

УДК 539.434

Р.Колодницька

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ТЕРМОАКТИВАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ РУЙНУВАННЯ ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ

Подано результати дослідження процесу пластичної деформації жароміцних сталей на основі підходів термоактиваційного аналізу. Виявлено, що врахування параметрів шийки при прогнозуванні тривалої міцності поліпшує точність прогнозування для матеріалів з термостабільним активаційним об'ємом.

Умовні позначення:

τ_p	– час руйнування матеріалу;
τ_0	– постійна, наближена до періоду коливань атомів кристалічної ґратки ($\tau_0 \approx 10^{-13}$ с);
U_0	– початкова енергія активації ;
R	– газова постійна;
T	– абсолютна температура середовища;
T_s	– температура плавлення металу;
δ	– відносне залишкове видовження;
$\dot{\epsilon}$	– швидкість деформації;
σ_b	– границя міцності;
ψ	– відносне залишкове звуження;
r	– еквівалентний множник;
β	– безрозмірний параметр;
m	– показник зміцнення;
τ_{DP}	– час довготривалого руйнування;
σ_{DP}	– довготривала міцність.

У механіці руйнування матеріалів важливе значення має задача прогнозування властивостей тривалої міцності за результатами короткочасних випробовувань. Одним з продуктивних підходів до її розв'язання є метод термоактиваційного аналізу, що базується на використанні формули Журкова:

$$\tau_p \approx \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT}\right). \quad (1)$$

Ця формула зв'язує характеристики, що одержуються з макроексперименту: час руйнування, напруження та температуру з характеристиками, одержаними з мікроексперименту (періодом коливань атомів у кристалічній ґратці, початковою енергією активації та газовою постійною).

У роботі [1] встановлена постійність енергії активації в широкому діапазоні температур і швидкостей деформування для малопластичних і пластичних матеріалів і одержана формула:

$$U_0 \approx RT_s \ln \frac{1}{\tau_0}, \quad (2)$$

що зв'язує початкову енергію активації з температурою плавлення матеріалу, а також система інтегро-алгебраїчних рівнянь, що дозволила в першому наближенні розв'язати задачу експрес-прогнозування тривалої міцності за результатами короткочасних випробувань.

Як виявили дослідження, достовірність прогнозу тривалої міцності можна поліпшити, ввівши поправку на втрату стійкості процесу пластичної деформації, що виявляється в утворенні шийок. Існуючі методики прогнозування тривалої міцності за

результатами короточасних випробовувань із застосуванням досягнень термоактиваційного аналізу не враховують цієї стадії нестационарної геометрії при пластичному деформуванні матеріалів, що й зумовило необхідність досліджень на закритичній стадії пластичного деформування.

Для цього був створений програмно-апаратний комплекс [2]. За допомогою виробленого програмно-апаратного комплексу (рис.1) можна виконувати дослідження деформування матеріалів, у тому числі в районі шийки.

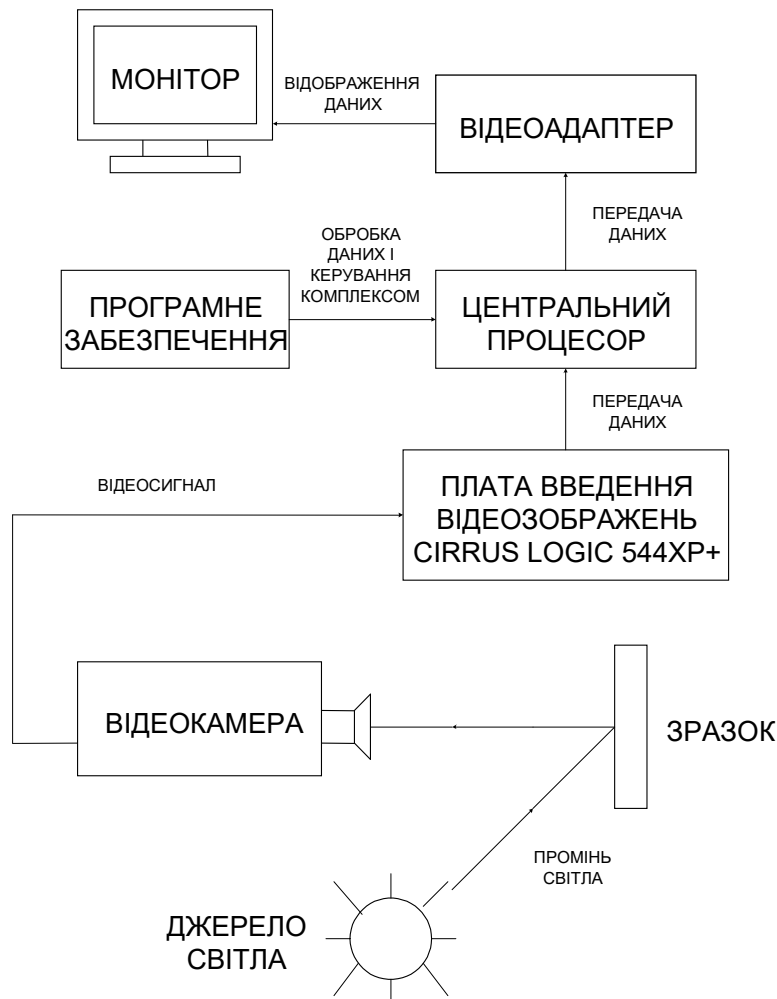


Рис. 1. Програмно-апаратний комплекс для дослідження деформування.

Розроблений програмно-апаратний комплекс може функціонувати на персональному комп'ютері типу Pentium і складається з апаратного і програмного компонентів. До апаратного компонента належать: відеоблок (відеокамера і відеомагнітофон), пристрій введення відеозображень та персональний комп'ютер. Для введення відеозображень у комп'ютер використовувалася відеоплата Cirrus Logic 544XP+, що є комбінацією стандартного VGA-адаптора і пристрою вводу відеозображень. До програмного компоненту як складової частини розробленого комплексу належить стандартна програма Microsoft Video for Windows, програма масштабування та програма покадрової обробки зображень.

Автоматизована обробка процесу пластичного деформування виконується так:

1. Процес пружно-пластичної деформації фіксується за допомогою відеокамери на відеоплівку.
2. Одержане зображення, що відтворюється на відеомагнітофоні, вводиться в персональний комп'ютер через пристрій введення зображень за допомогою програми VidCap, що є складовою частиною Microsoft Video for Windows і запам'ятовується на жорсткому диску в файлі формату AVI.

3. З одержаного файлу формату AVI, використовуючи програму VidEdit (пакет Microsoft Video for Windows), виділяються окремі кадри і передаються в програму Adobe PhotoShop 5.0.
4. Кадри зображення, що містяться в графічних файлах, перетворюються на двоградацийні у растрових графічних файлах ;
5. Далі графічні файли передаються програмі обробки і масштабування зображення, що виділяє на зображенні контур досліджуваного зразка і визначає його геометричні розміри.
6. Дані про геометричні розміри зразка передаються в програму Microsoft Excel 7.0 з метою дальшої обробки.

Вироблений програмно-апаратний комплекс дозволяє:

1. Спостерігати на персональному комп'ютері в реальному масштабі часу весь процес деформування.
2. В автоматичному режимі визначати параметри деформування:
 - відносне залишкове видовження та звуження зразка;
 - рівномірне видовження зразка;
 - період руйнування зразка та утворення шийки
3. Знімати профілограми шийки та відстежувати кінетику процесу пластичного деформування.
4. Покадрово автоматизовано обробляти відеозображення, вибирати окремі кадри і при необхідності документувати їх.

Дослідження кінетики деформування зразків з різних матеріалів за допомогою програмно-апаратного комплексу [2] в закритичній області деформування дозволило зробити поправку на деформацію в шийці в систему інтегро-алгебраїчних рівнянь. Це допомогло визначити активаційний обсяг руйнування більш точно порівняно з попередньою моделлю [1,3] (що не враховує параметрів шийки), що поліпшило прогнозування тривалої міцності.

Термоактиваційний аналіз руйнування жароміцних сталей виконувався аналогічно термоактиваційному аналізу міді [4]. Дослідження проводилось з використанням даних по розтягуванні понад 1000 сталевих зразків [5, 6, 7, 8]. Активаційний обсяг оцінювався за співвідношенням:

$$\gamma = \frac{U_0 - RT \ln \frac{\delta}{\epsilon \tau_0}}{\sigma_B (1 + \psi \delta) r} \quad (3)$$

Еквівалентний множник визначався за формулою:

$$r = 1 - \frac{1}{\beta} \ln(m\beta).$$

Значення β знаходилося за співвідношенням:

$$\beta = \frac{\gamma \sigma_B}{RT}.$$

Оскільки значення параметра β також залежить від активаційного обсягу, то $r=r(\gamma)$. Тобто, формула (3) є ітераційним співвідношенням. Як виявляє чисельний аналіз, це ітераційне співвідношення достатньо збіжне.

Якщо маємо стійкість активаційного обсягу при зміні швидкості деформування при короткочасних випробуваннях, можемо використати той самий активаційний обсяг для прогнозування тривалої міцності. Тоді тривалу міцність можна підраховувати за формулою [3]:

$$\sigma_{DP} = \frac{U_0 - RT \ln \frac{\tau_{DP}}{\tau_0}}{\gamma}$$

Термоактиваційний аналіз жароміцних сталей за даними [6] виявив, що для них значення термоактиваційного об'єму є величиною сталою. На рис.2 подана залежність активаційного об'єму від гомологічної температури для сталей марок 10X11H20T3P та 37X12H8Г8МФБ, відхилення активаційного обсягу від середнього значення становить 0,038 та 0,022 кДж/(моль × МПа) відповідно.

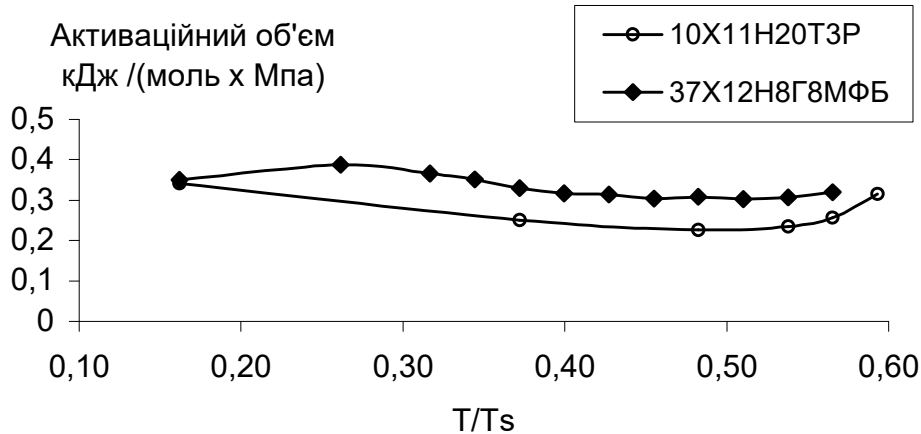


Рис.2. Температурна зміна активаційного об'єму жароміцних сталей.

На рис. 3 а), б) подані температурні залежності довготривалої міцності на базі 100 годин для жароміцних сталей марок 10X11H20T3P та 37X12H8Г8МФБ. Штриховими лініями на графіках подані температурні залежності тривалої міцності, обчислені без урахування шийкоутворення.

Висновки

1. Вироблено програмно-апаратний комплекс для дослідження нестационарних процесів деформування матеріалів, що дозволяє врахувати нестационарну геометрію при деформуванні матеріалів.
2. Жароміцні сталі, як мідь та алюміній, належать до матеріалів з термостабільним активаційним об'ємом.
3. Впровадження кінетики зміни контуру зразка в замкнуту систему рівнянь дозволяє підвищити точність прогнозування тривалої міцності не менше, ніж на 8% для матеріалів із термостабільним активаційним об'ємом.

а) сталь 10X11H20T

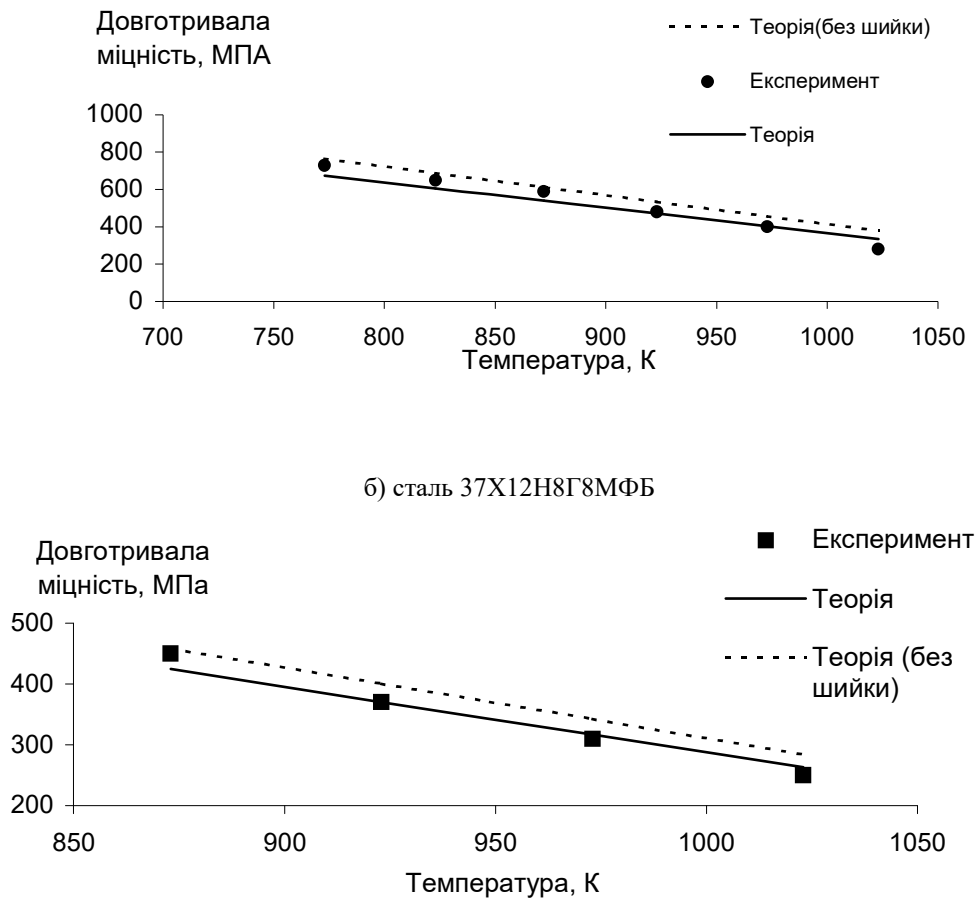


Рис. 3. Температурна залежність довготривалої міцності на базі 100 г.

In this article the results of researches of process of deformation of steel by thermoactivation analysis were represented. It is shown, that the allowance parameters of neck at prediction long-term strength improves exactitude of prediction for material with constant activation volume.

Література

1. Грабар И.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. Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Подчашинський Ю.О. Комп'ютеризована технологія дослідження кінетики пружно-пластичного деформування та руйнування твердих тіл // Вісник ЖІТІ. – 1998.– № 7.– С. 181–184.
3. Грабар І.Г. Про єдину природу довготривалого і короткочасного руйнування та прискорене визначення ресурсу конструкцій // Сучасні технології в аерокосмічному комплексі: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції.-Житомир, 1999.– С. 13 – 18.
4. Колодницька Р.В. Термоактиваційний аналіз руйнування з врахуванням параметрів шийки. // Сучасні технології в аерокосмічному комплексі: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. – Житомир, 1999.– С. 121 – 124.
5. Колодницька Р.В. Універсальна база даних для експрес прогнозу довготривалої міцності // Вісник ЖІТІ. – 1998.– № 8. – С. 12–15.
6. Конструкционные материалы: Справочник / Под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
7. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г. Сороркина – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
8. Сопроотивление 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.

Одержано 18.04.2000 р.