

УДК 539.4

ВІДНОВЛЕННЯ ІН'ЄКТУВАННЯМ МІЦНОСТІ ЦИЛІНДРА З ТРІЩИНОЮ ПРИ КРУЧЕННІ

Віктор Силованюк, Наталія Івантишин, Максим Філіпов

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

vsylovanyuk@gmail.com; n.ivantyshyn@gmail.com; maksym.filipov@gmail.com

У будівельній галузі застосовують ін'єкційні технології відновлення роботоздатності пошкоджених бетонних і залізобетонних споруд [1, 2]. Для надійної експлуатації відновлених таким чином об'єктів важливо оцінити їх залишковий ресурс. Деякі дослідження в цьому напрямі виконані раніше [2, 3]. Нижче запропоновано математичну модель заліковування тріщин у транс-тропному циліндрі за умов кручення.

Нехай у площині ізотропії довгого транс-тропного циліндра радіусом R (див. рис. 1) міститься залікована ін'єктуванням дископодібна тріщина радіусом a ($R \gg a$). Циліндр зазнає скруту зусиллями з моментом M . Циліндричну систему координат (r, θ, z) вибираємо з початком в центрі тріщини так, щоб площина $z=0$ збігалася з площиною ізотропії пружних властивостей.

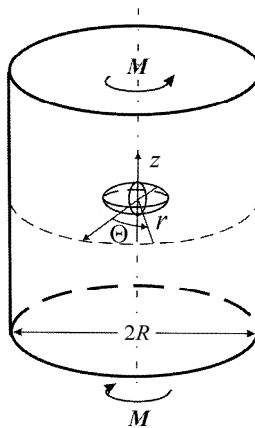


Рис. 1

За використання моделі пружного прошарку типу Вінклера задачу зведено до розв'язування інтегрального рівняння відносно переміщень повер-

хонь тріщини. Коли тріщина заповнена в усьому об'ємі, проведено числовий аналіз впливу ступеня заповнення тріщини на ефективність відновлення міцності циліндричного елемента конструкції з тріщиною. Отримано точний аналітичний розв'язок відповідного інтегрального рівняння. На основі силового критерію механіки руйнування встановлено залишковий ресурс міцності за скруту залікованого циліндра

$$M_* = \frac{K_{III C} \sqrt{\pi} R^4 (3\pi + 4\beta\epsilon)}{8 a^{3/2} (1 - \epsilon)}. \quad (1)$$

Тут $K_{III C}$ – тріщиностійкість матеріалу за поздовжнього зсуву в площині ізотропії; $\beta = a/c$, ϵ – відношення модулів зсуву матеріалів.

Для практики важливим є вибір ін'єкційного матеріалу такої міцності, щоб він не зруйнувався раніше від основного. На основі запропонованої моделі запишемо необхідну міцність на зсув ін'єкційного матеріалу

$$\tau_{\epsilon} \geq -\frac{K_{III C} (3\pi + 4\beta\epsilon) \mu_*}{4\sqrt{a} (1 - \epsilon) \sqrt{\pi \tilde{\mu}}} \left(\frac{1}{\sqrt{\tilde{\mu}}} + \frac{4(1 - \epsilon)\beta}{\sqrt{\mu} (3\pi + 4\beta\epsilon)} \right), \quad (2)$$

де μ і $\tilde{\mu}$ – модулі зсуву трансропного матеріалу в площині тріщини і в поперечних площинах, відповідно.

Встановлено, що ефективність відновлення міцності циліндра з тріщиною залежить від геометричних параметрів дефекту та відношення модулів зсуву матеріалів. Із отриманих результатів випливає, що підбором ін'єкційного матеріалу можна досягти повного відновлення міцності пошкодженого тріщиною циліндра.

1. *Czarnecki L., Emmons P.H.* Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. – Krakow: Polski Cement, 2002. – 434 s.
2. *Panasyuk V.V., Marukha V.I., and Sylovanyuk V.P.* Injection Technologies for the Repair of Damaged Concrete Structures. – Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer, 2014. – 230 p.
3. *Sylovanyuk V.P. and Ivantyshyn N.A.* Healing of cracks in anisotropic bodies // Materials Science. – 2020. – 55, No. 6. – P. 804–811.

RESTORATION OF THE STRENGTH OF A CYLINDER WITH A CRACK BY INJECTION

A mathematical model of crack healing in a transversely isotropic cylinder subjected to torsional deformation has been constructed. The problem is reduced to solving the integral equation with respect to the displacements of the crack surfaces. For the case when the crack is filled in the entire volume, an exact analytical solution of the corresponding integral equation is obtained. The effectiveness of cylinder strengthening depending on the geometric parameters of the crack and the mechanical characteristics of the injection material after solidification was determined.