

УДК 539.3:620.17

ОЦІНЮВАННЯ СХИЛЬНОСТІ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ ДО КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ НА СТАДІЇ РОСТУ ТРІЩИНИ

Олег Венгринюк, Ольга Звірко, Себастьян Ліпец, Ігор Дзьоба

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
Технологічний університет в Кельцах (Польща)*

olehvenhryniuk@gmail.com, olha.zvirko@gmail.com, slipiec@tu.kielce.pl,
pkmid@tu.kielce.pl

Обсадні труби експлуатуються за складних умов поєднання механічних навантажень та корозивно-наводнювальних середовищ [1], а їх руйнування спричиняє значні негативні наслідки. За таких умов експлуатації важливим є оцінювання роботоздатності трубних сталей, особливо їх опору крихкому руйнуванню [2]. У роботі оцінили схильність двох сталей обсадних труб з різною мікроструктурою до крихкого руйнування на стадії росту тріщини на основі аналізу напружено-деформованого стану у вершині тріщини та числових розрахунків.

Дослідили сталь 32Г2 з мікроструктурою дрібнозернистого сорбітоподібного перліту та сталь 50Г з грубозернистою феритно-перлітною мікроструктурою. Базові механічні властивості сталі 32Г2: границя міцності $\sigma_{UTS} = 884,6$ МПа, границя плинності $\sigma_{YS} = 683,8$ МПа, відносне видовження $\delta = 25,3\%$, відносне звуження $\psi = 72,9\%$; сталі 50Г: $\sigma_{UTS} = 795,8$ МПа, $\sigma_{YS} = 395,6$ МПа, $\delta = 19,0\%$, $\psi = 42,6\%$. Ударна в'язкість сталі 32Г2 KCV = $16,2$ Дж/см², сталі 50Г KCV = $2,2$ Дж/см². Сталь 50Г нижчої міцності та пластичності порівняно зі сталлю 32Г2 характеризувалася також дуже низьким опором крихкому руйнуванню.

Для аналізу напружено-деформованого стану у вершині тріщини використали раніше розроблений метод [3]. Моделювали механічну поведінку матеріалу у вершині тріщини плоского зразка з однією боковою тріщиною, навантаженого згином, за допомогою методу скінченних елементів у програмі ABAQUS. Чисельний підхід ґрунтується на використанні даних, отриманих з істинних діаграм розтягу. В результаті моделювання було отримано розподіли напруження та деформацій у вершинах тріщин обох сталей (рис. 1). Вищі значення номінальних напружень σ_{22} властиві сталі 32Г2 з вищою міцністю. Нормовані щодо границі плинності значення напружень σ_{22}/σ_{YS} вищі для сталі 50Г з нижчою міцністю, а їх максимум є ближчим до вершини тріщини, що вказує на більшу прогностну схильність цієї сталі до крихкого руйнування на

стадії росту тріщини порівняно зі сталлю 32Г2. Подібні тенденції отримали також у розподілах коефіцієнта триосності напружень попереду вершини тріщини та ефективної пластичної деформації, що вказують на вищу схильність до крихкого руйнування сталі 50Г з грубозернистою феритно-перлітною мікроструктурою та нижчою міцністю.

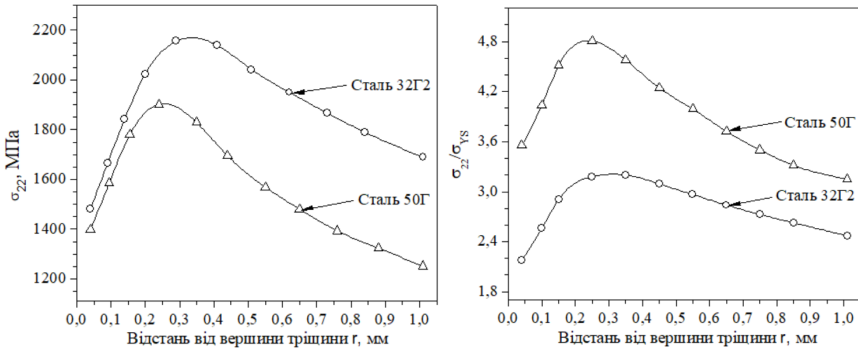


Рис. 1 Розподіл номінальних σ_{zz} та нормованих σ_{zz}/σ_{YS} напружень перед вершиною тріщини у сталях 32Г2 та 50Г

Отже, моделюванням підтверджено крихкіший механізм руйнування на стадії росту тріщини для грубозернистої сталі 50Г проти дрібнозернистої 32Г2, що узгоджується з експериментальними оцінками механічних властивостей, які пов'язані з різним опором крихкому руйнуванню досліджених сталей.

1. *Mohammed A.I., Oyenyin B., Atchison B., Njuguna J.* Casing structural integrity and failure modes in a range of well types: a review // *J. Nat. Gas Sci. Eng.* – 2019. – **68**, article ID 102898. – P. 1–25.
2. *Звірко О.І., Лінець С., Венгринюк О.І., Дзіоба І.* Оцінка напружено-деформованого стану у вершині тріщини у трубних сталях обсадних труб на основі числового моделювання // *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* – 2022. – **58**, № 4. – С. 32–36.
3. *Zvirko O., Tsyrylnyk O., Lipiec S., Dzioba I.* Evaluation of corrosion, mechanical properties and hydrogen embrittlement of casing pipe steels with different microstructure // *Materials.* – 2021. – **14**, № 24. – 7860. – P. 1–17.

ASSESSMENT OF SUSCEPTIBILITY OF PIPE STEELS TO BRITTLE FRACTURE AT THE STAGE OF CRACK GROWTH

The stress-strain state at the crack tip for specimens made of pipe steels with different microstructure was analysed. The finite element method was used for the simulation of the specimen with crack, and the true stress-strain curves of the steels were used for calculations. A higher susceptibility to crack growth by the brittle mechanism was confirmed by the simulations for the coarse-grained steel with lower strength compared with the other one.