

*Исследование вибраций зубопротяжных станков. – В кн.: Исследования зубообрабатывающих станков, инструментов и резания металлов. – Саратов, 1973. – Вып. 58. – С. 3–9.*

5. Гильман А.И. К расчету динамических характеристик зубопротяжного автомата для конических прямозубых колес мод.5С268. – В кн.: Исследования зубообрабатывающих станков, инструментов и резания металлов. – Саратов, 1972. – Вып. 54. – С. 4–9.

6. Виноградов В.М., Черепашин А.А. Влияние динамики станка на производительность кругового протягивания цилиндрических колес // Станки и инструмент. – 1983. – № 10. – С. 26–27.

7. Кудинов В.А. Динамика станков. – М., 1967. – 360 с.

8. Каминская В.В. Расчет колебаний несущих систем станков, находящихся под действием импульсных возмущений // Станки и инструмент. – 1966. – № 12. – С. 1–8.

9. Никитин Б.В. Расчет динамических характеристик металлорежущих станков. – М., 1962. – 112 с.

10. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругих колебаний. – М., 1967. – 316 с.

11. Санкин Ю.Н. Динамические характеристики вязкоупругих систем с распределенными параметрами. – Саратов, 1977. – 309 с.

12. Грицай І.Є. Аналіз параметрів зрізів та розподілу навантаження під час роботи черв'ячної фрези з попутною та зустрічною подачею // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 1999. – № 359. – С. 10–19.

13. Грицай І.Є., Ситнік В.В. Силове поле черв'ячної зуборізної фрези та його кількісна оцінка // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 1999. – № 371. – С. 3–11.

14. Грицай І.Є. Параметрична модель стійкості черв'ячної за роботою різання її зубців та лез // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Зб. наук. праць. – Львів, 2000. – Вип. 3. – С. 53–57.

15. Грицай І.Є. Моделювання та оптимізація динаміки процесу різання черв'ячними фрезами з розподіленим вихідним контуром // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 2000. – № 371. – С. 11–19.

УДК 621.914.7

Е. Рейман

## ТОЧНІСТЬ МОДЕЛЕЙ, СТВОРЕНИХ ПІД ЧАС СТЕРЕОЛІТОГРАФІЇ

© Рейман Е., 2001

**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 дають змогу швидко виготовити комплектні моделі, взірці і прототипи на базі даних з систем CAD без використання форм. Частина складних взірців повні і можуть бути виконані в короткий термін, тобто за кілька годин. Користь від використання цих новітніх технологій виникає особливо при проектуванні нових виробів. Використання Rapid Prototyping (швидке виготовлення прототипів) дозволяє змінити час, потрібний для виготовлення прототипів, і з цього погляду має стратегічне значення. Завдя-

ки швидкому керуванню моделями досягається вже на початкових фазах проектування високий ступінь застигання продукту. Rapid Prototyping відкриває нові можливості, які можуть бути використані при скороченні фаз проектування, і зміни властивостей виробів.

### Характеристика Rapid Prototyping (RP)

Rapid Prototyping дає змогу швидко виготовити складні моделі на підставі даних з 3D-CAD без використання пристроїв. Тривимірна система CAD, записана в різних системах (STL, SLC, HGPL), перетворюється в очевидний просторовий об'єкт. Суть створення моделі на відміну від розмірної обробки полягає в додаванні матеріалу або його заміні з поточного порошкового в постійний стан.

Спільною рисою методу Rapid Prototyping є те, що предмет побудований шарами (і це, як і в техніці 2D і 3D), при цьому товщина шарів коливається в межах від 0,1 до 0,3 мм. Переломним моментом в розвитку методу Rapid Prototyping був винахід методу стереолітографії (SL [1, 3, 4]). Суть цього методу полягає в накладанні і локальному затвердінні поточного фотополімеру за допомогою лазерів UV( фотополімеризація). В цій технології застосовуються аргонні лазери або гелево-кадмові потужністю до 1В і довжиною хвилі приблизно 350 мкм.

Геометрія моделі 3D, описана в системі CAD, є апроксимована і переведена в формат STL (Stereolithographic Technical Language). Одночасно з моделлю повстає конструкція, яка підтримує і дає змогу його закріпити під час виготовлення на несучій платформі пристрою. Дані з множини STL, що належать до виробу і несучої конструкції, перетворюються в процедуру, яка розкладає стереометрію 3D, на одиничні перерізи заданої висоти. Схема пристрою для стереолітографії показана на рис. 1. За допомогою інформації про поверхню сканер у площині x-y керує лазерним променем над поверхнею поточного полімеру відповідно до генерованих перерізів над поверхнею поточного полімеру. Елемент створюється ступенево на несучій платформі, яка на початку процесу знаходиться безпосередньо під поверхнею поточного полімеру. Через пошарове затвердіння фотополімеру і наступне опускання платформи створюється об'єкт типу 3D.

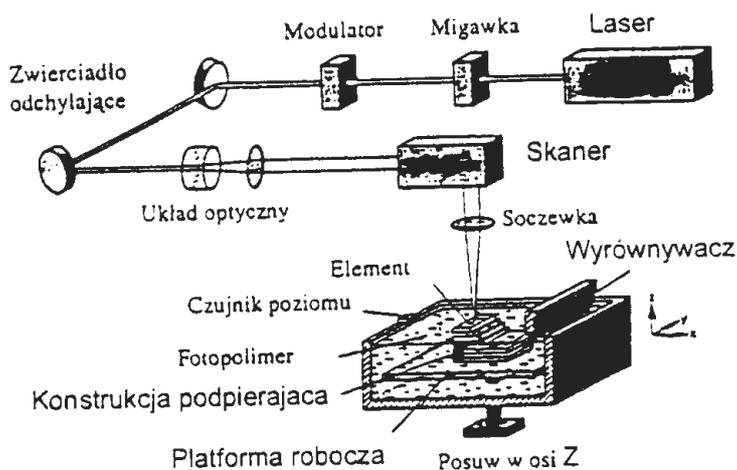


Рис. 1

Процес виготовлення зв'язаний з остаточною обробкою Post Processing, в якій має бути усунута підтримуюча конструкція і виріб очищується з прилягаючого незатверділого фотополімеру. Кінцевим етапом є остаточне затвердіння елемента світлом UV в спеціальній камері.

На рис. 2 показано пристрій типу SLA-250 фірми 3D System з аргонним лазером потужності 264 мВ, за інстальований на кафедрі конструкції машини Жешувської політехніки.



Рис. 2

### Чинники, які впливають на точність вимірів зразка моделі, виконаної методом STL

Точність і якість поверхні виробів, виконаних методом стереолітографії, залежить від багатьох чинників. Можна поділити їх на дві групи:

- 1) чинники, пов'язані з проектуванням виробу в системі CAD-3D;
- 2) чинники, пов'язані з технологічним процесом (рис. 3).

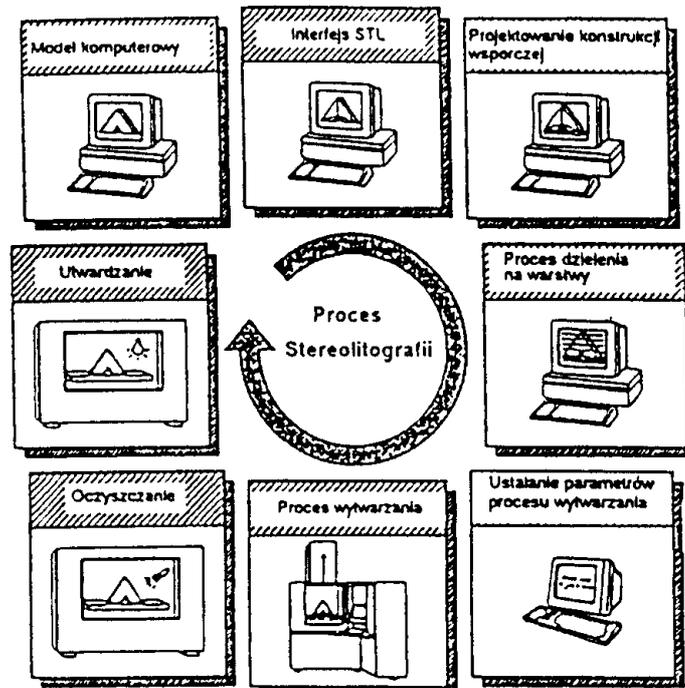


Рис. 3

Запроектований в системі CAD продукт представляє уяву проєктанта і є ідеальною моделлю. Переходу до моделі, записаної в форматі STL, сприяє процес теселекції, тобто заміни поверхні модельованої на поверхню, складену з плоских трикутників, наближених до модельованої поверхні [2, 5]. При записі моделі в форматі STL можна встановити точність відображення поверхні трикутниками, при цьому чим вища точність відображення, тим більший розмір файлу.

Однак багато теселекційних алгоритмів використаних за допомогою виробників CAD-систем не є універсальними і в результаті вони допускають створення багатосторонніх моделей з наближенням, в яких можуть бути помилки, наприклад:

- поверхні з браком (щілини, отвори);
- zdeформовані краї;
- поверхні, які заходять на себе.

Приклади дефектів моделі STL показані на рис. 4.

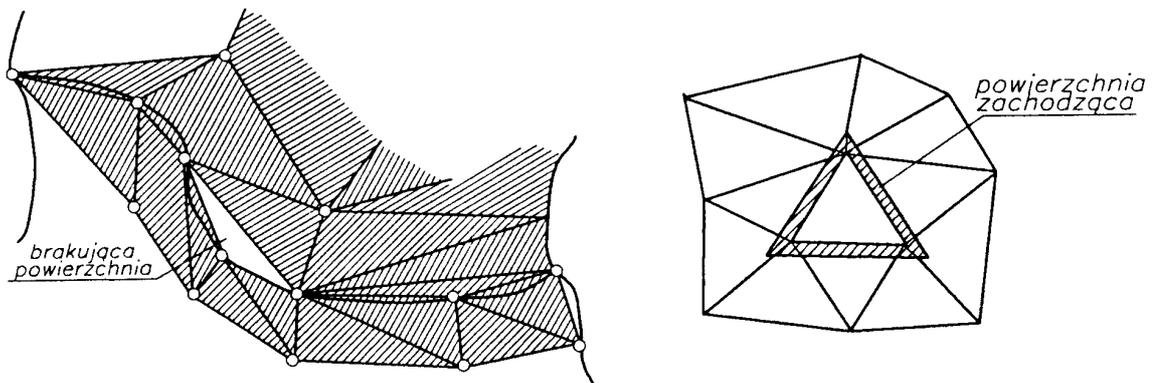


Рис. 4

У випадку неправильної моделі, перебіг теселекції, наприклад, може відбуватися за схемою, показаною на рис. 5. Створення моделі шар за шаром викликає у випадку браку однієї поверхні те, що система не має вираженої границі, яка затримує промені лазера, а отже, викликає деформацію моделі.

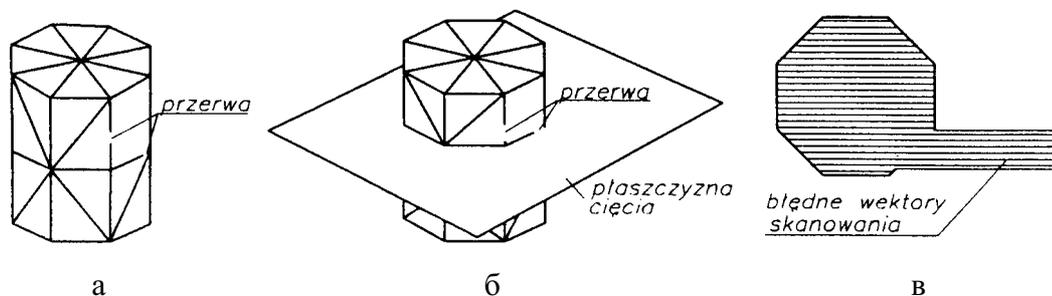


Рис. 5

Оскільки система допускає симуляцію моделі Rapid Prototyping, то у випадку виникнення пошкоджень можна її справити за допомогою вставлення площин, які закривають

виступаючі люки, що опираються на пошкоджені краї поверхні. Система, записуючи модель в STL, справджує достовірність таким чином створеної моделі шляхом:

- а) перевірки орієнтації створеної площини і її узгодженості з сусідніми площинами,
- б) перевірки, чи впроваджена поверхня розтягнена на даному контурі відображає моделювання поверхні з заданою точністю.

Точність частин, виконаних методом стереолітографії, значною мірою залежить від вживаних матеріалів. Найбільші досягнення у виробництві фотополімерів мають фірми Ciba, Geigy, Pu Pont чи Allied Signal, при цьому основним чинником, який впливає на точність, є об'ємна усадка.

Завдяки дослідженням, які ведуться, вдалось зредукувати усадку до рівня від 2 до 3 % для нових епоксидних смол порівняно з 5 до 7 % для акрилових смол, що дало змогу збільшити точність створюваної моделі.

### Власні дослідження

Дослідження якості і точності елементів, створених методом Rapid Prototyping, проведено на складових елементах трохоїдальної передачі. Виконано її на пристрої типу SLA-250 з використанням смоли SL—5170. Модель для досліджень шорсткості поверхні виконано у вигляді валу, при цьому використовуються три товщини накладних (затрачених) шарів 0,1; 0,15; 0,2 мм. Вимір поверхні представлено в програмі Taly Map. Зразки результатів досліджень показано на рис. 7. На підставі отриманих діаграм можна стверджувати, що збільшення товщини накладного (затраченого) шару істотно впливає на збільшення максимальної висоти нерівності (шорсткості) поверхні в діапазоні від 57,6  $\mu\text{m}$  – для шару 0,1 мм до 104  $\mu\text{m}$  – для шару 0,2 мм. Структура поверхні є регулярна (правильна) і зберігає постійну шкалу нерівності. Збільшення товщини накладного шару на 100 % викликає одночасне збільшення продуктивності процесу приблизно на 154 % і з цього погляду ця дія (робота) є позитивною.

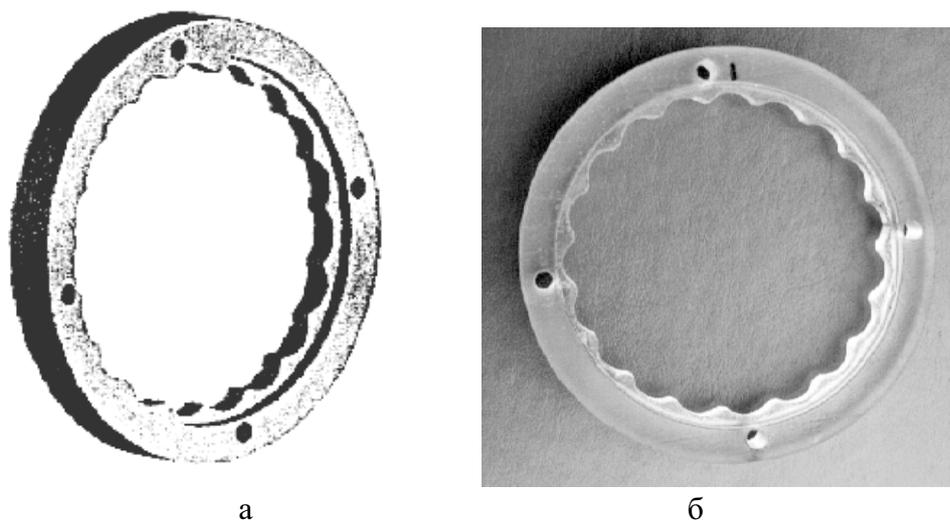


Рис. 6

Дослідження вимірюваної точності виконано на моделі кола зубчатої трохоїдальної передачі показаної на рис. 6 з використанням вимірювальної машини Mitutoyo. Охоплюють

вони оцінку точності кутової шкали зубів і точності відтворення контуру зуба. Результати досліджень показано на рис. 8. Оцінюючи точність шкали зубів кола, потрібно вказати, що максимальне відхилення досягнуло величини  $+0,039^\circ$ , а мінімальна  $0,078$  від номінального виміру при цьому відсутня регулярність їх появи. Експериментальні відхилення діаметра кола сягнули величини  $+0,0827$ ;  $-0,0615$  мм.

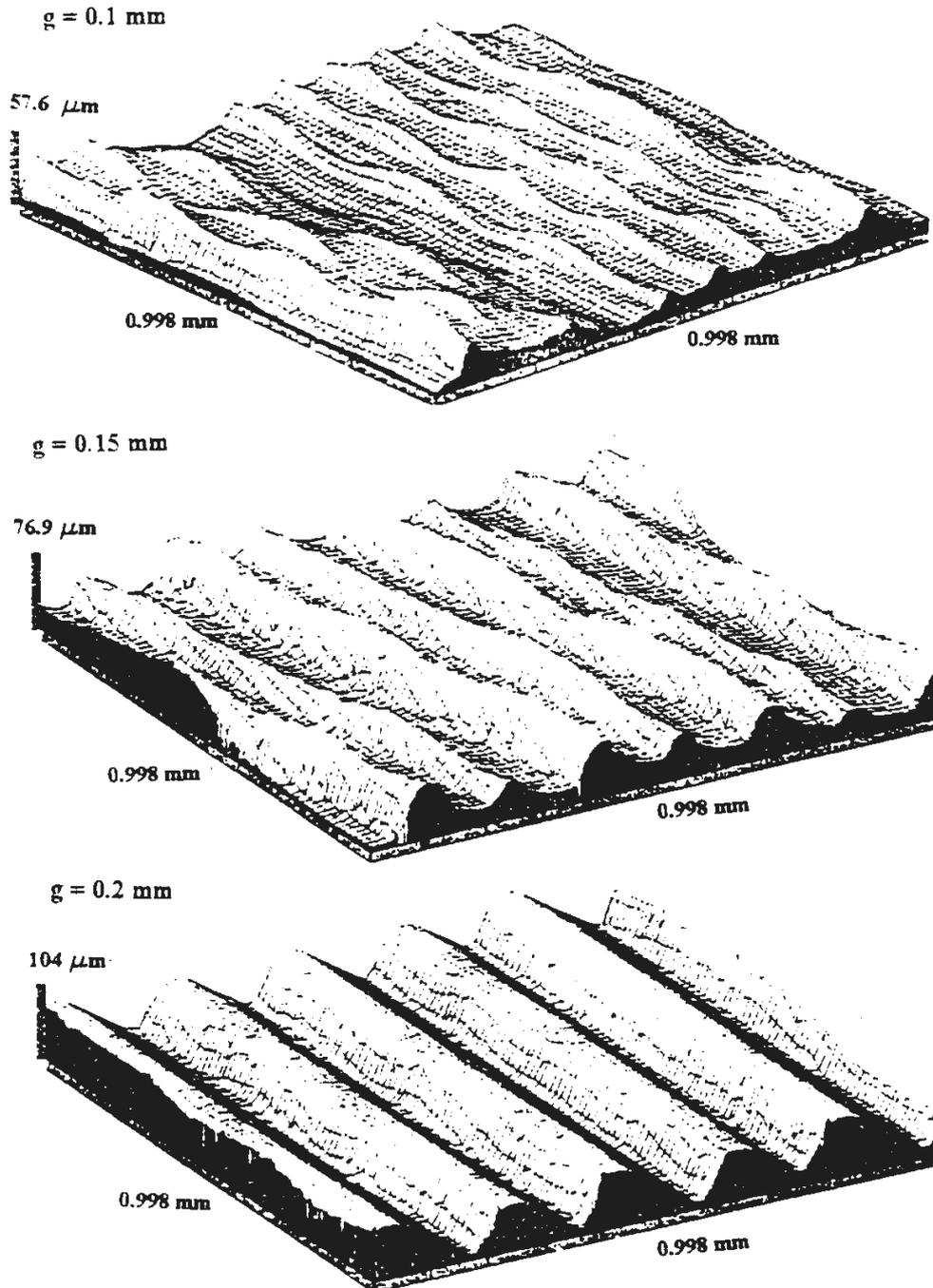


Рис. 7

Відхилення контуру зубів від теоретичного контуру показано на рис. 9, при цьому вибрано зуб Z1 і Z2 (рис. 8). В першому випадку видно переміщення контуру на зовню кола, досягаючи

максимальної величини порівняно з нормальною до контуру  $+48 \mu\text{m}$ , а у другому випадку зуб перемістився всередину, при цьому мінімальне відхилення становило  $48 \mu\text{m}$ .

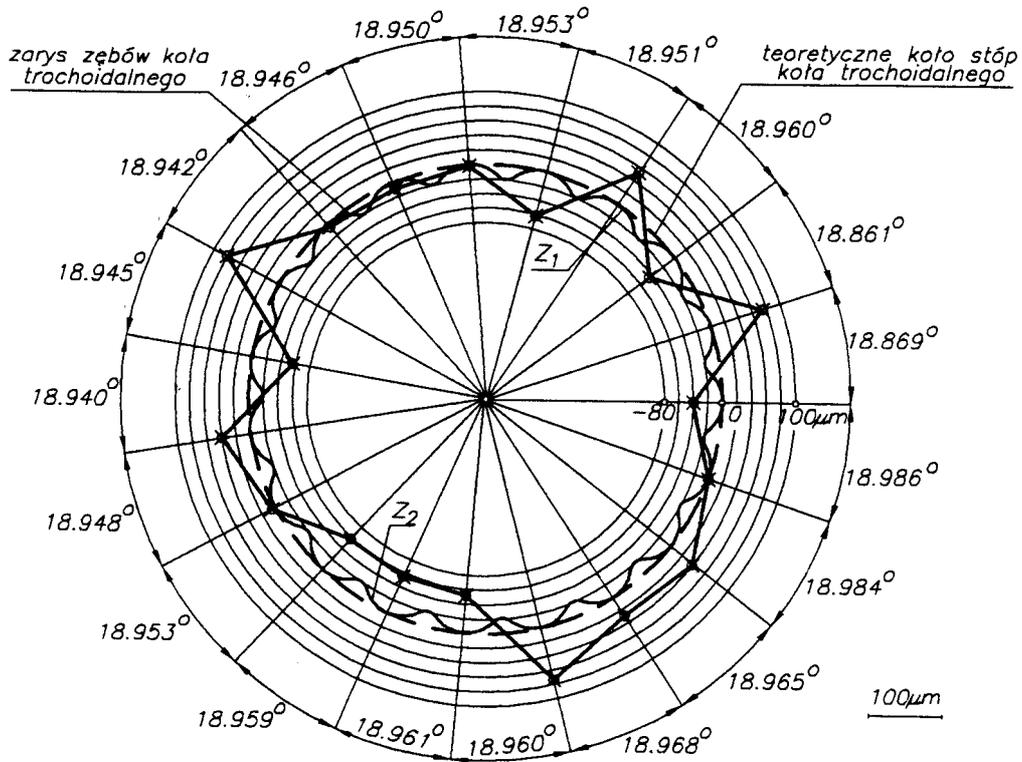


Рис. 8

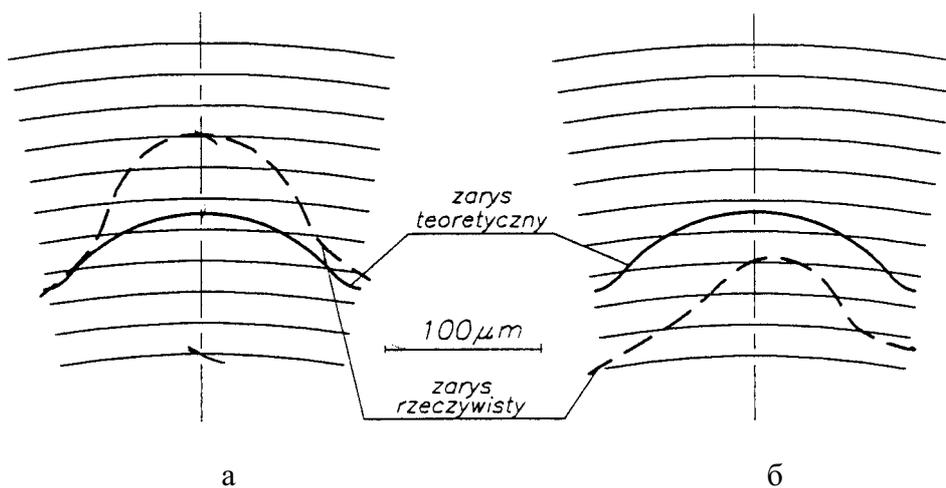


Рис. 9

Вимірювання кожного із зубів виконано в 54 пунктах з кроком  $2,85^\circ$ , на трьох рівнях висоти зуба, що 2 мм.

У вимірах вздовж товщини кола не виявлено значних змін вимірів зуба в цьому напрямку.

### Висновки

Створення поверхні високої точності і якості, отриманої під час стереолітографії, є дуже складною проблемою. Ці особливості залежать від матеріальних, технологічних і конструктивних властивостей.

Вимірjuвальна і сформована точність отриманої моделі залежить передусім від її конструкції, точності моделі в версії 3D і в системі STL одночасно і в усадці смоли.

Якість поверхні створених деталей залежить передусім від товщини накладених (затрачених) шарів. Шорсткість поверхні суттєво зменшується зі зменшенням товщини покладених шарів.

1. Andre J.C., Mehaute L., deWitte O. *Dispositif pour realizer un modelel piece industrielle. French patent, No 8411241.* 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 stereolitography. US patent No 4573300, filled August, 1984.* 4. Kodama H. *Device of three dimensional fabrication. Japonese 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. *Nieconwencjonalne sposoby przyrostowego kształtowania przedmiotów – Szybkie wyconywanie prototypów. Mechanik 8/9 1995.* 7. Richter J., Jacobs P. *Rapid prototyping and manufacturing: fundamentals of stereolitography. SME, Dearbon, MJ, 1992.* – P. 287–319.