

УДК 539.3

С. Федак, к.т.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОЇ ПОВЗУЧОСТІ СПЛАВУ АМГ6

S. Fedak, Ph.D.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

METHODS OF PREDICTION OF AMg6 ALLOY JUMP-LIKE CREEP

Abstract. The use of different methods for investigating the jump-like creep of the AMg6 aluminum alloy based on its preliminary plastic deformation during tensile test in the soft mode of loading are compared. It is more efficient to predict the magnitude of the jump during the creep by methods of machine learning, in particular, neural networks, which show the best results.

Деформування розтягом сплаву АМГ6 в умовах м'якого типу навантажування супроводжується переривчастою текучістю (стрибкоподібною деформацією), що реєструється графічно у вигляді “сходинок” на діаграмі деформування $\Delta\varepsilon(\alpha_i)$ за напруження $\sigma_p(\alpha_i)$ (рис. 1).

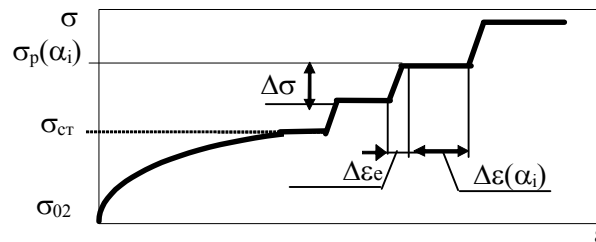


Рис. 1. Діаграма деформування сплаву АМГ6 за квазістатичного розтягу в умовах м'якого типу навантажування.

Ділянка стрибкоподібного приросту деформацій за м'якого типу навантажування характеризується: напруженням початку процесу стрибків $\sigma_{ст}$, приростом напруження між стрибками $\Delta\sigma$ та відповідної деформації $\Delta\varepsilon_\varepsilon$, коефіцієнтом пропорційності на цих ділянках E' та деформацією стрибка $\Delta\varepsilon(\alpha_i)$ за відповідного напруження $\sigma_p(\alpha_i)$. Зі збільшенням напруження $\sigma_p(\alpha_i)$ зростає деформація стрибка (ширина “сходинок” на діаграмі розтягу).

Стрибкоподібна деформація Δp також виникає за умов повзучості після досягнення певного рівня напруження на діаграмі деформування (рис. 2).

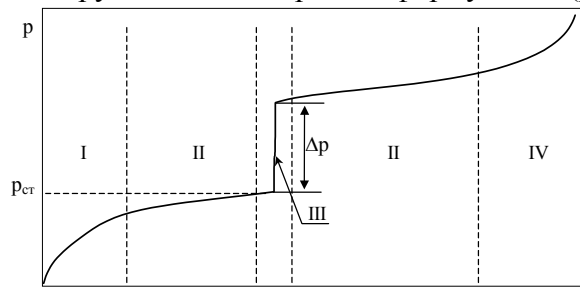


Рис. 2. Діаграма повзучості сплаву АМГ6: I – ділянка зміцнення, II – ділянка сталої повзучості, III – ділянка стрибкоподібної повзучості, IV – ділянка руйнування.

Сам процес повзучості характеризується чотирма ділянками на діаграмі: спершу ділянка зміцнення матеріалу, після чого ділянка сталості повзучості, яка супроводжується стрибкоподібними приростами деформації, і наступна ділянка руйнування.

Раніше під керівництвом проф. П.В. Яснія було проведено дослідження діаграми деформування сплаву АМг6 за квазістатичного розтягу в умовах м'якого типу навантажування, які виявили зміни в мікроструктурі матеріалу, та було запропоновано моделі, що встановлюють зв'язок між ними. Такі ж дослідження стосувались і процесів повзучості та динамічної повзучості сплаву АМг6 [1, 2].

Аналіз мікроструктури свідчить, що після випробувань на повзучість у сплаві АМг6 є зруйновані і ще суцільні дисперсоїди. Їх розподіл у залежності від коефіцієнта форми описується динамічною гістограмою при розтязі. Тож для моделювання вважаємо, що процес стрибкоподібної повзучості, подібно стрибкоподібній деформації розтягу, спричинюється розтріскуванням дисперсоїдів у об'ємі матеріалу. На основі такого припущення була запропонована методика прогнозування ініціації стрибкоподібної повзучості в залежності від частки зруйнованих включень [3]. Середні значення відносної похибки прогнозування для параметрів ініціації миттєвого приросту при повзучості, а саме, деформації повзучості $\rho_{ст}$, часу $t_{ст}$ та значення приросту деформації стрибка $\Delta\rho$ відповідно становлять 21,4%, 29,7%, 45,3%. Відповідно до запропонованої моделі задовільно узгоджуються дані відносно деформації та часу ініціації стрибка при повзучості. Більший розкид даних спостерігається у прогнозуванні стрибкоподібних приростів деформації. Це можна пояснити процесами гомогенізації в об'ємі матеріалу при повзучості. Перерозподіл напружено-деформівного стану в об'ємах неоднорідної структури матеріалу призводить до менш прогнозованої величини локального зміцнення матеріалу та, відповідно, менш прогнозованої величини приросту деформації.

Як розвиток цих досліджень для прогнозування стрибкоподібної повзучості було використано програмний комплекс ANSYS, в якому були розроблені групи скінченноелементних моделей для визначення основних закономірностей впливу параметрів структурної неоднорідності модельованого середовища на НДС [4]. Деформацію повзучості та динамічної повзучості сплаву АМг6 розраховували МСЕ. Моделювання проводили в умовах плоского деформованого стану на розрахунковій моделі. Під час проведення розрахунків були активовані опції повзучості та руйнування структурних складових моделі при досягненні у них критичних напружень. Для побудови скінченноелементної сітки використовували плоский елемент *plane 82*. Виявлено, що повзучість за статичного та циклічного навантаження супроводжується руйнуванням включень. За динамічної повзучості високочастотна складова навантаження спричиняє виникнення більших напружень на включеннях, порівняно із повзучістю, що збільшує кількість зруйнованих включень. Руйнування включень спричиняє перерозподіл напружень і деформацій у моделі та інтенсифікує повзучість при циклічному навантажуванні, порівняно із статичним. Накопичена деформація за динамічної повзучості більша, ніж за статичної повзучості за однакового рівня максимального навантаження. Це можна пояснити інтенсивним перерозподілом полів напружень та деформацій за циклічного навантаження і відповідним збільшенням максимального напруження на включенні і в матеріалі матриці. За рахунок збільшення локальних напружень у розрахунковій моделі в умовах динамічної повзучості швидше досягається граничний стан включень і матриці. Пошкоджуваність матеріалу загалом зростає і, відповідно, загальна деформація повзучості істотно збільшується, порівняно із повзучістю. Мінімальне напруження повзучості, при якому починається руйнування включень модельного матеріалу, становить $\sigma^* = 229$ МПа, згідно з експериментальними даними. Необхідно зауважити, що відносна кількість зруйнованих включень в умовах

динамічної повзучості, порівняно зі статичною за вказаного рівня напружень, максимальна. При збільшенні напруження повзучості різниця у відносній кількості зруйнованих включень в умовах динамічної і статичної повзучості буде зменшуватись. Отримані розрахункові дані задовільно узгоджуються з експериментальними. Максимальна похибка між результатами, отриманими МСЕ, та експериментальними даними не перевищує 12%.

Розвиток нових підходів до аналізу та прогнозування процесів механіки руйнування передбачає можливість використовувати методи машинного навчання. Зважаючи на значний обсяг експериментальних даних, було використано методи машинного навчання, зокрема, метод нейронних мереж [5]. Під час навчання дані, що склалися з результатів деформації, за якої відбулись стрибки деформації та відповідних величин стрибків деформації, були розділені на дві частини – навчальну та тестову. Набір даних складався з 89 елементів. Перша (більша) частина була використана для навчального набору. Вхідними параметрами для тестового набору були параметри напружень повзучості, що відповідають повній пластичній деформації і величини стрибкоподібної повзучості. Параметр приросту $\Delta\rho$ було обрано як вихідний параметр для оцінки якості прогнозів. Встановлено, що отримані моделі можуть робити прогнози відповідно до даних, які не використовувалися в навчальному наборі. Прогнозована методом нейронних мереж стрибкоподібна повзучість добре узгоджується з експериментальними даними. Встановлено, що точність прогнозу нейромереж становить 96,2%. Тому пропонується метод машинного навчання є потужним інструментом, який можна використовувати для вирішення завдань механіки.

Література.

1. Ясній П.В., Федак С.І., Галушак М.П., Гладько В.Б. Стрибкоподібна деформація сплаву АМг6 при розтязі.// Проблеми міцності. - 2004. - №2 (368). -С. 5-12
2. Ясній П.В., Гладько В.Б., Федак С.І. Взаємозв'язок між пластичною деформацією і мікроструктурними параметрами в умовах активного розтягу і повзучості сплаву АМг6.// Проблеми міцності. - 2004. - №6. - С.48-58.
3. Федак С. Стрибкоподібна деформація сплаву АМг6 при повзучості // Вісник Тернопільського державного технічного університету. - 2003. –Т.8, ч.2. - С. 16-23.
4. П.В. Ясній, В.Б. Гладько, С.І. Федак, І.В. Шульган Моделювання деформування гладких зразків і зразків з тріщинами за динамічної повзучості // Тези допов. міжнародної науково-технічної конференції «Міцність матеріалів та елементів конструкцій». 28-30 вересня 2010 р.. Київ, Україна. С. 214-215.
5. Iryna Didych, Oleh Yasniy, Sergiy Fedak, Yuri Lapusta Prediction of jump-like creep using preliminary plastic strain // Procedia Structural Integrity, Volume 36, 2022, – P. 166–170