

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
Інститут інформатики та радіоелектроніки

Кафедра ІТЕЗ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни
«Проектування мікро- і наноструктур»

для студентів спеціальності 172
«Телекомунікації та радіотехніка»
освітньої програми «Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки»
усіх форм навчання

2019

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Проектування мікро- і наноструктур» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікація та радіотехніка» освітньої програми «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» усіх форм навчання / Укладачі: О.Ю. Фарафонов, Н.І. Фурманова, І.П. Коновалова. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 22 с.

Укладачі: Фарафонов Олексій Юрійович, доц., к.т.н., доц. каф. ІТЕЗ;
Фурманова Наталія Іванівна, доц., к.т.н., доц. каф. ІТЕЗ;
Коновалова Ірина Петрівна, зав. навч. лаб.

Рецензент: Онищенко Вадим Федорович, к.фіз.-мат. н.

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна, зав. кафедрою ІТЕЗ, доц., д.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 1 від 28.08.19 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
протокол № 1 від 02.09.19 р.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ

Мета роботи: одержати практичні навички та навчитися працювати у програмному забезпеченні ANSYS.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Основні поняття

ANSYS - універсальна програмна система кінцево-елементного (МСЕ) аналізу, існуюча і розвивається на протязі останніх 30 років, є досить популярною у фахівців в сфері автоматизованих інженерних розрахунків (САПР, або САЕ) і KE рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів.

Також Ansys займається перспективним бізнесом, створюючи інструменти візуалізації для динамічного сегмента 3D-друку. Рішення Ansys дозволяють проектувати вироби для тривимірної друку з різних матеріалів, включаючи лазерний друк SLM з дрібнодисперсних металевих порошків. В даний час рішення Ansys охоплюють практично всі сегменти інженерної галузі: від важкого машинобудування, оборонної промисловості та аерокосмічної техніки до мікроелектроніки, медицини і симуляторів для тестування ПО.

Моделювання та аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проектування - виготовлення - випробування».

Перша реалізація програми значно відрізнялася від останніх її версій і стосувалася тільки рішення задач теплопередачі і міцності в лінійній постановці. Як і більшість інших програм того часу, вона працювала в пакетному режимі і лише на супер-ЕОМ.

На початку 70-х років ХХ століття в систему було внесено багато змін в зв'язку з впровадженням нової обчислювальної технології та реалізацією запитів користувачів. Були додані

нелінійності різної природи, з'явилася можливість використовувати метод підконструкцій, була розширена бібліотека кінцевих елементів. Компанія звернула увагу на що з'явилися в той час персональні комп'ютери і векторні графічні термінали. Протягом декількох років ці нові апаратні засоби були освоєні програмними розробками компанії.

В кінці ж 1970-х років суттєвим доповненням до системи ANSYS став інтерактивний режим роботи. Це значно спростило процедури створення KE моделі і оцінку результатів (пре- і пост-процесорна обробка). Стало можливим використовувати інтерактивну графіку для перевірки геометрії моделі, заданих властивостей матеріалу і граничних умов перед початком рахунку. Графічна інформація могла бути відразу ж виведена на екран для інтерактивного контролю результатів рішення.

2 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО РОБОТИ

- 2.1 Ознайомитись з методичними вказівками до лабораторної роботи.
- 2.2 Проробити літературу.
- 2.3 Дати короткі письмові відповіді на контрольні запитання.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 3.1 Для чого призначена програмна система ANSYS?
- 3.2 Що змінювалось у системі ANSYS?
- 3.3 Що потрібно зробити для створення ескізу моделі?
- 3.4 Як перетворити ескіз у тривимірну модель?
- 3.5 Які параметри можливо перевірити за допомогою програми ANSYS?

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ

- 4.1 Запустити програмне забезпечення ANSYS Workbench.
- 4.2 У панелі з лівої сторони, знайти пункт «Static Structural», натиснути по ньому ЛКМ, та не відпускаючи перенести на біле поле для роботи з програмою, так як показано на рис. 4.1 та 4.2.

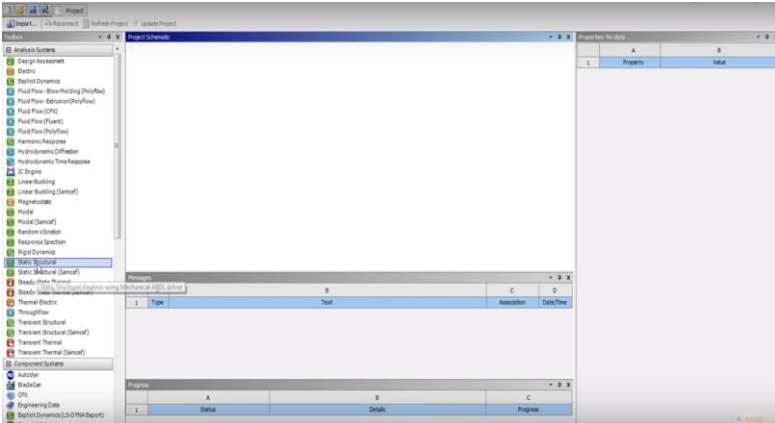


Рисунок 4.1 – Вибір команди Static Structural

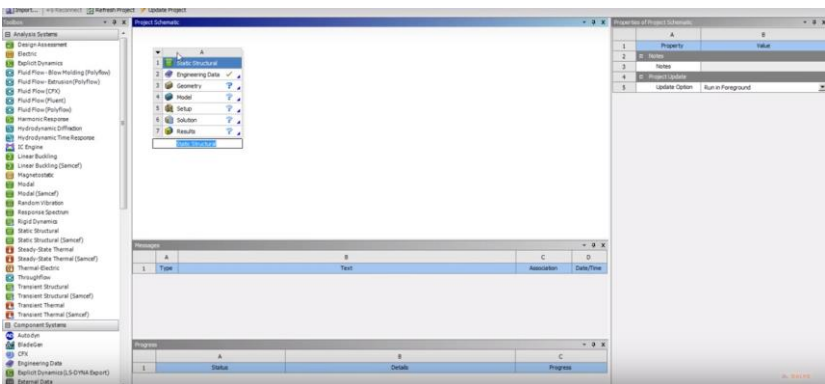


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд команди Static Structural

4.3 Щоб налаштувати матеріал майбутньої досліджуваної моделі, у доданому нами вікні Static Structural обираємо розділ «Engineering Data», у з'явившомуся вікні, відразу стоїть матеріал за замовчуванням, а у таблиці під ним, показані усі його параметри, які можна корегувати, як зображено на рис. 4.3.

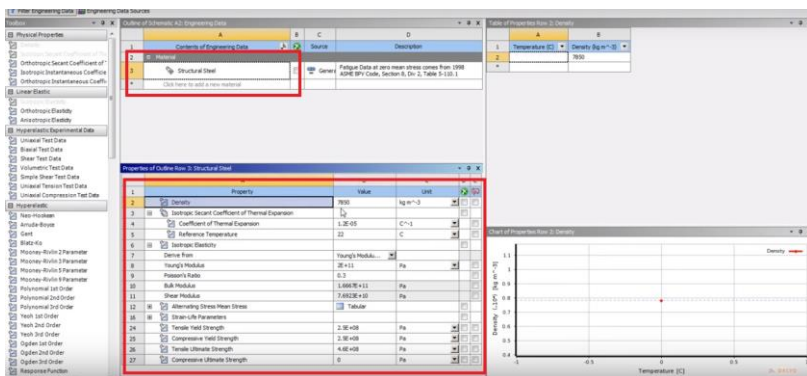


Рисунок 4.3 – Обраний матеріал моделі, та параметри матеріалу.

Щоб змінити матеріал майбутньої моделі, треба натиснути на вкладку «Engineering Data Sources» рис. 4.4, та обрати потрібний матеріал із запропонованих.

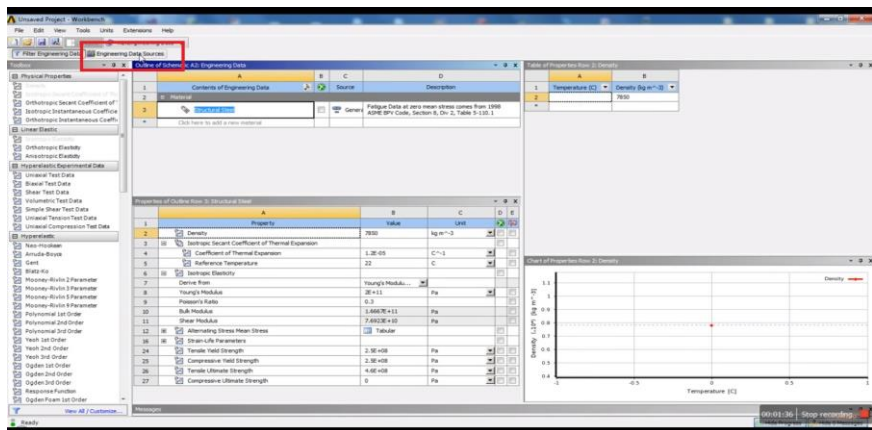


Рисунок 4.4 – Вкладка для вибору іншого матеріалу.

4.4 Після того, як був обран потрібний матеріал, повертаємось на початок нашого проекту (див. рис. 4.1 та 4.2) та обираємо пункт «Geometry» (рис. 4.5), натискаємо два рази ЛКМ, після чого відкривається нове вікно, для створення ескізу та тривимірної моделі, як показано на рис. 4.6.

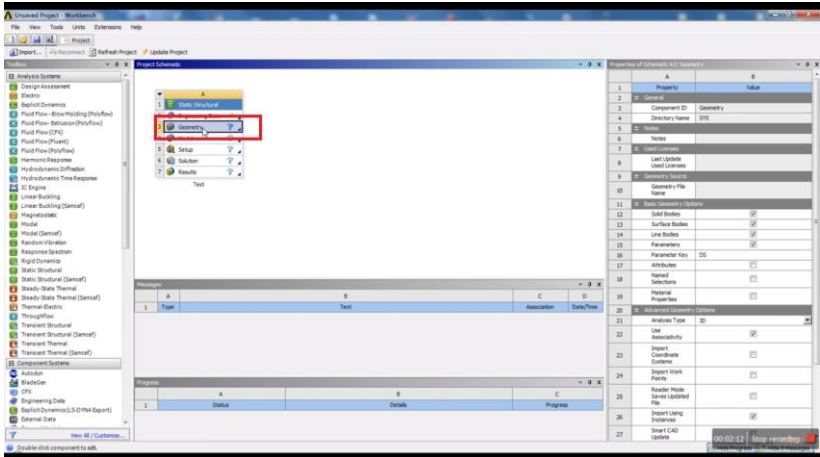


Рисунок 4.5 – Пункт «Geometry» для початку моделювання

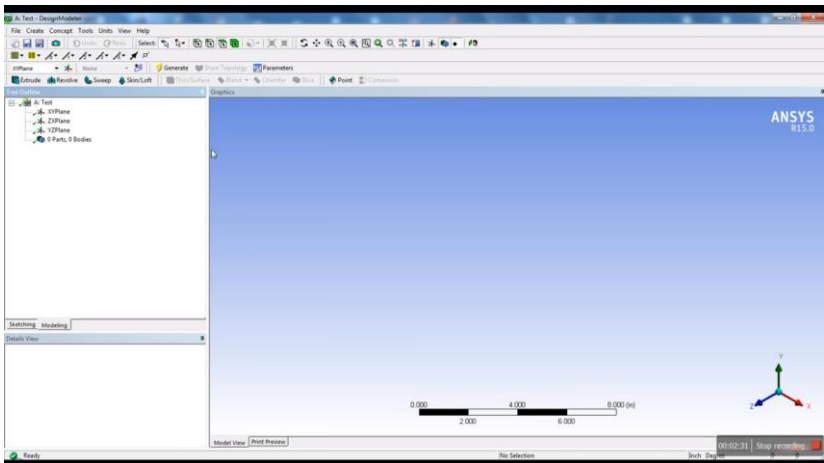


Рисунок 4.6 – Вікно для створення ескізу та тривимірної моделі.

Щоб створити ескіз майбутньої тривимірної моделі, обираємо одну із запропонованих координатних площин. (рис. 4.7).

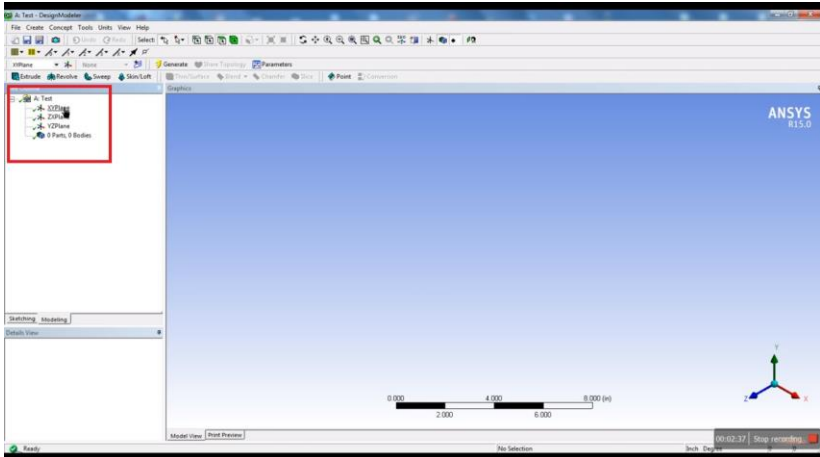


Рисунок 4.7 – Доступні координатні площини

Після вибору площини, щоб повернути робоче поле обираємо команду «Look At Face/Plane/Sketch» як показано на рис. 4.8 та переходимо до будування ескзу, як показано на рис. 4.9.

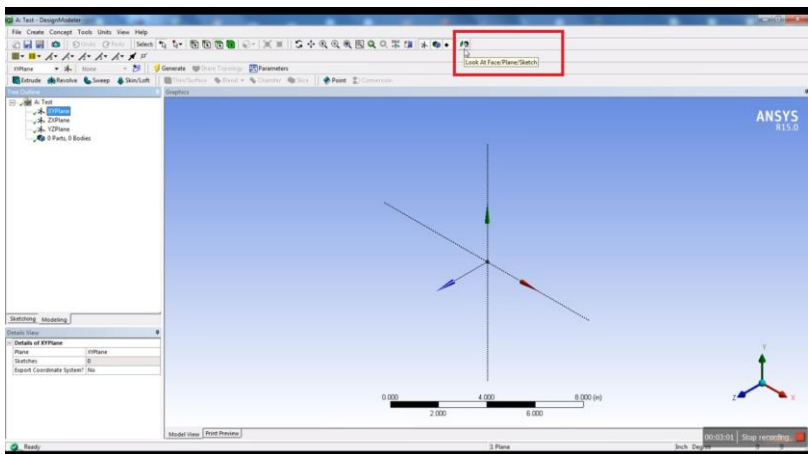


Рисунок 4.8 – Команда «Look At Face/Plane/Sketch».

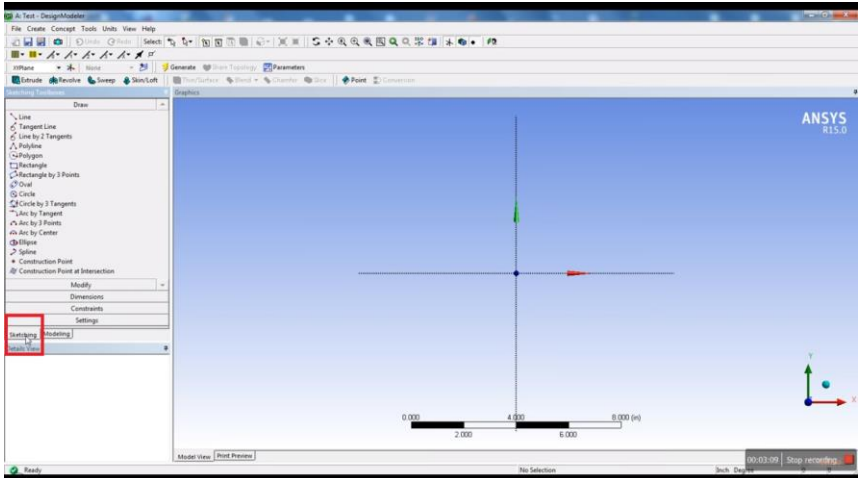


Рисунок 4.9 – Початок створення ескізу майбутньої моделі.

Для побудовання пластини, обираємо команду «Rectangle» (рис. 4.10), та будуємо прямокутник з довільними розмірами. Для редагування розмірів прямокутника, та встановлення потрібних переходимо у вкладку «Dimensions» та обираємо команду «General» (рис. 4.11).

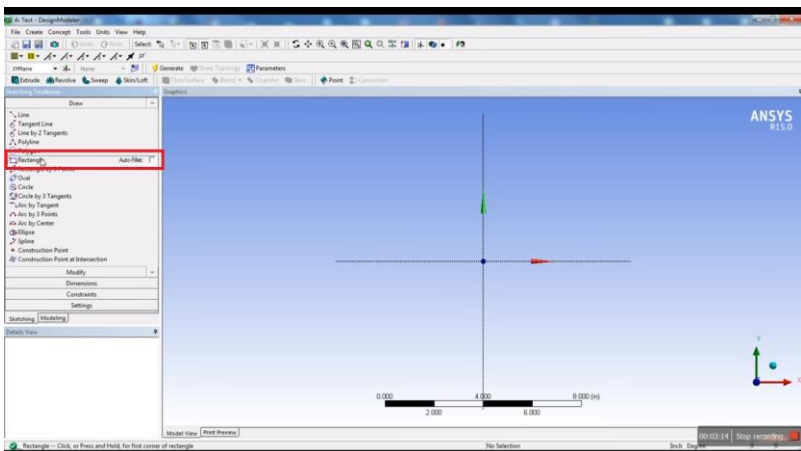


Рисунок 4.10 – Команда «Rectangle» для побудови прямокутника

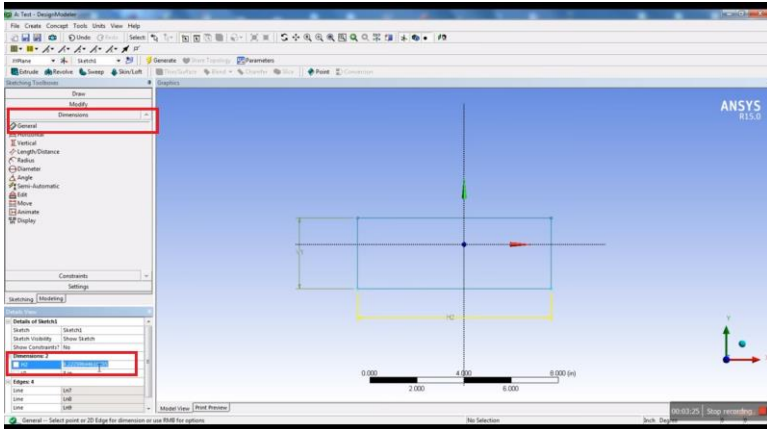


Рисунок 4.11 – Налаштування розмірів прямокутника

Після налаштування розмірів переходимо у вкладку «Modeling» (рис. 4.12) та обираємо команду «Extrude» (рис. 4.13) для того, щоб витягнути нашу модель, та зробити її тривимірною.

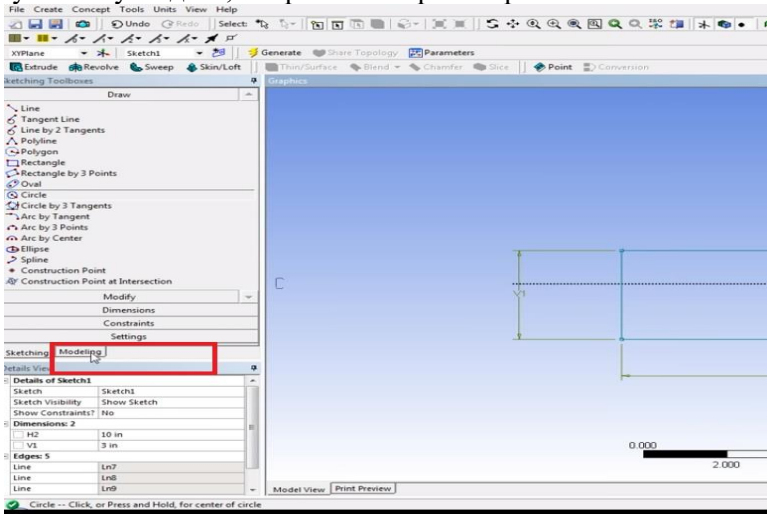


Рисунок 4.12 – Вихід з ескізу

Для встановлення, або зміни відстані на яку потрібно витягнути ескіз, шукаємо у нижній частині параметр, як показано на рис.4.15.

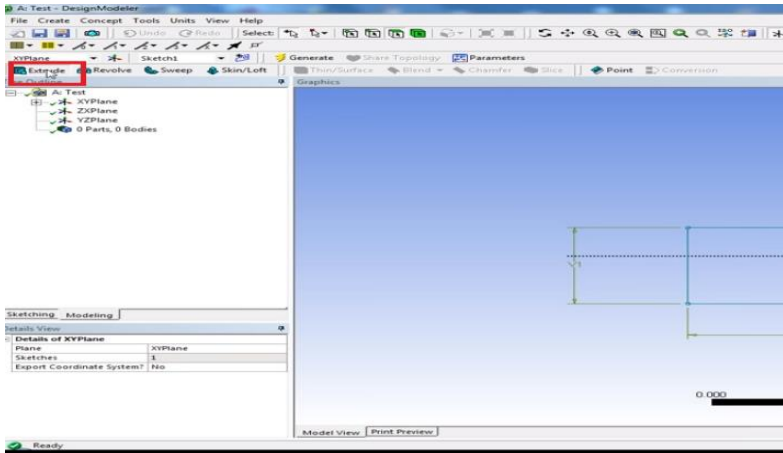


Рисунок 4.13 – Команда «Extrude»

Натискаємо на команду «Extrude», натискаємо на площину у якій створювали ескіз, та обираємо ескіз, з яким потрібно виконати команду «Extrude», як показано на рис. 4.14.

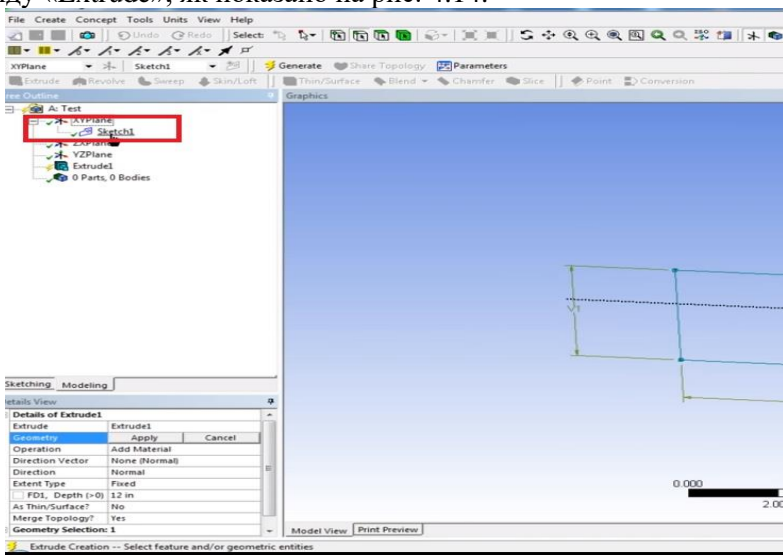


Рисунок 4.14 – Вибір потрібного ескізу

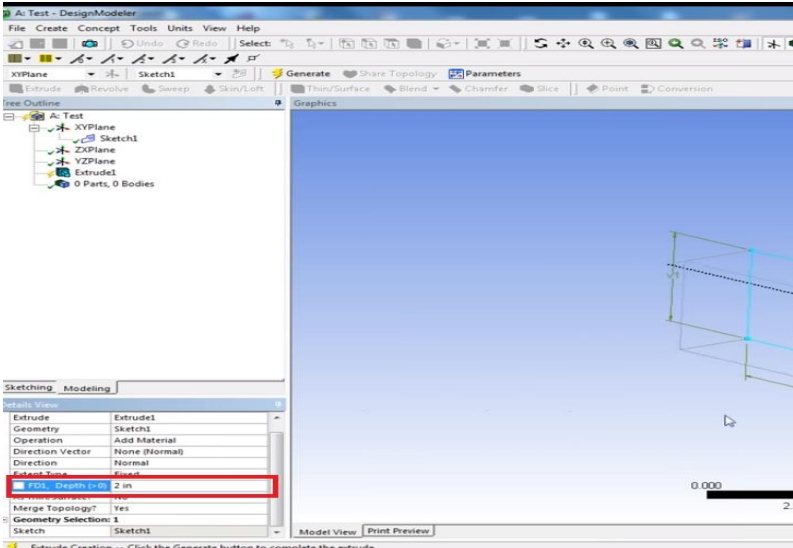


Рисунок 4.15 – Параметр витягування ескізу

Після проведення усіх потрібних процедур, щоб зберегти результат обираємо команду «Generate» (рис. 4.16) та отримуємо пластину як показано на рис.4.17. Після чого зберігаємо модель натисканням на іконку «Дискета» та згортаємо вікно моделювання.

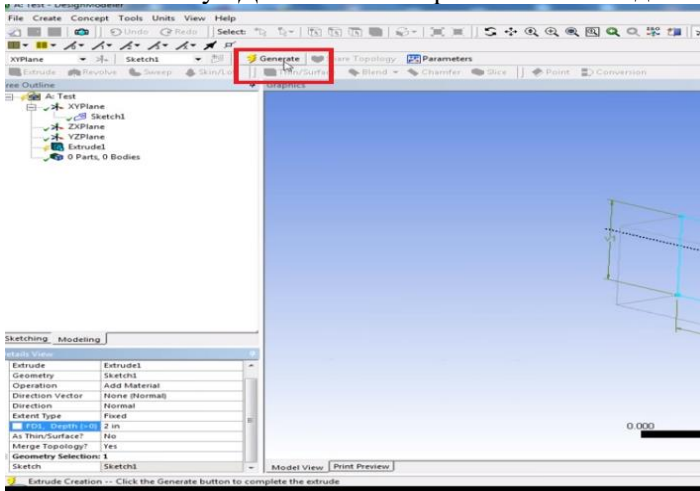


Рисунок 4.16 – Команда «Generate»

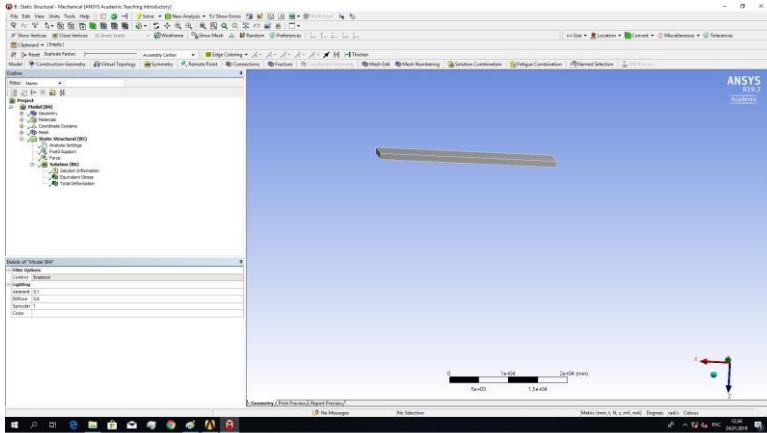


Рисунок 4.17 – Готова тривимірна модель пластини

4.5 Після створення тривимірної моделі, згортаємо вікно моделювання, знаходимо пункт «Model» (рис. 4.18), та натискаємо два рази ЛКМ. Після відкриття пункту «Model», перевіряємо параметри нашої тривимірної моделі за наступним алгоритмом «Geometry» - «Sold» - «Assignment» (рис. 4.19).

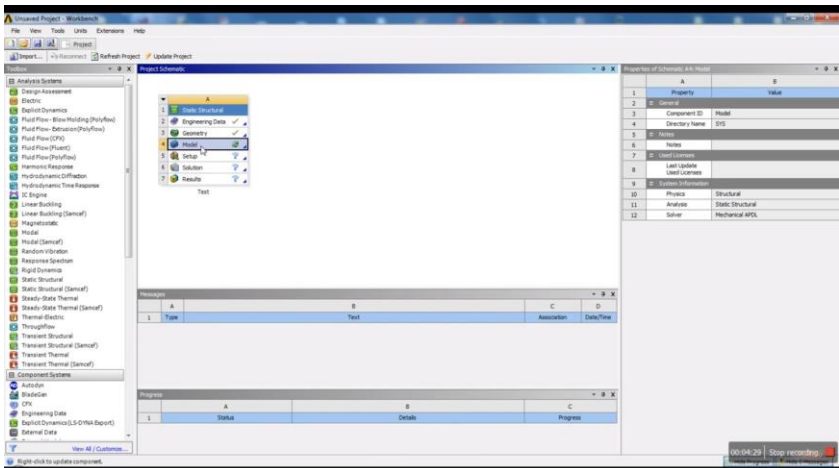


Рисунок 4.18 – Пункт «Model».

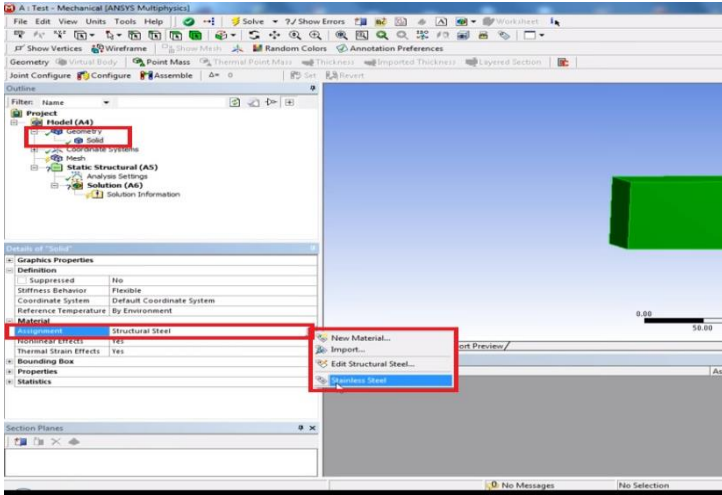


Рисунок 4.19 – Перевірка параметрів тривимірної моделі.

Перед проведенням основних операцій, переходимо до пункту «Mesh» та обираємо команду «Generate Mesh» (рис. 4.20).

Знову обираємо пункт «Mesh», команду «Insert» - «Sizing» (рис. 4.21).

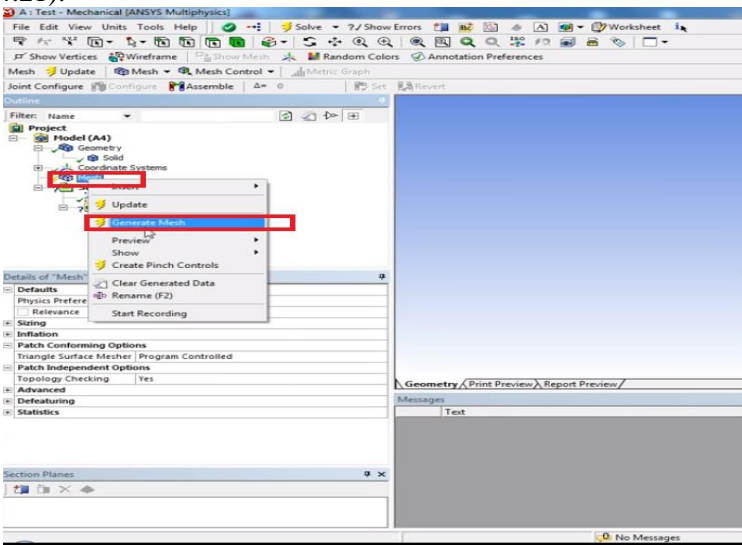


Рисунок 4.20 – Пункт «Mesh»

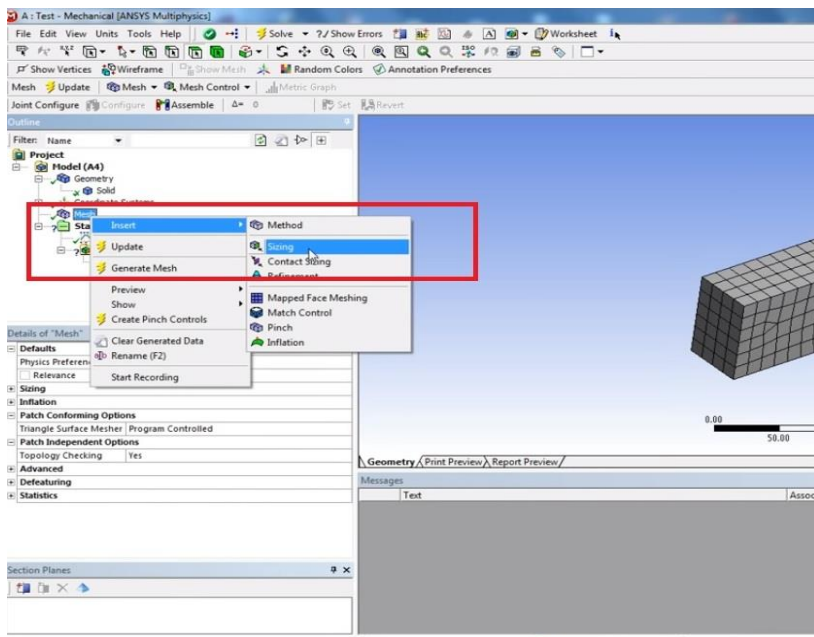


Рисунок 4.21 – Команди «Insert» - «Sizing».

Щоб провести вимірювання на стресостійкість тривимірній моделі, потрібно встановити два параметри. По-перше – це сторона, яка буде зафіксована. По-друге – сторона, до якої будуть прикладатись основні сили (рис. 4.22, 4.23). Після вибору сторін, обираємо які саме досліди будуть проводитись з нашою тривимірною моделю (рис. 4.24, 4.25).

Переходимо до пункту «Force» та налаштовуємо параметр з якої сторони буде прикладатися сила (рис. 4.26).

Для отримання результатів досліду, обираємо команду «Solve» (рис. 4.27). Також вмикаємо додаткові відмітки «min» та «max» (рис. 4.28).

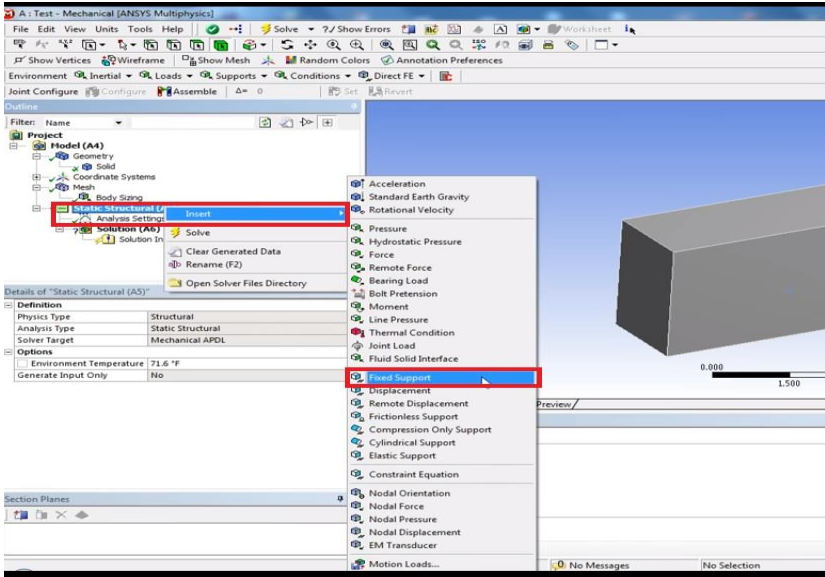


Рисунок 4.22 – Сторона, яка буде зафіксована

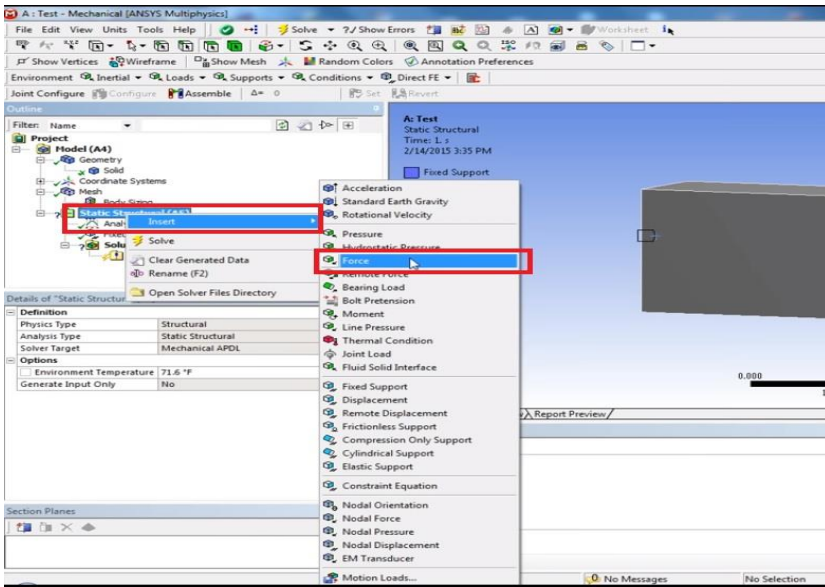


Рисунок 4.23 – Сторона, до якої будуть прикладатися сили

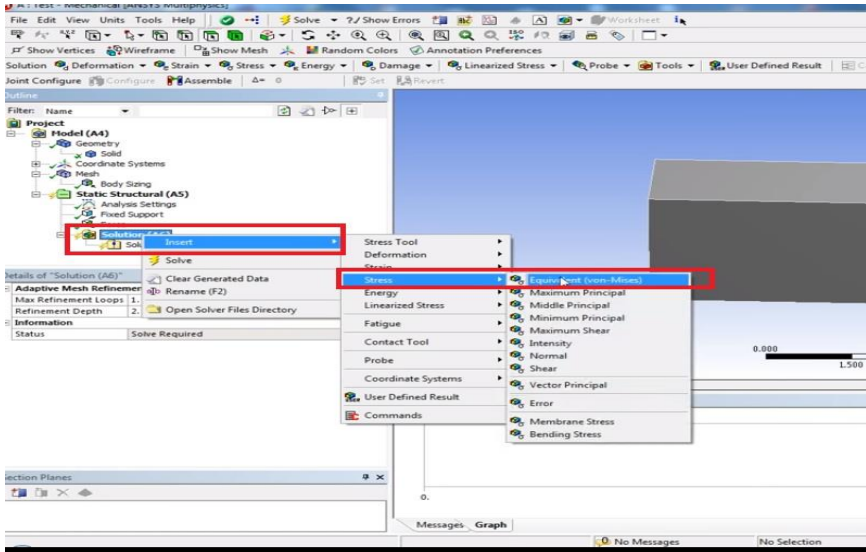


Рисунок 4.24 – Дослід на струсостійкість.

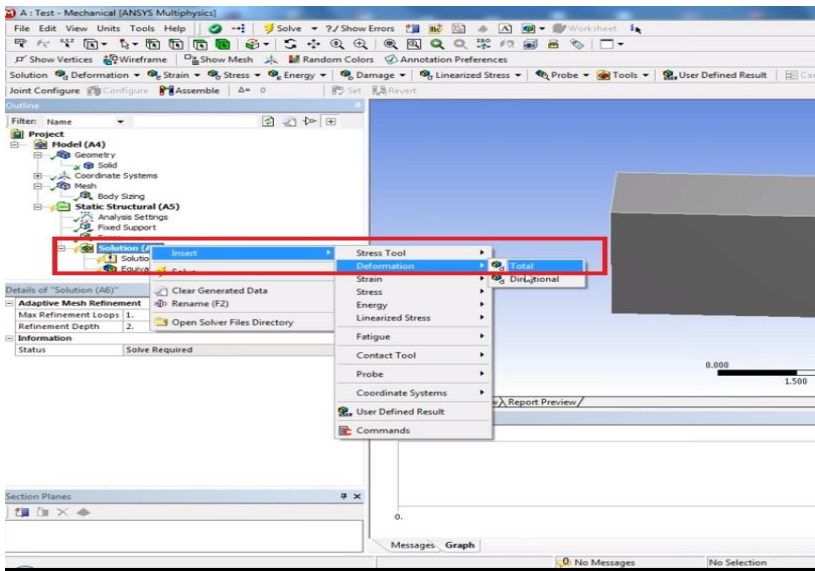


Рисунок 4.25 – Дослід на деформацію.

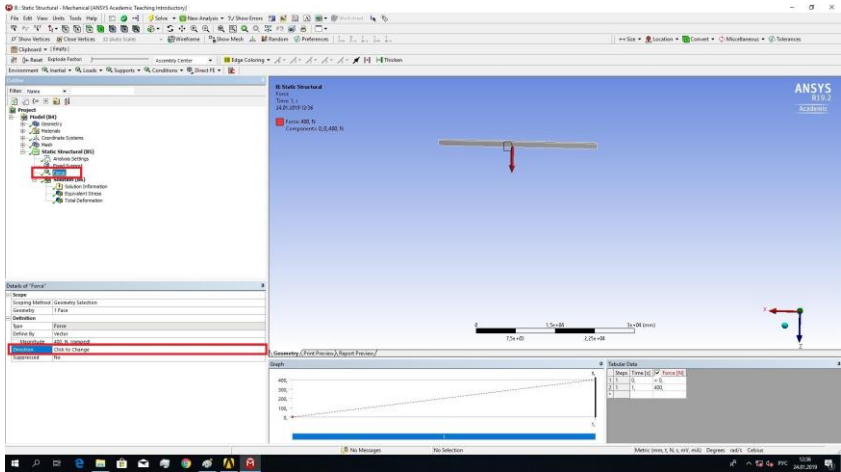


Рисунок 4.26 – Обирання напрямку прикладання сили

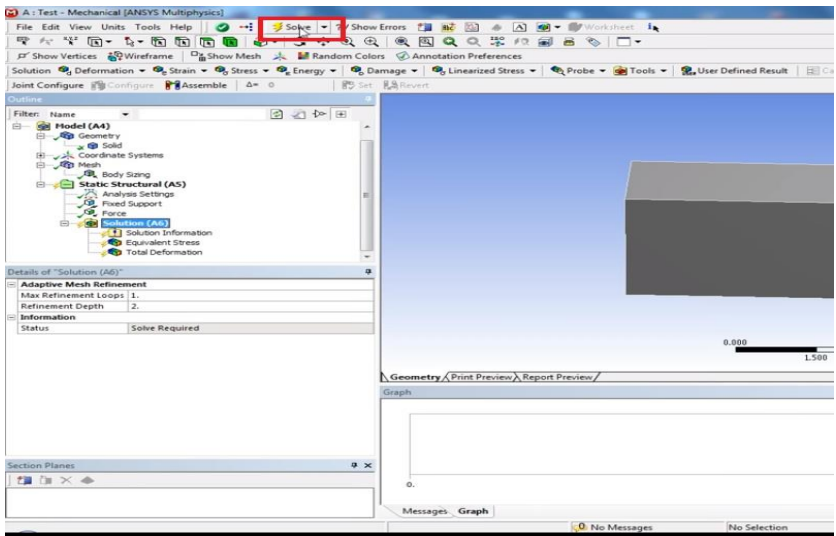


Рисунок 4.27 - Отримання результатів дослідження командою «Solve».

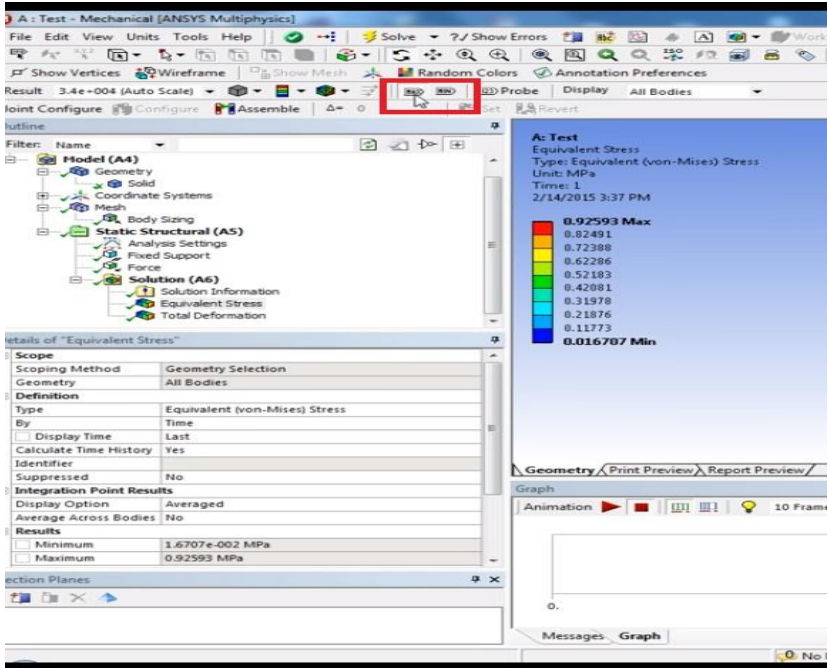


Рисунок 4.28 – Відмітки «min» та «max»

Після проведення усіх операцій на рис 4.29 та 4.30 наведено кінцевий результат виконаної роботи.

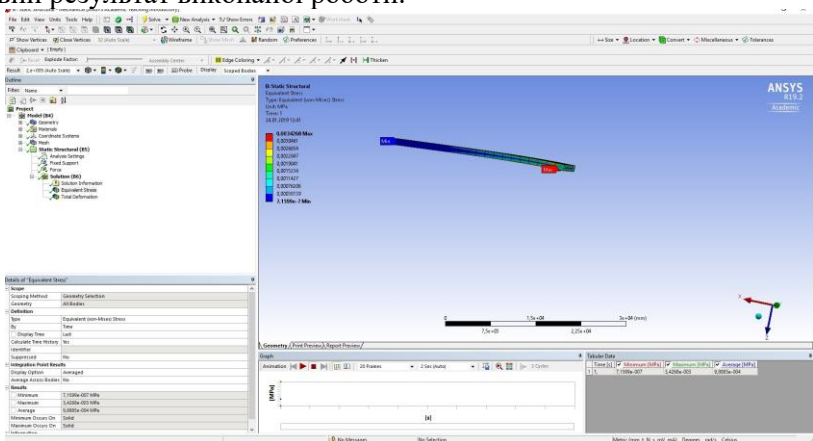


Рисунок 4.29 – Результат дослідження на деформацію пластини.

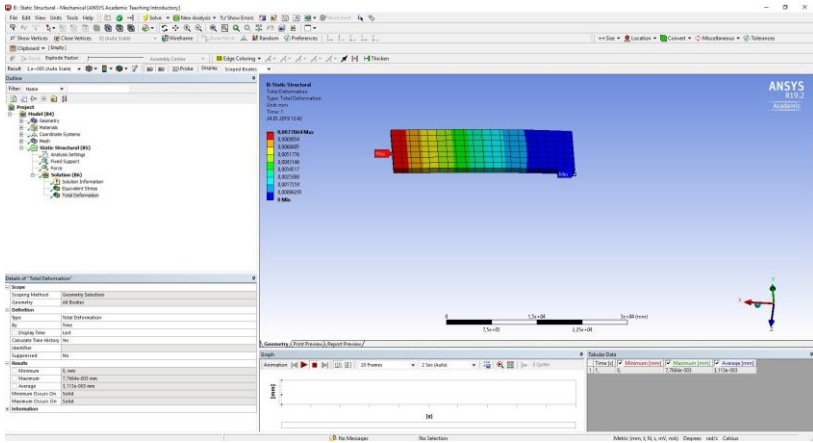


Рисунок 4.30 – Результат дослідження на стресостійкість пластини.

5 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Оцінити напруженості та деформації у зразку у формі паралелепіпеду при навантаженні верхньої грані навантаженням 100 Па відповідно до варіанта, заданого викладачем (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунків

Варіант	Розміри зразка, мм	Матеріал зразка
1	0,5x0,04x0,002	Кремній
2	0,7x0,1x0,01	Діоксид кремнія
3	1x0,1x0,005	Нітрид кремнія
4	0,5x0,05x0,001	Алмаз
5	0,8x0,1x0,01	Кремній
6	0,6x0,1x0,01	Нітрид кремнія
7	0,7x0,1x0,04	Алмаз
8	0,5x0,05x0,005	Карбід кремнія
9	1x0,1x0,01	Діоксид кремнія

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 6.1 Назва, мета роботи.
- 6.2 Відповіді на контрольні питання.
- 6.3 Ескіз вихідної деталі.
- 6.4 Тривимірна модель деталі.
- 6.5 Результат досліду на деформацію.
- 6.6 Результат досліду на стресостійкість.
- 6.7 Висновки з роботи.

7 ЛІТЕРАТУРА

- 1 М. Лобур, М. Мельник. Основи мікросистемних пристроїв: навчальний посібник. <http://cad.lp.edu.ua/project/b3.pdf>
- 2 Семенець В. В., Невлюдов І. Ш., Палагін В. А. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології: підручник для студ. вищ. навч. закл. : затв. МОНУ. – Х.: Компанія СМІТ, 2011. – 416 с.
- 3 В.Теслюк, А.Зелінський, В.Каркульовський, Я.Василюк. Розширене проектування мікросистемних пристроїв: Навчальний посібник. <http://cad.lp.edu.ua/project/m6.pdf>
- 4 Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение: Пер. с англ. / Под ред. Ю.А.Заболотной. – М.: Техносфера, 2004. – 528 с.
- 5 П. Кособуцький, М. Лобур, С. Чумаченко. Статистичне проектування мікроелектромеханічних систем. Навчальний посібник. <http://cad.lp.edu.ua/project/m2.pdf>
- 6 Осадчук В. С., Осадчук О. В. Сенсори тиску і магнітного поля: монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 207 с.
- 7 Осадчук В. С., Осадчук О. В., Кравчук Н. С. Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 163 с. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/7754>
- 8 Викулин И. М., Викулина Л. Ф., Горбачев В. Э. Магниточувствительные полупроводниковые сенсоры: монографія. – Одесса: Одесская нац. академия связи, 2016. – 144 с.

- 9 Осадчук В. С., Осадчук О. В., Крилик Л. В. Сенсори вологості: монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 208 с.
- 10 Осадчук В.С., Осадчук О.В., Прокопова М.О. Сенсори газу. Монографія. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2008. – 182 с. – Режим доступу: http://osadchuk_ov.vk.vntu.edu.ua/file/fc5263b57012f0e8b60116fc63079b95.pdf
- 11 Алейников А. Ф., Гридчин В. А., Цапенко М. П. Датчики (перспективные направления развития): Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 176 с.
- 12 Качан О. Я. Принципы формирования микро- и наносистем. – 2016. – 284 с.
- 13 Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – Москва: Физматлит, 2005. – 416 с.
- 14 Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. Пьезоэлектрические датчики / под ред. В. М. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с. – Мир электроники.
- 15 Хадлстон К. Проектирование интеллектуальных датчиков с помощью Microchip dsPIC: пер. с англ. – Киев: МК-Пресс, 2008. – 320 с.