

УДК 624.012.045

АНАЛІЗ ТРИЩИНОУТВОРЕННЯ В ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ ЗА ДІЇ ЗНАКОЗМІННИХ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ОСНОВІ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ОПОРУ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

АНАЛИЗ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЖЕНИЯХ НА ОСНОВАНИИ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

ANALYSIS OF CRACKING IN BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS UNDER OF THE ALTERNATING LOW-CYCLE LOADING ON BASIS OF CALCULATION MODEL RESISTANCE CONCRETE

Масюк Г.Х., к.т.н., проф., Корнійчук О.І., к.т.н., доц., Алексієвєць І.І., к.т.н., ст. викл. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Масюк Г.Х., к.т.н., проф., Корнійчук О.И., к.т.н., доц., Алексиевец И.И., к.т.н., ст. преп. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ривне)

Masjuk G.Kh., candidate of technical sciences, professor, Kornijchuk O.I., candidate of technical sciences, associate professor, Aleksijevets I.I., candidate of technical sciences, senior lecturer (National university of water management and nature resources use, Rivne)

За результатами експериментально-теоретичних досліджень на основі розрахункової моделі силового опору залізобетону, розглянуті питання тріщиноутворення в згинальних залізобетонних елементах за дії малоциклових навантажень з зазначенням класифікації тріщин за граничними умовами їх утворення.

По результатам экспериментально-теоретических исследований на основании расчетной модели силового сопротивления железобетона, рассмотрены вопросы трещинообразования в изгибаемых железобетонных элементах при действии малоцикловых нагрузок с указанием классификации трещин за предельными условиями их образования.

According to the results of experimental and theoretical studies of the computational model based on the power of resistance of reinforced concrete, the issues of cracking in concrete elements bent by the action of low-cycle load with an indication of the classification of fractures of the extreme conditions of their formation.

Ключові слова:

Залізобетон, тріщиноутворення, розрахункова модель.

Железобетон, трещинообразования, расчетная модель.

Reinforced concrete, crack resistance, calculation model.

Вступ. Надійність роботи залізобетонних конструкцій, їх довговічність в процесі експлуатації, залежить від багатьох факторів. Не завжди буває так, що несуча здатність є основним фактором який забезпечує довговічність залізобетонних конструкцій. При складних режимах завантажень, досить часто такі фактори як тріщиностійкість, ширина розкриття тріщин, деформативність, прогини, навіть при експлуатації в нормальних умовах навколишнього середовища, є визначальними для забезпечення надійної роботи і довговічності згинальних залізобетонних елементів.

В процесі експлуатації значна кількість залізобетонних конструкцій зазнає дії малоциклових знакозмінних і повторних навантажень різних рівнів. Це технологічні, сейсмічні, температурно-вологісні, вітрові і ряд інших навантажень, що можуть викликати вище вказані дії. Якщо питання визначення несучої здатності залізобетонних конструкцій, які працюють в умовах повторних малоциклових і знакозмінних навантажень в певній мірі вивчені, то питання тріщиностійкості, деформативності, особливо похилих перерізів, за дії малоциклових знакозмінних навантажень вивчені недостатньо. Діючі нормативні документи не в повній мірі відображають реальний характер роботи залізобетонних конструкцій з урахуванням реального деформування матеріалів, характер тріщиноутворення при повторних, а тим більше при малоциклових знакозмінних навантаженнях.

Тривала міцність бетону і арматури при циклічних навантаженнях зменшується, а повзучість бетону збільшується, що приводить до збільшення залишкових деформацій бетону. Такий режим навантажень викликає непереривну зміну напружено-деформованого стану конструкції і зміну межі витривалості бетону і арматури. Тому що, після кожного наступного пів циклу знакозмінних навантажень, ми отримуємо конструкцію з іншими фізико-механічними характеристиками матеріалів порівняно з першим навантаженням. В зв'язку з цим після кожного пів циклу завантажень необхідно одночасно оцінювати внутрішні зусилля (напруження) стану бетону і арматури, їх залишкову міцність в складі конструкції.

Мета і задачі: на основі аналізу експериментальних досліджень автора і інших авторів визначити характер утворення і ширини розкриття тріщин в згинальних елементах в зонах сумісної дії згинальних моментів і поперечних сил за дії малоциклових знакозмінних навантажень при різних прольотах «зрізу» та рівнів завантажень з використанням розрахункової моделі опору залізобетону.

Основна частина. Відомо, що утворення будь-яких тріщин в залізобетоні приводить до порушень його цілісності. Тому використання тут залежностей механіки твердого деформованого тіла викликає ряд труднощів. Для того щоб реально дослідити напружено - деформований стан в зонах навколо тріщин і проаналізувати його вплив на несучу здатність і жорсткість залізобетонних елементів поряд із залученням вихідних положень механіки руйнування, необхідно мати достовірні результати експериментальних досліджень і чітко знати класифікацію тріщин. В залізобетонних згинальних елементах в залежності від зовнішніх силових дій тріщини утворюються, як наведено в роботі [1], трьох типів (рис.1):

- нормальні до повздожньої вісі елемента, які пересікають повздожню і поперечну арматуру, а можуть бути між поперечними стержнями і утворюються на ділянках, де $M \geq M_{cr}$ а $V < V_{cr}$;
- похилі до повздожньої вісі елемента, які пересікають повздожню і поперечну арматуру і утворюються на ділянках, де $M < M_{cr}$, а $V \geq V_{cr}$;
- похилі до повздожньої вісі елемента, які пересікають тільки поперечну арматуру і утворюються на рівні проходження нейтральної лінії в перерізі, як правило, на приопорних ділянках, де $M < M_{cr}$, а $V \geq V_{cr}$;

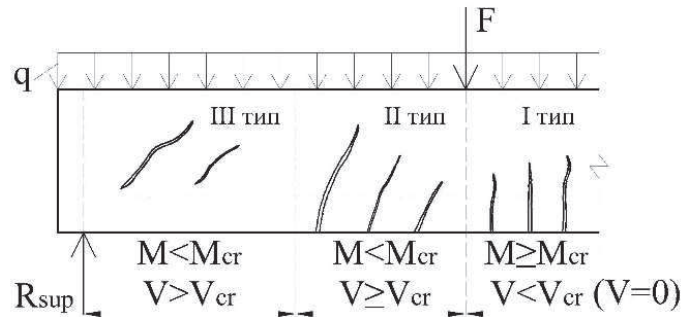


Рис.1. Класифікація тріщин за граничними умовами їх утворень

де M_{cr} , V_{cr} – згинальний момент і поперечна сила, які відповідають вичерпанню опору поперечних перерізів, утворенню тріщин, відповідно нормальних зі сторони розтягнутої грані і похилих (на рівні нейтральної вісі);

M і V – максимальні значення згинального моменту і поперечної сили від зовнішнього навантаження на ділянці, що розглядається.

Експериментальні дослідження тріщиноутворення в згинальних залізобетонних елементах за дії знакозмінних навантажень проводились на балках, зразки яких і методика випробувань вказані в роботах [2, 3, 4, 5]. В процесі проведення експериментальних досліджень ретельно слідкували за появою нормальних і похилих тріщин на кожному ступені навантаження і напів циклах «а» і «б» першого і наступного циклів з заміром їх ширини розкриття. Під час досліджень роботи дослідних зразків на початку навантаження на напів циклах «а» і «б» першого циклу практично у всіх балках з'являються нормальні тріщини типу I в зоні «чистого» згину та на невеликих ділянках сумісної дії M і V . Із збільшенням навантажень з'являлись нові тріщини типу II, які починались розвиватись з розтягнутої зони і були перпендикулярні до повздовжньої розтягнутої арматури, а потім нахилились в бік прикладання зовнішньої зосередженої сили. Це пояснюється зміною співвідношення M/V . Після суттєвого збільшення зовнішнього навантаження $F=0,45F_u$, утворились ближче до опори похилі тріщини типу III. Поява їх була приблизно посередині висоти перерізу балки. Після появи цих тріщин процес розвитку тріщин типу I дещо призупинився, особливо це помітно в балках з невеликим прольотом «зрізу».

Необхідно зазначити, що утворення тріщин, як нормальних так і похилих у дослідних балках відбувається при різних значеннях навантаження в залежності від величини прогону «зрізу». На першому напів циклі «б», значення зусиль при яких утворилися нормальні і похилі тріщини, дещо зменшилися. Дані утворення тріщин наведені в таблиці 1.

Аналізуючи таблицю 1 слід відмітити, що нормальні тріщини в усіх випробуваних балках в напівциклах «1а» і «1б» утворювались в розтягнутій зоні при навантаженнях $F=(0,28...0,35)F_u$ від руйнівного навантаження. Похилі тріщини в балках в напівциклах «1а» і «1б» утворились при більших навантаженнях $F=(0,45...0,55)F_u$ від руйнівного. Високі рівні завантаження балок перед утворенням тріщин пояснюються високим класом бетону – С 30/35. Характер і черговість утворення тріщин в дослідних зразках залежить від прогону «зрізу». Із збільшенням прогону «зрізу» нормальні тріщини утворювались при менших значеннях навантажень, а похилі – навпаки.

Таблиця 1

Значення навантажень, при яких утворюються нормальні (типу I) і похилі (типу III) тріщини в балках за дії знакозмінних малоциклових навантажень на першому циклі в напівциклах «1а» і «1б» залежно від величини прогону «зрізу».

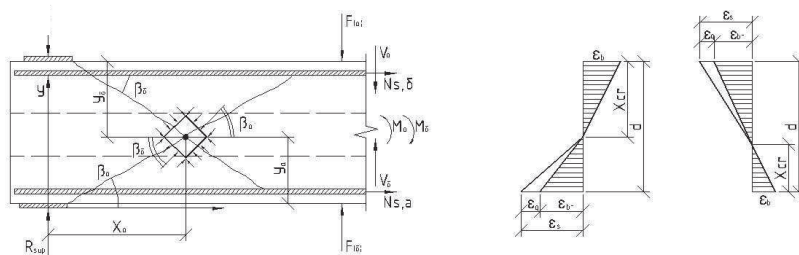
напівцикли прогін «зрізу» α , мм	Напівцикли «1а» F, кН		Напівцикли «1б» F, кН	
	Нормальні тріщини типу I	Похилі тріщини типу III	Нормальні тріщини типу I	Похилі тріщини типу III
300	14,72	19,62	13,90	18,80
450	12,20	20,30	11,63	19,60
600	9,81	20,50	9,64	19,82

За дії малоциклових знакозмінних навантажень на балку нормальні і похилі перерізи перебувають у складному напружено-деформованому стані, який змінюється з кожним напівциклом завантаження і залежить від величини прогону «зрізу». Із збільшення прогону «зрізу» при однакових величинах навантажень в зоні «чистого» згину нормальні напруження і деформації в розтягнутій і стиснутій зоні бетону будуть збільшуватися, а в похилих перерізах – зменшуватись. Крім того при зміні знаку навантажень в похилих перерізах змінюється і знак діючих головних стискаючих і розтягуючих напружень в бетоні, що також впливає на утворення тріщин III типу.

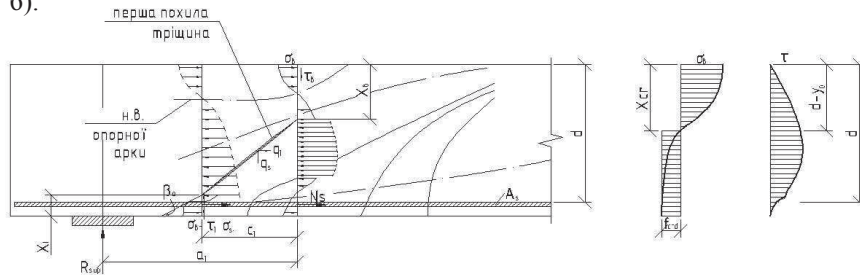
В процесі експериментальних досліджень виявлено, що при однакових рівнях завантажень знакозмінними навантаженнями на п'ятому циклі відбувається стабілізація утворення і розвитку тріщин всіх типів. Подальше циклічне знакозмінне навантаження практично не впливає на роботу конструкцій при експлуатаційних рівнях навантажень. При доведенні дослідних зразків на «10б» напівциклі до руйнування, в балках відбувається лише розвиток існуючих нормальних і похилих тріщин, при цьому похилі тріщини розвиваються дещо інтенсивніше, ніж нормальні.

Використовуючи розрахункові робочі гіпотези, які покладені в основу розрахункових моделей опору залізобетону, наведені в роботі [1] і дані результатів експериментальних даних, розрахункову модель тріщиностійкості похилих перерізів згинальних елементів за дії малоциклових знакозмінних навантажень на прикладі одного циклу по напівциклах «1а» і «1б», можна подати в такому вигляді.

a)



б).



в).

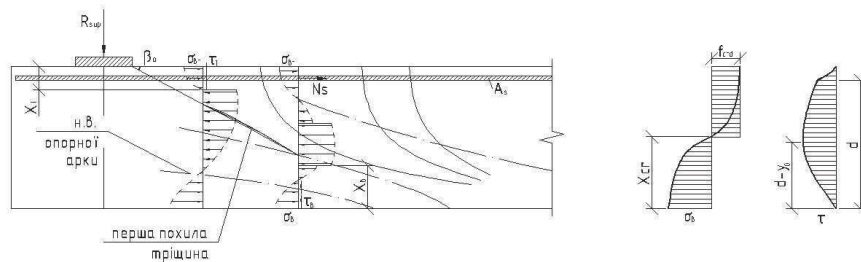


Рис.2. До розрахунку тріщиностійкості залізобетонних елементів по похилим перерізам за дії знакозмінних малоциклових навантажень

а) до визначення точки утворення першої похилої тріщини III типу і епюри деформацій бетону в перерізі згинання елемента

б) розрахункова схема для визначення ширини розкриття тріщин III типу і епюри нормальних і дотичних напружень в напівциклі «1а»

в) теж саме в напівциклі «1б»

Аналізуючи напружено-деформований стан похилих перерізів згинального елемента за дії знакозмінних малоциклових навантажень після кожного напівциклу завантажень (рис.2), за даними експериментальних досліджень встановлено, що на кожному наступному напівциклі завантажень, він змінюється. Сумарні деформації і напруження після кожного напівциклу збільшуються за однакової величини навантажень. Це

відбувається за рахунок порушення цілісності перерізів згинального елемента в зв'язку з утворенням, розвитком і розкриттям тріщин. Математичний опис цих процесів має складний характер, викладення яких буде наведено в наступних теоретичних дослідженнях.

Висновки. Процеси тріщиноутворення та розвитку тріщин за дії однократного і малоциклового знакозмінного навантажень в згинальних залізобетонних елементах суттєво відрізняються. Напружено-деформований стан як нормальних так і похилих перерізів на кожному напівциклі змінюється, оскільки змінюються фізико-механічні властивості бетону. На основі розрахункових моделей опору залізобетону встановлено, що знакозмінне малоциклове навантаження, в порівнянні з одиничним, знижує поперечну силу, при якій утворюються похилі тріщини на 20%...25% при великих і середніх прогонах «зрізу» і на 35%...40% при малих прогонах «зрізу». Що стосується утворення нормальних тріщин типу I, в зоні дії максимального згинального моменту, то практично після першого циклу навантажень, нормальні тріщини майже повністю перерізають поперечні перерізи, розділяючи згинальний елемент на окремі блоки, з'єднані між собою повздовжньою арматурою.

Процес тріщиноутворення є тривалим і залежить від рівня навантаження, кількості циклів навантажень, а також від форми, перерізу елемента, фізико-механічних властивостей бетону, виду арматури та сил щеплення її з бетоном.

1. Расчетные модели силового сопротивления железобетона (монография) / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов /Издательство АСВ, Москва, 2004-472 с. 2. Масюк Г.Х. Тріщиностійкість і деформативність згинальних залізобетонних елементів при дії малоциклового навантаження / Г.Х. Масюк, А.Б. Григорчук, В.В. Караван / Науково – технічний збірник «Техніка», комунальне господарство міст; вип. 39 серія «Технічні науки», - Київ, 2002. 3. Масюк Г.Х. Результати експериментальних досліджень тріщиностійкості і деформативності згинальних залізобетонних елементів під дією малоциклового знакозмінного навантаження /Зб. Наук. Праць, Ресурсо-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, вип. 9,- Рівне, 2003,- с. 168-172. 4. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження тріщиностійкості похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів при дії малоциклового знакозмінного навантаження / Г.Х. Масюк, О.І. Корнійчук / Зб. наукових праць, вип. 7. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій, Львів, 2007,- с. 289-296. 5. Масюк Г.Х. Експериментально-теоретичні дослідження тріщиностійкості похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються за дії знакозмінного малоциклового навантаження / Г.Х. Масюк, О.І. Корнійчук / Вісник ОДАБА, вип. 33, Одеса,- 2009,- с. 99-104.