

## Література

1. Степанова Л. В. Математические методы механики разрушения / Л. В. Степанова. – М.: Физмалит, 2009. – 336 с.
2. Астафьев В. А. Нелинейная механика разрушения / В. А. Астафьев, Ю. Н. Радаев., Л. В. Степанова. – Самара: Издательство «Самарский университет», 2001. – 20 с.
3. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мухелишвили. – М. : Изд-во АН СССР, 1954. – 648 с.
4. Introduction to stress analysis by the photostress method. Tech Note 702. Vishay Measurements Group, Inc. Raleigh, North Carolina, 1989.
5. 4th International Conference on Mechanics of Time Dependent Materials. Lake Placid, NY, USA. October 7 – 10, 2002.
6. Биргер Х. Фотоупругость / Х. Биргер // Сб. "Экспериментальная механика": [под ред. А. Кобаяси]. – Кн.1. – М.: Мир, 1990. – с. 195-327.
7. Уфлянд Я. С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости / Я. С. Уфлянд. – Л.: Наука. Ленингр. отд., 1967. – 402 с
8. Williams M. L. On the stress distribution at the base of a stationary crack / M. L. Williams // Trans. ASME. J. Appl. Mech. – 1975. – V. 24. – P. 109-114
9. Толоконников Л. А. Метод граничных представлений в двумерных задачах механики / Л. А. Толоконников, В. Б. Пеньков. – Тула: Изд-во ТВАИУ, 1997. – 378 с.
10. Астафьев В. А. Нелинейная механика разрушения / В. А. Астафьев, Ю. Н. Радаев., Л. В. Степанова. – Самара: Издательство «Самарский университет», 2001. – с. 57-60.

УДК 691; 539.42

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РОСТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТРІЩИНИ НА МАКРОРВІНІ

*Дзюба М.А., Ведута М.Г. зр. ПЦБ-606М.*

*Науковий керівник – к.т.н., доцент Майстренко О.Ф.,  
науковий консультант – аспірант Зінченко Г.В.*

**У статті описаний механізм зміни напрямку руху технологічної тріщини в залізобетонному елементі в період тверднення макроструктури. Показаний характер локалізації напруги біля**

## **вершини технологічної тріщини, визначений за допомогою поляризаційно-оптичного методу.**

**Вступ.** Залізобетон, завдяки економічності та універсальності застосування, є одним з основних будівельних матеріалів. Він надає широкі можливості для вирішення будівельних завдань. При появі в залізобетонних спорудженнях дефектів та ушкоджень їх треба ретельно досліджувати і виявляти причини виникнення. Отже, залізобетонним конструкціям властива пошкодженість. Зокрема пошкодженість, що виникла в період технологічної переробки початкових складових в матеріал і його в конструкцію, - початкова технологічна пошкодженість, що характеризується дефектами.

**Аналіз досліджень.** Класифікація тріщин в залізобетонних конструкціях в літературі наводиться у багатьох роботах, наприклад: [1-7].

У роботі д.т.н., проф. М.І. Карпенко [8] вивчалася деформація залізобетону з тріщинами. Була запропонована наступна класифікація тріщин :

1) Структурні тріщини, які зазвичай не виділяються для окремого розгляду, а враховуються в інтегральних характеристиках зв'язків між напругою і деформаціями. Можливості їх обліку можуть бути різними. У зв'язку з цим структурні дефекти іноді діляться на два типи: технологічні, що виникають в процесі виготовлення конструкції, та силові - що виникають, в основному, в процесі експлуатації конструкції під навантаженням. Істинну грань між силовими та технологічними тріщинами провести важко. Відзначається, що силові тріщини зазвичай розташовуються напрямлено, призводячи у результаті до вираженої зміни фізико - механічних характеристик за різними напрямками (анізотропії властивостей).

В даній статті термін "технологічні" вказує на тріщини (спадкові, початкові, залишкові), що виникли в період технологічної переробки матеріалу у виріб і, які є присутніми в ньому до подання експлуатаційних навантажень.

2) Тріщини руйнування структурних елементів, що перетинають один або декілька структурних елементів, але ще не представляють небезпеки для несучої здатності конструкції в цілому.

3) Магістральні тріщини, які характеризують руйнування усієї конструкції в цілому або окремих важливих її частин.

Класифікація тріщин складена в такому вигляді для розробки та систематизації способів обліку тріщин в розрахункових моделях залізобетонних конструкцій.

**Мета дослідження.** Описати механізм зміни напрямку руху технологічної тріщини в залізобетонному елементі в період тверднення макроструктури.

**Основна частина.** Для дослідження напруги і деформацій у виробках з пружних матеріалів, зокрема у бетоні, застосовується метод фотопружності [9]. Тому для проведення експерименту залізобетонні балки були замінені зменшеними моделями з епоксидної смоли, що мають таку ж форму (прямокутну) і напругу, а також що мають високе значення коефіцієнта напруги, модуль пружності матеріалів з епоксидних смол близький до модуля пружності залізобетону.

Проведення експерименту полягало в циклічному випробуванні зразків з епоксидної смоли, розміри яких: 16см×2,7см×1,5см (рис. 1, а).

Вивчався розподіл ізохром в області технологічної тріщини, яка розташовувалася в середині прольоту зразка. Зразки навантажувалися на установці в лабораторії кафедри Виробництво будівельних конструкцій виробів і матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури. Розподіл полів напруги в зразку спостерігався на різних етапах навантаження: 12, 19, 29, 42 та 55кг (рис. 1, б).

Аналізуючи результати експерименту, можна говорити про те, що при послідовному навантаженні зразка ізохроми з'являються в найбільш навантажених точках і локалізуються біля вершини тріщини. У міру збільшення навантаження смуги утворюються на поверхні виробу і зрушуються в зону з найменшим рівнем напруги (рис. 1, б).

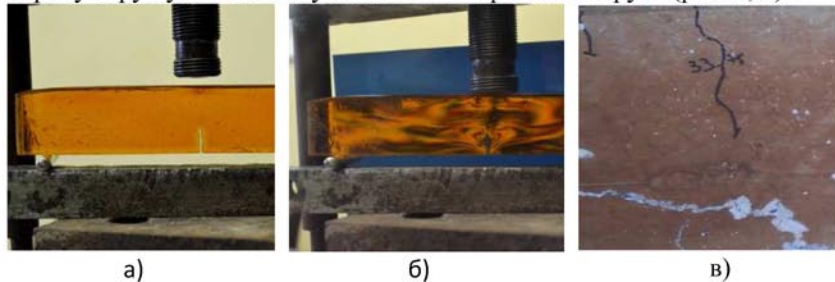


Рис. 1. Етапи проведення експерименту.

Картина розподілу ізохроматиних смуг у зразку-моделі з технологічною тріщиною:

а) модель з епоксидної смоли до подання навантаження;

б) розподіл полів напруги в моделі з епоксидної смоли під навантаженням;

в) поширення технологічної тріщини в залізобетонному зразку.

Смуга кожного кольору вказує положення точок з однаковою різницею головної напруги. При використанні монохроматичного світла зображення є чергуванням темних смуг - ізоклін, що відповідають областям моделі, де площина поляризації співпадає з напрямом одного з головної напруги. Окрім ізоклін, на зображенні є присутніми нерухомі темні смуги, в яких різниця ходу дорівнює цілому числу світлових хвиль. Зі збільшенням навантаження картина смуг в моделі мінялася, а їх число збільшувалося.

Таким чином, метод фотопружності дав можливість отримати картину розподілу максимальних дотичних і напрямів головної напруги в прозорих моделях.

Розглянемо безпосередньо зразок-балки із залізобетону і опишемо механізм зміни напрямку руху технологічної тріщини в період тверднення макроструктури.

Як встановлено В.М. Вировим [10], механізми розвитку технологічних тріщин на макрорівні визначаються значенням і градієнтом усадкових деформацій на берегах тріщини.

На макрорівні відбувається безперервне зростання тріщини, яке залежить від значення та кінетики об'ємних деформацій мікроструктури матеріалу [10].

Звертає на себе увагу мікротраєкторія магістральної тріщини - при збереженні загального напрямку вона росте по технологічних поверхневих дефектах. Це дає основу припустити, що управляючи технологічною пошкодженістю, можна змінювати умови, кінетику зростання і мікротраєкторію магістральних тріщин [10].

Розглянемо механізм зростання технологічної тріщини в середовищі, що зазнає об'ємні деформації усадки [10].

Припустимо, що тріщина з'явилася в напівнескінченній пластині. Вісь тріщини проходить через вісь симетрії пластини. Тому деформації усадки на берегах тріщини рівні  $\epsilon_{AO} = \epsilon_{BO}$ , рис.2. Під дією усадкових деформацій берега тріщини розсуваються на величину  $2 \Delta b$ . У зоні гирла накопичуються пластичні деформації  $\epsilon_{пл}$ .

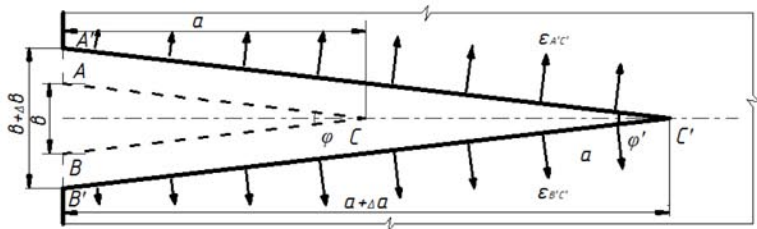
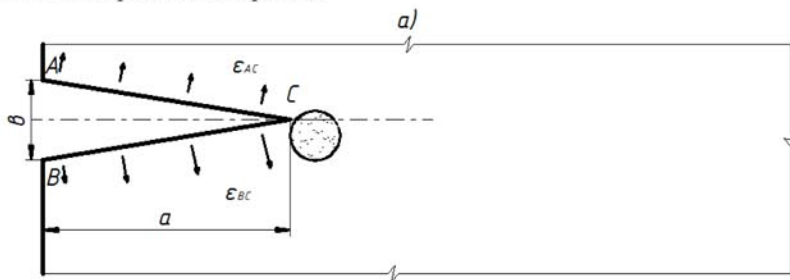


Рис. 2. Механізм росту технологічної тріщини на макрорівні

На момент досягнення граничного значення  $\epsilon_{\text{плк}}$  відбувається порушення суцільності матеріалу. Довжина тріщини збільшується на  $\Delta a$ . Одночасно із зростанням тріщини відбувається черговий етап накопичення пластичних деформацій. Зона пластичних деформацій рухається перед гирлом тріщини за рахунок безперервного розвитку об'ємних процесів. На "макрорівні" тріщина росте безперервно. Можна сказати, що швидкість зростання тріщини визначається величиною  $\Delta b$  та кінетикою  $\Delta \epsilon / d\tau$  об'ємних деформацій:

$$\Delta a = \Delta b / 2 \operatorname{tg}(\tau_T / 2) \quad (1)$$

У реальних матеріалах збіг вісі тріщини та вісі середовища, в якому вона розвивається, є окремий випадок, частіше буває ситуація, при якій на берегах тріщини виникають різновеликі усадкові деформації. В цьому випадку зона критичної пластичної деформації зрушується у бік того берега тріщини, який зазнає великі деформації усадки. Це викликає зміну напрямку руху тріщини, і її поворот здійснюється до тих пір, поки усадкові деформації на протилежних берегах не вирівнюються рис. 3.



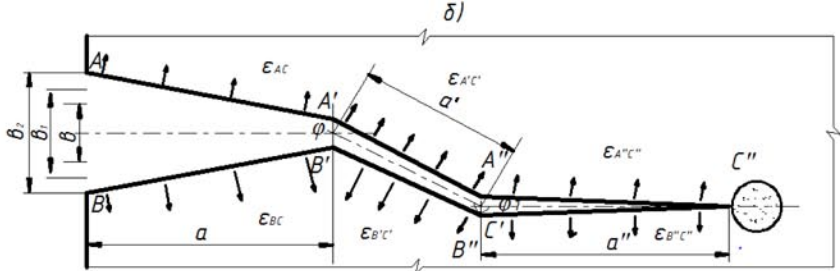


Рис. 3. Механізм зміни напрямлення руху технологічної тріщини

Нехай берег зародкової тріщини BC сприймає великі усадкові деформації  $\epsilon_{BC}$  у порівнянні з усадковими деформаціями берега AC  $\epsilon_{AC}$ ,  $\epsilon_{BC} > \epsilon_{AC}$ . В цьому випадку зона критичної пластичної деформації зрушується у бік берега BC, тобто у бік великих деформацій. Це викликає зміну напрямку руху тріщини. Поворот здійснюється до тих пір, поки деформації на протилежних берегах тріщини не вирівнюються, рис. 3, б.

Аналіз дозволяє зробити висновок, що механізм розвитку тріщин в пластичних середовищах є загальним на "макрорівні" для класу матеріалів, що зазнають при своєму твердненні об'ємні деформації зменшення об'єму.

### Висновки

Таким чином, механізм розвитку технологічних тріщин на "макрорівні" мікроструктури визначається величиною і градієнтом об'ємних деформацій на протилежних берегах тріщини. Градієнти об'ємних деформацій визначають напрям зростання тріщини та прагнуть до вирівнювання значень у її гирла. На "макрорівні" реалізується умовно безперервне зростання зародкової тріщини, залежне від величини і кінетики об'ємних деформацій мікроструктури композиційних будівельних матеріалів. [10].

### Література

1. Бондаренко В. М. Специфика силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных конструкций и новые факторы разрушения / В. М. Бондаренко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2009. - №4. - С.28-33.
2. Бурлин Ю. Ф. Образование, открытие и закрытие трещин в нормальных сечениях железобетонных конструкций / Ю. Ф. Бурлин, К. В. Петрова // Бетон и железобетон. - 1971. - №5. - С. 28-33.

3. Гаттас А. Ф. Трещиностойкость стержневых железобетонных элементов: дисс. канд. техн. наук.: 05.23.01 / Гаттас Ан Фуад. – Киев, 1994. – 244 с.

4. Гусев Б. В. Построение математической теории процессов коррозии бетона/ Б. В. Гусев, А. С. Файвусович // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С. 41.

5. Маилян Р. Л. О расчете ширины раскрытия трещин в железобетонных элементах / Р. Л. Маилян, А. Х. Манукян. - В сб.: Вопросы прочности и деформативности железобетона. – Ростов-на-Дону, 1973. – № 2. – С. 16-24.

6. Мигунов В. Н. Комплексный метод определения деформационных свойств железобетонных конструкций в агрессивных средах / В. Н. Мигунов // ИЛ о НТД №87-14. ЦНТИ. – Пенза, 1987. – 4с.

7. Молодченко Г. А. Исследование процесса трещинообразования в железобетоне при растяжении / Г.А. Молодченко // Строительные конструкции, вып. XIX. – Киев, Будивельник, 1972. – С. 80-84.

8. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. –М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.

9. Биргер Х. Фотоупругость / Х. Биргер // Сб. "Экспериментальная механика": [под ред. А. Кобаяси]. – Кн.1. – М.: Мир, 1990. – с. 195-327.

10. Выровой В. Н. Композиционные строительные материалы и конструкции: Структура, самоорганизация, свойства / В. Н. Выровой., В. С. Дорофеев, В. Г. Суханов; под ред. В. Н. Вырового. – Одесса: 2010. – с. 69-72.

**УДК 624.012**

## **ТРЕЩИНОСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗІ СТИСНЕНИМ КРУЧЕННЯМ ЇХНІХ ПРИОПОРНИХ ДІЛЯНОК**

*Димитров Г.І.*

*Науковий керівник – д.т.н., проф. Карпюк В.М.*

Опір залізобетонних елементів сумісній дії повздовжніх та поперечних сил, згинальних і крутних моментів є однією з найбільш важливих і не до кінця вивченою проблемою як у теорії залізобетону, так і в реальному проектуванні. У зв'язку з цим виконання систематизованих експериментально – теоретичних досліджень з метою вдосконалення існуючих і розробки сучасних розрахункових