

УДК 621.787:620.178.151.4

Д.І. Борисов

ВПЛИВ СТАНУ ПОВЕРХНІ МАТЕРІАЛУ НА ПОКАЗНИКИ МІКРОІНДЕНТУВАННЯ

НАУ, кафедра конструкцій літальних апаратів, e-mail: denysbor@mail.ru

Наведено результати локального наноіндентування поверхні алюмінієвого сплаву Д-16АТ з плакованим шаром і без плакування при різних станах поверхні. Показано, що полірування плакованого матеріалу не створює в ньому істотних внутрішніх напружень.

Вступ

Однією з найбільш актуальних проблем під час прогнозування залишкового ресурсу є розробка методів контролю й оцінки поточного технічного стану деталей. Об'єктом контролю, як правило, виступає поверхневий шар деталі, тому що процеси деформування й руйнування в ньому відбуваються більш інтенсивно порівняно з іншим обсягом матеріалу.

Традиційним методом вивчення механічних властивостей поверхневих шарів є індентування – метод, що базується на визначенні опору матеріалів удавлюванню в поверхню індентора [1–3].

Аналіз стану проблеми

Стан поверхні впливає на результати вимірів мікротвердості. Основні причини впливу стану поверхні на результати індентування такі [4]:

- явище зміцнення, що відбувається під час деформування поверхневого шару в процесі підготовки шліфа до дослідження;
- можливе розпушення поверхневого шару під час деформування, окиснювання або рекристалізації.

Особливо суттєво на стан поверхневого шару впливає наклеп. Цей фактор повинен враховуватися тому, що основним параметром при індентуванні є глибина вдавлювання індентора.

Для визначення характеристик мікротвердості методом індентування звичайно виконується полірування поверхні зразків. Якщо висота мікронерівностей зіставляється з розмірами відбитка, то це призводить до значного розкиду характеристик мікротвердості [5]. Для якісного їх визначення потрібно підготувати гладку поверхню, наприклад, механічним поліруванням.

Під час полірування у поверхневому шарі відбуваються залишкові напруження [6], які змінюють пружно-пластичні характеристики поверхневого шару матеріалу.

Експериментальні дослідження свідчать про можливість істотного спотворення результатів виміру мікротвердості внаслідок інтенсивної й нерівномірної деформації поверхні металографічних шліфів при поліруванні [4]. Одним із способів зняття залишкових напружень є випалення зразків.

Мета роботи – вивчення впливу стану поверхні алюмінієвого сплаву Д-16АТ після полірування на показники мікротвердості, а також визначення доцільності виконання випалення при індентуванні полірованої поверхні.

Методика проведення експерименту

Дослідження авіаційного конструкційного сплаву на основі алюмінію Д-16АТ з плакованим шаром і без плакування проводилися методом безперервної реєстрації глибини вдавлювання індентора вікерса силою 0,2; 0,15; 0,1 Н [7].

Товщина плоского зразка становила 1 мм, товщина плакованого шару становила 4% від товщини листа.

Під час дослідження авіаційного конструкційного сплаву визначали максимальну глибину вдавлювання індентора h_1 , глибину вдавлювання після розвантаження (відбиток) h_2 , величину пружного відтворення $R=(h_1-h_2)/h_1$ [3].

Середні значення даних параметрів визначалися за результатами не менш, як 15 уколів. Статистичний розкид оцінювався коефіцієнтом варіації максимальної глибини вдавлювання індентора Vh_1 та коефіцієнтом варіації глибини відбитка Vh_2 .

Мікротвердість розраховували за формулою

$$H_i = 37,84 \frac{P}{h_i^2},$$

де P – сила, з якою занурюють індентор, Н; h_i – глибина вдавлювання, мкм.

При $i=1$ одержуємо невідновлену мікротвердість, а при $i=2$ – відновлену.

Полірування поверхні зразків виконували вручну алмазною пастою. Після полірування для обох зразків вимірювали глибини вдавлювання індентора при тих самих навантаженнях, що й до полірування.

Для усунення фізичної неоднорідності і зняття залишкових напружень, що виникають після попередньої обробки, виконували випалення. Режим випалення обраний згідно з довідником [8], а саме: $T=390$ °С, час витримки 60 хв, швидкість охолодження 30 °С/год (разом із піччю).

Після випалення знову виконували вимірювання характеристик мікротвердості.

Результати експерименту

Результати мікроіндентування при різних станах плакованого поверхнього шару сплаву Д-16АТ показано на рис. 1–4.

При різних навантаженнях на індентор максимальна глибина вдавлювання практично не змінюється після полірування й випалення (рис. 1).

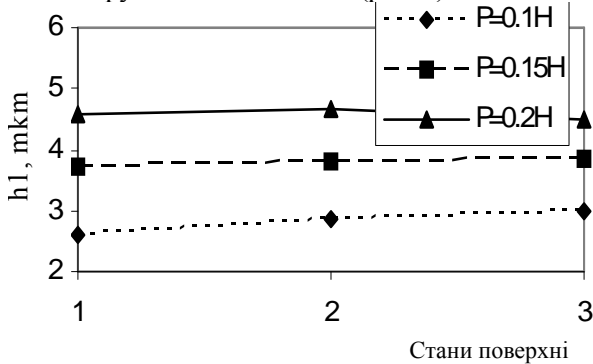


Рис. 1. Математичне сподівання максимальної глибини вдавлювання h_1 для плакованого шару сплаву Д-16АТ при різних станах поверхні та при різних значеннях сили на інденторі

Коефіцієнт варіації глибини вдавлювання індентора зменшується після полірування (рис. 2).

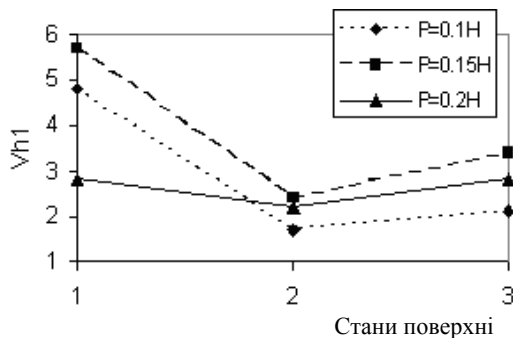


Рис. 2. Зміна коефіцієнта варіації максимальної глибини вдавлювання індентора для плакованого шару сплаву Д-16АТ при різних станах поверхні та при різних значеннях сили на інденторі

Значення коефіцієнта варіації повертається практично до початкового значення після випалення для сили вдавлювання $P=0,2$ Н. Математичне сподівання глибини відбитка h_2 зі зміною стану поверхні плакованого шару після полірування й випалення змінюється подібно математичному сподіванню максимальної глибини вдавлювання h_1 . У вихідному стані коефіцієнт варіації невідновленої (максимальної) глибини вдавлювання індентора Vh_1 у плакований шар сплаву Д-16АТ збільшується при зменшенні сили вдавлювання індентора, що свідчить про вплив шорсткості на характеристики мікротвердості при низьких навантаженнях на індентор (рис. 2.). При індентуванні з навантаженням на інденторі $P=0,1$ Н і $P=0,15$ Н спостерігається різке зменшення неоднорідності поверхнього шару після полірування (рис. 2).

Це пояснюється зменшенням шорсткості. Подальше випалення практично не впливає на неоднорідність поверхнього шару матеріалу.

Випалення призводить до несуттєвого збільшення максимальної глибини вдавлювання індентора при малих навантаженнях, що свідчить про незначне зниження невідновленої мікротвердості.

Коефіцієнт варіації глибини відбитка Vh_2 для плакованого шару змінюється, як і Vh_1 .

Таким чином, отримано, що метод індентування чутливий до поверхневих мікронерівностей при малих навантаженнях на індентор. Плакований шар достатньо пластичний (чистий алюміній), тому залишкові напруження, що вносяться при поліруванні, несуттєво впливають на показники індентування. Для плакованого сплаву Д-16АТ полірування призводить до збільшення величини пружного відтворення R на 3%. Результати індентування для неплакованого сплаву Д-16АТ показано на рис. 3–5. Полірування поверхні неплакованого сплаву Д-16АТ призводить до збільшення максимальної глибини вдавлювання індентора h_1 (рис. 3, а). Глибина відбитка h_2 при цьому не змінюється (рис. 3, б), що свідчить про зміну пружної складової деформації.

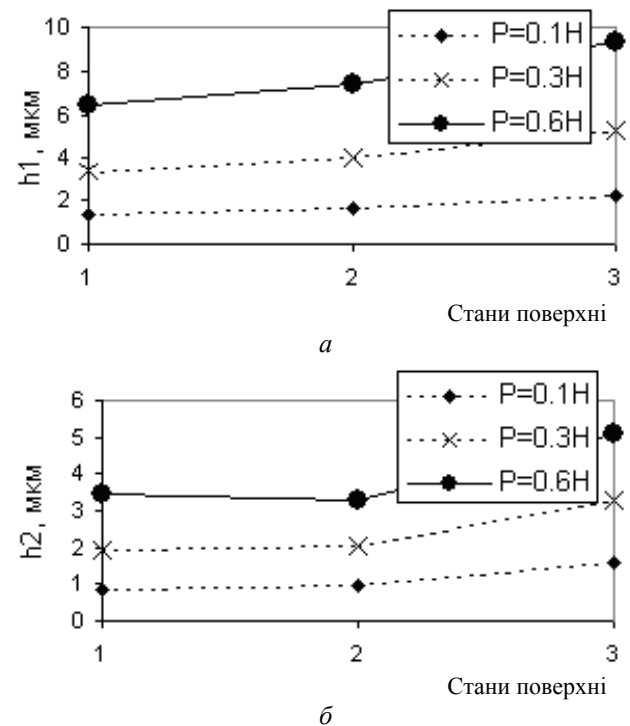


Рис. 3. Математичне сподівання максимальної глибини вдавлювання h_1 (а) і глибини відбитка h_2 (б) для сплаву Д-16АТ без плакованого шару при різних станах поверхні та різних значеннях сили на інденторі

Для сплаву Д-16АТ без плакованого шару спостерігається зменшення коефіцієнта варіації максимальної глибини вдавлювання Vh_1 після полірування (рис. 4), що свідчить про зменшення неоднорідності властивостей поверхнього шару.

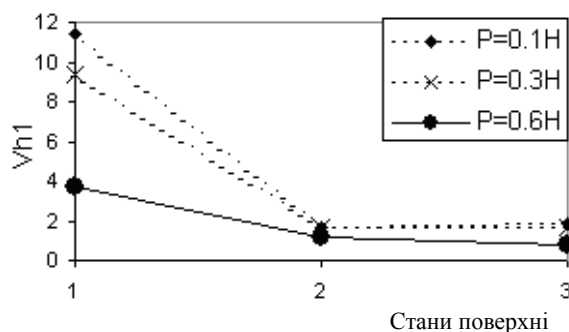


Рис. 4. Коефіцієнт варіації максимальної глибини вдавлювання $Vh1$ для сплаву Д-16АТ без плакованого шару при різних станах поверхні та різних значеннях сили на інденторі

Коефіцієнт варіації глибини відбитка $Vh2$ для неплакованого сплаву Д-16АТ змінюється, як і $Vh1$. Залишкові напруження, що відбуваються під час поліровки неплакованого поверхневого шару сплаву Д-16АТ, проявляються в збільшенні пружної складової деформації при індентуванні. Вона характеризується величиною пружного повернення R (рис. 5).

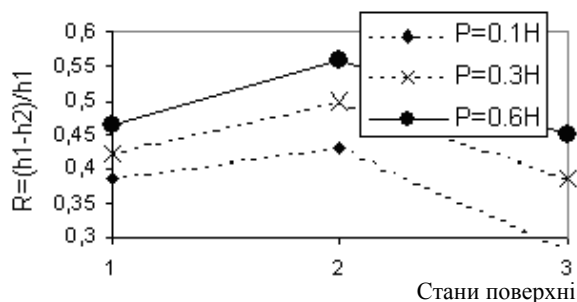


Рис. 5. Величини пружного повернення R для сплаву Д-16АТ без плакованого шару при різних станах поверхні та різних значеннях сили на інденторі

Для неплакованого сплаву Д-16АТ полірування призводить до збільшення величини пружного повернення на 10%.

Випалення знімає залишкові напруження, зменшуючи величину пружного повернення практично до початкового стану (рис. 5).

Отже, величина пружного повернення R може характеризувати наклеп, що наводиться під час підготовки поверхні зразків.

Д.И. Борисов

Влияние состояния поверхности на показатели микроиндентирования

Приведены результаты локального наноиндентирования поверхности алюминиевого сплава Д-16АТ с плакированным слоем и без плакировки при разных состояниях поверхности. Показано, что полировка плакированного материала не создает в нем существенных внутренних напряжений.

D.I. Borysov

Influence of a surface condition on a microindenting parameters

Results of local nanoindenting of the aluminum alloy D-16AT surface with the clad layer and without it are submitted under different surface conditions. It is shown, that the polishing of the clad material does not induce essential internal stresses in one.

Висновок

Полірування пластичного плакованого шару призводить до наведення незначних залишкових напружень, які практично не впливають на показники індентування. Під час полірування поверхні неплакованого сплаву Д-16АТ відбуваються залишкові напруження. Випалення знімає залишкові напруження і вирівнює коефіцієнт варіації для $h1$ і $h2$ в усьому діапазоні навантажень на індентор. Плаковані зразки сплаву Д-16АТ не потребують подальшого випалення для зняття внутрішніх напружень. Випалення полірованих плакованих зразків призводить до незначного збільшення коефіцієнтів варіації максимальної глибини вдавлювання індентора $Vh1$ та глибини відбитка $Vh2$.

Література

1. Головин Ю.И., Иволгин В.И., Коренков В.В. Определение комплекса механических свойств материалов в нанодообъемах методами наноиндентирования // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2001. – Т.3, №2. – С. 122–135.
2. VanLandingham M. R. Review of instrumented indentation // J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. – 2003. – 108, № 4. – Р. 249–265.
3. Бульчев С.И., Алехин В.П. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
4. Глазов В.М., Вигдорович В.Н. Микротвердость металлов и полупроводников. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с.
5. Tong-Yi, Wei-Hua Xu, Ming-Hao Zhao The role of plastic deformation of rough surfaces in the sizedependent hardness// Acta Materialia. – 2004. – 52. – Р. 57–68.
6. Материалы в машиностроении. Т. 1 / Под ред. И.В. Кудрявцева. – М.: Машиностроение, 1967. – 304 с.
7. Игнатович С.Р., Закиев И.М., Борисов Д.И. Методика исследования физико-механических свойств поверхностных слоев материалов при усталости с использованием многофункционального прибора «Микрон-Гамма» // Авиационно-космическая техника и технология. – 2004. – №8 (16). – С. 163–166.
8. Филимонов С.А., Фигнер И.В. Справочник термиста. – 4-е изд. – Л.: Машиностроение, 1975. – 352 с.

Стаття надійшла до редакції 03.10.05.