



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

РОЗРАХУНКИ І ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ

**Методика визначення характеристик
динамічної тріщиностійкості металів
за поздовжнього зсуву за температур
від мінус 196 °С до плюс 400 °С**

ДСТУ 7068:2009

Видання офіційне

БЗ № 10–2009/794

Київ
ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ
2010

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАНУ (ФМІ НАНУ)

РОЗРОБНИКИ: **Я. Іваницький**, д-р техн. наук; **І. Ходань**, канд. техн. наук; **С. Штаюра**, канд. техн. наук; **В. Бойко**, канд. техн. наук; **В. Панасюк**, д-р техн. наук (науковий керівник)

2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Держспоживстандарту України від 5 жовтня 2009 р. № 358

3 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

Право власності на цей документ належить державі.
Відтворювати, тиражувати і розповсюджувати його повністю чи частково
на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу заборонено.
Стосовно врегулювання прав власності треба звертатися до Держспоживстандарту України

Держспоживстандарт України, 2010

ЗМІСТ

	с.
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	1
3 Терміни та визначення понять	2
4 Загальні положення	2
5 Зразки та їхнє виготовлення	3
6 Засоби випробовування і вимірювання	4
7 Методика проведення випробовування	5
8 Розраховування залежності $K_{III}(t)$ і визначання критичного динамічного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{III}^0	6
Додаток А Позначення, використані у стандарті, та їхня розмірність	9
Додаток Б Пристрій для ударного закручування циліндричних зразків	10
Додаток В Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) для динамічних випробовувань	11
Додаток Г Пристрій для тарування силосимірювачів на маятниковому копрі	13
Додаток Д Протокол випробовування	14
Додаток Е Програма для обчислювання динамічного коефіцієнта інтенсивності напружень за динамічного закручування циліндричного зразка	15

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

РОЗРАХУНКИ І ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ

Методика визначення характеристик
динамічної тріщиностійкості металів
за поздовжнього зсуву за температур
від мінус 196 °С до плюс 400 °С

РАСЧЁТЫ И ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ

Методика определения характеристик
динамической трещиностойкости металлов
при продольном сдвиге и температурах
от минус 196 °С до плюс 400 °С

CALCULATION AND STRENGTH TESTS

Methods for determining dynamic crack
growth resistance characteristics of metals
under mode of longitudinal fracture shift at temperature range
from minus 196 °C to plus 400 °C

Чинний від 2010-01-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Стандарт установлює методи механічних випробовувань для визначення характеристик динамічної тріщиностійкості металів за поздовжнього зсуву за температури випробовувань від мінус 196 °С до плюс 400 °С.

Цей стандарт разом з іншими стандартами застосовують для визначення характеристик міцності матеріалів.

Стандарт не поширюється на механічні випробовування неметалевих матеріалів.

Вимоги цього стандарту рекомендовані для підприємств, організацій, установ, науково-дослідних товариств, які здійснюють розрахунки міцності матеріалів елементів конструкцій.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому стандарті є посилання на такі документи:

ДСТУ 2442-94 Механіка руйнування. Терміни та визначення

ГОСТ 25.506-85 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении (Розрахунки і випробовування на міцність. Методи механічних випробовувань металів. Визначення характеристик тріщиностійкості (в'язкості руйнування) за статичного навантаження)

ГОСТ 3565-80 Металлы. Методы испытаний металлов на кручение (Метали. Методи випробовування металів на кручення)

ГОСТ 9651–91 Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах (Метали. Методи випробовування на розтяг за підвищених температур)

ГОСТ 10708–85 Копры маятниковые. Технические условия (Копри маятникові. Технічні умови)

ГОСТ 11150–84 Металлы. Методы испытаний на растяжение при пониженных температурах (Метали. Методи випробовування на розтяг за знижених температур)

ГОСТ 21616–91 Тензорезисторы. Общие технические условия (Тензорезистори. Загальні технічні умови)

ГОСТ 24555–81 СГИП. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения (СДВП. Порядок атестування випробовувального устаткування. Основні положення).

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Нижче подано терміни, вжиті в цьому стандарті, та визначення позначених ними понять.

3.1 механіка руйнування матеріалів

Розділ механіки деформівного твердого тіла, що вивчає процеси деформування та руйнування твердих тіл за наявності в них тріщин (ДСТУ 2442)

3.2 динамічна тріщиностійкість

Властивість матеріалу чинити опір руйнуванню за дії динамічних навантажень

3.3 динамічні навантаження

Навантаження, за яких швидкість зростання динамічного коефіцієнта інтенсивності напружень (ДКІН) змінюється у діапазоні від $1,5 \cdot 10$ до $5 \cdot 10^6$ МПа \cdot м^{1/2} \cdot с⁻¹.

3.4 інерційність

Здатність тіла зберігати стан спокою або рівномірного прямолінійного руху

3.5 коливні процеси

Збурювання напруженого стану у тілі, які змінюються зі скінченною швидкістю, спричинені дією динамічного навантаження

3.6 динамічний коефіцієнт інтенсивності напружень

ДКІН

Кількісна характеристика сингулярної складової поля напружень в околі фронту тріщини за дії динамічного навантаження

3.7 швидкість зміни ДКІН

Зміна коефіцієнта інтенсивності напружень за одиницю часу за динамічного навантаження

3.8 поздовжній зсув

Вид деформування, пов'язаний зі зміщенням берегів тріщини уздовж її фронту

3.9 умовна динамічна границя плинності під час кручення, $\tau_{0,3}^0$

Дотичне напруження, розраховане за формулою для пружного кручення, за якого залишковий зсув зразка досягає 0,3 %.

Позначки величин, використані у стандарті, надано у додатку А.

4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

4.1 Характеристику динамічної тріщиностійкості визначають за даними випробовувань закручуванням зразків з утомною тріщиною за діаграмою «момент закручування — час» ($M-t$).

4.2 Випробовують зразки з тріщинами у діапазоні швидкостей зростання коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) $K_{III} = dK_{III}/dt$ від $1,5 \cdot 10$ до $5 \cdot 10^6$ МПа \cdot м^{1/2} \cdot с⁻¹.

4.3 За результатами випробувань визначають зміну коефіцієнта інтенсивності напружень $K_{III}(t)$ від часу закручування та характеристику динамічної тріщиностійкості матеріалу — критичний динамічний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{IIIc}^0 за поздовжнього зсуву.

4.4 Характеристику опору матеріалу динамічному руйнуванню закручуванням визначають за результатами випробувань не менше ніж 3 зразків.

4.5 Розсіювання характеристики опору матеріалу динамічному руйнуванню закручуванням визначають за даними випробувань не менше ніж 15 зразків.

5 ЗРАЗКИ ТА ЇХНЕ ВИГОТОВЛЕННЯ

5.1 Характеристику динамічної тріщиностійкості матеріалу K_{III}^0 визначають за силовою схемою ударного закручування циліндричних зразків (тип I) із зовнішньою кільцевою тріщиною (рисунок 1).

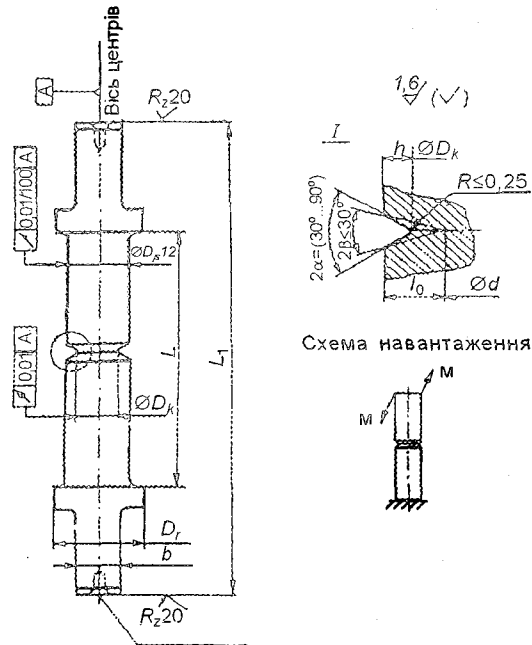


Рисунок 1 — Циліндричний зразок для випробування ударним закручуванням

5.2 Оптимальні розміри циліндричних зразків (рисунок 1) вибирають за співвідношеннями:

$$L = 7D; \quad d = (0,6 \dots 0,7)D; \quad L_1 \geq 10D, \quad (5.1)$$

$$l_0 = 0,5(D - d) \geq h + 1,5 \text{ мм},$$

$$D_k = D - 2h \approx (0,65 \dots 0,85)D,$$

$$D_1 = 1,5D, \quad b = 0,85D_1,$$

- де L — робоча довжина зразка (циліндра);
 L_1 — довжина зразка;
 D — зовнішній діаметр зразка;
 D_k — діаметр ослабленого надрізом перерізу зразка;
 d — середній діаметр контуру вихідної втомної тріщини;
 l_0 — довжина тріщини;
 h — глибина кільцевого надрізу у зразку.

5.3 Коректність розрахунку величини K_{III}^0 під час випробування зразків, наведених на рисунку 1, установлюють за вимогами до діаметра зразка.

Орієнтовний діаметр зразка D для визначання K_{III}^0 у діапазоні зміни K_{III} , вказаному у 4.2, встановлюють відповідно до таблиці 1 за модулем зсуву G і умовною межею плинності матеріалу за статичного $\tau_{0,3}$ (ГОСТ 3565) та динамічного $\tau_{0,3}^0$ кручення.

5.4 Регламентують такі параметри зразків: тип I — діаметр D не менше ніж 12 мм.

Таблиця 1 — Вибір орієнтовного діаметра зразка для визначання K_{IIIc}^0

$\tau_{0,3} / G$	$\tau_{0,3}^a / G$	D , мм
До 0,005	До 0,006	60
0,005...0,0057	0,006...0,0065	50
Понад 0,0057 до 0,0065 включ.	Понад 0,0065 до 0,0075 включ.	40
» 0,0065 » 0,0075 »	» 0,0075 » 0,008 »	25
» 0,0075 » 0,0095 »	» 0,008 » 0,0095 »	15
Понад 0,0095	Понад 0,0095	12

5.5 Зразки виготовляють із однієї партії матеріалу. За технологією виготовлення зразків забезпечують відсутність наклепу металу, залишкових напружень та інших пошкоджень у зоні руйнування.

5.6 Втомні тріщини в циліндричному зразку (тип I) створюють за три- або чотириточкового кругового згину зразка з постійною стрілою прогину — згідно з ГОСТ 25.506 із коефіцієнтом асиметрії циклу $R = 0,1 \pm 0,2$. Номінальні напруження σ_0 в нетто-перерізі зразка за максимального зусилля циклу не повинні перевищувати $0,5\sigma_{0,2}$, а кількість циклів навантаження для створення втомної тріщини повинна бути не менше ніж $5 \cdot 10^4$.

5.7 Величину надрізів, довжину тріщини і допуски на їхні розміри встановлено у ГОСТ 25.506.

6 ЗАСОБИ ВИПРОБОВУВАННЯ І ВИМІРЮВАННЯ

6.1 Зразки для визначання характеристик тріщиностійкості за динамічного закручування випробовують на машинах із механічним приводом, а також на модернізованих маятникових копрах. Під час випробовування вимірюють і реєструють часову залежність зусилля P , яке діє на плече поворотного важеля a і закручує зразок моментом M ($M = P \cdot a$) (див. додаток Б).

Випробовувальні установки повинні відповідати вимогам ГОСТ10708 та бути атестовані згідно з ГОСТ 24555.

Точність вимірювання моменту закруту та зсуву берегів тріщини встановлюють згідно з ГОСТ 25.506.

6.2 Мінімальний запас енергії копра оцінюють за формулою:

$$W = \tau_{\max} \cdot \varphi_{\max} = \frac{512 L M^2}{\pi^2 D^7 G}, \text{ Дж/м}^3,$$

де τ_{\max} — максимальні дотичні напруження, які діють на поверхні зразка, Н/м²;
 φ_{\max} — максимальний кут закручування на розрахунковій довжині зразка, рад;
 G — модуль зсуву, Н/м²;
 M — момент закручування зразка, Н·м.

Для записування діаграм «момент закручування — час» копри оснащують реєструвальними приладами.

6.3 Зусилля, прикладені до зразків на маятниковому і вертикальному копрах, у процесі закручування вимірюють динамометрами, пружним елементом яких є ударна частина маятника копра (молот), вантажу, що падає, і динамометр активного захоплювача. Зусилля копра є сумою двох складових: інерційного опору зразка і власного руйнівального навантаження.

Для еталонних досліджень контрольні датчі (тензорезистори — згідно з ГОСТ 21616) наклеюють безпосередньо на зразках, що дозволяє виділити із сумарного зусилля істинне руйнівне зусилля.

6.4 Діаграму «момент закручування — час» реєструють за сигналами динамометрів на активному захоплювачі і оцифровують за допомогою інформаційно-виміральної системи (ІВС) (додаток В).

6.5 Для визначення характеристики динамічної тріщиностійкості матеріалу K_{III}^d розраховують залежність $K_{III}(t)$ — зміну ДКІН за час навантажування, застосувавши інформаційно-виміральною систему (ІВС), блок-схему якої подано у додатку В, і на основі цього встановлюють максимальний ДКІН (див. розділ 8).

6.6 Достовірність результатів досліджень забезпечують таруванням силовимірвачів за взірцевими динамометрами (додаток Г).

7 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБОВУВАННЯ

7.1 Перед випробовуваннями перевіряють і тарують засоби вимірювання зусиль і зсуву згідно з чинними стандартами на відповідному пристосованні. Чутливість реєстраційної апаратури встановлюють відповідно до передбачуваних значень вимірюваних сигналів. Статичне тарування динамометрів здійснюють виміральною апаратурою, яку потім використовують для випробовування ударним закручуванням.

7.2 Розміри зразків l_0 , d , D вимірюють із похибкою не більше ніж 0,1 мм.

7.3 Установлюють зразок у пристосовання і налагоджують робочий режим виміральної апаратури.

7.4 Після закріплення пристрою із зразком для випробовування на копрі встановлюють необхідний запас енергії руйнування копра відповідно до 6.2.

Досягають необхідної величини K_{III} зміною висоти підймання маятника.

7.5 Під час випробовування за допомогою ІВС записують діаграму «момент закручування-час». Момент закручування M створює сила P , яка діє на плече поворотного важеля a . Для розраховування ДКІН використовують часову залежність приведеного зусилля T , яке на плечі $D/2$ створює момент, еквівалентний моменту M (див. розділ 8).

7.6 Після випробовування вимірюють основні параметри зламу зразка у зоні руйнування. Для циліндричних зразків інструментальним мікроскопом вимірюють довжину тріщини $2l_0$ у двох взаємно перпендикулярних напрямках із похибкою не більше ніж $\pm 0,1$ мм і розраховують середнє значення вимірної величини (див. ГОСТ 25.506).

Якщо довільні два результати вимірювань відрізняються більше ніж на 10 %, зразок відбраковують.

7.7 Під час випробовування за температур, відмінних від кімнатної, дотримуються вимог ГОСТ 11150, ГОСТ 9651. Дослідження починають після витримування зразка у середовищі за заданої температури, достатньої для її стабілізації і вирівнювання. Похибка дотримування заданої температури зразка поблизу вершини тріщини не повинна бути більше ніж ± 5 °С.

7.8 Серію зразків випробовують за незмінних умов.

7.9 Результати вимірювань для кожного зразка записують до протоколу випробовування (додаток Д).

7.10 За розрахованою залежністю $K_{III}(t)$ визначають критичні значення характеристик динамічної тріщиностійкості K_{III}^d за поздовжнього зсуву (див. розділ 8).

7.11 Вимоги щодо безпеки праці під час випробовування

7.11.1 До роботи допускають осіб не молодших 21 року, які проінструктовані з охорони праці та атестовані з електробезпеки і які освоїли принцип роботи устаткування, вивчили методику експериментальних досліджень на копрах та правила технічного експлуатування електроустановок із напругою до 1000 В.

7.11.2 Рухомі частини обладнання захищають кожухом.

7.11.3 Під час роботи з рідким азотом одягають захисні рукавиці та окуляри.

7.11.4 Заборонено:

- виконувати роботи за піднятого маятника копра та увімкненого електродвигуна;
- проводити випробовування з несправними приладами;
- присутність сторонніх осіб під час роботи з рідким азотом.

8 РОЗРАХОВУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ $K_{III}(T)$ І ВИЗНАЧАННЯ КРИТИЧНОГО ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ K_{IIIc}°

8.1 Швидкість процесу динамічного закручування зразків із тріщиною оцінюють за швидкістю зміни ДКІН — $K_{III} = dK_{III}/dt$.

8.2 Критичний ДКІН K_{IIIc}° визначають за максимальним значенням залежності $K_{III}(t)$ відповідно до приведених нижче формул.

8.3 Для циліндричного зразка $K_{III}(t)$ визначають відповідно до формули (8.1). Часову залежність зусилля $T(t)$ (див. 7.5) апроксимують кусково-ламаною лінією відповідно до формули (8.2):

$$K_{III}(t) = K_{III}^{(1)} T(t) - K_{III}^{(1)} \sum_{i=1}^N (k_i - k_{i-1}) H(t - t_{i-1}) \sum_{j=1}^n (\eta_j / \omega_j) \sin(\omega_j (t - t_{i-1})) \quad (8.1)$$

$$T(t) \approx \sum_{i=1}^N (k_i - k_{i-1}) (t - t_{i-1}) H(t - t_{i-1}) \quad (8.2)$$

де $K_{III}^{(1)}$ — статичний коефіцієнт інтенсивності напружень за дії одиничної сили $T(t) = 1$;

ω_j — кругові частоти власних крутильних коливань циліндра;

η_j — вагові коефіцієнти;

$H(t)$ — функція Хевісайда;

n — число мод власних крутильних коливань циліндра, яку враховують під час аналізування;

N — число ланок при апроксимації кусково-ламаною лінією діаграми «зусилля T —час t »;

k_i — кутові коефіцієнти ланок у діаграмі «зусилля T —час t »;

t_i — координати точок зламу при апроксимації кусково-ламаною лінією діаграми «зусилля T —час t ».

$K_{III}^{(1)}$, ω_j , η_j обчислюють для різних значень $\lambda = 2l_0/D$ і різних відносних довжин циліндричного зразка $\gamma = 2L/D$ за формулами (8.3—8.9).

$$K_{III}^{(1)} = 2\sqrt{2} (19.85 - 163.3\lambda + 584.5\lambda^2 - 919.3\lambda^3) / D\sqrt{D} \quad (8.3)$$

Для проміжку $0.3 \leq \lambda \leq 0.7$ і $4 \leq \gamma \leq 8$ значення безрозмірної i -вої кругової частоти власних коливань циліндра ω_i^* і вагових коефіцієнтів η_i є такі:

$$\omega_1^* = 0.2938 - 1.9471\lambda + 4.7635\lambda^2 - 3.5498\lambda^3 + \lambda(13.449 - 36.046\lambda + 25.06\lambda^2) / \gamma, \\ \omega_2^* = 1.1858 - 7.03\lambda + 14.505\lambda^2 - 9.81\lambda^3 + \lambda(34.342 - 81.96\lambda + 58.56\lambda^2) / \gamma, \quad (8.4)$$

$$\omega_3^* = 2.0046 - 11.836\lambda + 23.44\lambda^2 - 15.188\lambda^3 + \lambda(53.838 - 115.714\lambda + 78.3\lambda^2) / \gamma.$$

$$\eta_1 = 1.2787 + 0.7049\lambda - 3.941\lambda^2 + 3.408\lambda^3 + (-0.0344 + 0.1637\lambda - 0.0792\lambda^2 - 0.105\lambda^3) \gamma,$$

$$\eta_2 = -0.8903 + 2.2949\lambda - 1.0168\lambda^2 - 0.6467\lambda^3 + (0.0979 - 0.6216\lambda + 0.9981\lambda^2 - 0.4667\lambda^3) \gamma, \quad (8.5)$$

$$\eta_3 = 0.901 - 4.479\lambda + 7.38\lambda^2 - 4.03\lambda^3 + (-0.0697 + 0.5542\lambda - 1.1348\lambda^2 + 0.7\lambda^3) \gamma.$$

Для проміжку $0.3 \leq \lambda \leq 0.7$ і $8 \leq \gamma \leq 13$ значення ω_i^* і η_i є такі:

$$\begin{aligned}\omega_1^* &= 0.158 - 1.113\lambda + 2.706\lambda^2 - 1.959\lambda^3 + \lambda(13.79 - 34.1\lambda + 21.94\lambda^2)/\gamma, \\ \omega_2^* &= 0.5295 - 3.376\lambda + 7.484\lambda^2 - 5.312\lambda^3 + \lambda(39 - 95.3\lambda + 68.1\lambda^2)/\gamma, \\ \omega_3^* &= 1.052 - 6.456\lambda + 13.317\lambda^2 - 8.916\lambda^3 + \lambda(60.1 - 135.9\lambda + 94.5\lambda^2)/\gamma, \\ \omega_4^* &= 1.5047 - 9.202\lambda + 18.602\lambda^2 - 12.198\lambda^3 + \lambda(81.68 - 176.16\lambda + 119.4\lambda^2)/\gamma.\end{aligned}\tag{8.6}$$

$$\begin{aligned}\eta_1 &= 1.058 + 1.9975\lambda - 5.5285\lambda^2 + 5.5249\lambda^3 + (-0.044 + 0.2144\lambda - 0.1977\lambda^2 + 3.5249\lambda^2)\lambda\gamma, \\ \eta_2 &= -0.0978 - 3.181\lambda + 9.64\lambda^2 - 7.033\lambda^3 + (0.0596 - 0.3317\lambda + 0.3315\lambda^2)\lambda\gamma, \\ \eta_3 &= 0.1894 + 0.9271\lambda - 4.3216\lambda^2 + 3.8868\lambda^3 + (0.954 - 0.131\lambda)\lambda^2\gamma, \\ \eta_4 &= -0.7987 + 3.9245\lambda - 6.412\lambda^2 + 3.481\lambda^3 + (0.046 - 0.3236\lambda + 0.6356\lambda^2 - 0.385\lambda^3)\lambda\gamma.\end{aligned}\tag{8.7}$$

Для проміжку $0.3 \leq \lambda \leq 0.7$ і $13 \leq \gamma \leq 20$ значення ω_i^* і η_i є такими:

$$\begin{aligned}\omega_1^* &= 0.1228 - 0.9365\lambda + 2.2482\lambda^2 - 1.5937\lambda^3 + \lambda(14.85 - 35.68\lambda + 22.44\lambda^2)/\gamma, \\ \omega_2^* &= 0.2916 - 1.9793\lambda + 4.5535\lambda^2 - 3.2891\lambda^3 + \lambda(40.82 - 98.44\lambda + 68.88\lambda^2)/\gamma, \\ \omega_3^* &= 0.5832 - 3.7138\lambda + 7.9369\lambda^2 - 5.4464\lambda^3 + \lambda(64.02 - 147.34\lambda + 102.78\lambda^2)/\gamma, \\ \omega_4^* &= 0.8939 - 5.6039\lambda + 11.6197\lambda^2 - 7.7745\lambda^3 + \lambda(86.51 - 191.59\lambda + 131.62\lambda^2)/\gamma, \\ \omega_5^* &= 1.1789 - 7.3574\lambda + 15.048\lambda^2 - 9.9338\lambda^3 + \lambda(109.14 - 235.29\lambda + 159.24\lambda^2)/\gamma.\end{aligned}\tag{8.8}$$

$$\begin{aligned}\eta_1 &= 1.197 + 0.4302\lambda - 0.6594\lambda^2 - 0.475\lambda^3 + 0.011\lambda^2\gamma, \\ \eta_2 &= -3.5776\lambda + 9.2147\lambda^2 - 5.9383\lambda^3 + (0.0417 - 0.1998\lambda + 0.1822\lambda^2)\lambda\gamma, \\ \eta_3 &= 2.4558\lambda - 7.5035\lambda^2 + 5.7219\lambda^3 + (-0.0239 + 0.1414\lambda - 0.1475\lambda^2)\lambda\gamma, \\ \eta_4 &= -0.1023 - 0.6484\lambda + 2.6336\lambda^2 - 2.125\lambda^3 + (-0.0155 + 0.0193\lambda)\lambda\gamma, \\ \eta_5 &= 0.2889 - 0.9032\lambda + 0.6980\lambda^2 - 2.125\lambda^3 + (0.0142 - 0.019\lambda)\lambda\gamma.\end{aligned}\tag{8.9}$$

Між ω_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$), що входять у співвідношення (8.1) і ω_i^* , які визначають за формулами (8.4, 8.6, 8.8), справедлива така залежність $\omega_i^* = 2\omega_i\sqrt{E/\rho}/D$ (E — модуль Юнга, ρ — густина матеріалу, D — діаметр зразка).

Приклад: розглянемо циліндричний зразок із сталі 40Х (гартування + відпуск 400 °С) довжиною 160 мм і діаметром 16 мм ($E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu = 0,28$). Глибина тріщини $l_0 = 6,8$ мм. Часова залежність приведенного зусилля T , розрахованого за експериментальними даними (див. 7.5), має вигляд (рисунок 2).

Після апроксимування діаграми «сила T — час t » ламаною кривою встановлюють значення N , k_i і t_i ($i = 1, 2, \dots, N$). За результатами експериментальних досліджень та формулою (8.1) будують графічну залежність ДКІН від часу (рисунок 3). Розрахунки за формулою (8.1) здійснюють із використанням таких математичних пакетів як MATLAB, MATHCAD, MATHEMATICA або програми на алгоритмічній мові FORTRAN IV (текст цієї програми приведено в додатку Е).

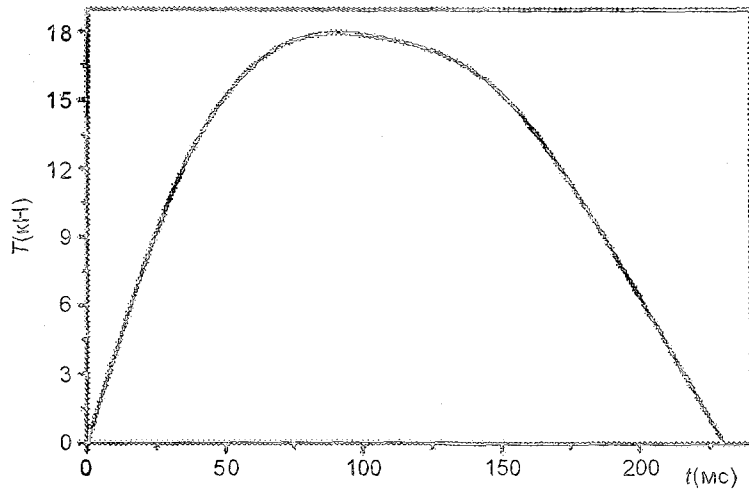


Рисунок 2 — Діаграма «зусилля T — час t » за динамічного кручення циліндричного зразка

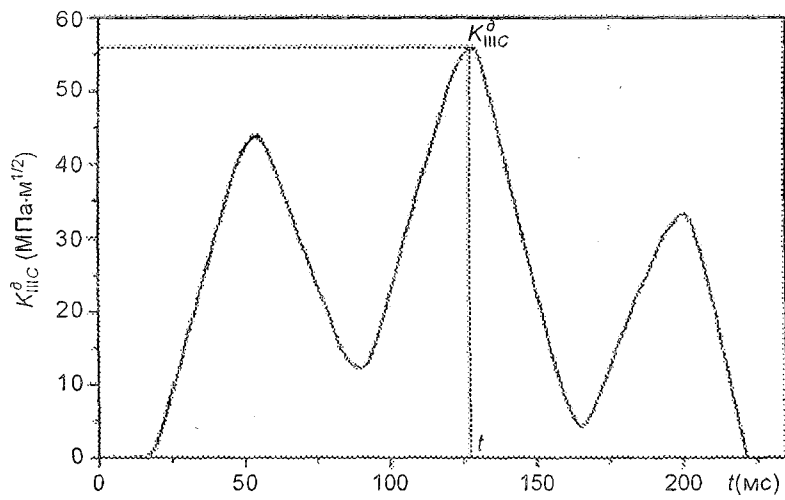


Рисунок 3 — Залежність динамічного коефіцієнта інтенсивності напружень від часу

3.4 Критичне значення K_{III}^d визначають за максимумом функції $K_{III}(t)$. Цю величину K_{III}^d приймають за характеристику ДКІН за поздовжнього зсуву (див. рисунок 3) для фіксованої швидкості динамічного закручування.

ДОДАТОКА
(довідковий)ПОЗНАЧЕННЯ, ВИКОРИСТАНІ У СТАНДАРТІ,
ТА ЇХНЯ РОЗМІРНІСТЬ

Індекс	Назва	Розмірність (SI)
K_{III}	Коефіцієнт інтенсивності напружень у пружній області для тріщини за поздовжнього зсуву	$\text{МПа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}} \left(\text{Н}/\text{м}^{3/2} \right)$
K_{IIIc}	Критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень тріщини за поздовжнього зсуву	$\text{МПа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}} \left(\text{Н}/\text{м}^{3/2} \right)$
$\dot{K}_{III}, dK/dt$	Швидкість зміни коефіцієнта інтенсивності напружень за динамічного навантаження	$\text{МПа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{с}^{-1}$
K_C^a	Критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень для матеріалу даного діаметра за динамічного навантаження	$\text{МПа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}} \left(\text{Н}/\text{м}^{3/2} \right)$
K_{IIIc}^a	Критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень в умовах максимального стискання пластичної деформації за динамічного навантаження за поздовжнього зсуву	$\text{МПа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}} \left(\text{Н}/\text{м}^{3/2} \right)$
$K_{III}^{(s)}$	Статичний коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) за дії одиничної сили для циліндричного зразка за поздовжнього зсуву	$(1/\text{м}^{3/2})$
G	Модуль зсуву	$\text{Па} \left(\text{Н}/\text{м}^2 \right)$
ν	Коефіцієнт Пуассона	—
ρ	Густина матеріалу	$\text{кг}/\text{м}^3$
ω_i	i -ва нетривіальна кругова частота безпорних власних коливань циліндра	с^{-1}
η_i	Вагові коефіцієнти	—
λ	Відносна глибина тріщини	—
γ	Відносна довжина зразка	—
n	Число мод власних крутильних коливань циліндра, що враховується	—
$H(t)$	Функція Хевісайда	—
N	Число ланок за апроксимації кусково-ламаною лінією діаграми «зусилля T —час t »	—
k_l	Кутові коефіцієнти ланок у діаграмі навантаження	—
$T(t)$	Приведене зусилля на плечі $D/2$ зразка для розраховування ДКІН	—
t	Час навантажування зразка	с
t_i	Координати точок зламу при апроксимації кусково-ламаною лінією діаграми «зусилля T —час t ».	с
$\sigma_{0,2}$	Умовна межа плинності (статична)	$\text{Па} \left(\text{Н}/\text{м}^2 \right)$
$\tau_{0,3}^a$	Умовна динамічна межа плинності	$\text{Па} \left(\text{Н}/\text{м}^2 \right)$
a_n	Ударна в'язкість	$\text{Дж}/\text{м}^2$
δ	Відносне видовження	%
ψ	Відносне звуження	%
L_1	Робоча довжина зразка	м
L	Відстань між опорами	м
D, D_k, d, h, b	Розміри зразків для випробування поздовжнім зсувом	м
l_0	Глибина тріщини	м

ДОДАТОК Б
(довідковий)ПРИСТРІЙ ДЛЯ УДАРНОГО ЗАКРУЧУВАННЯ
ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗРАЗКІВ

Пристрій для ударного закручування циліндричних зразків (рисунок Б.1) складається з нерухомого захоплювача 6, який кріплять на нижній плиті 1 і рухомого захоплювача-динамометра 5, з'єданого із поворотним важелем 3, який приводять в дію ударом по ньому молота копра (сила P). Динамометр 5 із наклеєними давачами обертається навколо осі в напрямних вальниціях 4.

Зразок закручується крутним моментом, який створюється зусиллям на молоті копра під час його спускання з фіксованих по висоті положень, що відповідає різним запасам енергії навантаження, і передається на важіль 3. Зусилля закручування валом 2 передається на захоплювач-динамометр 5. Зразок 7, закріплений у захоплювачах 5 та 6, руйнується зрізом під час прикладання до нього крутного моменту, а зусилля закручування зразка фіксують динамометром 5.

Уся установка жорстко закріплена на одній із опор копра зварним кронштейном-основою 1. Сигнал розбалансу динамометра 5 передається в інформаційно-вимірвальну систему для подальшого опрацювання і розрахування ДКІН.

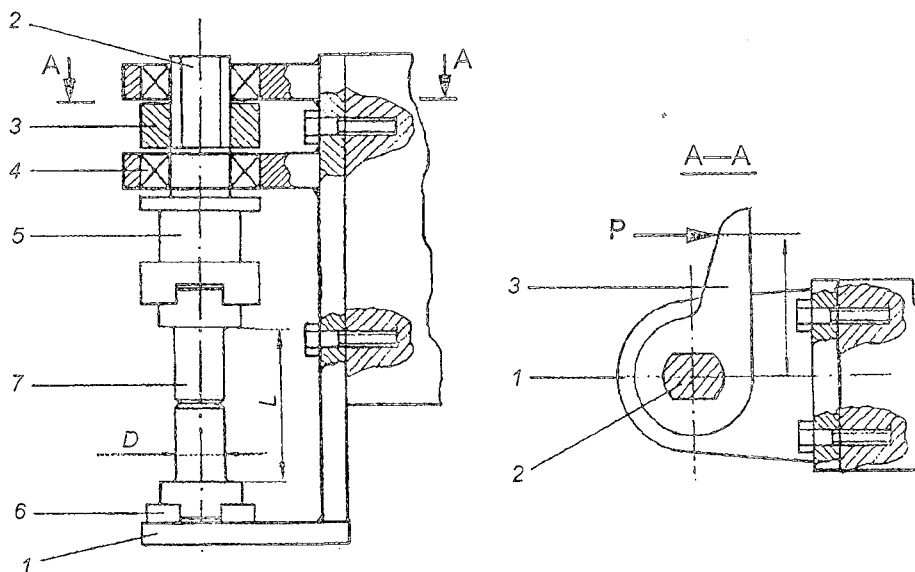


Рисунок Б.1 — Пристрій для ударного закручування циліндричних зразків

ДОДАТОК В
(довідковий)ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА (ІВС)
ДЛЯ ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБОВУВАНЬ

Ця ІВС виконує такі функції:

- відбирання інформації і підсилення сигналів із тензодавачів (вузол В), які розташовані на опорах і молоті копра;
- аналого-цифрове перетворення сигналів;
- введення цифрових сигналів у пам'ять персонального комп'ютера;
- розрахування за отриманими даними ДКІН за силовою схемою ударного закручування циліндричного зразка;
- візуалізація вихідних сигналів у табличній та графічній формах на екрані ПК та папері за допомогою принтера.

Блок ІВС складається з таких модулів (рисунок В.1):

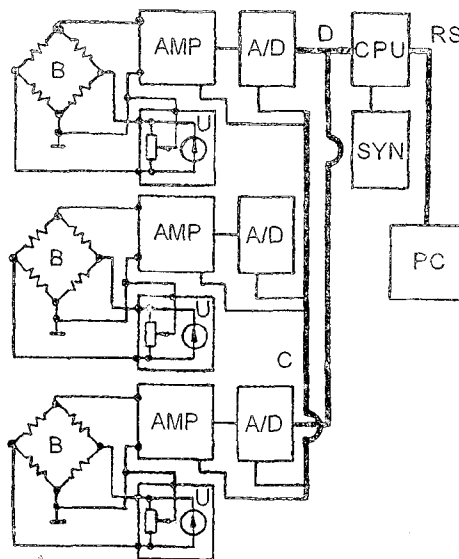
- підсилювачі широкосмугові АМР;
- системи силовимірювання В;
- аналого-цифрові перетворювачі А/Д;
- синхрогенератор SYN;
- процесор CPU;
- модуль живлення.

За комплексом розроблених програм виконують такі задачі:

- тарування ІВС;
- зчитування даних з ІВС і зберігання даних на довгострокових носіях;
- забезпечення візуалізації результатів експерименту у вигляді кусково-лінійних діаграм та таблиць на екрані дисплея і друкувальному пристрої, обчислювання часових залежностей ДКІН.

Під час тарування ІВС застосовують кусково-лінійний метод апроксимації.

Під час випробовування внаслідок деформування силовимірювальних елементів пристроїв розбалансовуються тензомости, розміщені на них. Сигнал розбалансу подають на ІВС для подальшого його оброблення.



В — вимірювальні мости; АМР — підсилювачі вхідного сигналу;
 А/Д — аналого-цифровий перетворювач; SYN — синхрогенератор;
 CPU — процесор; RS — інтерфейс; PC — комп'ютер.

Рисунок В.1 — Блок-схема інформаційно-вимірювальної системи

Вимірювальні мости В розташовані окремо від вимірювального блока і живляться від блока живлення через сигнальний кабель. Сигнали розбалансу з вимірювальних мостів подаються на входи широкосмугових підсилювачів АМР через сигнальний кабель. Підсилені і відфільтровані сигнали з виходів підсилювачів надходять на входи аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) А/Д. Аналого-цифрове перетворення синхронізується сигналами, що виробляються синхрогенератором SYN. Він генерує для роботи АЦП кінцеву послідовність із 256 імпульсів. Синхрогенератор містить пороговий пристрій, що ініціює генерацію послідовності імпульсів для АЦП і процесора CPU. Пороговий пристрій спрацьовує, коли перевищується поріг одним із вхідних сигналів підсилювачів або замикаються синхроконтакти.

Кожен АЦП має оперативну пам'ять, яка фіксує результат перетворення вхідних сигналів. Процесор переносить вміст пам'яті кожного АЦП у власну пам'ять після закінчення процесу аналого-цифрового перетворення. Накопичену інформацію процесор передає у пам'ять ПК за допомогою інтерфейса. Усі модулі вимірювального блока і вимірювальні мости живляться напругою модуля живлення 5 В; + 12 В; - 12 В.

Ширококутовий чотирьохкаскадний підсилювач забезпечує підсилення у смузі частот від 0 МГц до 5 МГц. Загальний коефіцієнт підсилення становить 1000, 2000, 4000.

Схема компенсації дрейфу складається з двокаскадного аналогового ключа з пам'яттю та інвертора.

У даній схемі застосовано мікропроцесор із тактовою частотою 4 МГц. Під час роботи вміст пам'яті АЦП переноситься у ОЗП процесора через шину даних. Інформація з ОЗП процесора передається у пам'ять ПК за допомогою інтерфейса RS. Обсяг програмного збереження процесора 4 МБ.

Коефіцієнт підсилення вимірювальних каналів 1000, 2000, 4000 (можлива модифікація з коефіцієнтами 100, 200, 400). Смуга пропускання вимірювальних каналів за рівнем 3 дБ становить 0,5 кГц, 5 кГц, 50 кГц, 0,5 МГц і 5 МГц.

Час дискретизації вхідних сигналів може вибиратися з п'яти значень:

0,1 мкс, 1 мкс, 10 мкс, 100 мкс, 1000 мкс. Кількість дискретних відліків вхідних сигналів, що запам'ятовуються, — 255.

ДОДАТОК Г
(довідковий)

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ТАРУВАННЯ СИЛОВИМІРЮВАЧІВ
НА МАЯТНИКОВОМУ КОПРІ

Тарування давачів деформацій для вимірювання сигналів розбалансу тензомостів за експериментальних досліджень здійснюють у пристосованні, схему якого представлено на рисунку Г.1. Така схема тарування максимально відображає схему навантаження під час ударного закручування і дає можливість точно визначити зусилля на екрані осцилографа чи дисплея.

Пристрій складається з основи 1, встановленої на опорах 2 копра. Статичне зусилля тарування, створене гвинтом із маховиком 3, через взірцевий динамометр 4, стрижень 5 та індентор 6 передається на важіль 7, з'єднаний з робочим динамометром 8 активного захоплювача. Динамометр жорстко з'єднаний з опорами копра 2 і зі зразком.

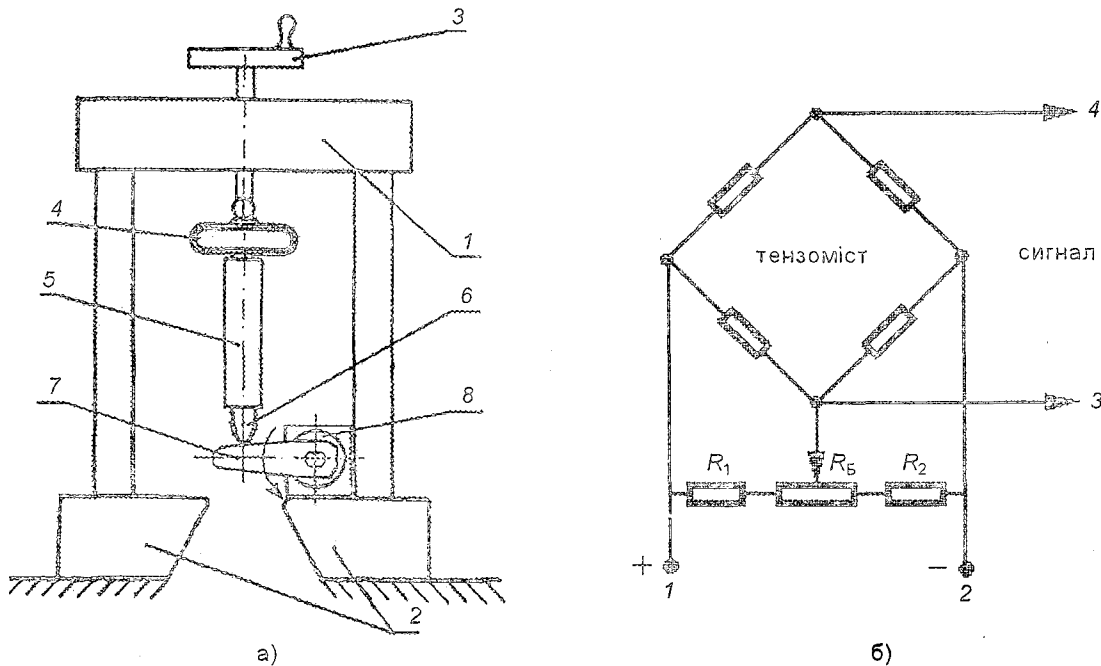


Рисунок Г.1 — Пристрій для тарування силовимірювачів на маятниковому копрі (а) і мостова схема з'єднання тензорезисторів (б)

Під час навантажування силівимірзального елемента (динамометр активного захоплювача, динамометр на маятнику) виникає напруга розбалансування ΔU моста, яка пропорційно зв'язана з деформаціями, що виникають на зразку. Ці сигнали розбалансування подають на вхід ІВС для побудови діаграм.

ДОДАТОК Д
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ВИПРОБОВУВАННЯ

1 Матеріал:

— термічне оброблення:

Матеріал	Гартування від температури	Відпуск

— хімічний склад:

хімічний склад, %	C	Mn	Si	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Al

— механічні характеристики:

№ з/п	$\sigma_{0.2}$, МПа	τ_k , МПа	$\sigma_{0.3}^d$, МПа	HRC
1				
2				
3				

2 Зразок (тип, геометричні розміри — d , D — відповідно до рисунка 1):

3 Умови випробовування:

- температура, °С —
- установка — копер потужністю 100 кг·м:
- максимальна енергія руйнування W —
(швидкість навантажування K_{III}) —
- швидкість молота —

4 Результати експериментальних досліджень і розрахунків

— для циліндричних зразків

№ з/п	D , м	d , м	$2l$, м	ϵ	$f(\epsilon)$	$P_{0.2}$, Н	K_C^d , МПа \sqrt{m}	$K_{III C}^d$, МПа \sqrt{m}
1								
2								
3								
Середні значення:						$P_{0.2 \text{ ср}} =$	$K_C^d \text{ ср} =$	$K_{III C}^d \text{ ср} =$

Завідувач лабораторії:

Випробовування провів:

ДОДАТОК Е
(обов'язковий)ПРОГРАМА ДЛЯ ОБЧИСЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА
ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ ЗА ДИНАМІЧНОГО ЗАКРУЧУВАННЯ
ЦИЛІНДРИЧНОГО ЗРАЗКА

```

USE IMSL
INTEGER N
  CHARACTER FFILE*50
PARAMETER (N=61)
REAL SE(N),COEF(N),ST(N),SP(N),TC(N),AK(N),BK(N)
DIMENSION O(3),E(3),OS(3)
REAL, ALLOCATABLE:: A(:),T(:),T1(:),A1(:)
REAL KIS,KA,L,KI,LL,LM

WRITE(*,*) 'VVEDIT' KILKIST EKSPERYMENTALNYCH TOCHOK'

  READ(*,*) NN
  ALLOCATE (A(NN),T(NN),T1(NN),A1(NN))
  WRITE(*,*) 'VVEDIT NAZVU FAJLU, DE BUDUT REZULTATY ROZRACHUNKU'
  READ(*,*) FFILE
  OPEN(10,FILE=FFILE)
DO 51 I=1,NN
  WRITE(*,52) I
  READ(*,*) A1(I),T1(I)
52 FORMAT(3X,'VVEDIT ZNACHENNA ',I2,' - OI PARY TOCHOK ',
  *'APROKSYMACIJI ZAPYSU EKSPERYMENTALNOJI KRYVOJI(P - T)')
51 CONTINUE

WRITE(*,*) 'VVEDIT ZNACHENNJA MODULJA JUNGA U PASKALJACN'
  READ(*,*) EE
  WRITE(*,*) 'VVEDIT ZNACHENNJA HUSTYNY MATERIALU U KG/M3'
  READ(*,*) RO
  WRITE(*,*) 'VVEDIT ZNACHENNJA RADIUSA (W) ZRAZKA U METRACH'
  READ(*,*) W
  WRITE(*,*) 'VVEDIT ZNACHENNJA GLYBYNY TRISHYNY U METRACH'
  READ(*,*) LM
  WRITE(*,*) 'VVEDIT ZNACHENNJA DOVZYNY ZRAZKA U METRACH'
  READ(*,*) LL
  TP=2.*3.141593/60.E-6
  KA=SQRT(EE/RO)/W
  KIS=-0.138-0.924/G+12.2*L-30.8*L*L+30.*L*L*L
  KIS=KIS*LL*SQRT(LM)/(TB*W*W)
  OS(1)=-0.336+0.806*L-0.481*L*L+(3.01-5.22*L+2.23*L*L)/G
  E(1)=0.358+1.36*L-0.654*L*L+(1.78-3.49*L+1.42*L*L)/G
  OS(2)=0.0766-0.186*L+(3.08-0.958*L)/G
  E(2)=0.131-0.874*L+0.848*L*L+(-0.0147+0.170*L-0.184*L*L)*G
  OS(3)=-0.317+5.8/G
  E(3)=0.297-0.914*L+0.793*L*L-0.161*L*L*L+
  *(-0.198+0.484*L-0.247*L*L)/G
DO 4 I=1,NN
  A1(I)=A1(I)*9.31

```

```

4  T(I)=T1(I)*1.E-6
   IX=1
   ST(IX)=0.
   DO 14 IJ=1,60
   IX=IX+1
   TT=FLOAT(IJ)*1.E-6
   SE(IX)=0.
   DO 15 I=2,NN
   A(I)=(A1(I)-A1(I-1))/(T(I)-T(I-1))
   IF (TT.LT.T(I-1)) HT=0.
   IF (TT.GE.T(I-1)) HT=1.
   SE(IX)=SE(IX)+{A(I)-A(I-1)}*(TT-T(I-1))*HT

15 ST(IX)=SE(IX)
14 CONTINUE
   CALL FFTRF (N, SE, COEF)
   A0=COEF(1)/FLOAT(N)
   DO 21 I=2,(N+1)/2
   AK(I-1)=2.*COEF(2*I-2)/N
   BK(I-1)=-2.*COEF(2*I-1)/N
21 CONTINUE
   IR=1
   SP(IR)=0.
   DO 22 IJ=1,60
   IR=IR+1
   TT=FLOAT(IJ)*1.E-6
   SP(IR)=A0
   DO 23 J=1,30
23 SP(IR)=SP(IR)+AK(J)*COS(J*TT*TP)+BK(J)*SIN(J*TT*TP)
   WRITE(80,*) IJ,SP(IR)
22 CONTINUE
   DO 3 IJ=1,60
   TT=FLOAT(IJ)*1.E-6
   KI=0.
   DO 1 I=1,NM
   O(I)=OS(I)*KA
   AJ=-A0
   BJ=0.
   SU=0.
   DO 60 J=1,30
   BIK=1./(1.-(FLOAT(J)*TP/O(I))**2)
   AJ=AJ-BIK*AK(J)
   BJ=BJ-FLOAT(J)*(TP/O(I))*BIK*BK(J)
60 SU=SU+BIK*(AK(J)*COS(FLOAT(J)*TP*TT)+BK(J)*SIN(FLOAT(J)*TP*TT))
   R=AJ*COS(O(I)*TT)+BJ*SIN(O(I)*TT)
   1  KI=KI+KIS*E(I)*(R+A0+SU)
   WRITE(*,*) TT,KI
   WRITE(10,*) TT,KI
3  CONTINUE
   STOP
   END

```

Код УКНД 77.040.10

Ключові слова: динамічна тріщиностійкість матеріалів, динамічне кручення, динамічні коефіцієнти інтенсивності напружень (ДКІН), поздовжній зсув, інерційність, коливні процеси, швидкість зміни ДКІН.

Редактор **С. Мельниченко**
Технічний редактор **О. Касіч**
Коректор **І. Недогарко**
Верстальник **Т. Шишкіна**

Підписано до друку 25.01.2010. Формат 60 x 84 1/8.
Ум. друк. арк. 2,32. Зам. Ціна договірна.

Виконавець
Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр
проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)
вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115

Свідоцтво про внесення видавця видавничої продукції до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 14.01.2006, серія ДК, № 1647