

УДК 539.4

Р.В. Колодницька, аспір.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ТЕРМОАКТИВАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ РУЙНУВАННЯ СТАЛІ З УРАХУВАННЯМ ШИЙКОУТВОРЕННЯ

(Представлено доктором технічних наук, професором І.Г. Грабаром)

Представлені результати дослідження процесу пластичної деформації заліза та сталей на основі підходів термоактиваційного аналізу. Показано, що врахування параметрів шийки при прогнозуванні довгострокової міцності покращує точність прогнозування для матеріалів з термостабільним активаційним об'ємом.

В роботі [1] встановлена постійність енергії активації, та досліджені закономірності еволюції активаційного об'єму в широкому діапазоні температур і швидкостей деформування для малопластичних і пластичних матеріалів, а також одержана система інтегро-алгебраїчних рівнянь, що дозволила в першому наближенні вирішити задачу експрес-прогнозування довгострокової міцності за результатами короткочасних випробувань.

Дослідження кінетики деформування зразків з різних матеріалів [2] в закритичній області деформування дало змогу внести поправку на деформацію в шийці у систему інтегро-алгебраїчних рівнянь. Це дозволило визначити активаційний об'єм руйнування більш точно, в порівнянні з попередньою моделлю [1, 3], яка не враховує параметрів шийки, що, в свою чергу, призвело до поліпшення прогнозування довгострокової міцності.

Термоактиваційний аналіз руйнування заліза та сталі проводився аналогічно термоактиваційному аналізу міді та алюмінію [4, 5]. Дослідження проводилось, використовуючи дані з розтягнення більш як 50 марок сталей [6, 7, 8]. Використано також експерименти, що виконані в лабораторіях ЖІТІ, з розтягнення циліндричних зразків зі сталі 20 при температурі 293 К в широкому діапазоні швидкостей деформування.

Нижче представлені результати розрахунків активаційного об'єму для конструкційних сталей в діапазоні 0,4–0,8 гомологічних температур.

Активаційний об'єм оцінювався за співвідношенням:

$$\gamma = \frac{U_0 - RT \ln \frac{\delta}{\epsilon \tau_0}}{\sigma_B (1 + \psi \delta) r}, \quad (1)$$

де: U_0 – енергія активації;

R – газова постійна;

T – абсолютна температура;

δ – відносне залишкове видовження;

ϵ – швидкість деформування;

σ_B – межа міцності;

ψ – відносне залишкове звуження;

τ_0 – постійна, близька до періоду коливань атомів кристалічної ґратки ($\tau_0 \approx 10^{-13}$ с);

r – еквівалентний множник.

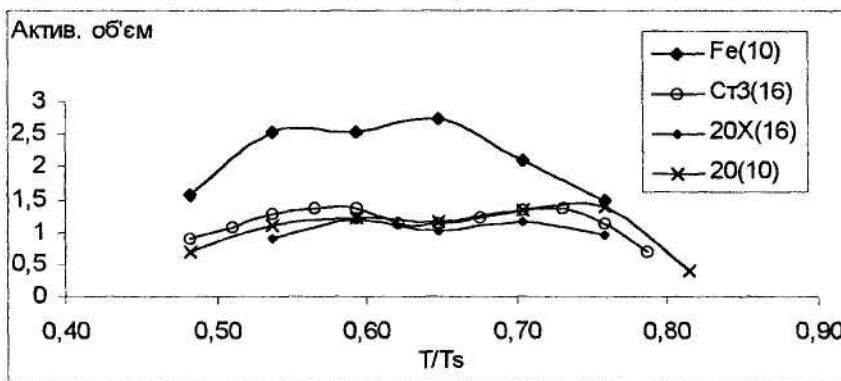
Якщо маємо стійкість активаційного об'єму при зміні швидкості деформування при короткочасних випробуваннях, можемо використати той самий активаційний об'єм для прогнозування довгострокової міцності. Тоді довготривала міцність може бути підрахована за формулою [3]:

$$\frac{RT \ln \frac{\tau_{DP}}{\tau_0}}{\gamma} \quad (2)$$

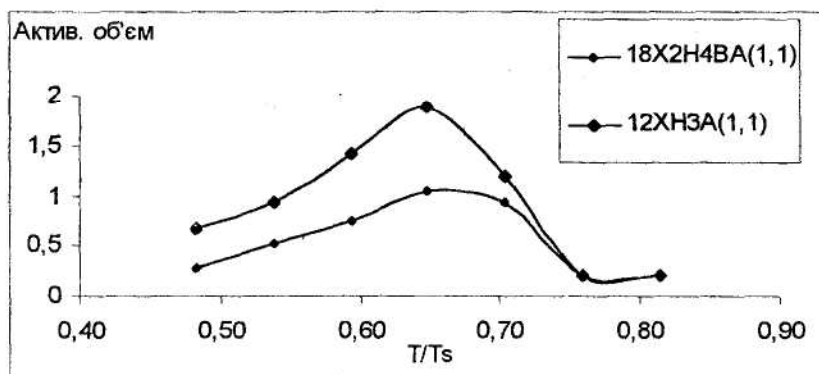
де τ_{DP} – час довготривалого руйнування.

Значення активаційного об'єму (кДж / (моль · МПа)), що підраховано за формулою (1), порівнювалось зі значеннями активаційного об'єму, які одержані за попередньою моделлю [1].

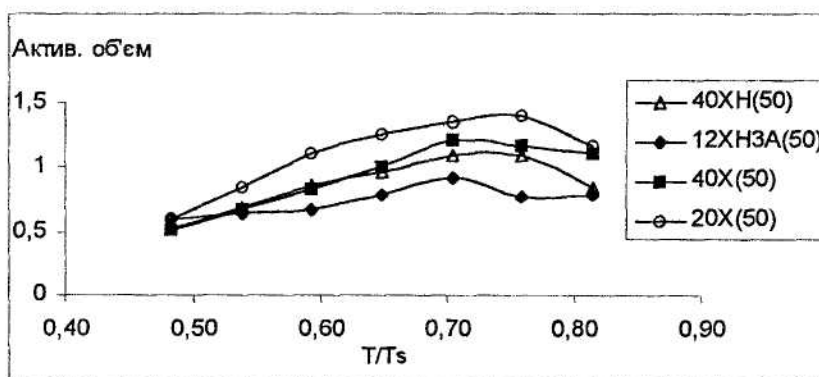
На рис. 1,а зображені температурні залежності активаційного об'єму (кДж / (моль · МПа)) для технічного заліза та конструкційних сталей при середніх швидкостях деформування 10–16 мм/хв. (швидкість деформування на цих і наступних рисунках показана в дужках). Проведений термоактиваційний аналіз показав, що при гомологічних температурах, що відповідають значенню $T/T_s = 0,59$ для технічного заліза і $T/T_s = 0,65$ для сталей, активаційний об'єм має характерний спад при середніх швидкостях деформування. Причому, для швидкості деформування 1,1 мм/хв. активаційний об'єм має чітко виражений максимум при тих же гомологічних температурах (рис. 1,б). Температурна зміна активаційного об'єму при швидкостях деформування 50 мм/хв. для гомологічних температур $T/T_s = 0,4-0,7$ має яскраво виражений зростаючий характер. Спад активаційного об'єму при $T/T_s = 0,7-0,8$ пов'язаний, швидше всього, з недоліками моделі (рис. 1,в).



а) швидкість деформування 10–16 мм/хв.



б) швидкість деформування 1,1 мм/хв.



в) швидкість деформування 50 мм/хв.

Рис. 1. Температурна залежність активаційного об'єму заліза та сталей

Таким чином, термоактиваційний аналіз руйнування сталей показав, що активаційний об'єм зі зміною температури не завжди залишається сталим, причому, термообробка призводить до вирівнювання активаційного об'єму. Якщо він є термонестабільним, можемо очікувати, що

розбіжність між теоретичними та практичними кривими довгострокової міцності буде велика, що підтверджується експериментально.

На рис. 2 показано температурну залежність активаційного об'єму для сталі 20X (за даними [7]), що підрахований за попередньою моделлю [1], з урахуванням параметрів шийки (має позначку (psi)). Відхилення активаційного об'єму від середнього значення складає 0,1. Тому прогнозування довгострокової міцності за формулою (2) дає достовірні результати (рис. 3), причому, прогнозування з урахуванням шийкоутворення більш точне.

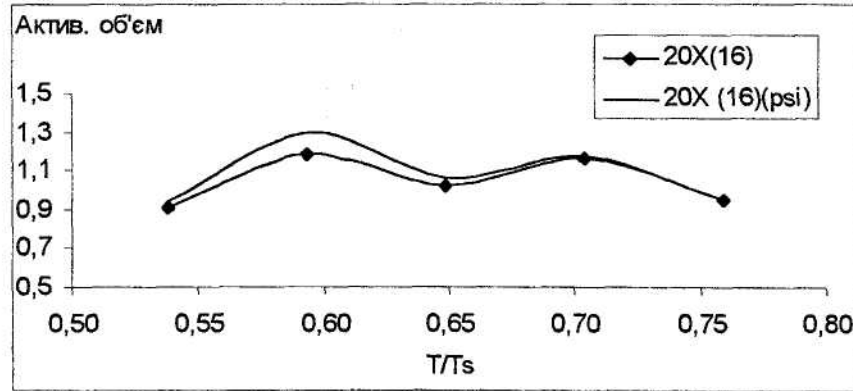


Рис. 2. Температурна залежність активаційного об'єму сталі 20X

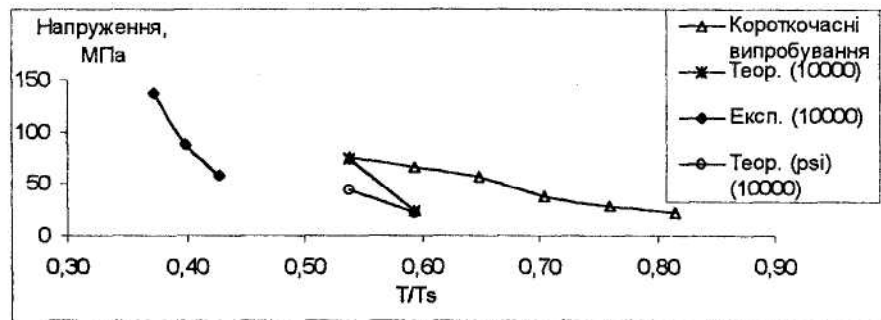


Рис. 3. Криві довгострокової міцності на базі 10 000 годин для сталі 20X

Проведений термоактиваційний аналіз руйнування конструкційної сталі ЭИ415 (С – 0,2 %; Mn – 0,4 %; Cr – 2,8 %; Ni – 0,45 %; W – 0,4 %) [8] показав, що для цієї сталі активаційний об'єм можна вважати сталим (відхилення від середнього значення 0,03) (рис. 4), і прогнозування довгострокової міцності дає також достатньо достовірні результати. Причому, прогнозування з урахуванням параметрів шийки, що дає більш значення активаційного об'єму (рис. 5), більш точне, ніж прогнозування без цього врахування. На рис. 6 зображені теоретичні та експериментальні криві зміни довгострокової міцності для сталі ЭИ415 на базі 100 годин (час вказаний в дужках) та експериментальні криві короткочасної міцності.

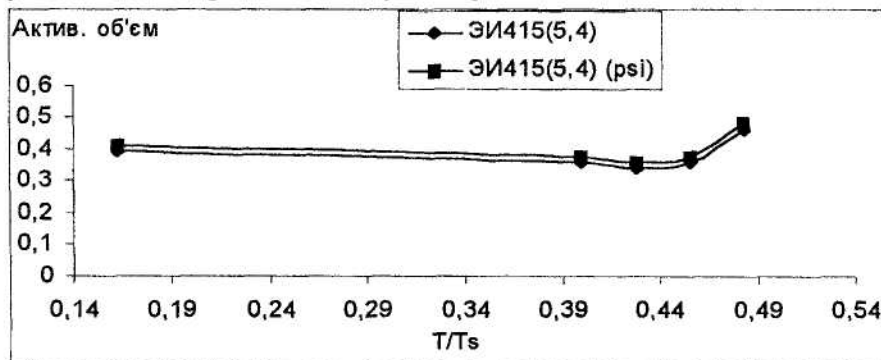


Рис. 4. Температурна залежність активаційного об'єму сталі ЭИ415

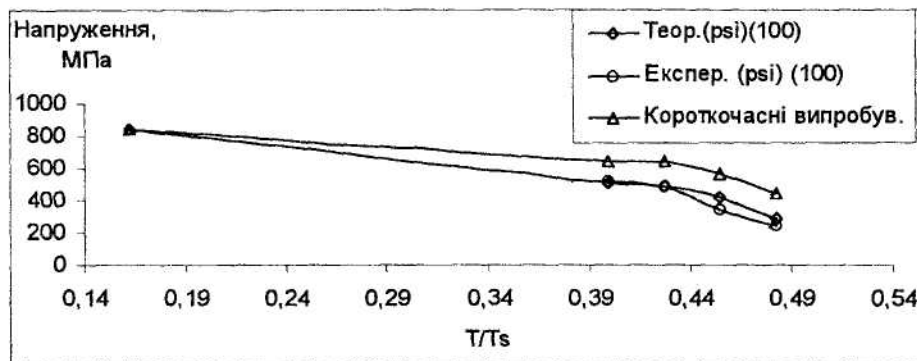


Рис. 5. Криві довгострокової міцності для сталі АІ415 з урахуванням шийкоутворення

Отже, відносно температурних залежностей активаційного об'єму, можна виділити дві групи матеріалів: з термостабільним і термонестабільним активаційним об'ємом. До першої групи відносяться мідь та алюміній, а також АІ та АІІ жароміцні сплави. Причому, при зміні швидкості деформування, активаційний об'єм при $T = \text{const}$ змінюється не набагато, але при значних швидкостях деформування значення активаційного об'єму збільшуються, тому для прогнозування довгострокової міцності потрібно використовувати значення активаційного об'єму, що одержано за результатами короткочасних випробовувань при низьких швидкостях деформування.

Комп'ютерний експеримент та аналіз експериментальних даних показали, що введення кінетики зміни контуру зразка в замкнуту систему рівнянь дозволяє підвищити точність прогнозування довгострокової міцності не менше ніж на 8 % для матеріалів із термостабільним активаційним об'ємом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Грабар І.Г. Термоактивационный анализ и точки бифуркации пластического деформирования ОЦК, ГЦК металлов: Автореф. ... д-ра техн. наук: 01.02.06. - К.: КПИ, 1993. - 39 с.
2. Колодницька Р.В., Подчашинський Ю.О. Автоматизована система контролю кінетики пружно-пластичного деформування твердих тіл // Матеріали IV Міжнародно-технічної конф. "Контроль і управління в технічних системах". - Вінниця, 1997. - С. 59-61.
3. Грабар І.Г. Про єдину природу довготривалого і короткочасного руйнування та прискорене визначення ресурсу конструкцій // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, "Сучасні технології в аерокосмічному комплексі". - Житомир, 1999. - С. 13-18.
4. Колодницька Р.В. Термоактиваційний аналіз руйнування з врахуванням параметрів шийки // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології в аерокосмічному комплексі". - Житомир, 1999. - С. 121-124.
5. Колодницька Р.В. Термоактиваційний аналіз руйнування алюмінію з врахуванням параметрів шийки // Вісник ЖІТІ, 1999. - № 11. - С. 17-19.
6. Матеріали в машиностроєнні: Справочник в 5 томах. Том 2. Конструкційна сталь / Под ред. І.В. Кудрявцева. - М.: Машиностроєніе, 1967. - 496 с.
7. Марочник сталей і сплавів / Под ред. В.Г. Сорокіна. - М.: Машиностроєніе, 1989. - 640 с.
8. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: Справочное пособие. Часть 1 / Трощенко С.В., Красовский А.Я., Покровской В.В. и др. - К.: Наукова думка, 1993. - 288 с.

КОЛОДНИЦЬКА Руслана Віталіївна - асистент кафедри автомобілів та механіки технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- проблеми міцності та руйнування матеріалів.