

СТАТИЧНА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ СТАЛЕЙ 20 ТА 30ХМА В РОЗЧИНІ NACE

М. Р. ЧУЧМАН

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

Досліджено тріщиностійкість сталей 20 та 30ХМА в сірководневому розчині NACE за статичних та повторно-статичних напружень. Встановлено їх порогові коефіцієнти інтенсивності напружень. Зроблено висновок, що ці сталі практично задовольняють прийнятні в інженерній практиці критерії використання у сірководневих середовищах.

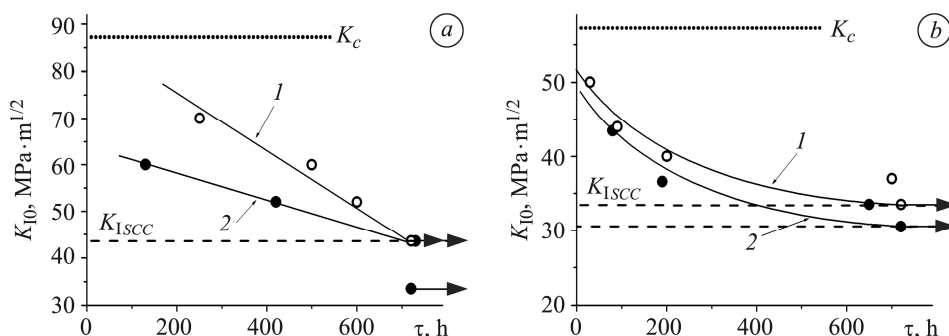
Ключові слова: сталь, тріщиностійкість, сірководень, статичні напруження, повторно-статичні напруження, наводнювання.

Ресурс металоконструкцій та промислового обладнання здебільшого визначають опірністю матеріалів руйнуванню в робочих середовищах як за статичних, так і циклічних навантажень. У нафтогазовидобувній та нафтопереробній промисловості середовища переважно містять сірководень, який пришвидшує локальну корозію та наводнювання металів. Їх вплив на опірність матеріалів руйнуванню досліджують переважно за сталих навантажень у хлоридно-ацетатному розчині NACE [1] без врахування циклічних напружень, хоча в реальних умовах вони завжди присутні. Раніше показано [2, 3], що трубна сталь 20 більш схильна до сірководневого корозійного розтріскування ($\sigma_{th}/\sigma_{0,2} = 0,6$), ніж 30ХМА ($\sigma_{th}/\sigma_{0,2} = 0,8$). Однак за сумісної дії статичних та циклічних напружень за асиметрії $R = 0,4 \dots 0,7$ різко знижується довговічність сталі 30ХМА – за досить низької амплітуди напружень $\sigma_a = 0,2\sigma_{0,2}$ не існує середніх напружень циклу, за яких вона не руйнується упродовж базового часу випробувань 720 h. Тоді як для сталі 20 за середнього напруження циклу, рівного пороговому напруженню за корозійного розтріскування $\sigma_{th} = \sigma_m = 175$ МПа та амплітуди $\sigma_a = 0,2\sigma_{0,2} = 54$ МПа циклічні навантаження знижують довговічність зразків у $\sim 1,2$ рази, а за цієї ж амплітуди та $\sigma_m = 120$ МПа зразки не зруйнувалися за базовий час випробувань. Тобто висока опірність сталі корозійному розтріскуванню ще не гарантує його високу витривалість за циклічних навантажень. Враховуючи, що зародження та розвиток тріщин визначають опірність матеріалів руйнуванню, нижче дослідили корозійну тріщиностійкість цих сталей в розчині NACE за дії статичних та повторно-статичних напружень.

Матеріали та методика досліджень. Досліджували сталі 20 (wt.%): 0,21 С; 0,23 Si; 0,36 Mn; 0,17 Ni; 0,10 Cr; 0,17 Cu; 0,013 S; 0,010 P з механічними характеристиками $\sigma_B = 474$ МПа; $\sigma_{0,2} = 290$ МПа та 30ХМА (wt.%): 0,29 С; 0,34 Si; 0,57 Mn; 0,13 Ni; 0,92 Cr; 0,19 Cu; 0,008 S; 0,012 P з $\sigma_B = 710$ МПа; $\sigma_{0,2} = 550$ МПа. Їх статичну тріщиностійкість вивчали на балкових зразках з попередньо наведеною втмодною тріщиною за навантаження консольним згином [4]. Під час повторно-статичного навантаження за трапецевидним циклом зразки розвантажували на 1 h/day. Як випробувальне середовище використали стандартний сірководневий розчин NACE (5% NaCl + 0,5% CH₃COOH + H₂S (нас.), pH 3...4, 22±3°C), який застосо-

вують для тестових випробувань матеріалів на придатність їх до експлуатації в сірководневих середовищах. База випробувань така ж, як для визначення опірності сталей сірководневу корозійному розтріскуванню – 720 h. Для порівняння результатів досліджень за різних видів напружень використовували підходи, такі ж, як для корозійної статичної тріщиностійкості.

Результати та їх обговорення. Критичні коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) K_c , визначені за короткочасного навантаження зразків у повітрі, становлять 57,5 для сталі 20 та 87,2 МПа·м^{1/2} для сталі 30ХМА, тобто у повітрі сталь 30ХМА за опором поширенню тріщини у 1,5 рази перевищує сталь 20 (див. рисунок).



Тріщиностійкість сталей 30ХМА (а) та 20 (б) за статичного (1) і повторно-статичного (2) навантаження у сірководневу розчині NACE.

Crack growth resistance of 30CrMo (a) and 20 (b) steels under static (1) and repetitive static (2) stresses in hydrogen sulfide solution NACE.

Порогові КІН K_{I_SCC} за сталих напружень для сталі 30ХМА і сталі 20 у сірководневу розчині NACE становлять 43,6 (0,5 K_c) і 33,5 (0,6 K_c) МПа·м^{1/2} відповідно.

Згідно з результатами праці [5], для матеріалів обладнання нафтогазовидобувної промисловості і трубопроводів, яке працює у контакт з сірководеньвмісними середовищами, граничне значення K_{I_SCC} повинно бути не нижчим за 33 МПа·м^{1/2}. Отже, обидві сталі задовольняють цю вимогу. Привертає увагу той факт, що хоча за абсолютним значенням параметра K_{I_SCC} сталь 30ХМА перевершує сталь 20, проте сірководневий розчин NACE понижує тріщиностійкість сталі 30ХМА більше, ніж сталі 20: коефіцієнт впливу середовища $\beta = (K_{I0} - K_{I_SCC})/K_{I0}$ для них становить 0,5 та 0,4, відповідно. На протизага цьому вплив сірководневого розчину на опірність корозійному розтріскуванню гладких зразків [2, 3] зі сталі 30ХМА менший порівняно зі сталлю 20, тобто сталь 30ХМА є відпірнішою до зародження тріщин, що, очевидно, пов'язано насамперед з низьким вмістом у ній сірки та вищою чистотою за неметалевими включеннями і більшою опірністю водневу окрихченню. Як показано раніше [6], окрихчення переважно визначає зародження тріщин, які виникають без утворення виразкоподібних корозійно-механічних пошкоджень.

Під час повторно-статичного навантаження за трапецевидним циклом довговічність зразків зі сталі 30ХМА знизилася у 2–4 рази порівняно з довговічністю під статичними навантаженнями, а зі сталі 20 – приблизно на 30%.

Порогове значення критичного КІН K_{I_SCC} за повторно-статичного навантаження зразків зі сталі 20 знижується на 3 МПа·м^{1/2} порівняно з пороговим значенням за статичного навантаження і становить 30,5 МПа·м^{1/2} на відміну від зразків зі сталі 30ХМА, де його значення не змінюється ($K_{I_SCC} = 43,6$ МПа·м^{1/2} за обох навантажень).

На основі одержаних результатів можна припустити, що за K_{ISCC} для сталі 20 за статичних напружень ще досягається КІН, який викликає підростання тріщин за повторно-статичних навантажень внаслідок водневого окрихчення металу у її вершині. Для сталі 30ХМА, яка є стійкішою до водневого окрихчення, розвантаження зразків за повторно-статичного навантаження упродовж 1 h не призводить до такого наводнювання металу у вершині тріщини, яке б сприяло її розвитку.

ВИСНОВКИ

Встановлені значення порогових КІН K_{ISCC} для сталей 20 та 30ХМА у стандартному сірководневому розчині NACE за їх статичного навантаження: вони відповідно рівні 33,5 та 43,6 МПа·м^{1/2}. Показано, що за повторно-статичних навантажень їх значення не змінюється для сталі 30ХМА і зменшується для сталі 20 на 3 МПа·м^{1/2} і становить 30,5 МПа·м^{1/2}, що пов'язано з її більшою схильністю до водневого окрихчення. Встановлені значення K_{ISCC} практично задовольняють прийняті в інженерній практиці критерії використання сталей у сірководневих середовищах.

РЕЗЮМЕ. Исследовано трещиностойкость сталей 20 и 30ХМА в сероводородном растворе NACE при статических и повторно-статических напряжениях. Установлено значения их пороговых коэффициентов интенсивности напряжений. Сделан вывод, что эти стали практически удовлетворяют принятое в инженерной практике критерии использования в сероводородных средах.

SUMMARY. Crack growth resistance of 20 and 30ХМА steels in hydrogen sulfide solution NACE under static and repetitive static stresses was studied. Their threshold stress intensity factors were found. It was concluded that those steels satisfied the criteria adopted in engineering practice for the use in hydrogen sulfide environments.

1. NACE Standard TM 0177-90. Standard Test Method Laboratory of Metals for Resistance to Sulfide Stress Corrosion Cracking in H₂S Environments. – Houston, Tx. National Association of Corr. Eng. (NACE). – 1990. – 22 p.
2. Вплив циклічних навантажень на опірність руйнуванню трубних сталей та їх зварних з'єднань у сірководневих середовищах / М. С. Хома, М. Р. Чучман, В. Р. Івашків, Г. М. Сисин // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2013. – **49**, № 3. – С. 52–57.
(*Khoma M. S., Chuchman M. R., Ivashkiv V. R., Sysyn H. M.* Influence of cyclic loads on the fracture resistance of pipe steels and their welded joints in hydrogen-sulfide media // *Materials Science*. – 2013. – **49**, № 3. – P. 334–340.)
3. Вплив умов навантаження на опірність конструкційних сталей корозійно-механічному руйнуванню в сірководневомісних розчинах / В. І. Похмурський, М. С. Хома, Г. М. Круцан, М. Р. Чучман // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / Під заг. ред. В. В. Панасюка. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2009. – С. 765–770.
4. МСКР-01-85. Методика испытання на стойкость против сероводородного коррозионного растрескивания. – М.: Изд-во ГКНТ СССР, 1985. – 4 с.
5. *Graig B.* Limitations of Alloying to Improve the Threshold for Hydrogen Stress Cracking of Steels // *Hydrogen Effects on Material Behaviour. Proc. of the 4th Int. Conf. on Effect of Hydrogen on the Behaviour of Materials* (Sept. 12–15). – Wyoming, 1989. – P. 223–230.
6. Ступінь наводнювання сталі 17Г1СУ за корозії в розчинах при наявності сірководню / М. С. Хома, М. Р. Чучман, Б. М. Дацко // Сучасні проблеми електрохімії: освіта, наука, виробництво. Зб. наук. пр. – Харків: Національн. техн. ун-т “Харківський політехнічний інститут”. – 2015. – С. 24–25.

Одержано 12.04.2016