

# МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМУВАННЯ ГЛАДКИХ ЗРАЗКІВ І ЗРАЗКІВ З ТРІЩИНАМИ ЗА ДИНАМІЧНОЇ ПОВЗУЧОСТІ

## MODELLING OF DEFORMATION OF SMOOTH SPECIMEN AND SPECIMEN WITH CRACK AT DYNAMIC CREEP

П.В. Ясній, В.Б. Гладь, С.І. Федак, І.В. Шульган

P.V. Yasniy, V.B. Hlado, S.I. Fedak, I.V. Shulhan

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
Тернопіль, Україна*

*Ternopil Ivan Pul'uj Natoinal Technical University, Ukraine*

*The influence of shape ratio and density of inclusions on creep, dynamic creep and crack tip opening displacement of AlMg6 alloy are studied by the finite element method. The effect of the maximum stresses on the main characteristics of deformation and material damage is revealed. The influence of the cyclic component on the fracture of inclusions and creep rupture decreases with increasing maximum stress. The calculated creep strain is in satisfactory agreement with that obtained experimentally.*

На кінетику деформування гладких зразків та розкриття вершини тріщини в умовах повзучості впливають багато факторів, зокрема мікроструктура матеріалу, вид прикладеного навантаження, наявність циклічної складової. Для моделювання цих процесів застосовують метод скінчених елементів (МСЕ). Причому, для адекватного моделювання властивостей і поведінки конструкційних матеріалів, за різних умов експлуатації, необхідно враховувати структурну неоднорідність та взаємний вплив компонентів структури.

В праці МСЕ досліджено вплив включень на деформацію гладких зразків та розкриття вершини тріщини за повзучості та динамічної повзучості з урахуванням параметрів структурної неоднорідності. Структурну неоднорідність характеризували питомою часткою включень  $S = F_{inc}/F_s$ , (де  $F_{inc}$  - площа включень;  $F_s$  - загальна площа), та коефіцієнтом форми включень  $\alpha = l/d$ , (де  $l$ ,  $d$  - відповідно довжина і діаметр включення).

Для дослідження використовували розрахункові моделі з структурно неоднорідними компонентами. Координати включень всередині моделі задавали двовимірним нормальним законом розподілу. В основі скінченоелементної сітки прийнято плоский елемент plane 183. Розрахунки проводили у пружно-пластичній постановці в умовах плоского деформованого стану з використанням ітераційного розрахунку приросту деформацій і перерозподілу поля напружень у матриці та включеннях. Під

час проведення розрахунків активували опції повзучості та руйнування структурних складових моделі при досягненні у них критичних напружень.

Структурним складовим моделей надавали властивостей компонентів алюмінієвого сплаву АМг6. Вплив коефіцієнту форми включень ( $\alpha=8; 16; 25; 36$ ) досліджували за сталої питомої частки включень  $S=6\%$ . Досліджували також вплив питомої частки включень ( $S=3\%; 6\%; 9\%; 12\%$ ) на повзучість сплаву та розкриття вершини тріщини за постійного коефіцієнту форми  $\alpha=8$ .

Повзучість гладких зразків досліджували за  $\sigma=320\text{МПа}$ , а динамічну повзучість з накладанням на постійне навантаження низькоамплітудної складової ( $2\sigma_a=50\text{МПа}$ ) з частотою  $f=25\text{Гц}$ . Повзучість зразків з тріщиною моделювали за постійного коефіцієнту інтенсивності напружень  $K_{st}=31,1\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ , а динамічну повзучість з накладанням на постійне навантаження низькоамплітудного навантаження ( $K_a=\pm 1,1\text{МПа}\sqrt{\text{м}}$ ) з частотою  $f=25\text{Гц}$ .

Виявлено наступні основні закономірності впливу коефіцієнта форми та питомої частки включень на деформування за статичної та динамічної повзучості. Збільшення коефіцієнта форми та питомої частки включень зменшує загальну деформацію повзучості, що спричинено ефектом зміцнення та армування матеріалу. Причому в умовах динамічної повзучості деформація більша порівняно з повзучістю за однакових максимальних напружень, оскільки пошкоджуваність за циклічного навантаження більша проти статичного навантаження. Отримано залежність деформації повзучості матеріалу від коефіцієнта форми та густини включень.

Встановлено, що із збільшенням питомої частки та коефіцієнту форми включень приріст розкриття вершини тріщини в умовах повзучості та динамічної повзучості зменшується. Причому, розкриття вершини тріщини при динамічній повзучості більше порівняно із повзучістю. За однакової пошкоджуваності гетерогенного матеріалу у вершині тріщини, при повзучості утворюється невелика кількість порожнин з більшими геометричними розмірами, а за динамічної повзучості спостерігається більша кількість порожнини невеликих розмірів.

Запропоновано методику розрахунку приросту розкриття вершини тріщини на основі ЕМР методу, з урахуванням пошкоджуваності матеріалу в умовах статичної та динамічної повзучості, що враховує коефіцієнт форми та питому частку включень гетерогенного матеріалу. Результати отримані ЕМР методом задовільно узгоджуються із запропонованою скінченно-елементною моделлю.