

УДК 539.20

Грабар І.Г.*Житомирський національний агроєкологічний університет***ПРИСКОРЕНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРИВАЛОЇ МІЦНОСТІ ТА УНІВЕРСАЛЬНА ДІАГРАМА ПРОФЕСОРА ГРАБАРА**

На основі запропонованої синергетичної моделі руйнування отримано співвідношення для оцінки тривалої міцності в широкому діапазоні експлуатаційних режимів металічних матеріалів. Показано, що універсальна діаграма професора Грабара не тільки скорочує процес прогнозування ресурсу до кількох хвилин, а й дозволяє частково компенсувати катастрофічно низьку математичну підготовку студентів інженерних спеціальностей.

Ключові слова: тривала міцність, енергія активації, наближення Ейнштейна-Дебая; універсальна діаграма професора Грабара

И. Г. Грабар**УСКОРЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ И УНИВЕРСАЛЬНАЯ ДИАГРАММА ПРОФЕССОРА ГРАБАРА**

На основе предложенной синергетической модели разрушения получены соотношения для оценки длительной прочности металлических материалов в широких диапазонах эксплуатационных режимов. Показано, что универсальная диаграмма профессора Грабара не только сокращает процесс прогнозирования ресурса до нескольких минут, но и позволяет частично компенсировать катастрофически низкую математическую подготовку студентов инженерных специальностей.

Ключевые слова: длительная прочность, энергия активации, приближение Эйнштейна-Дебая; универсальная диаграмма профессора Грабаря

I. G. Grabar**THE ACCELERATED FORECASTING OF LONG DURABILITY AND THE UNIVERSAL CHART OF PROFESSOR GRABAR**

On the basis of the offered synergetic model of destruction ratios for an assessment of long durability of metal materials in the wide ranges of the operational modes are received. It is shown that the universal chart of professor Grabar not only reduces process of forecasting of a resource about several minutes, but also allows to compensate partially catastrophically low mathematical training of students of engineering specialties.

Keywords: long durability, activation energy, Einstein-Debye approximation; Professor Grabar universal chart

Стрімке зростання продуктивності та потужності технологічних, транспортних, енергетичних машин різко підвищує актуальність задачі прогнозування їх ресурсу. В той же час вирішення цієї проблеми, крім відомих наукових складностей, пов'язано з цілою низкою економічних, соціальних, педагогічних та інших проблем (рис. 1)

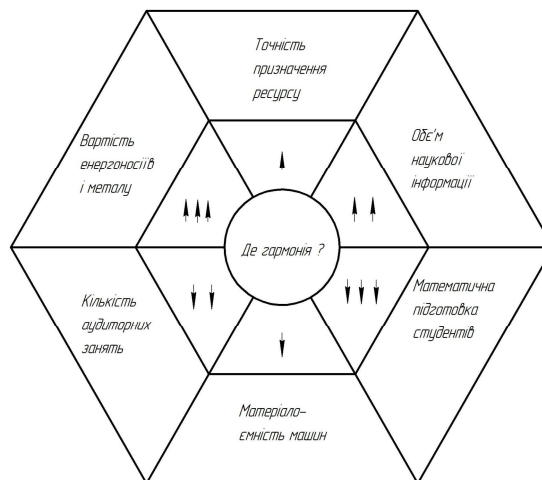


Рис. 1.

Чи можливий вихід із зачарованого кола рис.1? Принаймні, чи можна готувати інженера-механіка, гарного спеціаліста, що оволодіє хоча б розрахунками за елементарними критеріями

опору матеріалів, не кажучи вже про надійність і ресурс, при тому катастрофічному стані математичної підготовки, з якою приходять випускник середньої школи на перший курс інженерного ВНЗ (↓↓↓ на рис.1). Чи можна взагалі при такій низькій математичній підготовці говорити серйозно про інженерну підготовку? Чи компенсує комп'ютер незнання математики, фізики, теоретичної механіки, опору матеріалів? Чи в змозі це все компенсувати педагогічна майстерність? Тим більше – на фоні різкого зменшення аудиторних занять і збільшенні обсягів інформації, що необхідно засвоїти майбутньому інженеру...

Розберемо детальніше цей клубок протиріч на прикладі експрес-прогнозу тривалої міцності металічних матеріалів. Наприклад, в умовах стаціонарного навантаження, коли час до руйнування гарно описується стаціонарним рівнянням С.М.Журкова [1]:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT} \quad (1)$$

Великою проблемою застосування (1) є названа вище математична підготовка студентів (вірніше – її відсутність) – дуже часто студент не може скористатись формулою (принаймні – без помилок), а також наукова проблема - необхідність для кожного нового матеріалу (чи навіть при зміні структури, термообробки, радіаційного навантаження тощо відомого матеріалу) експериментального визначення енергії активації U_0 та активаційного об'єму γ . А це – рік високовартісних експериментальних досліджень на базі 5-10 тисяч годин, що є і занадто дорого, і ринок так довго чекати не хоче, оскільки ресурс – категорія ринкова!

Раніше нами [2] для металічних матеріалів побудовано синергетичну модель руйнування, на основі якої для ОЦК і ГЦК металів і їх сплавів в умовах автоматичного підпростору стану матеріалу отримано співвідношення для оцінки енергії активації :

$$U_0 \cong kT_s \ln \frac{[1]}{\tau_0} \quad (2)$$

Формулу (2) можна привести до хороших інженерних співвідношень – наближення Ейнштейна (3) та наближення Дебая (4):

$$U_0 = kT_s \ln \left(\frac{1}{2\pi a_0} \sqrt{\frac{rE}{\rho}} \right) \quad (3)$$

$$U_0 = kT_s \ln \left(\frac{k\theta_d}{h} \right) \quad (4)$$

де E і a_0 – рівноважні значення модуля пружності і постійної ґратки; k – постійна Больцмана;

T_s – температура плавлення; r – кількість атомів в елементарній ґратці ($r = 2$ для ОЦК і $r = 4$ для ГЦК кристалів); ρ – густина; θ_d – температура Дебая.

Значення енергії активації (2) – (4) для ОЦК та ГЦК металів та їх сплавів гарно співпадає з експериментальними даними (таблиця 1 та таблиця 2):

Таблиця 1. Теоретичні та експериментальні значення енергії активації ОЦК і ГЦК металів

Метал	Енергія активації, кДж/моль		
	Наближення Ейнштейна (3)	Наближення Дебая (4)	Експеримент [1]
1 Молібден	689,3	713,7	711,4
2 Ніобій	642,0	669,5	628,0
3 Ванадій	512,9	534,6	540,1
4 Платина	472,3	496,5	502,4...607,1
5 Залізо	431,4	448,0	418,7...502,4
6 Нікель	407,7	426,0	364,3
7 Мідь	317,2	332,7	339,1
8 Срібло	284,3	298,9	259,6
9 Алюміній	219,8	230,7	209,3...221,9
10 Свинець	133,3	141,1	175,8

В таблиці 2 наведені експериментальні значення відхилення енергії активації, тоді як формули (3) – (4) дають для заданих змін параметрів вказаних сплавів

$$\left| \frac{\Delta U_0}{U_0} \right| \leq \pm 1,6\% \quad (5)$$

Таблиця 2. Експериментальні значення відхилення енергії активації при випробуваннях на тривалу міцність зразків із алюмінію

№ з/п	Змінний параметр	Границі зміни	Відхилення енергії активації $\frac{\Delta U_0}{U_0} \cdot 100\%$ [1]
1	Домішки міді	0...4 %	$\leq 4\%$
2	Домішки магнію	0...4%	$\leq 4\%$
3	Домішки цинку	0...10%	$\leq 2\%$
4	Зміни орієнтування монокристалів	[111]...[100]	$\leq 2\%$
5	Відпал	573 К...873 К	$\leq 5\%$
6	Прокатка без відпалу	0...90%	$\leq 1\%$
7	Нейтронне опромінення	0...10 ²⁷ іон/м ²	$\leq 8\%$

Отримані співвідношення (2) – (4) дозволяють постановку цілого ряду нових задач. Так, з (2) – (4) при наявності бодай однієї кривої короточасної міцності в даному структурному стані матеріалу та при заданих експлуатаційних режимах температурно-силового навантаження отримано наближення для оцінки другого параметра формули Журкова – активаційний об'єм:

$$\gamma = \frac{U_0 - kT \ln \frac{\delta}{\varepsilon \tau_0}}{\sigma_e (1 + \delta) r} \quad (6)$$

Таким чином, рік експериментальних досліджень досить коректно вдалося скоротити до кількох годин. Більше того, (1) – (5) дозволяють побудувати замкнену нелінійну систему інтегро-алгебраїчних рівнянь, спільний розв'язок якої дає можливість звести задачу експрес-прогнозування тривалої міцності до безрозмірних координат «відносна температура – відносні

напруги» ($z = \frac{T_{експл}}{T_S}$ – $\varphi = \frac{\sigma_{експл}}{\sigma_B}$) та побудувати узагальнену універсальну діаграму

проф.Грабара – єдину для всіх ОЦК та ГЦК металів та їх сплавів, чого до сих пір не вдалося нікому.

Синергетична модель руйнування передбачає фазово-амплітудну синхронізацію коливань групи атомів в активованому об'ємі під дією зовнішнього температурно-силового навантаження, аналогічну фазовому переходу по лазерній схемі в стохастичній нелінійній нерівно вісній системі. При цьому елементарний акт руйнування розглядається як колективний синхронізований стрибок цієї групи атомів через знижений зовнішнім температурно-силовим навантаженням потенційний бар'єр. Цей постулат підтверджується не лише гарним співпадінням з експериментальними даними теоретичних оцінок енергії активації та її відхилень, а й співпадіння термоактиваційних параметрів елементарної події (руйнування монокристалічного атома) та макрозразка, можливість теоретичної оцінки кванта руйнування, енергетичної еквівалентності теплового та механічного руйнування тощо, про що детальніше буде повідомлено в доповіді.

Наявність універсальної діаграми (рис.2) дає можливість визначити ресурс на стадії проектування конструкції за 1-2 хвилин, при цьому майже знімаючи проблему катастрофічно низької математичної підготовки в студентів інженерних спеціальностей університетів.

$$\varphi = \frac{\sigma_{експл}}{\sigma_B}$$

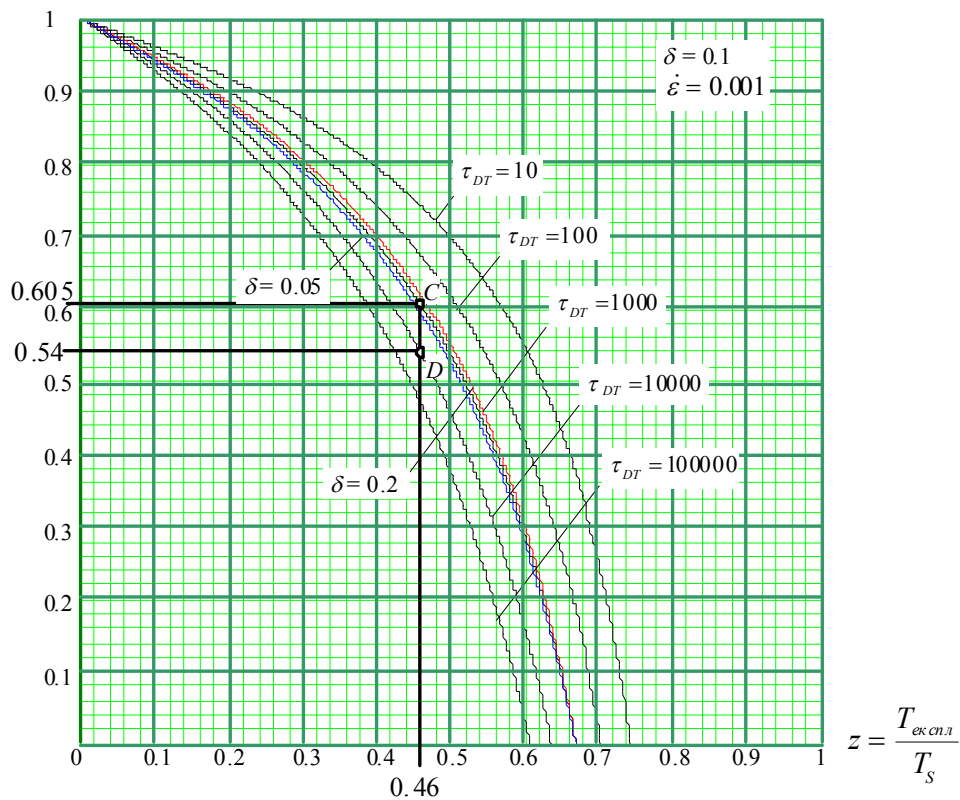


Рис.2. Універсальна діаграма проф. Грабара

1. Регель В. Р., Слущер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука. 1974. – 512 с.
2. Грабар І. Г. Термоактиваційний аналіз та синергетика руйнування. – Житомир: ЖПІ. – 2002. – 356 с.
3. Грабар І. Г. Вісник ЖНАЕУ. - №2 (45), т.2, ч.ІІ. – 2014. – С. 22-29.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2015.