

УДК 621.77:669.2

## ПРОГРЕСИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРУ ГТД З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕНСИВНОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Павленко<sup>1</sup> Д.В., Тарасов<sup>2</sup> О.Ф., Лоскутов<sup>1</sup> С.В., Щетініна<sup>1</sup> М.О., Коцюба<sup>3</sup> В.Ю.

1 – Запорізький національний технічний університет, м.Запоріжжя, Україна

2 – Донбаська державна машинобудівна академія, м.Краматорськ, Україна

3 – АТ «МОТОР СІЧ», м.Запоріжжя, Україна

***Анотація:** Дослідження спрямоване на розробку ресурсозберігаючих технологій виготовлення лопаток компресору для газотурбінних двигунів безпілотних літальних апаратів вітчизняного виробництва (крилатих ракет) з підвищеним рівнем механічних властивостей та низькою собівартістю. Це досягається за допомогою застосування методів інтенсивної пластичної деформації (ІПД) вихідних заготовок та прогресивних методів обробки аеродинамічних поверхонь лопаток. Встановлено, що застосування інтенсивної пластичної деформації (методом гвинтової екструзії) з подальшою термічною обробкою заготовок лопаток дозволяє забезпечити регламентовану структуру та підвищити комплекс експлуатаційних характеристик лопаток компресору. Розроблено технічне завдання на проектування спеціальної дослідно-промислової установки для ІПД методом гвинтової екструзії.*

***Ключові слова:** Лопатка компресору, гвинтова екструзія, залізнікелеві сплави, субмікросталічна структура, деформація*

На підставі огляду, аналізу та систематизації сучасної інформації щодо впливу методів ІПД конструкційних матеріалів для авіадвигунобудування та прогресивних технологій виготовлення лопаток компресору газотурбінних двигунів з титанових та залізнікелевих сплавів типу ЕП 718-ІД, Inconel 718 на структуру та фізичні і механічні властивості встановлено, що найбільш раціональною є технологія виготовлення лопаток компресору, в якій використовується ІПД вихідного напівфабриката та його наступна обробка для отримання готового виробу. Встановлено, що раціональним методом ІПД є гвинтова екструзія.

Дослідження структури зразків з залізнікелевих сплавів дозволили розробити технологічні рекомендації з формування в них субмікросталічної структури.

Показано, що ІПД вихідних напівфабрикатів зі сплавів типу ЕП 718-ІД є ключовою операцією у розробленому способі виготовлення заготовок лопаток компресора, при якому вихідну призматичну заготовку піддають ІПД методом гвинтової екструзії при температурі технологічного оснащення і заготовки у діапазоні 300 ... 400<sup>0</sup>С. Після кожного циклу деформування заготовки піддають термічній обробці шляхом нагрівання до температури 940 ... 995<sup>0</sup>С з наступним охолодженням у воді. Після цього заготовки із субмікросталічною структурою піддають операціям періодичної прокатки, вирубки, штампуванню і калібруванню при температурах, на 30% менших за температури, які застосовують при обробці тиском заготовок з залізнікелевих сплавів.

Для реалізації методу було проведено аналіз умов гвинтової екструзії, який дозволив встановити, що існує два альтернативних варіанта її реалізації. Перший з них передбачає деформування в діапазоні температур 940...995 °С. Другий варіант, найбільш перспективний з точки зору практичної реалізації в умовах серійного виробництва малорозмірних лопаток компресора ГТД, передбачає деформування в діапазоні температур 300...400 °С. Встановлені раціональні методи та режими ІПД залізнікелевих сплавів типу ЕП718-ІД, Inconel 718 дозволяють забезпечити покращення структури та підвищення фізичних та механічних властивостей, а також технологічної плинності заготовок і, як наслідок, знизити собівартість виготовлення лопаток компресору та підвищити їх якість.

Застосування пропонованого способу дозволяє забезпечити збільшення граничного ступеня деформації заготовок на кожному переході операцій прокатки і штампування в 2...2,5 рази, що поряд зі зниженням температури деформації дозволяє значно знизити витрати енергетичних ресурсів, а значить і собівартість виготовлення лопаток компресора ГТД при забезпеченні високого рівня їх якості.

Для зниження собівартості отримання напівфабрикатів заготовок лопаток ГТД, враховуючи відносно високу собівартість обробки гвинтовою екструзією, запропонована технологія, яка передбачає застосування гвинтової екструзії на перших етапах технологічного процесу у той час, як наступна деформація виконується методами реверсивного зрушення та АВС-куванням (рис. 1). Така схема побудови технологічного процесу є особливо актуальною при виробництві напівфабрикатів зі спечених заготовок, наприклад, титанових сплавів, так як гвинтова екструзія забезпечує високий рівень гідростатичного тиску та виключає їх руйнування.

З врахуванням особливостей пластичної деформації залізонікелевих сплавів типу ЕП718-ІД та титанових сплавів розроблено технічне завдання на проектування спеціальної дослідно-промислової установки для ПД методом гвинтової екструзії, яка є основним устаткуванням для реалізації запропонованої технології. Підвищення її надійності та ефективності роботи у порівнянні з аналогічними існуючими установками забезпечується за рахунок того, що бандаж приймального контейнера закріплений на верхній проміжній плиті, а приймальний контейнер закріплений на нижній проміжній плиті, тяги закріплені на колонках, які встановлені на верхній базовій плиті і контактують з втулками, розміщеними на верхній проміжній плиті і забезпечують співвісність верхнього пуансона і матриці, клиновий пристрій виконано у вигляді двох симетрично розташованих щодо вісі штампа клинів, встановлених між нижньою проміжною плитою і нерухомою основою штампа.

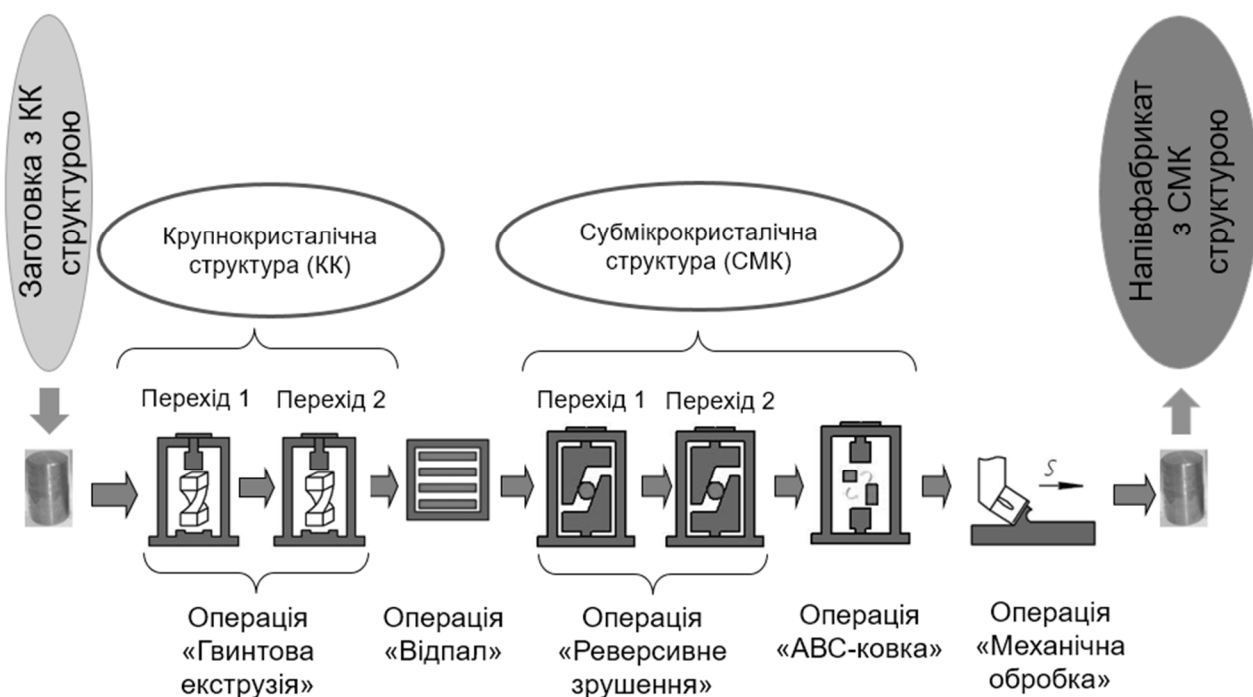


Рис. 1. Схема технологічного процесу отримання напівфабрикатів лопаток компресору

Нерухоме закріплення бандажу приймального контейнера на верхній проміжній плиті збільшує площу опори матриці на верхню проміжню плиту і забезпечує передачу технологічного зусилля пресування від матриці на основу, а також підвищує точність позиціонування приймального контейнера щодо матриці. Закріплення приймального

контейнера на нижній проміжній плиті дозволяє вводити та виводити його з бандажа, розташованого на верхній проміжній плиті, зусиллям преса (за рахунок зв'язку з тягами та наявності фіксаторів), притиснути його до нижнього торця матриці і зафіксувати нижню проміжну плиту та приймальний контейнер у верхньому положенні, і в такий спосіб забезпечити надійний контакт приймального контейнера з матрицею.

Закріплення тяг на колонках, які встановлені на верхній базовій плиті і контактують з втулками, розміщеними на верхній проміжній плиті, спрощує конструкцію за рахунок того, що тяги практично суміщені з колонками. Наявність колонок і втулок забезпечує співвісність верхнього пуансона і матриці. Виконання клинового пристрою вказаної конструкції дозволяє забезпечити фіксацію нижньої проміжної плити та бандажа у верхньому положенні і передати зусилля притиску приймального контейнера до нижнього торця матриці на основу штампа. При цьому клини сприймають тільки сили тертя заготовки об стінки приймального контейнера.

Таким чином встановлено, що використання в технологічному процесі виготовлення лопаток методів ПД на заготівельному етапі за допомогою розробленої конструкції дослідно-промислової установки та спеціального технологічного оснащення дозволяє скоротити технологічний ланцюг виготовлення, підвищити їх фізичні і механічні властивості та, як наслідок, суттєво знизити собівартість виготовлення лопаток компресору газотурбінних двигунів літальних апаратів.