

ЗАКОНОМІРНОСТІ ДИСКРЕТНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ПІД ЧАС ПРУЖНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЗРАЗКІВ СТАЛІ Х18Н10Т ЯК ЧИННИК ПОШКОДЖУВАНOSTI

Г.Г. Писаренко, О.В. Войналович*, А.М. Майло

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України

*Національний університет біоресурсів і природокористування України

In this paper present statistical characteristics of the distribution of discrete deformations on the surface of laboratory samples from steel H18N10 with the use of digital surface images. The change in the structure of the deformation relief is reflected in the change in the characteristics of the distribution of deformation defects. The statistical characteristics of the distribution of discrete deformations of the sample in the range of macro-elastic deformations describe the kinetics of the accumulation of microplastic deformations at the stage of non-localized damage to the structural steel during uniaxial tension

Вступ. Процеси деформування за механічного навантажування полікристалічного конструкційного матеріалу інтенсивніше розвиваються в поверхневому шарі, що обумовлено особливостями його будови. На поверхні матеріалу формується рельєф обумовлений розвитком локалізованих зсувів площин ковзання. Система розгалужених смуг ковзання утворює на поверхні деформаційний рельєф, структура якого характерна для кожного етапу навантаження. Зміна структури рельєфу відображається в зміні параметрів розподілу характеристик деформаційних дефектів. Статистичні характеристики яких на поверхні під час деформування дозволяють контролювати зміну параметрів розподілу дискретних деформацій матеріалу.

Під час опромінення деформованої поверхні когерентним променем з гаусівським розподілом інтенсивності яскравості, формується поле спеклів (світлі п'ятна на темному фоні) з дискретним розподілом інтенсивності розсіяного опромінення [1]. Кількісна оцінка дефектів поверхні виконується шляхом аналізу зображення структури спеклів. Відбитий від неоднорідної поверхні промінь когерентного джерела світла відображає поточний стан фізико-механічних властивостей матеріалу. Параметри розподілу спекл структур на поверхні матеріалу можуть використовуватися в якості характеристики пошкодженості матеріалу, якій відповідає мікрорельєф з випадковим розподілом дискретних деформацій [2]. Отриману в діапазоні пружного деформування статистику розподілу дискретних деформацій поверхні лабораторних зразків сталі Х18Н10Т можна використати для визначення кореляційних залежностей накопичення мікропластичних деформацій на стадії пружного деформування під час монотонного розтягу.

Мета роботи: встановити закономірності розподілу дискретних деформацій під час пружного деформування сталі Х18Н10Т для визначення кінетики накопичення пошкоджень конструкційного матеріалу.

Методика досліджень. З метою локалізації зони пошкодження під час навантажування вибрано зразки корсетної форми: довжина зразка - 100 мм, розміри поперечного січення - 10×3 мм. В якості досліджуваного матеріалу вибрано аустенітну сталь Х18Н10Т, (умовна межа плинності $\sigma_{02} = 314$ МПа, межа міцності $\sigma_b = 605$ МПа, з діаграми розтягу рис. 1). Для кількісного оцінення щільності мікрореформацій поверхні зразка використано безконтактний метод DIC (digital image correlation) [3] в основі якого є методи спекл-інтерферометрії. Перетворення енергії гаусівського пучка джерела когерентного світла у віддзеркалену енергію спекл-модульованого променя з певним співвідношенням енергій поглинання та відбиття деформованою поверхнею полікристалу є виявленням інтегрального ефекту дисипативної взаємодії металевого полікристалу з енергією деформування силосбуджувача, що виявляється у деформаційному перетворенні поверхневого шару пружно-пластичного тіла.

Перетворення енергії променя світла виникає внаслідок дифузійно-дзеркального відбиття когерентного пучка на центрах розсіювання, розташованих в зоні опромінення. Зони розсіяння – це елементи деформаційного рельєфу поверхні полікристале опроміненого об'єкту.

Поверхня матеріалу з деформаційним рельєфом опромінюється джерелом когерентного світла з довжиною хвилі, яка співмірна з очікуваним розміром мікропластичних деформацій поверхні металевго зразка, що виникають за умов навантажування. У нашому випадку довжина хвилі когерентного опромінення становила 450 nm.

Для отримання кореляційних характеристик деформаційного рельєфу за одновісного розтягу по цифровим зображенням структури спеклів під час пружного - пластичного деформування матеріалу потрібно контролювати зміну геометричних характеристик поверхні на певних стадіях деформування (рис. 1). В діапазоні напружень: до умовної межі пружності з кроком близько 60МПа, для забезпечення достовірності кореляційних характеристик на рівні 90% за пружного деформування.

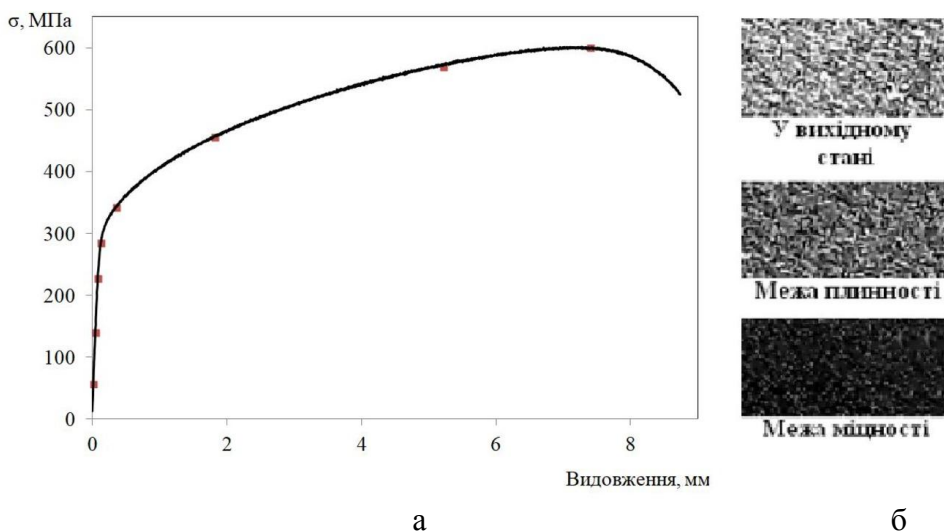


Рис. 1. Діаграма розтягу (а) і спекл-структури деформаційних дефектів (б) для характерних стадій під час розтягу.

Результати та їх аналіз. Результати вимірів представляли в координатах амплітуда градацій сірого – кількість пікселів вибірки (рис. 2). Зображення спекл-структур на рис. 1б відповідає стану деформаційних дефектів поверхні навантаженого зразка Х18Н10Т за послідовного деформування з градацією пікселів відповідно діапазону амплітуд яскравості від 0 до 254. Зображення спекл-структури упорядковано у цифровий ряд від мінімального значення амплітуди 0, до максимального – 254. Таке перетворення проводили з метою встановлення упорядкованої системи кореляційних характеристик дискретних деформацій на поверхні зразка у відповідності до стадій деформування за діаграмою розтягу (рис. 2).

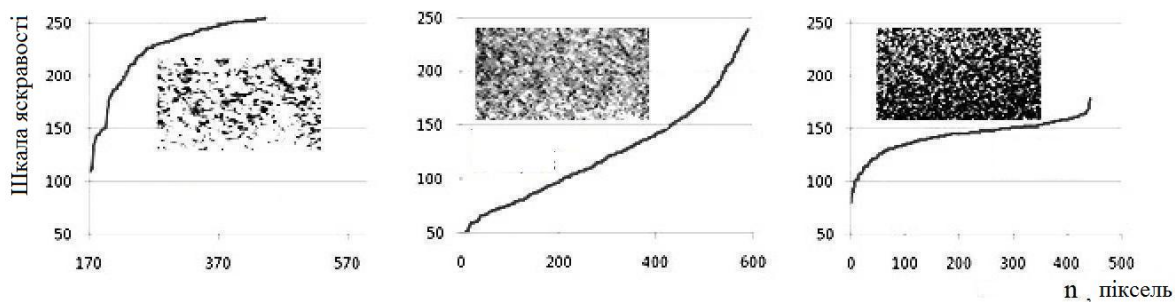


Рис. 2. Кореляційні характеристики розподілу амплітуд яскравостей і відповідні спекл структури під час пружного деформування: а - 57 МПа, б - 171 МПа, в - 285МПа.

Для побудови характеристик пошкоджуваності за початкових рівнів навантаження діаграми деформування (рис. 1) потрібно контролювати перехід від лінійної до нелінійної ділянки характеристики деформаційних дефектів. По мірі навантаження перехід стає більш вираженим, що свідчить про інтенсифікацію процесу накопичення деформаційних дефектів.

Виявлення відповідності форми представлених характеристик розподілу амплітуд яскравостей, напруженням деформування зразків, проведено аналіз амплітудних значень параметра пошкодженості D . Параметр D характеризує пошкоджуваність поверхні матеріалу як накопичення деформаційних дефектів під час навантажування $D = (\Sigma n_0 - \Sigma n) / \Sigma n_z$, де n_0 – к-ть світлих пікселів у вихідному стані поверхні, n – к-ть пікселів тої ж градації в поточному стані, n_z – к-ть пікселів вибірки. В діапазоні зміни яскравостей спекл-характеристик на рис. 2, параметр D відповідає певним рівням напружень розтягу (рис. 3). Характеристика пошкоджуваності (рис. 3) представлена у діапазоні до стадії локалізованого накопичення пошкоджень. Стадії пружного деформування відповідає частина характеристик, на рівні напружень межі плинності що становлять 314МПа.

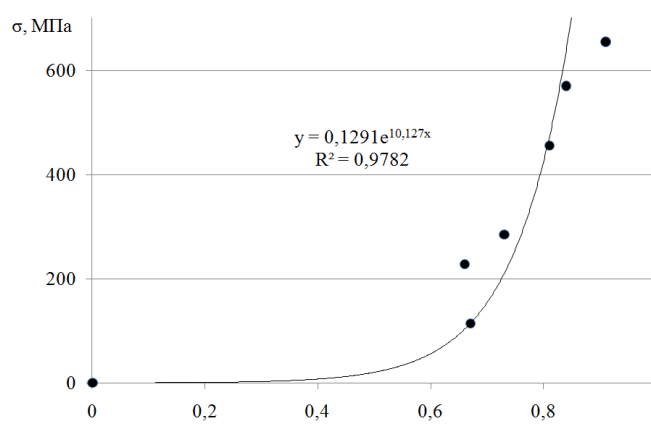


Рис. 3. Характеристика накопичення деформаційних дефектів сталі Х18Н10Т.

Характеристика пошкоджуваності апроксимується експоненційною функцією типу $y = ae^{bx}$ (де a і b – коефіцієнти, $a=0,1291$, $b = 10,127$) з коефіцієнтом кореляції $R^2=0,978$ (рис. 3). Форма отриманої залежності, побудованої по значеннях кореляційних характеристик виявляє нелінійний зв'язок розподілу дискретних деформацій поверхні під час пружного деформування конструкційного матеріалу за монотонного розтягу.

Висновки: Встановлено характеристики розподілу дискретних деформацій на поверхні матеріалу, що відповідають кінетиці непружного деформування на стадії нелокалізованого пошкодження сталі Х18Н10Т.

Отримано кореляційні характеристики параметрів пошкодженості поверхневого шару сталі Х18Н10Т під час розтягу в діапазоні напружень до 285 МПа, що відповідають пружному деформуванню під час монотонного розтягу.

Перелік посилань:

1. Non-contact surface roughness measurement by implementation of a spatial light modulator / Laura Aulbach, Félix Salazar Bloise, Min Lu, Alexander W. Koch. // Sensors. – 2017. – №3. – Р. 596.

2. Игнатович С. Р. Контроль усталости сплава Д16Т по характеристикам деформационного рельефа поверхности / С. Р. Игнатович, С. С. Юцкевич. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2011. – №5. – С. 60–65.

3. Каленков Г. Цифровая корреляционная спекл-интерферометрия / Г. Каленков, А. Штанько. // Фотоника. – 2010. – №4. – С. 58–60.