

Decker O., Zudans Z. NASA Contributions to Fluid – Film Lubrication – A Survey, NASA SP – 5058, Washington, 1969. **13.** *Чухос Х.* Системный анализ в трибонике – М.: Мир, 1982. – 352 с. **14.** *Gumbel L.,* Der Einfluss der Schmierung auf die Konstruktion, Jb. Schiff-bautechn. Ges., 18, 299 (1917). **15.** *Vogelpohl G.,* Die Stribeck-Kurve als Kennzeichen des allgemeinen Reibungsverhaltens geschmierter Gleitflächen, VDJ-Z., 96, 261 (1954). **16.** *Christensen H.,* A theory of mixed lubrication, Proc. Instn. Mech. Engrs., London, 186, 421 (1972). **17.** *Berthe D., Godet M.,* A more general form of Reynolds equation – application to rough surfaces, Wear, 27, 345 (1974). **18.** *Johnson K. L., Greenwood J. A., Poon S. Y.,* A simple theory of asperity contact in elastohydrodynamic lubrication, Wear, 19, 91 (1972). **19.** *Tallian T. E.,* The theory of partial elastohydrodynamic contacts, Wear, 21, 49(1972). **20.** *Forbes E. S.,* Antiwear and extreme pressure additives for lubricants, Tribology, 3, 145 (1970)

УДК 621.438.002.2

ТИТОВ В.А., докт. техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ

ЗЛОЧЕВСЬКА Н.К., асистент кафедри МПМ та РП, НТУУ «КПІ», Київ

ЛАВРІНЕНКОВ А.Д., аспірант кафедри МПМ та РП, НТУУ «КПІ», Київ

ГАРАНЕНКО Т.Р., студент кафедри МПМ та РП, НТУУ «КПІ», Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ІЗОТЕРМІЧНОГО ПРЕСУВАННЯ ЗАГОТОВОК З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Выполнен анализ технологического процесса путем исследования влияния условий трения на контактирующих поверхностях заготовки и матрицы на напряжённо – деформированное состояние лопатки из сплава VT8 при изотермическом прессовании. Получено распределение скоростей течения металла и распределение осевых напряжений используя инженерную программу DEFORM-3D.

Виконаний аналіз параметрів технологічного процесу шляхом дослідження впливу умов тертя на контактних поверхнях заготовки та матриці на напружено-деформований стан заготовки лопатки зі сплаву VT8 при ізотермічному пресуванні. Отримано розподіл швидкостей течії металу та розподіл осьових напружень за допомогою інженерної програми DEFORM-3D.

The analysis of the process by studying the effect of the conditions of friction on the contacting surfaces of the workpiece and the matrix on the stress - strain state of the blade alloy VT8 isothermal compression. The distribution of current velocities and metal distribution of axial stresses using engineering software DEFORM-3D.

Вступ

Надійність та ресурс сучасної авіаційної техніки значною мірою залежить від ефективності авіаційних газотурбінних двигунів. Удосконалення авіаційних двигунів, в свою чергу, висуває нові вимоги к технологіям їх виготовлення. Зростання робочих температур та тиску вимагає більш широкого використання високоміцних та жаростійких сплавів. Тенденція скорочення кількості деталей приводить до ускладнення геометричних форм, а зниження маси двигуна приводить до використання деталей малої питомої жорсткості.

Виготовлення лопаток займає особливе місце в сучасному двинунобудуванні. Це зумовлено з наступними особливостями їх виготовлення [1,2]:

1. Відповідальне призначення лопатки в двигуні. Лопатки визначають надійність в роботі двигуна;

2. Ресурс роботи двигуна визначається працездатністю лопаток. У зв'язку з цим технологія виготовлення і контролю лопаток повинна забезпечувати стабільність якості їх виготовлення та виключити можливість встановлення їх на двигун з відхиленням по геометричним розмірам, якості поверхні, з металургійними та іншими дефектами;

3. Велика кількість лопаток – сучасний двигун налічує до 2000 лопаток різного типу;

4. Висока вартість металів, що використовується, тому технологічний процес виготовлення повинен гарантувати мінімальний відсоток браку.

Поєднання вказаних факторів визначає специфіку виробництва лопаток. Можливість застосування високопродуктивних методів і засобів виготовлення лопаток визначає відносну дешевизну масових деталей двигуна, а також можливість швидкої переналадки виробництва при переході з одного типу двигуна на інший.

Сучасні досягнення науки і техніки в металообробці створюють реальні можливості отримання деталей з складними геометричними формами маловідходними способами. В авіаційній промисловості широке розповсюдження знаходять високопродуктивні, ресурсозберігаючі процеси ізотермічного пресування, які дозволяють знизити витрати металу, отримати точні розміри поверхонь зменшити трудомісткість механічної обробки і покращити якість деталей. Суттєвою перевагою ізотермічного пресування є розширення границі гарячої обробки металів тиском, стає можливим штамповка заготовок без штамповних ухилів з тонкими, вузькими та високими ребрами.

В роботах [3,4] наведені особливості технології виготовлення заготовок лопаток компресора із титанових сплавів. Показано, що якість деталей залежить від технологічних параметрів процесу, які досліджувались експериментально.

В даній роботі обґрунтування вибору параметрів технологічного процесу виготовлення лопатки без наступної механічної обробки зовнішніх і внутрішніх контурів виконано розрахунковими методами, що представляється актуальним науково-технічним завданням.

Мета роботи.

Метою роботи є оптимізація параметрів технологічного процесу шляхом дослідження впливу умов тертя на контактних поверхнях заготовки та матриці на напружено-деформований стан заготовки лопатки з титанового сплаву при ізотермічному пресуванні.

Результати дослідження.

Дослідження по ізотермічному пресуванню заготовок робочих лопаток компресору авіаційного двигуна проводилось за допомогою програми інженерного розрахунку DEFORM-3D, яка дозволяє з моделювати технологічний процес для аналізу течії металу і розподілу температур та НДС під час процесу деформування. DEFORM-3D ґрунтується на метод скінчених елементів, який є одним із самих надійних і широко використовуваним розрахунковим методом.

Деталь, яку необхідно отримати ізотермічним пресуванням, показана на рис.1. Вказана деталь є заготовкою для виготовлення лопатки компресора ГТД.



Рис. 1. Заготовка лопатки компресора ГТД



Рис. 2 Роз'ємні напівматриці для пресування заготовок робочих лопаток

Штампування таких деталей в звичайних умовах має серйозні складнощі, так як інтенсивне падіння температури тонкого полотна лопатки спричиняє різке зростання навантажень на інструмент. Суттєва неоднорідність деформації, приводить до появи в поковці значних залишкових напружень і т.і. Тому лопатки, як правило, необхідно штампувати з великими припусками по перу, а їх наступна механічна обробка відрізняється високою трудомісткістю.

При ізотермічному деформуванні, що використано в роботі, разом з зусиллям штамповки зменшується пружна деформація системи прес – штамп, яка при звичайній штамповці порівняна з товщиною лопатки. Штамповані в ізотермічних умовах поковки лопаток відрізняються малими припусками на механічну обробку.

Форма заготовки складна, з особливо міцного та жаростійкого титанового сплаву ВТ-8 з границею текучості $\sigma_T = 950 - 1150 \text{ МПа}$. Після нагріву заготовки поштучно подаються к пресу і укладаються в контейнер штампа торцем вниз. Пуансоном здійснюють робочий хід вниз і виконують пресування.

Дослідження процесу формоутворення заготовки з титанового сплаву ВТ-8 здійснювалось при $980^\circ \pm 5^\circ \text{C}$. В процесі деформування утворення лопатки проходить двома потоками металу (осьовим і радіальним), тому використовують заготовки з оптимальними величинами діаметру і з нанесенням покриття, що забезпечує рівномірну течію металу і відсутність дефектів у вигляді заковів.

Матриця складається з двох половин і має деформуючу поверхню, яка відповідає профілю пера заготовки лопатки. Форма контуру матриці у місці переходу від приймача к отвору повинна бути виконана таким чином, щоб вона забезпечувала більш сприятливі умови течії металу і можливо менший знос матриці. Матрицю необхідно виконувати по розмірам «гарячого» викову. Висоту приймача вибираємо так, щоб забезпечити захід пуансона в матрицю до моменту зіткнення його з заготовкою. Матриця представлена на рис. 2.

Модель робочої порожнини штампу в DEFORM-3D показана на рис. 3.

Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким. Тертя враховували на поверхні заготовки, яка контактує з поверхнями матриці.

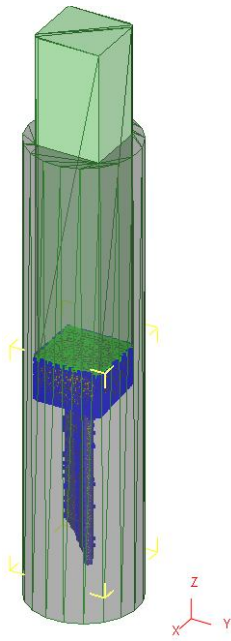


Рис.3. Модель робочої порожнини штампу в DEFORM-3D

Досліджувався вплив величини коефіцієнту тертя, приймали 0,3 та 0,1. Процес видавлювання розподілявся на певну кількість кроків навантаження.

Навантаження прикладали у вигляді крокового переміщення пуансона. Залежність зусилля пресування від переміщення пуансона представлена на рис.4. Зусилля спочатку зростає по мірі деформування заготовки по прямокутній поверхні з одночасною течією металу в робочу порожнину матриці, що формує перо лопатки. Спочатку проходить осадка циліндру без контакту матеріалу заготовки з стінками матриці. З подальшим осаджуванням наплив матеріалу стикається з площинами, зусилля починає рости, внаслідок зростання сил тертя. Це є неусталеною стадією пресування. Коли профіль проходить через радіуси галтелей процес пресування проходить в усталену стадію. Величина максимального зусилля складала $P_0 = 75 \text{ кН}$. З трьох графіків бачимо, що величина зусилля постійна і не залежить від коефіцієнту тертя.

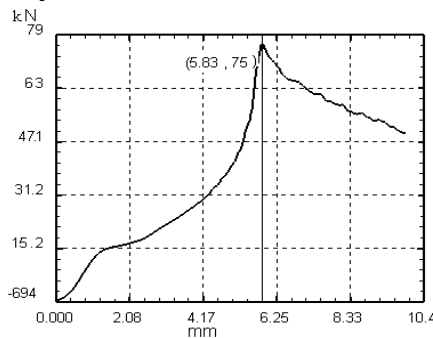


Рис.4. Графік залежності зусилля пресування від переміщення пуансона

На рис.5 представлений розподіл швидкостей течії металу, згідно якому можна зразок поділити на чотири зони.

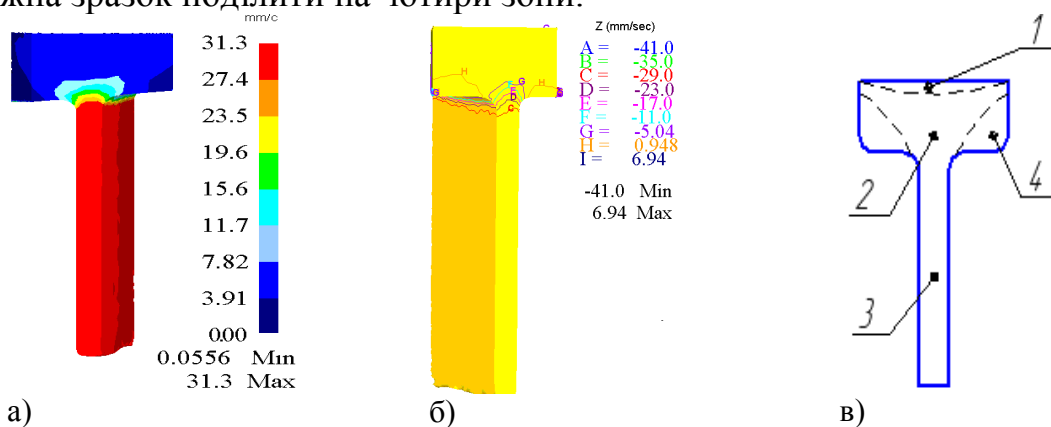


Рис.5. Розподіл швидкостей течії металу в характерному поперечному перерізі: а) ізолінії вектору швидкостей \vec{V}_0 , б) ізолінії вектору швидкостей матеріальних часток поздовж осі пера лопатки \vec{V}_z , в) характерні зони поперечного перерізу зразка лопатки.

Перша зона, що контактує з пуансоном, майже не деформується внаслідок значних сил тертя. Друга зона має інтенсивну течію металу у порожнину пера лопатки. Третя зона сталої течії металу, де формується перо лопатки постійного поперечного перерізу. Четверта зона гальмування течії металу, яка обумовлена конструкторськими особливостями виробу.

В зонах I та IV течія металу утруднена, в наслідок малих деформацій структура металу рівно вісна, по характеру близька до вихідної структури (рис 6)

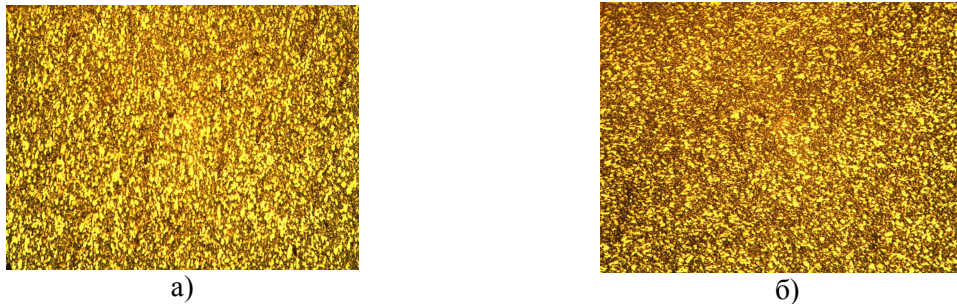


Рис. 6. Структура зон утрудненої деформації заготовки з сплаву ВТ8: а – зона I, б – зона IV

В зоні II знаходиться метал, який перетікає до пера лопатки. В наслідок інтенсивного деформування в цій зоні зерна вихідного сплаву витягується в напрямку течії металу, що показано на рис. 7.

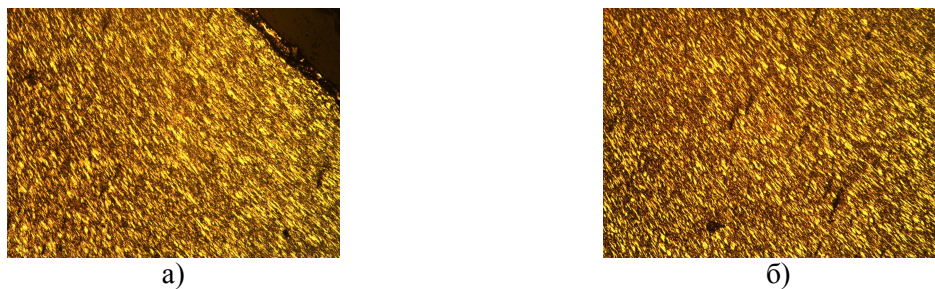


Рис. 7. Зона течії металу замкової частини заготовки до пера лопатки: а – радіусна частина галтелей зони II, б – перехідна зона (II-III) від замкової частини до пера лопатки

В зоні галтелей (рис. 7 а, б) спостерігається інтенсивна течія металу до границь стінки матриці. Інтенсивність деформацій збільшується до вісі симетрії профілю пера лопатки. Швидкість течії обумовлює розтягуючі напруження. По вісі симетрії утворюється інтенсивний потік металу, який призводить до великих деформацій матеріалу та подрібнення зерна.

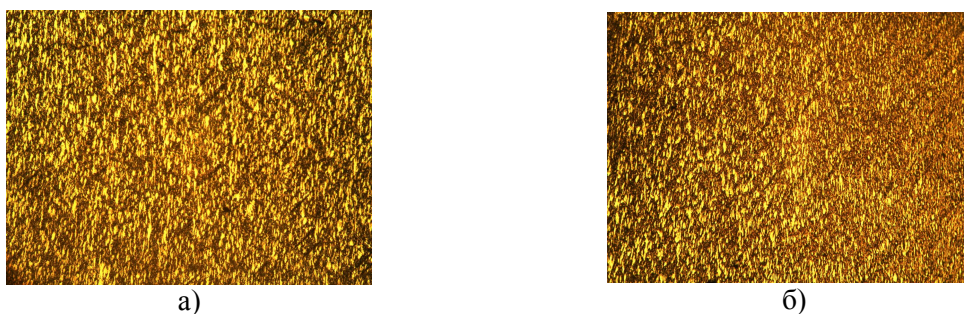


Рис. 8. Структура металу в напрямку вісі пера лопатки: а, б - різні ділянки повздож вісі пера лопатки

Повздовж профілю пера лопатки розподіл структури матеріалу зберігається.

В процесі пресування при формуванні профілю пера зберігається структура, яка утворилась при вході металу з замкової частини. Вона характеризується більшим подрібненням зерна в осередку вісі симетрії та зменшенням подрібнення в крайових зонах, що показано на рис. 8.

Напружений стан заготовки в процесі деформування показаний на рис.9 в залежності від коефіцієнту тертя.

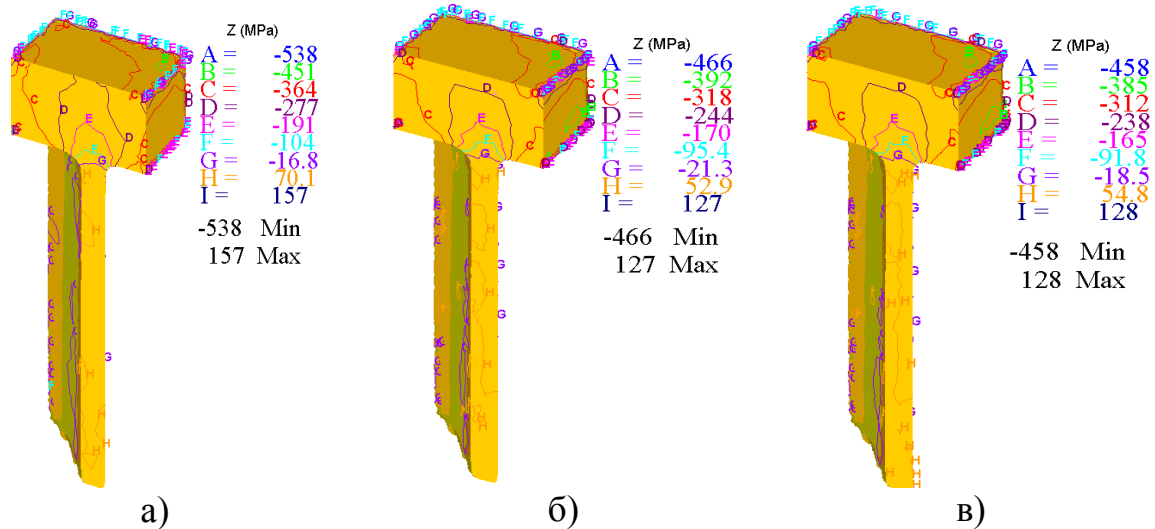


Рис.9. Розподіл осьових напружень σ_z : а) коефіцієнт тертя - 0.3, б) коефіцієнт тертя - 0.1, в) коефіцієнт тертя – 0.08.

Аналіз показує, що максимальні напруження стиску 538МПа відповідають коефіцієнту тертя $f_{mp} = 0.8$. Зі зниженням коефіцієнту тертя вони пропорційно зменшуються. У зоні II на вході до пера лопатки напруження σ_z зменшуються до величини від $104-92.8\text{МПа}$ до $21.3-16.8\text{МПа}$. Це пов'язано з збільшенням швидкості течії металу до пера лопатки.

Це явище призводить до появи розтягуючи напружень в зоні переходу від замкової частини до пера лопатки, які досягають величини $70.1-52.9\text{МПа}$, що може привести до пошкоджуваності металу. При цьому можна відмітити, що зменшення коефіцієнту тертя сприяє зменшенню розтягуючи напружень в цій зоні.

Необхідно також відмітити, що коефіцієнт тертя, як показано за результатами роботи, практично не впливає на енергетичні параметри ізоермічного пресування заготовки.

Висновки

1. Встановлено залежність параметрів технологічного процесу ізоермічного пресування заготовок лопаток з титанового сплаву ВТ8 при температурі 980°C в залежності від умов тертя на контактних поверхнях заготовки та матриці.

2. Показано на основі металографічних досліджень, що при пресуванні заготовки лопатки змінюється структура матеріалу в залежності від характерних зон течії металу. В зоні пера лопатки формується дрібнозерниста структура з

направленою орієнтацією зерен – текстурою. Ці результати підтвердженні шляхом розрахунку в системі DEFORM-3D.

3. Аналіз напруженого стану показав, що максимальні напруження стиску в осередку деформації перевищують 500МПа . По мірі течії матеріалу до зони переходу замкової частини в перо лопатки значно зменшуються. За рахунок швидкості течії металу в зоні переходу виникають розтягуючі напруження величиною $70.1-52.9\text{МПа}$, що може привести до пошкоджуваності металу. Встановлено, що зменшення коефіцієнту тертя сприяє зменшенню розтягуючі напружень.

4. В результаті роботи показано, що коефіцієнт тертя практично не впливає на енергетичні параметри деформування заготовки при ізотермічному пресуванні.

Список літератури: 1. *Богуслаев В.А.* Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Часть I / *Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М., Жеманюк П.Д., Колесников В.И. и др.* — Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2003 -396 с. 2. *Богуслаев В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф.* Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД . – К: Манускрипт, 1993. - 332 с. 3. *Тимов В.А.* Влияние параметров горячего выдавливания заготовок рабочих лопаток компрессора на качество их изготовления / *Тимов В.А., Ю.С. Кресанов, А.Я. Качан* и др. // Вісник двигунобудування. – З.: ВАТ «Мотор Січ». – 2009, №2, с. 108-115. 4. *Тимов В.А., Лавріненко А.Д., Злочевська Н.К.* Деякі особливості пластичного деформування металевих композиційних матеріалів з армуючими компонентами довільної форми // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2010. № 59. с. 5. *В.А. Тимов.* Особливості процесів формоутворення заготовок лопаток з титанового сплаву системи $\text{Ti}-\text{TiB}_2$ / *Тимов В.А., О.Я. Качан, О.Г. Моляр, Ю.С. Кресанов, Н.К. Злочевська* // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2011. № 61. с.95 -101

УДК 621.7.044

МОСЬПАН Д.В., асист., КрНУ, Кременчук

ШЛЫК С. В., асп., КрНУ, Кременчук

МОРОЗ Н.Н., канд. техн. наук, доц., КрНУ, Кременчук

ДРАГОБЕЦКИЙ В.В., докт. техн. наук, проф., КрНУ, Кременчук

СНИЖЕНИЕ ДЕФОРМИРУЮЩИХ УСИЛИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЖЕСТКОСТИ

Наведені проблеми і задачі, які необхідно вирішити для вдосконалення виробництва листових деталей двигунів літальних апаратів. Визначено технологічні напрями при виробництві деталей двигунів. Розроблено технологічні процеси для двох класів деталей – оболонки подвійної кривизни і жолоба. Наводяться приклади практичного застосування результатів.

Listed the problems and tasks that must be resolved for improving the production of sheet parts of aircraft engines. Identified technological trends in the production of engine parts. Developed the