

Ocena jakości i stopnia zużycia rur kotłowych na podstawie obserwacji mikrostruktury metodą replik

Quality evaluation and wear degree of boiler pipes based on the microstructure observation using replica method

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono wyniki badań mikrostruktury nieniszczącą metodą replik stali 16Mo3 rur kotłowych po długotrwałej eksploatacji. Celem badań była analiza ewentualnych zmian w mikrostrukturze – ocena jakości i stopnia zużycia stali rur kotłowych. Repliki na powierzchni wytrawionej stali zostały odwzorowane w dwóch różnych miejscach rurociągu (próbka 1 – niższe naprężenia termiczne, próbka 2 – wyższe naprężenia termiczne). Badania wykonano przy użyciu mikroskopu świetlnego Optatech.

Na podstawie badań stwierdzono niewielkie zmiany w mikrostrukturze stali, nieodbiegające od mikrostruktury w stanie wyjściowym. Efekt eksploatacji rur został uwidoczniiony jedynie wydzieleniami węglików wewnątrz i na granicach ziaren ferrytu.

Abstract

The article presents the result of the microstructure researches by nondestructive replica method of steel (16Mo3) on boiler pipes after long-term operation. The aim of the performed research was to analyze the possible changes in the microstructure – quality evaluation and steel boiler pipes wear degree. The research was performed on replicas taken from the etched surface of steel in two different places of pipeline (sample 1: lower thermal stresses and sample 2: higher thermal stresses). The research was carried out using an optical microscope Optatech

The process of examination has shown a small change in the microstructure of steel which slightly differs from the microstructure of steel in the initial state. The effect of exploitation of pipes was visualized only by precipitates of carbide inside and on the grain boundaries of ferrite.

Wstęp

W sektorze energetycznym badania mikrostrukturalne są wciąż jedną z najważniejszych metod oceny jakości materiałów po eksploatacji. Zmiany w strukturze, mogące powstawać podczas eksploatacji elementów np. pod wpływem temperatury, zmuszają do czasowej kontroli stanu ich struktury. Ze względu na to, że trwałość wg parametrów rzeczywistych elementów sektora

energetycznego może znacząco przewyższać trwałość nominalną (w Polsce w wielu przypadkach te elementy przekroczyły obliczeniowy czas pracy), konieczne jest kontrolne wyznaczanie ich rzeczywistej trwałości i ocena możliwości dalszej eksploatacji. Szacowanie stopnia zużycia materiałów wykorzystywanych do budowy konstrukcji m.in. w przemyśle energetycznym najczęściej odbywa się przy wykorzystaniu metod nieniszczących przez ocenę: wizualną (endoskopowo), grubości (ubytku materiału), odkształcenia, twardości. Z uwagi na konieczność stosowania głównie metod nieniszczących, oceny mikrostruktury dokonuje się metodą replik, pozwalającą oszacować stopień zużycia z bardzo dużą

Dr inż. Anna Wróbel–Knysak, mgr inż. Kamila Sołtys –
Gamma–Montex, Częstochowa.

wiarygodnością (40÷70% w zależności od jakości sporządzonej repliki).

Metoda replik polega na odwzorowaniu struktury materiału z wytrawionej powierzchni badanego elementu na folii celulozowej (stanowiącej negatyw reliefu powierzchni), którą poddaje się obserwacjom mikroskopowym w warunkach laboratoryjnych [1÷5].

Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowiły elementy rurociągów energetycznych ($\varnothing 219,1 \times 10,0$ mm) z kotła OR (temp. 450°C, ciśnienie 4,2 MPa). Oceny mikrostruktury dokonano na fragmencie rurociągu wykonanego ze stali niskostopowej 16Mo3 o składzie chemicznym wg EN 10216-2:20070 przedstawionym w tablicy I [6].

Metodyka badawcza

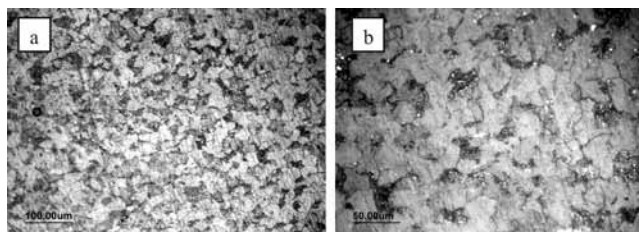
Stosownie do założenia prowadzonych badań mikrostrukturalnych metodą replik wytypowano miejsca największych naprężeń długotrwałych oraz termicznych – najbardziej wyężonych odcinkach krytycznych rurociągu. Próbka 1 – niższe naprężenia termiczne, próbka 2 – wyższe naprężenia termiczne. Na powierzchni stali po zeszlifowaniu zgrubnym przygotowano zgłady przy użyciu polerki mechanicznej, stosując papiery ściernie (180÷600) i sukna polerskie z zawiesziną diamentową (6, 3, 1 μm). Na powierzchnię wytrawioną Nitalem nałożono folię odwzorowującą – replikę. Na podstawie obserwacji mikroskopowych replik (mikroskop świetlny Optatech, pow. 200x i 400x) oszacowano stan mikrostruktury – stopień zużycia oraz dokonano klasyfikacji uszkodzenia wg wzorców literaturowych [4].

Wyniki

Ocena mikrostrukturalna

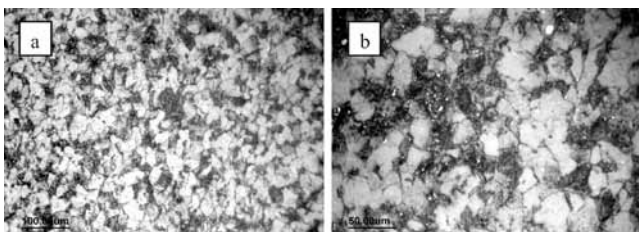
Obrazy mikrostruktur z uzyskanych replik przedstawiono na: rysunku 1 – próbka 1 i na rysunku 2 – próbka 2. W obu przypadkach repliki odwzorowują typową dla zastosowanej stali 16Mo3 strukturę (charakterystyczną dla stanu wyjściowego) ferrytyczno-perlityczną bez pustek pelzaniowych.

Wielkość ziarna o kształcie regularnym (wg normy PN EN ISO 643) jest zbliżona do: 9,5 (próbka 1) i 8 (próbka 2). W przypadku próbki 1 perlit tworzy



Rys. 1. Obrazy replik odwzorowujące mikrostrukturę stali 16Mo3, próbka 1: a) 200x, b) 400x

Fig. 1. Replica images mapping the microstructure of 16Mo3 steel, sample 1: a) 200x, b) 400x



Rys. 2. Obrazy replik odwzorowujące mikrostrukturę stali 16Mo3, próbka 2: a) 200x, b) 400x

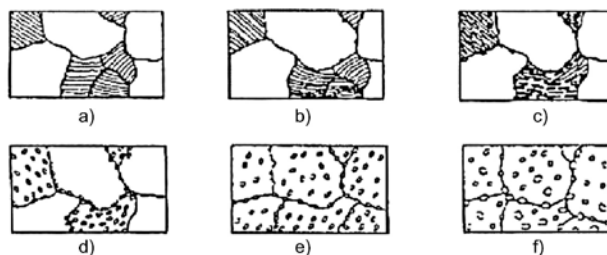
Fig. 2. Replica images mapping the microstructure of 16Mo3 steel, sample 2: a) 200x, b) 400x

częściowo siatkę na granicach ziaren. W próbce 2 nie stwierdzono zasadniczych różnic pomiędzy rozkładem faz w mikrostrukturze. Wewnątrz oraz na granicach ziaren występują wydzielenia węglików (liczniej w próbce 2) [1, 7, 8].

Klasyfikacja stopnia zużycia

Zmiany strukturalne oceniono zgodnie z wzorcem wg danych literaturowych. Mikrostruktury z próbki 1 i 2 odpowiadają wzorcowi „b” (rys. 3).

Klasyfikacji stopnia zużycia badanej stali dokonano, stosując tabelę wskaźników uszkodzenia (wskazano je jako klasę B) wg danych literaturowych (rys. 4) [4].



Rys. 3. Zmiany w strukturze ferrytu, bainitu/perlitu: a) stan wyjściowy, b) wydzielenia węglików na granicach ziarna, c) sferoidyzacja węglików, d) rozrost węglików, e) koniec sferoidyzacji, f) rozproszenie węglików [4]

Fig. 3. The changes in the structure of ferrite bainite/pearlite: a) initial state, b) the separation of carbides at the grain boundaries, c) spheroidization of carbides, d) growth of carbides, e) the end of spheroidization, f) dispersion of carbides [4]

Tablica I. Skład chemiczny stali 16Mo3, % mas. [1]

Table I. The chemical composition of steel 16Mo3, % mass [1]

Zawartość pierwiastków									
C	Si	Mn	P (max)	S (max)	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
0,12÷0,20	≤0,35	0,40÷0,90	0,025	0,020	≤0,30	0,25÷0,35	≤0,30	≤0,040	≤0,30

WSKAZNIK USZKODZENIA			Klasa uszkodzenia	t t _r
Fizyczna degradacja	Zmiany strukturalne	Wydzielenia		
1 _D	1 _M	1 _P	A	10
			B	20
2 _D	2 _M	2 _P	C	30
			D	40
3 _D	3 _M	3 _P	E	50
4 _D			F	60
5 _D			G	70
			H	80
				90
				100

Fizyczna degradacja:
 1D - bez zmian; jak w materiale rodzimym
 2D - pojedyncze pory
 3D - pory zorientowane
 4D - mikropełnięcia
 5D - makropełnięcia

Zmiany strukturalne:
 1M - bez zmian; jak w materiale rodzimym
 2M - wydzielenia węglików w ziarnach bainitu/perlitu
 3M - rozkład bainitu/perlitu, zmiana dyspersji węglików

Wydzielenia:
 1P - bez zmian; jak w materiale rodzimym
 2P - koagulacja; rozrost węglików, węgliki na granicach ziaren
 3P - rozkład i sferoidyzacja węglików

t- maksymalny czas pracy
 t_r- rzeczywisty czas

Rys. 4. Klasyfikacja mikrostruktury. Rysunek autorski na podstawie schematu z literatury [4]
 Fig. 4. Microstructure classification. Author's picture based on diagram from literature [4]

Wnioski

- Efekt eksploatacji elementów uwidocznił się w wydzieleniach węglików na granicach i wewnątrz ziaren, co w ocenie klasyfikacji mikrostruktury wskazuje na ok. 30% stopień zużycia (rys. 4) i pozwala na dalszą eksploatację elementów. Większy udział węglików w próbce 2 świadczy o możliwości występowania wyższych temperatur podczas eksploatacji, co

koreluje z miejscem pobrania próbki (miejsca o wyższych naprężeniach termicznych).

- W przypadku mikrostruktury w próbce 1 stwierdzono większy udział ferrytu, mogący świadczyć o lokalnym niewielkim przegrzaniu. Nie można wykluczyć jednak, że efekt ten nie jest związany z rozłożeniem faz w materiale w stanie wyjściowym.
- Regularna budowa poszczególnych faz w obu badanych strukturach świadczy, że nie nastąpił efekt przegrzania.

Podsumowanie

Stal 16Mo3 wg VGB jest przeznaczona do pracy w maks. 470°C. Według dostarczonej przez zleceniodawcę specyfikacji elementy były przeznaczone do pracy w temp. maks. 450°C. Fakt, że temperatura graniczna dla tych elementów nie została przekroczona podczas eksploatacji, potwierdzają obrazy mikrostruktur – zbliżone do stanu wyjściowego [1, 4].

Różna jakość obrazów uzyskanych metodą replik

wynika m.in. z dostępności badanego obszaru. Mimo to, ocena mikrostruktury metodą replik umożliwia oszacowanie jakości eksploatowanego materiału w zadowalającym stopniu. Z uwagi na możliwą niedokładność pomiarową tej metody zaleca się również badanie m.in. twardości w miejscu zglądu.

W celu dokładnej analizy zmian w strukturze (koagulacji węglików w perlicie/bainicie) konieczna jest obserwacja mikrostruktur przy użyciu mikroskopu skaningowego.

Literatura

- [1] Wł. Dudziński, K. Widanka: Ćwiczenia laboratoryjne z materiałoznawstwa, wyd. II poprawione, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej 2009.
- [2] J. Dobrosiewicz, E. Zbrońska-Szczęchura: Wytyczne oceny spoin rurociągów i komór pracujących w warunkach pełzania, Energetyka, grudzień 2009, s. 825-830.
- [3] J. Kępa, G. Golański: Mikrostruktura i właściwości mechaniczne chromowo-molibdenowej stali 13CrMo-4-5 (15HM) po długotrwałej eksploatacji, Rozwój technologii i metod informatycznych w inżynierii produkcji i inżynierii materiałowej, XXXVI Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa, Materiały Konferencyjne 3, Politechnika Częstochowska 2012, s.194-198.
- [4] E. Zbrońska-Szczęchura, J. Dobrosiewicz: Stosowane metody do oceny stopnia zużycia ciśnieniowych elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania, Dozór Techniczny 1-2/2010, s. 10-17.
- [5] M. Wojas: Badania nieniszczące stosowane w energetyce konwencjonalnej na przykładzie badań urządzeń pracujących w warunkach pełzania, 41 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących 2012, s. 145-150.
- [6] EN 10216-2:2007 Rury stalowe bez szwu do zastosowań ciśnieniowych. Warunki techniczne dostawy. Część 2: Rury ze stali niestopowych i stopowych z określonymi własnościami w temperaturze podwyższonej.
- [7] PN EN ISO 643 Stal - Mikrograficzne określanie wielkości ziarna.
- [8] D. Hodźić, I. Hajro: Microstructure degradation after prolonged exploitation of heat resistant steel 14MoV6-3, 16th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2012, Dubai, UAE, 2012, s. 155-158.