



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-1-23

УДК 514.2

О. В. Івженко, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-1559-3825

Г. В. Антонова, ст. викл.

ORCID: 0000-0001-9269-6356

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: aleksandr@ivzhenko.pp.ua

e-mail: galina.antonova@tsatu.edu.ua

## РЕВЕРС ІНЖИНІРИНГ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ СКЛАДНОЇ ТРИВИМІРНОЇ ПОВЕРХНІ

*Анотація.* В роботі розглянуто методи, що визначають можливості створення складних поверхонь за допомогою інформаційних технологій.

Сучасні тенденції розвитку різних галузей промисловості стимулюють розробку високоефективних і конкурентних видів техніки і технологій, які забезпечать жорсткі вимоги к якості та експлуатаційним властивостям виробів при економії матеріальних та енергетичних ресурсів, витрати на робочу силу, зниження собівартості виробництва, що є актуальними для машинобудування.

*Ключові слова:* теорії тонких оболонок, метод збурювання, математичні моделі, процес простого обтягування, алгоритм побудови, листова штамповка.

*Постановка проблеми.* Розвиток техніки на сучасному етапі характеризується широким використанням інформаційних технологій у всіх її областях. На особливу увагу заслуговують складно-фасонні об'ємні вироби, які характеризуються не тільки складністю рельєфу окремих елементів цих виробів, а й наявністю найрізноманітніших за формою та розмірами внутрішніх каналів, переходів, з'єднань тощо. Виготовлення таких виробів нині базується на використанні величезної кількості програмного забезпечення різних фірм, спрямованого на вирішення завдань, що виникають при виготовленні складно-профільних виробів.

Після відпрацювання конструкції виробу при його постановці на виробництво залежно від обсягу матеріалу, конструкції, форми та розмірів виробу, вирішуються завдання вибору методу отримання заготовок та виробу в цілому, розроблення та виготовлення технологічного обладнання, розробка програм (вибір програмного



забезпечення) для отримання заготовок та виробів. У зв'язку з цим вибір ефективного програмного продукту, що забезпечує виробництво того чи іншого фасонного виробу, є важливим завданням.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Для деталей, що піддаються механічній обробці, збільшується трудомісткість виготовлення та витрати матеріалу за рахунок збільшення кількості металу, яка йде у стружку [9-11].

Таким чином, з технічної та економічної точки зору дуже важливо розробляти технологічний процес таким чином, щоб він був спрямований на зміну товщини заготовки

Із аналізу науково-технічної літератури робимо висновок, що один із раціональних процесів виготовлення тонкостінних осісметричних деталей усіченої звужувальній формі є процес формовки із конічних заготовок. [12, 13]. З використанням методу збурення вирішується задача по визначенню технологічних параметрів процесу простого обтягування.

*Формування цілей статті.* Мета - спроектувати технологічний процес з мінімальною кількістю переходів, високим коефіцієнтом використання матеріалу, точними геометричними параметрами. Крім того, виготовлена деталь має відповідати вказаним експлуатаційним характеристикам.

*Основна частина.* Основними методами отримання складно-профільних об'ємних виробів або їх заготовок є: лиття; - штампування; пресування (методи порошкової металургії); швидке прототипування; швидке виробництво; механічна обробка різанням на верстатах з ЧПУ.

Вибір методу залежить від конструкції виробу, програми випуску, тривалості виробництва виробу і технологічних можливостей виробника. [1, 5]. Аналіз особливостей розглянутих методів виготовлення показує, що основою для отримання складно-профільних об'ємних виробів будь-яким методом є їх 3D-модель.

Однак побудова 3D-моделей такими способами не забезпечує ажурності виробу. З огляду на особливості виготовлення ажурних виробів, для демонстрації процесу їх виготовлення був обраний відмітний знак (рисунок 1).

Вибір цього виробу обумовлюється мініатюрністю елементів на фасонній поверхні, яка дозволяє оцінити можливості створення таких складних поверхонь за допомогою інформаційних технологій.

Для отримання моделі був використаний оригінал знака, який знаходиться в музеї історії Києва (рис. 2).

Реверс інжиніринг розпізнавального знака був виконаний методом сканування оригіналу за допомогою вимірювальної машини LDIGIT-300 з точністю сканування 0,02 мм.



Рисунок 1. Фотографія оригіналу

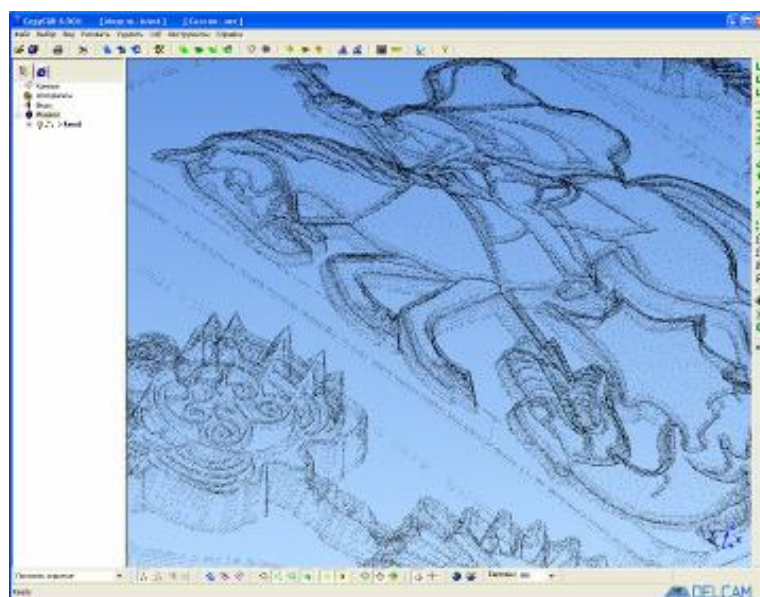


Рисунок 2. Точки, отримані оцифруванням поверхні знака

Дані відцифрування поверхні передавалися в SolidWorks для перетворення їх в комп'ютерні моделі для подальшого їх доопрацювання в CAD / CAM-системах. Хмара точок центральній частині елемента представлено на рисунку 2. SolidWorks, використовуючи функцію «майстер триангуляції» перетворює дані сканування в триангульовану модель, яка представляється набором трикутників з вершинами, що лежать на поверхні моделі, створюється STL-файл.

Центральна частина створеної STL-моделі представлена на рисунку 3.

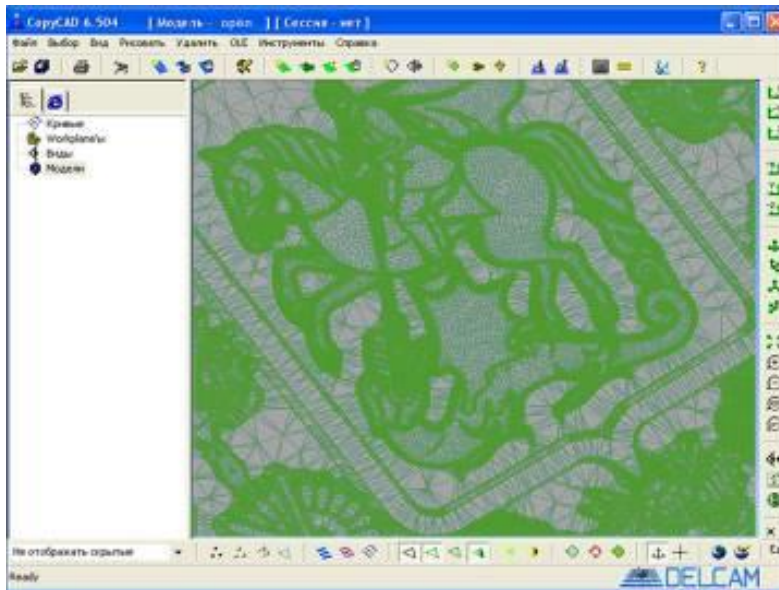


Рисунок 3. Триангулірована модель

Потім, на основі триангулірованої можна створити поверхневу модель. При цьому поверхні генеруються в межах заданої похибки  $\epsilon$ , в разі необхідності, забезпечується точне сполучення сусідніх поверхонь по краю. Через високу складність моделі знака, і як наслідок великої кількості трикутників, використання зазначених вище способів моделювання даного виробу буде важко, так як потрібно вказувати величезна (понад 2 млн.) кількість точок для створення поверхні.

З огляду на виготовлення знака на наявному обладнанні швидкого прототипування проводиться по STL-моделі, редагування якої програмними продуктами найзручніше в ArtCAM Pro, було прийнято рішення використання саме цього продукту.

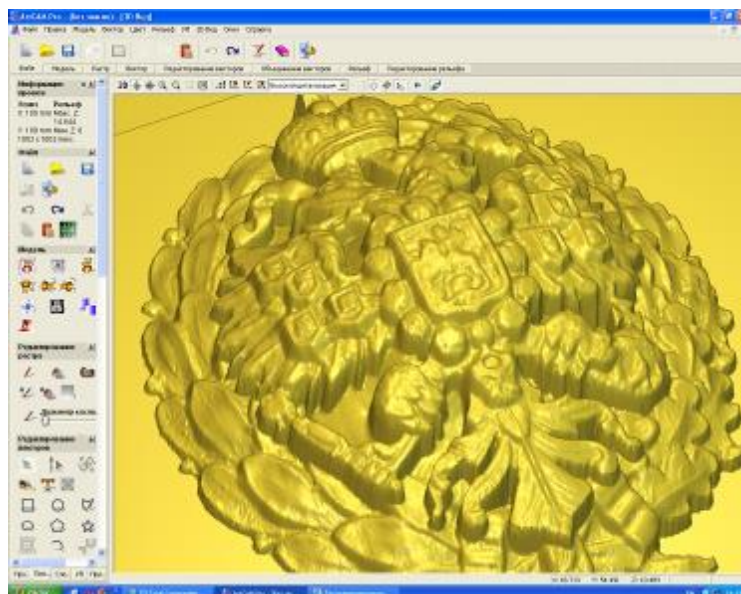


Рисунок 4. Модель нагрудного розпізнавального знака



Таким чином отримана STL-модель розпізнавального знака з геометричними параметрами нагрудного варіанти імпортувалася в систему ArtCAM Pro (рисунок 4) для подальшого доопрацювання і розробки керуючих програм.

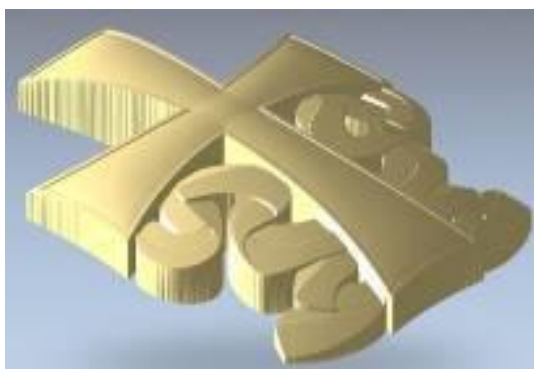
В ArtCAM Pro модель командою «задати розмір моделі» масштабувалася до розмірів фрачного варіанту.

Після імпорту STL-моделі в ArtCAM Pro модель вийшла без підвнутрішню. В цьому випадку всі внутрішні елементи автоматично закриваються. Тому 3D-модель не повністю відповідає оригіналу. Однак, система ArtCAM Pro дозволяє виготовити цей виріб на верстаті методом фрезерування, а також необхідне оснащення (штампи і ливарні форми) для обраного методу виготовлення (для лиття по виплавлених моделях - майстер-шаблони, для карбування - матрицю і пуансон). Для цього проводилася обробка за 2 установка, використовуючи вихідну 3D-модель лицьового боку елемента для зовнішніх поверхонь і відредаговану (згладжену і промасштабовану на величину товщини деталі) - для внутрішніх поверхонь.

Виготовлення такої складної об'ємної поверхні з безліччю різних дрібних елементів цільної не технологічно, так як потрібна велика номенклатура інструменту і дотримання умов експлуатації кожного з них.

Технологічнішою буде складова конструкція, розділена на елементи, так як кожен елемент має свою ступінь складності рельєфу і стратегію його обробки.

Відсутні частини рельєфу, закриті іншими елементами знака, добудовувалися в ArtCAM, застосовуючи команди «витягування по векторах», «скульптор» і т.п. Остаточні моделі кожного елемента знака показані на рисунку 5.



а) елемент (хрест)



б) елемент (вінок)

Рисунок 5. Поелементна модель знака.

*Висновки.* Застосування програмного забезпечення в навчальному процесі та науково-дослідній роботі кафедри при виготовленні



складно-профільних об'ємних виробів показало, що при виготовленні виробів з великою кількістю мініатюрних елементів більш ефективно використання системи ArtCAM Pro, яка дає можливість моделювання без спеціальних художніх навичок і майстерності скульптора, що дозволяє користуватися цією програмою широкою аудиторією.

Задовольнити вимогам, які пред'являються до деталей, можливо, якщо аналітично представити умови, які є функціоналом, а потім вирішити ці умови.

#### Список використаних джерел

1. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms. Theory, practice and science. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. P. 255–257.

2. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. Multidisciplinary academic research. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. P. 83–86.

3. Komar A. S. Advantages of pelleting organic waste of plant and animal origin. Аграрна галузь сучасної України: проблеми та перспективи розвитку: матер. І Міжн. наук.-практ. конф. Луганськ, 2021. С. 363–365.

4. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. Current issues, achievements and prospects of Science and education: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. P. 231–233.

5. Skliar R., Sklar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy 2021. P. 171–176.

6. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. Engineering of nature management. 2021. №1(19). P. 7–12.

7. Имшенецкий А. А., Сабелькин В. П., Кривцов В. А., Матющенко И. Ю. Определение оптимальных условий штамповки осесимметричных оболочек оживальной формы. Харьк. авиац. ин-т. 2001. 120 с.

8. Спирінцев В. В., Дмитрієв Ю. О. Розробка функціональної схеми процесу автоматизованого проектування. Регіональна міжвузівська збірка наукових праць. «Системні технології». Дніпропетровськ, Вип. 5. ДНАУ, 2013. С.130–136.



9. Оксамитна К. Ю., Гладішева О. С. Автоматизація побудови поверхні горизонтального циліндроїду засобами SolidWorks API. Праці ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2011 Вип. 5, т. 5. С. 78–83.

10. Гавриленко Є. А., Бохан В. Д. Методика реалізації програмного модуля для механізованих технологічних комплексів розсадництва. Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці: матеріали V Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 111–114.

11. Пихтєєва І. В., Вершков О. О., Малюта С. І. Метод швидкого прототипування виготовлення профільних об'ємних виробів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21, т. 1. С. 326–333

12. Торбунова А. Ю., Шпильова О. О. Автоматизація процесу виготовлення прес-форм для декоративних елементів оформлення інтер'єрів з урахуванням вимог промислової безпеки. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. праць XIII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУБЖД, 2018. С. 202–203.

13. Холодняк Ю. В., Гавриленко Е. А. Моделирование каркаса динамических поверхностей. Інноваційні технології в агропромисловому комплексі: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 21–24.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2022р.

**O. Ivzhenko, G. Antonova**  
**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

## **REVERSE ENGINEERING AND FABRICATION OF A COMPLEX THREE-DIMENSIONAL SURFACE**

### *Summary*

Methods that determine possibilities of creation of difficult surfaces by means of information technologies are in-process considered.

Modern progress of different industries of industry trends stimulate development of high-efficiency and competition types of technique and technologies, that will provide hard requirements to quality and operating properties of wares at the economy of material and power resources, expense, on labour force, a decline is a production cost that is actual for an engineer [1, 5].

An aim of technologist is in that, to project a technological process with the least of transitions, high coefficient of the use of material, exact geometrical parameters. In addition, the made detail must answer the indicated operating descriptions.



Development of technique on the modern stage is characterized deployment of information technologies in all her areas. Special attention is deserved by the difficult-shaped by volume wares, that are characterized not only complication of relief of separate elements of these wares but also presence most various in a due form and to the sizes of internal channels, transitions, connections etc. Making of such wares is presently based on the use of enormous amount of the software of different firms, sent to the decision of tasks arising up at making of difficult-profile wares.

After working off the construction of good at his raising on a production depending on the volume of material, construction, form and sizes of good, the tasks of choice of method of receipt of purveyances and good decide on the whole, developments and making of technological equipment, program (choice of software) development for the receipt of purveyances and wares [2, 3, 4]. In this connection choice of effective software product, providing the production of one or another shaped good, is an important task.