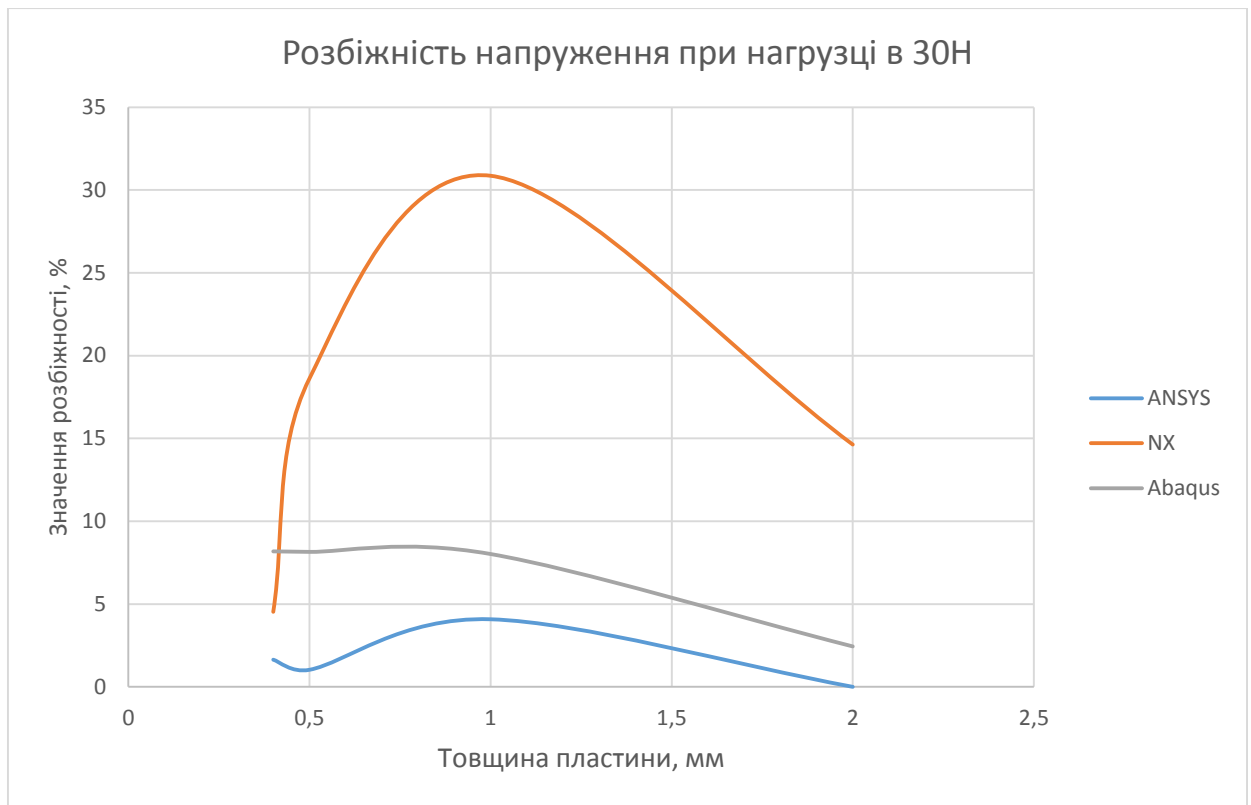


Рисунок 3.33 – Діаграма розбіжності значень напружень при нарузці на площину по центру в 30Н.

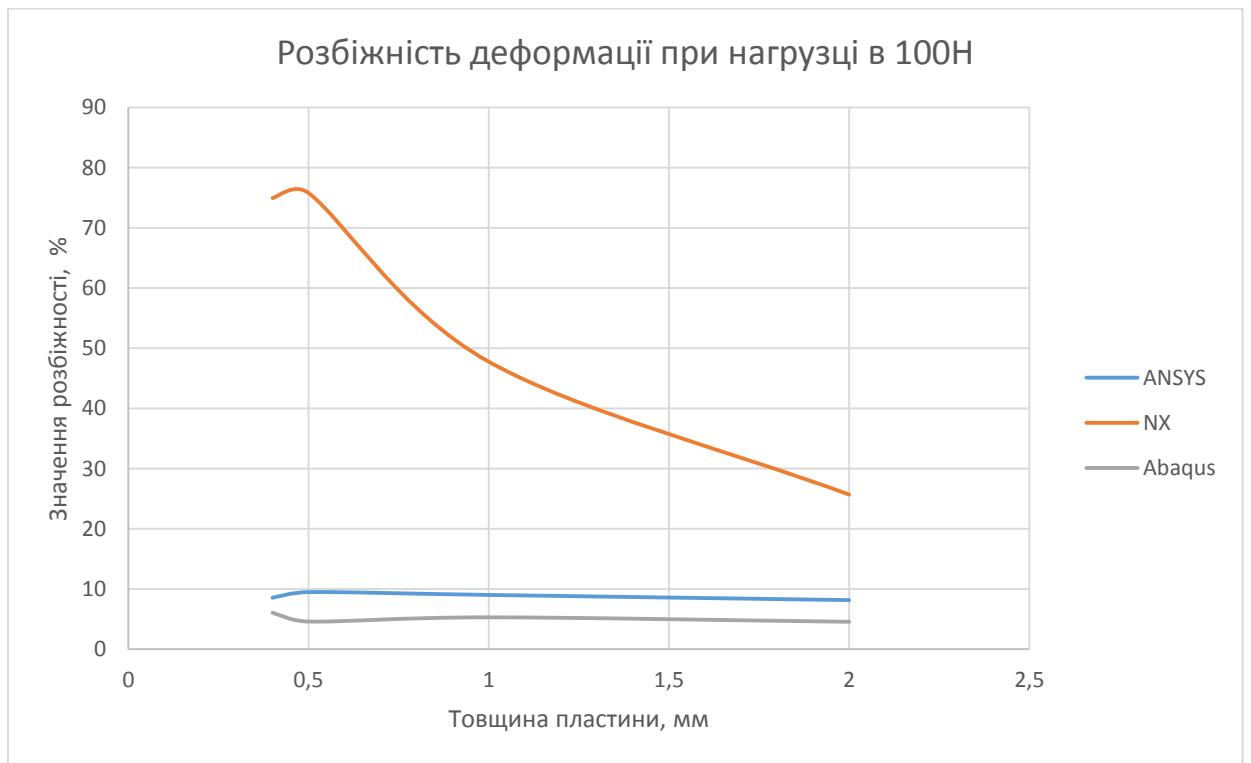


Рисунок 3.34 – Діаграма розбіжності значень деформацій при нарузці на площину по центру в 100Н.

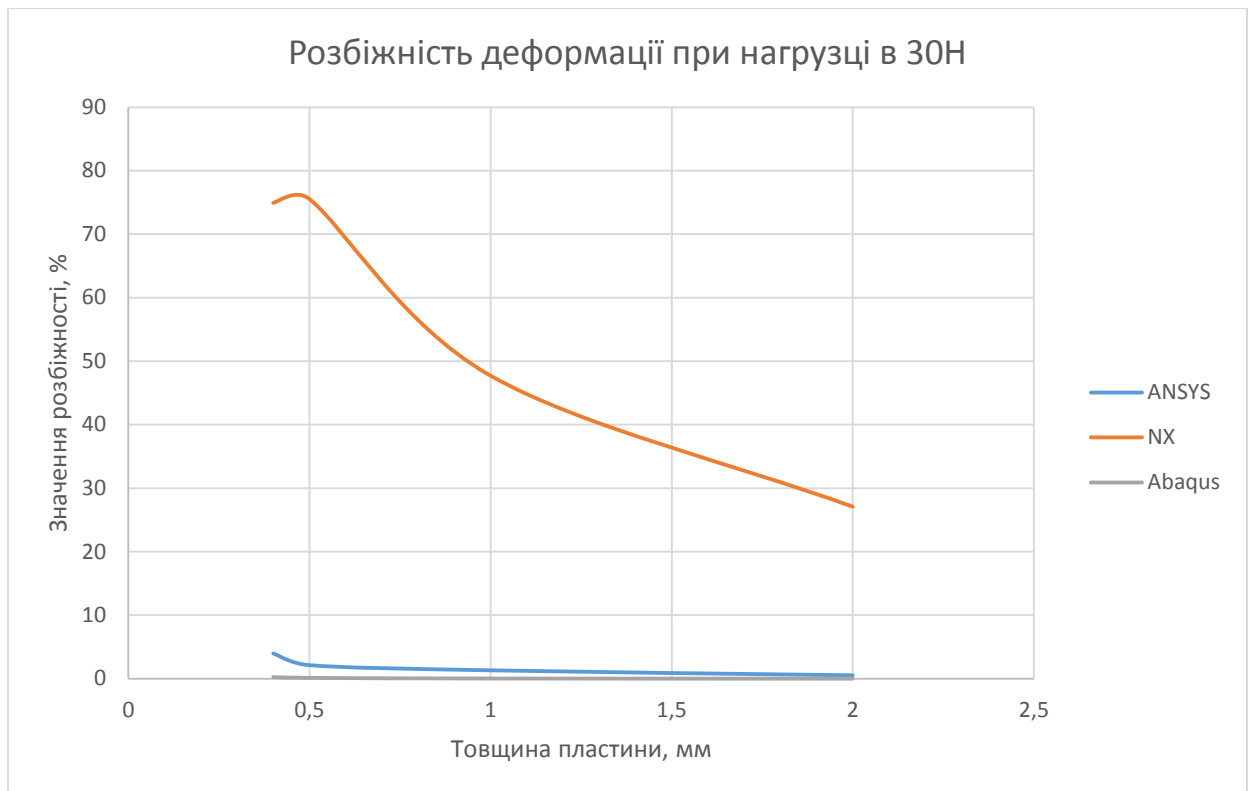


Рисунок 3.35 – Діаграма розбіжності значень деформацій при нарузці на площину по центру в 30Н.

Провівши експерименти за допомогою програм ANSYS, NX, Abaqus, записали всі отримані дані у вигляді таблиць побудували порівняльні графіки отриманих даних та графіки розбіжностей цих даних можемо зробити висновок що до точності розрахунків, так як програми ANSYS, Abaqus, спрямовані безпосередньо на розрахунки і це є їх основна задача вони показують більш точні результати ніж NX, так як ця програма багатомодульна і призначена не тільки для розрахунків а й для моделювання, обробки, написання програм ЧПУ та ін. Тому для наступного аналізу можливої мінімальної товщини оброблюваної деталі будемо брати значення двох перших програм.

3.3.5 Аналіз даних що до рекомендованої мінімальної товщини оброблюваної деталі

Розглянемо дані отримані від експериментів за допомогою програми ANSYS які занесемо до таблиці 3.18 по цим даним побудуємо графіки та зробимо висновки що до обробки пластини за допомогою ПАЩ та визначимо рекомендовану мінімальну товщину оброблюваної деталі.

Таблиця 3.18 – Дані отримані за допомогою програми ANSYS

Залежність напруження та деформації пластини від її товщини та характеру навантаження						
Товщина пластини, мм			2	1	0,5	0,4
навантаження на площину по центру	100Н	напруження, Мпа	38,2	144	594	923
		деформація,м	5,87E-05	4,65E-04	0,0037	0,0073
	30Н	напруження, Мпа	12,4	46,8	193	300
		деформація,м	1,91E-05	1,51E-04	0,0012	0,0023
навантаження на площину с краю	100Н	напруження, Мпа	55,7	216	887	1390
		деформація,м	9,33E-05	7,23E-04	0,0058	0,0114
	30Н	напруження, Мпа	18,8	72,9	299	468
		деформація,м	3,15E-05	2,47E-04	0,00196	0,0038
навантаження на лінію с краю	100Н	напруження, Мпа	91	370	1500	-
		деформація,м	1,37E-04	0,00107	0,0085	-
	30Н	напруження, Мпа	27	111	452	709
		деформація,м	4,14E-05	3,23E-04	0,0025	0,0049

По цим даним будуємо графіки для порівняння отриманих значень при різному характеру навантаження.

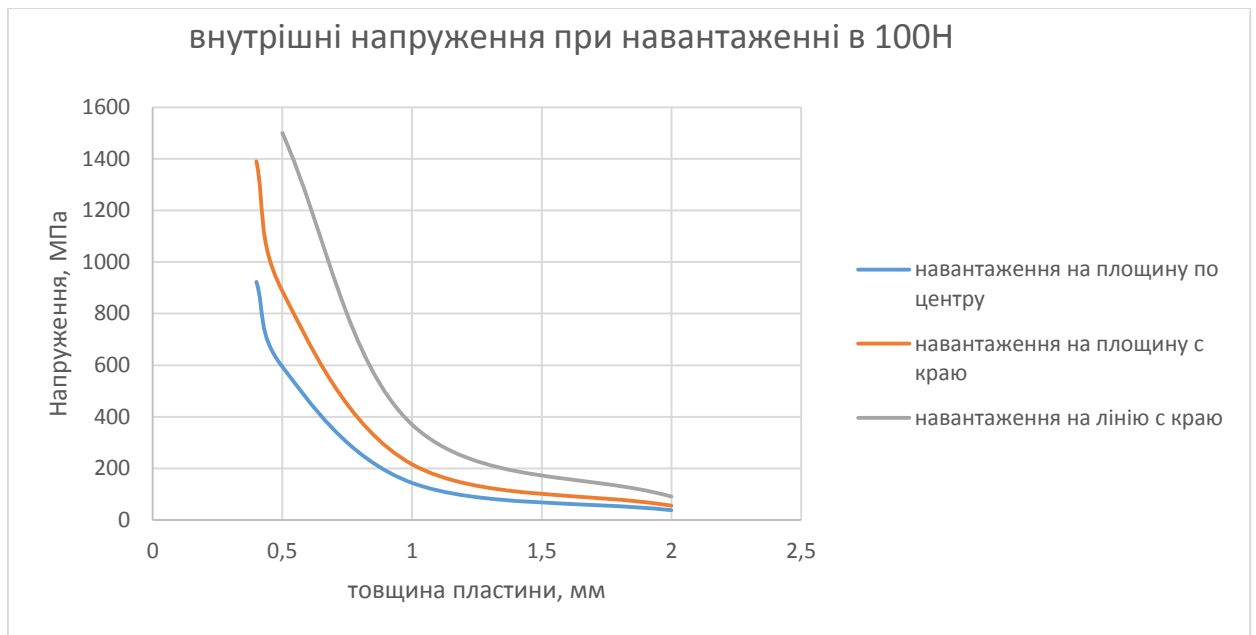


Рисунок 3.35 – Діаграма значень напружень по результатам трьох експериментів 100Н.

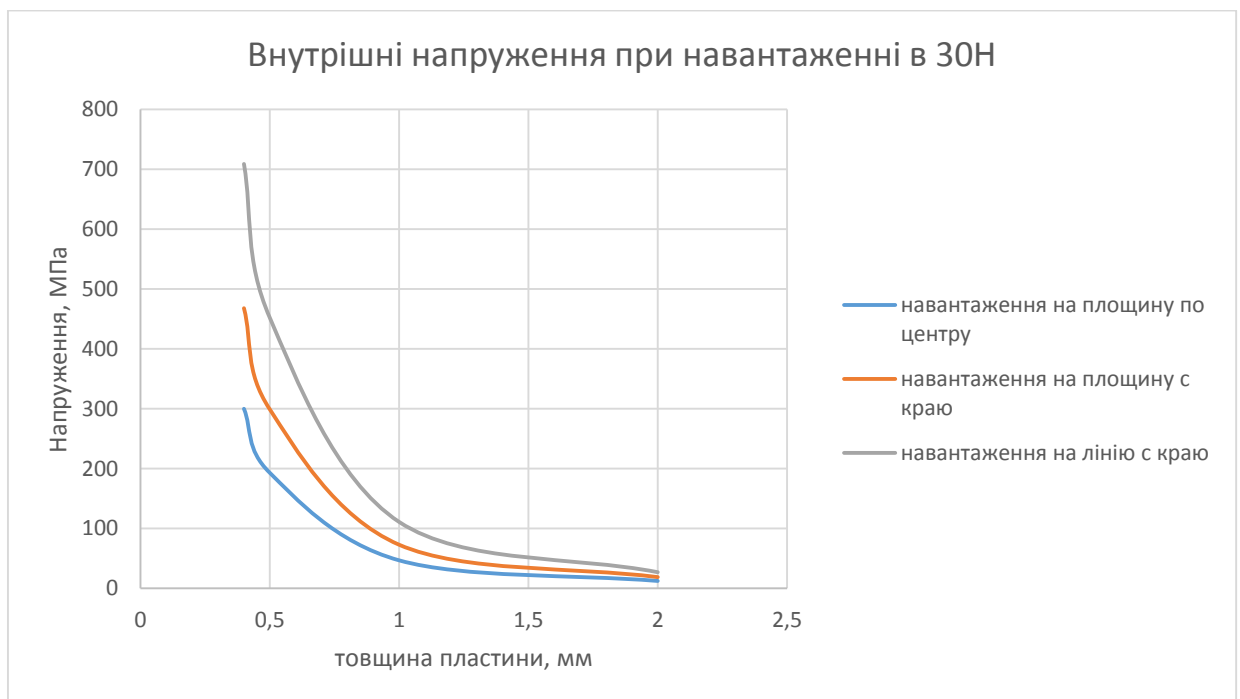


Рисунок 3.36 – Діаграма значень напружень по результатам трьох експериментів 30Н.

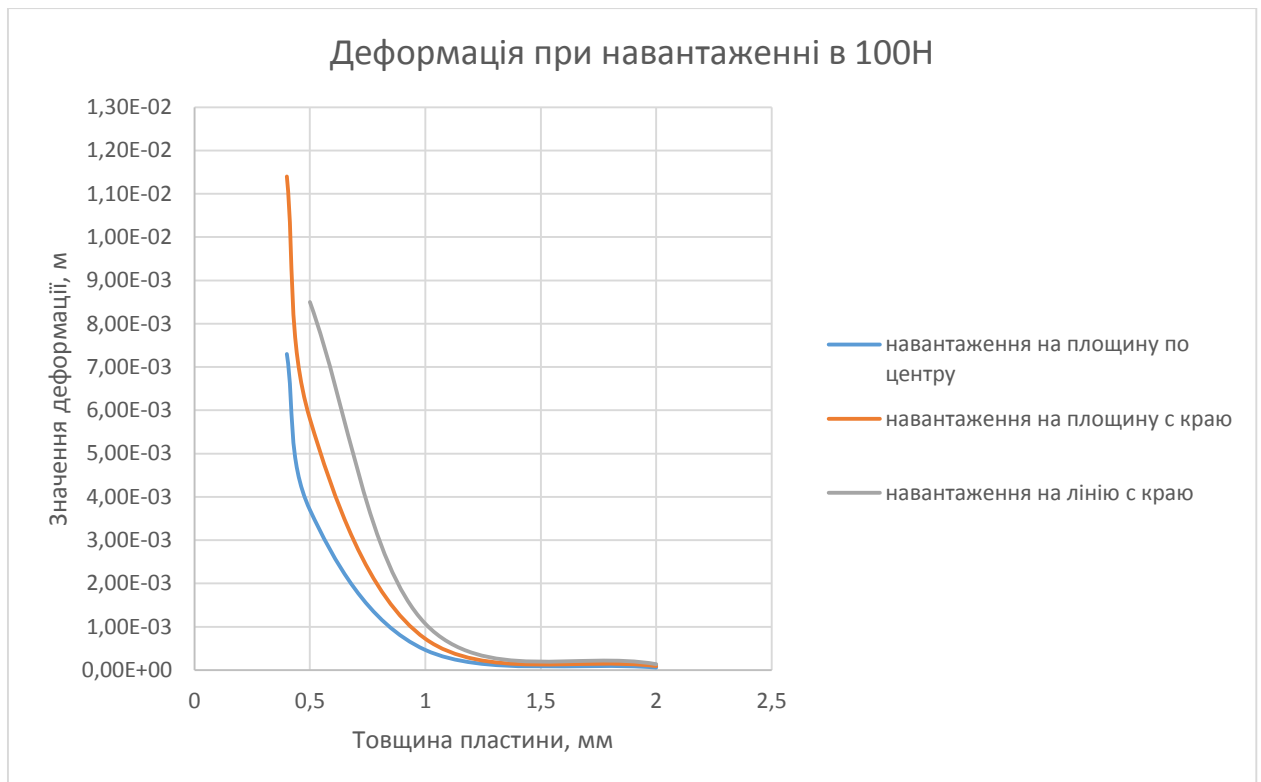


Рисунок 3.37 – Діаграма значень деформацій по результатам трьох експериментів 100Н.

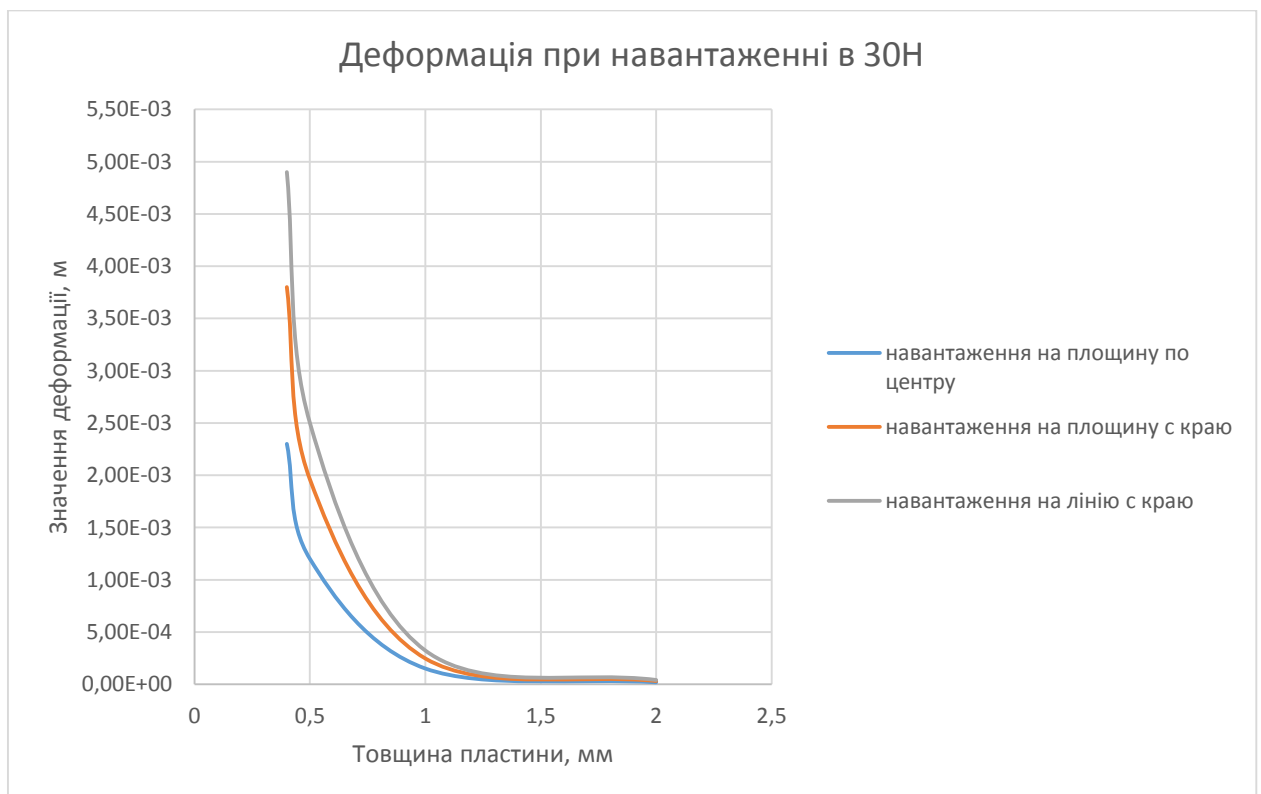


Рисунок 3.38 – Діаграма значень деформацій по результатам трьох експериментів 30Н.

По даним графіків можемо бачити що при розмірі пластини 2 мм та 1 мм значення напруження та деформації, при різних характерах навантаження, значно не змінюється. З подальшим зменшенням товщини навіть на 0.1 мм деталі значення напруження та деформації починають різко зростати що може привести до руйнування деталі.

По характеру навантаження можна сказати що при навантаженні на лінію с краю деталі виникають найбільші значення напруження та деформації тому при обробці граней на це потрібно звернути увагу.

Також значення досліджень значною мірою залежать від сили навантаження так як ми брали два крайніх значення то поним добре видно що при значенні деталі товщиною 0,5мм, навантаження в 100Н на лінію скраю, значення деформації значно перевищує допустиме в 980МПа, а при тих самих умовах зі значенням навантаження 30Н отримане значення менше допустимого.

3.4 Висновки

В даному розділі був розроблений план експерименту в якому розібрали вихідні дані та послідовність роботи. Безпосередньо провів експеримент приміняючи різні програми розраховував значення деформації та напруження, провів аналіз отриманих даних з розрахунковими по формулам. Дав технологічні рекомендації щодо застосування інженерних програм. Визначив рекомендовану товщину обробки деталі типу лопатка. Зробив висновки.

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Рекомендації що до використання розрахункових програм

Розрахунки були проведені за допомогою трьох програм ANSYS, NX, Abaqus , були проведені порівняння даних програм після чого можна дати рекомендації що до точності, та простоти розрахунків.

Дані програми інженерного напрямку ANSYS та Abaqus, безпосередньо програми розрахункового напрямку тому ці програми дають більш точні результати ніж програма NX, яка призначена не тільки для розрахунків та є багатоцільовою, але якщо перед вами основна ціль не розрахунок а моделювання розробка програми ЧПУ чи моделювання процесу обробки то в NX дані модулі дуже добре розроблені та мають багато переваг.

4.2 Рекомендації вибору мінімальної товщини деталі

По результатам розрахунків, та за отриманими даними можемо сказати, що рекомендованою мінімальною товщиною для обробки деталей типу лопатка є 1 мм при силі в 100Н, так як при подальшому зменшенні товщини виникає різке підвищення внутрішніх напружень, також теоретично можливо обробляти деталі товщиною до 0.5 мм при цьому знизив навантаження від щітки до 30 Н, при цьому обробка буде відбуватися повільніше, але при менших напруженнях в деталі. Також слід враховувати деформацію деталі так як при вона може мати досить високі зчвчення при цьому не руйнуючи деталь.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

За даними проведеного експеримента можна зробити наступні висновки що до економічної ефективності розрахунків за допомогою програм. Програми значно зменшують час експерименту який інженери витрачають на математичні розрахунки, а також при використанні програм відсутні витрати на дорогі матеріали на відміну від натурного експерименту для якого потрібне також обладнання для виготовлення зразків та для проведення експериментів.

Для розрахунку економічної ефективності беремо ціну комерційної ліцензії програми ANSYS яка складає 925 000 грн, та з'ясуємо за який термін програма окупить себе, для цього враховуємо мінімальну зарплату інженерів 5500 грн. Програма дає можливість проводити навіть прості розрахунки приблизно в 12 разів швидше ніж математичний метод тому звідси можемо зробити висновок що для програмного розрахунку потрібно в 12 разів менше часу або в 12 разів менше робітників.

Розрахуємо місячну економію за формулою 5.1.

$$E = 3 * 12 - 3, \text{грн} \quad (5.1)$$

де – 3 – заробітна плата інженера дорівнює 5500 грн

$$E = 5500 * 12 - 5500 = 60500 \text{ (грн)}$$

Розрахунок кількість місяців за який програма себе окупить за формулою 5.2.

$$M = \frac{C}{E} \quad 5,2$$

Де – Ц – ціна програми ANSYS

$$M = \frac{925000}{60500} = 15,3 \quad 5,2$$

По даним розрахункам робимо наступний висновок, програма яка коштує 925000 грн дозволяє збільшити продуктивність розрахунків в даному випадку в 12 разів порівняно зі звичайним математичним розрахунком, зможе окупити себе, навіть при самих простих умовах, менше ніж за 16 місяців і в подальшому приносити прибуток для підприємства.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Розглянемо потенційні небезпеки, що можуть виникати в процесі роботи на механічній дільниці та заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки у відповідності з методичними вказівками.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

Під час роботи на механічній дільниці ймовірними є наступні потенційні небезпеки:

1. ураження електричним струмом, у наслідок несправності електродобладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;
2. механічні травми, що виникають внаслідок наявності на дільниці рухомих машин і механізмів, рухомих частин виробничого обладнання, заготовок, матеріалів, а також конструкцій, що руйнуються;
3. у разі знаходження працівника дуже близько до частини виробничого обладнання, заготовки або інструменту, що рухаються, при відсутності захисної огорожі, а також при роботі з незібраним волоссям, в одязі, що має довгі рукава, при неувважності може стати причиною травмування;
4. травми та пошкодження шкіряного покриву при розвантаженні і завантаженні заготовок та деталей;
5. відліт стружки при виконанні операцій різання деталей з вуглецевої сталі при роботі без спецодягу та захисних щитів може призвести до порізів або опіків.

6. Під час токарної обробки деталей можливе травмування очей пиловими частками або стружкою, що відлітає в процесі обробки матеріалів. Причини травматизму - порушення технологічного процесу та робота без захисних окулярів або щитків для захисту обличчя.

7 Руйнування ріжучого інструменту при порушенні режимів обробки деталей, технологічного процесу або недостатнє закріплення заготовки в пристосуванні чи інструменту в верстатному оснащенні через неуважність працівника може призвести до травм ступеня різної важкості.

8. Розрив шліфувального круга при відсутності захисних пристроїв або при перевищенні максимально допустимої швидкості різання в залежності від матеріалу круга

9 Ковзання та падіння працівників при неправильно підібраному взутті, при неуважності або надмірній втомі може призвести до травматизму різного ступеню важкості.

10. Нервово-психічні навантаження в наслідок специфіки виконуваних робіт, що призводить до захворювань загального характеру.

11. Довготривалий дискомфорт під час виконання роботи в одноманітній позі сприяє передчасному розвитку загального втомлення та зниженню працездатності.

12. Недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю, або хибного вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору.

13. Підвищений рівень шуму, що супроводжує роботу значної кількості верстатів, призведе до роздратованості, збільшенню помилок, в окремих випадках - до погіршення слуху.

14. Незадовільні параметри мікроклімату, у зв'язку з відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, можуть викликати загальні захворювання.

15. Вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі.

13. Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання аварій, виробничого травматизму та інших небезпечних явищ конструкція обладнання на механічній дільниці відповідає вимогам національних стандартів та «Технічному регламенту безпеки». Обладнання не створювали небезпеки для людей під час встановлення, налагодження, експлуатації та обслуговування згідно з передбачуваними умовами та технологічними вимогами. З метою уникнення ризиків травмування робітників під час обробки деталей рухомі частини виробничого обладнання огорожені та мають інші види засобів захисту відповідно ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож». Знімні, відкидні або розсувні огороження робочих органів, які запобігають небезпеці при роботі обладнання, а також двері, кришки, щитки, що відкриваються в огороженнях або в корпусі обладнання, мають пристрої, що унеможливають їх випадкове знімання або відкриття та мають блокування, що забезпечує припинення робочого процесу (ДСТУ EN ISO 14119:2017 «Безпечність машин. Блокувальні пристрої, з'єднані з огорожами. Принципи проектування та вибору»).

Передбачена звукова сигналізація, яка попереджає про пуск обладнання, засоби зупинки, про порушення нормального режиму роботи, автоматичного відключення від джерела енергії при небезпечних несправностях. Рухливі

частини верстата, що представляють потенційну небезпеку отримання травм обслуговуючого персоналу, мають попереджувальне забарвлення згідно ДСТУ EN 457-2001 «Безпечність машин. Звукові сигнали небезпеки. Загальні вимоги проектування та випробування».

Елементи конструкції виробничого обладнання не мають гострих кутів, країв і поверхонь з нерівностями, що становлять небезпеку. Робочі місця безпечні зручні ті відповідають вимогам ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування», НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями». При необхідності включення верстата з декількох робочих місць на головному пульті передбачені перемикачі, що не допускають одночасне користування дубльованими органами управління. У верстатах, працюючих в автоматичному режимі, і у верстатах з програмним управлінням передбачено також і ручне управління.

З метою уникнення ризиків отримання механічних травм різного ступеню важкості передбачено застосування кольорів та сигналів безпеки, що використовуються на робочих місцях, у відповідності вимогам Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262 (Офіційний вісник України, 2009 р., № 92, ст. 3118).

Небезпека ураження електричним струмом при використанні верстатів, приладів з'являється при недотриманні заходів безпеки, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Категорія приміщення механічної дільниці, відповідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» - підвищеної небезпеки (сухе – відносної вологості не більше 60%, металевий пил в повітрі, температура до 30°C, залізобетонна підлога).

Відповідно до вимог «Правил улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ») для виключення можливого ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом, передбачене захисне заземлення. Електроживлення електрообладнання механічної дільниці здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ», електрообладнання на механічній дільниці характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом.

Відповідно до вимог ПУЕ в електроустаткуванні застосовують такі системи засобів: захисне заземлення ізоляції токоведучих частин, захисне відключення, напруга (до 42 В) для переносного освітлення і роботи електроінструменту, повна недоступність працівників до неізольованих проводів.

Обладнання має подвійну ізоляцію: робочу – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустаткування, що забезпечує її нормативну роботу та захист від ураження електричним струмом; додаткову ізоляцію – для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції.

Згідно з ПУЕ електричне устаткування за засобом захисту людини від ураження електричним струмом, належить до I класу, оскільки має подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для поєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом.

Захисні засоби безпеки електроустаткування будинків виконуються відповідно вимога ПУЕ і ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом». Для підвищення рівня захисту від загорання при замиканні на заземні частини, коли величина струму не є достатньою для спрацювання максимального струмового захисту, рекомендовано застосування УЗО зі струмом спрацювання до 400 мА.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неухважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними. Враховано рекомендації ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення», відстань між верстатами залежить від розміру верстатів і становить не менше – 0,9...1,5 м, що забезпечує безпеку в процесі трудової діяльності. Ширина проїзду на ділянці - 4.5 метрів, ширина проходів становить 2-2.5метри, що дає можливість безпечно та комфортно переміщувати заготовки, деталі, обладнання, а у випадку пожежі – гарантує швидку евакуацію людей.

З метою зменшення важкої фізичної праці та запобіганню травматизму в умовах серійного виробництва передбачено механізоване переміщення вантажів, масою понад 20 кг та на відстань понад 25 м. На ділянці передбачено застосування кран-балки, яка призначена для транспортування пристосувань, переміщення тари з партією заготовок або деталей від верстата до верстата. Кран-балка з дистанційним (за допомогою пульта) керуванням. Перевагою дистанційного керування є можливість здійснення постійного візуального контролю за переміщенням вантажу, а перебування працівника в безпечній зоні, що гарантує його особисту безпеку. Попереджувальні надписи про вантажопідйомність крана і його роботу відповідають вимогам Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262 (Офіційний вісник України, 2009 р., № 92, ст. 3118). Також враховано, що вантажопідйомність кран-балки на 10-20% вища ніж маса вантажу, що підіймається. Згідно з НПАОП 0.00-7.11-12 та ДСТУ 7239:2011 з метою забезпечення захисту працівника від опіків, порізів та травматизму очей, а також органів дихання при здійсненні шліфування, під час виконання операцій різання передбачено використання спецодягу (добре підігнаного й застібнутого віскозно-

лавсанового костюму з рукавами, застебнутими манжетами, які щільно облягають руки, у шліфувальника – комбінезону бавовняного з пилонепроникної тканини), спецвзуття (черевикив шкіряних з гладким верхом), засобів індивідуального захисту (захисних окулярів, рукавиць, навушників протишумових; респіратору пилозахисного). Працювати на верстатах у рукавицях забороняється. Також важливо, щоб волосся у жінок було закрито головним убором (косинкою, беретом, сіткою тощо) й підібрані під нього. Для запобігання ковзанню підошва спецвзуття виготовляється литою, рельєфною з гуми чи полімерних матеріалів (поліуретану). Крім того, передбачено виконання елементів конструкції виробничого обладнання, заготовок та інструменту без гострих кутів, країв і шорстких поверхонь. Згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 під час виконання робіт на верстатах робоче місце утримується в чистоті та не захаращується. Забороняється прибирання стружки руками – з цією метою передбачено відповідні пристрої (гачки, щітки, совки), також в конструкції верстата включено пристосування для уловлювання та видалення стружки (спеціальні стружковідвідники).

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

Також обов'язковим є проходження медичного огляду один раз на два роки, а для окремих категорій робітників і один раз на рік, за рахунок роботодавця відповідно Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для механічної дільниці та робочих кімнат розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Метеорологічні умови на дільниці: температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень». Роботи на дільниці належать до категорії Па –робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 18-20°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с;
- у теплий період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією. Вимоги до систем вентиляції, кондиціонування та опалення зазначені в ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» Системи вентиляції, кондиціонування та опалення повинні у різні пори року

забезпечувати відповідний мікроклімат у робочому приміщенні. Завдяки системі вентиляції повинно забезпечуватися повна очистка повітря від зайвих домішок у повітрі; подача повітря повинна бути постійною, без перебоїв; вміст пилу не повинен перевищувати 30%.

Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції – вилучити із приміщення забруднене, вологе або нагріте повітря та подати свіже очищене повітря.

Вентиляція класифікується за такими ознаками:

- за способом переміщення повітря – природна, штучна (механічна) та суміщена (природна та штучна одночасно);
- за напрямком потоку повітря – припливна, витяжна, припливно-витяжна;
- за місцем дії – загальнообмінна, місцева, комбінована;
- за призначенням – робоча, аварійна.

Природна вентиляція може бути неорганізованою і організованою. При неорганізованій вентиляції невідомі об'єми повітря, що надходять та вилучаються із приміщення, а сам повітрообмін залежить від випадкових чинників (напрямку та сили вітру, температури зовнішнього та внутрішнього повітря). Неорганізована природна вентиляція включає інфільтрацію – просочування повітря через нещільності у вікнах, дверях, перекриттях тощо та провітрювання, що здійснюється при відкриванні вікон та квартир.

Організована природна вентиляція називається аерацією. Для аерації в стінах будівлі роблять отвори для надходження зовнішнього повітря, а на даху чи у верхній частині будівлі встановлюють спеціальні пристрої (ліхтарі) для видалення відпрацьованого повітря. Для регулювання надходження та видалення повітря передбачено перекривання на необхідну величину аераційних отворів та ліхтарів. Це особливо важливо в холодну пору року.

Перевагою природної вентиляції є її дешевизна та простота експлуатації. Основний її недолік у тому, що повітря надходить у приміщення без попереднього очищення, а видалене відпрацьоване повітря також не очищується і забруднює довкілля.

Штучна (механічна) вентиляція, на відміну від природної, дає можливість очищувати повітря перед його викидом в атмосферу, вловлювати шкідливі речовини безпосередньо біля місць їх утворення, обробляти припливне повітря (очищувати, підігрівати, зволожувати тощо), більш цілеспрямовано подавати повітря в робочу зону. Окрім того, механічна вентиляція дає можливість організувати повітрозабір у найбільш чистій зоні території підприємства і навіть за її межами.

При штучній вентиляції повітрообмін здійснюється внаслідок різниці тисків, що створюється вентилятором. Вона застосовується в тих випадках, коли тепловиділення у виробничому приміщенні недостатні для постійного (протягом року) використання аерації, або коли кількість чи токсичність шкідливих речовин, які виділяються у повітря приміщення є такою, що виникає необхідність постійного повітрообміну незалежно від метеорологічних умов навколишнього середовища.

Природна та штучна вентиляції повинні відповідати наступним санітарно-гігієнічним вимогам:

- створювати в робочій зоні приміщень нормовані метеорологічні умови праці (температуру, вологість і швидкість руху повітря);
- повністю усувати з приміщень шкідливі гази, пари, пил та аерозолі або розчиняти їх до допустимих концентрацій;
- не вносити в приміщення забруднене повітря ззовні або шляхом засмоктування із суміжних приміщень;
- не створювати на робочих місцях протягів чи різкого охолодження;
- бути доступними для керування та ремонту під час експлуатації;
- не створювати під час експлуатації додаткових незручностей (наприклад, шуму, вібрацій, попадання дощу, снігу і т. п.).

Необхідно зазначити, що до вентиляційних систем, встановлених у пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях висувається ціла низка додаткових вимог.

Кондиціонування повітря — це створення та автоматичне підтримування в приміщенні заданих або таких, що змінюються за певною програмою метеорологічних умов, які є найбільш сприятливими для працівників чи для нормального протікання технологічного процесу. Кондиціонування повітря може бути повним та неповним. Повне кондиціонування повітря передбачає регулювання температури, вологості, швидкості руху повітря, а також можливість його додаткового оброблення (очищення від пилу, дезінфекції, дезодорації, озонування). При неповному кондиціонуванні регулюється лише частина параметрів повітря.

Кондиціонування повітря здійснюється кондиціонерами, які підрозділяються на центральні та місцеві. Центральні кондиціонери призначені для обслуговування великих за розмірами приміщень. Оброблення повітря проводиться в одному центрі, що розташований поза приміщеннями, в яких здійснюється кондиціонування і зв'язаного з останніми каналами для подачі та рециркуляції повітря. Місцеві кондиціонери мають малу продуктивність і встановлюються безпосередньо в невеликих приміщеннях. Такі кондиціонери, зазвичай, працюють на зовнішньому повітрі за, так званою, припливною схемою.

Система кондиціонування оснащується спеціальними пристроями, які автоматично регулюють за заданими умовами необхідні параметри повітря, а отже й відповідні характеристики теплоносія та холодної води.

Розраховуємо повітрообмін за умови виділення шкідливих речовин, у нашому випадку при обробці дюралюмінію виділяється металевий пил, що надходить у робочу зону, з метою розбавлення його до граничнодопустимої концентрацій по формулі (6.1):

$$L_{\text{в}} = \frac{G_{\text{вп}}}{g_{\text{пдк}} - g_{\text{п}}}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (6.1)$$

де L_v – кількість приточного або видаляє мого повітря в залежності від схеми механічної вентиляції, $\text{м}^3/\text{с}$;

$G_{\text{вр}}$ – кількість шкідливих речовин, що виділяються у виробничих приміщеннях, $\text{мг}/\text{с}$. У нашому випадку металевий пил при різній механічній обробці: фрезерування – $1,9 \text{ мг}/\text{с}$, свердління – $0,4 \text{ мг}/\text{с}$, розточування – $0,7 \text{ мг}/\text{с}$, шліфування – абразивний пил $10 \text{ мг}/\text{с}$, металевий пил $18 \text{ мг}/\text{с}$.

$g_{\text{пдк}}$ – граничнодопустима концентрація шкідливих речовин в приміщенні, $\text{мг}/\text{м}^3$. ГДК деяких шкідливих речовин у повітрі робочої зони при обробці деталей з алюмінію наведені у таблиці 6.1.

$g_{\text{п}}$ – концентрація шкідливих речовин в зовнішньому повітрі, що подається в приміщення і дорівнює $g_{\text{п}} = 0,3 \cdot g_{\text{пдк}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Таблиця 6.1 – ГДК деяких шкідливих речовин у повітрі робочої зони

№ п/п	Речовина	ГДК, $\text{мг}/\text{м}^3$	Клас небезпеки	Агрегатний стан
1	Алюміній та його сплави (у перерахунку на алюміній)	2	3	а
2	Мідь	1	2	а
3	Кремнію діоксин амфорний	1	3	а
4	Залізо з домішками магнію та марганцю	6	4	а
5	Нікель	0,5	2	а
6	Титан та його діоксид	10	4	а
7	Цинку оксид	0,5	2	а

$$g_{\text{п}} = 0,3 \cdot 22,5 = 6,75 \text{ мг}/\text{м}^3$$

$$L_{\text{в фрез.}} = \frac{1,9}{22,5 - 6,75} = 0,12 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$L_{\text{в св.}} = \frac{0,4}{22,5 - 6,75} = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$L_{\text{в розт.}} = \frac{0,7}{22,5 - 6,75} = 0,04 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розраховуємо кількість повітря, що видаляється від шліфувальних та полірувальних верстатів по формулі (6.2):

$$L = k \cdot d_{\text{кр}} \cdot n, \text{ м}^3/\text{год} \quad (6.2)$$

де $d_{\text{кр}}$ – діаметр круга - 100 мм;

k – коефіцієнт, що приймається в залежності від матеріалу та діаметра круга – 6;

n – число кругів – 1 шт.

$$L = 1 \cdot 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

З розрахунків можемо зробити висновок, що для забезпечення безпечних умов праці достатньо використовувати місцеву вентиляцію, яка вбудована в верстаті та загальну припливно-витяжну вентиляційну систему по цеху.

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно працюють в умовах напруження органу зору, сприяє підвищенню продуктивності праці, запобігає травматизму. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%.

Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в конструкторському бюро та робочих кімнатах використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники типу ЛПО. Для забезпечення нормованого освітленні на ділянці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП, з газорозрядними лампами типу ДРЛ. Лампи мають високу ефективність,

економічні, надійні, строк експлуатації понад 8000-14000 годин. Враховуючи, що обробка деталей, вимагає значного напруження органу зору і виконується і вечірню або нічну зміну, на верстатах з ЧПУ передбачено місцеве освітлення. При зварюванні, наплавленні і різанні закриті простори резервуарів, котлів, відсіків також освітлюються світильниками з напругою не вище 42 В. На токарних, шліфувальних, фрезерних та ін. верстатах слід застосовувати світильники з непросвічуваними відбивачами із захисним кутом не менше 30°, що у свою чергу допомагає робітникам за верстатом при читанні технічної документації, креслення.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» та ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування обладнання, що створює рівень шуму, більший за нормативно допустимий (понад 80дБа), на значній відстані від більшості робочих місць працівників.

Рівні вібрації під час верстатних робіт перевищують допустимі значення, що визначені в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

Для зменшення негативного впливу вібрації (спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремор кінцівок) під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту (НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966. Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується спеціальне взуття.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки на механічній дільниці розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (пожежі, пов'язані горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.)

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» механічна дільниця відповідає категорії «Д» з пожежної небезпеки – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості приміщення – II.

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із адміністративних приміщень та два евакуаційних виходи з механічної дільниці. Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу, згідно п.2.29 СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» становить 70 метрів.

Згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності

вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 дільниця оснащена переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВК-3 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотних вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду.

Для механічних цехів та адміністративних приміщень передбачено використання сповіщувачів пожежі, приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я.

Враховуючи пожежну небезпеку в приміщеннях та на дільниці також передбачено систему автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники типу ВВК-3).

6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Медичний, біологічний і психофізичний захист, забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення, згідно Кодексу цивільного захисту України.

Згідно стаття 36 Кодексу цивільного захисту України медичний захист і забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення включає:

1) надання медичної допомоги постраждалим внаслідок надзвичайних ситуацій, рятувальникам та іншим особам, які залучалися до виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, гасіння пожеж, проведення їх медико-психологічної реабілітації. Медична допомога населенню забезпечується службою медицини катастроф, керівництво якою здійснює центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я;

2) планування і використання сил та засобів закладів охорони здоров'я незалежно від форми власності;

3) своєчасне застосування профілактичних медичних препаратів та своєчасне проведення санітарно-протиепідемічних заходів;

4) контроль за якістю та безпекою харчових продуктів і продовольчої сировини, питної води та джерелами водопостачання;

5) завчасне створення і підготовку спеціальних медичних формувань;

6) утворення в умовах надзвичайних ситуацій необхідної кількості додаткових тимчасових мобільних медичних підрозділів або залучення додаткових закладів охорони здоров'я;

7) накопичення медичного та спеціального майна і техніки;

8) підготовку та перепідготовку медичних працівників з надання екстреної медичної допомоги;

9) навчання населення способам надання домедичної допомоги та правилам дотримання особистої гігієни;

10) здійснення заходів з метою недопущення негативного впливу на здоров'я населення шкідливих факторів навколишнього природного

середовища та наслідків надзвичайних ситуацій, а також умов для виникнення і поширення інфекційних захворювань;

11) проведення моніторингу стану навколишнього природного середовища, санітарно-гігієнічної та епідемічної ситуації;

12) санітарну охорону територій та суб'єктів господарювання в зоні надзвичайної ситуації;

13) здійснення інших заходів, пов'язаних з медичним захистом населення, залежно від ситуації, що склалася.

2. Здійснення заходів медичного захисту населення покладається на суб'єктів забезпечення цивільного захисту.

3. Для проведення медико-психологічної реабілітації осіб, зазначених у пункті 1 частини першої цієї статті, при санаторно-курортних закладах незалежно від форми власності утворюються центри медико-психологічної реабілітації. Перелік санаторно-курортних закладів, в яких утворюються центри медико-психологічної реабілітації, затверджується спільним актом центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я, та центрального органу виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

Відповідно статті 37 біологічний захист населення, тварин і рослин включає:

1) своєчасне виявлення чинників та осередку біологічного зараження, його локалізацію і ліквідацію;

2) прогнозування масштабів і наслідків біологічного зараження, розроблення та запровадження своєчасних протиепідемічних, профілактичних, протиепізоотичних, протиепіфітотичних і лікувальних заходів;

3) проведення екстреної неспецифічної та специфічної профілактики біологічного зараження населення;

4) своєчасне застосування засобів індивідуального та колективного захисту;

5) запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів, обсервації та карантину;

6) здійснення дезінфекційних заходів в осередку зараження, знезараження суб'єктів господарювання, тварин та санітарної обробки населення;

7) надання екстреної медичної допомоги ураженим біологічними патогенними агентами;

8) інші заходи біологічного захисту залежно від ситуації, що склалася.

2. Біологічний захист населення, тварин і рослин додатково включає встановлення протиепідемічного, протиепізоотичного та протиепіфітотичного режимів та їх дотримання суб'єктами господарювання, закладами охорони здоров'я та населенням.

3. Здійснення заходів біологічного захисту покладається на суб'єктів забезпечення цивільного захисту.

Заходи психологічного захисту населення визначаються в статті 38 та спрямовуються на зменшення та нейтралізацію негативних психічних станів і реакцій серед населення у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій і включають:

1) планування діяльності, пов'язаної з психологічним захистом;

2) своєчасне застосування ліцензованих та дозволених до застосування в Україні інформаційних, психопрофілактичних і психокорекційних методів впливу на особистість;

3) виявлення за допомогою психологічних методів чинників, які сприяють виникненню соціально-психологічної напруженості;

4) використання сучасних психологічних технологій для нейтралізації негативного впливу чинників надзвичайних ситуацій на населення;

5) здійснення інших заходів психологічного захисту залежно від ситуації, що склалася.

2. Організація та здійснення заходів психологічного захисту населення покладаються на центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

6.6 Висновки

Охорона праці це - система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Безпека праці на виробництві може бути на належному рівні тільки тоді, коли всебічно виконуються вимоги трудового законодавства, державних стандартів України, норм і правил, розроблених для збереження здоров'я працюючих та їх соціального захиту. Важливе місце при цьому належить виконанню організаційних вимог з охорони праці, а також трудовій та виробничій дисципліні працюючих.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз літературних джерел щодо особливості застосування дискових полімерно-абразивних щіток.
2. Обрано обладнання та зразки для проведення дослідження.
3. Складено методику та план проведення експерименту по визначенню силової дії.
4. Визначено напруження та деформацію зразків при їх навантаженні.
5. Проаналізовано результати проведених експериментів, та встановлено та зроблені попередні висновки що до отриманих даних.
6. Проведено порівняння даних для визначення більш точного методу розрахунку.
7. Проведено порівняння даних для визначення рекомендованої мінімальної товщини оброблюваної деталі.
8. Проведено аналіз небезпечних факторів, які можуть виникнути при роботі у лабораторії за верстатом та на ПК.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Степанов Д.Н. Финишная обработка тонкостенных и сложнопрофильных деталей. Сообщение 1. анализ финишно-отделочных методов / Д. Н. Степанов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудіванні. - 2015. - № 1. – С. 122-125. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nmt_2015_1_26.
2. Степанов Д.Н. Финишная обработка тонкостенных и сложнопрофильных деталей. Сообщение 2. Щеточные инструменты на основе полимерно-абразивных волокон / Д. Н. Степанов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудіванні. - 2015. - № 1. – С. 126-129. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nmt_2015_1_27.
3. «Техника и технологии машиностроения» Материалы V Международной студенческой научно-практической конференции. Омский государственный технический университет, 04-10 апреля 2016 г. - С. 251-256.
4. Димов Ю.В. Силы резания при обработке эластичными абразивными кругами / Ю. В. Димов, Д. Б. Подашев // Вестник ИрГТУ. №7 (102). С. 47-54.
5. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>.
6. ДНАОП [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://dnaop.com>.
7. ДСП 173-96 Государственные санитарные правила планирования и застройки населенных пунктов. С изменениями. – Взамен СН 245-71 (ДНАОП 0.03-3.01-71); введен 1996-06-19. – М. Изд-во стандартов, 2009. – 13 с.
8. БУДСТАНДАРТ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://online.budstandart.com/ua>
9. Правила эксплуатации огнетушителей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://хсс.ua/index.php/themeum/19-joomla/196-novaklasifikatsiya-pozhezh.html>

10. Шоботов В. М. Цивільна оборона: навч. посібник / В. М. Шоботов.
– К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 439 с.



Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра «Технології машинобудування»

Дослідження взаємодії полімерно- абразивних щіток на тонкостінні деталі типу лопаток ГТД

Костюченко Д.С.

Робота виконана під керівництвом к.т.н Степанов Д.М.

Мета та задачі дослідження

МЕТОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ є з'ясувати за допомогою інженерних програм мінімально можливу товщину деталі при обробці, полімерно-абразивними щітками, тонкостінних деталей.

Задачі дослідження:

1. Аналіз існуючих методів обробки тонкостінних деталей.
2. Ознайомлення з полімерно-абразивними щітками, з їх будовою, властивостями, та можливостями.
3. Поетапний опис проведення експерименту.
4. Моделювання різних ситуацій обробки деталі за допомогою полімерно-абразивних щіток за допомогою декількох комп'ютерних програм.
5. Порівняння одержаних результатів.

Види фінішної обробки



хонінгування



шліфування



полірування



суперфінішування



Алмазне вигладжування



полімерно-абразивні щітки

Полімерно-абразивні щітки та їх переваги

Перевагами ПАЩ є:

- 1) висока еластичність і гнучкість, що виключають небезпеку поломок;
- 2) рівномірність шліфуючої дії так як при шліфуванні поверхневого матеріалу звільняється новий шліфувальний матеріал;
- 3) відсутність засмічення щетини робочими залишками;
- 4) відсутність необхідності в спеціальних швидкоходах;
- 5) зниження потреби робочого ефекту або іскріння, перевантаження;
- 6) придатність для мокрого та сухого шліфування, так як полімер не абсорбує будь-яких значних кількостей охолоджуючих і мастильних засобів;
- 7) концентричне обертання без биття і небалансу під час всього терміну служби щітки;
- 8) не потрібне підрізання щетини;
- 9) тривалий час служби.



Програмне забезпечення для розрахунків

The ANSYS logo features the word "ANSYS" in a bold, sans-serif font. The letters "AN" are white, "SYS" is yellow, and a registered trademark symbol (®) is positioned at the top right of the "S". The logo is set against a solid black rectangular background.

Програмний комплекс ANSYS є найбільш універсальним і доступним інженерним інструментом, що підвищує швидкість розробки виробів у віртуальному середовищі і дозволяє враховувати різні комплексні та міждисциплінарні явища в області гідродинаміки, міцності і електромагнетизму.



NX - флагманська CAD / CAM / CAE - система від компанії Siemens PLM Software. NX широко використовується в машинобудуванні, особливо в галузях випускаючих вироби з високою щільністю компоновки і великим числом деталей (енергомашинобудування, газотурбінні двигуни, транспортне машинобудування і т.д.) і виготовляють вироби зі складними формами (авіаційна, автомобільна і т.д.)

The ABAQUS logo features the word "ABAQUS" in a bold, sans-serif font. The letters "ABA" are white, "QUS" is green, and a stylized "DS" logo is positioned at the top left of the "A". The logo is set against a white rectangular background.

ABAQUS - універсальна система загального призначення, призначена як для проведення багаточислового інженерного багатодисциплінарного аналізу, так і для науково-дослідних і навчальних цілей в самих різних сферах діяльності

План експерименту

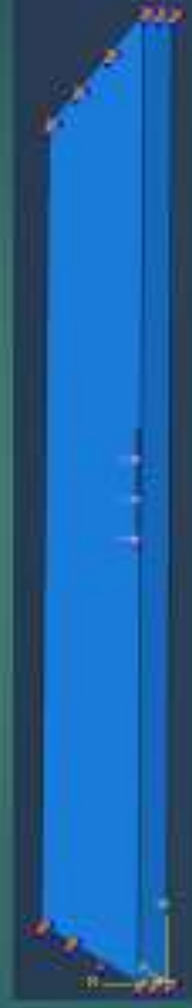
Експеримент проводиться на моделі пластини зі сплаву титану BT5 для трьох схем навантаження як показано на малюнках змінюючи при цьому товщину деталі від 2 мм до 0.4 мм. Розрахунки проводили тричі в різних програмах.



Навантаження на площину по центру деталі



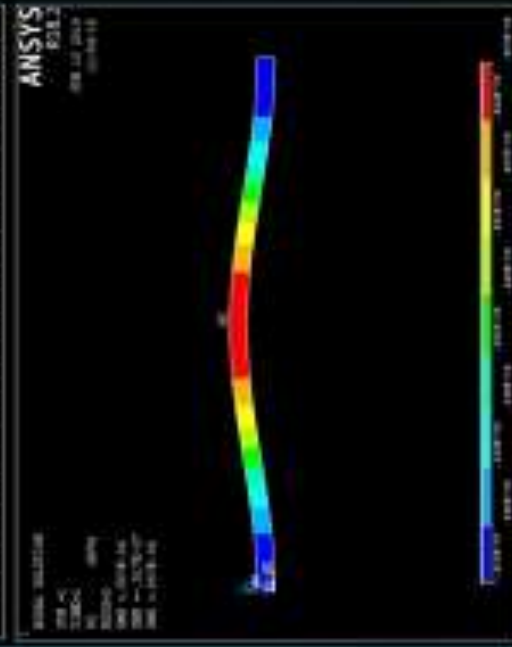
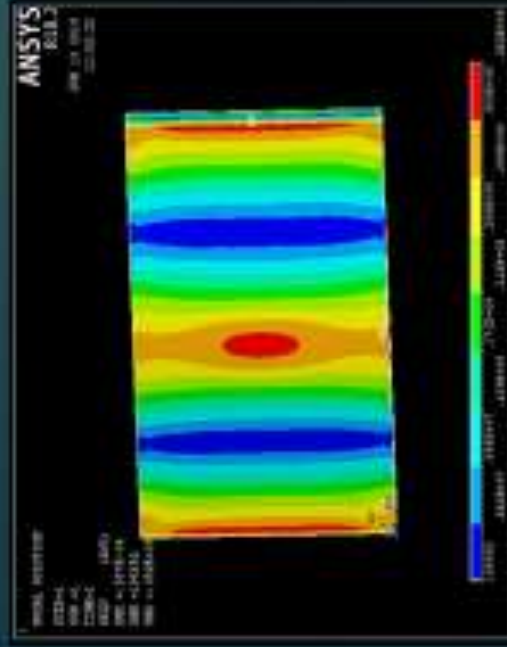
Навантаження на площину с краю деталі



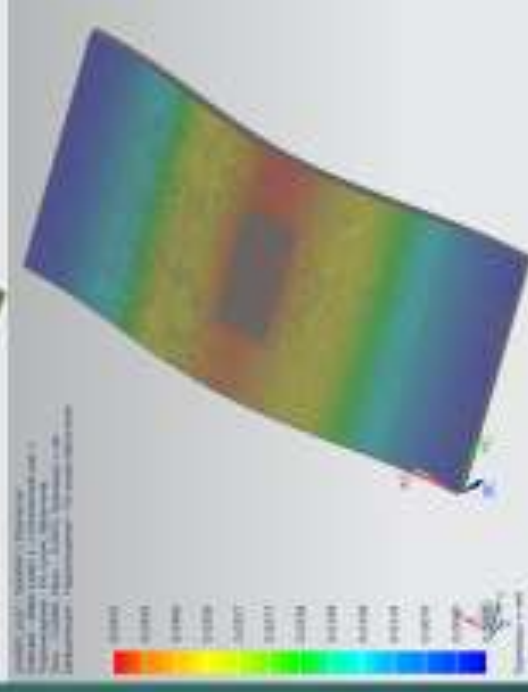
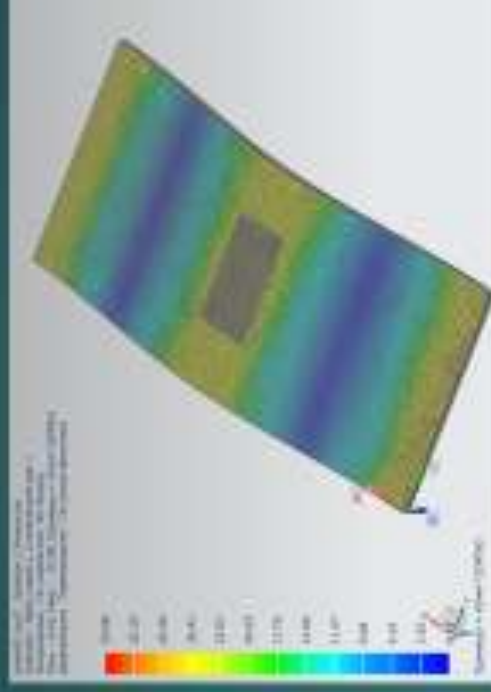
Навантаження на лінію с краю деталі

Результати розрахунків мінімальної товщини деталі при обробці ПАЩ

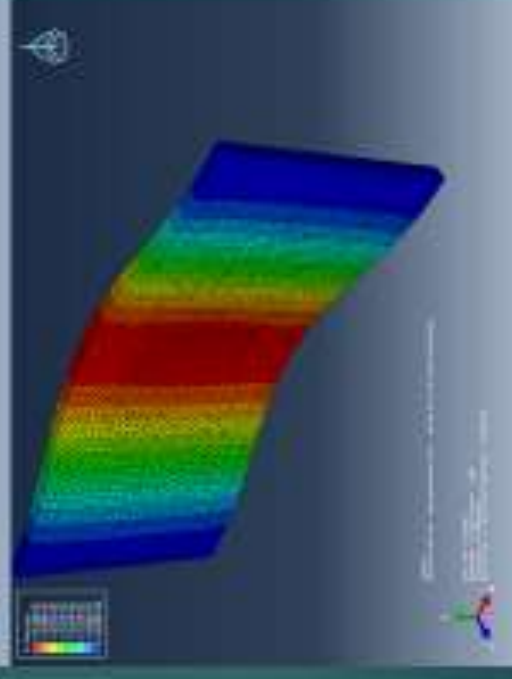
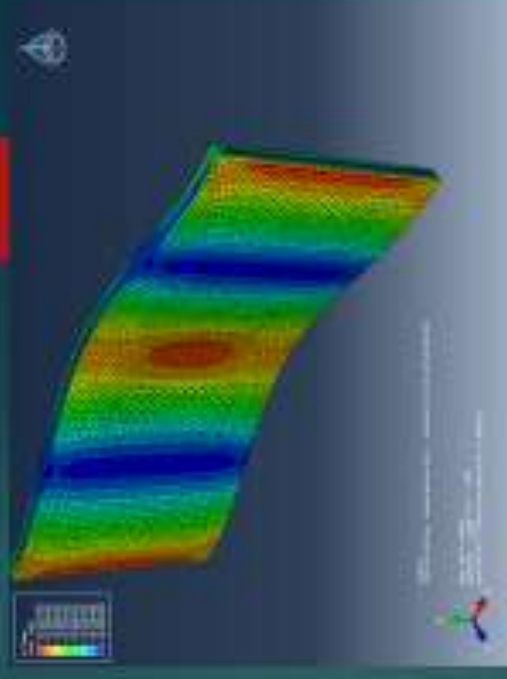
Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження (ANSYS)						
Товщина пластини, мм		2	1	0,5	0,4	
Навантаження на плоскість в центрі деталі	100Н	напруження, МПа	38,2	144	594	923
		деформація, м	5,87E-05	4,65E-04	0,0037	0,0073
	30Н	напруження, МПа	12,4	46,8	193	300
		деформація, м	1,91E-05	1,51E-04	0,0012	0,0023
Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження (NX)						
Товщина пластини, мм		2	1	0,5	0,4	
Навантаження на плоскість в центрі деталі	100Н	напруження, МПа	35	112	529	1061
		деформація, м	4,75E-05	2,67E-04	0,00099	0,002
	30Н	напруження, МПа	10	34	158	318
		деформація, м	1,4E-05	0,8E-04	0,0003	0,0006
Залежність напруження та деформація пластини від товщини та характеру навантаження (Abaqus)						
Товщина пластини, мм		2	1	0,5	0,4	
Навантаження на плоскість в центрі деталі	100Н	напруження, МПа	40	149	597	932
		деформація, м	6,1E-05	4,84E-04	0,0039	0,0075
	30Н	напруження, МПа	13	49	194	303
		деформація, м	1,98E-05	1,57E-04	0,0013	0,0024



ANSYS

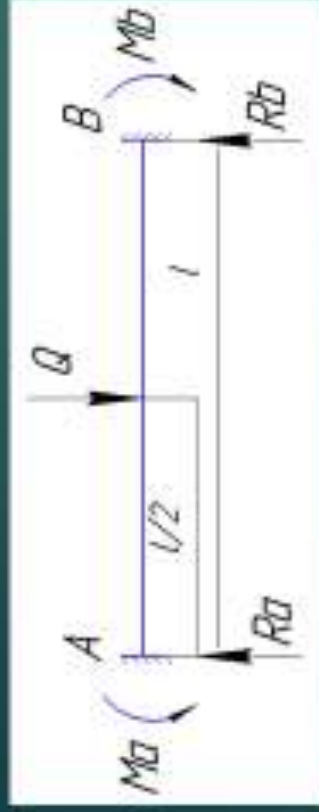


NX



Abaqus

Дані розрахунку сопромата



$L=0.065\text{м}$ – довжина пластини

$H=0.002\text{м}$ – товщина пластини

$B=0.03\text{м}$ – ширина пластини

$Q=100\text{Н}$ - навантаження

$E=112\cdot 10^9\text{Па}$ – модуль юнга для титана

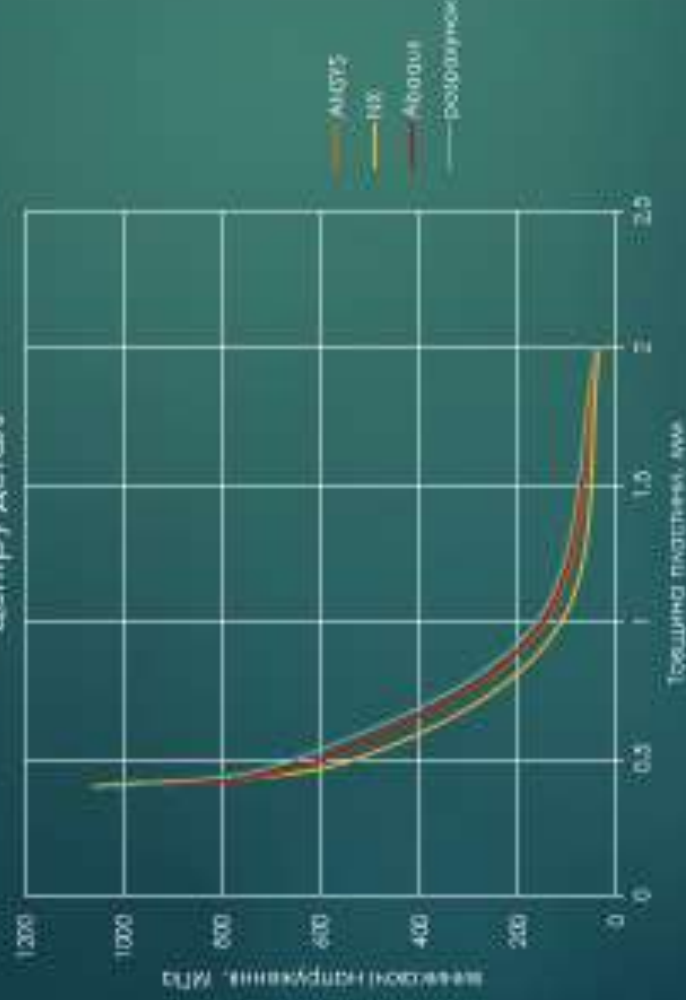
Типові пластини	навантаження 100Н					навантаження 300Н				
	2мм	1мм	0.5мм	0.4мм	2мм	1мм	0.5мм	0.4мм	2мм	1мм
$L, \text{м}$	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
$H, \text{м}$	0.002	0.001	0.0005	0.0004	0.002	0.001	0.0005	0.0004	0.002	0.0004
$B, \text{м}$	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
$Q, \text{Н}$	100	100	100	100	100	300	300	300	300	300
$E, \text{Па}$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$	$1.12\text{E}+11$
$I, \text{см}^4$	$2\text{E}-11$	$3.3\text{E}-12$	$3.11\text{E}-13$	$1.6\text{E}-13$	$2\text{E}-11$	$2.3\text{E}-12$	$3.1\text{E}-13$	$1.6\text{E}-13$	$2\text{E}-11$	$1.6\text{E}-13$
$W_x, \text{см}^3$	$3\text{E}-08$	$5\text{E}-09$	$1.35\text{E}-09$	$8\text{E}-10$	$2\text{E}-08$	$5\text{E}-09$	$1.35\text{E}-09$	$8\text{E}-10$	$2\text{E}-08$	$3\text{E}-10$
$A-B, \text{Н}$	50	50	50	50	15	15	15	15	15	15
$M_A=M_B, \text{Н}^{\circ}\text{м}$	-0.8125	-0.8125	-0.8125	-0.8125	-0.8125	-0.24375	-0.24375	-0.24375	-0.24375	-0.24375
$M_{max}, \text{Н}^{\circ}\text{м}$	0.8125	0.8125	0.8125	0.8125	0.8125	0.24375	0.24375	0.24375	0.24375	0.24375
$F_{max}, \text{м}$	$6.39\text{E}-05$	0.000511	0.004087	0.0079818	$1.92\text{E}-05$	0.000151	0.001226	0.002395	0.001226	0.002395
$\sigma, \text{Па}$	40625000	$1.63\text{E}+08$	$6.3\text{E}+08$	1015625000	12187500	48750000	$1.95\text{E}+08$	$3.65\text{E}+08$	$1.95\text{E}+08$	$3.65\text{E}+08$

Дані для порівняння значень розрахунків програм

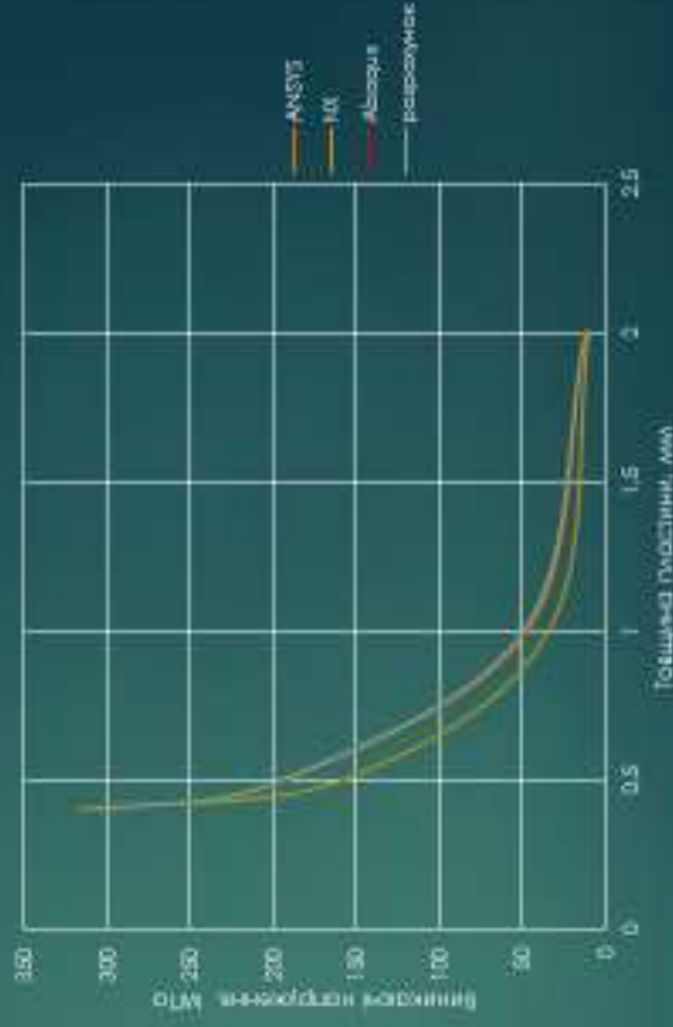
навантаження на площину по центру (100Н)				
товщина пластини, мм	напруження виникаючі в деталі, Мпа			Abaqus
	розрахунок	ANSYS	NX	
2	41	38	35	40
1	162	144	112	149
0,5	650	594	529	597
0,4	1015	923	1061	932
навантаження на площину по центру (30Н)				
	напруження виникаючі в деталі, Мпа			Abaqus
	розрахунок	ANSYS	NX	
2	12	12	10	13
1	49	47	34	49
0,5	195	193	158	195
0,4	305	300	318	303

Порівняння отриманих значень напружень

Нова навантаження пластини в 100Н на площину по центру деталі

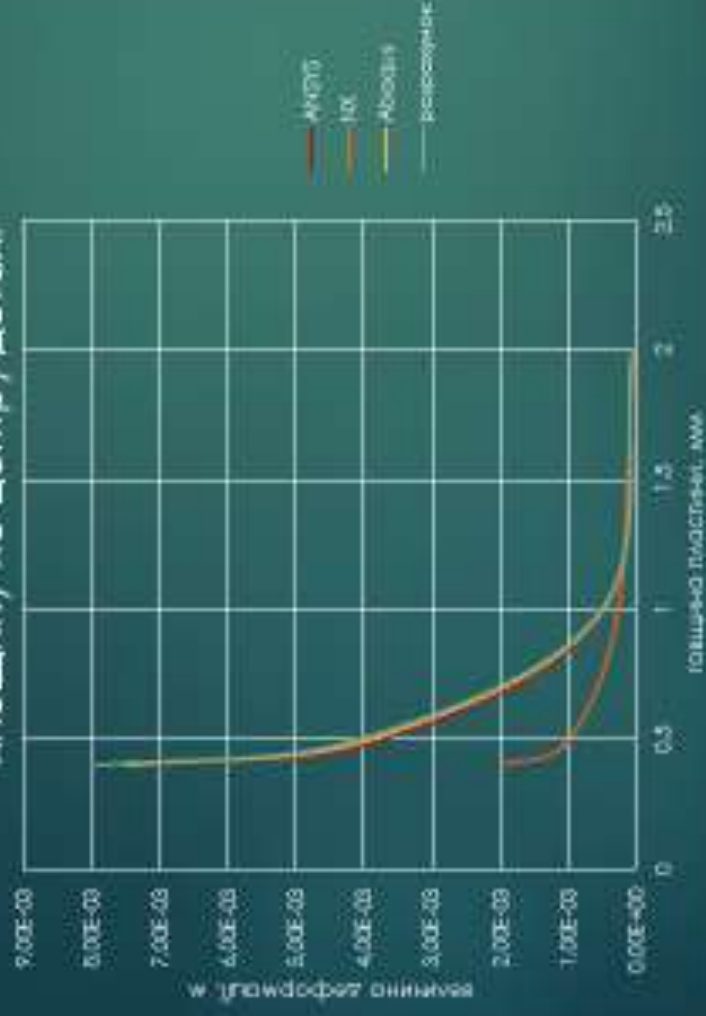


Нова навантаження пластини в 30Н на площину по центру деталі

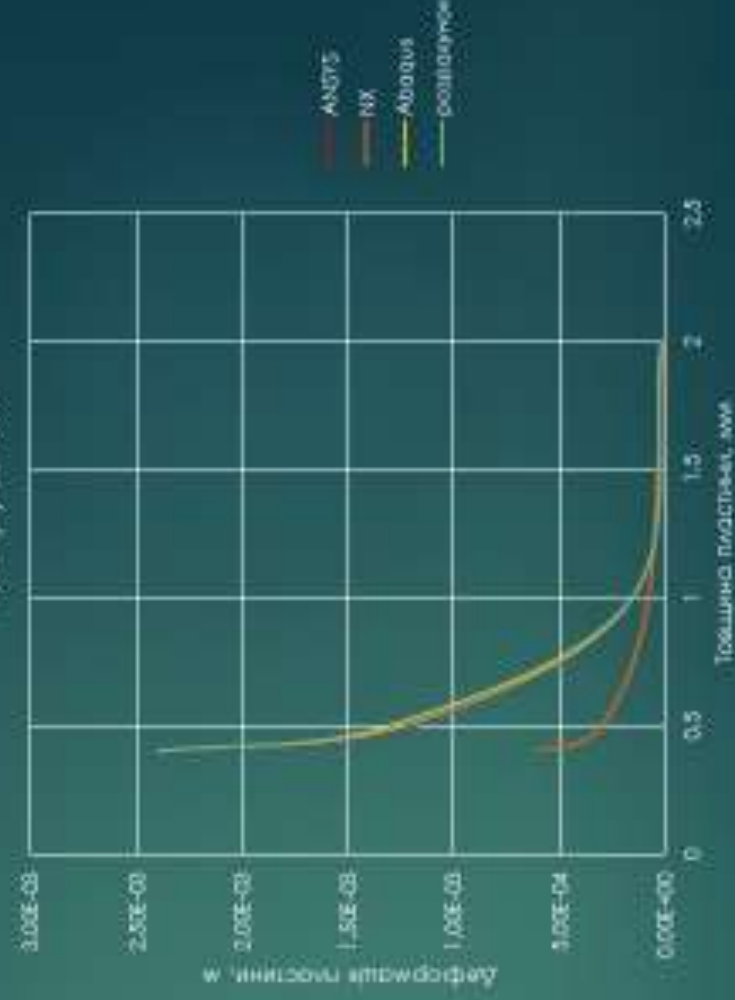


Порівняння отриманих значень деформацій

Навантаження пластини в 100Н на площину по центру деталі



Навантаження пластини в 30Н на площину по центру деталі



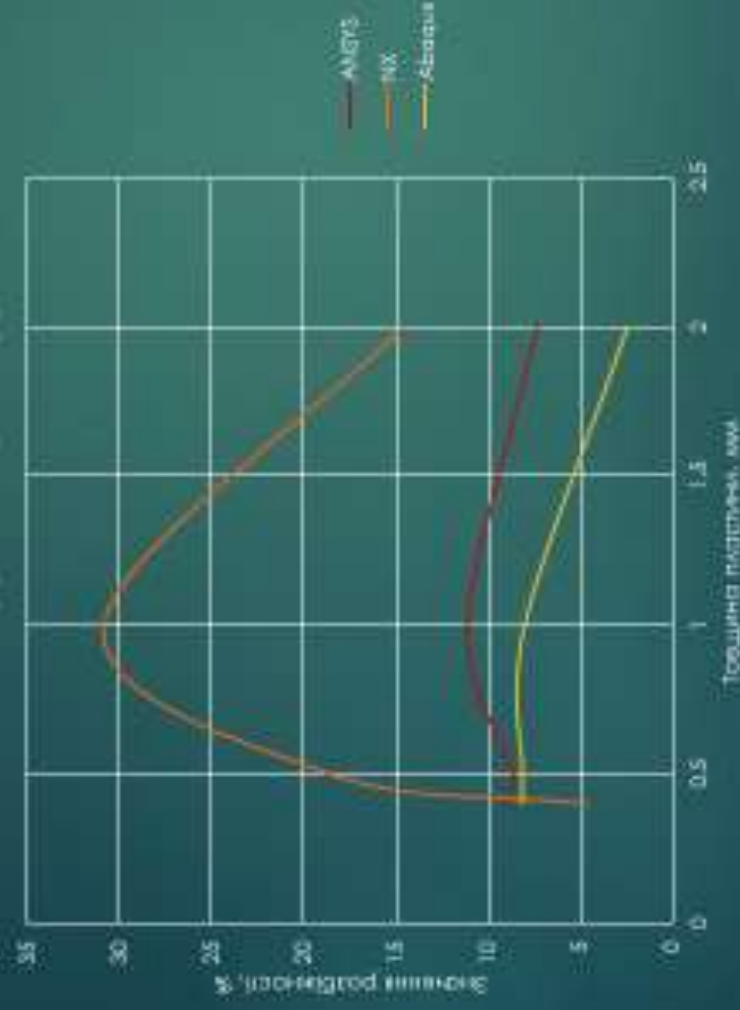
Дані для порівняння розбіжностей розрахунків

Розбіжність напруження програмних розрахунків з математичним, %				
товщина пластини, мм	навантаження на площину по центру (100Н)			
	ANSYS	NX	Abaqus	
2	7,32	14,63	2,44	
1	11,11	30,86	8,02	
0,5	8,62	18,62	8,15	
0,4	9,06	4,53	8,18	
	навантаження на площину по центру (30Н)			
2	0,00	14,63	2,44	
1	4,08	30,86	8,02	
0,5	1,03	18,62	8,15	
0,4	1,64	4,53	8,18	

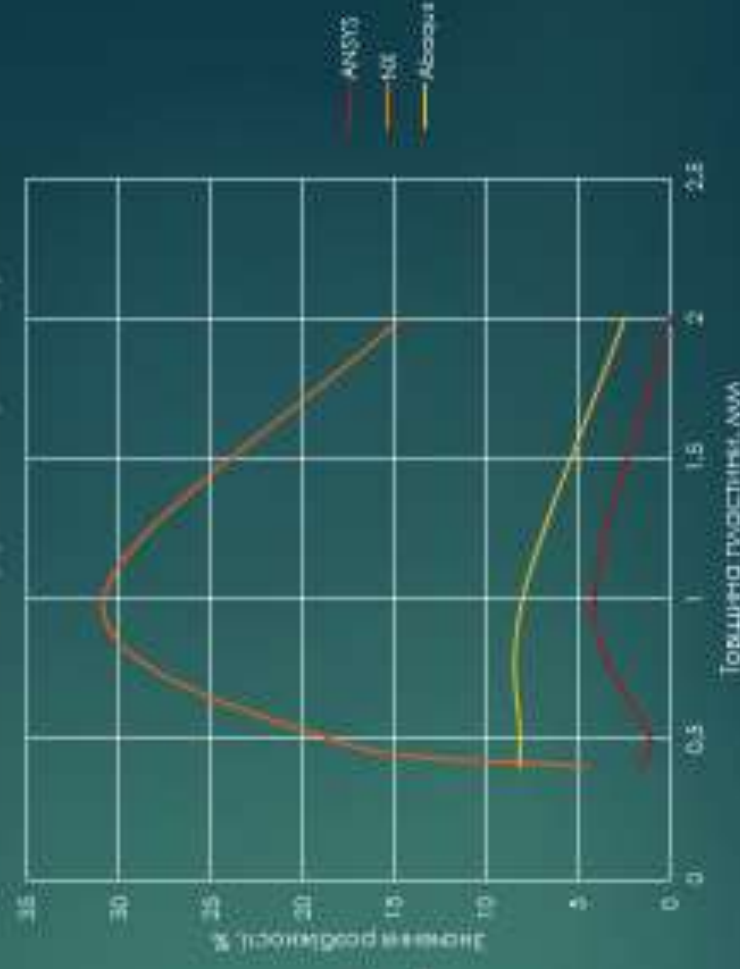
Розбіжність деформації програмних розрахунків з математичним, %				
товщина пластини, мм	навантаження на площину по центру (100Н)			
	ANSYS	NX	Abaqus	
2	8,14	25,67	4,54	
1	9,00	47,75	5,28	
0,5	9,47	75,78	4,58	
0,4	8,54	74,94	6,04	
	навантаження на площину по центру (30Н)			
2	0,52	27,08	0,00	
1	1,31	47,71	0,02	
0,5	2,12	75,53	0,12	
0,4	3,97	74,95	0,24	

Порівняння розбіжностей напружень

Розбіжність напруження при нарузці в 100Н

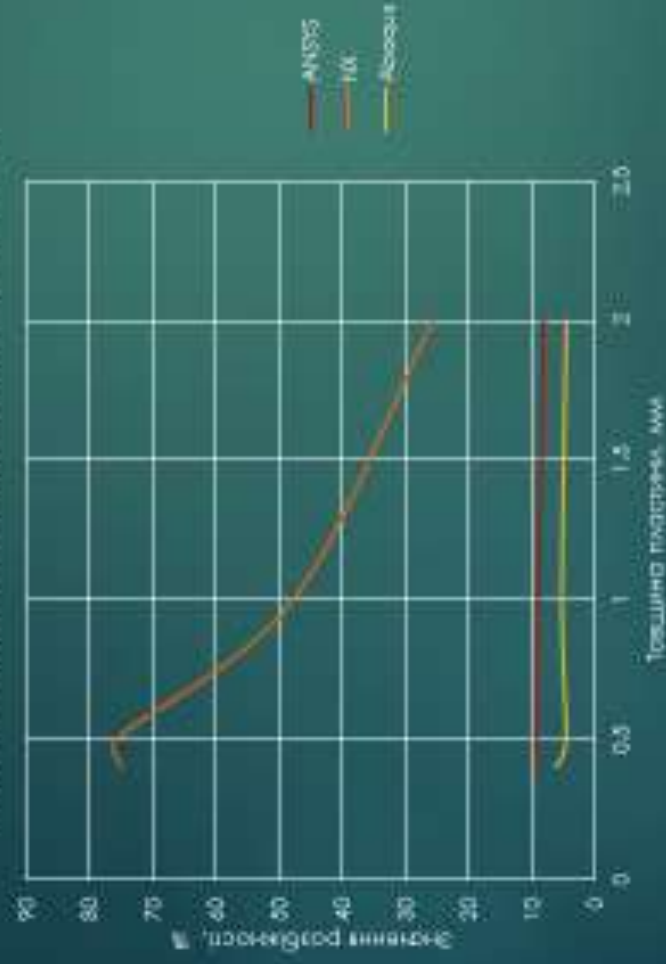


Розбіжність напруження при нарузці в 30Н

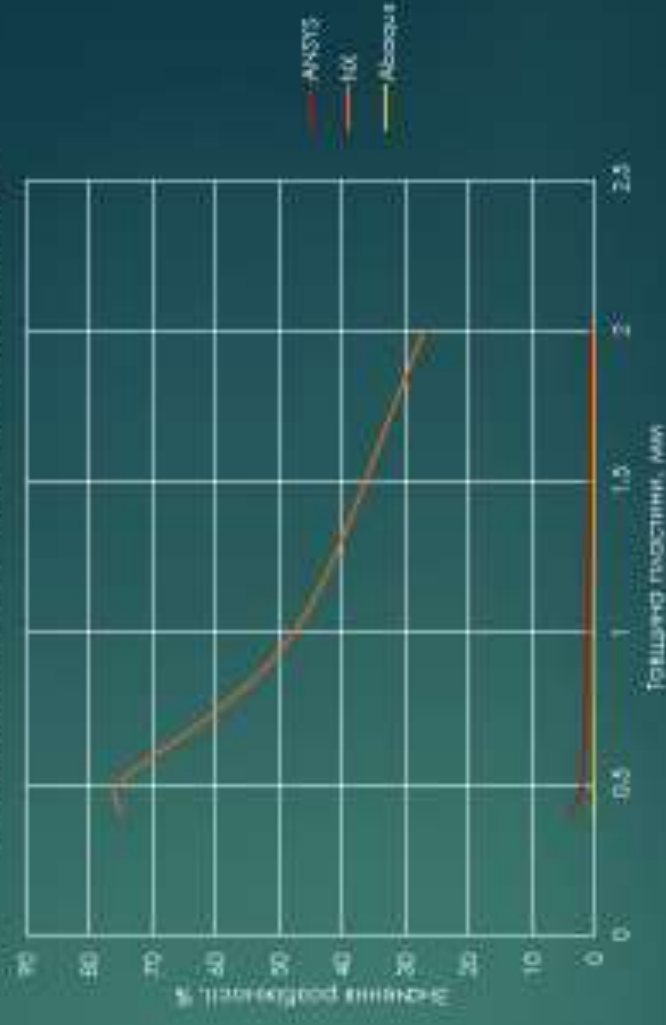


Значення розбіжностей деформації

Розбіжність деформації при нарузі в 100Н



Розбіжність деформації при нарузі в 30Н

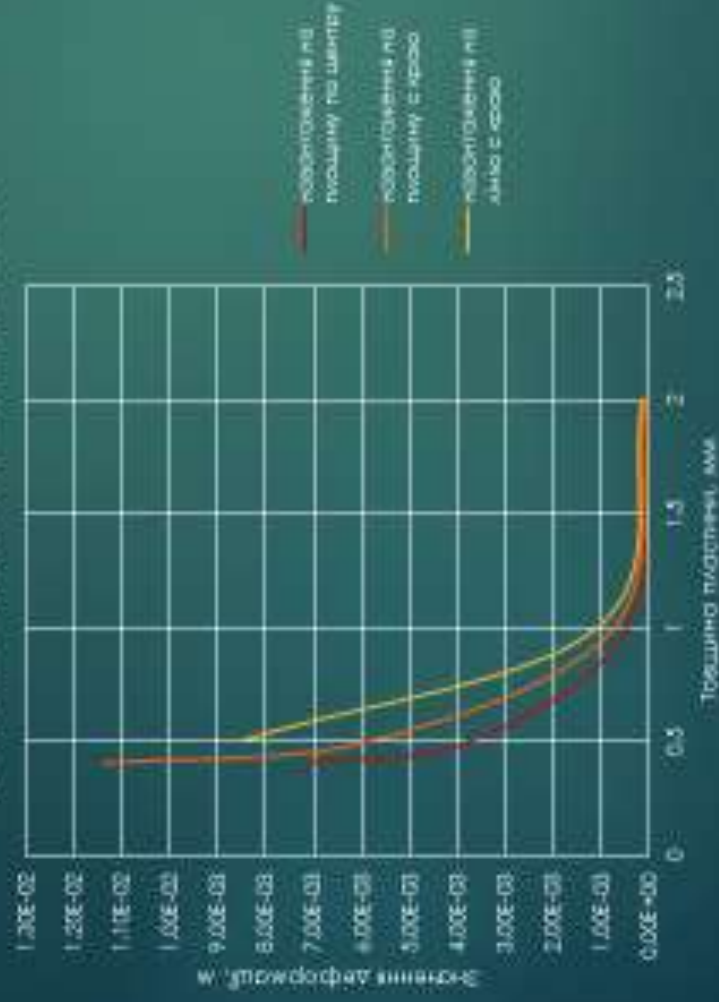


Аналіз значень напруження та деформації при зміні товщини пластини, та характеру навантаження

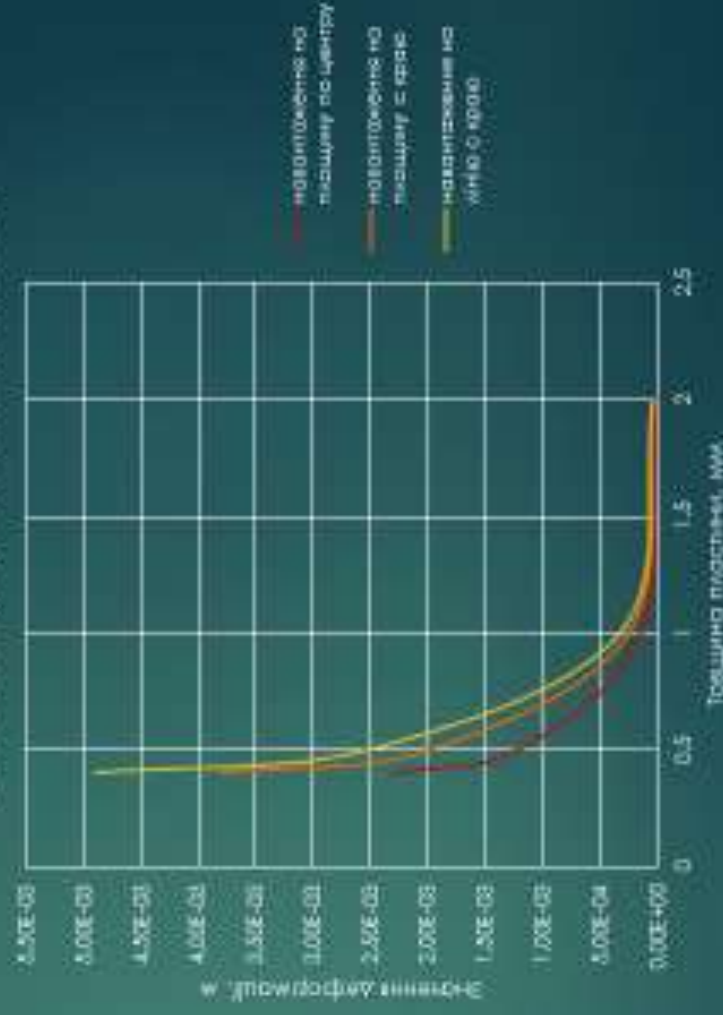
Залежність напруження та деформації пластини від її товщини та характеру навантаження					
Товщина пластини, мм		2	1	0,5	0,4
навантаження на площину по центру	100Н	напруження, Мпа	144	594	923
		деформація, м	5,87E-05	0,0037	0,0073
	30Н	напруження, Мпа	46,8	193	300
		деформація, м	1,91E-05	0,0012	0,0023
навантаження на площину с краю	100Н	напруження, Мпа	216	887	1390
		деформація, м	9,33E-05	0,0058	0,0114
	30Н	напруження, Мпа	72,9	299	468
		деформація, м	3,15E-05	0,00196	0,0038
навантаження на лінію с краю	100Н	напруження, Мпа	370	1500	-
		деформація, м	0,00107	0,0085	-
	30Н	напруження, Мпа	111	452	709
		деформація, м	3,23E-04	0,0025	0,0049

Порівняння значень деформацій при різному характеру навантаження

Деформація при навантаженні в 100Н



Деформація при навантаженні в 30Н





Висновки:

Дані програми інженерного напрямку ANSYS та Abaqus, безпосередньо програми розрахункового напрямку тому ці програми дають більш точні результати ніж програма NX, яка призначена не тільки для розрахунків та є багатоцільовою, але якщо перед вами основна ціль не розрахунок а моделювання розробка програми ЧПУ чи моделювання процесу обробки то в NX дані модулі дуже добре розроблені та мають багато переваг.

По результатам розрахунків, та за отриманими даними можемо сказати, що рекомендованою мінімальною товщиною для обробки деталей типу лопатка є 1 мм при силі в 100Н, так як при подальшому зменшенні товщини виникає різке підвищення внутрішніх напружень, також теоретично можливо обробляти деталі товщиною до 0.5 мм при цьому знизивши навантаження від шітки до 30 Н, при цьому обробка буде відбуватися повільніше, але при менших напруженнях в деталі. Також слід враховувати деформацію деталі так як вона може мати досить високі значення при цьому не руйнуючи деталь.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ