

УДК 612.431.75

В.А. Тітов, д.т.н., проф.,
Національний технічний університет України «КПІ»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕСУРСУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ- НАУКОВИЙ НАПРЯМОК КАФЕДРИ МПМ ТА РП НТУУ «КПІ»

Приведены основные результаты работ по обеспечению ресурса и эксплуатационной надежности изделий наукоемкого машиностроения технологическими методами: алмазного выглаживания с ультразвуковым нагружением, изготовление биметаллических трубчатых переходников, повышение механических свойств алюминиевых и титановых сплавов за счет интенсивных сдвиговых деформаций, сборка нежестких роторов газотурбинных двигателей барабанно-дисковой конструкции.

The basic results of works are resulted on providing of resource and operating reliability of wares of science intensive engineer technological methods: diamond burley with an ultrasonic lading, making of bimetallic tubular reducers, increase of mechanical properties of aluminium and alloys due to intensive shear deformations, assembling of non-rigid rotors of turbo-engines of drum-disk construction.

Забезпечення експлуатаційних характеристик надійності та ресурсу наукоємних виробів машинобудування, таких як літальні апарати, авіаційні газотурбінні двигуни, автотранспортні системи та інші, залежать від багатьох факторів основними з яких є конструкторські, матеріалознавчі та технологічні. Аналіз структури факторів, що впливають на експлуатаційні показники деталей та виробів в цілому показує [1, 2], що:

- врахування конструктивного фактора зводиться в більшості випадків до відомих та добре апробованих у теорії міцності методах розрахунку, які дають достовірні результати, якщо відомі фізико-механічні характеристики матеріалу деталей, розподіл характеристик міцності і залишкових напружень по перерізу деталей та інші характеристики, які обумовлені технологічними, та матеріалознавчими факторами;
- вплив матеріалознавчого фактора, як правило, визначається відповідністю вихідного матеріалу фізико-механічним, втомним та іншим властивостям, що обумовлені технічними умовами або іншими нормативними документами. Їх стабільність визначає вірогідність відповідності розрахункових характеристик деталей при розрахунках на міцність;
- технологічний фактор найбільш істотно впливає на подальші характеристики деталі. Цей фактор визначає зміну властивостей вихідного стану матеріалу заготовки в процесі виконання операцій процесу її виготовлення або відновлення. У процесі виготовлення деталей формується мікроструктура матеріалу, досягається певний рівень механічних властивостей та їх розподіл по товщині деталі та інші характеристики, які в остаточному підсумку мають найбільший вплив на наступні експлуатаційні властивості деталі.

На етапі проектування виробів вплив конструкторського та матеріалознавчого факторів є суттєвим та зводиться до вибору оптимізованих конструкторсько-технологічних рішень [3]. Але починаючи з етапу виготовлення виробу у виробництві, визначаючими є технологічні фактори.

Кінцеві структурні та фізико-механічні властивості матеріала деталей, що визначаються матеріалознавчим фактором, а в цілому їх ресурс та надійність, в основному залежать від виду операцій обробки на етапі виготовлення, їх послідовності, режимів виконання, обладнання, оснащення та інших технологічних факторів.

Тому аналіз, формування та розвиток технологічного напрямку забезпечення надійності та ресурсу виробів наукоємного машинобудування, що вимагає розвитку нових спеціальних методів та технологій їх реалізації, є актуальною науково-технічною проблемою.

В рамках цієї проблеми на кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ «КПІ» вирішені в останні 2003 – 2010 роки ключові технологічні задачі для авіабудівної промисловості, які можуть бути використані в інших галузях промисловості України:

1. Технологія поверхневого пластичного деформування вигладжуванням деталей із сталей, сплавів алюмінію і титану;
2. Машинобудівна технологія виготовлення біметалевих трубчастих елементів з листових заготовок витягуванням з листових матеріалів;
3. Процеси структуроутворення методами інтенсивного пластичного деформування в ізотермічних умовах для підвищення властивостей міцності алюмінієво-лігатурних та титанових сплавів;
4. Комплекс технологічних процесів пружно-пластичного складання роторів газотурбінних двигунів (ГТД) барабанно-дискової конструкції та інші.

Роботи з поверхневого пластичного деформування алмазним вигладжуванням виконані в НТУУ «КПІ» спільно з ВАТ «Мотор Січ» (д.т.н. Качан О.Я., к.т.н. Мозговий В.Ф., к.т.н. Балущок К.Б. та інші) для підвищення ресурсу валів газотурбінних авіаційних двигунів нового покоління Д18Т, АІ-222 та інших [1, 2, 4, 5], Інститутом надтвердих матеріалів НАН України (д.т.н. Розенберг О.О. та інші) та Інститутом електрозварювання НАН України (Хохлова Ю.А. та інші). Від НТУУ «КПІ» роботу виконували: Тітов В.А. – відповідальний виконавець, к.т.н. Яворовський В.М., к.т.н. Тривайло М.С., (кафедра МПМ та РП), д.т.н. Луговський О.Ф. (кафедра Прикладної гідромеханіки і механотроніки), Плівак О.А. (кафедра Інтегрованих технологій машинобудування) та інші.

На основі комплексного експериментально-теоретичного аналізу процесу вигладжування встановлені значимі фактори контактної взаємодії інструменту та заготовки, які визначають параметри якості деталей в залежності від

реалізуємих параметрів технологічного процесу, питоме зусилля взаємодії інструменту з заготовкою та контактне тертя (рис.1).

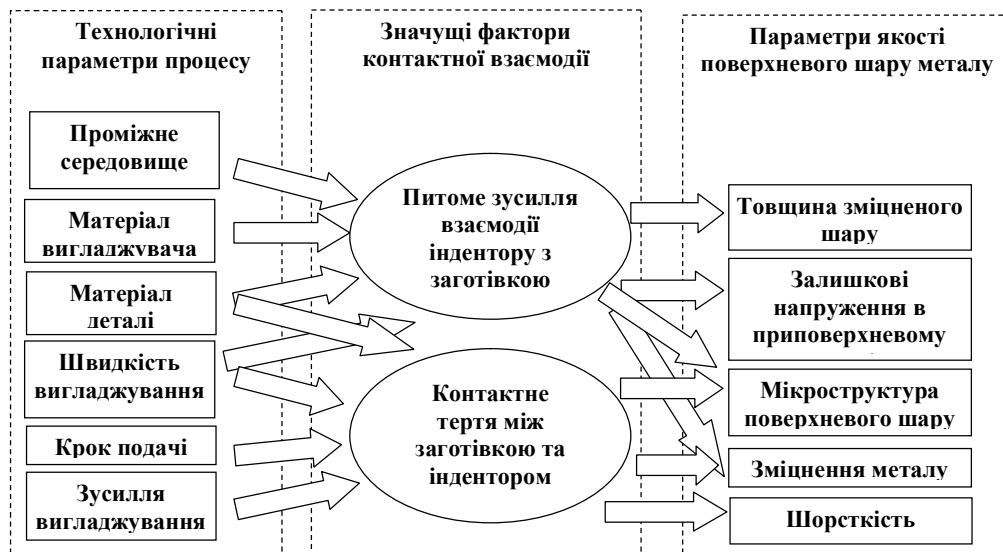


Рис.1. Взаємозв'язок технологічних параметрів процесу виглажування при формуванні параметрів якості деталі, що обробляється

Показано, що при обробці виглажуванням сталей та алюмінієвих сплавів шорсткість поверхонь зменшується у порівнянні з чистовим точінням (рис 2, 3). Розрахунковий аналіз з використанням систем ANSYS та Abaqus (рис. 4), а також експериментальні дані показали, що глибина зміцненого шару складає 50-150 мкм, в залежності від питомого силового фактору.

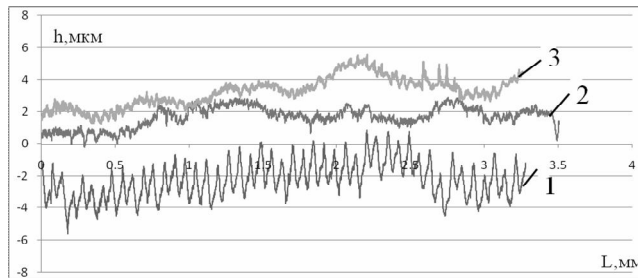


Рис.2. Профілограми поверхонь, які отримано після обробки:
1 – чистове точіння; 2 – виглажування з УЗ;
3 – виглажування без УЗ

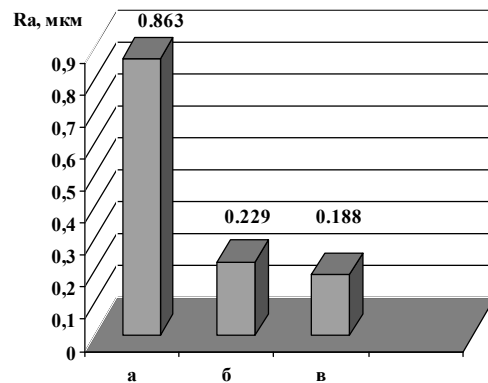


Рис. 3. Значення Ra поверхонь в залежності від виду обробки: а – чистове точіння; б – виглажування з УЗ; в – виглажування без УЗ

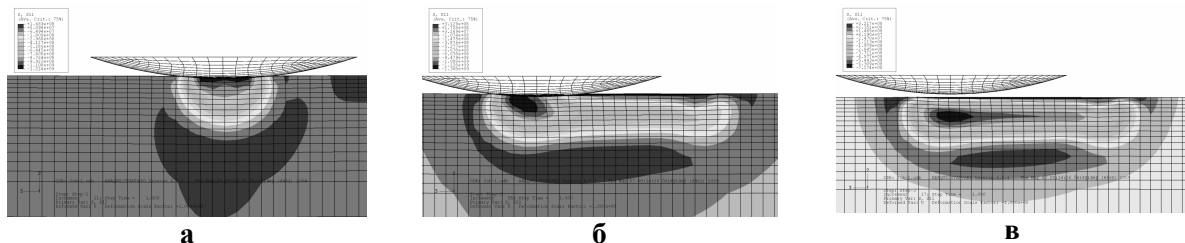


Рис.4. Розподіл радіальних напружень σ_{rr} :
а – вдавлювання індентору; б – безпосередньо процес виглажування; в – розвантаження після виглажування

Ефективність зміцнення при оптимальних режимах обробки оцінювалась коефіцієнтом зміцнення

$$\beta = \frac{\sigma_{-1\text{зміц.}}}{\sigma_{-1\text{вих.}}}, \text{ де } \sigma_{-1\text{зміц.}} \text{ та } \sigma_{-1\text{вих.}} - \text{відповідно межа витривалості матеріалу деталі після зміцнення та у}$$

вихідному стані. Для валів із сталей Х12НМБФ-Ш, 40ХН2МА-Ш, сплавів ХН73МБТЮ-Ш, ХН77ТЮР-ВД коефіцієнт зміцнення складав 1,33 – 1,57. Результати робіт впроваджені при виготовленні та відновленні валів ГТД Д18Т, АІ-222. На основі робіт виданий галузевий нормативний документ ГРЗ-010-2001 [5].

В процесі робіт показано, що при використанні вигладжування для обробки титанових сплавів виникає ряд труднощів, які пов'язані з малою теплопровідністю титанових сплавів, їх високими адгезійними властивостями. В процесі вигладжування різко збільшуються сили тертя між заготовкою та інструментом, підвищується тепловиділення в зоні їх контакту. Це призводить до збільшення шорсткості поверхні, її поверхневого пошкодження, зниженню стійкості інструменту.

Тому задача зменшення контактного тертя вирішена за рахунок керування швидкісними параметрами взаємодії інструменту з деталлю. Запропонований та реалізований метод ультразвукового вигладжування (УЗ), який дозволяє збільшити відносну швидкість інструменту відносно деталі. Це дозволило зменшити коефіцієнт тертя, в ряді випадків, до 0,001 – 0,005. Теоретично показано, що в цьому випадку можна досягти режимів тертя близьких до гідродинамічного або межового режиму гідродинамічного тертя (МГТД). У випадку МГТД виникає згладжування елементів мікрорельєфу поверхні при наявності тонкого шару змащення $\delta \leq Ra$ (рис. 5). Визначаючим фактором досягнення цих умов є збільшення відносної швидкості обробки, при якій гідродинамічний тиск змащення буде урівноважувати деформуючі питомі сили на контактній поверхні, що забезпечує збереження тонкого шару змащення.

В процесі вигладжування титанових сплавів виникає подрібнення зерен у приповерхневому шарі (рис.6). Величина зерен зменшується до 20 – 30 мкм та менше [6, 7].

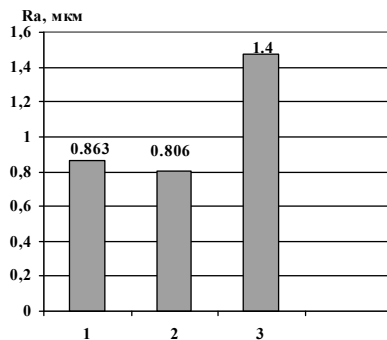


Рис.5. Значення Ra поверхонь зразка в залежності від виду та умов обробки: 1 – чистове точіння; 2 – вигладжування з УЗ; 3 – звичайне вигладжування

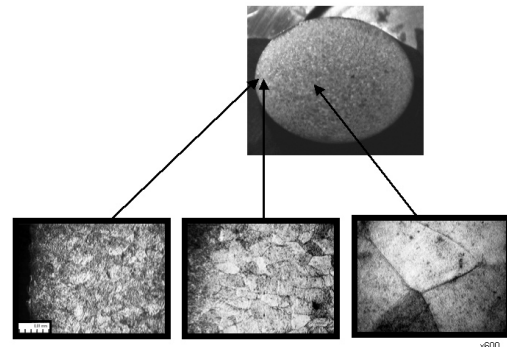


Рис.6. Структура матеріалу зразка сплаву ВТ23 на різних ділянках: а – на поверхні зразка; б – поверхневий перехідний шар; в – центральна недеформована частина (вихідна структура)

Для реалізації процесу розроблено ряд нових способів та пристрій для їх реалізації (рис.7) [8, 9].

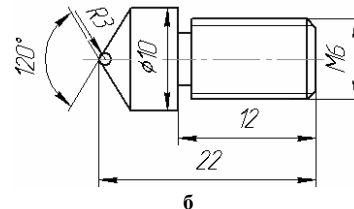
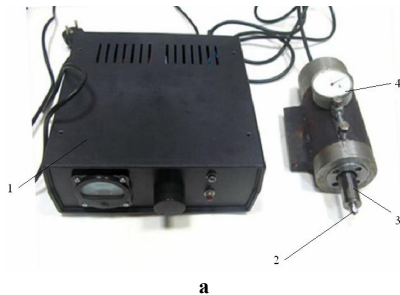


Рис.7. Ультразвукова установка (а) та креслення головки для вигладжування (б)

Експериментально і теоретично показано, що на зменшення величини зерна впливають деформації зсуву.

Запропонований підхід, який оснований на описі кінематики процесу деформування та визначенні НДС і енергосилових параметрів процесу з використанням замкнутої системи рівнянь суцільних середовищ [10, 11]. В цій постановці кінематично процес деформування при вигладжуванні включає переміщення матеріальних часток поверхневого шару по глибині і рух (зміщення) їх вздовж твірної інструменту:

$$\vec{V}_0 = \vec{V}_{\text{ед}} + \vec{V}_{\text{сд}},$$

де $\vec{V}_0$, $\vec{V}_{\text{ед}}$, $\vec{V}_{\text{сд}}$ – вектори швидкості матеріальних часток в осередку деформації, відповідно, загальний, за рахунок вдавлювання інструмента, зсуву за рахунок сил тертя.

Складові поля швидкостей вдавлювання використовуємо з роботи [10]. А складові поля швидкостей зсуву вибираємо з умов:

- максимального значення зсувних складових на вертикальній вісі (вдавлювання інструмента);
- рівності нулю зсувних складових на вільній поверхні заготовки.

Тоді компоненти вектора загального поля швидкостей мають вид:

$$V_z = \frac{V^2 (t_k - t) l}{\pi R r} \left(1 - \frac{z}{kl} \right)^2 \sin \frac{\pi r}{l};$$

$$V_z = \frac{V^2(t_k - t)}{\pi^2 k R r} \left(1 - \frac{z}{kl}\right)^2 \left(1 - \cos \frac{\pi r}{l}\right) + V_c \left(1 - \frac{r}{l}\right);$$

$$V_\theta = V_c \left(1 - \frac{z}{h}\right)^2 \left[\frac{\pi}{2} - \left(1 - \frac{2r}{l}\right)\theta\right],$$

де V – швидкість обробки вигладжуванням;

V_c – швидкість зсуву матеріальних точок поверхневого шару;

t – час обробки;

R – радіус заточки інструмента;

k – коефіцієнти глибини розповсюдження деформації $k = 1,5-2,0$;

l – радіус контактної плями інструмента з поверхнею заготовки;

h – глибина розповсюдження деформацій зсуву.

$$t_k = \frac{l}{V}.$$

Величина V_c і h_0 визначається з використанням мінімізації енергії деформування матеріалу в осередку деформації.

Запропонована модель процесу підтверджується розрахунками в системі ANSYS по розподіленню деформацій, питомої роботи деформування та контактному питомому зусиллю.

Отримані результати вигладжування титанових сплавів BT20, BT22 та інших впроваджуються на підприємствах авіабудівної галузі.

В рамках наукового напрямку вирішена актуальна науково-прикладна задача розроблення машинобудівної концепції виготовлення біметалевих трубчастих елементів (БТЕ), які використовують як перехідники в системах трубопроводів з різних металів. Робота виконана для авіадвигунобудівних підприємств України спільно з фахівцями Інституту електрозварювання (д.т.н. Лабура Т.М.). В роботі приймали участь співробітники НТУУ «КПІ» Борис Р.С. – відповідальний виконавець, к.т.н. Тривайло М.С., Вишневецький П.С., Лук'яненко О.О.

В роботі теоретично та експериментально обґрунтовано технологічний процес виготовлення шаруватих композицій сумісним витягуванням з потоншенням. Схема технологічного процесу представлена на рис. 8.

Теоретично показано, що в зоні зміни товщини шарів вздовж твірної циліндричного елемента виникає градієнт деформацій шарів з різних металів при одночасному навантаженні напруженням стиску (рис.9). Ці умови деформування при наявності відповідної температури нагріву та швидкості витягування сприяють створенню дифузійного з'єднання шарів.

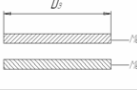
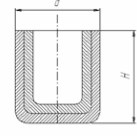
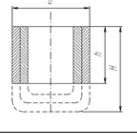
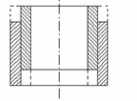
№ п/п	Назва операції	Ескіз операції
1.	Розкрій плоских заготовок	
2.	Сумісне витягування циліндричної деталі з потоншенням та нагрівом	
3.	Обрізка донної частини	
4.	Видалення частин окремих шарів для формування перехідних зон БТЕ	

Рис. 8. Схема технологічного процесу виготовлення БТЕ

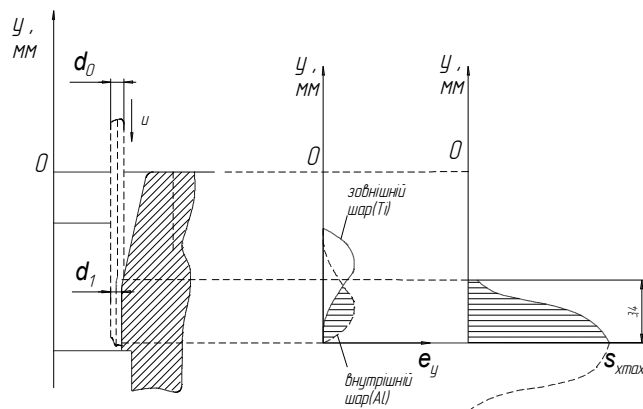


Рис.9. Зв'язок деформацій шарів біметалічного циліндричного елемента вздовж осі ОУ та радіальних напружень на контактній поверхні

На основі узагальнення робіт В.Р. Рябова та інших по зварюванню різномірних металів запропоновано діаграму, що визначає пари металів, які мають добрі властивості для зварювання (рис.10).

Для реалізації процесу розроблена комп'ютеризована установка для витягування циліндричного стаканчика з контролем параметрів температури, зусилля та переміщення (рис.11). Для нагріву заготовки використано струм високої частоти.

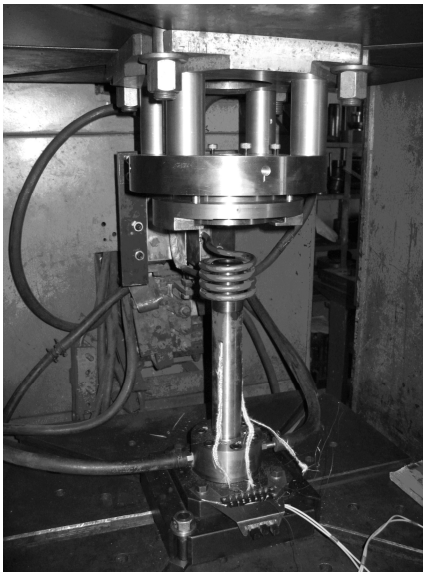


Рис. 11. Установка для процесу сумісного витягування

В рамках матеріалознавчого фактору забезпечення високих експлуатаційних властивостей виробів виконана робота по процесам структуроутворення методами інтенсивного пластичного деформування в ізотермічних умовах алюмінієвих та титанових сплавів для підвищення їх властивостей міцності. Робота виконувалась, як фундаментальна за бюджетною тематикою та в рамках співробітництва з ЗМКБ «Прогрес», м Запоріжжя (к.т.н. Кондратюк Е.В.). В роботі приймали участь співробітники НТУУ «КПІ»: Злочевська Н.К. – відповідальний виконавець, Калантир С.Ф., Кліско А.В., Добровлянський С.М., Вишневський П.С. та ін.

Для реалізації процесів спроектована та впроваджена автоматизована дослідна установка для ізотермічного пресування (рис. 13), яка забезпечила комп'ютеризовану обробку параметрів технологічного процесу в реальному часі пресування. На рис. 14 представлена типова матриця для ушірюючої гвинтової екструзії.



Експериментально показано, що застосування гвинтової та ушіряючої гвинтової екструзії дає можливість значно підвищити механічні властивості матеріалу: міцність на 16-20%; границі тривалої міцності на 8-10%; границі втомної міцності в 1,15-1,20 разів. Для структурно-неоднорідних матеріалів, наприклад евтектично-зміцнених титанових сплавів, процес забезпечує подрібнення та рівномірний перерозподіл армуючих компонент без їх відшарування від матричного сплаву.

Основні результати цього напрямку роботи представлені в публікаціях [23-37].

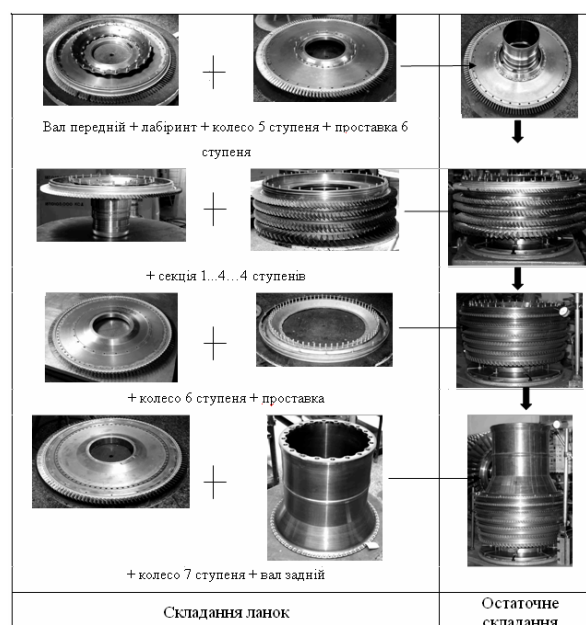
Обґрунтована та вирішена науково-практична задача підвищення ефективності і якості пружно-пластичного складання роторів барабанно-дискової конструкції, що мають нежорсткі ланки, за рахунок розробки ефективного технологічного забезпечення. Роботи виконуються НТУУ «КПІ» на замовлення ЗМКБ «Прогрес» (к.т.н. Кондратюк Е.В. та інші) спільно з Кіровоградським технічним університетом (д.т.н., проф. Філімоніхін Г.Б.).

На основі властивостей утворених пар при складанні ланок уперше розроблений та обґрунтований метод складання роторів барабанно-дискової конструкції (БДК), що заснований на віртуальній оптимізації положення ланок ротора для остаточного складання за результатами виміру радіальних і торцевих биттів контрольних поверхонь ланок при двох попередніх зборках ротора, які зроблені з певним розворотом ланок. Послідовність операцій, що реалізує метод складання, захищена патентом України № 33372.

Отримано аналітичні залежності для визначення характеристик пар ротора на основі пробних складань. Розроблено алгоритм вирішення задачі оптимального складання за результатами двох пробних складань, у якому використані рекурентні співвідношення для визначення характеристик пар ланок, а для вирішення задачі оптимізації використаний метод повного перебору можливих варіантів складання ротора. Програмне забезпечення, розроблене на основі алгоритму, використано для оптимізації положення ланок для остаточного складання ротора БДК за результатами двох пробних складань при виконанні технологічних процесів складання роторів ГТД при їх виготовленні та ремонті.

Експериментальна оцінка точності визначення характеристик пар по двох пробних зборках ланок показала, що похибка визначення становить 7-10%. Вона збільшується зі збільшенням похибки виготовлення ланок і не перевищує 20%.

Розроблені типові технологічні процеси складання роторів БДК, що задовольняють вимогам конструкторської документації (рис.15.).



Розроблений метод і технологічні процеси відпрацьовані при складанні роторів компресорів ГТД-18 та АІ-222 у виробництві ДП ЗМКБ «Прогрес» ім. О.Г. Івченко та впроваджені також на підприємствах ВАТ «Мотор Січ», ДП «Завод 410 ГА» для 11 типів авіаційних двигунів, у тому числі Д-27, Д-18Т, Д-36, АІ-222 та їх модифікацій, які застосовуються в сучасних літаках Ан-70, Ан-124, Ан-140 та інших.

Для забезпечення однакових вимог ISO 9001 та YACS/EN 9001 по виконанню технологічних процесів виробництва ГТД для конструкцій особливо відповідального призначення (відповідно до «Авіаційних правил» АП-145) розроблений галузевий нормативний документ СОУ-Н МПП 49.050-074.2006.

Основні результати робіт за цією тематикою опубліковані в роботах [38-45].

Економічний ефект робіт за науковим напрямом «Забезпечення ресурсу та експлуатаційної надійності виробів машинобудування технологічними методами» тільки за останній рік склав більше 1,5 млн. гривень.

Висновки

1. Постійне удосконалення ефективних наукоємких виробів машинобудування ставить актуальні науково-прикладні задачі. Їх вирішення за рахунок розробки ефективних технологічних методів, теоретичного та експериментального обґрунтування процесів, забезпечує при впровадженні у виробництво підвищення ресурсу та експлуатаційної надійності виробів.

2. Розроблені на кафедрі МПМ та РП НТУУ «КПІ» технологічні процеси та технічне забезпечення для їх реалізації спільно з широким колом промислових підприємств та наукових установ забезпечує високу ефективність впроваджених процесів в конструкції сучасних газотурбінних двигунів.

Список літератури

1. Технологія виробництва авіаційних двигунів. Частина III. Методи обробки деталей авіаційних двигунів / Богуслав В.О., Качан О.Я., Яценко В.К., Долматов А.І., Богуслав О.В., Мозговий В.Ф., Кореневський С.Я., Тітов В.А. – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2008 – 639с.
2. Опыт реализации системного подхода в научно-техническом обеспечении ресурса и надежности деталей ГТД технологическими методами / Жеманок П.Д., Мозговой А.Ф., Качан А.Я., Титов В.А. – Технологические системы, №4, 2004.–с.99-107
3. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства. – К.: КВЦ, 1997. – 459с.
4. Мозговой В.Ф., Титов В.А., Качан А.Я. Особенности комплексной оценки деформационных параметров поверхностного слоя при изготовлении тонкостенных валов ГТД / Технологические системы – 2000, №2. – с. 56-65.
5. ГРЗ-010-2010. Поверхневе зміцнення валів компресорів газотурбінних двигунів алмазним вигладжуванням – Міністерство промислової політики України, 2001. – 35с.
6. Титов В.А., Никитенко В.А., Титов В.А., Пливав А.А., Лавриненков А.Д. Особенности алмазного выглаживания сплава ВТ-22 с дополнительным ультразвуковым воздействием на инструмент // Обработка материалов давлением. 2009. – №1(20). – С 166-172
7. Титов А.В., Хохлова Ю.А., Лавриненков А.Д. Некоторые особенности формирования свойств поверхностного слоя при ультразвуковом выглаживании // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». 2009. – №56. – с. 140-147
8. Патент України на корисну модель №40566. Пристрій для обробки циліндричних поверхонь. А.В. Тітов, В.М. Яворовський, М.С. Тривайло, А.Д. Лавриненков, опубл. 10.04.09.
9. Патент № 48055 Україна. Спосіб зміцнення поверхонь металевих деталей / Тітов В.А., Пейчев Г.І., Луговський О.Ф., Кондратюк Е.В., Тривайло М.С., Тітов А.В. – опубл. 10.03.2010, бюлетень №5
10. Титов В.А., Титов А.В. Некоторые перспективные направления развития процессов выглаживания конструкционных материалов / Вестник НТУ «ХПИ» - Харьков, 2009, №32, - с.78-86
11. Титов А.В. Повышение эффективности выглаживания различных конструкционных материалов за счет управления скоростными и силовыми параметрами нагружения инструмента – Вісник НТУУ «КПІ», серія Машинобудування, 2010, №59. – с.121-125.
12. Титов В.А., Борис Р.С. Розробка структури машинобудівної технології виготовлення біметалевих елементів та теоретичні підстави для її реалізації. – Вестник Национального технического университета Украины «КПИ», серия «Машиностроение», Киев, 2006 №49.
13. Тітов В.А., Лабур Т.М., Борис Р.С. Обґрунтування підстав для створення машинобудівної технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням / Технологические системы. – 2007. – №1. – с. 33-39
14. В.А. Тітов, Р.С. Борис, М.С. Тривайло Напрямки розвитку способів виготовлення біметалевих трубчастих елементів з різнорідних матеріалів витягуванням. – Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія «Машинобудування», Київ, 2009, №56. – с. 154-159
15. Тітов В.А., Борис Р.С. Дослідження процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов – 2009. - №2 (21). – с. 173-178
16. Тітов В.А., Борис Р.С., Вишневський П.С., Лук'яненко О.О. Обґрунтування та реалізація дослідного процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів. – Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія «Машинобудування», Київ, 2010, №59. – с. 13-18
17. Пат. №30195 Україна, МПК В21С 23/22, В21D 22/00, В23К 20/00. Спосіб виготовлення біметалевих виробів/ В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Р.С. Борис (Україна) НТУУ. – № u2007 13002 Заявл. 23.11.2007; Опубл. 11.02.2008, Бюл. №3.
18. Пат. №30508 Україна, МПК В23К 20/00, В21К 5/00. Спосіб виготовлення біметалевих виробів/ В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Р.С. Борис (Україна) НТУУ. – № u2007 13006 Заявл. 23.11.2007; Опубл. 25.02.2008, Бюл. №4.
19. Пат. №31541 Україна, МПК В21D 22/20. Штамп для виготовлення біметалевих виробів/ М.С. Тривайло, В.А. Тітов, Р.С. Борис (Україна) НТУУ. – № u2007 14335 Заявл. 19.12.2007; Опубл. 10.04.2008, Бюл. №7.
20. Пат. №31540 Україна, МПК В21С 23/22, В21D 22/20. Спосіб виготовлення біметалевих виробів з листових заготовок/ В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Р.С. Борис (Україна) НТУУ. – № u2007 14335 Заявл. 19.12.2007; Опубл. 10.04.2008, Бюл. №7.
21. Пат. №34443 Україна, МПК В21 С23/22, В23К 20/00, В21D 22/30. Спосіб виготовлення біметалевих виробів/ М.С. Тривайло, В.А. Тітов, Р.С. Борис, А.В. Тітов, С.В. Честнов (Україна) НТУУ. – № u2007 14338 Опубл. 11.08.2008, Бюл. №15.
22. Пат. № 43275 Україна, МПК В21D 22/20. Штамп для виготовлення біметалевих виробів/ В.А. Тітов, М.С. Тривайло, О.В. Холявік, Р.С. Борис, А.В. Кліско (Україна) НТУУ. – № u2009 02424 Опубл. 10.08.2009, Бюл. №15.

23. Добровлянський С.М., Вишневецький П.С. Калантир С.Ф., Злочевська Н.К. Установка для дослідження пресування в ізотермічних умовах. Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2009. № 56. с. 189-192.
24. Титов В.А., Злочевская Н.К. Определение эффективных упругих характеристик композитов с несовершенным контактом компонентов. Наукові нотатки Луцького національного технічного університету Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка») – 2009. № 25, частина II. с. 276-280.
25. Злочевська Н.К., Тітов В.А. Аналітична оцінка інтенсивності деформацій металу у гвинтовому каналі. Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2007. № 50. с. 146 – 149
26. Титов В.А., Злочевская Н.К., Алексеенко О.В. Моделирование процессов пластического деформирования композиционных материалов с учетом топологических особенностей структуры Обработка материалов давлением. №2(21). – 2009. С. 106-114.
27. Добровлянський С.М., Вишневецький П.С., Калантир С.Ф., Злочевська Н.К. Розробка системи виміру та методика тарування датчика зусилля. Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2009. №57. с. 208–210
28. Титов В.А., Лавріненков А.Д., Злочевская Н.К. Деякі особливості пластичного деформування металевих композиційних матеріалів з армуючи ми компонентами довільної форми. Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2010. №59. с. 135-138 с.
29. Тітов В.А., Рядинський В.І., Акопян В.В. Розробка програмного забезпечення розрахунку напружено-деформованого стану та енергосилових параметрів процесів пластичного формоутворення//Вестник НТУУ КПИ. Машиностроение, вып.54.–Київ.–2008. –С. 31-36.
30. Тітов В.А., Шмелева Л.В., Калантьрь С.Ф., Акопян В.В. Кинематическая модель закрытой прошивки коническим пуансоном//Вестник НТУУ КПИ. Машиностроение, вып.54.–Київ.–2009. –С. 149-154.
31. Тітов В.А., Калантир С.Ф., Кліско А.В., Злочевська Н.К. Експериментальне дослідження впливу геометрії інструменту та схеми пресування на якість трубчатих виробів та економію металу. Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2008. № 52.с. 366-371.
32. Патент України № 34304. Матриця для пресування виробів. В.А. Тітов, М.С. Тривайло, С.Ф. Калантир, Р.С. Борис, В.В. Акопян, опубл. 28.08.08.
33. Патент України № 34404. Матриця для горячего пресування. В.А. Тітов, М.С. Тривайло, С.Ф. Калантир, Р.С. Борис, Н.К. Злочевська опубл. 28.08.08.
34. Патент України № 37997. Матриця для пресування. В.А. Тітов, М.С. Тривайло, С.Ф. Калантир, Н.К. Злочевська опубл. 28.08.08.
35. Патент України № 41526 Спосіб пресування виробів. В.А. Тітов, М.С. Тривайло, С.Ф. Калантир, Н.К. Злочевська, опубл. 28.08.08.
36. Патент України № 40862 Спосіб пресування виробів. В.А. Тітов, М.С. Тривайло, С.Ф. Калантир, Н.К. Злочевська, В.В. Піманов опубл. 28.08.08.
37. Патент України № 35489. Інструмент для пресування труб. В.А. Тітов, М.С. Тривайло, С.Ф. Калантир, С.Ф. Сабол, Ю.П. Бородій опубл. 28.08.08.
38. Кондратюк Э.В. Учет коробления и неточности изготовления деталей при прогнозировании результатов сборки роторов ГТД / Кондратюк Э.В., Титов В.А., Филимоныхин Г.Б. // Вестник двигателестроения. – 2005. - №1. – с.61-68.
39. Кондратюк Э.В. Сборка ротора барабанно-дисковой конструкции методом двух пробных сборок / Кондратюк Э.В., Титов В.А., Филимоныхин Г.Б. // Технологические системы. – 2005. - №1. с.30-34.
40. Кондратюк Э.В. Сборка ротора КВД газотурбинного двигателя Д-18Т методом двух пробных сборок и последовательной оптимизации // Технологические системы. – 2005. - № 2. с.10-16.
41. Кондратюк Э.В. Сборка ротора КВД газотурбинного двигателя методом двух пробных сборок и полной оптимизации / Кондратюк Э.В., Филимоныхин Г.Б. // Технологические системы. – 2005. - № 4 (30). с.9-14.
42. Кондратюк Э.В. Анализ характеристик пар. Образующих стыковой звеньев ротора ГТД барабанно-дисковой конструкции / Кондратюк Э.В., Титов В.А., Филимоныхин Г.Б. // Вестник национального технического университета Украины «КПИ». – 2005 . №47 – с.16-19.
43. Кондратюк Э.В. экспериментальное определение характеристик пар, образующих стыковой звеньев ротора КВД / Кондратюк Э.В., Титов В.А., Филимоныхин Г.Б. // Технологические системы. – 2005. - №5-6 (31-32). с.50-55.
44. СОУ-Н МПІ 49.050-074:2006. Складання роторів газотурбінних двигунів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних зборок / Е.В. Кондратюк, В.А. Тітов, Г.Б. Філімоніхін // Настанова Міністерства промислової політики України, 2006. – 32с.
45. Патент № 33372 Україна. Спосіб складання ротора газотурбінного двигуна / Кондратюк Е.В., Пейчев Г.І., Тітов В.А., Тривайло М.С., Філімоніхін Г.Б. – опубл. 25.06.2008, бюлетень №12.