

Wpływ eksploatacji na wybrane właściwości mechaniczne stali X10CrMoVnB9-1 (P91)

Influence of exploitation conditions on mechanical properties of X10CrMoVnB9-1 (P91) steel

Streszczenie

Przedstawienie wyników badań stali P91 w stanie dostawy i po 80 000 h przepracowanych na rurociągu pary świeżej oraz wskazanie parametrów porównawczych stanowi treść niniejszego opracowania. W pracy przedstawione zostały wyniki badań składu chemicznego, mikrostruktury, statycznej próby rozciągania oraz charakterystyki Wöhlera. Nawiązano też do wyników badań nieniszczących otrzymanych przy użyciu metody prądów wirowych umożliwiającą ilościową ocenę stopnia degradacji zmęczeniowej stali P91.

Abstract

Tests results of P91 steel taken from a scrap of a new pipeline and a pipeline after 80 000 h of its exploitation in real steam conditions were presented. Additionally, in the present paper comparative parameters were indicated. Chemical composition analysis, microstructural observations, static tensile tests were carried out; also Wöhler's characteristics were outlined. Moreover, there were considered results of nondestructive methods such as eddy currents that allow quantitative assessment of fatigue damage evolution of P91 steel.

Cel badań

Badania materiałowe stali w dwóch stanach wyeksploatowania służyły wykazaniu degradacji występującej na elementach energetycznych i postępującej wraz z liczbą godzin przepracowanych w warunkach podwyższonej temperatury oraz zmiennych obciążeń mechanicznych. Określenie metodyki wykonywania badań i wyznaczenie parametrów porównawczych stanowiło cel pracy.

Przedmiot badań

Badania prowadzono na próbkach żarowytrzymałej stali stopowej X10CrMoVnB9-1 (P91), stosowanej do budowy kotłowych przegrzewaczy pary, zbiorników

pary, zbiorników ciśnieniowych i rurociągów pary z przeznaczeniem do pracy w zakresie temperatur do 650°C. Próbki do badań pobrano z dwóch rurociągów ze stali P91. Jeden z wycinków pochodził z elementu rurociągu pary świeżej eksploatowanego przez 80 tys. h w warunkach ciśnienia 8,4 MPa oraz temperatury 540°C. Drugi wycinek pochodził z części nieeksploatowanego rurociągu o tej samej średnicy, w stanie dostawy.

Proces degradacji

Proces degradacji tych elementów związany jest z oddziaływaniem warunków eksploatacyjnych (wysoka temp. i ciśnienie), w których dochodzi do takich procesów jak grafityzacja, kruchość wodorowa czy korozja wżerowa. Dodatkowo dochodzi destruktywny wpływ przekroczenia nominalnych parametrów pracy potęgający dynamikę rozwoju tych procesów. W praktyce przemysłowej uszkodzenia elementów

części ciśnieniowej kotłów są skutkiem więcej niż jednego rodzaju procesu niszczenia. W wielu przypadkach jest to proces złożony, o którym decydują minimum dwa lub więcej głównych czynników. Stąd konieczność rozwijania procedur w zakresie monitorowania procesów degradacji oraz definiowania prawdopodobnego mechanizmu niszczenia elementów instalacji energetycznych [1]. W związku z tym podjęto zagadnienie oceny wpływu oddziaływania warunków eksploatacyjnych w czasie 80 tys. h na mikrostrukturę i właściwości wytrzymałościowe stali P91.

Wyniki badań

W pierwszej kolejności obydwie wycinki poddano badaniom składu chemicznego dla potwierdzenia zgodności ze składem normatywnym. Wyniki przedstawione w tabelcy I wskazują na dużą zgodność zawartości pierwiastków stopowych obydwu wycinków z zakresem normatywnym.

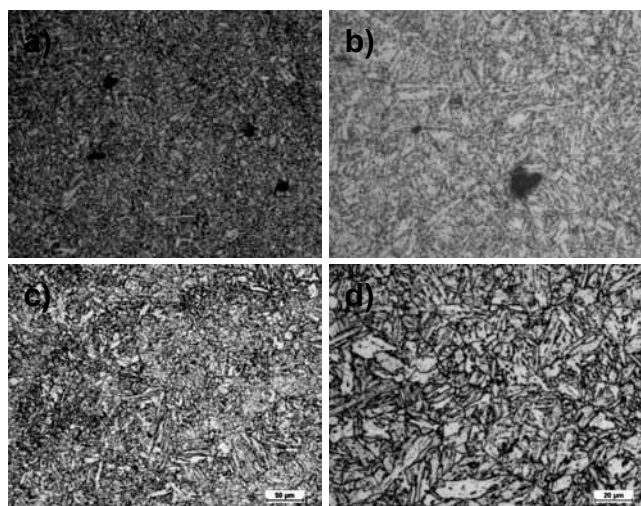
W kolejnym kroku przeprowadzono dla próbek zarówno w stanie dostawy, jak i po eksploatacji badania mikrostrukturalne oraz statyczną próbę rozciągania, która jednocześnie pozwoliła uzyskać parametry materiałowe (R_m , R_e) niezbędne do testów zmęczenia. Badania mikrostrukturalne próbek ze stali w stanie dostawy i w stanie po eksploatacji ujawniły strukturę odpuszczonego martenzytu z wydzieleniami węglików, jednak w przypadku stali eksploatowanej stwierdzono mniejszy ich udział. Jak widać na rysunku 1 mikrostrukturę stali w stanie dostawy cechuje większa jednorodność struktury jak i wielkości ziaren.

Właściwości wytrzymałościowe stali P91 przed i po eksploatacji określono na podstawie statycznej próby rozciągania na próbkach płaskich o przekroju kwadratowym, wyciętych wzdłuż osi głównej elementów rurociągu. Reprezentatywne charakterystyki wytrzymałościowe stali w stanie dostawy po eksploatacji przedstawiono na rysunku 2. W celu otrzymania wiarygodnych wyników próby rozciągania dla materiałów w stanie dostawy i po eksploatacji wykonano na pięciu próbkach. Średnie wartości parametrów wyznaczonych z tych testów zestawiono w tabelcy II.

Wyniki badań wytrzymałościowych wskazują na znaczny spadek wytrzymałości stali pod wpływem eksploatacji przy niewielkim wzroście uplastycznienia. Niemniej jednak zmierzone parametry, dla obydwu typów próbek, mieszczą się w szerokim zakresie normy.

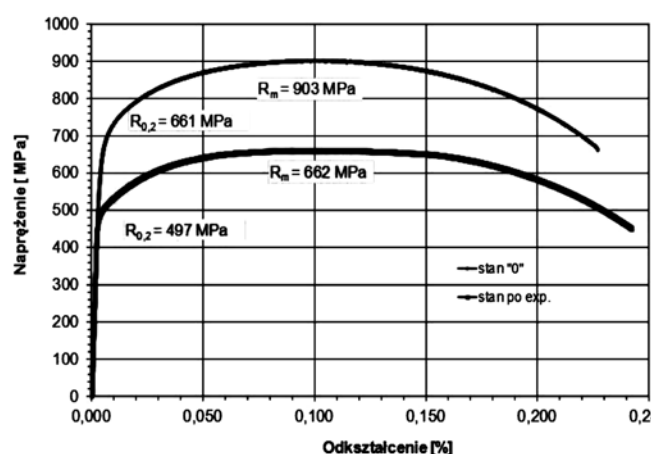
Tabelca I. Zawartość pierwiastków stopowych w próbkach ze stali P91 przed i po eksploatacji oraz wg PN 10216-2:2004
Table I. The content of alloying elements in steel samples P91 before and after the operation and PN 10216-2:2004

Stan stali	C	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Cu	Si	S	P
P91 „0”	0,12	0,39	8,31	0,82	0,29	0,18	0,15	0,25	0,006	< 0,001
P91 „80 tys.”	0,11	0,43	8,16	0,86	0,24	0,28	0,13	0,15	0,008	0,042
PN 10216-2:2004	0,08÷0,12	0,3÷0,6	8÷9,5	0,85÷1,1	0,18÷0,25	< 0,4	< 0,3	0,2÷0,5	< 0,01	



Rys. 1. Mikrostruktura stali P91 w stanie dostawy przy powiększeniu 20x (a) i 50x (b) oraz stali P91 po eksploatacji przy powiększeniu 20x (c) i 50x (d).

Fig. 1. P91 in the microstructure of the steel is delivered at a magnification of x20 (a) x50 and (b), and the P91 steel operating at a magnification of x20 (c) x50 and (d)



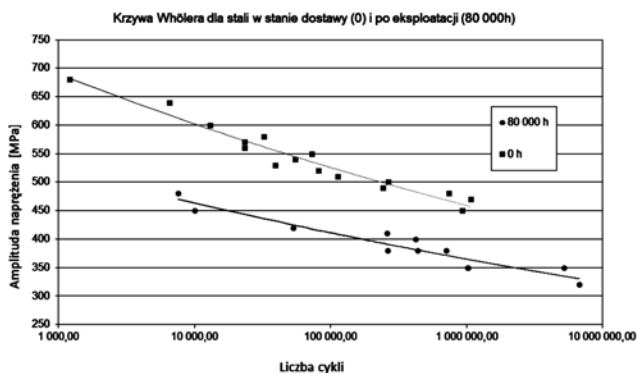
Rys. 2. Reprezentatywne krzywe rozciągania dla próbek ze stali w stanie dostawy i po eksploatacji

Fig. 2. Representative stress-strain curves for steel samples, as supplied and after the operation

Tabelca II. Parametry wytrzymałościowe stali P91 przed i po eksploatacji oraz wg PN 10216-2:2004

Table II. The strength parameters of P91 steel before and after the operation, and by PN10216-2: 2004

Stan stali	R_m , MPa	R_e , MPa	A, %
P91 stan „0”	900	661	23
P91 stan „80 000”	662	497	24,5
PN 10216-2:2004	630÷830	> 450	17÷19



Rys. 3. Charakterystyka zmęczeniowa stali w stanie nowym (0 h) i po eksploatacji (80 tys. h)

Fig. 3. The fatigue characteristics of steel in new condition (0 h) and after operation (80 000 h)

Kolejne badania o charakterze porównawczym dotyczyły badań trwałości zmęczeniowej próbek ze stali P91 w stanie dostawy i po eksploatacji. Wyniki tych badań zestawione w formie charakterystyki Wöhlera przedstawia wykres na rysunku 3. Widać wyraźny spadek wytrzymałości w całym zakresie amplitudy naprężenia od 320 do 680 MPa. Różnica w wartościach trwałości zmęczeniowej dla obydwu stanów materiału jest porównywalna w całym zakresie pomiarowym. Tym samym wykazano spadek tego parametru niezależnie od amplitudy naprężenia. Badania te wykonano na próbkach osiowosymetrycznych, klepsydrycznych.

Podsumowanie

Wyniki eksperymentów wykazały spadek właściwości mechanicznych stali wskutek eksploatacji. Wykonywane badania zmierzają do wyznaczenia parametrów określających w sposób ilościowy stopień degradacji materiału. Parametr wyznaczony

w sposób nieniszczący na stali P91 opisany został w [1]. Opis parametru uszkodzenia zmęczeniowego wyznaczanego na podstawie przebiegów odkształceń średnich oraz niesprężystych można znaleźć w [2, 3].

Literatura

- [1] Kukła D., Grzywna P., Zagórski A.: Ocena rozwoju degradacji zmęczeniowej stali P91 na podstawie zmian kąta fazowego sygnału prądowirowego, Przegląd Spawalnictwa, 13/ 2012.
- [2] Kukła D., Zagórski A., Grzywna P.: Ocena rozwoju procesów zmęczeniowych związanych z lokalnymi odkształceniami na przykładzie stali P91 dla energetyki, Energetyka, 08/2012.
- [3] Kowalewski Z., Kukła D., Grzywna P., Szymczak T.: Parametry uszkodzenia w procesie zmęczenia oraz ich miary, Energetyka 11/2012.