

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

В.А. Дербаба, С.Т. Пацера, В.В. Проців

**Металооброблювальні верстати з ЧПК**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
ЗА ТЕМОЮ «АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕЛЕЙ  
ТА ПРОГРАМУВАННЯ ФРЕЗЕРНИХ ОПЕРАЦІЙ  
НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК»**

для студентів спеціальностей  
132 «Матеріалознавство» та 131 «Прикладна механіка»

Дніпро  
2018

УДК 621.9:004.9

Рекомендовано науково-методичним центром і редакційною радою НТУ «Дніпровська політехніка» до розміщення в електронній мережі університету із збереженням авторських прав (протокол № від )

Погоджено рішенням методичних комісій спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 131 «Прикладна механіка» (протокол № від )

**Дербаба В.А.**

Металооброблювальні верстати з ЧПК. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт за темою: «Автоматизоване проектування моделей та програмування фрезерних операцій на верстатах з ЧПК» для студентів спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 131 «Прикладна механіка» [Електронний ресурс] / В.А. Дербаба, С.Т. Пацера, В.В. Проців; НТУ «ДП». – Д. : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – 30 с.

Зміст видання відповідає вимогам освітньо-професійним програмам підготовки магістрів спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 131 «Прикладна механіка» денної та заочної форми навчання.

В методичних рекомендаціях представлені основні етапи виконання лабораторної роботи в інженерних програмах Autodesk Power Shape, Autodesk ArtCAM при моделюванні тривимірної моделі та розрахунку автоматизованої технології фрезерної обробки деталей на верстатах з ЧПК

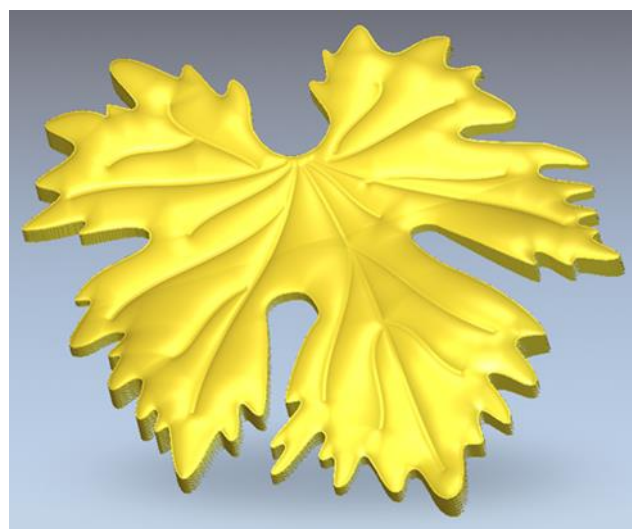
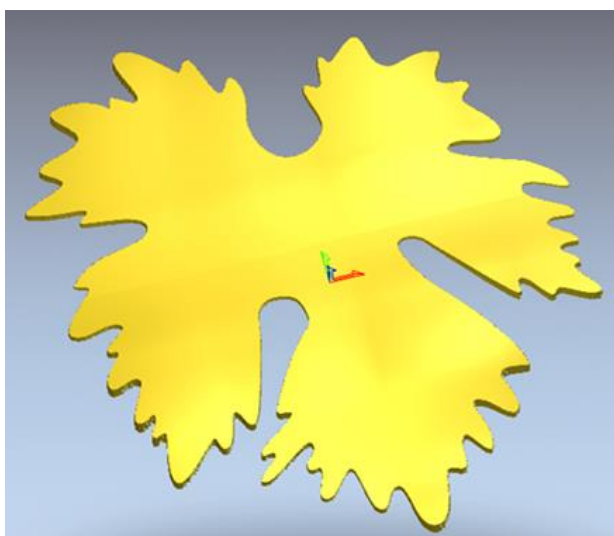
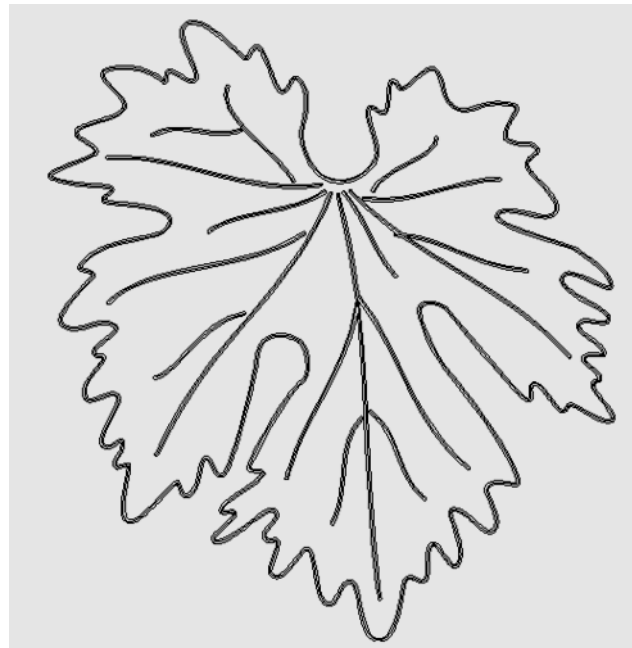
УДК 621.9:004.9

## Зміст

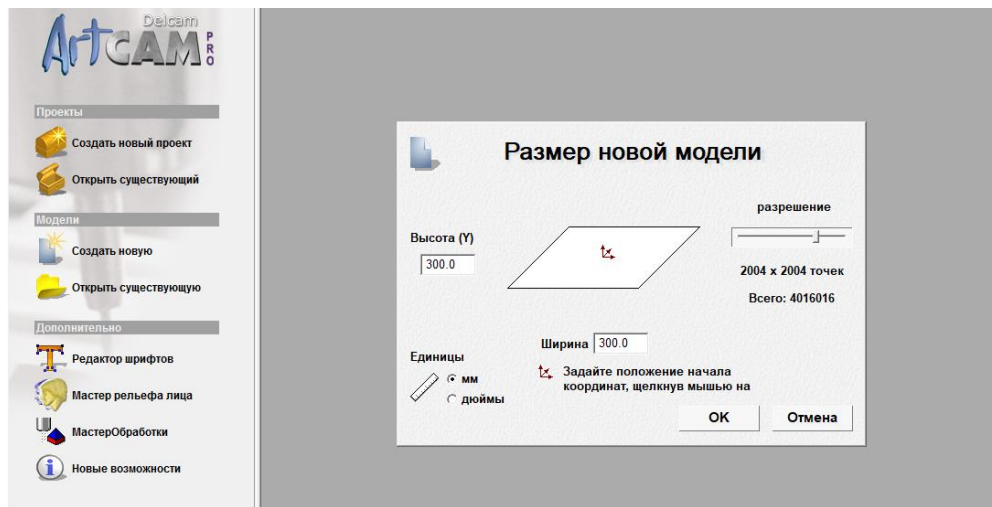
1.Проектування тривимірної моделі в САD-системі.....	3
Контрольні питання для самоперевірки.....	7
2. Імпорт моделі та автоматизований розрахунок технології в САМ-системі.....	8
Контрольні питання для самоперевірки .....	18
3. Розрахунок та перевірка керуючої програми для верстата з ЧПК.....	19
Контрольні питання для самоперевірки .....	23
Література.....	23
Додатки	

## ЧАСТИНА I

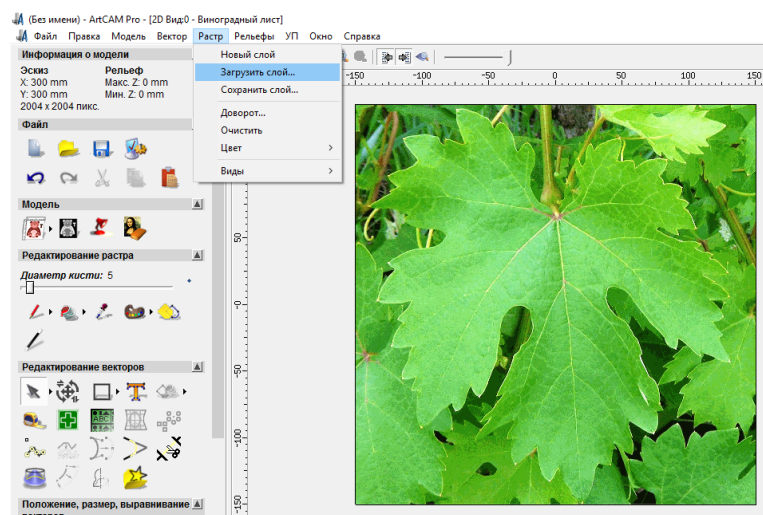
### «Моделювання листа з растрового зображення в тривимірну модель системи ArtCAM»



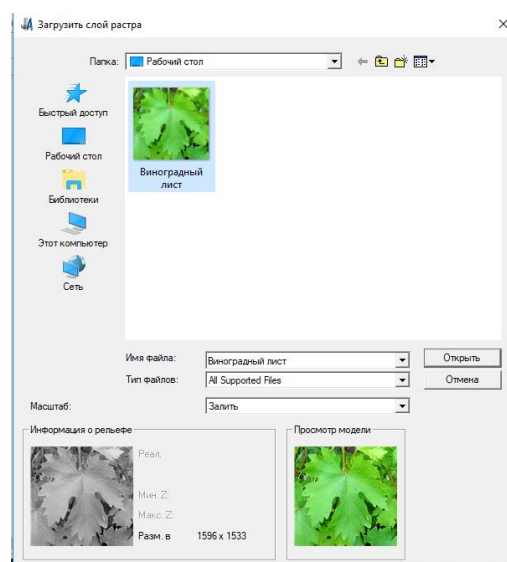
1. Запускаємо ArtCAM. (Ця лабораторна робота виконана в ArtCAM2008)
2. Створюємо нову модель. Розміри (Y, X) 350x350. Розмірність в мм. Систему координат орієнтуємо в центрі. Роздільна здатність від 1500 до 2000 точок.



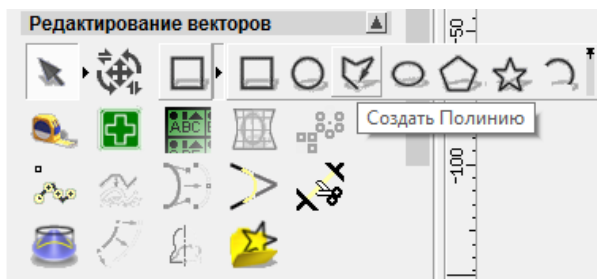
3. Завантажуємо растровий шар в робочу область проекту. Для цього використовуємо, як приклад, малюнок виноградного листа в форматі \*JPG.



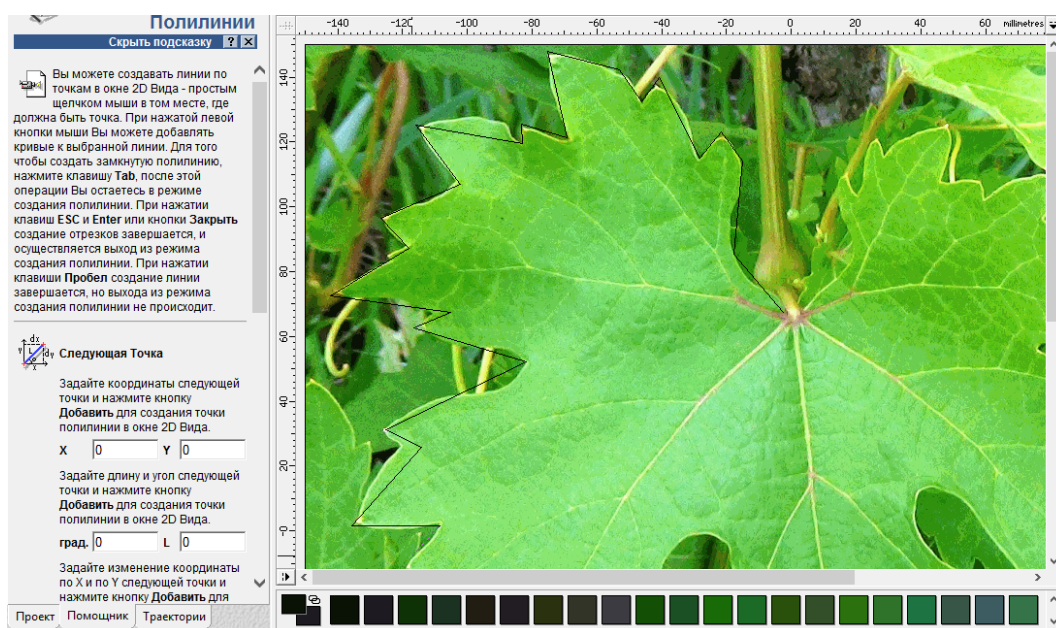
При завантаженні, для зручності, рекомендується вказати необхідний масштаб малюнка – «Вписати, Залити, Розтягнути».



4. Створюємо контур навколо виноградного листа, розставляючи контрольні точки, використовуючи функцію Редагування векторів – «Створити Полінію»

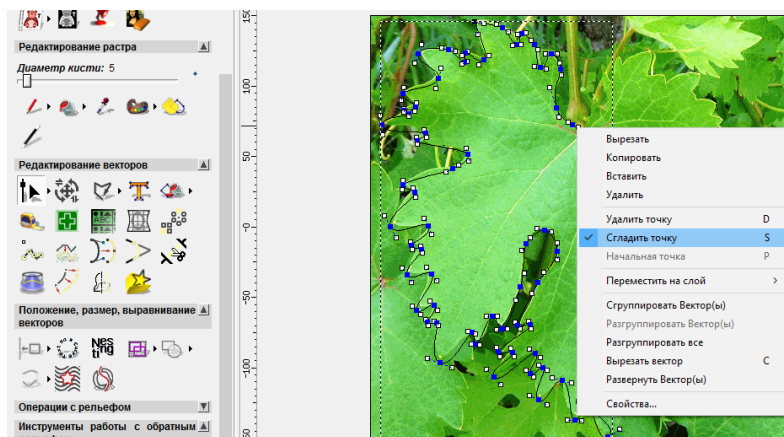


**ПРИМІТКА!** Абсолютну точність відтворення дотримуватися не варто. Це творчий проект, тому розставляємо точки змикання прямих на свій розсуд!



5. Полінію (контур) навколо листа досить намалювати до половини. Решту можливо дзеркально відобразити і заощадити час на відмальовування.

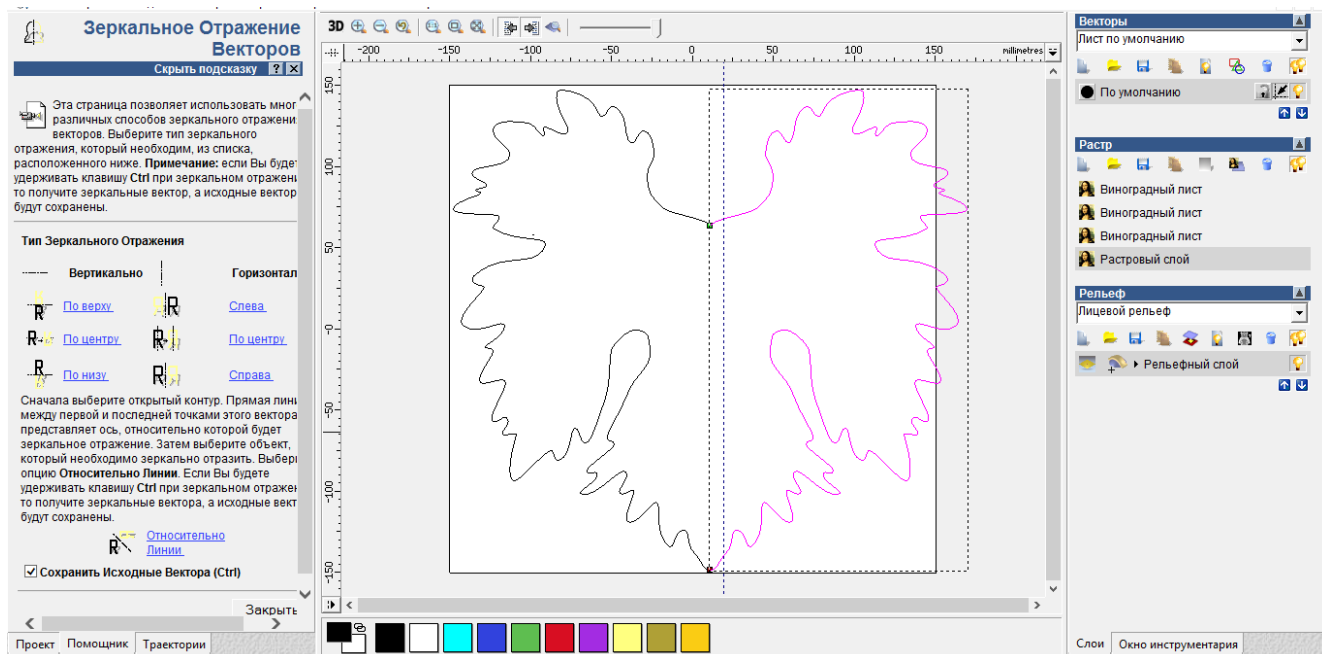
Не округлені відрізки вектору (По лінії) необхідно скруглити використовуючи функції *Зміни точок* в розділі *Редагування векторів*. Також, за необхідності, можна викликати контекстне меню – *Згладити точки*, або затиснувши на клавіатурі клавішу "S". З'являться додаткові відрізки і точки на кривій. Точки синього кольору керують позиціонуванням вектору, білі - кутом нахилу і згладжуванням вектору.



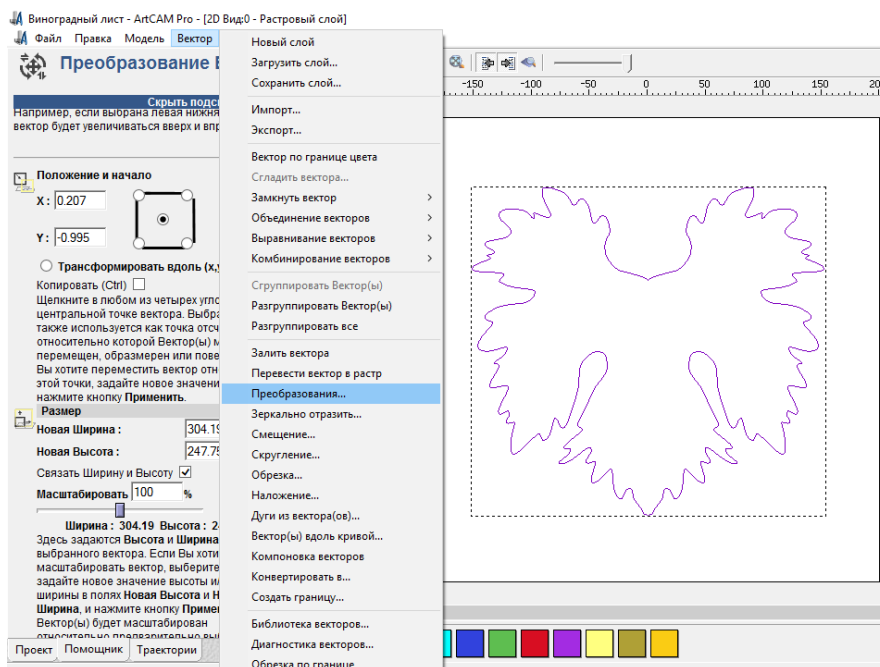


## 6. Відредагований вектор половини виноградного листа ми копіюємо щодо осі.

Для наочного відображення намальованого вектору заходимо в растровий шар на панелі інструментів *Растр*. На панелі інструментів *Редагування векторів* обираємо кнопку *Дзеркально Відобразити Вектору*. В параметрах відображення вектору встановлюємо галочку *Зберегти вихідні вектору* і тиснемо посилання *Справа*. Вийде об'єкт, зображений на малюнку:

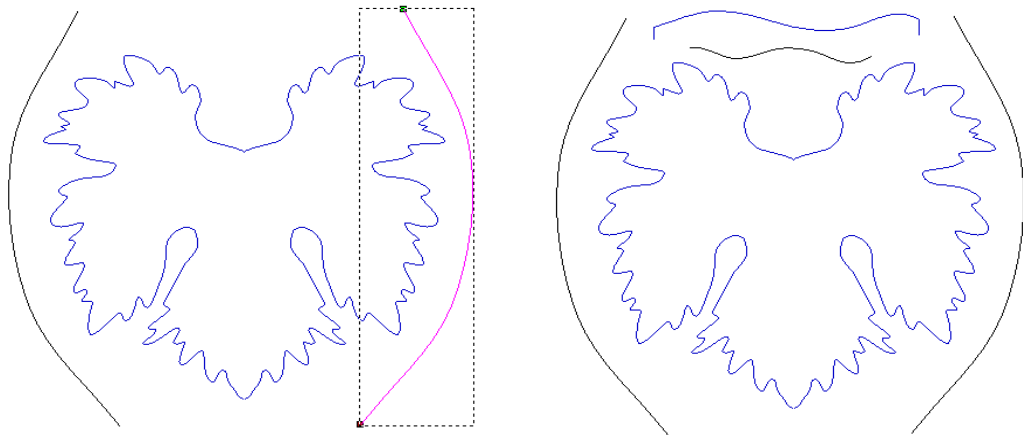


Якщо отриманий малюнок виходить за межі ескізу – його можна масштабувати, задавши відсоток масштабу від вихідного, наприклад в 80%.



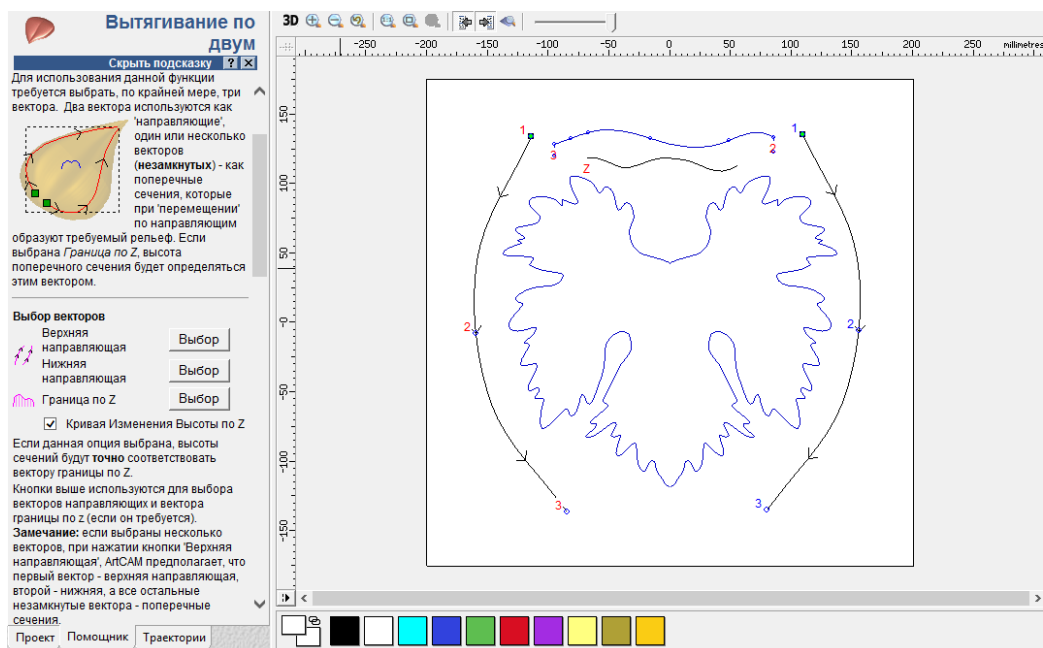
7. Далі будемо використовувати функцію *Витягування по двох напрямних* на вкладці *Операції з рельєфом*. Для цього потрібно намалювати допоміжні вектору по краях намальованого контуру. Зліва, малюємо обмежуючий вектор використовуючи знайомий функціонал – *По лінія*. Скругляємо точки вектору, з правого боку копіюємо, використовуючи кнопку *Дзеркально Відобразити Вектору*. (див. рис.)

Також, малюємо профіль, який буде витягатися. Відобразимо вектор зверху контуру, він буде відповідати за витягування в поперечному перерізі, нижня крива - за поздовжнє витягування контуру.



9. Обираємо функцію *Витягування по двох напрямних* і в параметрах бічні криві будуть служити – *Верхніми напрямними*; верхня крива – *Перетином*, в нижня крива *Границею по Z*. Також встановлюємо галочку на *Крива зміни висоти Z* (Див. рисунок).

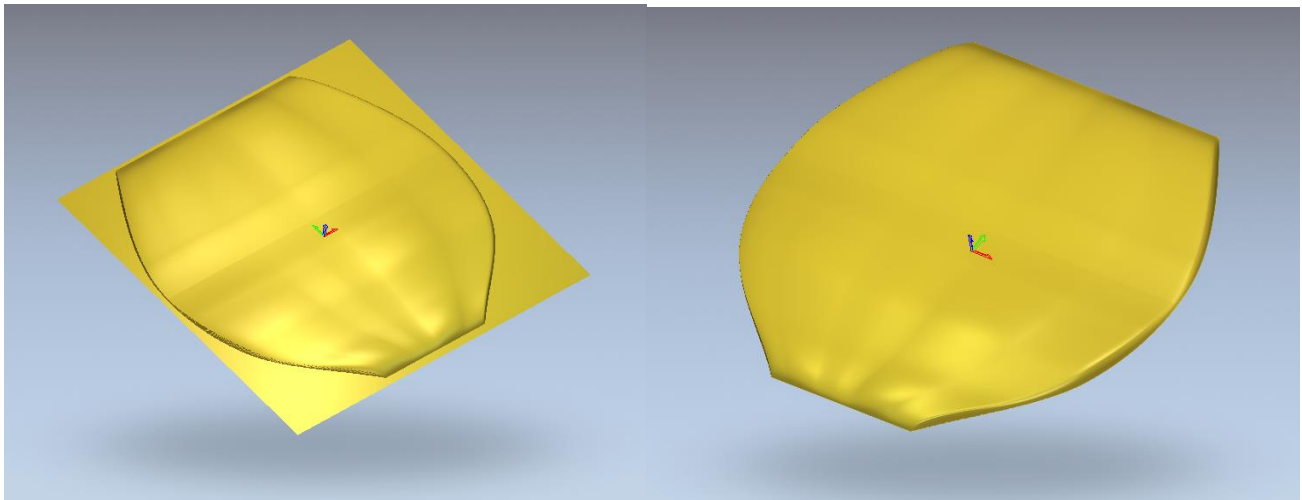
Тиснемо *Обчислити*.



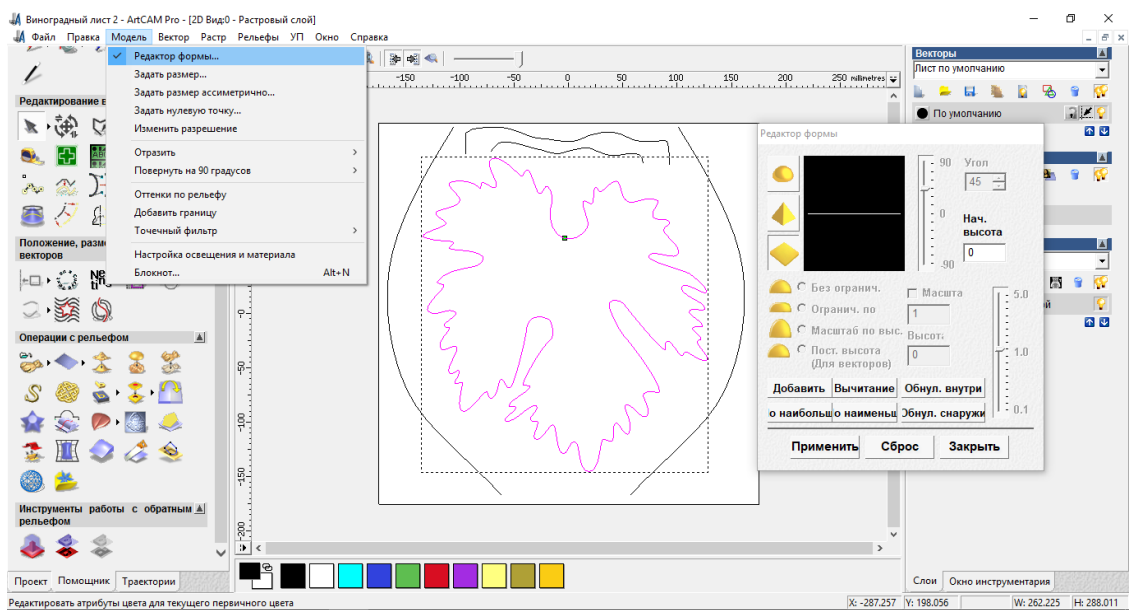
10. Переходимо на вкладку 3D і дивимося результат. Отримуємо примітивний малюнок рельєфу на площині. Відображення площини, для зручності, можна відключити на верхній панелі інструментів, кнопка – *Відобразити нульову площину*.

**Не забуваємо періодично зберігати свій проект!**

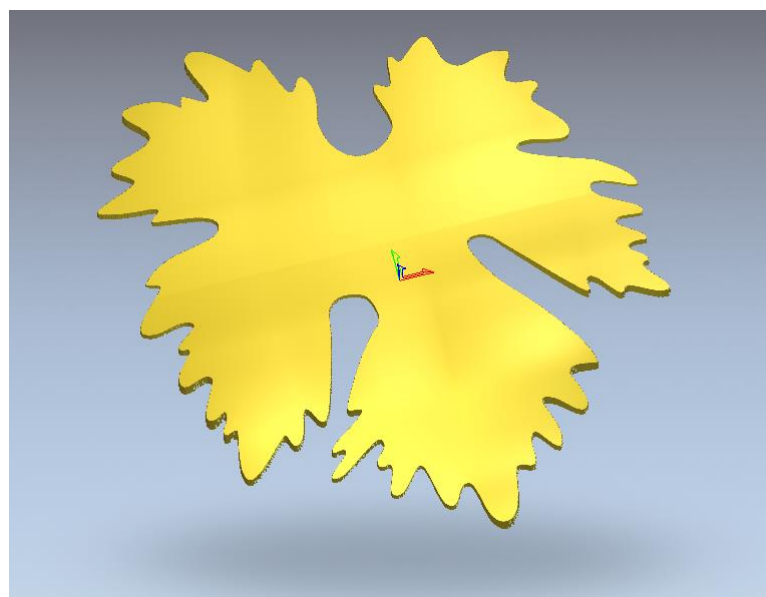




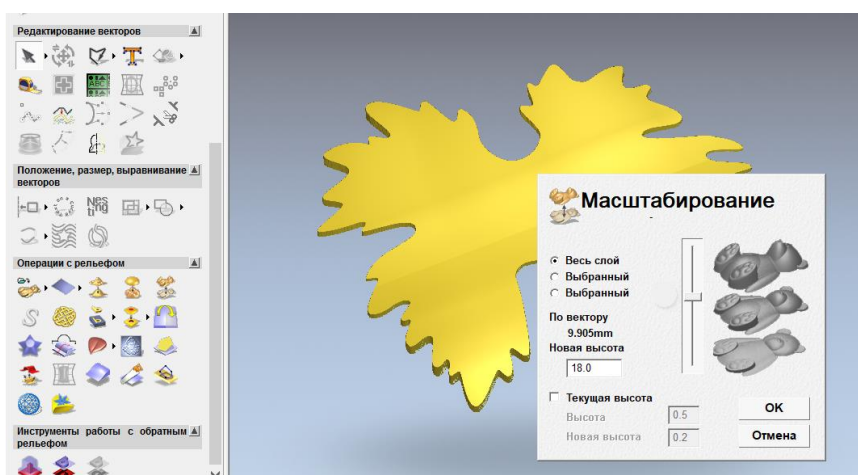
11. Обрізаємо зайвий матеріал, попередньо вибравши контур листа. Тиснемо *Обнулити зовні*. Ок. (всі параметри вікна *Редактор форми* повинні бути не активні!)



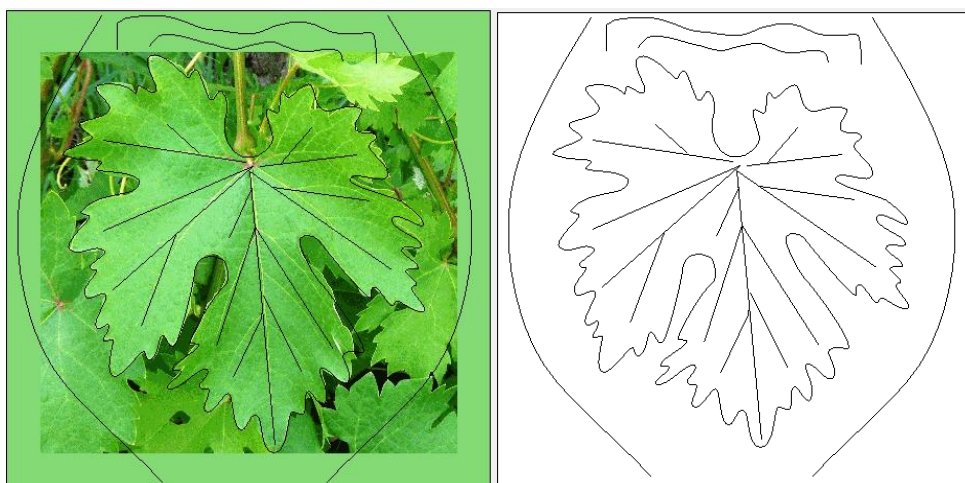
При коректній побудові векторів і вірно заданих налаштуваннях операції *Витягування по двох напрямних* повинна вийти наступна картинка:



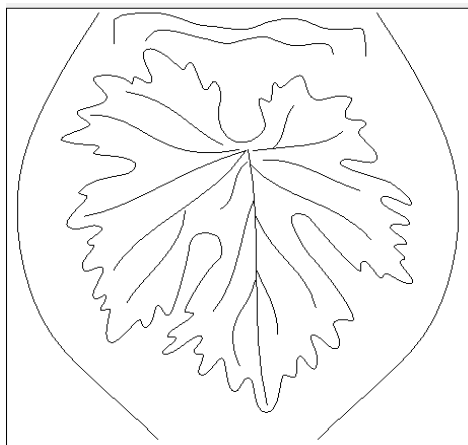
Висоту рельєфу листа можна збільшити натиснувши на відповідну кнопку *Масштабування рельєфу* на панелі *Операції з рельєфом*. Наприклад, збільшимо висоту рельєфу до 20 мм.



12. Далі виконаємо тиснення прожилок на виноградному листі, надавши реалістичності і красу реальної форми. Скористаємося вже знайомим нам функціоналом програми *Створити полінію* на вкладці *Редагування векторів*. Малюємо лінії прожилок за формою листа, при цьому не обов'язково дотримуватися абсолютної точності позиціонування точок мальованого вектору. Вийде спочатку так:

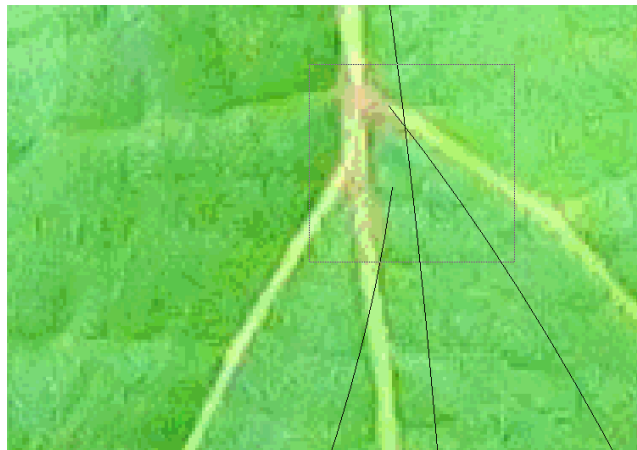


Далі наводимо все в плавний вигляд, згладжуючи вектору. Прямі відрізки перетворюємо в *Криві Безьє*, натиснувши правою кнопкою миші на відріжку, в режимі редагування точок. Має вийти так:

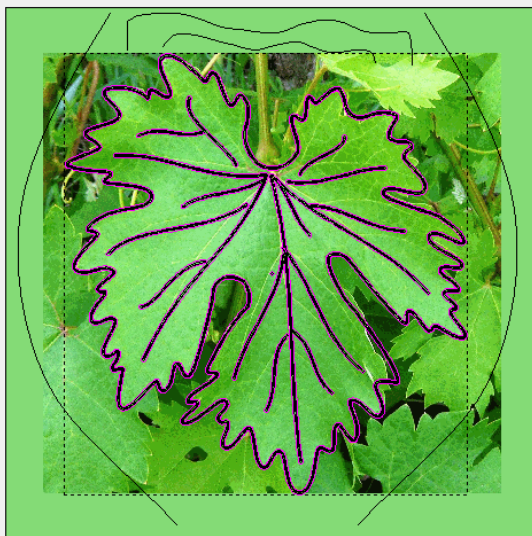


**Не забуваємо періодично зберігати свій проєкт!**

13. Далі створюємо увігнутість прожилок як це виконано на виноградному листі. Перед зміщенням векторів перевіряємо самоперетин векторів (прожилок) на аркуші. Обрізаємо (усікаємо) перетину інструментом *обрізати вектор до перетину*. Також перевіряємо лист з векторами на наявність різних артефактів, зайвих точок, шматки відрізаних векторів та інше, які обов'язково потрібно видалити.

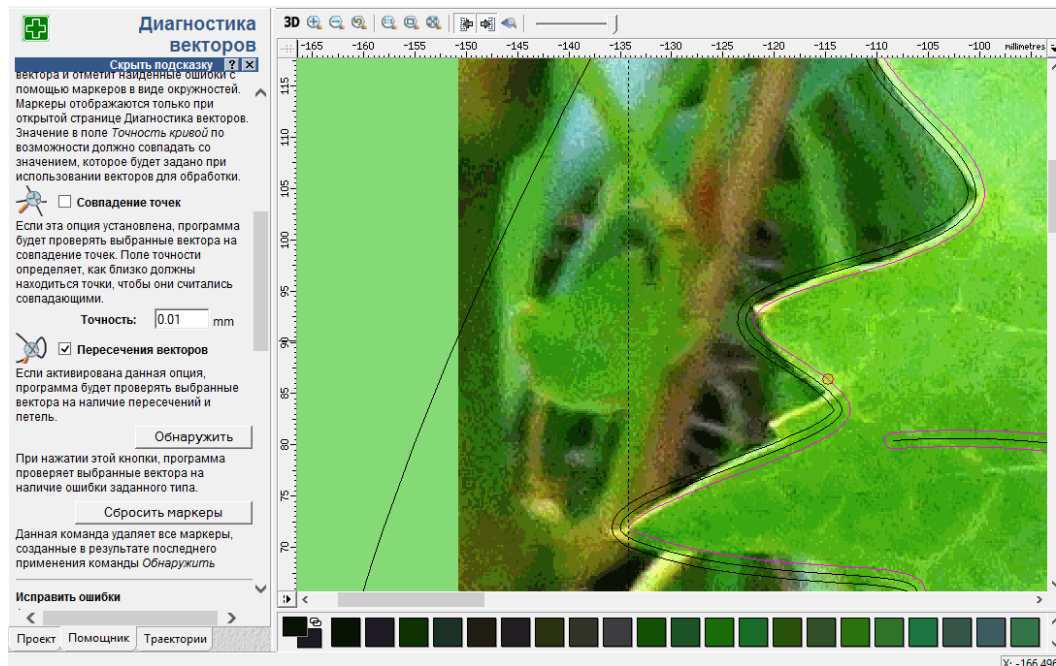


Для зміщення векторів, рамкою вибираємо весь контур листа з прожилками і зміщуємо вектору в обидві сторони, кнопка *Змістити вектору* на вкладці *Редагування векторів*. Величина зміщення буде залежати від масштабу, в якому малюєте, наприклад встановимо 0,8; зміщення кутів, за замовчуванням залишаємо *округленими*, вихідні вектору можна видалити. Тиснемо *Зміщуємо*. Повинна вийти наступна картинка:

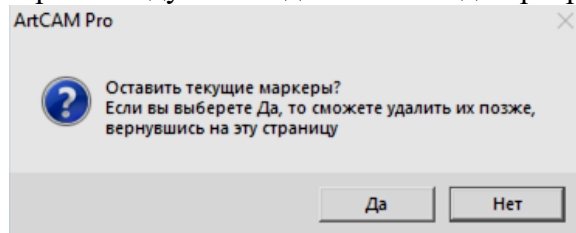


Після створення зсуву - виключаємо зовнішній контур, затиснувши на клавіатурі Shift і вибравши його кліком мишки, він нам буде заважати.

Після процедури усунення можливі самоперетин векторів. Для лікування проблеми скористаємося доктором програми ArtCAM - *Діагностика та усунення помилок*. Вибравши цей інструмент можливо **частково** виправити проблеми самоперетинів. Проблемні області доктор виділяє червоними колами. (див. рис.) Точність кривої достатня в межах 0,01 мм.

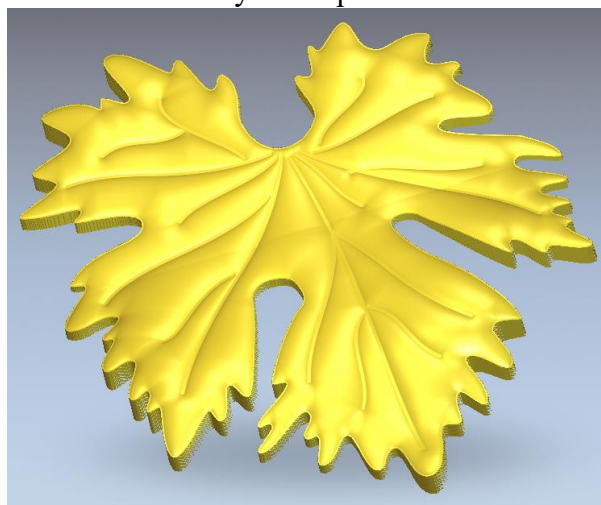


Після процедури лікування рекомендується відмовитися від маркерів на аркуші.



14. Додатково, для вирішення питання некоректних векторів після зсуву, можна скористатися кнопкою *Згладити вектору* (у новіших версіях – *Вписати сплайни*) з точністю - 0,02, із зазначенням - *Ігнорування прямолінійних ділянок*. Цей крок гарантує точну вимальовування контурів по краях.

15. Тепер можливо додати ввігнуті / опуклі форми прожилок з *Редактора форм*. На даному етапі кожен користувач призначає індивідуальний варіант форми опуклості або ввігнутості поверхонь. Наприклад, кут встановимо  $60^\circ$ , масштабувати по висоті - 4 мм. Натискаємо кнопку - *Додати*. Розрахунок траєкторії може тривати від 30 сек. до однієї хвилини. При коректному побудові повинна вийти наступна картинка:



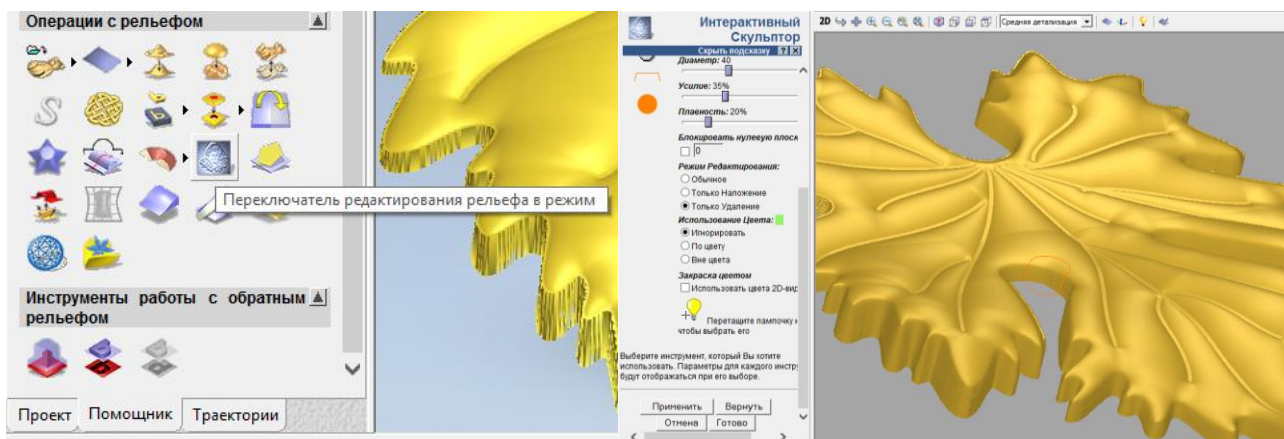
**Не забуваємо періодично зберігати свій проект!**

Результат ввігнутості прожилок у цьому виконанні вийшов за рахунок підняття поверхонь навколо них, а не ввігнутості, безпосередньо, прожилок.



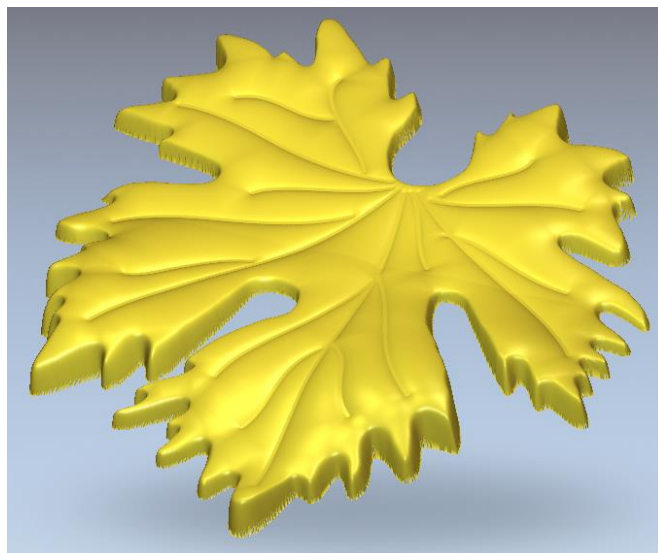
16. Для естетичної складової можна округляти контур тривимірної моделі листа по краях. Тобто, щоб у листа була прямовисна стінка, а стінка невеликим ухилом.

Також для роботи з формами створеного рельєфу можливо скористатися *Інтерактивним скульптором* на панелі *Операції з рельєфом*. В параметрах команди збільшуємо діаметр, наприклад до 40-50, зусилля 20-30%, плавність - 20 і ставимо галочку - *Тільки видалення*. Далі, з затиснутою кнопкою мишки, курсором проводимо краєм моделі і згладжуємо кути. (Див.рис.)



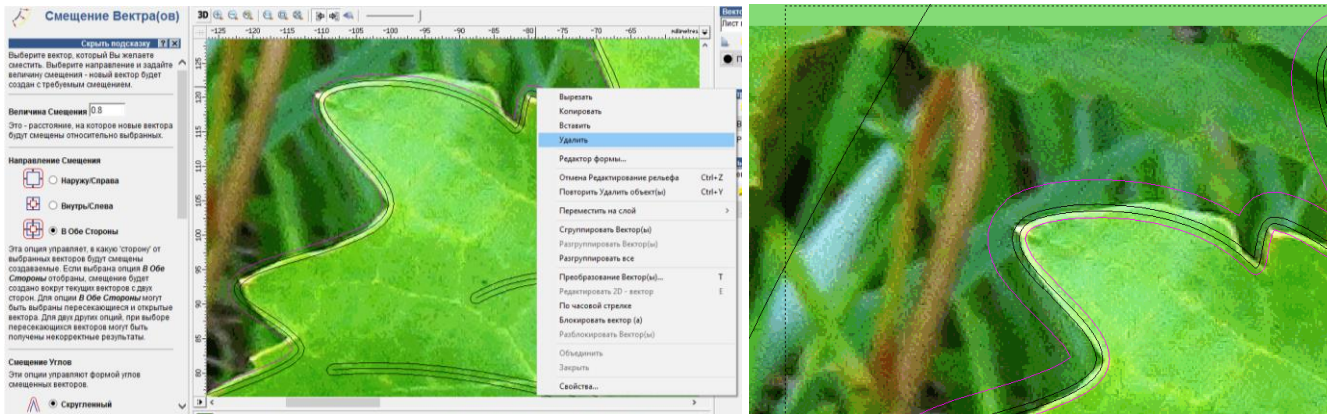
**ПРИМІТКА!** Під час згладжування країв в режимі *Інтерактивного скульптора*, в ArtCAM 2008 доступні тільки ті краї які повернені до вас. Решта краю можна обробити повернувши інший сторо модель і знову вибрати функцію *Інтерактивний скульптор*.

Остаточний вигляд згладженої моделі матиме вигляд:



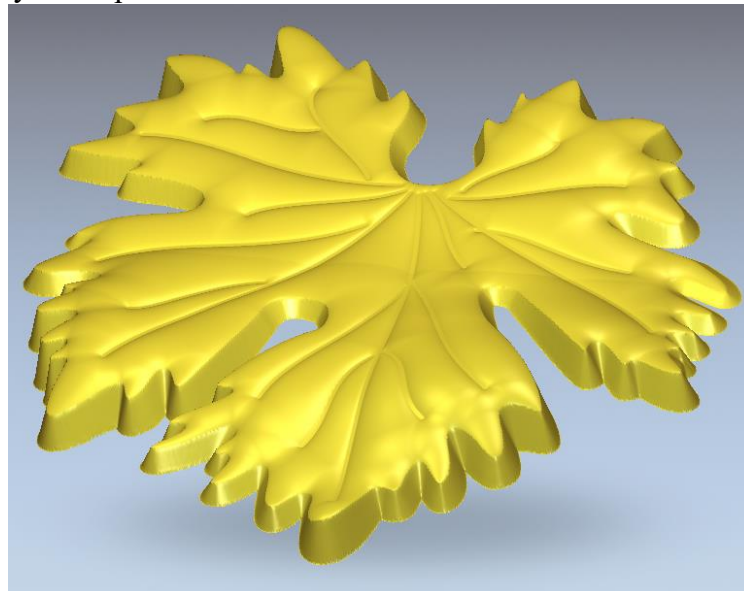
17. Більш цікавий підхід до обробки стрімких граней рельєфу можна представити таким чином.

У вкладці 2D видаляємо крайній зміщений конкур аркуша, беремо вихідний контур і його зміщуємо на 3 мм в обидва боки. Напрямок зсуву - *Назовні / Праворуч*, зміщення кутів - *Загострений*.



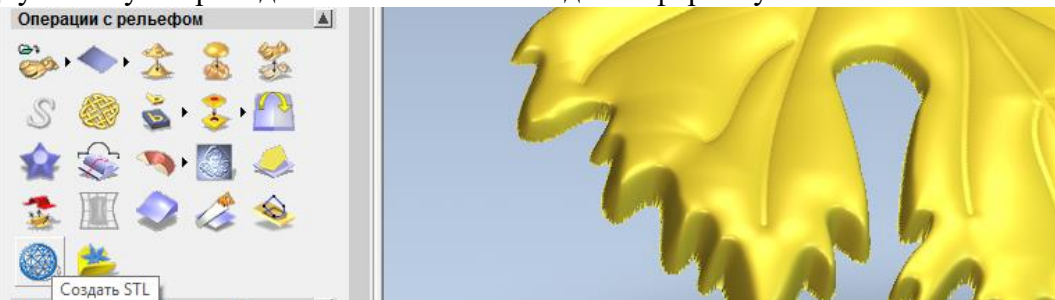
Далі використовуємо функцію *Гладке стикування* на панелі *Операції з рельєфом*. Вибираємо зміщений вектор (на 3 мм) і вектор, яким ми обрізали контур листочка. В параметрах вказуємо *лінійно*, встановлюємо галочку *2-й вектор (На рельєфі)*, встановлюємо *Усередині вектору (Заповнити всередині вектору - галку прибираємо)*.

Повинна вийти наступна картинка з косими стінками:



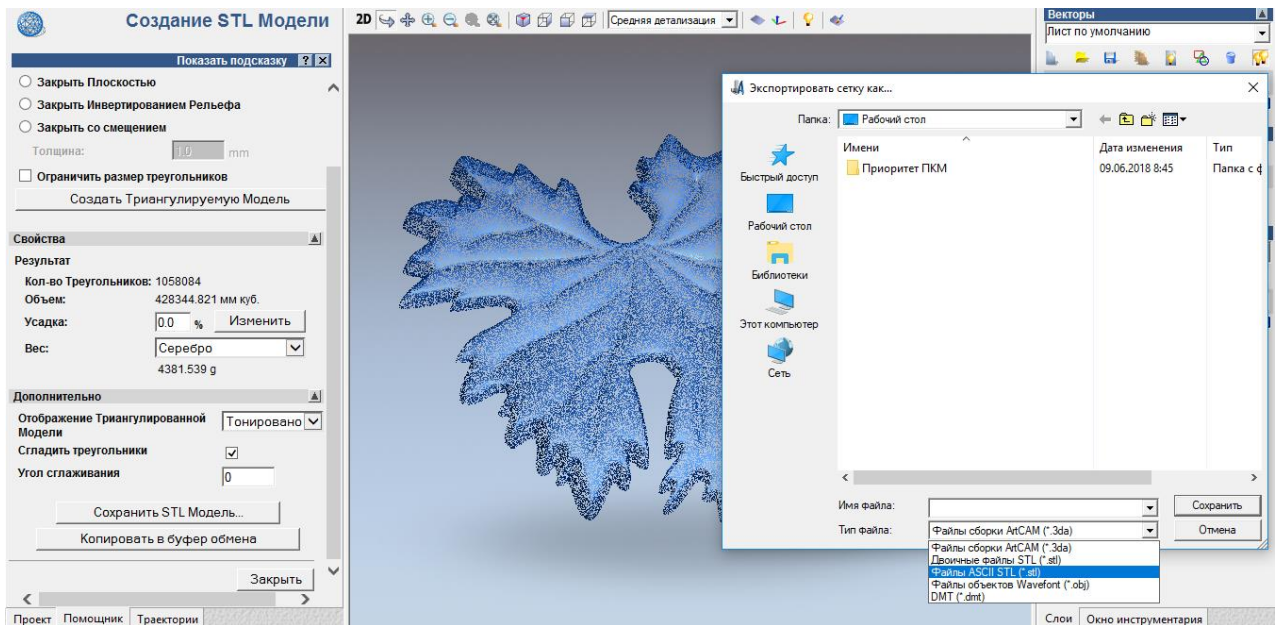
Моделювання рельєфу виноградного листа вважається закінченою. Далі, за потребою модель можливо зберегти у форматі \* STL, тобто в форматі «*Хмари точок*».

18. Для збереження моделі в форматі \* STL, на панелі *Операції з рельєфом* тиснемо відповідну кнопку і переходимо в настоянки вихідного формату.



В параметрах тріангуляції вказуємо необхідну точність поверхонь. За замовчуванням встановлено 0,01 мм - цього цілком достатньо. Створюємо модель. Далі зберігаємо модель вказавши вихідний параметр файлу *Файли ASCII Stl (\* .stl)*. Готово.





Зі збереженої моделлю (STL), також має назву як «Полігональна сітка» можна також працювати в інших САМ-системах, наприклад Feature CAM і Power Mill.

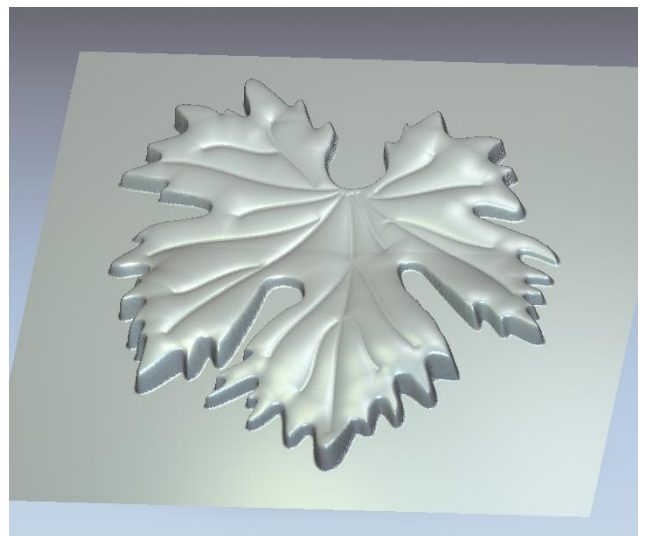
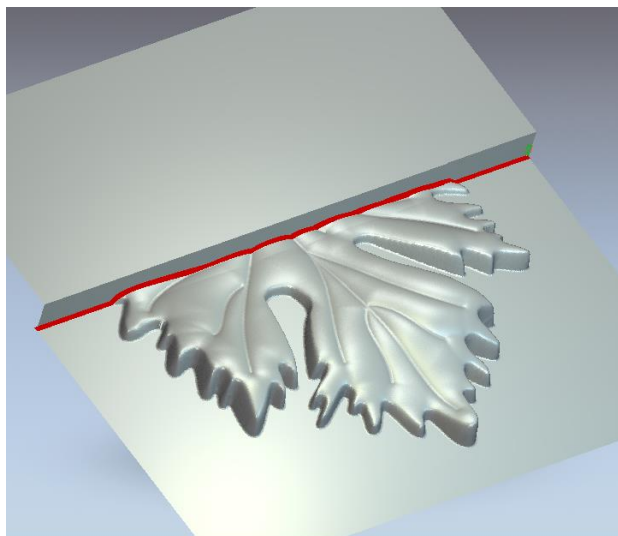
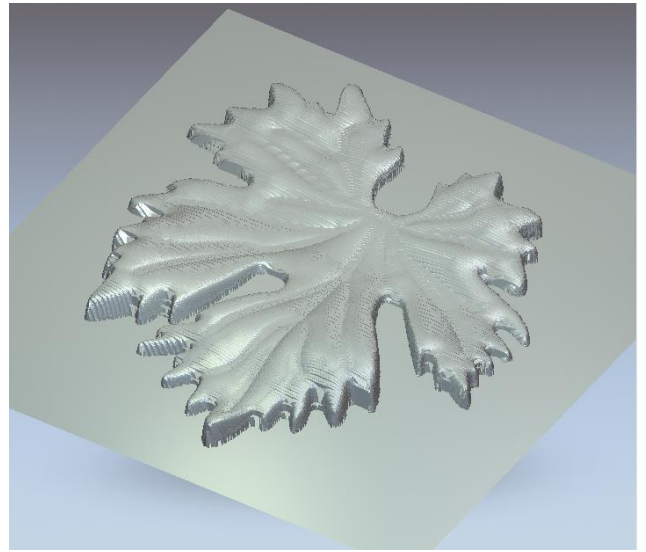
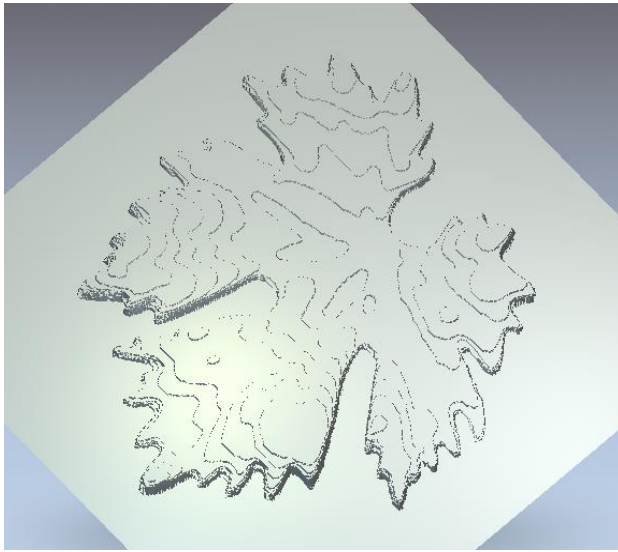
**ПРИМІТКА!** Є певні обмеження при роботі з форматом. \* Stl у САМ-системах. Наприклад, неможливість редагувати об'єкт, тільки перегляд і динамічний розтин. Деякі САМ-системи також не завжди здатні виконувати обробку такого типу моделі. Нерідко формати типу «Хмара точок» необхідно описувати вручну «поверхнями сітками», зшивати і перетворювати в редагується тіло. З таким завданням справляється програма Autodesk PowerShape.

На даному етапі перша частина методичного посібника закінчена.

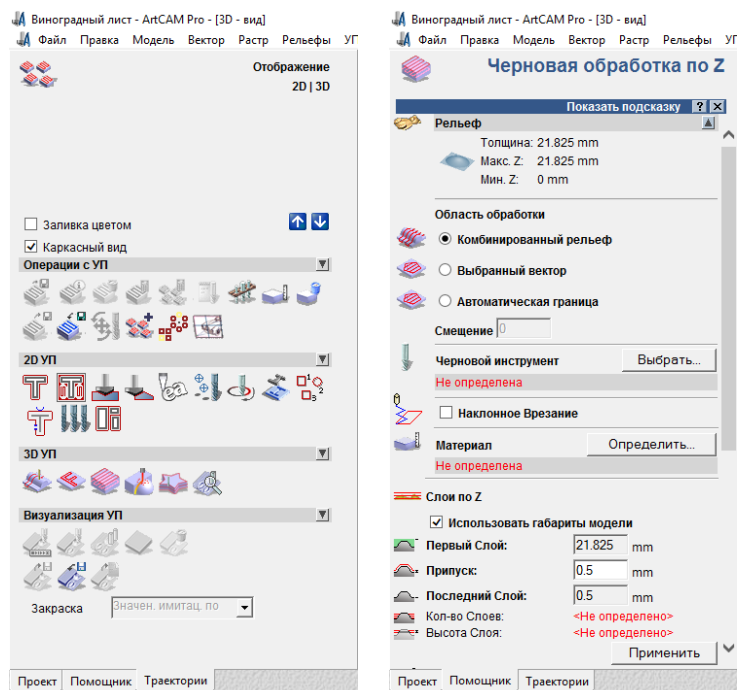
**Не забуваємо періодично зберігати свій проект!**

## ЧАСТИНА II

### «Фрезерна обробка тривимірної моделі виноградного листа у програмі ArtCAM»



1. Для виконання будь-якого проекту по механічній обробці в ArtCAM, потрібно перейти на вкладку *Траєкторії / 3D УП / Чорнова обробка по Z*.

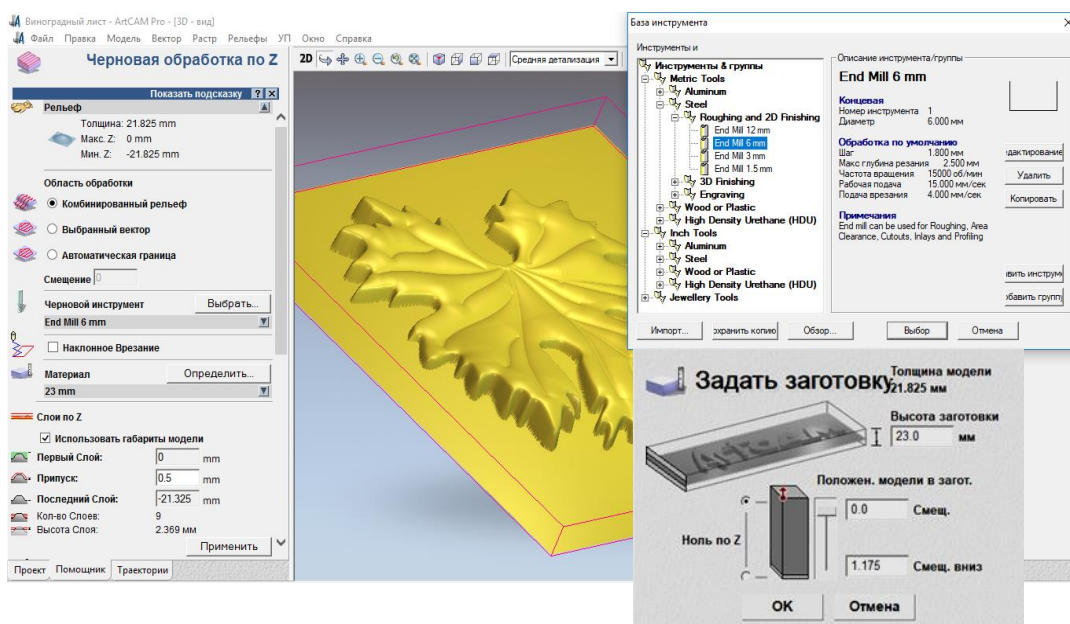


**ПРИМІТКА!** Звертаємо увагу на параметри рельєфу моделі. У нашому випадку значення товщини 21,825 мм. Врахуємо цей розмір при створенні висоти заготовки для фрезерування рельєфу.

2. У параметрах чорновий стратегії обробки призначаємо *Область обробки, Ріжучий інструмент, Матеріал заготовки*.

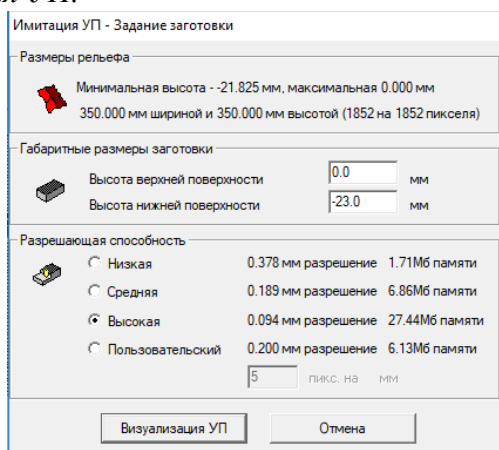
Наприклад:

*Комбінований рельєф, фреза End Mill 6 mm, товщина заготовки 23 мм, зміщення вниз 1,175 мм.* Нуль по Z - точка вгорі. Параметр *Шар по Z* залишаємо без змін, система сама визначить і розрахує необхідну величину припуску і кількість проходів. *Висоту безпеки по Z* рекомендується вказувати від 5-10 мм, точка повернення в цьому ж діапазоні. Стратегія обробки - *Растр*, кут - 0, прохід за профілем - *немає*.



### Не забуваємо періодично зберігати свій проект!

3. Після призначення необхідних параметрів стратегії і розрахунку УП, процес обробки виробу можна візуалізувати в робочій області програми ArtCAM, натиснувши відповідну кнопку на панелі *Візуалізація УП*.



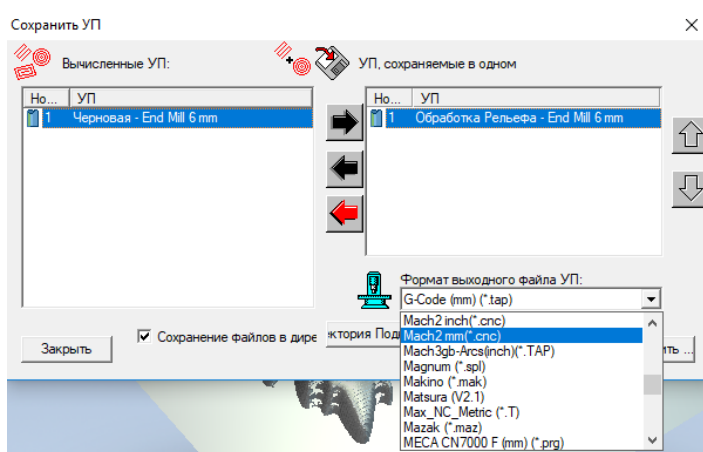
Чорновий варіант фігури після чорної обробки фрезою 6 мм прийме наступний вигляд:



4. Далі потрібно скористатися напівчистою стратегією *Обробка рельєфу*. Дана операція більш наочно і детально відмалює рельєф нашого виноградного листа. Фрезу (6 мм) і параметри режимів можна ставити такі як і в попередній стратегії - *Чорнова по Z*. Після 2-3 хвилин розрахунку вийде наступний результат:



5. Зберігаємо УП натиснувши відповідну кнопку на панелі *Операції з УП*. Міняємо формат вивідного файлу, за замовчуванням *2D HPGL (. \* Plt)*, на *G-Code (mm) (\*.tap)*, чи *Mach2 mm (\*.cnc)*. Вкажете директорію збереження, надайте ім'я файлу, наприклад, *list\_chernovaya - freza 6mm*. Тиснемо зберегти.



Збережено формат файлу УП, наприклад \* .cnc, можливо відкрити в будь-якому текстовому редакторі на ПК, наприклад у блокноті. Структура файлу УП матиме такий вигляд:

```
list_chernovaya - freza 6mm.cnc — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
%
G90
G49
M3 S15000
G0 X-174.999 Y-174.999 Z5.000
G1 Z-21.825 F240
G1 X-174.810 F900
X174.999
Y-174.820
Y-173.204
X174.810
X-174.999
Y-173.025
Y-171.409
X-174.810
X174.999
Y-171.230
```

6. Далі призначимо чистову операцію, а з нею і радіусу фрезу меншого діаметру. Даний тип фрези забезпечить нам більш точну і якісну обробку матеріалу, вибравши решту матеріалу заготовки після чорнової фрези.

Вибираємо вже відому функцію *Обробка рельєфу*, тільки на цей раз застосуємо чистову фрезу 3 мм з радіусом заокруглення кромки 1 мм. Можливо, система повторно

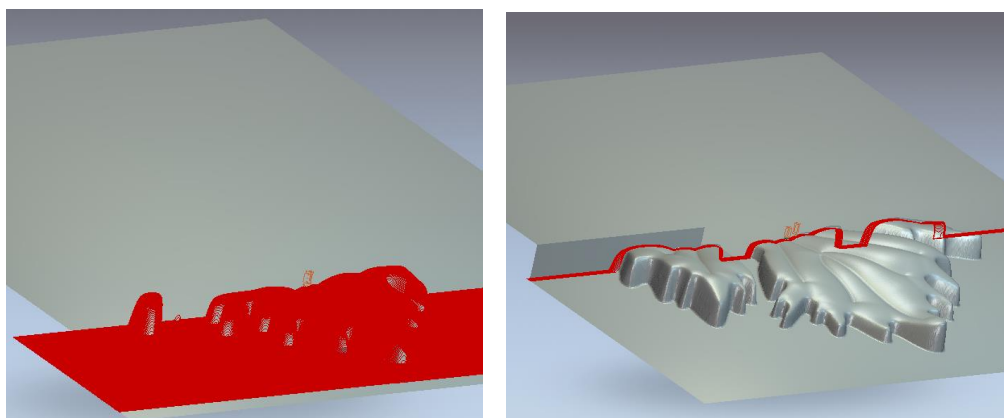


вимагатиме від вас визначити *Матеріал* і висоту заготівки. Необхідно підтвердити висоту, в нашому випадку 23 мм.

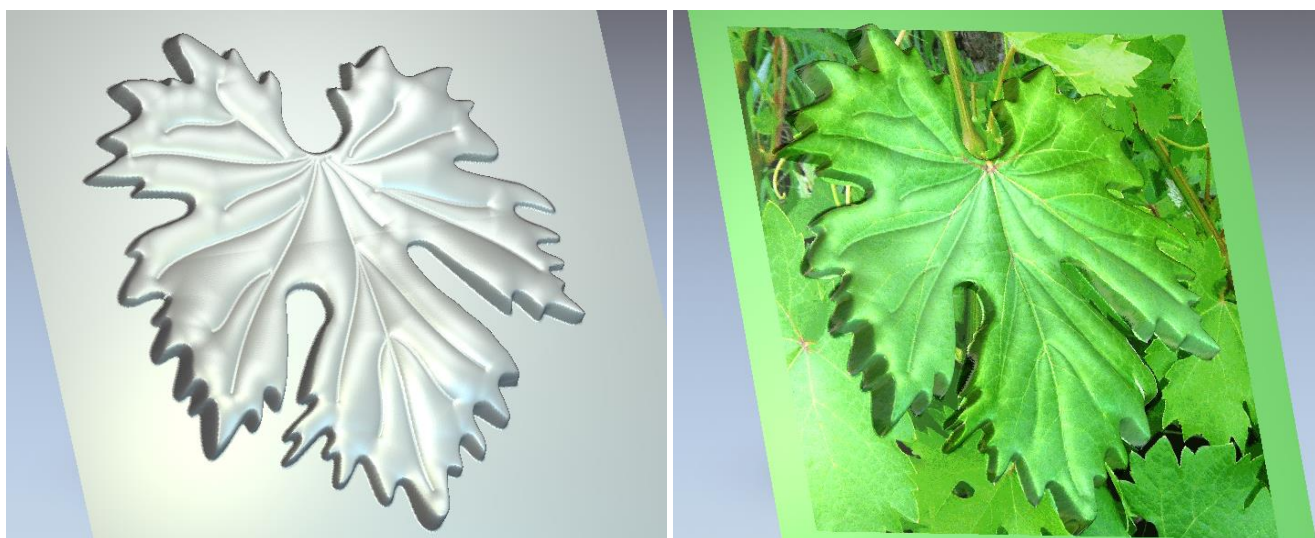
**ПРИМІТКА!** При фрезеруванні досить великих глибин різання 20 мм і вище, необхідно застосовувати кілька фрез різного діаметру (від великої до дрібної з округленими крайками). Це робиться для того, щоб зменшити навантаження на шпиндель і саму фрезу при глибокому різі; уникнути швидкого зносу профілю фрези та зокрема несправності, і важливий параметр, отримати необхідну якість поверхні виробу, за рахунок опрацювання гострих кутів і важкодоступних крайок на деталі в процесі механічної обробки на верстаті з ЧПУ.

**Не забуваємо періодично зберігати свій проект!**

Проміжний результат візуалізації фрезерування листа показаний нижче:



7. Остаточний варіант чистового фрезерування рельєфу моделі листа зображено нижче на малюнку:



8. Зберігаємо УП чистової фрезерної обробки повторивши кроки пункту 5. Вказуємо потрібний каталог і вказуємо ім'я файлу *list\_chisrnovaya - freza 3\_mm*.

На даному етапі друга частина методичного посібника закінчена. Зберігаємо проект.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ArtCAM2010. Руководство пользователя. Выпуск: SP2 (build 423)  
Выпущено: 05/05/2010. Delcam plc.

2. Ф.В. Медведев, И.В. Нагаев. Автоматизированное проектирование и производство деталей сложной геометрии на базе программного комплекса Power Solution: Учеб. пособие / Под общей ред. А.Г. Громашева. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005 – 167 с.

3. Пестрецов С.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания: Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 151001 и магистерским программам 150400. 150900 всех форм обучения / С.И. ПЕСТРЕЦОВ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов: ТГТУ, 2009. – 71 с.

4. Черепашков А.А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. – Волгоград: Издательский Дом «Ин-Фолио», 2009. – 640 с.

5. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник / Ю.В. Петраков – Київ : УкрНДІАТ, 2003. – 383 с.

6. Иванов, А. А. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.А. Иванов. - Н. Новгород: НГТУ, 2009. - 204 с.

Навчальне видання

Дербаба Віталій Анатолійович  
Пацера Сергій Тихонович  
Проців Володимир Васильович

**Металоброблювальні верстати з ЧПК**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
ЗА ТЕМОЮ «АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕЛЕЙ  
ТА ПРОГРАМУВАННЯ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНИХ ОПЕРАЦІЙ  
НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК»**

для студентів спеціальностей  
132 «Матеріалознавство» та 131 «Прикладна механіка»

Редактор О.Н. Ільченко

Видано  
у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка»  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004  
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19