THE RESISTANCE INVESTIGATION OF THE MARINE ENGINE EXCHAUST VALVE USING THE MODELLING CHAMBER

Włodzimierz Kończewicz

Gdynia Maritime University, Department of Mechanical Engineering
83 Morska Street, 81-225 Gdynia, Poland
tel.: +48 058 6901564; fax: +48 058 6901399
e-mail: wlodekk@am.gdynia.pl

Hanna Smoleńska

Gdansk University of Technology, Department of Materials Science and Engineering
11/13 Narutowicza Street, 80-952 Gdansk, Poland
tel.: +48 058 347297, fax: +48 0 58 3471815
e-mail: hsmolens@pg.gda.pl

Abstract

At contemporary technical designs, many equipment and installation are working for a long time and under complex environmental which include mechanical, thermal and chemical loadings. Before the new technical design is accepted for work it must be carefully investigated in order to evaluate its usefulness for real need. During the ship engine operation one of the key problems is the exhaust valve durability. A special interest is in valve head face because this narrow part of the valve is responsible for tightness. Very often the durability of the valve is not sufficient in spite of using heat treated high alloy steels. Surfacing the seat face with different techniques and different resisting materials can increase the durability of valves and also can be useful to repair worn components. Because the ship engine valves are the example of the parts which are highly mechanical and chemical loaded and subjected for long service life, the design of the special examination chamber seems to be useful. At this station, the clad layer made by different techniques and from different cladding materials are undergo exhaust gases corrosion and elevated temperature is the factor which accelerates process. In this paper the schematic diagram of the modeling chamber and some results of the investigation are presented. There are comparisons of the microstructure and hardness of the worn valve heads from the real working engine and samples which were exposed in the chamber. The metallographic method of the analyse and microhardness measurements were used.

Keywords: *gas corrosion, laboratory test, exploitation*

BADANIA ODPORNOŚCI ZAWORÓW WYLOTOWYCH SILNIKA OKRĘTOWEGO W KOMORZE MODELOWEJ

Streszczenie

We współczesnej technice szereg części urządzeń i instalacji pracuje w długich okresach czasu i w złożonych warunkach obciążenia mechanicznego, termicznego i chemicznego. Próby wprowadzenia nowych rozwiązań technicznych muszą być poprzedzone szczegółowymi badaniami, które stwierdzą przydatność do konkretnych zastosowań. Problemem występującym w przemyśle okrętowym, a dokładniej w procesie eksploatacji silników okrętowych jest trwałość jednego z kluczowych elementów tj. zaworów wylotowych. Z punktu widzenia eksploatacji największą uwagę poświęca się wąskiej powierzchni przylgni zaworu, której dokładność dopasowania decyduje o jego szczelności. Pomimo stosowania stali wysokostopowych obrobionych cieplnie trwałość zaworów jest często niewystarczająca. Aby zwiększyć ich trwałość stosuje się pokrycie przylgni stopami charakteryzującymi się większą odpornością w wyżej wymienionych warunkach pracy. Stopy i technologie powinny także umożliwiać nie tylko wytwarzanie warstw na nowych zaworach, ale także umożliwiać ich regenerację. Ponieważ zawory silników okrętowych są przykładem części silnie obciążonych zarówno mechanicznie jak i chemicznie a czasy ich eksploatacji liczy się w tysiącach godzin stąd pożyteczne wydaje się zastosowanie specjalnie zaprojektowanej komory, w której

wykonane różnymi metodami warstwy będą podlegać oddziaływaniu spalin, a podwyższona temperatura będzie dodatkowym czynnikiem przyspieszającym proces degradacji. Jednakże istotna jest ocena na ile przyspieszone procesy w komorze odpowiadają rzeczywistym procesom degradacji. W pracy przedstawiono schemat komory modelowej oraz wyniki badań dla zaworów poddanych korozji w komorze oraz ich porównanie ze zużytymi zaworami po eksploatacji w silniku okrętowym podczas normalnej eksploatacji. Do badań wykorzystano metody badań metalograficznych oraz pomiary mikrotwardości.

***Słowa kluczowe**: korozja gazowa, badania laboratoryjne, ekspoatacja*

1. Wprowadzenie

Elementy urządzeń lub instalacji pracujące w szczególnie trudnych warunkach, takich jak zawory silników czy łopatki turbin, są obiektami trudnymi do szczegółowych badań ze względu na mnogość czynników wpływających na ich zachowanie, zachodzące zmiany chemiczne i strukturalne. Natomiast zmiany te wpływają na trwałość i bezpieczeństwo funkcjonowania tych elementów. Dla zapewnienia niezawodności takich wyrobów konieczne jest precyzyjne poznawanie zachodzących procesów degradacji. Istotnym elementem powodującym dodatkowe utrudnienia jest wymagany czas pracy rzędu tysięcy lub dziesiątek tysięcy godzin. W przypadku znanych i od dłuższego czasu stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, technologicznych i materiałowych interesujących wyników mogą dostarczyć badania części po eksploatacji, jakkolwiek otrzymane wyniki będą miały charakter dyskretny, np. stan wyjściowy i stan po całym okresie pracy lub stan wyjściowy i badania po wypadkowe. Znacznie trudniejsze do przeprowadzenia są badania dotyczące nowych rozwiązań, których z oczywistych względów nie można poddawać eksploatacji w warunkach normalnej pracy urządzenia. Jedynym sposobem jest tworzenie stanowisk badawczych, które w warunkach zbliżonych, ale jednak nie rzeczywistych, będą symulować środowisko pracy. Istotnym zagadnieniem jest jednak ocena wiarygodności założonego modelu i jego zbieżności z rzeczywistością. Problemem występującym w przemyśle okrętowym, a dokładniej w procesie eksploatacji silników okrętowych jest trwałość jednego kluczowych elementów tj. zaworów wylotowych. Są one poddawane zjawiskom jednoczesnego obciążenia mechanicznego, cieplnego i korozyjnego, co oznacza jednoczesne znaczne obciążenia mechaniczne o charakterze zarówno statycznym jak i dynamicznym, zmienną temperaturę, korozyjne środowisko spalin o składzie uzależnionym od jakości stosowanego paliwa.

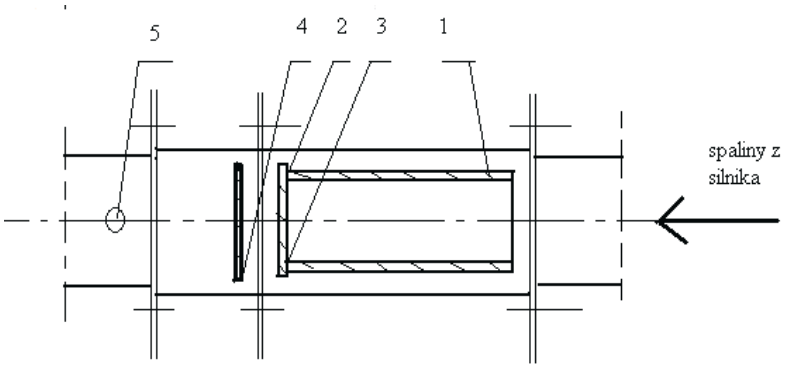
Z punktu widzenia eksploatacji największą uwagę poświęca się wąskiej powierzchni przylgni zaworu, której dokładność dopasowania decyduje o jego szczelności. Pomimo stosowania stali wysokostopowych obrobionych cieplnie trwałość zaworów jest często niewystarczająca. Aby zwiększyć ich trwałość stosuje się pokrycie przylgni stopami charakteryzującymi się większą odpornością w wyżej wymienionych warunkach pracy [1, 2]. Stopy i technologie powinny także umożliwiać nie tylko wytwarzanie warstw na nowych zaworach, ale także umożliwiać ich regenerację. Stopy kobaltu, a szczególnie ich techniczne stopy stanowią liczną grupę materiałów szeroko stosowanych w warunkach, gdzie wymagana jest odporność na działanie korozji chemicznej w wysokich temperaturach, złożonych atmosferach oraz dużych obciążeniach mechanicznych. W procesie regeneracji przylgni zaworów wylotowych silników okrętowych stosowane są różnorodne technologie. Spośród znanych metod najszersze zastosowanie znalazły metody laserowego i plazmowego napawania [3, 4, 5]. Jednakże zastosowanie nowych rozwiązań materiałowych a szczególnie nowych technologii wymaga gruntownego zbadania ich zachowania w warunkach pracy, bez których żadne towarzystwo klasyfikacyjne ich nie zaaprobuje. Z takiej potrzeby zrodziła się idea stanowiska do badań przylgni zaworów podczas korozji w spalinach.

2. Opis stanowiska

Komorę badawczą (Rys. 1. i Fot. 1) wykonano z blachy żaroodpornej pokrytej warstwą izolacyjną. Dodatkowo wyposażono ją w elementy grzejne oraz w czujnik pomiaru temperatury a natępnie zamocowano na wylocie z silnika L-22. Umieszczenie dodatkowych elementów grzejnych było niezbędne ponieważ temperatura spalin na wylocie z silnika była znacznie

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

niższa (ok 350°C) niż rzeczywista oddziaływująca na przylgnię podczas pracy silnika. Przyjmuje się, że temperatura przylgni może osiągać 500 do 600°C w warunkach normalnej pracy a nawet o 300°C więcej podczas pracy w warunkach awaryjnych [6]. Podgrzanie spalin i umieszczenie próbek w różnych obszarach zapewniło ekspozycję w trzech temperaturach: T1 - średnio 720°C - 2 na Rys. 1; T2 - średnio 660°C - 3 na Rys. i T3 - średnio 580°C - 4 na Rys.



Rys. 1. Schemat komory badawczej; 1 - grzałka elektryczna 18 kW, 2, 3 i 4 - miejsca umieszczenia próbek zamocowanych na tarczach, 5 - analizator spalin

Fig. 1. Diagram of the examination chamber; 1 - electric heater 18 kW, 2, 3 and 4 - disks with samples placements; 5- exhaust gases analyzer

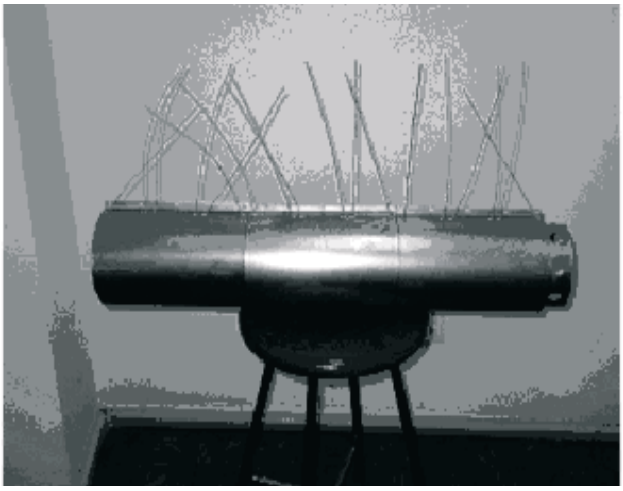
Silnik uruchomiono o godz, 8:15 i włączono 3 grzałki, obroty silnika 205[1/min], moment 86%; moc 45%, obroty turbiny 625					
Godz, pomiaru	T1	T3	T2	Tsil	uwagi
9:00	651	559	576	355	3 grzałki
9:30	650	560	577	337	3 grzałki
10:00	656	568	582	340	2 grzałki
10:30	650	561	576	333	3 grzałki
11:00	650	564	577	332	3 grzałki
11:30	652	560	577	333	3 grzałki*
*Pomiar składu chemicznego spalin					
12:00	650	565	575	330	2 grzałki
12:30	650	567	577	331	3 grzałki
13:00	651	566	578	332	3 grzałki
13:30	650	563	572	330	2 grzałki
14:00	650	565	575	331	2 grzałki
14:30	650	567	573	328	2 grzałki
15:00	649	565	577	330	2 grzałki
15:30	651	566	579	332	3 grzałki
16:00	650	564	578	332	2 grzałki
16:30	651	567	578	333	3 grzałki
17:00	649	564	577	331	2 grzałki
17:30	650	566	572	332	2 grzałki
18:00	651	567	577	333	3 grzałki

Rys. 2. Przykładowy zapis z dziennika badań oraz wyniki analizy spalin w trakcie procesu korozji

Fig. 2. An example of the record from the experimant log and result of the exhaust gases analyze

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Źródłem gazów spalinowych był, jak wspomniano, silnik laboratoryjny typu L-22 o następujących danych technicznych: silnik 1 cylindrowy wodzikowy, dwusuwowy, $N_u = 73$ kW, $n_n = 600$ 1/min, pojemność skokowa 13,3 l. W trakcie badań średnie obroty silnika wynosiły 210 1/min a średnia moc 84%. Średni skład spalin to: CO 2200 mg/m^3, SO_2 20 mg/m^3, NO_x 424 ng/m^3. Cały cykl ekspozycji był dokumentowany w dzienniku badań. Przykładowy zapis jest przedstawiony na Rys. 2.



Fot. 1a Komora badawcza
Phot. 1a Examination chamber

Fot. 1b Tarcza z próbkami przylgni
Phot. 1b Disk with samples

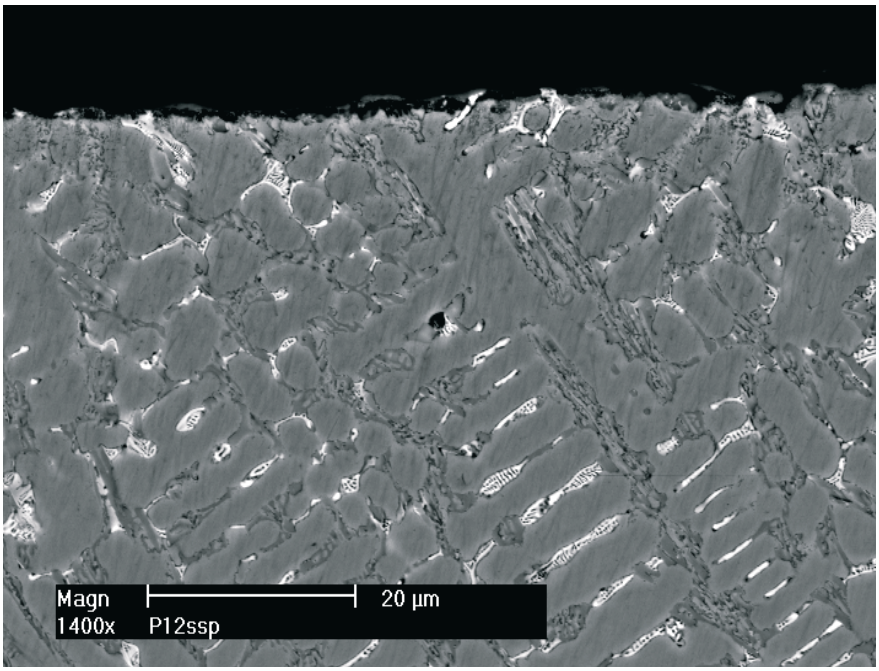
3. Metodyka badań

Ocena wiarygodności badań polegała na porównaniu zmian strukturalnych oraz mechanicznych zaobserwowanych w zaworze pochodzącym z normalnej eksploatacji oraz próbce wyciętej z takiego samego zaworu i poddanej korozji w spalinach na stanowisku badawczym. Do przeprowadzenia badań mikrostruktury wykorzystano mikroskop świetlny Leica Reichert MEF4M i skaningowy mikroskop elektronowy Philips-FEI XL 30 ESEM (Environmental Scanning Electron Microscope) sprzężony ze spetrometrem rentgenowskim dyspersji energii (EDS) wykorzystanym do określenia zmian w składzie chemicznym. Błędy pomiarowe w analizie składu chemicznego metodą SEM/EDS są rzędu 1%. Mikrotwardość mierzono metodą Vickersa na twardościomierzu PMY-3 o maksymalnym obciążęniu 200 g, zgodnie z zaleceniami PN-EN ISO 6508-1:2007.

Oba zawory wykonane zostały jako odkuwki ze stali zaworowej H10S2M (X40CrSiMo10-2) o składzie chemicznym C-0,374%, Cr-9,34%, Mn-0,402%, Ni-0,344%, Si-2,46%, Mo-0,822%, P-0,0162%, S-0,001%, zgodnym z PN-71/H-86022 (wszystkie składy chemiczne są podawane w procentach wagowych) poddanej obróbce cieplnej wg. następujących parametrów: hartowanie na martenzyt z temp. 1020-1070°C w oleju i odpuszczanie 750-850°C. Taka obróbka zapewnia im wytrzymałość. R_e ok. 70 kg/mm^2 w temperaturze pokojowej ale własności te spadają w wysokich temp. - R_m przy próbie rozciągania trwającej 20 min w temp. 500°C ok. 55, 600°C ok. 30, 700°C ok. 11, 800°C ok. 7

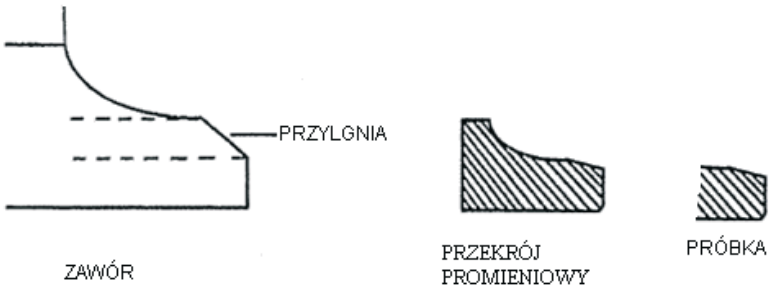
Zawór, który poddano korozji w komorze miał na powierzchni przylgni napawaną plazmowo warstwę wykonaną ze stopu na bazie kobaltu o nazwie Etroloy 16012 i następującym składzie chemicznym: C 1,55%; Si 1,21%; Cr 29,7%; W 9,0%; Ni 2,0%; Fe 1,7% i reszta to Co. Jego mikrostrukturę przedstawiwa Fot. 2. Jest to typowa struktura o układzie dendrytycznym i wyraźnej kierunkowości. Dendryty to austenit kobaltowy zawierający żelazo i nikiel, a w obszarach eutektyk międzydendrytycznych, obserwuje się związki chromu, krzemu i wolframu. Zawór pochodzący ze eksploatacji na statku miałn powierzchni przylgni napawaną plazmowo warstwę ze Stellitu 6. Ze względu na podobieństwo obu stopów możliwe było prowadzenie porównań.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Fot. 2. Mikrostruktura napoiny na powierzchni przylgni
Phot. 2. Clad layer microstructrue on the surface of the face

Do badań modelowych w komorze przygotowano próbki wycięte z nowego zaworu w taki sposób, aby każda obejmowała obszar przylgni (Rys. 3) i po umieszczeniu w komorze podlegała oddziaływaniu gorących spalin.



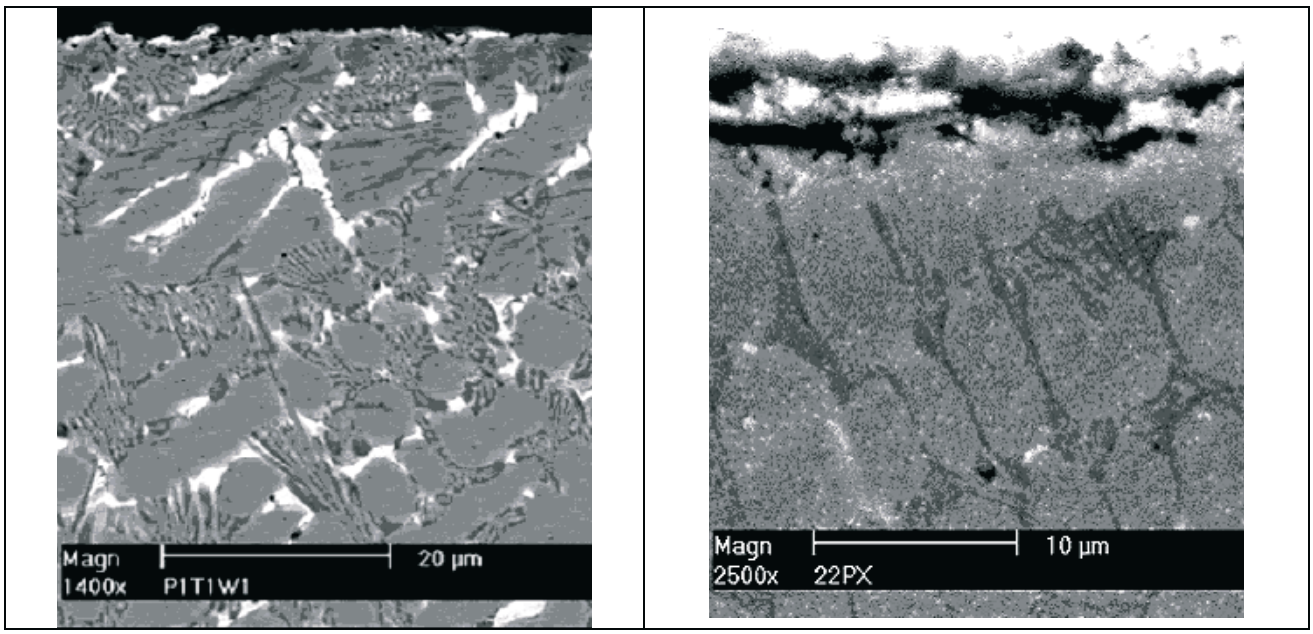
Rys. 3. Schemat przygotowania próbek do badań w komorze
Fig. 3. Preparing of the samples for the chamber experiment

Tak przygotowane próbki były poddane korozji w spalinach na opisanym wyżej stanowisku. Proces korozji był prowadzony jak już wspomniano w sposób cykliczny przez okres dwóch miesięcy w cyklach po 8 godzin, co dało w sumie czas 480 godzin oddziaływania. W zależności od położenia próbek w komorze temperatura spalin wynosiła od 580 do 720 °C. Jako materiał porównawczy użyto fragmentów przylgni wyciętych z zaworu silnika AL20, który był eksploatowany 10000 godzin i został wymontowany do przeglądu.

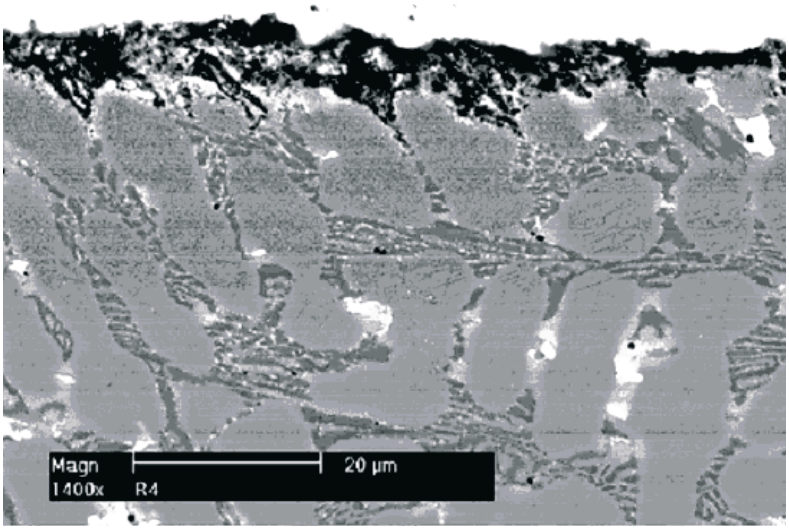
4. Wyniki i dyskusja

Dla zaworu poddawanego oddziaływaniu spalin w komorze badawczej stwierdzono istotne zmiany w mikrostrukturze na powierzchni napoiny (powierzchnia przylgni) polegające przede wszystkim na powstaniu bardzo cienkiej warstwy zgorzeliny, możliwej do zaobserwowania dopiero przy zastosowaniu dużych powiększeń, składającej się głównie z tlenku chromu i żelaza (Fot. 3). W procesie zgorzelinowania biorą udział głownie chrom, żelazo i tlen, pozostałe pierwiastki nie wykazują żadnych zmian.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Fot. 3. Mikrostruktura na przekroju napawanej przylgni zaworu napawanego po ekspozycji w komorze
Phot. 3. Microstructure on the cross-section of the valve with a clad layer after exposition in chamber



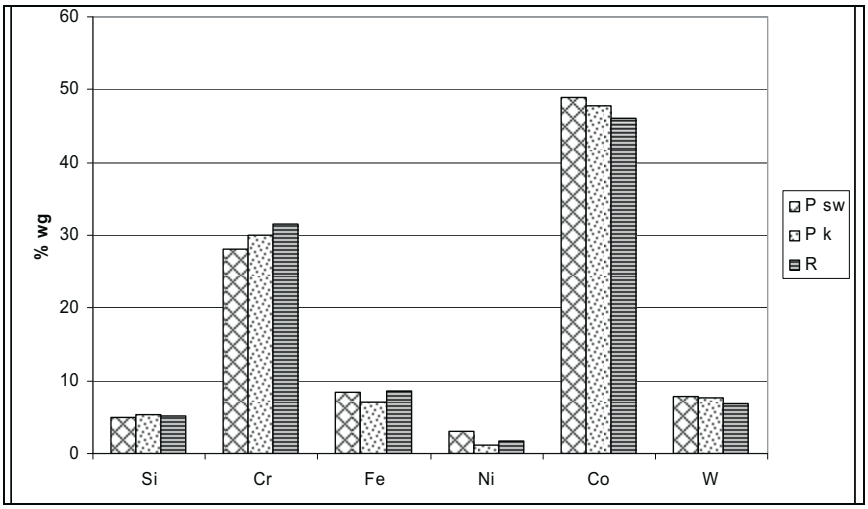
Fot. 4. Mikrostruktura na przekroju napawanej przylgni zaworu po ekspozycji w komorze
Phot. 4. Microstructure on the cross-section of the valve with a clad layer after exposition in chamber

Nie obserwuje się na przekroju także obecności siarki, chociaż analizy jakościowe w mikroobszarach przeprowadzone na powierzchni przylgni wskazują na nieznaczną obecność związków siarki pochodzącej ze spalin. Dla porównania w zaworze eksploatowanym warstwa zgorzeliny była znacząco grubsza (Fot. 3), ze względu na dłuższy czas eksploatacji, ale jej skład chemiczny był zbliżony.

Istotne różnice zaobserwowano jednak w odniesieniu do wielkości dendrytów i obszarów międzydendrytycznych - wyraźnie większa struktura dla napoiny po pracy w warunkach rzeczywistych (Fot. 4.) może być wyjaśniona albo ze względu na różnicę w zastosowanych parametrach procesu napawania albo/i na skutek długotrwałego oddziaływania ciepła podczas pracy zaworu. Jednakże charakter mikrostruktury tj. w układzie dendrytycznym, jest taki sam.

Przeprowadzono analizy składu chemicznego w charakterystycznych obszarach napoin w stanie wyjściowym, po ekspozycji w komorze i po eksploatacji w rzeczywistych warunkach pracy. Do badań wykorzystano spetrometr rentgenowski dyspersji energii (EDS) a otrzywame wyniki przedstwiono w formie wykresu na Rys. 4.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



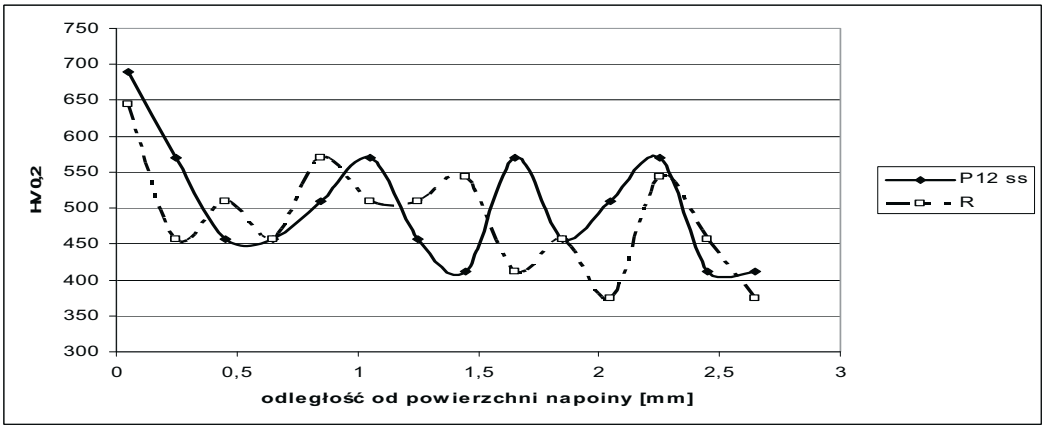
Rys. 4. Analizy chemiczne w mikroobszarach przy powierzchni napoiny; Psw - warstwa napoiny zaworu w stanie wyjściowym, Pk - napoina na przylgni zaworu poddanego korozji w komorze, R – napoina na przylgni zaworu eksploatowanego na statku

Fig. 4. Chamical analyzis from microregions close to the clad surface; Psw - clad layer in the initial state; Pk - clad layer after exposition in chamber; R - clad layer from the valve which was working in the engine on the ship

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, co następuje:

- podobnu charakter zmian składu chemicznego,
- wyższa zawartość chromu na powierzchni w napoinie zaworu eksploatowanego na statku (R) ponieważ dłużej trwa proces dyfuzji chromu do powierzchni w celu wytworzenia ochronnej warstwy składajacej sie głownie z tlenku chormu i niewielkich ilości tlenku żelaza. Podobnie po dłuższym czasie ekspozycji następuje zwiększenie zawartości żelaza na skutek jego dyfuzji z głębszych warstw napoiny a nawet z podłoża.

Ostatnim elementem prowadzonych badań były pomiary mikrotwardości na przekroju napoiny dla próbki eksponowanej w komorze i dla próbki pobranej z zaworu ze statku. Zostały one przedstawione na Rys. 5. Zwraca uwagę bardzo podobny przebieg zmian twardości mimo różnego czasu ekspozycji, a więc można założyć podobieństwo zachodzących zmian zarówno podczas badań w komorze jak i w rzeczywistych warunkach.



Rys. 5. Mikrotwadrość napoiny po korozji w spalinach: P12ss - próbka eksponowana w komorze, R - zawór pracujący w silniku okrętowym

Fig. 5. Hardness HV0,2 of the clad layer after exposition in exhaust gases: P12ss - sample from the chamber; R - valve which was working in the engine on the ship

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że badania komorze mogą stanowić wstępny etap kwalifikowania materiału lub technologii do zastosowań w silnie obciążonych

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

urządzeniach, które pozwalają na stosunkowo szybką ocenę wpływu temperatury i składu chemicznego spalin na odporność zaworu. Komora jest unikalną konstrukcją dającą szerokie możliwości badawcze. W warunkach laboratoryjnych można sterować temperaturą poprzez włączanie różnej ilości elementów grzejnych lub umieszczanie badanych próbek w różnych punktach komory, a składem chemicznym spalin poprzez dobieranie różnych rodzajów paliwa (istnieje także możliwość zastosowania paliw z biokomponentami) lub różnych warunków jego spalania. Zastosowanie stosunkowo małych próbek pozwala na przeprowadzenie wielu cykli badawczych korzystając z fragmentów tego samego zaworu, co daje dobrą porównywalność wyników a także znaczne oszczędności. Istnieje także możliwość sprawdzenia wagi oddziaływania poszczególnych czynników niszczących w warunkach oddziaływań o różnym charakterze.

Literatura

[1] Bessler, W. G., Schulz, C., Lee, T., Jeffries, J. B., Hanson, R. K., *Laser-induced fluorescence detection of nitric oxide in high-pressure flames with A-X (0,1) excitation*, Proceedings of the Western States Section of the Combustion Institute, Spring Meeting, pp. 145-156, Oakland 2001.

[2] Buckmaster, J., Clavin, P., Linan, A., Matalon, M., Peters, N., Sivashinsky, G., Williams, F. A., *Combustion theory and modeling*, Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 30, pp. 1-19, Pittsburgh 2005.

[3] Corcione, F. E., et al., *Temporal and Spatial Evolution of Radical Species in the Experimental and Numerical Characterization of Diesel Auto-Ignition*, Proceedings of The Fifth International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines (COMODIA 2001), pp. 355-363, Nagoya 2001.

[4] A.S.C.M., d'Oliveira, R. Vilar, C. G., Feder, *High temperature behaviour of plasma transferred arc and laser Co-based alloy coatings,* Applied Surface Science 201, (2002) pp. 154–160.

[5] Smoleńska, H, *High temperature corrosion of the cobalt base clad layers,* Advances in Materials Science, Vol. 7, Nr 2=12, s. 254-267, 2007.

[6] Zhao, R; Barber, G. C.; Wang, Y. S.; Larson, J. E., *Wear mechanism analysis of engine exhaust valve seats with a laboratory simulaton,* Tribology Transactions, 40, 2; ProQuest Science Journals, 209, Apr 1997.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl