

УДК 539.4

А.О. Костенко, О.В. Тимошенко, В.В. Коваль

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### Дослідження механічних характеристик матеріалу отриманого методом 3D друку

Адитивне виробництво - це технологія швидкого виготовлення деталей, що дозволяє отримувати форму близьку до форми готової деталі шляхом додавання матеріалу шар за шаром. Порівняно з порошковою, адитивна технологія, на основі подачі дроту, має більш високу швидкість осадження та відносно низьку вартість. Ці переваги дозволяють розглядати її як одну з основних при виробництві складних та великогабаритних деталей.

У якості матеріалу для дослідження був вибраний титановий сплав Ti-6Al-4V, оскільки саме завдяки широкому застосуванню в промисловості, титанові сплави привернули увагу в адитивному виробництві [1, 2].

Сплав Ti-6Al-4V  $\alpha + \beta$  є найбільш широко використовуваним титановим сплавом у світі через його виняткові властивості, такі як високе співвідношення міцності до ваги, стійкість до втоми та до корозії.

Мета роботи. Експериментальне дослідження механічних характеристик матеріалу отриманого методом 3D друку.

Для проведення випробувань були виготовлені зразки циліндричної форми відповідно ГОСТ 1497-84. Напрямки в яких були вирізані зразки показані на рис. 1. Попередньо матеріал після 3D друку пройшов термічну обробку: відпуск протягом 4 годин при 620°C. [3]

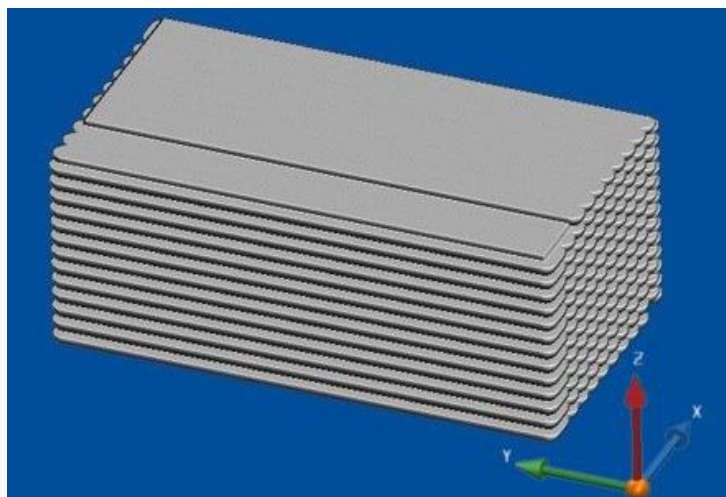


Рис. 1. Модель та вісі координат, в напрямках яких були вирізані зразки

Експерименти проводилися на випробувальній установці TIRAtest 2300 відповідно до вимог ГОСТ 1497-84. За результатами випробувань на розтяг отримано діаграми деформування, з яких були визначені механічні характеристики, які дозволяють оцінити вплив анізотропії на механічні характеристики та можуть бути використані у розрахунках. (див. Рис. 2.)

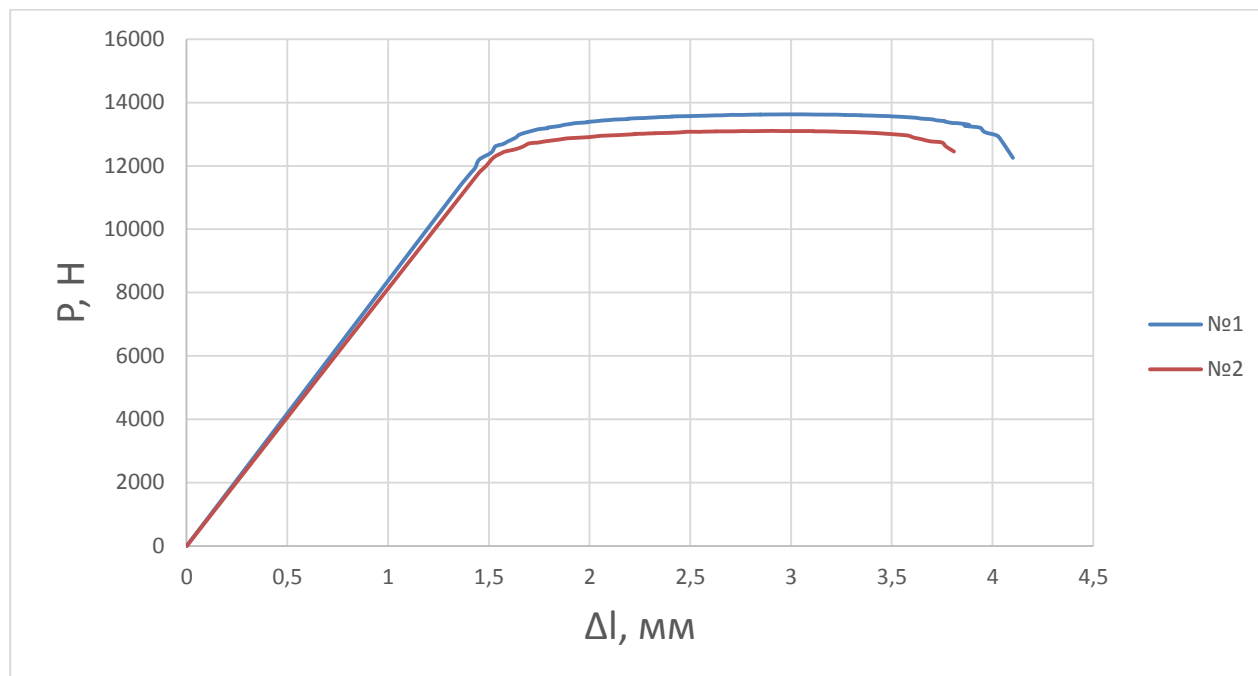


Рис. 2. Діаграми деформування зразків: №1 – вздовж Y; №2 – вздовж Z

Значення механічних характеристик, таких як модуль пружності  $E$ , границя пропорційності  $\sigma_{\text{пц}}$ , умовна границя плинності  $\sigma_{0,2}$ , границя міцності  $\sigma_{\text{в}}$ , відносне видовження  $\delta$  та відносне звуження  $\psi$  - отримані за результатами аналізу експериментальних діаграм розтягу.

Експериментальні характеристики для зразків та їх довідникові величини для матеріалу ВТ6, що виступає аналогом Ti-6Al-4V, наведені у табл. 1. [4]

Таблиця 1. Значення механічних характеристик

Параметр	Розмірність	Зразок №1 (вздовж осі Y)	Зразок №2 (вздовж осі Z)	Довідникові данні
Модуль пружності, $E$	МПа	$1,16 \cdot 10^5$	$1,36 \cdot 10^5$	$1,05-1,25 \cdot 10^5$
Границя пропорційності, $\sigma_{\text{пц}}$	МПа	1004	979	-
Умовна границя плинності, $\sigma_{0,2}$	МПа	1028	998	-

Границя міцності, $\sigma_B$	МПа	1084	1043	930-1080
Відносне видовження, $\delta$	%	10,96	8,54	10-13
Відносне звуження, $\psi$	%	23,87	18,1	35-60

Для визначення впливу анізотропії механічних властивостей матеріалу на НДС елемента конструкції за допомогою пакета ANSYS був проведений скінченно-елементний розрахунок кронштейна. При розрахунку були змодельовані наступні граничні умови: відтворене закріплення кронштейна в 4 отворах, для чого для них були створені локальні циліндричні системи координат в яких була введена заборона переміщення по радіусу та вісі Z (див. Рис.3). Крім цього, було відтворено контакт кронштейна з абсолютно твердим тілом. [5].

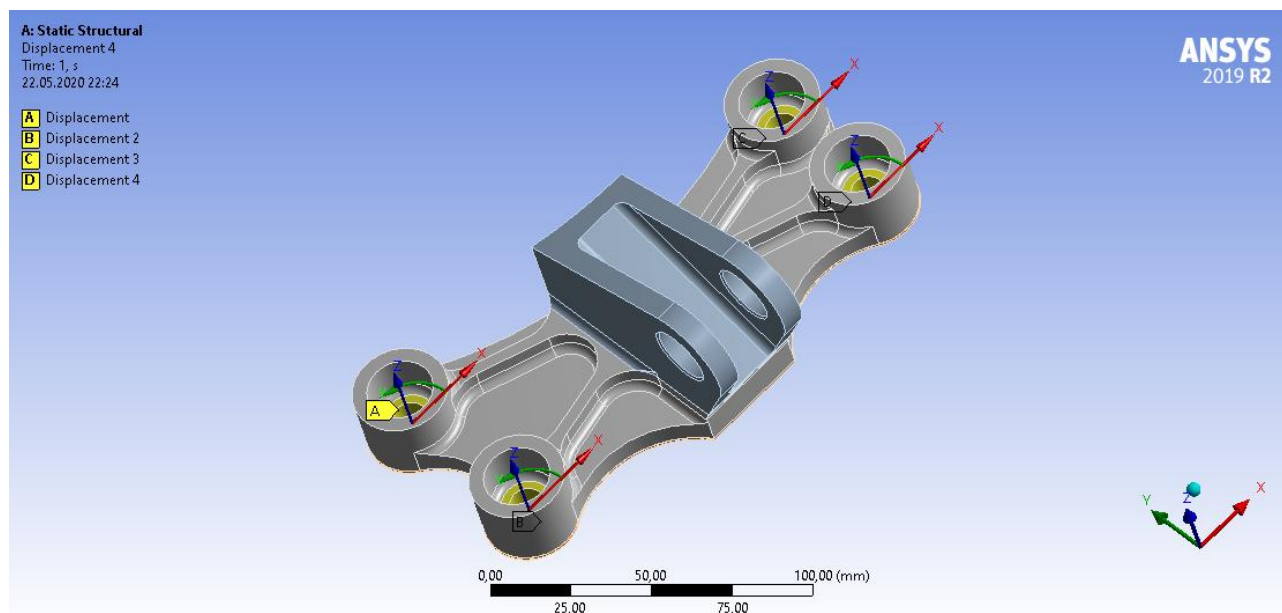


Рис. 3. Схема закріплення кронштейна

Моделювання зовнішнього навантаження на кронштейн було здійснене за допомогою інструмента «bearing load».

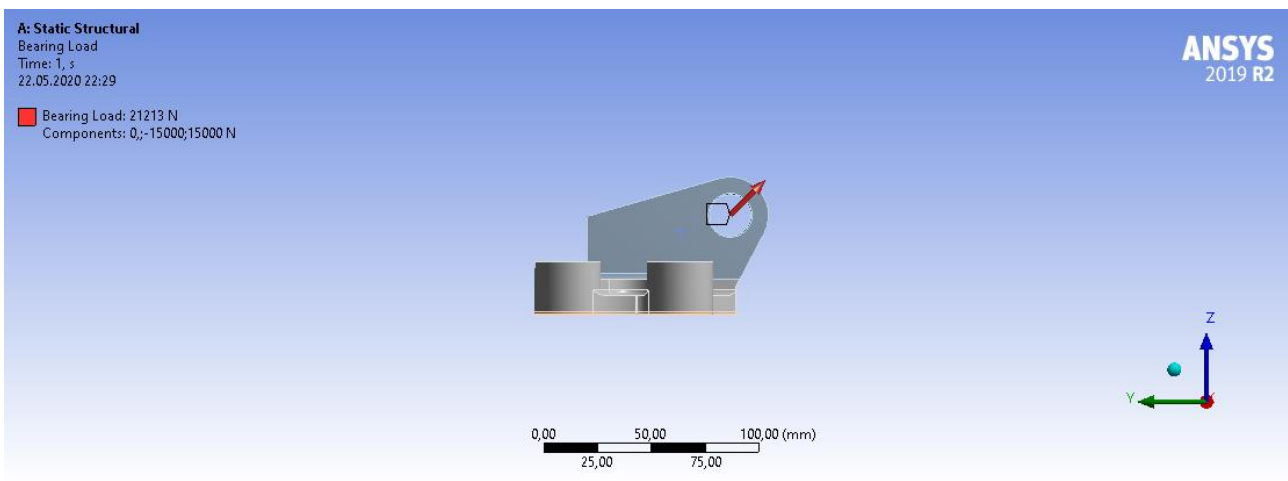


Рис. 4. Схема навантаження кронштейна

Для першого розрахунку були використані характеристики з довідника, які не враховують анізотропію матеріалу та є інваріантними для всіх напрямків координатних осей: модуль пружності  $1,15 \cdot 10^5$  МПа вздовж всіх осей та коефіцієнт Пуассона 0,31. Результати розрахунку наведені на рис. 5 – 8.

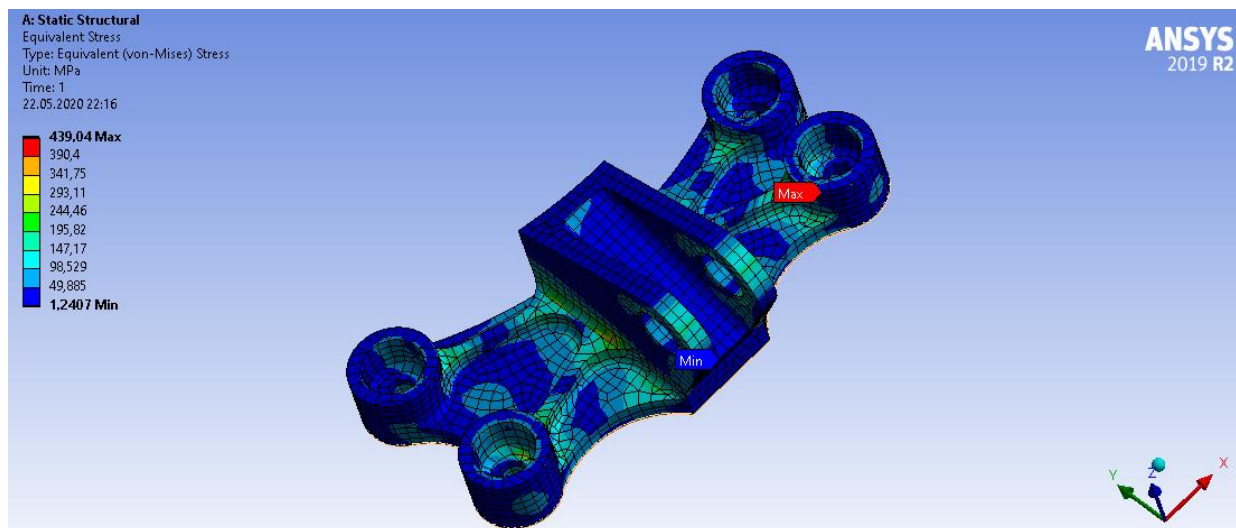
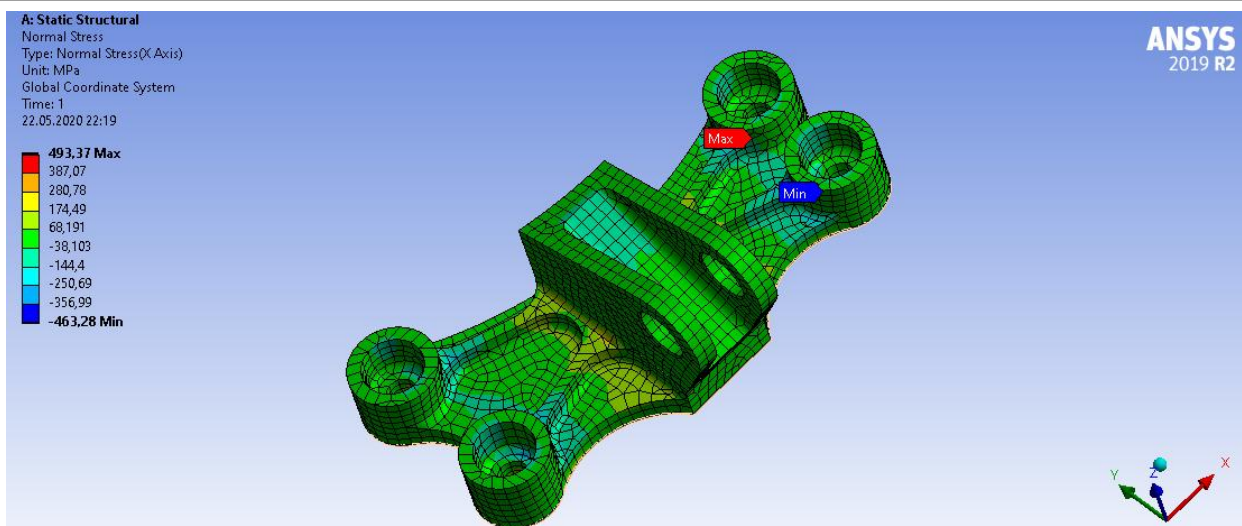
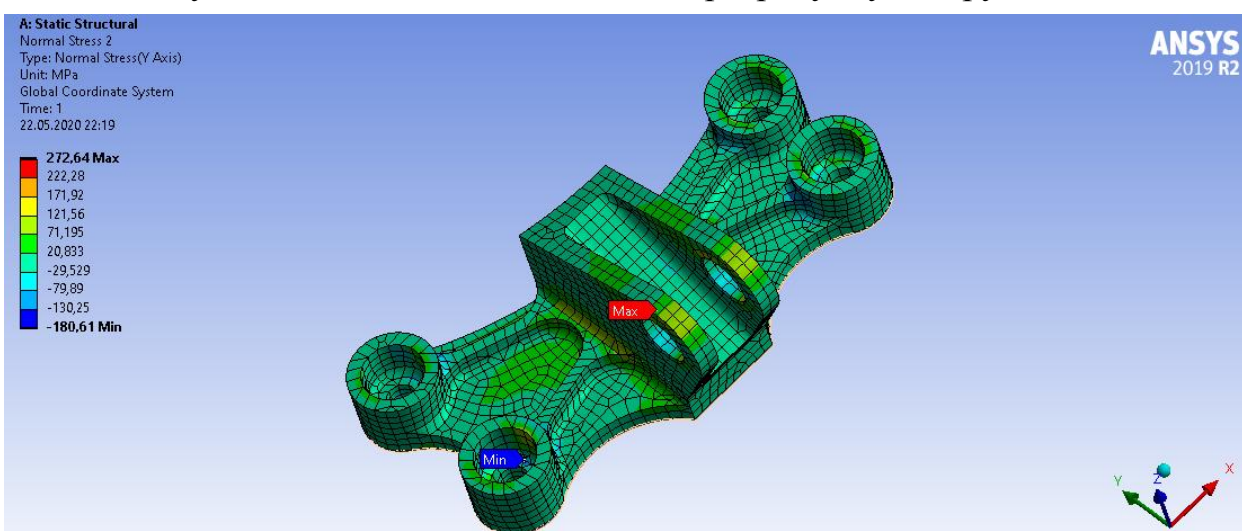
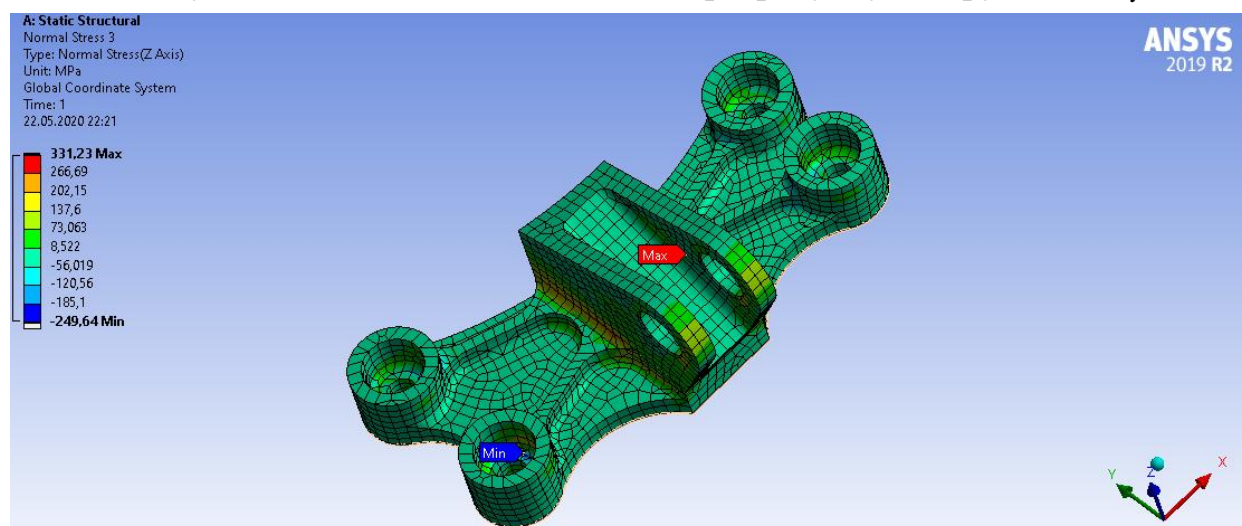


Рис. 5. Результати скінченно-елементного розрахунку: еквівалентні напруження

$$\sigma_{\text{Mises}}, \text{ МПа}$$

Рис. 6. Результати скінченно-елементного розрахунку: напруження  $\sigma_x$ , МПаРис. 7. Результати скінченно-елементного розрахунку: напруження  $\sigma_y$ , МПаРис. 8. Результати скінченно-елементного розрахунку: напруження  $\sigma_z$ , МПа

У другому розрахунку були використані експериментальні характеристики матеріалу, які відображають вплив напрямку виготовлення зразка на його механічні властивості. Результати скінченно-елементного розрахунку наведені на рис. 9 – 12.

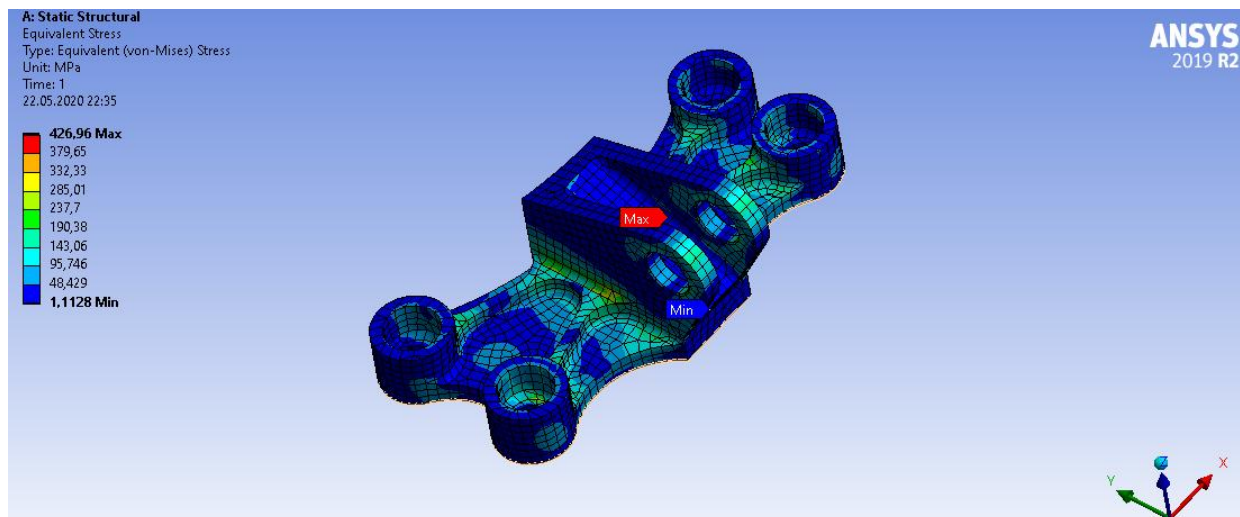


Рис. 9. Результати скінченно-елементного розрахунку: еквівалентні напруження  $\sigma_{Mises}$ , МПа

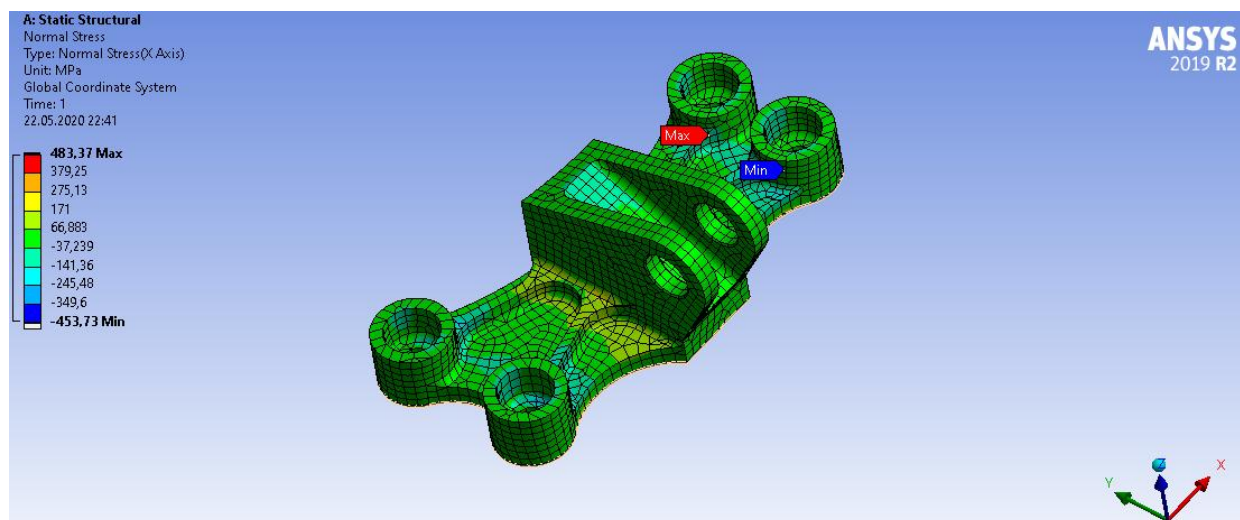
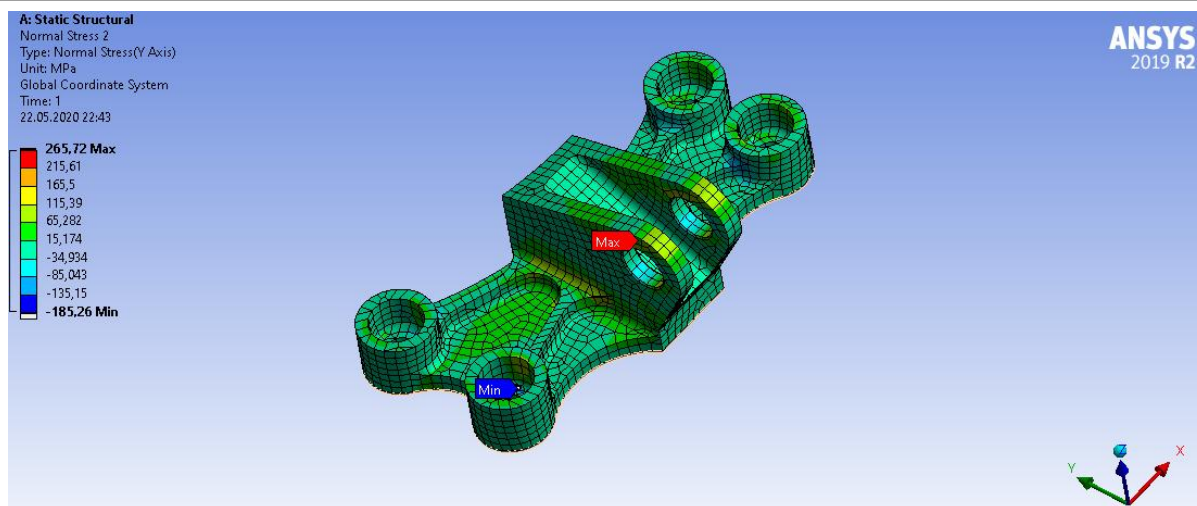
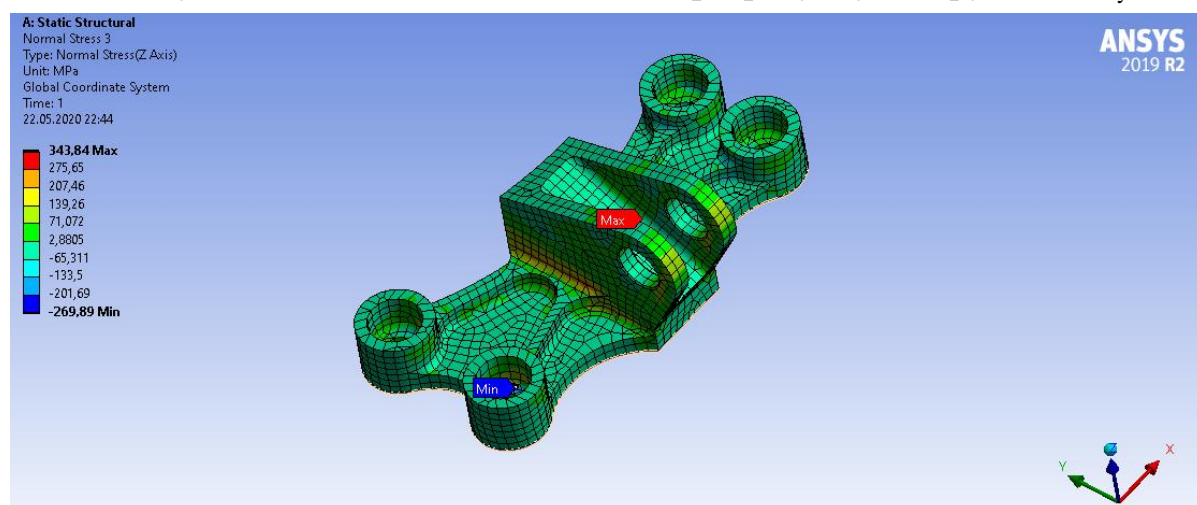


Рис. 10. Результати скінченно-елементного розрахунку: напруження  $\sigma_x$ , МПа

Рис. 11. Результати скінченно-елементного розрахунку: напруження  $\sigma_y$ , МПаРис. 12. Результати скінченно-елементного розрахунку: напруження  $\sigma_z$ , МПа

Отримані для двох варіантів розрахунків величини головних та еквівалентних напружень зведені у табл. 2.

Таблиця. 2. Результати розрахунків

Напруження	Результати розрахунку		
	За довідниковими характеристиками, МПа	За експериментальними характеристиками, МПа	Похибка, %
$\sigma_{Mises}$	439,04	426,96	2,75
$\sigma_x$	493,37	483,37	2,03
$\sigma_y$	272,64	265,72	2,60
$\sigma_z$	331,23	343,84	3,71

## Висновки:

За результатами експериментальних досліджень була встановлена та оцінена анізотропія механічних властивостей матеріалу отриманого методом 3D друку. Для визначення впливу анізотропії властивостей матеріалу Ti-6Al-4V на НДС елемента конструкції у вигляді кронштейну, було проведено два скінченно-елементних розрахунки: з урахуванням анізотропії та без неї. Порівняння розрахунків продемонструвало несуттєву різницю за напруженнями, яка не перевищує 4%.

## Список використаних джерел

1. Использование титановых порошков в методах 3d печати изделий А. А. Джуган та ін. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні* №2, 2016, С.77-81.

2. Применение титановых порошков нового поколения (hdh2) в аддитивных технологиях П. Д. Жеманюк та ін. *Авиационно-космическая техника и технология*, 2016, № 8, С. 139-144.

3. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.

4. Справочник металлиста Том 2, Москва «Машиностроение», 1976, С. 525-546.

5. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій: Навч. посібник / К.М. Рудаков. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 379с.