

УДК 539.3

Е. Рейман, В. Любимов

Жешівська політехніка, Республіка Польща

ТОЧНІСТЬ МОДЕЛЕЙ ТА СТРУКТУРА ПОВЕРХНІ СТЕРЕОЛІТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ RAPID PROTOTYPING

© Рейман Е., Любимов В., 2002

Подано характеристику процесу стереолітографії, який дає можливість швидкого виконання моделей деталей складної форми. Проаналізовано параметри, що впливають на точність виконання моделей та якість їх поверхонь. Результати опрацьовано на підставі власних досліджень.

In the paper the characteristics of stereolithography process as a method of prototypes procedures has been presented. The factors which influence the accuracy of models as well as the quality of the surfaces have been discussed. The results of the research which deal with model accuracy and the roughness of the surfaces an the example of complex objects have been shown.

ВСТУП

Методи Rapid Prototyping, до яких належить також стереолітографія, дають можливість швидкого виконання зразків – прототипів на підставі системи CAD без використання форм та допоміжного обладнання. Деталі складної форми, в тому числі порожнисті, можуть виконуватись в дуже короткий термін, тобто протягом кількох годин. Це має велике стратегічне значення при проектуванні нових виробів, оскільки вже на ранніх стадіях проектування дає можливість конструкційно і технологічно доопрацьовувати майбутній виріб.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ RAPID PROTOTYPING (RP)

В процесі RP тривимірна модель 3D-CAD, яка могла бути записана в різних системах (STL, SLC, HGPL тощо) перетворюється в реальний тривимірний об'єкт. Це здійснюється за допомогою послідовного нашарування матеріалу, який твердіє під час виділення із спеціальної рідини чи порошку. Найчастіше з цією метою застосовується метод стереолітографії [1, 3, 4], основою якого є затвердіння рідкого фотополімеру під впливом випромінювання лазера UV (фотополімеризація). Товщина шару знаходиться в межах 0,1–0,3 мм. В технології RP найширше застосовуються аргонні або гелієво-кадмієві лазери потужністю до 1W при довжині хвилі до 350 nm.

Модель 3D, що її описано в системі CAD, апроксимується і перетворюється в стандартний формат STL. Разом з моделлю в разі потреби програмується допоміжна конструкція, яка підтримує модель на несучій платформі. Запрограмована стереометрична модель 3D розподіляється на окремі шари заданої товщини. Спеціальний сканер керує лазерним випромінюванням, яке фокусується на площині XY (рис. 1) і відтворює конфігурацію шару в заданому перерізі. При цьому відбувається затвердіння рідкого фотополімеру.

Таким чином, на платформі, що на початку операції знаходилась безпосередньо під поверхнею ванни, поступово шар за шаром нарощується прототип виробу. Після нарощування чергового шару платформа опускається на величину кроку сканування f (кроку транслокації фокуса лазерного випромінювання).

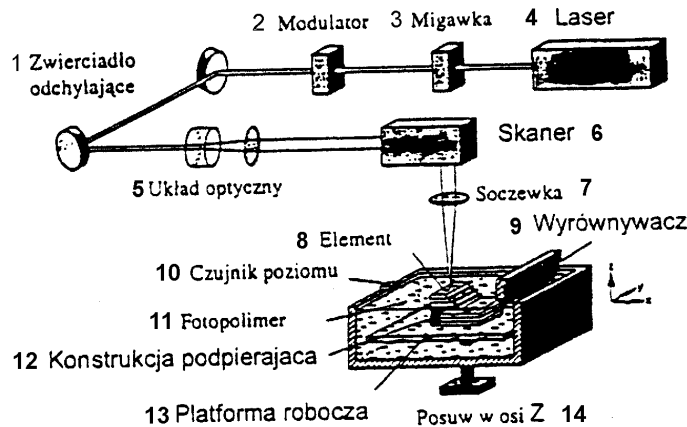


Рис. 1. Схема фотолітографічної установки:

- 1 – відхиляюче дзеркало; 2 – модулятор; 3 – об'єктив;
 4 – лазер; 5 – оптична система; 6 – сканер; 7 – лінза; 8 – модель;
 9 – вирівнювач; 10 – датчик рівня; 11 – фотополімер; 12 – підтримуюча конструкція;
 13 – робоча платформа; 14 – механізм переміщення платформи

Після закінчення процесу формування моделі проводиться фінішна операція (Post Processing) з метою усунення підтримуючої конструкції та очищення виготовленої моделі від незполімеризованого фотополімеру. Закінчення процесу фотополімеризації моделі здійснюється під дією UV у спеціальній камері.

ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ ФОРМИ І ВИМІРІВ STL-МОДЕЛЕЙ

Точність і якість поверхні стереолітографічних моделей залежить від багатьох чинників, які можна поділити на дві групи:

- 1) чинники, які виникають з процесу проектування моделі в системі CAD-3D і STL;
- 2) чинники, які безпосередньо пов'язані з технологічним процесом (рис. 2).

В системі CAD проектується ідеальний виріб, такий, яким його уявляє собі проєктант. Перехід до моделі у форматі STL здійснюється шляхом перетворення теоретичної поверхні на поверхню, що складається з плоских трикутників (так звана тесселекція). Таким чином, підготовлена до реалізації поверхня лише наближається деякою мірою до запроєктованої [2]. При цьому можуть виникати помилки відтворення форми, серед яких найчастіше зустрічаються:

- незамкнутість поверхні (щілини, отвори);
- деформовані кромки;
- взаємне накладання поверхонь.

Приклади дефектів моделі STL показані на рис. 3.

Дефекти моделі STL в процесі тесселекції переносяться на пошарові моделі 2D, як це проілюстровано на рис. 4.

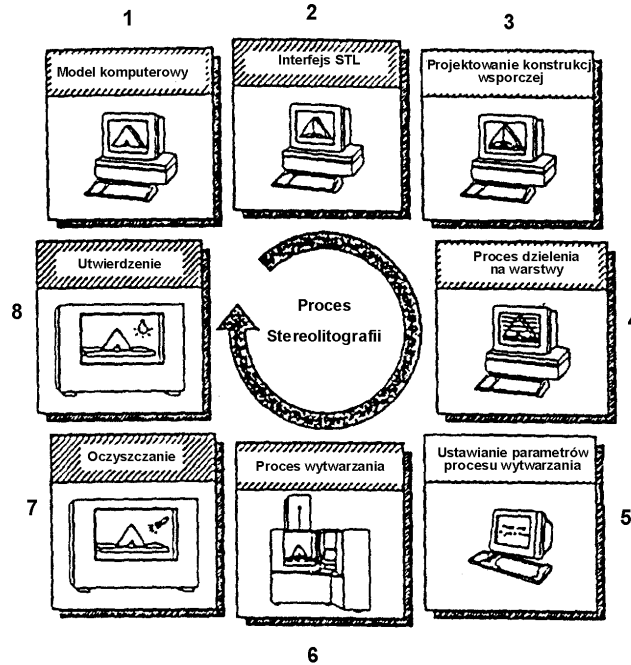


Рис. 2. Чинники, що впливають на точність виконання стереолітографічного прототипу:
1 – комп'ютерна модель; 2 – інтерфейс STL; 3 – проектування підтримуючої конструкції;
4 – процес поділу на прошарки; 5 – впровадження параметрів процесу обробки;
6 – процес обробки; 7 – очищення; 8 – тверднення

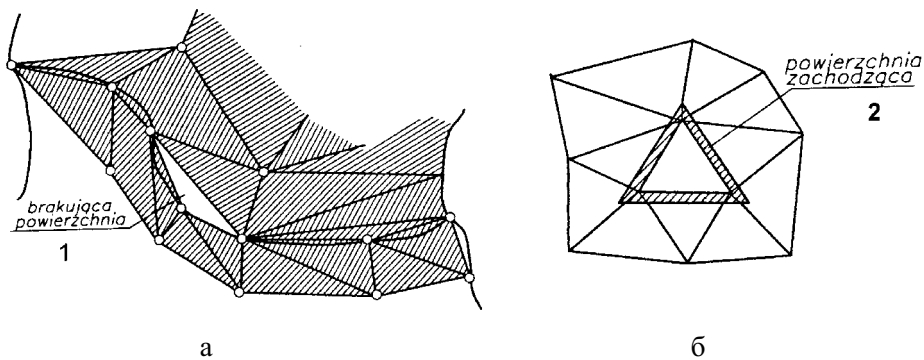


Рис. 3. Приклади дефектів моделі STL:

a – незамкнутість поверхні; б – взаємне накладання поверхонь

Пошарове відтворення моделі 3D приводить до того, що незамкнутість поверхонь призводить до незамкнутості контуру 2D при черговій транслокації. В цьому випадку система втрачає обмеження, що затримує скануючий рух лазерного випромінювання (рис. 4, в). Однак система STL уможливорює симуляцію моделі RP, під час якої можна

виявити та виправити окремі дефекти, наприклад, шляхом додавання відсутніх площин. При цьому перевіряються:

- орієнтація замикаючої площини по відношенню до сусідніх;
- точність відтворення контуру моделі.

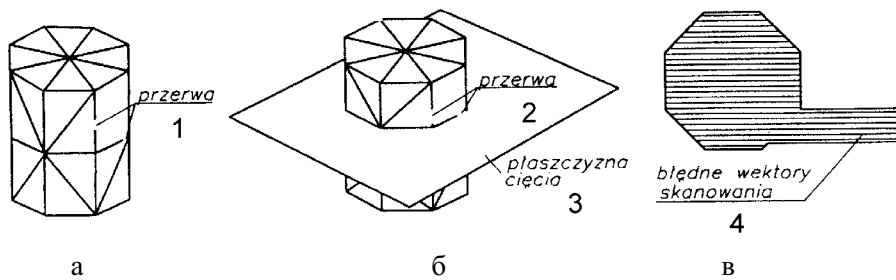


Рис. 4. Відтворення помилок моделі STL під час тесселекції:
 а – модель 3D; б – перетин моделі площиною чергової транслокації;
 в – конверсія шарів 2D в лінії; 1 – незамкнутість поверхонь;
 2 – незамкнутість поверхонь; 3 – площина перетину;
 4 – помилкові вектори сканування

Точність моделей RP значною мірою залежить від властивостей матеріалу, який використовується при моделюванні, зокрема від коефіцієнта усадки. Сучасні епоксидні смоли дють змогу знизити усадку до 2–3 % порівняно з акриловими смолами, які мають усадку 5–7 %. Найкращі фотополімерні композити виготовляють фірми Ciba Geigu, Du Pont та Allied Signal.

Наші дослідження проводились на конкретних моделях, які було виконано на установці SLA250 з епоксидної маси SL5170.

Дослідження геометричної структури поверхонь проводились на спеціально для цього спроектованих зразках з різними кутами нахилу площин θ . Оцінка параметрів геометричних структур поверхонь проводилась за допомогою приладу Talyskan 150 фірми Taylor Hobson з вертикальною точністю 5 nm (програма Mountain Map Expert). Найбільшу увагу звернуто на параметр St (висота шорсткості), від якого залежить величина припуску на наступну механічну обробку.

Характер поверхонь, які формуються на моделях RP, залежить від кута їх нахилу θ щодо площини базової платформи і від товщини шару полімеризації, що визначається кроком транслокації (умовно можна його означити як крок переміщення фокуса лазерного випромінювання f).

Найменша висота нерівностей виступає на поверхні вільного утворення шару полімеризації ($St = 8,25 \mu\text{m}$), на решта поверхнях висота нерівностей змінюється наближено до залежності $St = f \cdot \cos$.

Залежність параметра St від початкових технологічних параметрів утворення моделі RP показано на рис. 5. Значення інших параметрів наведено у таблиці.

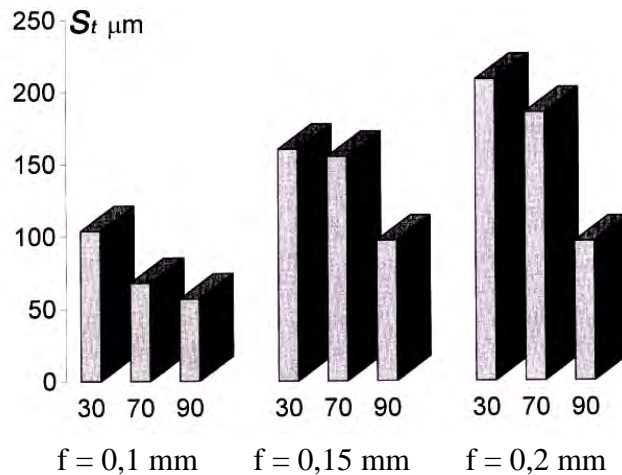


Рис. 5. Залежність параметра St від кроку транслокації та положення поверхні

В таблиці наведено такі параметри (означення S прийнято для триосьових вимірювань замість R для двоосьових): S_a – середнє арифметичне відхилення поверхні, S_q – середнє квадратичне відхилення профілю поверхні, S_p – найбільша висота шорсткості поверхні над середньою площиною, S_v – найбільша глибина западин поверхні під середньою площиною, S_t – максимальна висота поверхні, S_{sk} – асиметричність розподілу відхилень поверхні, S_{ku} – функція розподілу відхилень поверхні, S_z – висота поверхні по 10 точках, S_{dr} – показник розгортання поверхні.

Початкові параметри геометричних структур поверхонь моделей RP

f, mm	0,1			0,15			0,2		
Parametr	1	2	3	1	2	3	1	2	3
S_a	5,97	10,8	19	14,1	27,7	28,5	20,3	33,2	38,6
S_g	7,96	12,5	21,7	17	31,9	33,3	23,2	39,3	45,2
S_p	39,9	41,6	57,3	57,3	85,6	78,6	59,6	91,6	130
S_v	17,7	27	46,5	39,6	69,7	81	36,4	93,4	78,5
S_t	57,6	68,6	104	96,9	155	160	96	185	208
S_{sk}	0,342	0,178	-0,116	0,627	-0,18	0,0669	0,366	-0,0266	0,63
S_{ku}	3,18	1,97	1,79	2,57	1,84	2,07	1,85	2,1	2,08
S_z	46	56,6	91,4	82,2	130	146	90,5	182	169
$S_{dr},\%$	8	32	55,4	65,5	150	402	44,9	30,9	772

Дослідження точності моделей RP проводилось на моделі зубчастого трохoidalного колеса (рис. 6).

Вимірювання зубчастих коліс здійснювалось на трьохкоординатній вимірювальній машині Mitutoyo і охоплювало:

- точність кутового кроку зубців;
- відхилення від округлості обводу ніжок;
- точність відтворення евольвентного профілю.

Результати досліджень показано на рис. 7 і 8.

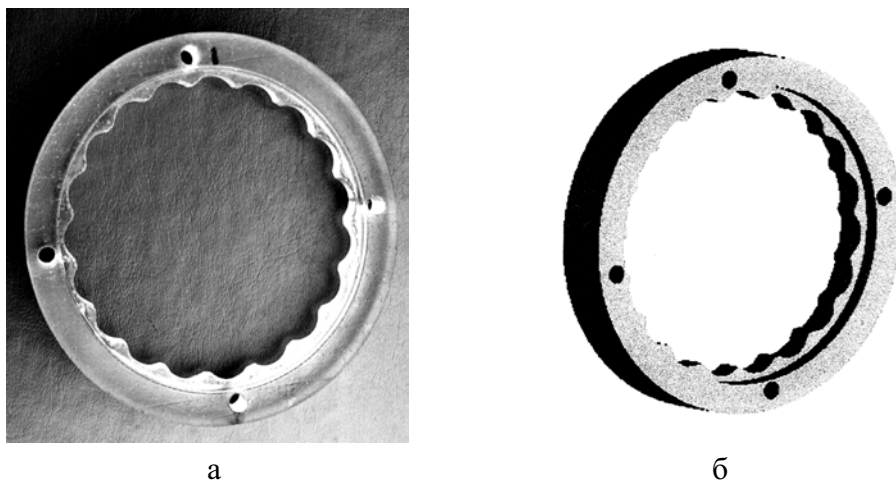


Рис. 6. Модель RP зубчастого трохоїдального колеса:
а – тривимірне креслення; б – модель

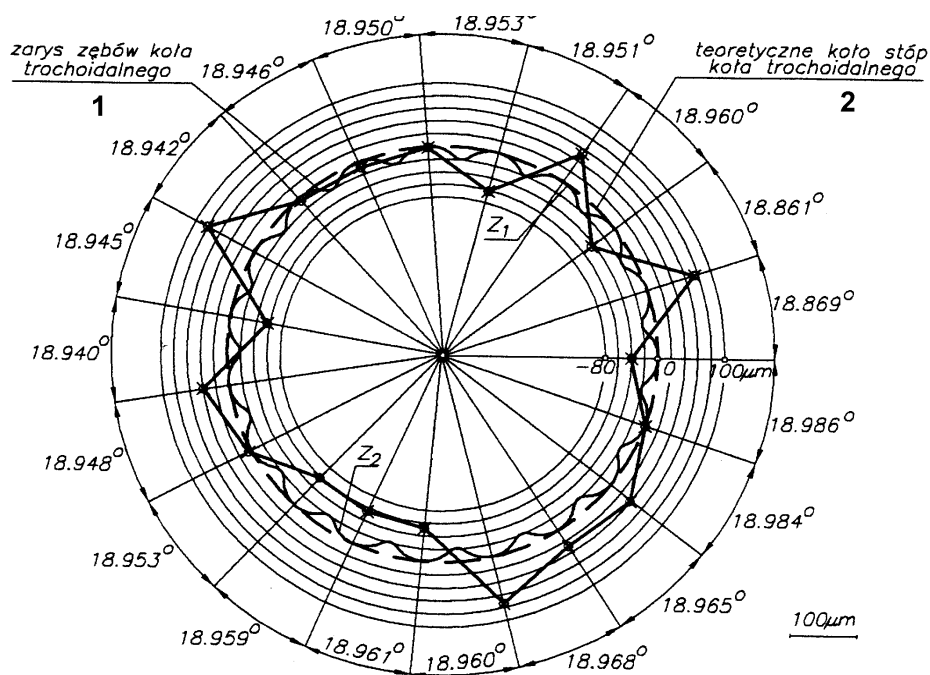


Рис. 7. Точність кутового кроку та округлості обводу ніжок моделі RP зубчастого колеса:
1 – профіль зубців трохоїдального колеса; 2 – теоретичний обвід ніжок

Вимірювання кожного зубця проводилось в 54 точках з кроком $2,85^0$ через 2 мм висоти зубця на 3 рівнях. З наведених результатів видно:

- мінімальне відхилення кутового кроку дорівнює $+0,039^0$, а максимальне $-0,078^0$ від розміру номінального, причому не занотовано жодної регулярності відхилень;
- екстремальні відхилення діаметра обводу ніжок становлять $(+0,0827; -0,0615)$ мм;

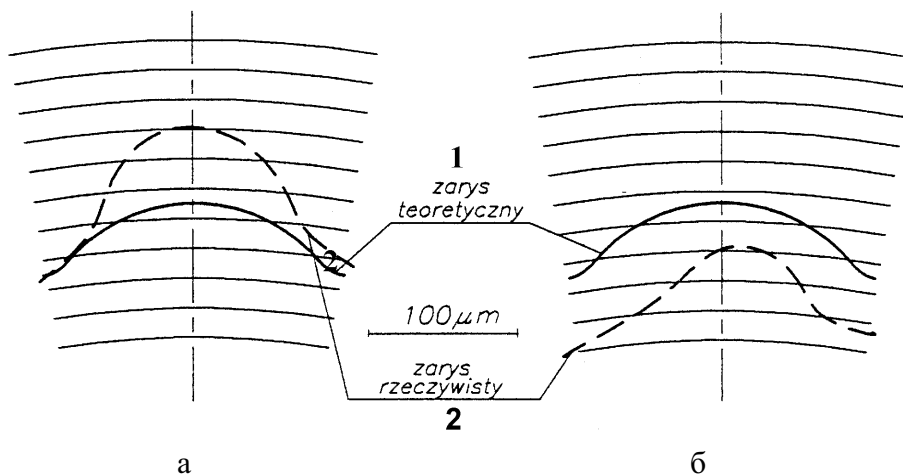


Рис. 8. Відхилення профілю зубців:
 а – зубця z1; б – зубця z2 (див. рис. 7):
 1 – профіль теоретичний; 2 – профіль дійсний

- уздовж товщини колеса значних відхилень від розмірів зубця не виявлено;
- зубець z1 зміщений від теоретичного положення профілю в напрямку до середини колеса на 48 μm , в той самий час зубець z2 перемістився в протилежному напрямку теж на 48 μm .

ВИСНОВКИ

1. Точність моделей RP залежить від конструкції моделі, точності моделі в версії 3D – STL та усадки матеріалу.
2. Якість поверхні моделей RP залежить від товщини накладених шарів (кроку транслокації фокуса випромінювання) та положення поверхні відносно площини базової платформи.
3. Висота нерівностей поверхонь моделей RP є досить великою, тому її необхідно враховувати при розрахунках припусків на подальші операції фінішної обробки.

1. Andre J.C., Mehaute L., deWitte O. *Dispositif pour realiser un modelele piece industrielle. French patent, No 8411241, 1984.* 2. Chua C.K. *Three-dimensional rapid prototyping technologies and key development areas // Computing and Control Engineering Journal.* – 1994. – 5. – P. 200–206. 3. Hull H.W. *Apparatus for production of three dimensional object by stereolithography. US patent No 4573300, filled August, 1984.* 4. Kodama H. *Device of three dimensional fabrication. Japanese patent, filled 12 April 1980, No 56-144478.* 5. Kochan D., Chua C.K. *State-of-the-art and future trends in rapid prototyping and manufacturing // International Journal of Information Technology.* – 1995. – 1. – P. 173–184. 6. Oczóś K.E. *Niekonwencjonalne sposoby przyrostowego kształtowania przedmiotów – Szybkie wykonywanie prototypów. Mechanik 8/9.* – 1995. 7. Richter J., Jacobs P. *Rapid prototyping and manufacturing: fundamentals of stereolithography. SME, Dearbon, MJ.* – 1992. – P. 287–319.