

УДК 629.735.036.34:004.94(045)

**ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ НА БАЗІ CAD/CAM-СИСТЕМ
ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ**

* **А. В. Гуцал**, канд. техн. наук, доц.; * **С. С. Дубровський**, канд. техн. наук, доц.;
* **М. О. Ковешніков**, канд. техн. наук, доц.; * **Я. В. Петрук**; * **В. В. Рубаненко**

*Національний авіаційний університет

**Криворізький Національний технічний університет

kucher@nau.edu.ua

Розглянуто можливості впровадження у виробництво і проектування елементів автоматизованих систем в конструкції газотурбінних двигунів шляхом моделювання їх профілів на етапах конструкторської підготовки та технологічної обробки на базі CAD/CAM-систем, з обґрунтуванням практичної цінності для авіабудівних підприємств. На базі CAD/CAM-систем запропоновано методикою отримання лопатки компресора.

Ключові слова: моделювання, лопатка, CAD/CAM-системи, технологічність.

Possibilities of applying are considered in industry of design on a base CAD/CAM-system, with the ground of practical value for aircraft building enterprises. On a base CAD/CAM-system is offered methodology of receipt of shoulder-blade of compressor.

Keywords: design, shoulder-blade, CAD/CAM-system, technologicalness.

Постановка проблеми

Ресурс і надійність авіаційних і наземних газотурбінних двигунів (ГТД) переважно визначаються можливостями (міцністю) лопаток компресора і турбіни. Адже лопатки є найбільш відповідальними і високонавантаженими деталями, що піддаються в процесі експлуатації дії значних знакозмінних і циклічних навантажень, які впливають на них з великими частотами.

Лопатки наймасовіша, високонавантажена і відповідальна деталь авіаційного двигуна.

Надійність роботи лопаток залежить не лише від їх конструктивної міцності, опору циклічним і тривалим статичним навантаженням, але й від технології їх виготовлення, яка безпосередньо впливає на якість поверхневого шару хвостовика і пера лопатки. Від якості і форми поверхневого шару лопаток залежить ефективність роботи проточної частини двигуна [1].

Виробництво лопаток ГТД займає особливе місце в авіадвигунобудуванні.

Моделювання на базі CAD/CAM-систем

Лопатка являє собою деталь складного профілю, яка складається з окремих криволінійних поверхонь, не має яскраво виражених баз, поверхні розміщені одна відносно іншої не технологічно. На деяких підприємствах виготовлення лопаток проводилося за технологією використання копіювальних верстатів [2; 3]. При цьому потрібна була наявність дорогого оснащення у вигляді шаблонів. Ускладнювало завдання постійне удосконалення (зміна) форми профілю лопатки. Виробництво за такою схемою займало тривалий час як на етапі підготовки виробництва, так і під час самого виробництва.

Впровадження у виробництво технологій автоматизованого моделювання на базі CAD/CAM-систем дає змогу розробити систему автоматизованої конструкторсько-технологічної підготовки виробництва (КТПВ) виготовлення цієї деталі, що дозволить значно спростити і прискорити увесь процес виробництва [4]. Це особливо важливо при постійно змінній номенклатурі лопаток, коли загалом форма залишається колишньою, а змінюються тільки розміри і деякі елементи.

Моделювання на базі CAD/CAM-систем дозволяє виконати процес виробництва в два етапи: конструкторською підготовкою виробництва (моделювання в PowerSHAPE); і технологічною обробкою (обробка в PowerMILL).

Основним етапом є перший.

1. Моделювання лопатки

Моделювання проводиться за кресленням і масивом точок для побудови профілю пера. Цих даних цілком достатньо для побудови моделі лопатки.

1.1. Побудова пера

Перо задається вісьмома перерізами, для кожного перерізу вказані координати кіл, що визначають кромки пера, і координати точок сплайнів спинки і корита. Загалом вказано близько 500 точок.

Як рішення було прийнято використовувати макроси. Реалізація макросів у PowerSHAPE виконана досить успішно, тому після вивчення принципів роботи PowerSHAPE з макросами, було прийняте таке рішення: написати програму, яка з початкового файлу з координатами точок створює файл-макрос з послідовністю команд введення цих точок у PowerSHAPE.

Програма була написана в середовищі програмування Delphi 7.0 з використанням мови програмування Object Pascal.

1.2. Редагування пера

Моделювання профілю дало можливість виявити неточності у формі ще на початковій стадії і ввести корекцію форми профілю.

На рис. 1 і 2 показано основні неточності профілю, які виявляються при з'єднанні точок сплайнами. Причиною першого з них є необхідність сполучення профілю спинки або корита з кромкою, тобто необхідно забезпечити плавний перехід від сплайна до кола. У теоретично розрахованому профілі це сполучення не завжди досягнуте. Редагування пера дає змогу виправити неточності розрахунків. Основне завдання — досягти максимальної плавності переходу.

Також виявляється наявність точок, які зрушені від необхідного положення і викривляють сплайн.

У цьому випадку також потрібно коригувати положення цієї точки до оптимального, щоб не порушити плавність сплайна.

Після перевірки і коригування усіх точок отримуємо плавні перерізи, сполучені сплайнами, проте на цьому їх редагування не завершується. Причина цього — наявність різної кількості точок в перерізах. Ця відмінність була наявною ще на початковому кресленні: таблиця з точками містила в деяких перерізах пропуски. Але для з'єднання перерізів у поверхню бажано мати однакову кількість точок, інакше можлива поява зламів. Тому доводимо кількість точок в усіх перерізах до однакової кількості шляхом введення додаткових точок. Їх розташовуємо в найменш відповідальній частині пера: біля кромки. Таким чином уникаємо можливості появи викривлень у найбільш відповідальних частинах пера.

На цьому редагування пера закінчується, отримуємо саму поверхню (рис. 3).

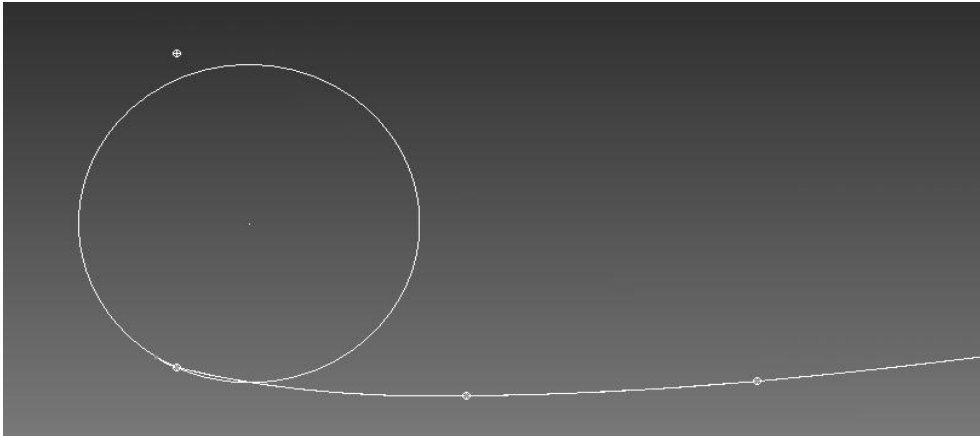


Рис. 1. Немає сполучення сплайна з колом

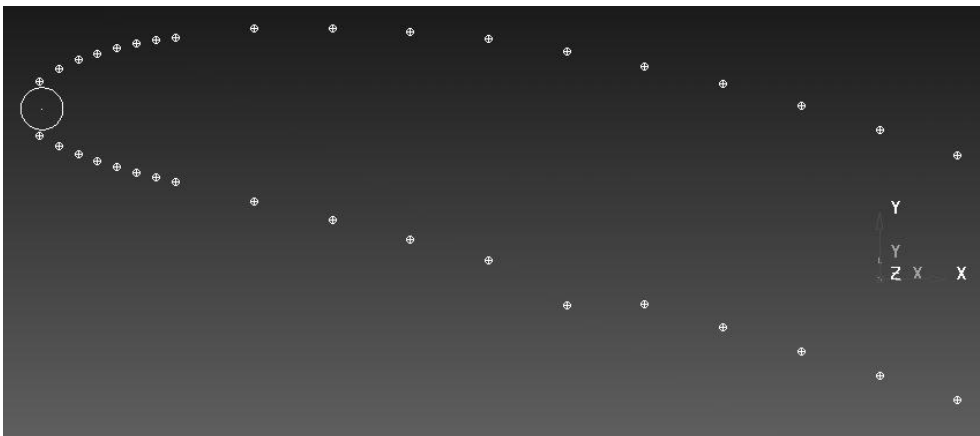


Рис. 2. Зрушення точки

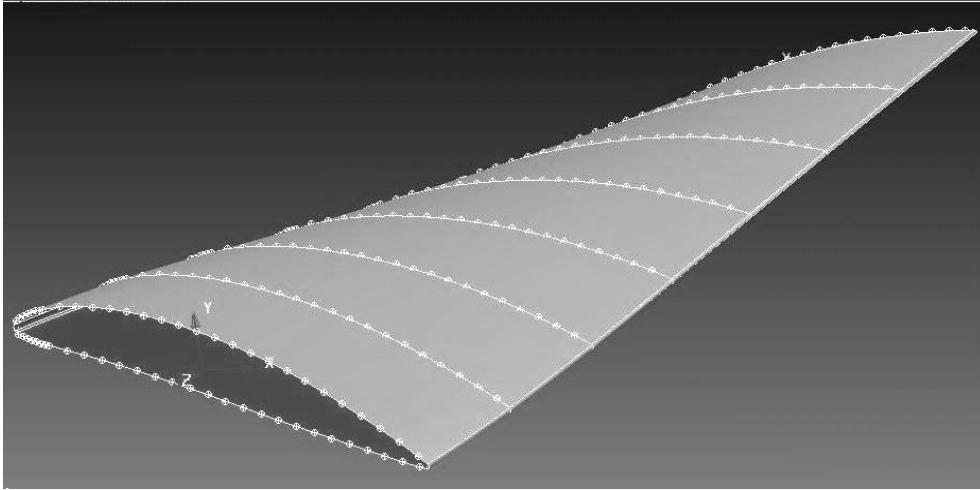


Рис. 3. Поверхня пера

1.3. Завершення моделювання

Для завершення моделювання необхідно побудувати ще декілька елементів: пази на замку і захисну кромку на пері.

2. Обробка лопатки

2.1. Аналіз технологічності

Деталь лопатки виготовляється зі складного в обробці сплаву.

Крім того, у неї недостатня жорсткість, великі вимоги до точності і шорсткості усіх поверхонь. Усе це ускладнює обробку лопатки.

Як бази складно використовувати поверхні деталі. Для вирішення цієї проблеми варто створити штучні бази у вигляді двох бобишок.

Одну виконуємо квадратного перерізу, а другу круглого з центровочним отвором (рис. 4).

Використання таких баз дасть змогу обробити лопатку з однієї *установи*, що забезпечить досягнення високої точності обробки і скорочення часу на додаткові операції.

2.2. Чорнова обробка

Чорнову обробку виконуємо трикоординатним фрезеруванням з розворотом деталі стратегією «3 D вибірка зміщенням» (рис. 5). На замку лопатки є один нетехнологічний паз, який недоступний для обробки при такому її закріпленні.

Тому даний паз отримаємо при чорновій операції між переверотом деталі. Це можливо завдяки дотриманню принципу постійності і єдності баз. При цьому задній центр відводиться, але оскільки деталь ще має значну товщину, це забезпечує її достатню жорсткість (рис. 6).

2.3. Чистова обробка

При чистовій обробці здійснюється послідовна обробка поверхонь (рис. 7). Насамперед отримуємо поверхню замку, намагаючись зберегти товщину пера на якомога більших операціях обробки. Далі виконуємо фрезерування (див. таблицю).

На напівчистовій обробці припуск — 0,4 мм з точністю 0,05 мм, а допуск на чистовій обробці 0,001 мм. Результат моделювання обробки за розрахованими траєкторіями показано на рис. 8.

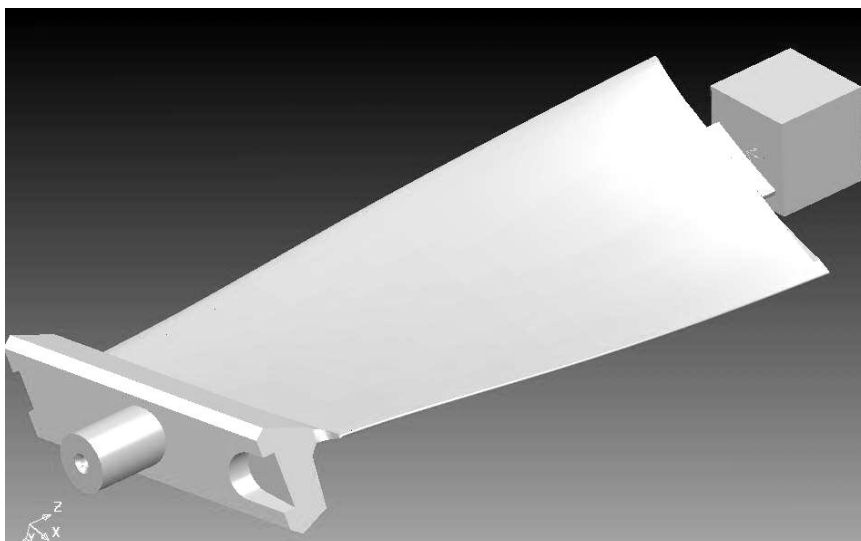


Рис. 4. Базування лопатки

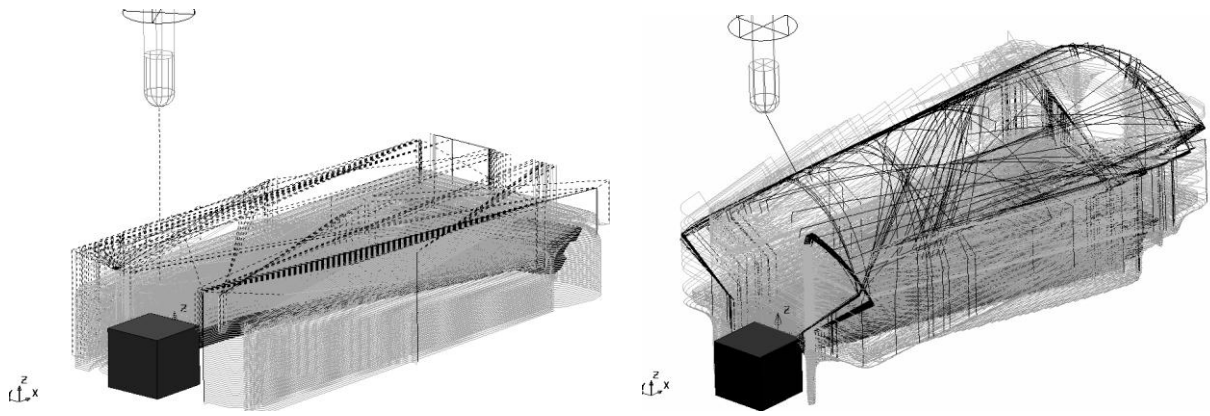


Рис. 5. Траєкторії чорнової обробки

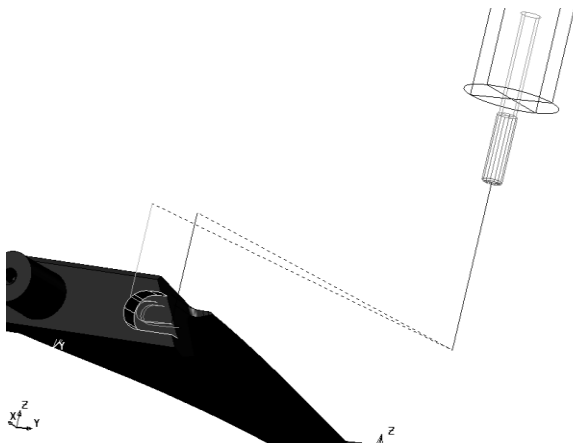


Рис. 6. Отримання пазу

У ході технологічного проектування траєкторій пропонуються елементи оптимізації траєкторії обробки, що дозволило підвищити продуктивність фрезерування.

Оптимізацією задавалися короткі переходи при переході від однієї елементарної області до іншої замість підйому на безпечну висоту.

Так само у кожному окремому випадку підбиралися найбільш оптимальні траєкторії підведення і відведення інструменту.

Послідовність обробки

№ з/п	Номери поверхонь	Вид обробки	Стратегія
1	5, 6, 13, 14, 7, 9	Напівчистова	«Проекція поверхні»
2	8	Напівчистова	«Боком фрези»
3	5, 6, 13, 14, 7, 9	Начисто	«Проекція поверхні»
4	8	Начисто	«Боком фрези»
5	3	Напівчистова	«Боком фрези»
6	3	Начисто	«Боком фрези»
7	11	Напівчистова	«Обробка поверхні»
8	10	Напівчистова	«Проекція поверхні»
9	11	Начисто	«Обробка поверхні»
10	10	Начисто	«Проекція поверхні»
11	1	Напівчистова	«Обробка поверхні»
12	1	Начисто	«Обробка поверхні»
13	2	Начисто	«Обробка поверхні» «Боком фрези»
14	12	Напівчистова	«Боком фрези»

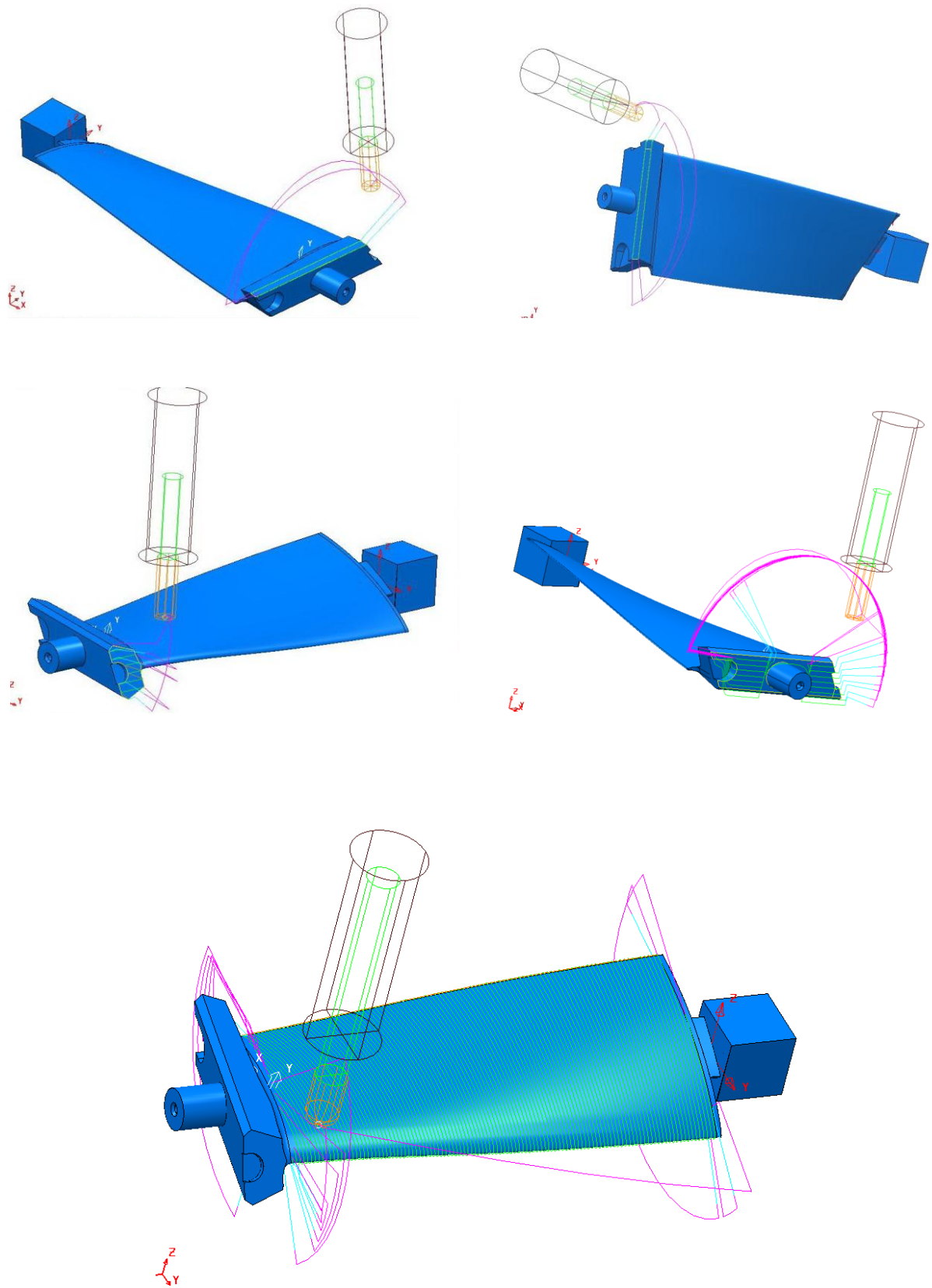


Рис. 7. Траекторії обробки замку

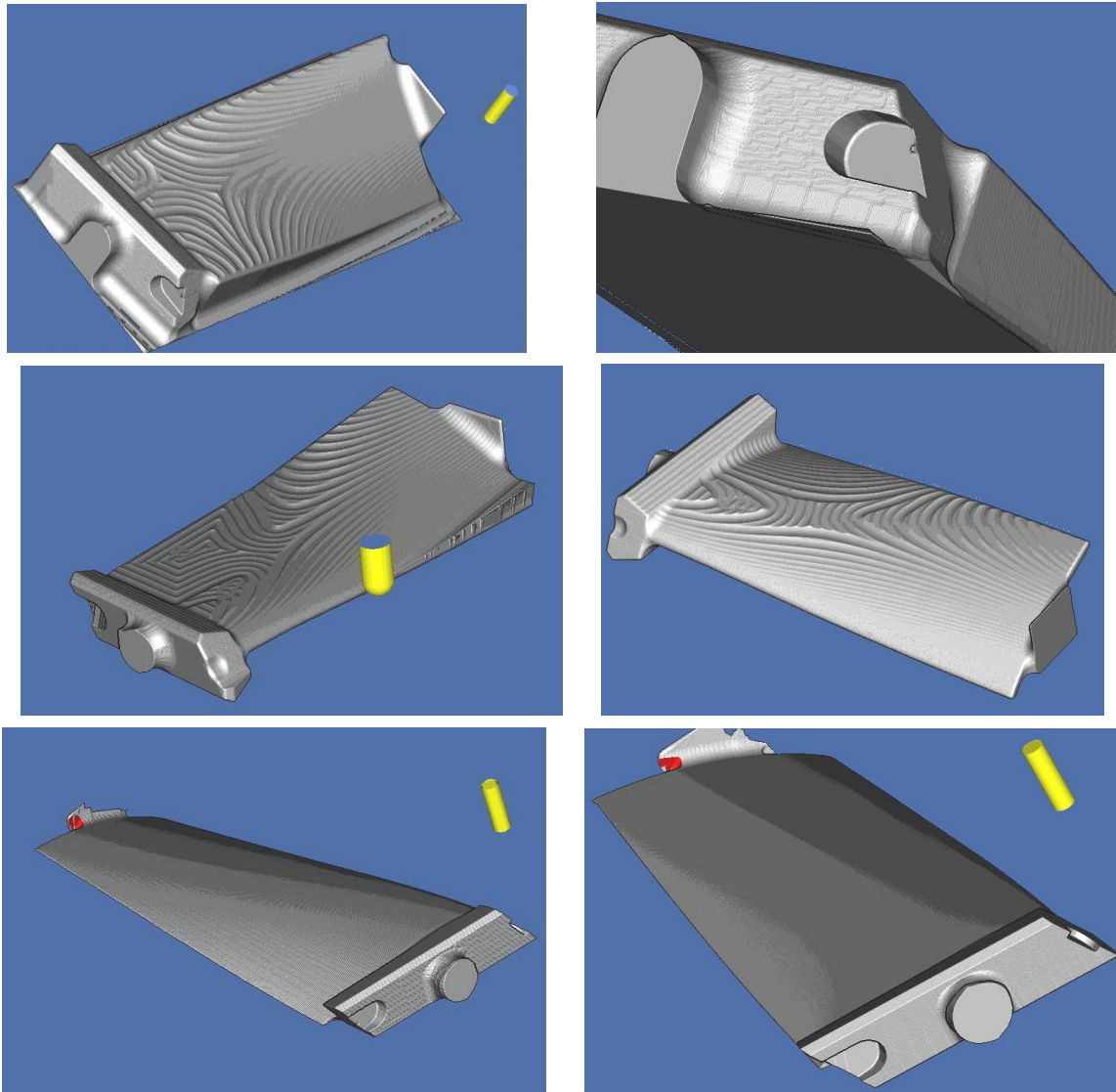


Рис. 8. Моделювання обробки

Висновки

Впровадження у виробництво моделювання на базі CAD/CAM-систем має велику практичну цінність для авіабудівних підприємств. Це, в першу чергу, автоматизація процесів виробництва, використання сучасних технологій, досягнення високої продуктивності і низької вартості навіть при обробці дуже складних і нетехнологічних деталей. На базі CAD/CAM-систем розроблено методику отримання лопатки компресора для підприємства ВАТ КрТЗ «Констар». При цьому були вирішені деякі важливі проблеми. Одна з них — автоматизація введення великої кількості даних про координати точок в CAD-систему, що дозволить значно прискорити процес побудови моделі.

Процес моделювання дає можливість на стадії розробки усунути всі неточності, допущені під час розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Богуслаев В. А.* Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко. — К. : «Манускрипт», 1993. — 332 с.
2. *Богуслаев В. А.* Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, П. Д. Жеманюк, Г. В. Пухальская. — Запорожье : ОАО «МоторСич». 2005. — 559 с.
3. *Демин Ф. И.* Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей / Ф. И. Демин, Н. Д. Проничев, И. Л. Шитарев. — М. : Машиностроение. 2002. — 328 с.
4. *Електронний ресурс*
<http://www.nfmz.ru/lopatki.htm> ММПП «Салют», Перспективные технологии производства лопаток ГТД.

Стаття надійшла до редакції 15.06.2011.

