

Майборода В.С.¹, Налімов Ю.С.²

(¹КПІ ім. Ігоря Сікорського»; ²ІПМ ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ)

**ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ТА
ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
СПЛАВІВ АВІАЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

E-mail: maiborodavs@gmail.com

Забезпечення підвищеної довговічності виробів, які експлуатуються в умовах знакозмінних навантажень, безсумнівно, є актуальною проблемою. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є цілеспрямований вплив і формування специфічних властивостей поверхневого шару деталей, тому що саме в поверхневих шарах деталей при їх експлуатації, як правило, виникають підвищені напруження, які сприяють зародженню тріщин втоми. Крім того супутніми факторами, що негативно впливають на опір втоми, є мікроконцентратори напружень у вигляді підвищеної шорсткості поверхні, мікроподряпин, позитивні внутрішні напруження як першого, так і другого роду, які пов'язані з технологічною спадковістю виготовлення виробів, «структурні надрізи» у вигляді окремих аномально великих зерен у поверхневих шарах, що є причиною спотворення або навіть локальної зміни напруженого стану в місцях їх розташування, мікротріщини і т. ін. Виходячи із зазначеного, при виготовленні відповідальних деталей, таких, наприклад, як лопатки ГТД, особливу увагу приділяють методам фінішного оброблення з метою формування особливих властивостей поверхневих шарів виробів. Саме методи фінішної поверхневої обробки дають змогу в більшості випадків забезпечити формування властивостей поверхневих шарів виробів, які позитивно впливають на гальмування процесів, пов'язаних із зародженням тріщин втоми та їх розвиненням. Традиційно до таких методів можна віднести методи поверхневого пластичного деформування, методи дифузійного насичення поверхневого шару, методи фізичного осадження спеціальних покриттів з наступним зміцненням перехідного шару матеріалу, що знаходиться під покриттям, для усунення ефекту «скляної сорочки» в перехідній зоні субстрат-покриття. Іншими словами – це методи, що забезпечують

формування в поверхневих шарах деталей підвищеної щільності дефектів у вигляді скупчень дислокацій, які знаходяться в загальмованому, малорухливому стані в результаті їх переплетіння та оточення атмосферами Коттрелла, які складаються з дифузних атомів. Наявність таких дефектів у поверхневих шарах сприяє уповільненню процесу розсіяного накопичення пошкоджень при циклічному навантаженні виробів і гальмує поширення тріщин втоми.

Одним із перспективних підходів, які використовуються для забезпечення формування в поверхневих шарах виробів підвищеної щільності дефектів, є комплексна обробка, яка складається із комбінування методів субструктурного зміцнення поверхневого шару в процесі магнітно-абразивної обробки (МАО) та твердодорозчинного зміцнення в процесі хіміко-термічної обробки (ХТО). При цьому в поверхневому шарі створюється підвищена щільність малорухливих дислокацій, оточених дифузійними атомами проникнення, та спотворюється кристалічна ґратка.

Експериментальні дослідження виконували на корсетних зразках із сплавів ВТ9 і ЕК61 з круглим поперечним перерізом, які мають діаметр робочої частини 5 мм та довжину 140 мм (рис. 1).

Вибір зазначеного типу зразків обумовлено тим, що, по-перше, локалізується місце руйнування при їх консольному розташуванні на вібростенді і, по-друге, така форма зразків зручна для проведення магнітно-абразивного і хіміко-термічного оброблення, тому що виключається можливість прояву різноманітних крайових ефектів. Робочу частину зразків обробляли в три етапи: МАО+ХТО+МАО. На першому етапі виконували активацію поверхні зразків методом МАО. При цьому мало місце зміцнення поверхневого шару на глибину до 10-50 мкм і більше внаслідок пластичного деформування і формування в поверхневому шарі залишкових стискальних напружень [1]. Крім того, встановлено зниження шорсткості поверхні до Ra 0,12-0,15 мкм.

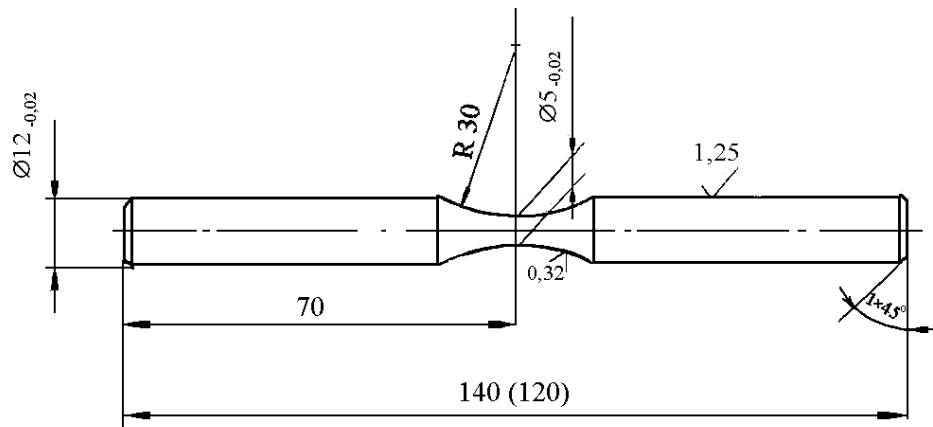


Рис. 1. Ескіз зразка для випробувань на втому

Процес оброблення виконували на установці типу кільцева ванна [1] при швидкості МАО 3 м/с, магнітній індукції в робочій зоні 0,2 Тл і часі оброблення 2 хв. Використовували суміш магнітно-абразивних порошків Полімам-Т з розміром частинок 200/100 мкм і ПР Р6М5 з розміром частинок 100/63 мкм.

Наступний етап – ХТО для титанових зразків – виконували в насичувальному середовищі, яке утворюється при розпаді солі оксалату амонію при температурі 823 К [2]. Для зразків з сплаву ЕК61 використовували модифікацію методу ХТО – іонно-плазмове термоциклічне азотування (ПТА) [3].

Заключний етап оброблення – МАО при режимах, зазначених вище. Заклучна МАО виконувалась з метою отримання низької шорсткості робочих поверхонь, видалення тонкого розрихленого шару, який утворився при ХТО, і додаткового зміцнення. Оброблені за комплексною технологією зразки досліджували на опір втомі. Результати досліджень представлені на рис. 2 і рис. 3. Встановлено, що після комплексної тристадійної обробки (МАО + ХТО + МАО) титанових зразків межа витривалості на базі досліджень 10^7 циклів складає 1016 МПа, в той час як для зразків у вихідному стані – 715 МПа. Подібне зростання величини межі витривалості пов'язано з утворенням у поверхневому шарі зміцненого шару, який сприяє гальмуванню процесу розсіяного накопичення пошкоджень і розповсюдженню тріщин від втоми. Треба зазначити, що тріщини

втоми зароджуються під шаром твердого розчину і не мають локалізованого характеру, що було підтверджено результатами аналізу поверхонь зламів.

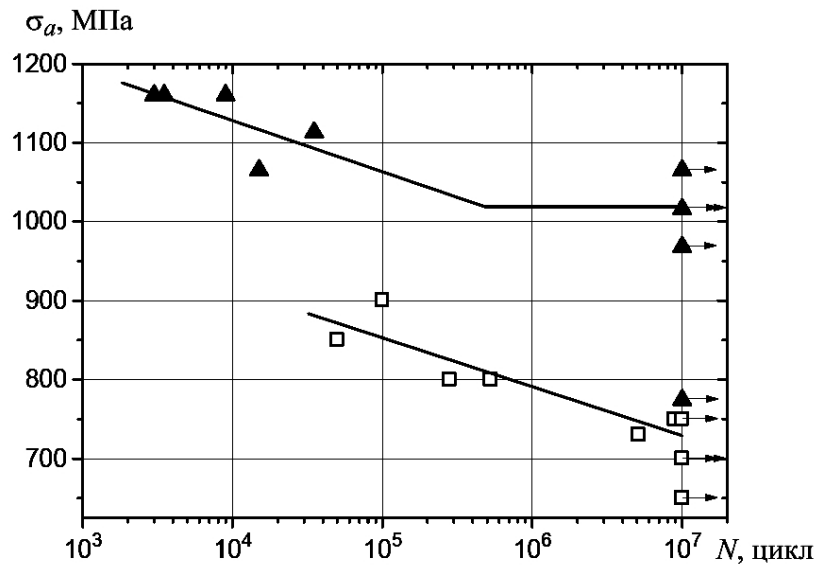


Рис. 2. Лінії регресії кривих втоми зразків із сплаву ВТ9 у початковому стані ($\square$), та після комплексної обробки МАО + ХТО + МАО ($\blacktriangle$)

Результати випробувань показали, що границя витривалості зразків із сплаву ЕК61 у початковому стані на базі $N = 10^7$ циклів дорівнює 400 МПа, а зразків після комплексної обробки – 475 МПа, тобто на 19 % вище, ніж у початковому стані. Однак, границя витривалості зразків після комплексної обробки могла б бути вищою, оскільки рівень напружень двох зразків, які витримали базу випробувань $N = 10^7$ циклів, сягає 500 МПа, а третій зразок (на рис. 3) позначений зірочкою зруйнувався при $N = 0,38 \cdot 10^7$. Аналіз зображень поперечного перерізу цього зразка в місці руйнування свідчить про наявність у структурі сплаву суттєво різномірних за розмірами зерен, а загальний вигляд зламу свідчить про те, що зародження первинної транскристалітної тріщини відбулося біля поверхні зразка в місці, де розташовано аномально крупне зерно і де діють максимальні напруження при випробуваннях. Це пояснюється тим, що сплав має градієнтну структуру, зі зміною розміру зерен у радіальному напрямку. У центрі сформовано крупнозернисту структуру, а на поверхні – дрібнозернисту. Тому передчасне руйнування досліджуваного зразка, вірогідно, є наслідком особливостей структурної будови сплаву.

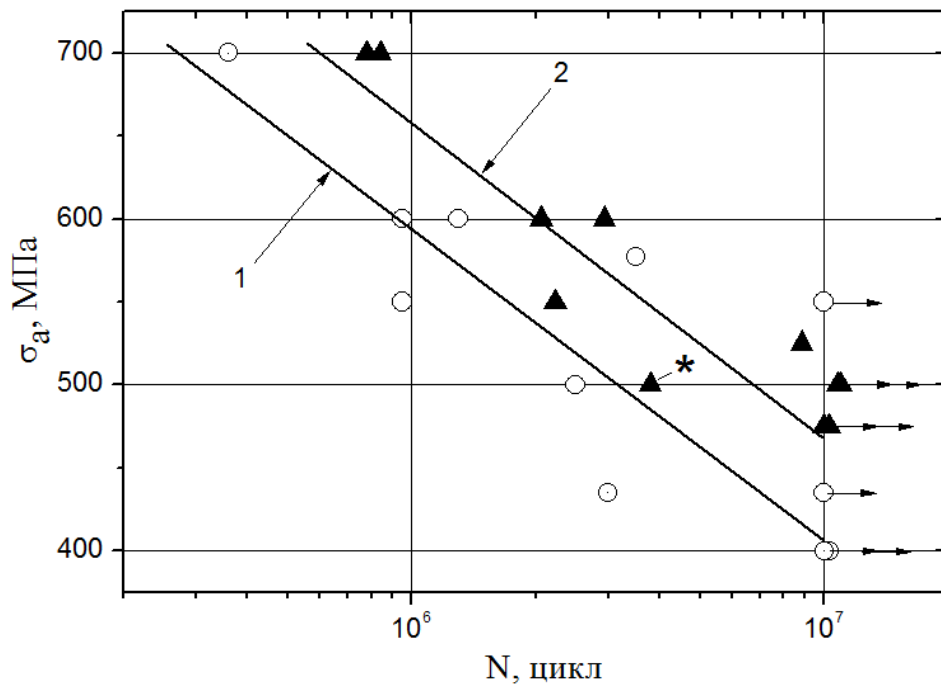


Рис. 3. Результати випробувань зразків із сплаву ЕК61 на втому у початковому стані (1) та після комплексної обробки МАО + ПТА + МАО (2)

Література:

1. Майборода В.С., Слободянюк И.В., Джулий Д.Ю. Магнитно-абразивная обработка деталей сложной формы. – ПП «Рута», 2017. – 272 с.
2. Пат. 43732 U Україна МПК 12/00 (2009). Комбінований спосіб нанесення дифузійних покриттів / М.М. Бобіна, В.С. Майборода, А.Б. Бобін та ін. – опубл. 25.08.2009. – Бюл. №16.
3. Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковский, В.І. Мироненко, О.В. Радько. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому і тліючому розряді, Пат. 10014 Україна, Чинний від 15.12.2006. – Бюл.№12.