

„Wpływ interakcji zmęczenia niskocyklowego na degradację stali żaroodpornych pracujących w podwyższonych temperaturach”

M. Jakubowska*^{1,2}, M. Łucki¹, R. Chulist², A. Sypien²

¹Urząd Dozoru Technicznego, Szczęśliwicka 34, 02-353 Warszawa.

²Instytut Metalurgii I Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk, Reymonta 25, 30-059 Kraków.

Ze względu na ograniczone zasoby naturalne, jednym z głównych wyzwań dla przemysłu staje się zrównoważenie energii. Prognozuje się, że w przyszłych latach elektrownie działające w ultra-nadkrytycznych warunkach pracy, wytwarzające tym samym znaczne ilości energii bez negatywnego wpływu na środowisko, będą odgrywać kluczową rolę w zaspokajaniu potrzeb światowych w energię. Jednym z głównych problemów większości elementów pracujących w podwyższonej temperaturze w elektrowniach na paliwa stałe jak i elektrowniach jądrowych są uszkodzenia wynikające ze zmęczenia niskocyklowego (Low Cycle Fatigue) - częste powolne rozruchy, wyłączenia oraz zmiany ciśnienia i / lub temperatury w trakcie eksploatacji. Ponadto, w trakcie ustalonego okresu pracy w podwyższonych temperaturach następuje proces zwany pełzaniem. W konsekwencji, elementy ciśnieniowe narażone są na działanie zjawisk zmęczenia oraz pełzania, jak również jednoczesnej interakcji zmęczenie – pełzanie. Dlatego też, rozwinięcie tematu zmęczenia niskocyklowego (LCF) oraz interakcji pełzania ze zmęczeniem (Creep – Fatigue Interaction) odgrywa bardzo znaczącą rolę w projektowaniu komponentów wystawionych na działanie ciśnienia oraz temperatury.

O ile autonomiczny opis procesu zmęczenia i pełzania nie nastrocza większych problemów, to ocena współistnienia tych dwóch mechanizmów degradacji jest zagadnieniem bardzo złożonym i dotąd niepoznanym. Brakuje inżynierskiego opisu integracji zmęczenia i pełzania w aspekcie oceny trwałości eksploatacyjnej. Opisanie i wyjaśnienie tego zagadnienia jest kluczowe w zapewnieniu bezpiecznej eksploatacji kotłów energetycznych, do czego Urząd Dozoru Technicznego jest zobligowany przepisami prawa.

W pracy przedstawiono wyniki badań strukturalnych oraz właściwości mechanicznych stali niskostopowej 14MoV6-3 (13HMF), która wykazuje cechy uszkodzeń wewnętrznych po długotrwałej eksploatacji. Badania właściwości mechanicznych, w tym: wytrzymałości na rozciągania oraz granicy plastyczności w temperaturze pokojowej oraz podwyższonej (+540°C) oraz temperatury przejścia w stan kruchy, przeprowadzono na próbkach wzdłużnych zgodnie z wymaganiami normy dla rur bez szwu do zastosowań ciśnieniowych EN 10216-2. Uszkodzenia wewnętrzne badanego materiału zostały również sklasyfikowane wg specyfikacji branżowej w zależności od stopnia wyczerpania t_r. Wykazano, że właściwości wytrzymałościowe badanego materiału pobranego z rurociągów pary pierwotnej maleją wraz ze wzrostem czasu eksploatacji. Badania metalograficzne wykazały, że przyczyną uszkodzeń stali o strukturze ferrytyczno-perlitycznej (bainitycznej) po długotrwałej eksploatacji jest mechanizm pękania kawitacyjnego. Ważnym elementem prac było przeprowadzenie badań dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD. W metodzie tej mają zastosowanie kąty dezorientacji oraz wyznaczony w oparciu o nie parametr KAM (Kernel Average Misorientation).

Kolejnymi etapami prac będą: przeprowadzenie testów zmęczeniowych creep-fatigue na wyselekcjonowanych materiałach energetycznych, przeprowadzenie badań materiałowych próbek po testach zmęczeniowych pod względem strukturalnym, opracowanie wytycznych umożliwiających podjęcie decyzji o możliwości dalszej eksploatacji w warunkach zmęczenie – pełzanie.

Badania realizowane są w ramach projektu „Doktorat Wdrożeniowy” nr DWD/3/29/2019 finansowanego przez Ministra Edukacji i Nauki.