

## ПОЛІПШЕННЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ, ОСНАЩЕНИХ ПНТМ, У ПРОЦЕСІ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ

*В.Д. Головня, асп.; Л.Г. Полонський, к.т.н.  
(Дніпропетровський інженерно-технологічний інститут)*

Останніми роками великого поширення в сучасному машинобудуванні набувають різальні інструменти, оснащені полікристалічними надтвердими матеріалами (ПНТМ) на основі кубічного нітриду бору (КНБ) та алмазу, але необхідно відмітити, що деякі особливості алмазно-абразивної обробки ПНТМ (причини появи сколів різальної кромки, хімічні реакції в зоні різання) недостатньо вивчені.

ПНТМ застосовуються як лезові інструменти при обробці високоміцних як металевих, так і неметалевих матеріалів, а саме: алюмінієвих сплавів з високим вмістом кремнію, вугле- та склопластиків, високоміцних сталей і жароміцних сплавів, термооброблених (в першу чергу загартованих) сталей, різноманітних покриттів, в основному на операціях чистової та напівчистової обробки. Останніми роками ПНТМ на основі КНБ, зокрема киборит, все ширше застосовуються у процесах чорнової обробки.

Необхідно відзначити, що ПНТМ, створені на основі алмазу, мають хімічну нестабільність при високих температурах за наявності матеріалів на основі заліза. Інструменти, створені на основі КНБ, хоча і мають дещо меншу твердість, на відміну від алмазу, в свою чергу, завдяки температурній стабільності до 1300-1500 К, навпаки, є незамінними при обробці важкооброблюваних матеріалів на основі заліза [1].

Актуальною проблемою застосування ПНТМ є їх стійкість у процесі обробки. Підвищення стійкості інструментів, оснащених ПНТМ, можна досягати двома способами:

- у процесі обробки;
- у процесі виготовлення інструмента (заточування, доведення).

Необхідно розглянути ці способи підвищення стійкості більш детально.

Відомо, що інструменти, оснащені ПНТМ, працюють на високих швидкостях різання (~10 м/с), тому для підтримання їх стійкості рекомендується застосовувати рідинні або газові змащувально-охладжувальні технологічні середовища (ЗОТС). Подача рідин в зону різання може виконуватись як поливанням, так і розпиленням. Зокрема, застосування в процесі обробки інструментами з ПНТМ водорозчинних та водонерозчинних масляних емульсій дає змогу підвищити стійкість інструмента в 1,5-2 рази.

Застосування як ЗОТС газів, що зменшують вплив кисню на зону різання, значною мірою підвищує стійкість різального інструмента, оснащеного ПНТМ.

Підвищення стійкості інструмента, оснащеного ПНТМ, у процесі його обробки можна досягати шляхом поліпшення шорсткості робочих поверхонь різця та оптимізації радіуса закруглення різальної кромки. Це значною мірою впливає на якість поверхні, обробленої такими інструментами.

Вважається, що найбільш ефективним методом заточування інструментів, оснащених ПНТМ, є алмазно-абразивна обробка, яка може проводитись із застосуванням алмазних кругів та вільних абразивів (порошків).

Для шліфування ПНТМ рекомендується застосовувати марки алмазного порошку в залежності від зв'язки круга: органічної – АС4,

АС6, АС2; металевої – АС6; керамічної – АС6, АС4. Для поліпшення роботи алмазних кругів при їх виготовленні застосовують також алмазні порошки з різноманітними металевими та неметалевими покриттями, які забезпечують більш надійне утримання зерен зв'язкою, поліпшують міцність, умови відведення тепла із зони шліфування. Але при шліфуванні ПНТМ покриття алмазних зерен не завжди дає позитивний результат, особливо це проявляється при роботі кругами на металевій зв'язці. Значний ефект в цьому випадку можна отримати, застосовуючи органічну зв'язку [2].

При обробці вільним абразивом видалення матеріалу відбувається внаслідок впливу на оброблювану поверхню зерен, які були шаржовані в поверхню притира або тимчасово на ньому закріпилися, а також шляхом перекочування зерен, що залишилися між заготовкою і притиром. За допомогою цього способу можна виконувати операції як попередньої (порошки АС6 100/80 – АСН 40/28), так і довідної (порошки АСМ 28/20–5/3) обробки. При доведенні ПНТМ алмазними порошками вказаної зернистості можна досягти значення шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  0,1-0,2 [3].

До основних факторів, які впливають на якість робочих поверхонь та радіус закруглення різальної кромки інструмента, оснащеного ПНТМ, у процесі алмазно-абразивної обробки, можна віднести такі [4]:

- тривалість процесу шліфування;
- нормальний тиск в зоні контакту алмазного круга з ПНТМ;
- концентрація алмазів в алмазному крузі, а також його зернистість;
- режими обробки.

Вплив тривалості алмазно-абразивної обробки на шорсткість обробленої поверхні ПНТМ можна виразити таким чином: чим довше триває процес обробки, тим краща шорсткість обробленої поверхні.

Сила, з якою алмазний круг притискається до ПНТМ, значною мірою впливає на швидкість вигладжування круга, при цьому зменшується частота відривів круга від оброблюваної поверхні, що знижує ударні навантаження на полікристал. Ці дві причини визначають вплив нормального тиску в зоні обробки на шорсткість і радіус закруглення різальної кромки.

Важливу роль в процесі формування мікрорельєфу деталі, обробленої ПНТМ, відіграють сколи та хвилястість різальної кромки. Їх виникнення пов'язане в першу чергу з тим, в якому напрямку відносно кромки обертається алмазний круг. Так, в [5] було виявлено, що на величину сколів значний вплив має взаємний напрямок руху заготовки (за заготовку був взятий твердий сплав) та обертання алмазного круга. Найменшу величину сколів було отримано при зустрічному шліфуванні за рахунок того, що частки твердого сплаву не виривались з поверхні заготовки, а, навпаки, впресовувались у поверхню. Значно зменшились шорсткість різальної кромки та її хвилястість. Відносно ПНТМ подібних досліджень на даний час не проводилось.

У процесі шліфування ПНТМ виникають значні температури, основним джерелом яких є тертя в зоні контакту. Значення цих температур лежать у межах 1000°C, тому можна вважати, що величина мікроуривувань залежить від процесів, які термічно активуються, – окислення, графітизація зерен алмазного круга, а також прояв неоднорідності деформацій під впливом температури внаслідок анізотропії коефіцієнтів лінійного розширення та суттєвих різниць в їх значеннях для структурних складових полікристалів.

Таким чином, алмазне шліфування ПНТМ можна розглядати як складний комплекс механічних, хімічних і теплових процесів.

На основі вищевикладеного можна зробити висновок, що процес алмазно-абразивної обробки ПНТМ є недостатньо вивченим, немає

конкретних даних про те, які саме хімічні процеси виникають в зоні контакту ПНТМ та алмазного круга, які їхні наслідки, як впливають режими різання на величину сколів різальної кромки, її шорсткість та твердість, недостатньо розглянуті питання про вплив присадок, які могли б поліпшити їх стійкість. Тому відшукання високоефективних технологічних способів забезпечення якості робочих поверхонь інструментів з ПНТМ, реалізація яких була б можливою в умовах сучасного інструментального виробництва, має принципове значення.

## SUMMARY

The methods of increasing efficiency of wear resistance of tools equipped by PSFM during their diamond and abrasive processing, and based on their analysis defined the necessity of further study of this process with point of view of microrelief of cutting blade, chemical reactions existing in the machining zone were considered at the article.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении /Под ред. А.И. Грабченко.- Харьков: ХДПУ, 1999.- 436 с.
2. Инструменты из сверхтвердых материалов /Под ред. Н.В. Новикова.- Киев: ИСМ НАНУ, 2001.- 528 с.; ил.
3. Алмазный инструмент из сверхтвердых материалов: Справ. /Под общ. ред. Н.В. Новикова.- Киев: Техніка, 1988.- 118 с.
4. Грабченко А.И., Семко М.Ф. и др. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов.- Харьков, 1980.- 236 с.
5. Ефремов В.Д., Ящерицын П.И. Технологическое обеспечение качества рабочих кромок инструмента и деталей.- Мн.: БАТУ, 1997.- 251 с.

Надійшла до редколегії 16 грудня 2002р.

УДК 669.017

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ХАРАКТЕРИСТИК ТРИЩИНІСТІЙКОСТІ ПЕРКОЛЯЦІЙНО-ФРАКТАЛЬНИХ СИСТЕМ "ТРГ - КЕРАМІКА" МЕТОДОМ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ

І.Г. Грабар, д.т.н., проф.; О.А. Гутніченко, асист.  
(Закарпатський інженерно-технологічний інститут)

Відомо, що фізичні властивості композиційних систем провідник - ізолятор у залежності від властивостей вихідних матеріалів та технології виготовлення можна варіювати у широких межах, що значно розширює можливості використання даних матеріалів у різних галузях промисловості, але, з іншого боку, виникає ситуація, коли складно знайти критерій оптимізації технології виготовлення даних матеріалів лише за структурними та провідними властивостями.

Враховуючи властивості структури композитів "термографеніт - кераміка", а саме високу пористість, схильність до розтріскування у процесі спікання, для даних матеріалів як критерій оптимізації доцільно використовувати характеристики тріщинистійкості, а саме  $K_{Ic}$ : коефіцієнт інтенсивності напружень, а також для повноти бачення процесів руйнування об'єктів із тріщиною доцільно дослідити кінетику деформування та руйнування даних матеріалів.

Для визначення граничних значень коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_{Ic}$  використовувались дискові зразки діаметром 22-24 мм для випробування на позацентрове розтягання, усі інші геометричні дані використовуваних зразків вибирались із рекомендованих у [1].

Розрахунок відповідного коефіцієнта проводився за формулою [1]:

$$K_{Ic} = \frac{P_c}{t \cdot \sqrt{b}} \cdot Y\left(\frac{l}{b}\right),$$

де  $P_c$  – навантаження у момент розриву зразка, Н;

$t$  – товщина зразка, м;

$b$  – відстань до технологічних отворів, м;

$Y(l/b)$  – поправочна функція, яка визначається для даного типу зразків за формулою

$$Y(l/b) = \sqrt{\frac{l}{b}} \cdot \left[ 29,6 - 162 \frac{l}{b} + 492 \left(\frac{l}{b}\right)^2 - 663 \left(\frac{l}{b}\right)^3 + 405 \left(\frac{l}{b}\right)^4 \right].$$

Отримані експериментальні дані у залежності від технологічних режимів виготовлення зразків подані на рис.1.

Аналізуючи подані залежності, можна зробити такі зауваження та висновки:

1 Враховуючи, що коефіцієнт інтенсивності напружень досить гостро реагує на різноманітні зміни, можна зробити висновок, що тиск формоутворення майже не впливає на  $K_{Ic}$ .

2  $K_{Ic}$  більше залежить від часу, ніж від температури спікання.

3 Залежності коефіцієнта інтенсивності від концентрації ТРГ мають екстремум (мінімум) у точці  $m_{TRG}=0,21$ (мас.), дані залежності досить точно описуються квадратними рівняннями із мінімальним коефіцієнтом кореляції  $R=0,95$ .

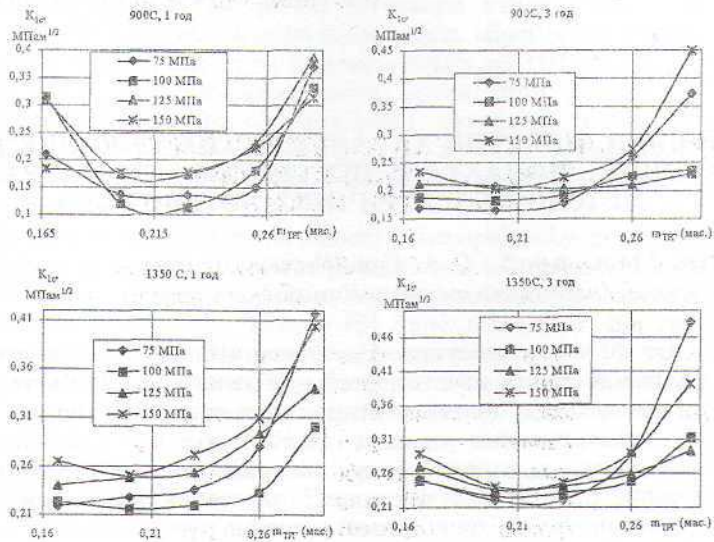


Рисунок 1 - Залежність коефіцієнта тріщиностійкості від технологічних режимів виготовлення матеріалу

4 На нашу думку, при низьких концентраціях  $K_{Ic}$  зростає за рахунок зміцнення керамічного каркаса; після проходження мінімуму в області концентрацій  $0,21 < m_{TRG} < 0,29$  даний коефіцієнт зростає завдяки утворенню зони пластичності.

5 При підвищених температурі та часі спікання, спостерігається зменшення значень  $K_{Ic}$  у області низьких концентрацій, що, очевидно, пов'язано із розтріскуванням керамічного каркаса.

Для дослідження кінетики процесів при деформуванні та руйнуванні композитів "ТРГ - кераміка" використовувалась експериментальна установка, схема якої подана на рис. 2, з якого бачимо, аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) вхідне падіння напруги при навантаженні ( $U_{вх}$ ) та падіння напруги на досліджуваному зразку ( $U$ ).

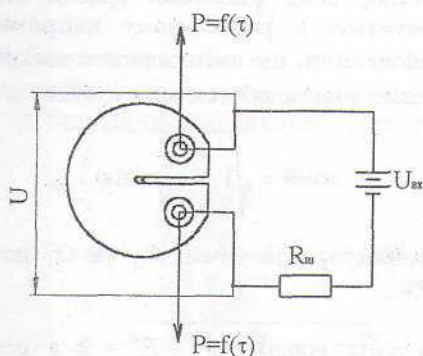


Рисунок 2 - Експериментальна схема досліджень кінетики деформування та руйнування зразків

Електричний опір у будь-який момент часу визначався за формулою

$$R = \frac{U \cdot R_{ш}}{U_{вх} - U}$$

де  $R_{ш}$  - електричний опір шунта, Ом.

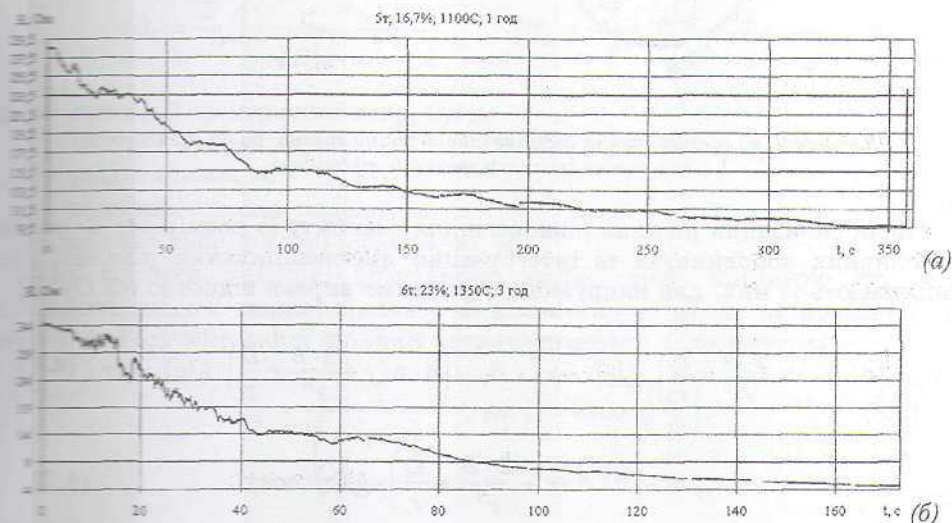


Рисунок 3 - Кінетичні залежності електричного опору при деформуванні та руйнуванні зразків. Швидкість навантаження 4 г/с. Діаметри, довжини надрізу, товщини зразків та розмір с, мм: а) 19,25, 11,0, 21,35; б) 22,55, 0,85, 18,45, 21,6 (дискретизація 1000 Гц)

У даній експериментальній схемі використовувалась властивість перколяційно-фрактальних середовищ, яким є досліджуваний матеріал, зазвичай змінювати фізичні характеристики при незначних деформаціях [1]. Експериментальні результати подані на рис. 3, який свідчить, що дві криві можна розділити на дві частини: деформування зразка до

критичного навантаження та безпосередньо руйнування зразка. Розглянемо їх окремо.

### 1 Кінетика деформування дискового зразка із тріщиною при позацентровому розтягуванні

Розглянемо ситуацію, коли дисковий зразок стискається в коловому напрямку та деформується у радіальному напрямку відносно точки  $O_2$  (кінець надрізу) під дією сили, що змінюється в часі  $P(\tau)$  (рис. 3).

Із рис. 4(а) знаходимо взаємозв'язок між кутами  $\varphi$  та  $\theta$  у вигляді

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \left(\frac{a}{R} \sin \varphi\right)^2}, \quad (1)$$

де  $a$  та  $R$  – радіуси-вектори із точок  $O_2$  та  $O_1$  до границі зразка. Тоді можемо записати, що

$$a = \sqrt{(\varepsilon \cdot \cos \varphi)^2 - \varepsilon^2 + R^2} - 2 \cdot \varepsilon \cdot \cos \varphi. \quad (2)$$

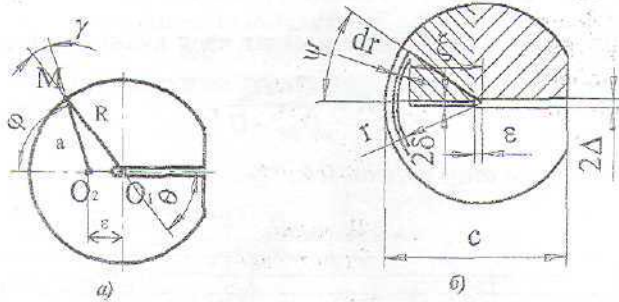


Рисунок 4: а) до визначення деформованого стану зразка; б) до визначення електричного опору зразка із тріщиною

Після складання рівнянь рівноваги для елемента із розмірами  $dr$  та  $d\varphi$  у полярних координатах та інтегрування диференціальних рівнянь, що випливають із них, для напружень отримаємо вирази відносно осі  $O_2$  [3]:

$$\sigma_r = \left(2 \cdot A \cdot r - \frac{2 \cdot B}{r^2} + \frac{D}{r}\right) \cdot f_1(\varphi) \cdot \cos \gamma, \quad \sigma_\varphi = \left(6 \cdot A \cdot r + \frac{2 \cdot B}{r^3} + \frac{D}{r}\right) \cdot f_1(\varphi) \cdot \cos \gamma, \quad (4.1)$$

$$\tau_{r\theta} = -\left(2 \cdot A \cdot r - \frac{2 \cdot B}{r^3} + \frac{D}{r}\right) \cdot f_2(\varphi) \cdot \cos \gamma. \quad (4.2)$$

Для деформацій отримаємо

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_r - \nu \cdot \sigma_\varphi), \quad \varepsilon_\varphi = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_\varphi - \nu \cdot \sigma_r). \quad (5.1)$$

Постійні інтегрування знаходяться із таких умов:

$$\sigma_r = \tau_{r\theta} = 0 \text{ при } r=R \text{ та } \int_0^R \tau_{r\theta} dr = P(\tau).$$

Отже, ми отримали деформаційне поле зразка у будь-який момент часу навантаження. Електричний опір трубки течії товщиною  $dr$  та довжиною  $r d\varphi$  визначатиметься за формулою

$$R = R_0 \cdot \left( \frac{1 + \varepsilon_\varphi}{1 + \varepsilon_r} \right) \quad (6)$$

де  $R_0$  – початковий опір елемента;

$R$  – опір після деформації.

За умови, що усі трубки течії паралельні, для електричного опору усього зразка маємо

$$R_\Sigma = \int_0^{2\pi} \frac{d\theta}{d\varphi} d\varphi, \quad (7)$$

$$\int_0^a \frac{1}{R} dr$$

де  $a$  визначається за формулою (2).

## 2 Кінетика зростання тріщини при позацентровому розтягуванні дискового зразка

Визначимо електричний опір зразка при виникненні та зростанні у ньому тріщини за наявності початкового надрізу рис. 4, 6.

Виділимо елементарну площу шириною  $dx$ , тоді, очевидно, що опір зразка на ділянках  $x \in (-\varepsilon; c-R)$  (область надрізу) та  $x \in (-\xi; \varepsilon)$  визначатиметься за формулою

$$dR_1 = \frac{2 \cdot \rho}{t} \cdot \frac{dx}{\sqrt{R^2 - x^2} - \Delta}, \quad dR_2 = \frac{2 \cdot \rho}{t} \cdot \frac{dx}{\sqrt{R^2 - x^2} - \delta}, \quad (8.1)$$

де  $\rho$  – питомий електричний опір, Ом·м;

$t$  – ширина зразка, м;

$R$  – радіус зразка, м;

$\Delta$  – половина ширини надрізу, м,

$\delta$  – ширина тріщини при руйнуванні, м.

Для ділянки  $x \in (-R; \xi)$  розглянемо трубку течії шириною  $dr$ , яка проходить вздовж твірної зразка у межах кута  $(-\psi; \psi)$ , як це показано на рис. 4, 6. Тоді опір даної ділянки визначатиметься за формулою

$$R_3 = \frac{1}{\int_{-R}^{-\xi} \frac{t \cdot dr}{2 \cdot \rho \cdot r \cdot \psi}}, \quad \text{де } \psi = \arccos\left(\frac{\xi}{R}\right). \quad (8.2)$$

Тоді загальний електричний опір зразка складатиме

$$R_\Sigma = R_1 + R_2 + R_3. \quad (9)$$

Після розрахунків за формулами (9) та після порівняння із графіками залежності електричного опору зразків від часу в момент розриву (рис.5) отримуємо залежність зростання ефективної довжини тріщини від часу (рис.6).

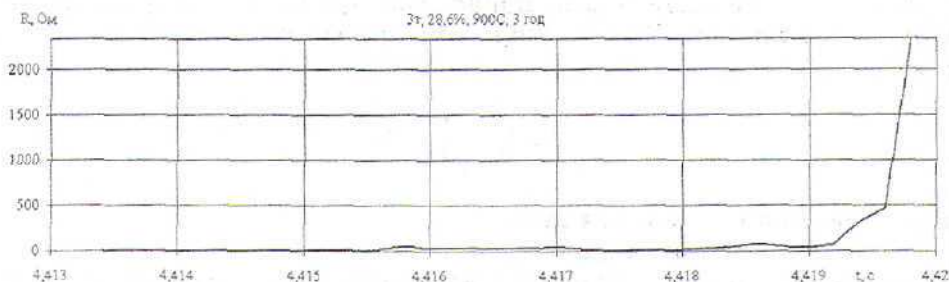


Рисунок 5 - Залежність електричного опору зразків від часу в момент розриву (дискретизація 5000 Гц)

Слід зазначити, що дані на рис. 6 розраховувались для ідеалізованої моделі, у якій тріщина при розриванні зростала у напрямку осі та форма тріщини паралельна їй, тому розрахована довжина  $l_e$  є ефективною довжиною (або, з іншого боку, проекцією дійсної довжини тріщини на вісь).

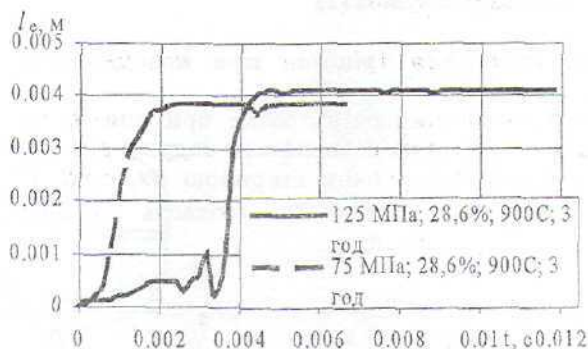


Рисунок 6 - Кінетика зростання ефективною довжини тріщини

Аналізуючи рис. 6, видно, що розрив зразків відбувається стрибкоподібно, причому швидкості розриву майже однакові (без урахування плавної ділянки у кривій 125 МПа), а також можна зробити висновок, що тиск пресування значно впливатиме на тривалість процесу руйнування.

Загалом, на основі отриманих експериментальних даних, можна зробити висновок про доцільність використання електричних методів для дослідження кінетики характеристик руйнування перколяційно-фрактальних матеріалів.

## SUMMARY

The coefficients of stress intensity  $K_{Ic}$  of the composites "TEG - ceramics" were determined by experiment depending on concentration of TEG and operating modes of manufacture of these materials. The kinetics of warping and destruction of materials during of eccentric tension was considered by electrical methods, and on its basis the calculations were carried out and the rates of increase of effective length of crack during of destruction was determined.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: В 4 т. /Под общей ред. Павасюка В.В. - Киев: Наук. думка, 1988. -Т. 3: Характеристики кратковременной трещиностойкости материалов и методы их определения /Кравчик С.Е., Морозов Е.М. - 1988. - 436 с.



- Грешар І.Г. Перколяційно-фрактальні матеріали - надперспективні матеріали для тензометричних датчиків-перетворювачів //Вісник ЖІТІ, 1995. - №6.-С. 3-6.
- Подгорный А.Н., Марченко Г.А., Пустыльников В.И. Основы и методы прикладной теории упругости: Учеб. пособие для вузов. - Киев: Выща школа. Головное изд-во, 1981. - 328 с.

Надійшла до редколегії 16 грудня 2002р.

УДК 621.91

## ПУТИ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРИ ПОМОЩИ ТЕОРИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*А.И. Грабченко, д.т.н. проф.; Д.Б. Романенко, асп.*

*(Харьковский национальный технический университет «ХПИ»)*

В начале восьмидесятых годов в исследованиях по искусственному интеллекту сформировалось самостоятельное направление, получившее название "экспертные системы" (ЭС). Цель исследований по ЭС состоит в разработке программ, которые при решении задач, трудных для эксперта-человека, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым экспертом. Исследователи в области ЭС для названия своей дисциплины часто используют также термин "инженерия знаний", введенный Е. Фейгенбаумом как "привнесение принципов и инструментария исследований из области искусственного интеллекта в решение трудных прикладных проблем, требующих знаний экспертов".

Программные средства (ПС), базирующиеся на технологии экспертных систем, или инженерии знаний (в дальнейшем будем использовать их как синонимы), получили значительное распространение в мире. Важность экспертных систем состоит в следующем:

- технология экспертных систем существенно расширяет круг практически значимых задач, решаемых на компьютерах, решение которых приносит значительный экономический эффект;
- технология ЭС является важнейшим средством в решении глобальных проблем традиционного программирования: длительность и, следовательно, высокая стоимость разработки сложных приложений;
- высокая стоимость сопровождения сложных систем, которая часто в несколько раз превосходит стоимость их разработки; низкий уровень повторной используемости программ и т.п.;
- объединение технологии ЭС с технологией традиционного программирования добавляет новые качества к программным продуктам за счет обеспечения динамичной модификации приложений пользователем, а не программистом, большей "прозрачности" приложения, лучшей графики; интерфейса и взаимодействия.

По мнению ведущих специалистов, в недалекой перспективе ЭС найдут следующее применение:

- ЭС будут играть ведущую роль во всех фазах проектирования, разработки, производства, распределения, продажи, поддержки и оказания услуг;

- технология ЭС, получившая коммерческое распространение, обеспечит революционный прорыв в интеграции приложений из готовых интеллектуально-взаимодействующих модулей.

ЭС предназначены для так называемых неформализованных задач, т.е. ЭС не отвергают и не заменяют традиционного подхода к разработке