

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ТА СТРУКТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ СТАЛІ 15ХМ ЗА ЧАС ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРОГОНІВ ТЕС

А.І. Кондир, П.В. Гладиш, М.В. Куречко

*Національний університет "Львівська політехніка",
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013*

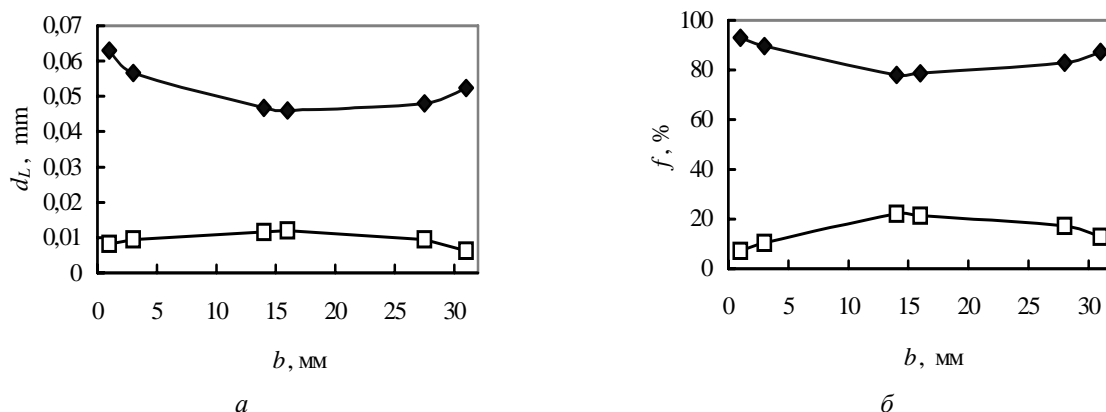
Під час експлуатації в умовах повзучості у сталях одночасно і взаємопов'язано відбуваються перерозподіл дислокацій і утворення нових субзерен, ріст зерен фериту, дифузійний перерозподіл легувальних елементів, розпад перліту, зневуглицювання приповерхневих шарів металу, зародження та ріст пор [1–3]. Стосовно зневуглицювання теплостійких сталей детальні експериментальні результати практично відсутні.

Мета цієї роботи полягала у дослідженні деградації структури труб парогонів зі сталі 15ХМ унаслідок зневуглицювання після експлуатації за 510 °С і тиску насиченої пари 10 МПа тривалістю понад 280 тис. год.

Термодинамічні розрахунки зміни вільної енергії та константи рівноваги виконували з метою оцінки можливості перебігу реакцій зневуглицювання маловуглецевої сталі за порівняно низьких температур нагрівання під впливом середовищ теплоносія парогону з внутрішньої сторони та кисню атмосфери ззовні. Величини зміни вільної енергії та констант рівноваги реакцій зневуглицювання розраховували за методиками та літературними даними, наведеними в працях [4–6]. Деградацію структури сталі внаслідок тривалої експлуатації в умовах повзучості виявляли кількісними стереометричними металографічними дослідженнями лінійним та точковим методами [7] за збільшень до $\times 1000$ на поперечних мікрошліфах після хімічного контрастування їх 4 % розчином нітратної кислоти в етиловому спирті. Мікроструктуру досліджували та документували за допомогою мікроскопа НЕОРНОТ-21 і відеокамери ССD 650-ВН з мікронасадкою МФН-12. Рентгеноструктурні дослідження виконували на дифрактометрі ДРОН-3М.

Термодинамічні розрахунки показали, що за температури експлуатації окремі хімічні реакції зневуглицювання характеризуються великими значеннями констант рівноваги, тобто підтвердили можливість збіднення α -твердого розчину вуглецем унаслідок взаємодії з водяною парою, воднем та киснем на внутрішній та зовнішній поверхнях труб парогону.

Стереометричні металографічні дослідження кількісно довели (див. рисунок, таблицю), що на внутрішній та зовнішній поверхнях у перерізі стінки труб парогонів спостерігаються найістотніші зміни структури. Аналіз поданих в таблиці результатів показує, що розмір зерен фериту зростає, а перлітних колоній зменшується у напрямку від середини перерізу парогону до його зовнішньої та внутрішньої поверхонь відповідно у 1,1...1,3 раза для фериту і у 1,5...1,9 раза для перліту.



Зміна середнього розміру d_L зерен фериту та перліту (а) та їхньої відносної кількості f (б) у поперечному перерізі парогону (b – відстань від поверхні з боку теплоносія): \blacklozenge – ферит; \square – перліт

Встановлено, що під час довготривалої експлуатації за температури 510 °С у сталі 15ХМ проходять такі структурно-фазові зміни: зменшення кількості перліту (розпад і зменшення розмірів перлітної складової), сфероїдизація карбідів, збільшення кількості фериту та зменшення діаметра феритних зерен, міграція їх границь, збільшення періоду ґратки і півширини ліній у напрямку від серцевини до зовнішньої та внутрішньої поверхонь труб парогону, які розцінювали як ознаку знеуглецювання.

Розподіл розміру і кількості зерен фериту та перлітних колоній у мікроструктурі сталі 15ХМ залежно від ділянки перерізу парогону

Номер групи	Ділянка парогону								
	1 мм від внутрішньої поверхні			Серцевина			1 мм від зовнішньої поверхні		
	Діаметр, мкм	Кількість зерен		Діаметр, мкм	Кількість зерен		Діаметр, мкм	Кількість зерен	
		$N \cdot 10^{-4}, \text{мм}^{-3}$	%		$N \cdot 10^{-4}, \text{мм}^{-3}$	%		$N \cdot 10^{-4}, \text{мм}^{-3}$	%
Ферит									
1	0–12,5	0,15	4,5	0–10	0,80	11,8	0–12,5	0,45	9,4
2	12,5–25,0	0,45	13,4	10–20	1,10	16,2	12,5–25,0	1,6	33,5
3	25,0–37,5	0,60	17,9	20–30	1,50	22,0	25,0–37,5	0,95	19,9
4	37,5–50,0	1,02	30,4	30–40	1,90	27,9	37,5–50,0	0,81	17,0
5	50,0–62,5	0,55	16,4	40–50	0,60	8,8	50,0–62,5	0,40	8,4
6	62,5–75,0	0,36	10,7	50–60	0,50	7,4	62,5–75,0	0,35	7,3
7	75,0–87,5	0,22	6,7	60–70	0,40	5,9	75,0–87,5	0,21	4,5
8	87,5–100	–	–	70–80	–	–	87,5–100	–	–
Разом		3,35	100	–	6,80	100	–	4,77	100
Перлітні колонії									
1	0–2,5	140,4	42,1	0–3,5	9,4	14,5	0–2	40,5	17,3
2	2,5–5,0	122,9	36,9	3,5–7,0	11,5	17,7	2–4	50,4	21,5
3	5,0–7,5	31,8	9,5	7,0–10,5	18,2	28,0	4–6	54,2	23,1
4	7,5–10,0	21,6	6,5	10,5–14,0	12,6	19,4	6–8	48,8	20,8
5	10,0–12,5	9,0	2,7	14,0–17,5	7,8	12,0	8–10	21,8	9,3
6	12,5–15,0	4,5	1,4	17,5–21,0	3,6	5,6	10–12	15,3	6,5
7	15,0–17,5	3,1	0,9	21,0–24,5	1,8	2,8	12–14	3,6	1,5
8	17,5–20,0	–	–	24,5–28,0	–	–	14–16	–	–
Разом		333,3	100	–	64,9	100	–	234,6	100

Література

1. Крутасова Е.И. Надёжность металла энергетического оборудования. – М.: Энергоиздат, 1981. – 236 с.
2. Мелехов Р.К., Похмурський В.І. Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. – К.: Наукова думка, 2003. – 384 с.
3. Березина Т.Г., Бугай Н.В., Трунин И.И. Диагностирование и прогнозирование долговечности металла теплоэнергетических установок. – К.: Техніка, 1991. – 118 с.
4. Turkdogan E.T. Physical Chemistry of High Temperature Technology. – New York: Academic Press, 1980. – 447 p.
5. Могутнов Б.М., Томилин И.А., Шварцман Л.А. Термодинамика железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1972. – 328 с.
6. Фромм Е., Гебхардт Е. Газы и углерод в металлах. – М.: Металлургия, 1980. – 712 с.
7. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1970. – 376 с.