УДК 621.438

Качан О. Я., докт. техн. наук, професор
Уланов С. О., доктор філософії
Шаломєєв А. В., аспірант
Шаломєєв В. В., аспірант
Національний університет «Запорізька політехніка», ulanov@zp.edu.ua

ВПЛИВ УМОВ ДЕФОРМУВАННЯ НА ПОВЕРХНЮ ПЕРА ЛОПАТОК КОМПРЕСОРА ГТД З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

У сучасному авіаційному двигуні широкого застосування набули титанові сплави, частка яких сягає понад 35 %. Титанові сплави здебільшого використовують для виготовлення компресорів - дисків, лопаток, напрямних апаратів, кілець тощо, що дає змогу зменшити масу авіаційних двигунів і збільшити надійність їхньої роботи.

Основним методом отримання заготовок деталей авіаційного двигуна є обробка тиском. Обробка тиском заснована на використанні пластичності металів і сплавів, під якою розуміють здатність металів змінювати залишково свою форму, деформуватися як у холодному, так і гарячому стані без руйнування під впливом зовнішніх зусиль.

Пластичне деформування здійснюється різними способами: прокаткою, вільним куванням, об'ємним штампуванням, пресуванням, волочінням і листовим штампуванням [1].

Опір деформації титанових сплавів різко змінюється у разі зміни температури деформації, наприклад, зниження температури деформації сплаву ВТ5 з 1000 °С до 950 °С підвищує питомі зусилля з 170 МН/м^2 до 400 МН/м^2, тобто приблизно в 2,5 рази [2].

Дослідження, проведені під час точного штампування робочих лопаток компресора двигуна Д-436 зі сплаву ВТ8, виявили умови отримання нерівномірної деформації та появи зон інтенсивної течії металу. На рис. 3 представлено макроструктуру поверхні пера робочих лопаток компресора зі сплаву ВТ8, отриманих точним штампуванням, з наявністю тонких блискучих смуг як з боку спинки, так і з боку корита. Точне штампування цих лопаток за різних температур деформації здійснювали за один хід інструменту з попередньої заготовки, отриманої видавлюванням із прутка діаметром 30 мм. Дослідження показало, що під час деформації за температури - 55 °С (вихідного прутка 965 °С) на поверхні пера лопатки після стандартної термообробки під час макроаналізу виявлено тонкі блискучі смуги. Аналогічно на рис. 2 представлено макро- і мікроструктуру заготовки лопатки, відштампованої за ще нижчої температури (- 65 °С).

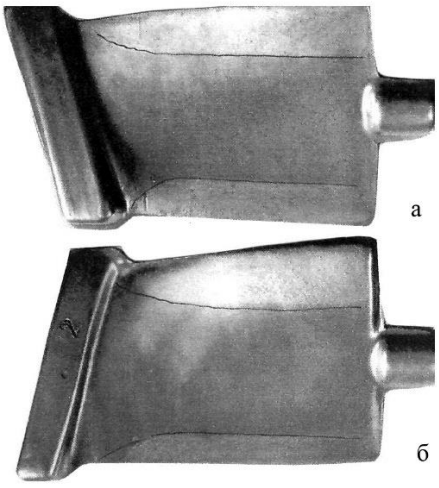
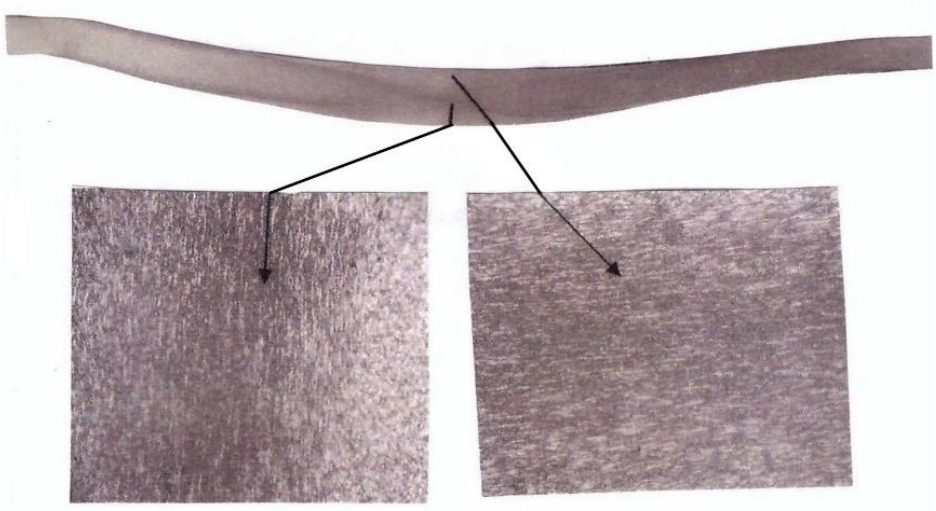


Рис. 1 – Макроструктура поверхні пера робочих лопаток компресора зі сплаву ВТ8



а б

Рис. 2 – Макро- (а) і мікроструктура (б) у лініях інтенсивної течії металу пера лопатки відштампованої за низької температури ($T_{ПП}$ – 65 °С)

Під час дослідження макроструктури в цих зонах спостерігаються ділянки з різним світловим ефектом травимості, зони утрудненої та інтенсивної деформації, «кувальні хрести», простріли. Зони утрудненої деформації зберігають структуру вихідної заготовки. Макроструктура у вигляді темних ліній утворюється, як правило, при високому ступені деформації за один нагрів і температурі - значно нижчій за температуру поліморфного перетворення. Лінії інтенсивної течії металу мають велику локальну деформацію.

Дослідження зон різної травимості рентгеноспектральним аналізом на растровому електронному мікроскопі JSM6360LA показали відсутність будь-якої хімічної неоднорідності металу. А мікротвердість у зонах інтенсивної течії і в основному матеріалі, виміряна на приладі ПМТ-3 при навантаженні 50 г, виявилася однаковою.

Фонова відмінність поверхні пера свідчить про характер течії металу поверхнею інструменту і являє собою зону ускладненої деформації, за якої відбивається відбиток торкання попередньої заготовки у формі кола зі штампом. У середній частині пера заготовки лопатки в районі максимальної товщини є поздовжня смуга, що має відмінне від основної поверхні фон, що являє собою лінію інтенсивної течії (ЛІТ) металу (рис. 3, а).

Збільшення температури штампування до (- 30 °С) призвело до того, що ЛІТ стали менш вираженими і займають меншу ділянку перерізу пера (рис. 3, б).

а б

Рис. 3 – Мікроструктура поперечного перерізу пера лопатки (див. рис. 1) при штампуванні з температурою $T_{ПП}$ – 55 °С (а) і $T_{ПП}$ – 30 °С (б) з ЛІТ

Список посилань

1. Обработка металлов давлением: учебник: в 2 кн. / В. А. Богуслаев, В. В. Борисевич, В. К. Борисевич, С. А. Бычков, А. И. Долматов и др. Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. Кн. 1: Прокатка, ковка, штамповка. 419 с.

2. Качан А. Я., Уланов С. А. Влияние условий деформирования титановых сплавов на качество поверхности пера компрессорных лопаток. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні.* 2021. № 2. С. 26–31.