

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни  
«Моделювання ювелірних та художніх виробів»  
для студентів денної та заочної форм навчання  
загальноуніверситетського та міжфакультетського спрямування

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Моделювання ювелірних та художніх виробів» для студентів денної та заочної форм навчання загальноуніверситетського та між факультетського спрямування Укл.: М.О.Гнатенко, М.В. Матвейшин – Запоріжжя: НУ ЗП, 2026. – 39 с.

Укладачі: М.О. Гнатенко, стар викл, PhD  
М.В. Матвейшин, стар викл

Рецензент: В.Г. Іванов, доцент, д.т.н.

Відповідальний  
за випуск: В.Г. Іванов, доцент, д.т.н.

Затверджено  
на засіданні ради інженерно-  
фізичного факультету

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Машини і технологія  
ливарного виробництва»

Протокол № 1  
від « 08» вересня 2025р.

Протокол № 1  
від « 27» серпня 2025р.

## ЗМІСТ

Лабораторна робота №1. Аналіз технологічного процесу створення ювелірного виробу від концепту до виробництва	4
1.1 Загальні відомості	5
1.2 Порядок виконання лабораторної роботи	9
1.3 Контрольні запитання:	9
1.4 Зміст звіту	10
Лабораторна робота №2. Проектування ювелірної прикраси – кільце	11
2.1 Загальні відомості	11
2.2 Порядок виконання роботи	11
2.3 Зміст звіту	22
Лабораторна робота №3. Ознайомлення з оптичними властивостями художніх металів. Золотом та матеріалами що імітують золото	23
3.1 Загальні відомості	23
3.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи	24
3.3 Контрольні запитання для самоперевірки	26
3.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання	26
3.5 Порядок виконання лабораторної роботи	26
3.6 Зміст звіту	27
Лабораторна робота №4. Визначення технологічних параметрів ювелірного виробу	30
4.1 Загальні відомості	31
4.2 Порядок виконання роботи	39
4.3 Зміст звіту	39
Перелік джерел посилань	40

## Лабораторна робота №1

### Аналіз технологічного процесу створення ювелірного виробу від концепту до виробництва

Мета роботи: ознайомитися з повним циклом проектування ювелірного виробу, вивчити послідовність етапів від розробки концепції до підготовки моделі для виробництва, зрозуміти взаємозв'язок між художнім проектуванням та технологічними параметрами виробу.

#### 1.1 Загальні відомості

У процесі концептуальної розробки ювелірного виробу дизайнер проходить декілька важливих етапів, які дозволяють створити не лише естетично привабливий, але й функціональний виріб.

Методи генерації ідей включають різноманітні творчі підходи, такі як мудборди (дошки настрою), які допомагають зібрати візуальні референси та надихнутися певними образами, кольорами чи текстурами. Важливим джерелом натхнення можуть бути природні форми, архітектурні елементи, історичні стилі та сучасні тренди. Метод мозкового штурму дозволяє генерувати множину ідей, які потім можна комбінувати та вдосконалювати. Також використовується метод аналогій, коли дизайнер шукає схожі рішення в інших сферах дизайну або природі.

Створення ескізів є наступним критичним етапом, де ідеї набувають конкретної форми. Починається все з швидких начерків (скетчів), які дизайнер створює для фіксації різних варіантів дизайну. Поступово обрані ідеї деталізуються, промальовуються з різних ракурсів, уточнюються пропорції та розміри (рис 1.1). На цьому етапі важливо створити декілька варіантів дизайну, щоб мати можливість вибору найкращого рішення. Ескізи можуть виконуватися як традиційними методами (олівець, папір), так і з використанням цифрових інструментів [1].

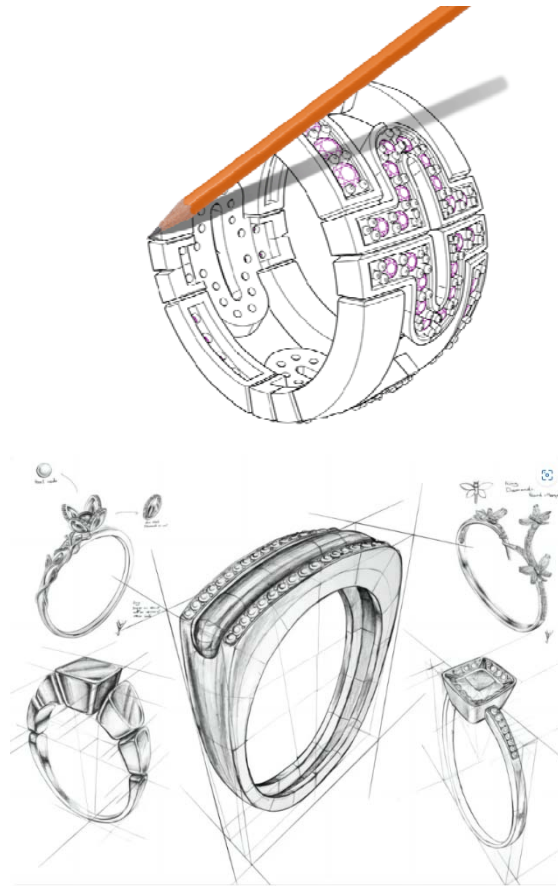


Рисунок 1.1 – Створення загального концепту

Вибір стилістики та композиційного рішення визначає характер майбутнього виробу. Стилiстика може базуватися на iсторичних стилях (бароко, модерн, ар-деко), етнiчних мотивах, сучасних трендах або бути авторською. При розробцi композицiї враховуються основнi принципи дизайну: баланс, ритм, пропорцiї, контраст, єднiсть. Важливо також врахувати специфiку матерiалiв, з яких буде виготовлено вирiб, та технологiчнi можливостi виробництва.

Врахування ергономічних вимог є критично важливим для створення комфортного у використанні ювелірного виробу. Для кілець це означає правильний розрахунок внутрішнього діаметру, врахування анатомічних особливостей пальця, забезпечення зручності при носінні. Важливо передбачити, щоб виріб не чіплявся за одяг, не мав гострих кутів, що можуть подряпати шкіру. Вага виробу також має бути оптимальною для комфортного носіння. При проектуванні враховуються особливості рухів руки та взаємодії виробу з навколишнім середовищем (рис. 1.2).

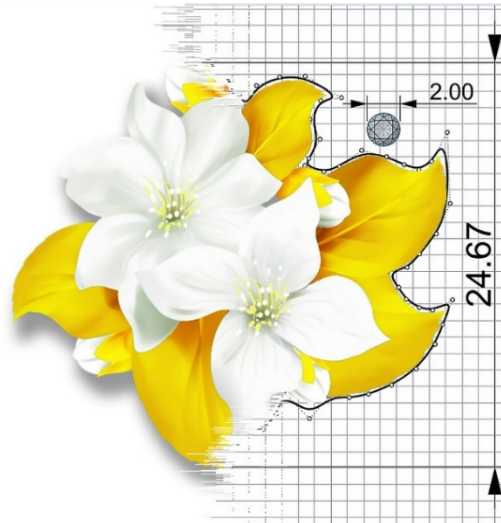


Рисунок 1.2 – Визначення загальних розмірів і габаритів

У процесі концептуальної розробки всі ці аспекти повинні розглядатися комплексно, оскільки вони взаємопов'язані та впливають один на одного. Успішний дизайн ювелірного виробу досягається через баланс естетичних, функціональних та технологічних вимог. Важливо також пам'ятати про цільову аудиторію виробу, оскільки це впливає на вибір стилістики, матеріалів та конструктивних рішень.

На етапі концептуальної розробки закладаються основи майбутнього успіху виробу, тому важливо приділити достатньо уваги

кожному аспекту проектування та документувати всі рішення для подальшої роботи над 3D-моделлю та технічною документацією.

Процес створення тривимірної моделі ювелірного виробу починається з вибору оптимального методу моделювання, який залежить від складності та особливостей майбутнього виробу. Основними методами 3D-моделювання в ювелірному дизайні є полігональне моделювання, NURBS-моделювання та скульптинг. Кожен з цих методів має свої переваги та специфіку застосування [2].

Полігональне моделювання є найпоширенішим методом, який дозволяє створювати моделі шляхом маніпуляції з простими геометричними формами. Цей метод особливо ефективний для створення виробів з чіткою геометрією, наприклад, каблучок з прямими гранями або геометричних підвісок. NURBS-моделювання використовується для створення плавних, органічних форм завдяки використанню кривих Безьє. Скульптинг застосовується для створення складних органічних форм та декоративних елементів, таких як рельєфи та текстури (рис. 1.3).

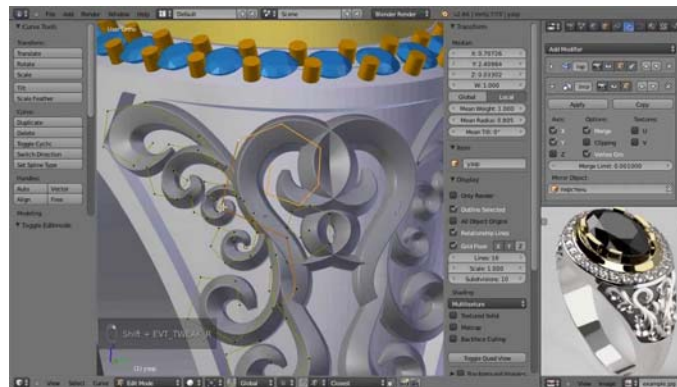


Рисунок.1.3 – Загальний вид проектування ювелірного виробу

При створенні ювелірних моделей у Blender важливо враховувати специфіку програми та особливості майбутнього виробництва. Blender надає широкий набір інструментів для моделювання, але потребує правильного налаштування робочого

простору та розуміння специфіки роботи з дрібними об'єктами. Важливими аспектами є:

- налаштування одиниць вимірювання для точного масштабування;
- використання модифікаторів для створення симетричних елементів;
- правильна організація топології моделі для подальшого експорту;
- застосування неруйнівних методів моделювання для можливості подальшого редагування;
- створення чистої геометрії без перетинів та накладань.

Типові помилки при створенні тривимірних моделей ювелірних виробів включають:

- неправильна топологія моделі, що ускладнює подальшу обробку;
- наявність перетинів геометрії, які можуть призвести до проблем при друку або виливці;
- недостатня або надмірна деталізація моделі;
- неоптимальна товщина стінок, що може призвести до проблем при виготовленні;
- відсутність урахування усадки металу при литті;
- неправильне розташування закріпок для каменів;
- порушення цілісності mesh-структури моделі [3].



Рисунок 1.4 – Ливарна модель ювелірного виробу

Для успішного створення тривимірної моделі важливо дотримуватися послідовного підходу: починати з базової форми, поступово додавати деталі, регулярно перевіряти геометрію на наявність помилок та відповідність технологічним вимогам. Особливу увагу слід приділяти фінальній перевірці моделі перед експортом - всі елементи повинні бути правильно з'єднані, мати коректну орієнтацію нормалей та не містити зайвих елементів (рис. 1.4).

Важливо також враховувати, що створена модель повинна бути оптимізована для подальшої роботи в CAD-системі. Це означає необхідність дотримання певних вимог до якості геометрії, розмірів та структури моделі. Правильно створена тривимірна модель значно спрощує подальшу роботу з виробом та зменшує ймовірність виникнення проблем на етапі виробництва.

## 1.2 Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями.
2. Проаналізувати наданий приклад створення ювелірного виробу.
3. Скласти покрокову схему процесу проектування.
4. Визначити ключові параметри, що впливають на якість кінцевого виробу.
5. Підготувати звіт про виконану роботу.

## 1.3 Контрольні запитання:

1. Які основні етапи створення ювелірного виробу?
2. Які фактори необхідно враховувати при розробці концепції виробу?
3. Які вимоги висуваються до 3D-моделі для успішного експорту в CAD-систему?
4. Які технологічні параметри розраховуються в CAD-системі?
5. Як взаємопов'язані художнє проектування та технологічні вимоги?
6. Які типові помилки можуть виникнути при переході від художньої моделі до CAD?

#### 1.4 Зміст звіту:

1. Титульний аркуш
2. Мета роботи
3. Опис процесу проектування ювелірного виробу
4. Схема послідовності операцій
5. Аналіз ключових параметрів та їх впливу на якість виробу
6. Висновки

## Лабораторна робота №2 Проектування ювелірної прикраси – кільце

### Мета роботи

Мета засвоїти методи створення моделей художнього виробу з твердого тіла.

### 2.1 Загальні відомості

3D-моделювання стало невід'ємною частиною сучасного ювелірного виробництва, дозволяючи створювати складні та деталізовані вироби з високою точністю. Програмне забезпечення Blender, як потужний інструмент для 3D-моделювання, надає широкі можливості для проектування ювелірних прикрас, зокрема кільць. Використання методів твердотільного моделювання дозволяє створювати точні геометричні форми, які можуть бути легко модифіковані та адаптовані під конкретні вимоги дизайну. Особливістю роботи в Blender є можливість детального опрацювання декоративних елементів та підготовки моделі для подальшого виробництва. Інтеграція з системою FreeCad розширює можливості технічної розробки, дозволяючи перейти від художнього проектування до виробничого процесу.

### 2.2 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

Open Source програма для художнього 3D моделювання Blender

### 2.3 Порядок виконання роботи

Створіть Коло «Circle» Shift+A (рис. 2.1).

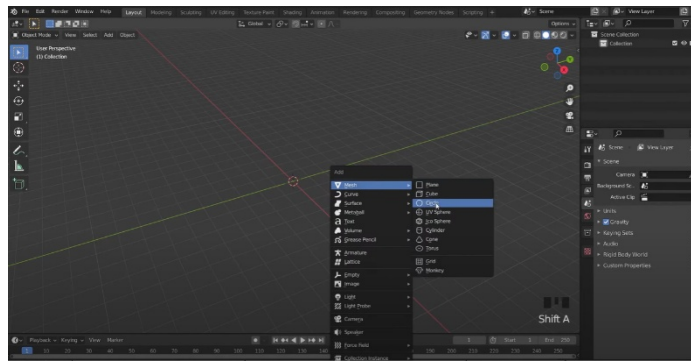


Рисунок 2.1 – Робоче вікно програми

Змініть значення кількості ребер на 12 та радіус 9 м, значення обертання на 90 по осі X. На даному етапі розміри не мають значення. Розмірність в мм та зменшення розміру кільця. Будемо налаштовувати перед експортом у FreeCad у LP (рис. 2.2).

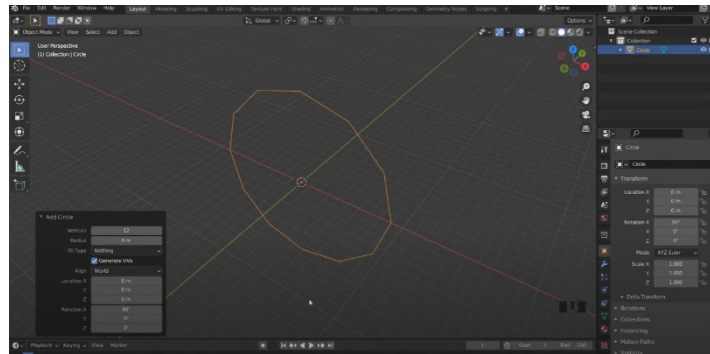


Рисунок 2.2 – Додавання контуру

Перейдіть в edit mode натиснувши Tab і натисніть 3 на numrad щоб встановити вид з боку. Натисніть A щоб обрати усі грані.

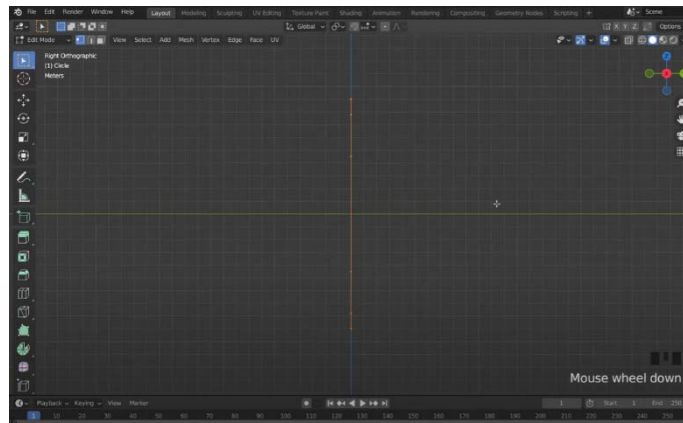


Рисунок 2.3 – Зміна виду

Натисніть E, 6, enter щоб витягти грань на встановлену відстань (рис. 2.3).

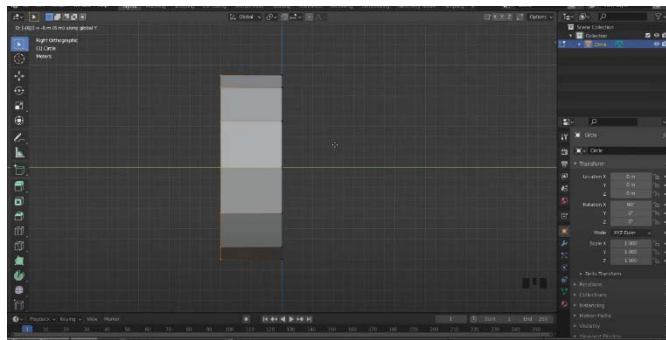


Рисунок 2.4 – Витягнення кільця

Вімкніть режим X-ray mode (alt+Z) – а, оберіть точки з лівого боку та приховайте їх натиснувши Alt+N (б).

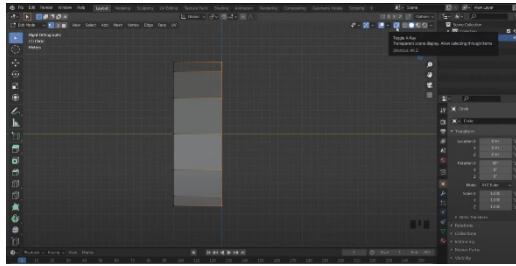


Рисунок 2.5 – Зміна режимів відображення

Ввімкніть режим proportional editing натиснувши **O** і перемкніться у верхньому меню на режим sphere. Налаштуйте розмір кола виділення і змістіть нижню точку (рис 2.6).

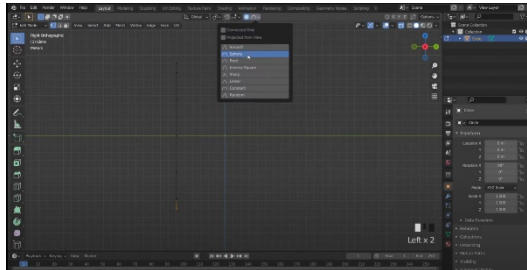


Рисунок 2.6 – Налаштування selection tools

Натисніть **Alt+N** щоб показати сховане і побачити внесені зміни (рис. 2.7).

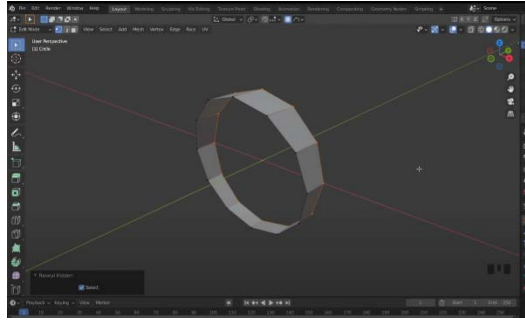


Рисунок 2.7 – Довання міггог

Додати modifier міггог (а) та встановити вісь Y (б), натисніть ctrl+A та оберіть apply scale (рис. 2.8).

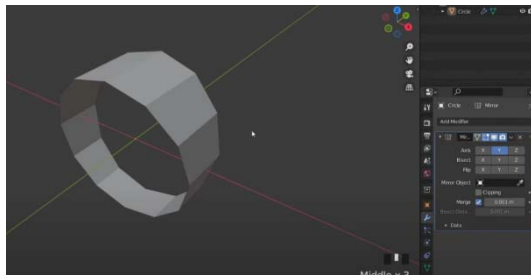


Рисунок 2.8 – Кільце після Extrude

Оберіть modifier solidify. Поставте товщину 2 м (рис. 2.9).

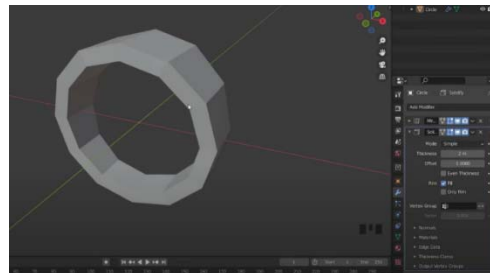


Рисунок 2.9 – Кільце з потовщенням

Застосуйте modifier subdivision surface та поставте 2 етапції

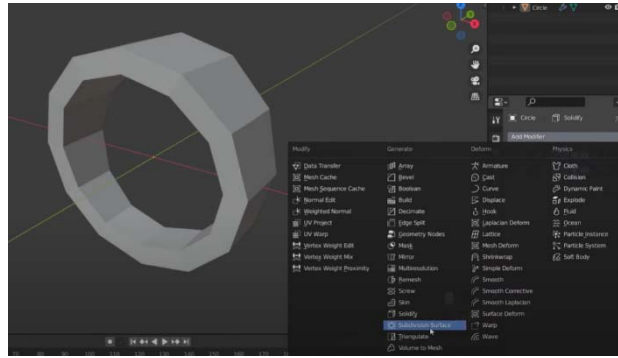


Рисунок 2.10 – Додавання Solid

Після отримання базової форми кільця. Застосуйте модифікатори. Окрім subdivision surface (рис. 2.11).

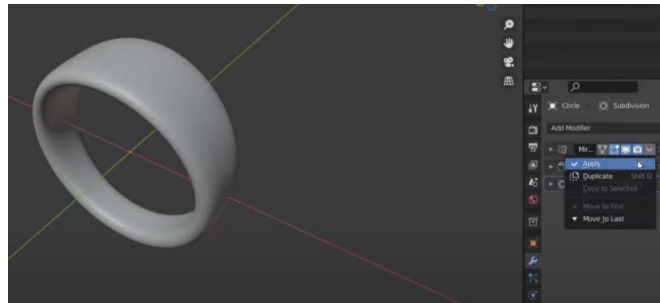


Рисунок 2.11 – Додавання smooth

Ввімкніть режим міггор (рис 2.11).

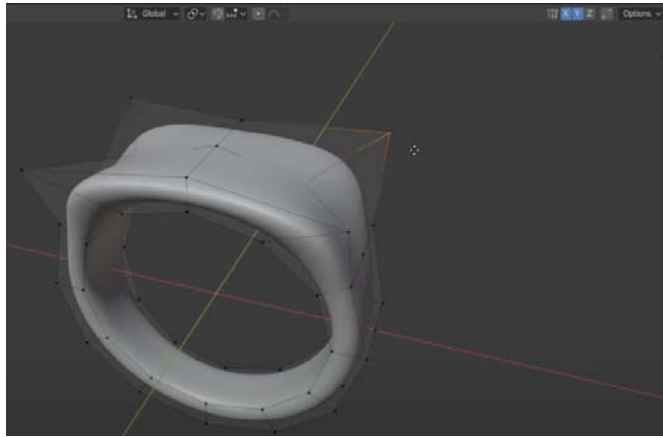


Рисунок 2.12 – Вибір точок

Поверніться у режим X-ray (alt+z) оберніть верхні точки натисніть G, Z, 2 щоб перемістити точку (рис. 2.13).

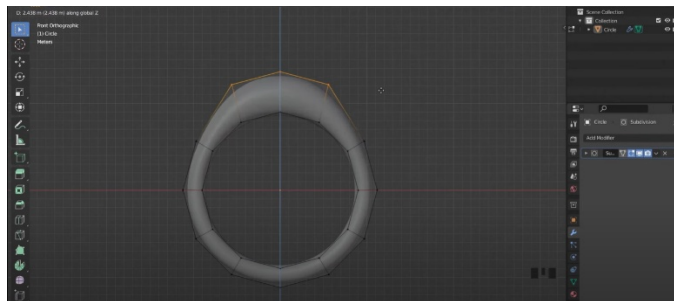


Рисунок 2.13 - Створення форми

Керуючись ескізом налаштуйте точки відповідно ескізу.

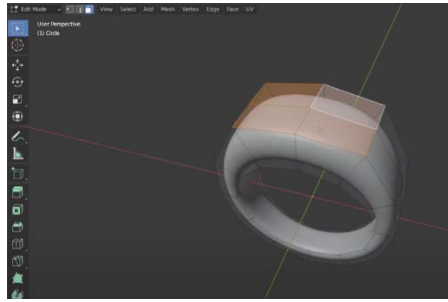


Рисунок 2.14 – Вибір площин

Натисніть 3 щоб перейти в режим вибору площин оберіть площини зверху, натисніть S, 0 щоб вирівняти їх

Оберіть верхні грані та видаліть їх натиснувши ПКМ dissolve edge (рис. 2.14) .

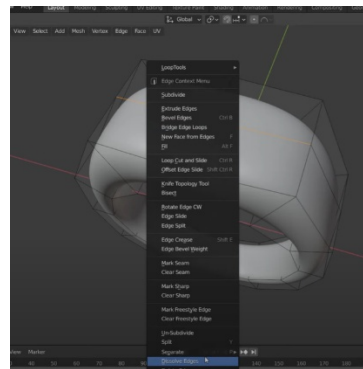


Рисунок 2.15 – Створення Flatten face

Далі оберіть площину і натисніть I щоб зробити Inset отриманої площини.

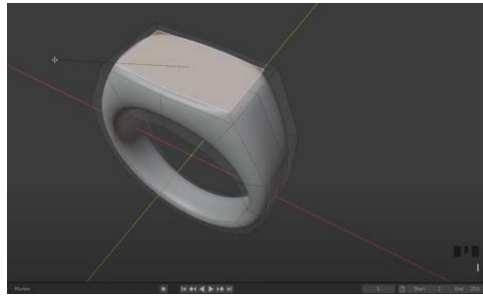


Рисунок 2.16 – Вид кільця

Натисніть 2, щоб перемкнутися в режим вибору граней, утримуючі alt оберіть внутрішній діаметр кільця. Наступним кроком відімкніть галочку видимості у налаштуваннях modifier (рис. 2.17).

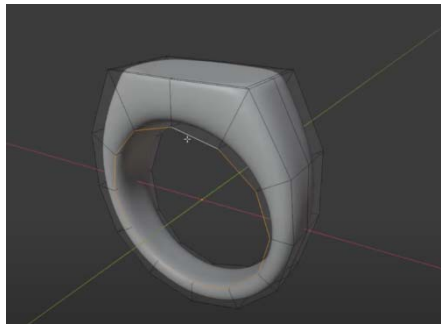


Рисунок 2.17 – Оберіть внутрішній діаметр

Натисніть G, X та перемістіть внутрішню грань на невелику відстань від центру.

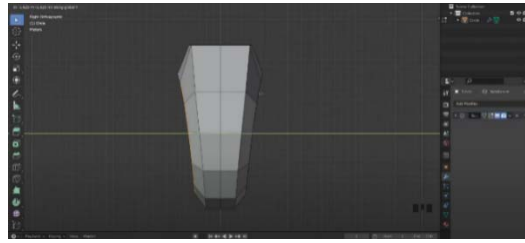


Рисунок 2.18 – Вибір внутрішніх граней

Обравши внутрішні грані натисніть **shift+B** і відведь мишку трохи вбік зробивши грані більш гострими

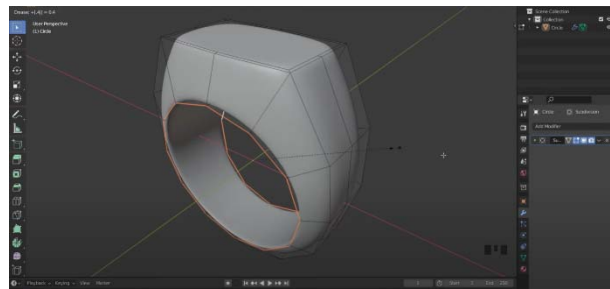


Рисунок 2.18 – Створення гострих граней

Спроектвану кільце буде відлито з дорогоцінного металу і на даний момент воно є занадто масивним, що призведе до зайвих витрат матеріалів. Тому необхідно зменшити внутрішню частину кільця.

Вимкніть видимість модифікатора, оберіть в режимі вибору поверхонь, внутрішні поверхні(рис. 2.18).

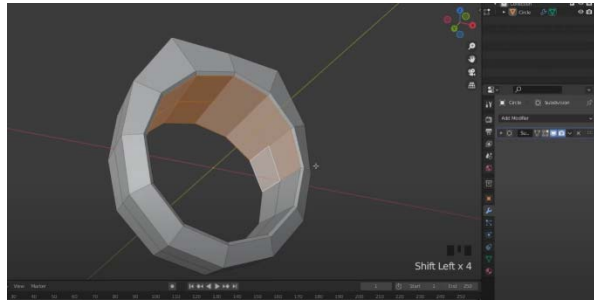


Рисунок 2.19 – Виділення областей для заощадження

Натисніть **I** щоб створити додаткові грані у середині, переконайтесь що режим **individual** вимкнений. Повторіть дію **inset** ще один раз (рис. 2.19)

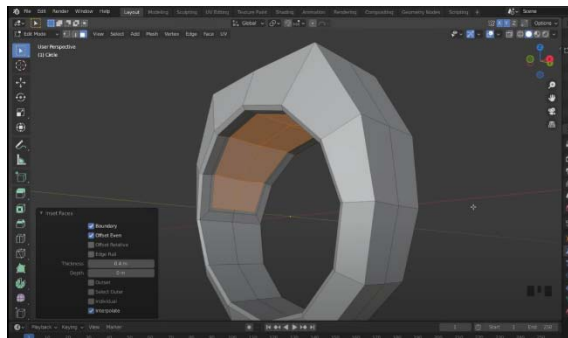


Рисунок 2.20 – Створення зони для економії

Підніміть обрані грані натиснувши **G**, **Z** – краще це робити в режимі ввімкненої видимості модифікаторів (рис. 2.20)

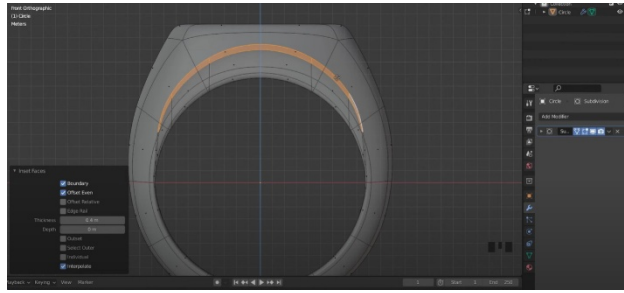


Рисунок 2.21 – Вид сбоку

Можете повторити дану операцію з нижніми гранями  
 В якості додаткового завдання можете перейти у редим роботи shading – призначити матеріал для створеного виробу. І підняти значення metallic до максимуму.

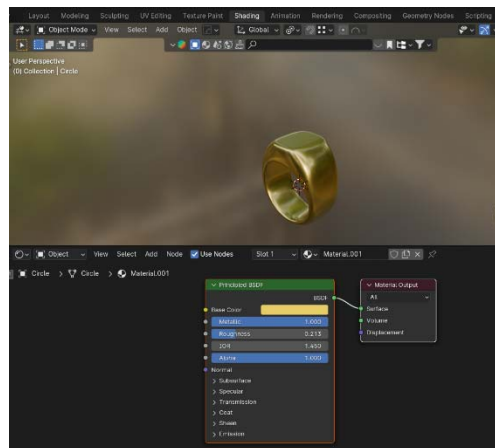


Рисунок 2.22 – Додавання матеріалу

Таким чином отримуємо готову 3D виробу. Для більш зручного виконання ЛР№2 можна скористатися відеозаписом

#### 2.4. Зміст звіту

1. Викласти мету роботи.
2. Розробити ювелірний виріб – кільце відповідно порядку виконання роботи.
3. Надати висновки по роботі.

## Лабораторна робота №3 Ознайомлення з оптичними властивостями художніх металів.

### Мета роботи

Мета роботи – ознайомитися з кольоровими характеристиками та технологією плавки та лиття художніх кольорових та ювелірних сплавів, що імітують золото.

### 3.1 Теоретичні відомості

Виробникам кольорової продукції (оздоблювальні матеріали, вироби з кольорових металів, художнє та ювелірне литво і т. п.) для успішного підприємництва необхідно добре розумітися в кольорах. Колір сприймається кожною людиною суб'єктивно, в залежності від властивостей її зорового апарату, оточуючого фону та від того, на що вона дивилась попередньо. Сітчатка ока людини наділена пігментами трьох типів, тому нормальній кольоровий зір людини тривимірний і для відтворення будь-якого кольору в очах людини досить змішати три вихідних кольори. У виробництві фарб основними кольорами є червоний, жовтий, синій; у літографії, кольоровому друкуванні та фотографії – анілінові, жовті та блакитні фарбники; в світлотехніці – червоне, зелене та синє випромінювання (RGB). Можна також для відтворення кольору варіювати інтенсивностями двох світлових потоків різного кольору і спектральним складом одного із них, тобто теж потрібно три перемінних фактори.

Для вивчення та пояснення кольорових явищ залучаються різні галузі науки: хімія, фізика, фізіологія, психофізика, психологія та інші. Існує понад 900 термінів стосовно кольору, які наведені в Міжнародному світлотехнічному словнику, виданому Міжнародним комітетом по освітленню (МКО) у 1970 році [4-9].

У наш час застосовується прийнята у 1931 році Міжнародна система МКО. У основу оцінки кольору за цією системою покладені закони змішування. Колір змінюється шляхом оптичного змішування у різних пропорціях трьох основних кольорів: червоного, зеленого, синього. Будь-який колір можна виразити через ці основні кольори. Визначення кольору застосовано на уявленні, що колір є функцією

трьох незалежних змінних і може бути інтерпретований як векторна величина. Повна характеристика кольору складається з його кольоровості (довжина хвилі), яскравості (коефіцієнт відображення) та чистоти (насиченості) [4].

Для вивчення кольорових характеристик використовують спектрофотометричний метод, заснований на визначенні коефіцієнта дзеркального відображення  $R(\lambda)$  та координат кольоровості  $x$  та  $y$ . Кольоровість є спрощеною характеристикою кольору, яка визначає лише напрямок вектора кольору, а не його абсолютну величину. У трьохкоординатному кольоровому просторі, що побудований за основними кольорами, координати кольоровості  $x$ ,  $y$ ,  $z$  в міжнародній системі МКО 1931 р. пов'язані з кольоровими координатами<sup>1</sup>  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  простими співвідношеннями [5]:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (2.1)$$

Трьохкоординатний кольоровий простір  $(X, Y, Z)$ , побудований на основних кольорах МКО 1931 з орієнтацією осей основних кольорів так, що одинична площина  $(X+Y+Z=1)$  в позитивному квадранті дає прямокутний трикутник (рис. 2.1).

Будь-який колір  $S$  в кольоровому тривимірному просторі визначається через суму векторів:

$$\bar{S}(X, Y, Z) = X\bar{X} + Y\bar{Y} + Z\bar{Z} \quad (2.2)$$

Але не усі кольори можна отримати за допомогою трьох основних кольорів МКО. На рис. 2.2 показана область кольорів одиничної площини, в якій будь-який колір відтворюється сумішшю червоного, зеленого та синього кольорів. Ця окреслена область називається кольоровим трикутником.

Колір  $S$  (вектор кольору) на рис. 2.1 перетинає одиничну площину в точці  $s$ , що називається точкою кольоровості; її місце визначається координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ; координата  $Z$  при такій системі має значення  $Z = 1 - (X + Y)$ , тому що  $X + Y + Z = 1$ .

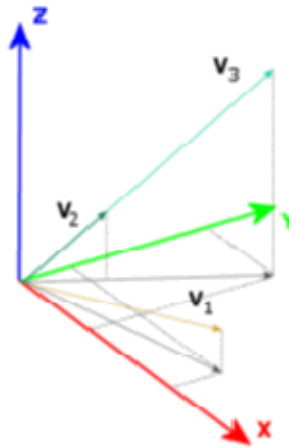


Рисунок 3.1 – Трьохкоординатний кольоровий простір (X,Y,Z), побудований на основних кольорах МКО 1931 [8]

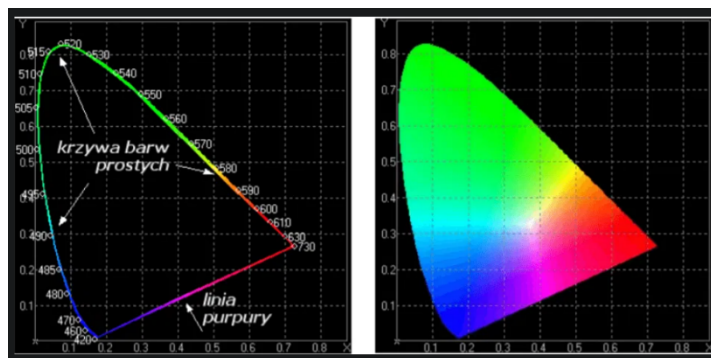


Рис 3.2 – Три координатний кольоровий простір МКО з діаграмою кольоровості

Тривимірний опис СІЕ XYZ було перетворено в двовимірний простір СІЕ хуY. Він перетворює колірні компоненти X, Y, Z у триколірні координати x, у, Y. Координати x і у відповідають за колірність, а Y – за яскравість. Простір хуY представлено у кольоровому просторі, що є графіком колірності, у вигляді трикутника Максвелла або колірного трикутника. Воно зображене у вигляді

області, оточеної двома лініями – монохромною колірною кривою і прямою фіолетовою лінією.

Еталоном для кольорового порівняння сплавів, що імітують золото прийнято сплав ЗлСрМ583-80 (583 проба). Сплави міді з цинком, алюмінієм, іншими елементами добре імітують золоті ювелірні сплави, позолоту завдяки широкій кольоровій гамі. Склад деяких заміників золота приведений у табл. 2.1.

З кінця ХІХ ст. у якості заміника дорогоцінних металів сталі широко використовувати декоративні латуні (сплав міді з цинком). Великою популярністю у якості заміника золота користуються кремнієва латунь ЛК80-3Л та тампакі. Виливки отримані з цих сплавів мають гладку поверхню та красивий золотий колір.

Сплави на основі міді у якості основної легуючої добавки мають цинк, а деяких випадках алюміній. Додавання алюмінію у малих дозах (до 0,3% за масою) не приводить до утворення плівок, але в той же час покращують якість лицевої поверхні. Легування мідних сплавів алюмінієм декілька підвищує їх корозійну стійкість.

### 3.2 Завдання на лабораторну роботу

1. Ознайомитися з теоретичними основами кольорових характеристик металів та сплавів.

2. Вивчити методи створення та налаштування матеріалів у Blender для імітації золота та інших кольорових сплавів.

3. Створити в Blender матеріали, що імітують золото та два інші сплави (наприклад, латунь та бронзу).

4. Провести вимірювання та аналіз кольорових характеристик створених матеріалів.

5. Розрахувати кольорову відмінність ( $\Delta E$ ) між створеними матеріалами та етальонним золотом.

6. Проаналізувати вплив різних параметрів матеріалу на його візуальні характеристики.

### 3.3 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

1. Комп'ютер з встановленим програмним забезпеченням FreeCad чи Blender (версія 2.8 або новіша).

2. Додаткове програмне забезпечення для конвертації кольорових просторів (наприклад, онлайн-конвертери <https://www.easyrgb.com/en/convert.php#inputFORM> або власні скрипти).

3. Таблиці кольорових характеристик еталонних сплавів.

4. Методичні вказівки до лабораторної роботи.

#### 3.4 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Використовуючи FreeCad, Blender чи інший CAD/графічний софт створіть матеріал для еталонного золота (сплав ЗлСрМ583-80). і для 2-3 сплавів, що імітують золото ЛЦ4, БрОЦ4-3) з відповідними значеннями кольорового тону, насиченості та яскравості для кожного сплаву.

Відповідно шкалі RGB (Hex).

Для ЗлСрМ583-80 - #D4AF37 приблизний колір золота.

Для ЛЦ4 #C5A46C (приблизний колір латуні).

Для #CD7F32 (приблизний колір бронзи).

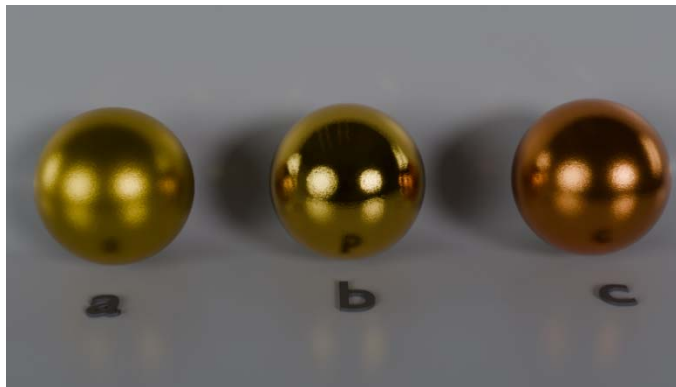


Рисунок 3.3 – а) сплав БрОЦ4-3;  
б) еталонний сплав золота ЗлСрМ583-80 в) ЛЦ4

2. Порівняти візуальні характеристики матеріалів.

3. Використовуючи інструменти Blender, виміряти RGB значення для кожного матеріалу в кількох точках (наприклад, на

бліку, в тіні, на середньому тоні)..Запишіть середні значення RGB для кожного матеріалу.

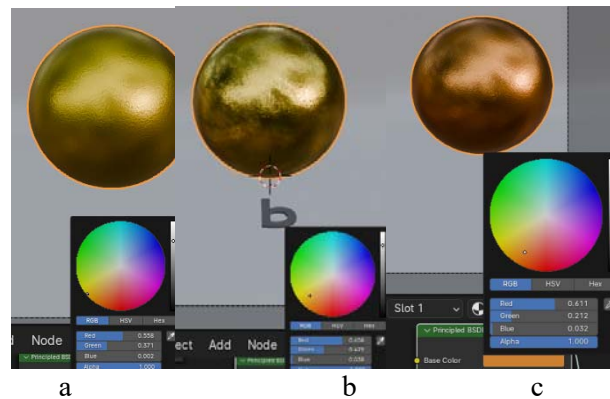


Рисунок 3.4 – Значення RGB для кожного сплаву

а – RGB для БрОЦ4-3; б – RGB для еталонного золота ЗлСрМ583;  
с – для латуні ЛЦ4

4. Розрахунок кольорової відмінності ( $\Delta E$ ): Для цього нам потрібно конвертувати RGB значення в Lab кольоровий простір, а потім використати формулу  $\Delta E$ . а) Конвертація RGB в Lab: Спочатку конвертуйте RGB в XYZ, а потім XYZ в Lab.

Онлайн

конвертор

<https://www.easyrgb.com/en/convert.php#inputFORM>

5. Розрахуйте значення для сплавів латуні(ЛЦ4) і бронзи (БрОЦ4) порівняйте кольорову відмінність ( $\Delta E$ ) з еталонним сплавом золота. Проаналізуйте наскільки два кольори відрізняються один від одного з точки зору людського сприйняття.

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

### 3.5 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості про кольорові характеристики металів та сплавів.
3. Опис створених у Blender матеріалів та їх параметрів.
4. Зображення рендеру сцени з створеними матеріалами.
5. Таблиця вимірних RGB значень та розрахованих Lab координат для кожного матеріалу.
6. Розрахунки  $\Delta E$  для кожного імітаційного сплаву відносно еталонного золота.
7. Аналіз впливу параметрів Metallic та Roughness на візуальні характеристики матеріалів.
8. Графіки або діаграми, що ілюструють порівняння кольорових характеристик створених матеріалів.
9. Висновки щодо якості імітації золота створеними матеріалами та факторів, що впливають на точність імітації.
10. Перелік джерел посилання.

## Лабораторна робота №4 Визначення технологічних параметрів ювелірного виробу

Мета: навчитися експортувати художні моделі до CAD-систем, опанувати методи перетворення моделей у тверде тіло та розрахунку технологічних параметрів виробу (маса та об'єм металу) для подальшого виробництва.

### 4.1 Загальні відомості

У сучасному ювелірному виробництві використання систем автоматизованого проектування (САПР або CAD - Computer-Aided Design) та систем автоматизованого виробництва (СAB або САМ - Computer-Aided Manufacturing) стало невід'ємною частиною процесу створення прикрас. Ці системи значно прискорюють процес розробки та виготовлення ювелірних виробів, підвищують їх якість та зменшують витрати на виробництво.

Процес створення ювелірного виробу починається з розробки художньої 3D-моделі у спеціалізованому програмному забезпеченні, такому як Blender. На цьому етапі дизайнер працює над естетичною формою виробу, створюючи його віртуальну модель. Однак така модель є лише візуальним представленням майбутнього виробу і не містить інформації про фізичні властивості матеріалу та технологічні параметри.

Для подальшої роботи художню модель необхідно експортувати в CAD-систему, наприклад FreeCAD, де відбувається її перетворення у тверде тіло (solid model). Це перетворення є критично важливим етапом, оскільки дозволяє надати моделі реальних фізичних властивостей. У CAD-системі можна задати параметри матеріалу, з якого буде виготовлено виріб, що дозволяє розрахувати його масу та об'єм [9].

Точний розрахунок технологічних параметрів ювелірного виробу має велике значення для визначення собівартості, планування витрат дорогоцінних металів та оптимізації виробничого процесу. CAD-системи забезпечують високу точність проектування, дозволяють створювати складні геометричні форми та контролювати параметри на всіх етапах розробки. Це дає можливість виявити

потенційні проблеми ще до початку виробництва, що значно знижує ризик браку та зменшує витрати матеріалів.

Використання CAD-систем також надає гнучкість у виробництві, дозволяючи легко вносити зміни в проект, створювати різні варіації виробу та швидко адаптувати його до вимог замовника. Це особливо важливо в сучасному ювелірному виробництві, де індивідуальний підхід та можливість кастомізації виробів стають все більш затребуваними.

Таким чином, процес перетворення художньої 3D-моделі у тверде тіло та розрахунок технологічних параметрів є важливим етапом у створенні ювелірних виробів, що забезпечує точність виробництва, оптимізацію витрат та відповідність готового виробу всім необхідним технічним та естетичним вимогам.

#### 4.2 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

Open Source програма для художнього 3D моделювання Blender, Open Source CAD програма – FreeCAD.

#### 4.3 Порядок виконання роботи

CAD-системи (Computer-Aided Design) є ключовим інструментом у сучасному ювелірному виробництві, що дозволяє не лише створювати точні 3D-моделі виробів, але й проводити необхідні інженерні розрахунки. При проектуванні ювелірних прикрас важливим етапом є визначення об'єму та маси матеріалу, що необхідні для виготовлення виробу. Це дозволяє оптимізувати витрати матеріалу, розрахувати собівартість та забезпечити відповідність виробу технічним вимогам. Перетворення художньої моделі у тверде тіло є критичним етапом, що забезпечує можливість точного розрахунку фізичних параметрів майбутнього виробу.

1. Відкрити сцену з кільцем, перейти у налаштування сцени та в графі unit scale встановити 0.001, зменшити розміри об'єкта до розмірів стандартного чоловічого кільця 17-24 мм, потім натиснути `ctrl+A`, Scale, переконайтесь що в випадаючому меню items значення scale дорівнюють одиниці (рис. 4.1).

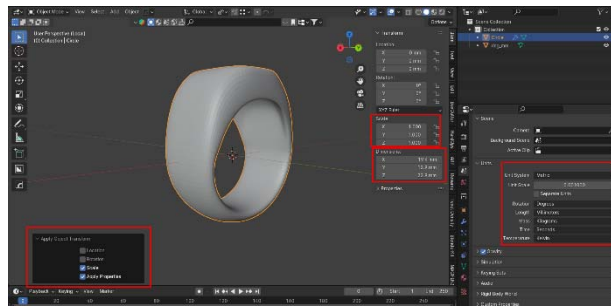


Рисунок 4.1 – Підготовка моделі до експорту

2. Тепер можна виконати експорт, натисніть file-export-stl, STL це стандартний формат що використовують CAD-програми, у меню експорту поставте галочку export selected, щоб експортувати лише вибрані файли (рис 4.2).

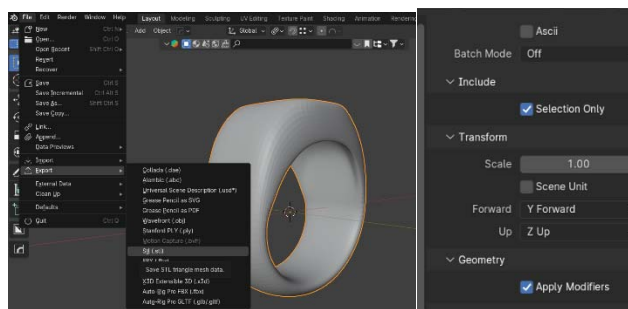
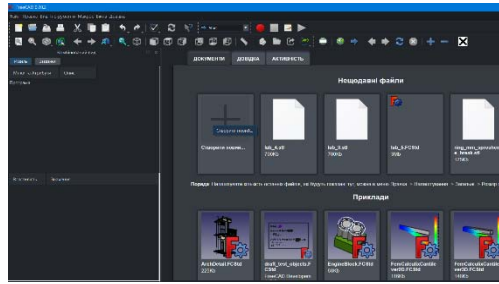
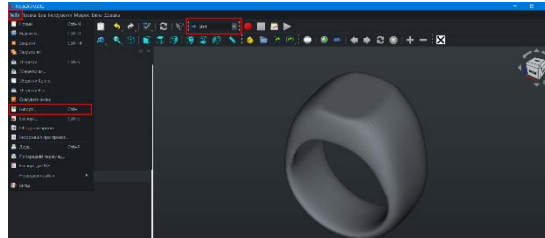


Рисунок 4.2 – Експорт STL

3. Далі запустіть CAD – FreeCad, виберіть вкладку «створити новий», імпорт, оберіть експортований файл ring.stl



а)



б)

Рисунок 4.3 – Імпорт до FreeCAD

Перед подальшими діями, необхідно перевірити розміри кільця, Перейдіть у верстак part і додайте у сцену куб 10ммх10мм, якщо куб пропорційно відповідає розміру кільця, значить імпорт пройшов коректно і ви можете видалити куб (рис. 4.3).

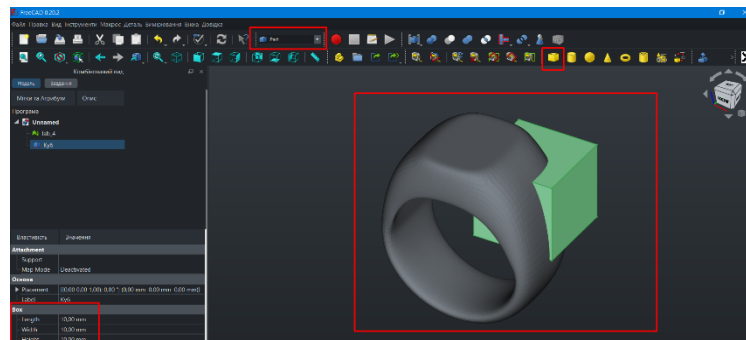


Рисунок 4.4 – Перевірка масштабу

Після того як ми переконалися що розміри коректні, перевіряємо цілісність сітки моделі, оберіть верстак Mesh design, Check polygon mesh. І аналізуйте усі наявні параметри, на наявність помилок. Якщо помилок не виявлено (рис. 4.5).

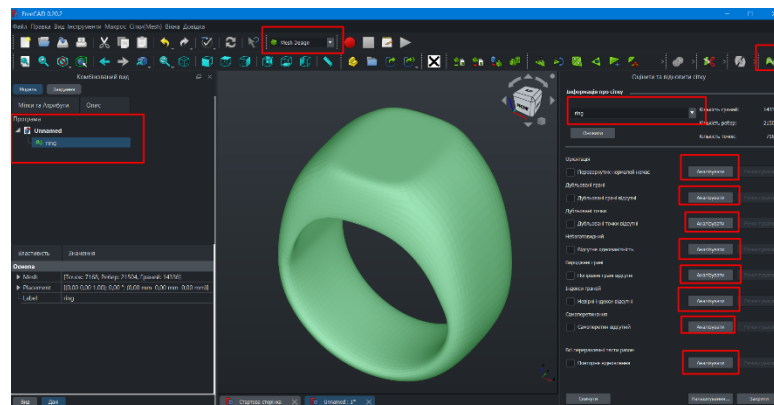


Рисунок 4.5 – Перевірка цілісності сітки

Можна переходити до створення з моделі твердотільного об'єкту Деталь (Part) створити фігуру з сітки – create shape from mesh.

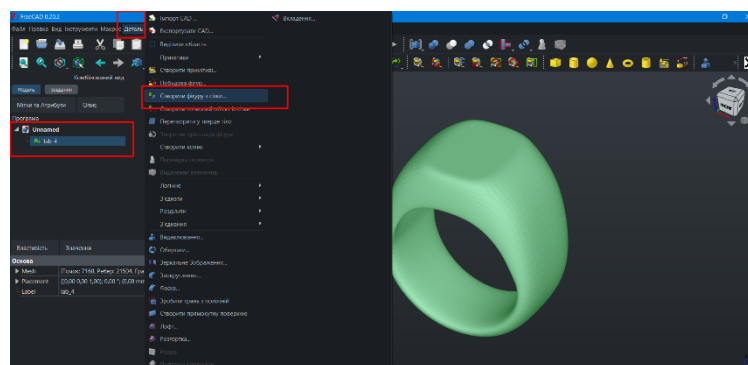


Рисунок 4.6 – Перевірка моднлі після імпорту

Дана дія створить нову фігуру, надалі ми працюватимемо з нею, і попередню сітку можна видалити. Якщо ми змінимо налаштування прозорості кільця «Вид-Transparency-65%» то побачимо що наше кільце все ще порожнє усередині, тому – part – convert to solid (перетворити у тверде тіло).

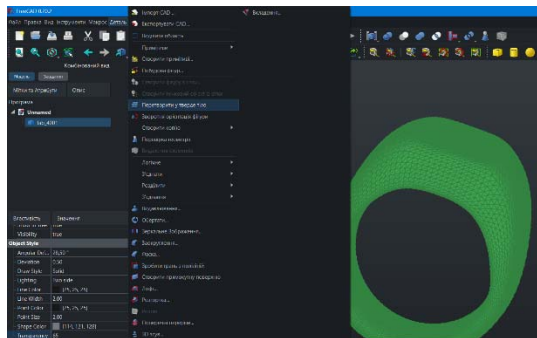


Рисунок 4.7 – Перетворення у тверде тіло

Можемо видалити попереднє, порожнє всередині тіло. Тепер робимо перевірку твердотільної фігури.

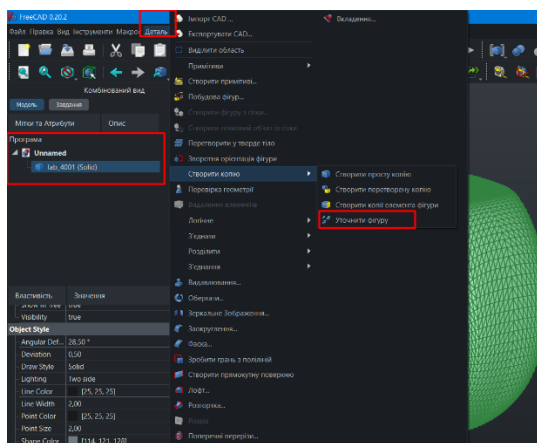


Рисунок 4.8 – Створення твердотільної моделі

Процес створення уточненої копії може зайняти певний час, тож доведеться зачекати.

Для проведення подальших дій слід помістити нашу деталь у математичний контейнер, перейдіть у верстак Part design, оберіть уточнену деталь і натисніть create body.

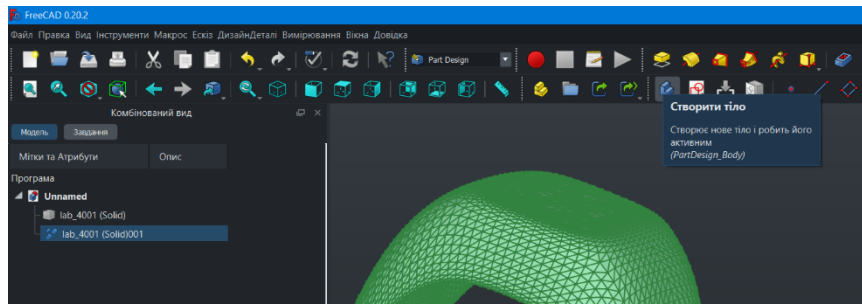


Рисунок 4.9 – Позначка для твердого тіла

Перевірити чи тіло і справді заповнено в середині можна виконавши будьяку булеву операцію, як ми бачимо з рисунку – деталь твердотільна.

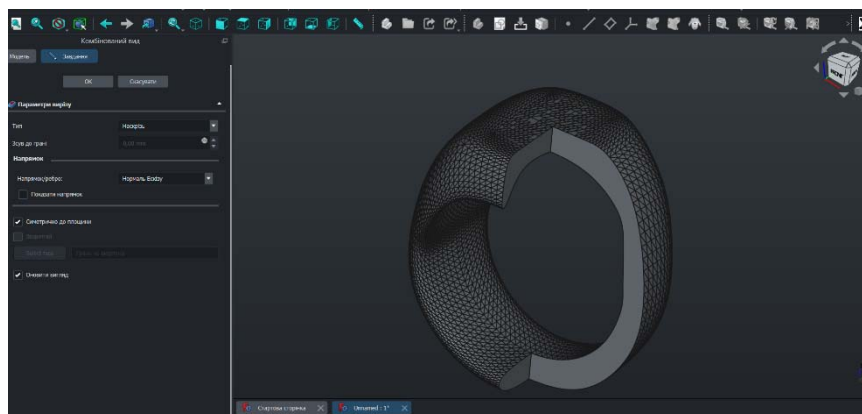


Рисунок 4.10 – Переїрка суцільності тіла

Переходимо до розрахунки маси, для цього необхідно встановити адон.

Перейдіть в tools/addon manager та оберіть серед списку додатків адон FCInfo.

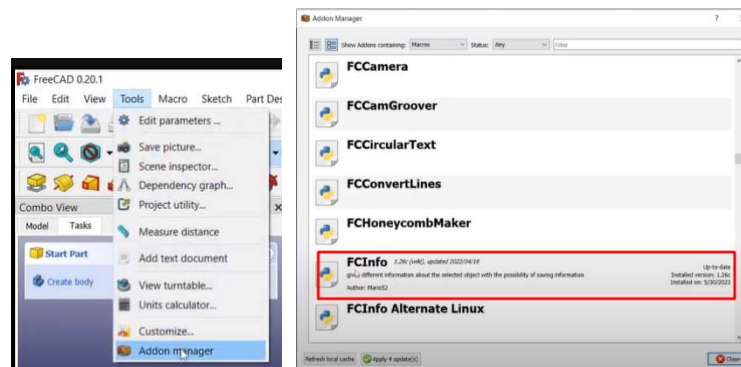


Рисунок 4.11 – Пошук макроса

Далі натисніть Макроси – виконати макрос ( 4.12)

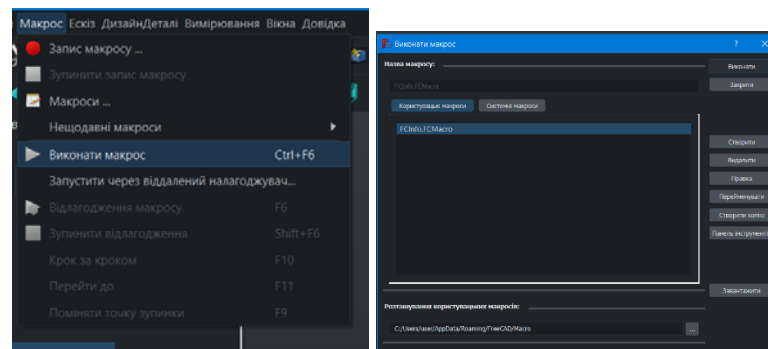


Рисунок 4.12 – Встановлення макросу

Після того як макрос виконано, оберіть кільце. І серед списку матеріалів оберіть золото, або інший дорогоцінний сплав, ви можете також задати густину, вартість за кілограм та інші параметри.

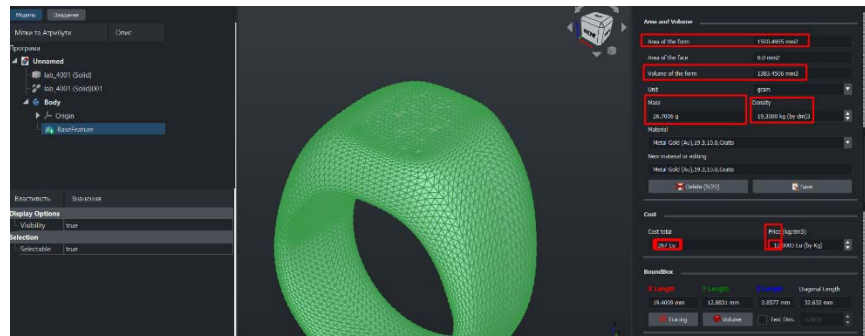


Рисунок 4.13 – Перевірка густини

Висновки: В результаті виконання лабораторної роботи було засвоєно методику експорту 3D-моделей до системи FreeCAD та їх перетворення у тверде тіло. Опановано інструменти для призначення матеріалу виробу та проведено розрахунки об'єму, маси і вартості металу для спроектованого кільця. Отримані навички дозволяють здійснювати комплексне проектування ювелірних виробів з урахуванням як технологічних, так і економічних параметрів виробництва.

#### 4.4 Зміст звіту

Надати мету роботи.

Визначити технологічні параметри виробу: об'єм, маса, вартість – відповідно до порядку виконання роботи. Додати скріншоти отриманих результатів

Надати висновки до роботи.

## Перелік джерел посилань

1. М. М. Федоров, А. М. Фесенко, Технологія і обладнання ювелірного лиття (Підручник), Краматорськ: ДДМА, 2016.
2. В. М. Бреполь, Теорія і практика ювелірної справи, Львів: Львівська політехніка, 2000.
3. Ю. А. Василенко, В. С. Чернавін, Матеріали для ювелірних виробів, Київ: Техніка, 2005.
4. О. М. Романченко, Технології обробки дорогоцінних металів і сплавів, Харків: НТУ «ХПІ», 2018.
5. Sonia Cheadle, Precious Metal Clay: The Complete Guide, Iola, Wisconsin, USA: Krause Publications, 2010.
6. Jack Ogden, Diamonds: An Early History of the King of Gems, London, UK: Thames & Hudson, 2018.
7. Jinks McGrath, The Jeweler's Directory of Gemstones: A Complete Guide to Appraising and Using Precious Stones, London, UK: A & C Black Publishers, 2006.
8. Jurgen Maerz, Platinum, Gold, and Other Metal Chemistries in Jewelry Making, Brunswick, Maine, USA: Brynmorgen Press, 2019.