

RESEARCH ON RESISTANCE TO OXIDATION AND THERMAL SHOCKS OF LASER GENERATED STELLITE PADDING WELD IN THE ZONE OF A FAYING SURFACE OF EXHAUST VALVES OF THE PISTON AIRCRAFT ENGINE

Adam Woźniak, Wojciech Napadłek, Zdzisław Bogdanowicz

Military University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland
tel.: +48 22 6837357, 6839447
e-mail: wnapadlek@wat.edu.pl, z.bogdanowicz@wme.wat.edu.pl

Abstract

The results of laboratory investigations of laser pad welding by stellite type 6 created on the base of alloy powders exhaust valves of ASz62IR piston aircraft engine have been presented in the paper AMI 3901. It was carried out investigations of resistance to oxidation and thermal shocks of laser modified valves. Investigations to oxidation and cyclic thermal shocks were carried out on the real valves with laser created stellite padding weld in the laboratory conditions. During first stage of investigations to heating of valves was used electrical furnace and to fast their cooling pressure air and water. In comparison with native material, those investigations were shown very big resistance tested stellite padding weld to cyclic thermal shocks as well as oxidation in high temperature (900°C). The corrosion resistance of austenitic valve steel 4H14N14W2M which exhaust valve is made as well as stellite type 6 padding weld is clearly diverse. The layer pad welding by stellite AMI 3901 has high value of corrosion current than native material, so they characterized higher resistance on the influence of corroding medium. In the second stage of investigations valves were exposed on the 400 hours durability test on the engine test bed. Next intensive oxidation of native material of old valves ASz62IR aircraft engine and mass decrement of valves in the high temperature can determinate circumstance to using new material to manufacturing of valves for example 50H21G9N4 steel. Getting very positive results of investigations give basics of technological application in above –mentioned piston aircraft engine as well as another traction engines.

Keywords: combustion engine valves, laser pad welding, resistance to oxidation and thermal shocks

BADANIE ODPORNOŚCI NA UTLENIANIE I SZOKI CIEPLNE NĄPOINY STELLITOWEJ WYTWORZONEJ LASEROWO W STREFIE PRZYLGNI ZAWORÓW WYLOTOWYCH TŁOKOWEGO SILNIKA LOTNICZEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych zaworów wylotowych tłokowego silnika lotniczego samolotu ASz62IR napawanych laserowo stellitami typu 6 wytworzonymi na bazie proszków stopowych AMI 3901. Przeprowadzono badania odporności na utlenianie i szoki cieplne zmodyfikowanych laserowo zaworów. Badania odporności na utlenianie i cykliczne szoki cieplne przeprowadzono na rzeczywistych zaworach z wytworzonymi laserowo nąpoinami stellitowymi w warunkach laboratoryjnych. W pierwszym etapie badań do nagrzewania zaworów wykorzystano piec elektryczny, a do szybkiego ich chłodzenia sprężone powietrze oraz wodę. W porównaniu z materiałem rodzimym badania te wykazały bardzo dużą odporność badanej nąpoiny stellitowej na cykliczne szoki cieplne oraz utlenianie w wysokiej temperaturze (900°C). Odporność korozyjna austenitycznej stali zaworowej 4H14N14W2M z której wykonany jest zawór wydechowy oraz nąpoiny stellitowej typu 6 jest wyraźnie zróżnicowana. Warstwa napawana stelitem AMI 3901 posiada wyższą wartości prądu korozyjnego niż materiał rodzimy, tak więc charakteryzuje się większą odpornością na działanie środowiska korozyjnego.. W drugim etapie zawory poddane zostały 400h próbie trwałościowej na stanowisku hamownianym.. Z kolei intensywne utlenianie materiału rodzimego starych zaworów silnika lotniczego ASz62IR i ubytki masy zaworów w wysokiej temperaturze stanowiąc mogą przesłankę do zastosowania nowego materiału do produkcji zaworów np.: stali 50H21G9N4.

Uzyskane bardzo pozytywne wyniki badań hamownianych dają podstawy wdrożenia technologicznego w ww. tłokowym silniku lotniczym oraz innych silnikach trakcyjnych.

Słowa kluczowe: zawory silnika spalinowego, napawanie laserowe, odporność na utlenianie i szoki cieplne

1. Wprowadzenie

Złożony układ obciążenia zaworów i gniazd zaworowych oraz fizyko-chemiczne oddziaływanie środowiska na te elementy, prowadzi do wystąpienia zużycia, które będzie wynikiem następujących procesów: korozji tarciowej, korozji wywołanej oddziaływaniem chemicznym spalin, erozji wywołanej przepływem strumienia gazów o wysokiej temperaturze i przy dużych prędkościach, odkształceń plastycznych oraz zmęczenia cieplnego materiału [1]. Następstwem zużycia może być powiększenie powierzchni współpracy, zmiana własności warstwy wierzchniej oraz zmiana czasoprzekroju otwarcia zaworu. W przypadkach awaryjnych nastąpi utrata szczelności spowodowana złym przyleganiem grzybka do gniazda, bądź obecnością rys i kanałów na powierzchni styku wskutek erozji i zmęczenia cieplnego. Te wszystkie czynniki powodują, że niektóre powierzchnie zaworów intensywnie zużywają się. Na podstawie własnych analiz oraz danych dostępnych z zakładów remontowych okazuje się, że usterką dyskryminującą zawór do dalszej eksploatacji jest skrzywienie trzonka. Skrzywienie to powoduje często zablokowanie zaworu w prowadnicy zaworowej, a w konsekwencji - awarię silnika. Równie częstymi zużyciami są odkształcenia plastyczne przylgni zaworu oraz nadpalenie powierzchni przylgni. Często na powierzchni grzybka zaworu osadza się także nagar. Aby zwiększyć trwałość i niezawodność przylgni zaworowej w badaniach wykorzystano jedną z najnowocześniejszych technologii - napawanie laserowe [2].

2. Badania przylgni zaworowych i gniazd w warunkach szoku termicznego

Badaniom w warunkach szoku termicznego i środowiska korozyjnego poddano po dwa zawory napawane laserowo stellem 6 wytworzonym na bazie proszku stopowego AMI 3901 (rys.1). Z uwagi na bezpieczeństwo badań w wysokiej temperaturze zawory opróżniono z sodu. Metodyka badań polegała na wygrzaniu wymienionych elementów w piecu elektrycznym w temperaturze 700⁰C i szybkim studzeniu w warunkach szoku termicznego poprzez intensywny nadmuch sprężonego powietrza do temperatury otoczenia (rys.2, 3). Cykle grzania i studzenia powtarzano w tej temperaturze dwadzieścia razy, mierząc po ostudzeniu zmianę masy zaworów. Kolejne cykle, aż do stu realizowano w temperaturze 900⁰C intensyfikując warunki szoku termicznego (rys.4). Po każdym cyklu grzania i studzenia oprócz pomiaru zmiany masy elementów sprawdzano poprzez weryfikację organoleptyczną przy pomocy lupy stan powierzchni zaworu czy nie występują na nich pęknięcia bądź wykruszenia. Badania w warunkach szoku termicznego zaworów zakończono w bardzo ostrych reżimach wykonując intensywne chłodzenie tych elementów w zimnej wodzie, wykonując dziesięć cykli takich szoków.

a)



b)



Rys. 1. Ogólny widok zaworów poddanych badaniom w warunkach szoku termicznego i środowiska korozyjnego – widok przed badaniami

Fig. 1. General view of valves which were exposed to tests in conditions of thermal shocks and corroding medium – view before investigations



Rys. 2. Metodyka badań: wygrzanie w piecu w temperaturze 900°C przez 15 minut i szybkie studzenie sprężonym powietrzem do temperatury otoczenia

Fig. 2. Investigations methodology: hold at a temperature of 900°C during 15 minutes and fast cooling by pressure air to ambient temperature

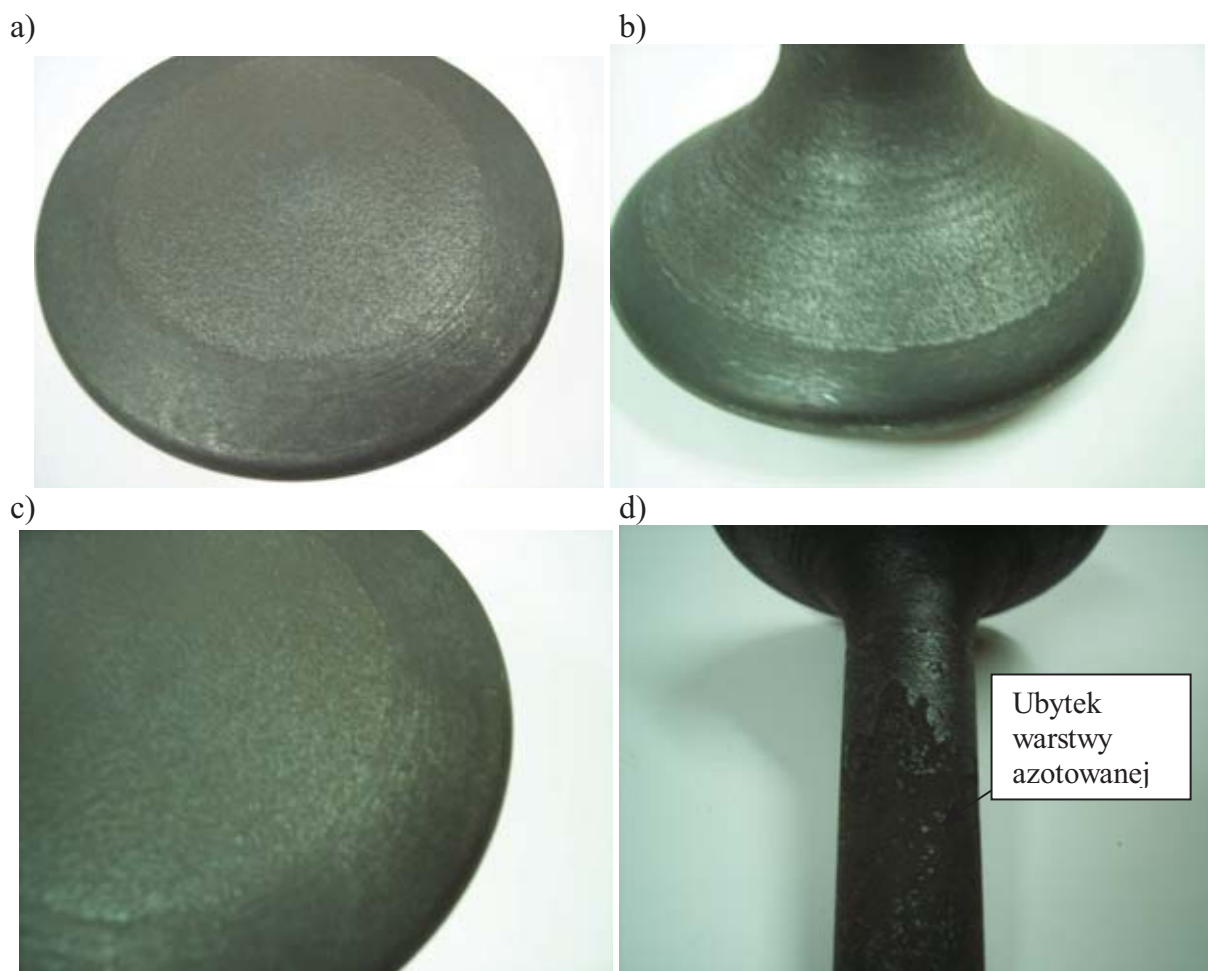
Po dwudziestu cyklach badań w warunkach szoku termicznego wygląd powierzchni grzybka zaworu ze stanu początkowego jak na rysunku 1 zmienił się w ten sposób, że uwidoczniła się wyraźnie strefa napawania laserowego stellite 6 i materiału rodzimego intensywnie utleniającego się w prowadzonych warunkach badań (rys.3). Charakterystycznym efektem prowadzonych badań było to, że w temperaturze 700°C następowały niewielkie przyrosty masy zaworu.



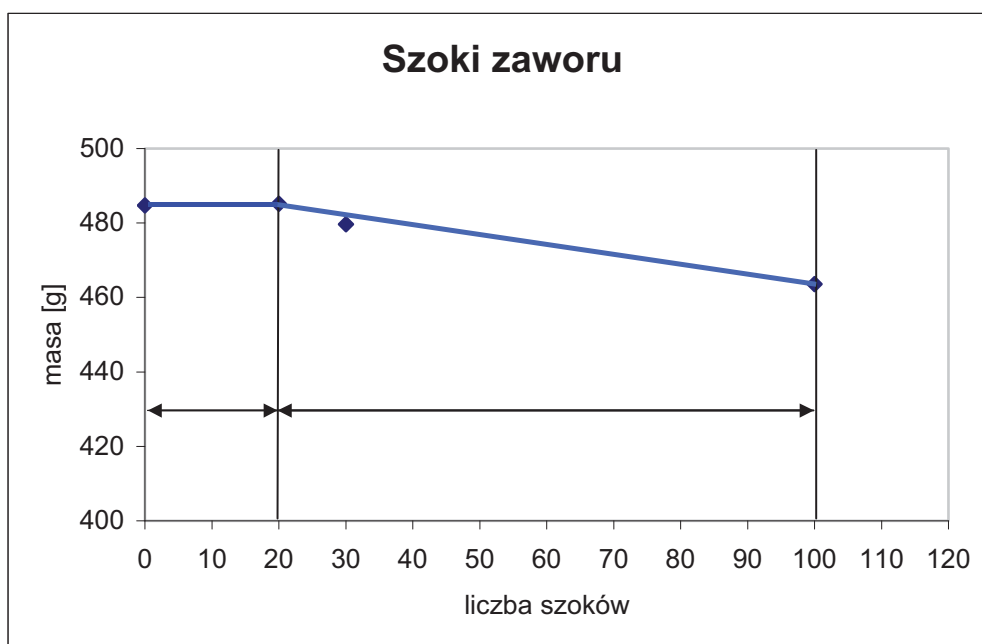
Rys.3. Wygląd powierzchni grzybka zaworu po 20 cyklach nagrzewania i chłodzenia

Fig. 3. Appearance of surface of valve head after 20 cycles heating and cooling

W kolejnych cyklach badań w warunkach szoku termicznego, aż do stu cykli (intensywne chłodzenie z temperatury 900°C) następował z kolei ubytek masy zaworów a powstające warstwy tlenków odpryskiwały od materiału rodzimego. Charakterystyczną cechą tego procesu było samoczynne usuwanie warstwy tlenkowej, tzw. Samooczyszczanie (rys.4). Zmianę masy zaworu w warunkach szoku termicznego ilustruje wykres przedstawiony na rys.5. Masa badanych zaworów zmniejszyła się średnio o 21,13 g, ponadto nastąpił ubytek warstwy azotowanej na trzonku zaworu. Azotki żelaza są stabilne jedynie do temperatury 750°C . Powyżej tej temperatury ulegają gwałtownemu utlenianiu do tlenków żelaza, które odpryskują od powierzchni materiału rodzimego. Na powierzchni zaworów nie stwierdzono występowania żadnych pęknięć i wykruszeń, co należy uznać za bardzo korzystny efekt zachowania się badanych elementów w warunkach utleniania i szoku termicznego.

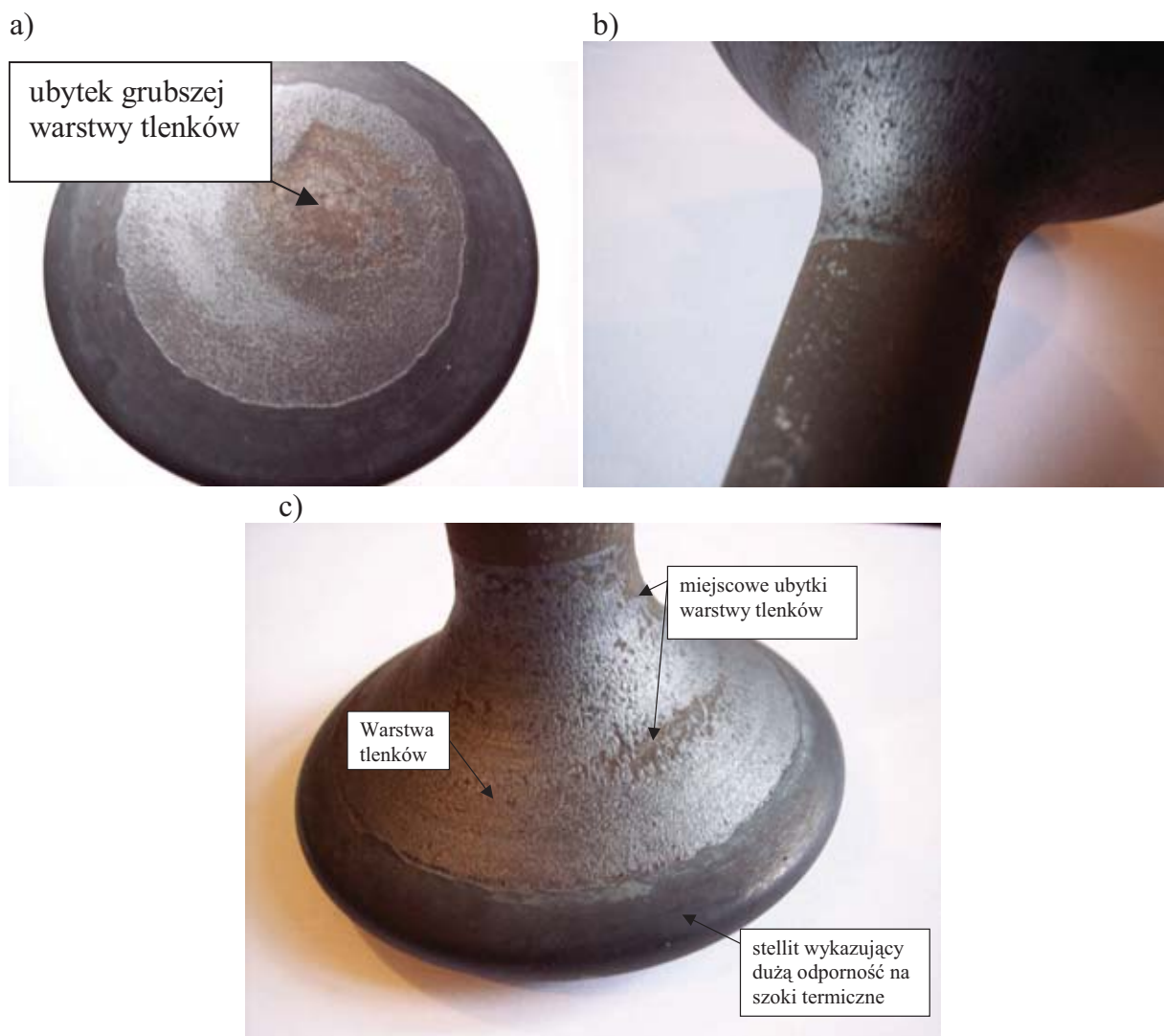


Rys. 4. Zawór wydechowy po badaniach w warunkach szoku termicznego: studzenie z temperatury 900⁰C nadmuchem sprężonego powietrza do temperatury otoczenia
Fig.4. Exhaust valve after investigations in thermal shock conditions: cooling from temperature 900⁰C by pressure air injection to ambient temperature



Rys. 5. Zmiana masy zaworu podczas badań na szoki termiczne
Fig. 5. Change of mass of valve during tests on thermal shocks

Wygląd powierzchni zaworu po studzeniu w zimnej wodzie (temperatura 18⁰C) przedstawiono na rys. 6. Warunki prowadzonych badań na szoki termiczne w tym etapie były ekstremalne dla zaworu. Na powierzchni grzybka odwarstwiła się grubsza warstwa tlenków, natomiast na trzonku zaworu stwierdzono całkowity ubytek warstwy azotowanej. Strefa napawana laserowo stellite wykazała dużą odporność na oddziaływanie wysokiej temperatury i szoków termicznych. Uzyskane wyniki wyraźnie uwidaczniają korzyści, jakie wynikają z napawania zaworów stellite typu 6.

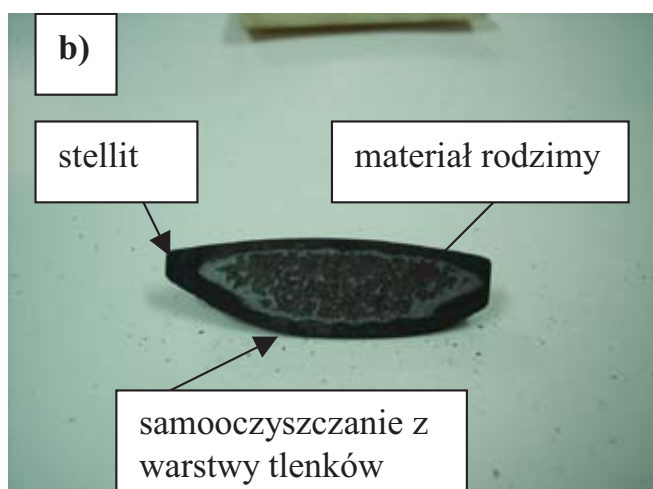


Rys. 6. Zawór wydechowy po badaniach w warunkach szoku termicznego: studzenie z temperatury 900⁰C w wodzie
Fig. 6. Exhaust valve after tests in thermal shock conditions: cooling from temperature 900⁰C in the water

3. Badania żaroodporności

Istnieje wiele rodzajów możliwego zachowania się materiałów konstrukcyjnych w wysokiej temperaturze. Najczęściej obserwuje się przyrost masy próbek w wyniku tworzenia się warstwy tlenków lub ubytek masy w wyniku jej odpadania. Powszechnie uznaje się, że za najbardziej korzystne zachowanie materiałów należy uważać intensywne narastanie warstwy tlenków w początkowym okresie utleniania, a następnie stabilizację procesu skutkującą ciągłym zmniejszaniem przyrostu masy aż do zera.

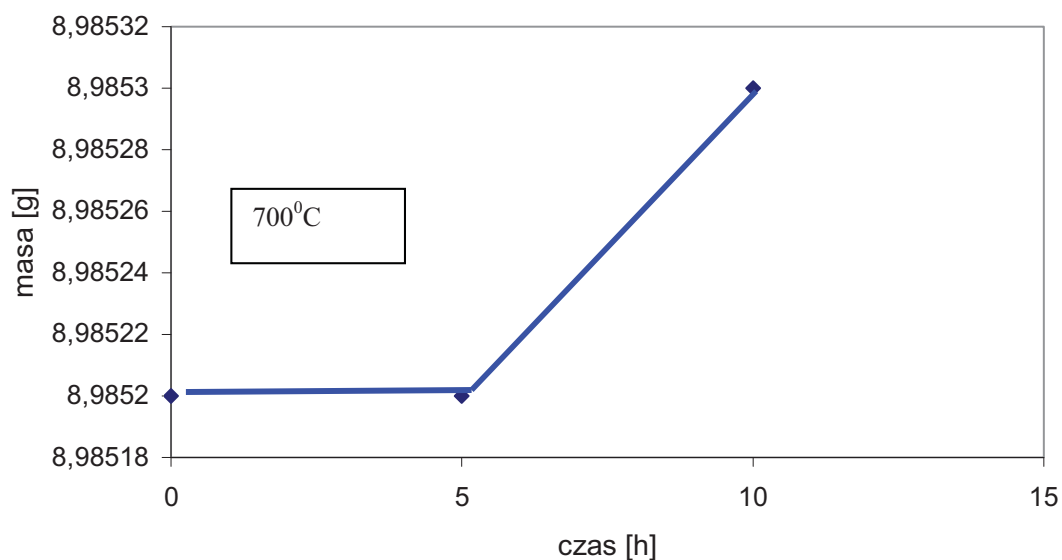
Badania żaroodporności próbek wyciętych z zaworu w strefie napoiny stellitej (rys. 7) przeprowadzono w temperaturze 700⁰C przez 10 godzin i 900⁰C w atmosferze powietrza, w czasie 100 godzin. W trakcie eksperymentu po założonych czasach próbki były wyjmowane i rejestrowano zmiany ich masy (rys. 8, 9).



Rys. 7. Próbkę wyciętą z zaworu wydechowego do badań żaroodporności w temperaturze 900°C: a) stan odprysków warstwy tlenków po 2 minutach od wyjęcia z pieca, b) po 5 minutach

Fig. 7. The cutting sample from exhaust valve to investigations of heat resistance in temperature 900°C: a) state of chips of oxides layer after 2 minutes after taking out from furnace, b) after 5 minutes

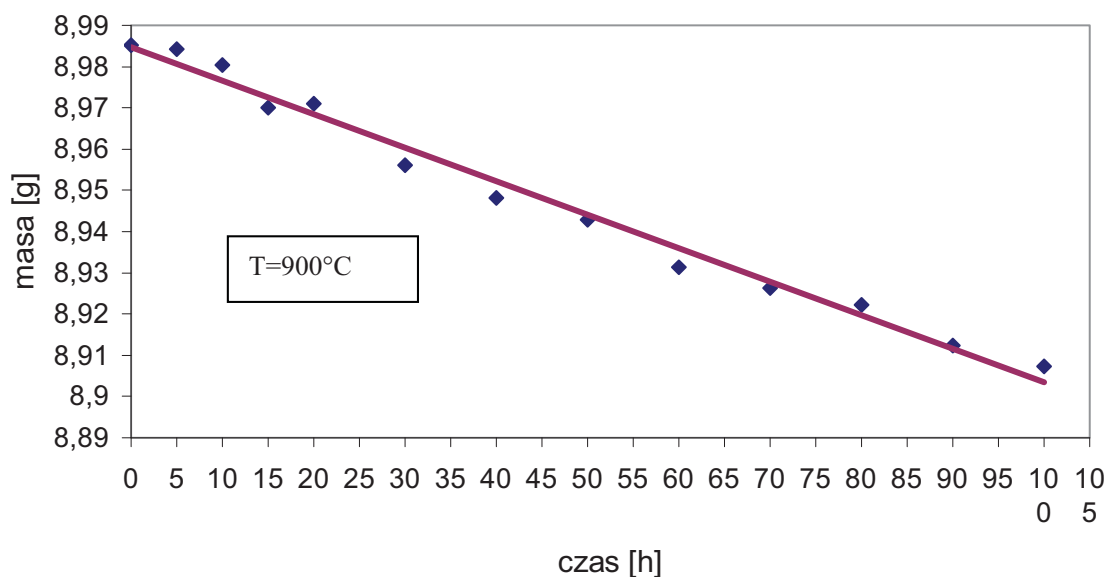
Próbka nr 1



Rys. 8. Zmiana masy próbki w badaniach żaroodporności w temperaturze 700°C

Fig. 8. Change of mass of sample in investigations of heat resistance in temperature 700°C

Próbka nr 1

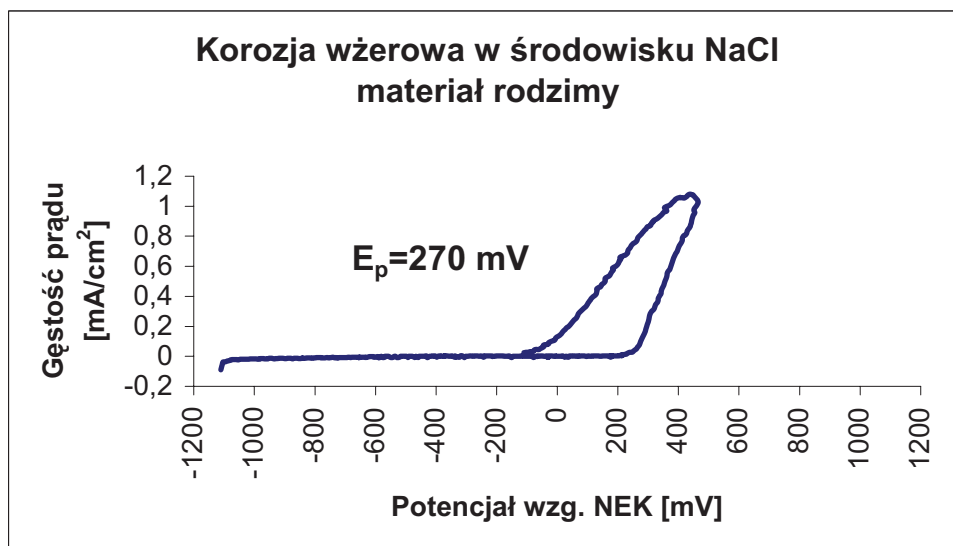


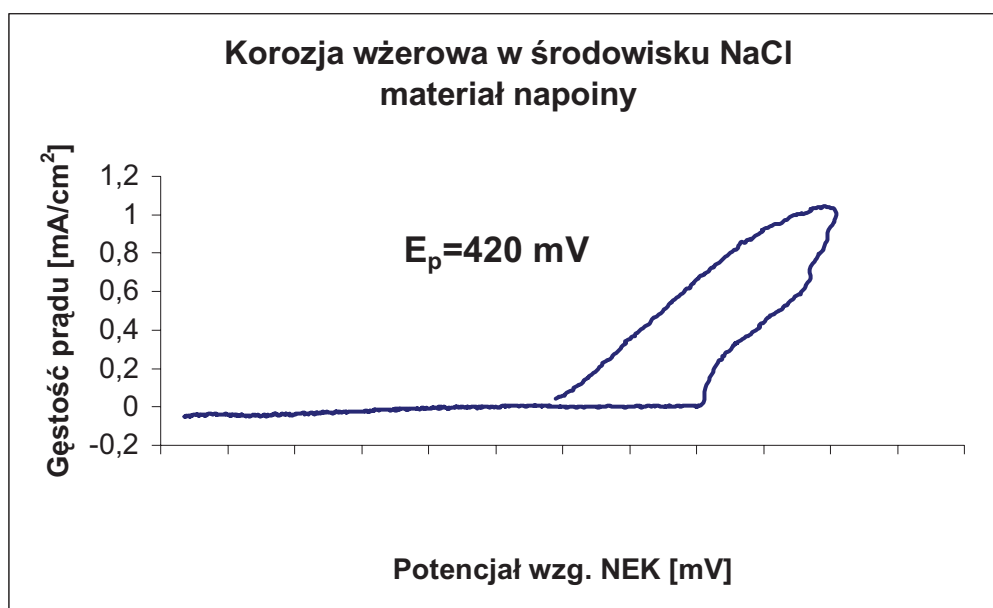
Rys. 9. Zmiana masy próbki w badaniach żaroodporności w temperaturze 900⁰C
 Fig. 9. Change of mass of sample in investigations of heat resistance in temperature 900⁰C

4. Badania w warunkach środowiska korozyjnego

Badania odporności korozyjnej wykonano metodą potencjodynamiczną w roztworze 0,5 molowego NaCl. Elektroda odniesienia była nasycona elektroda kalomelowa. Badania wykonano na całkowicie skomputeryzowanym urządzeniu ATLAS'91 w zakresie potencjałów od -1100 do 900 mV z szybkością zmiany potencjału 50mV/min. Badania przeprowadził dr inż. Stanisław Józwiak z IMiMT WME WAT.

Na rys.10 przedstawiono krzywe odporności korozyjnej austenitycznej stali zaworowej 4H14N14W2M (materiał rodzimy), z której wykonany jest zawór wydechowy oraz napoiny stellitej 6 wytworzonej na bazie proszku stopowego AMI 3901. Wynika z nich, że odporność korozyjna napoiny stellitej jest znacząco większa niż materiału rodzimego. Warstwy napawane stellitej 6 na stali austenitycznej zaworowej posiadają wyższe wartości prądu korozyjnego ($E_p=420mV$) niż materiał rodzimy ($E_p=270mV$).





Rys. 10. Odporność korozyjna napoiny stellitowej 6 i materiału rodzimego stali zaworowej
 Fig. 10. Corrosion resistance of stellite 6 padding weld and native material of valve steel

5. Wnioski

- Materiał rodzimy, z którego wykonany jest zawór wydechowy w warunkach prowadzonych badań na szoki termiczne (temperatura 700⁰C i 900⁰C) ulegał intensywnemu utlenianiu. W temperaturze 700⁰C stwierdzono przyrosty masy zaworów a powstające tlenki nie odpryskiwały od materiału podłoża, co można uznać za korzystny objaw zachowania się materiału na oddziaływania cieplne. W temperaturze 900⁰C tlenki samoczynnie odpryskiwały.
- Laserowo napawana warstwa stellitowa 6 na grzybku zaworu i cechuje się wysoką odpornością na szoki termiczne oraz oddziaływanie wysokiej temperatury do 900⁰C. Powstające tlenki samoczynnie odpryskiwały od materiału podłoża, a masa zaworu nieznacznie zmniejszała się.
- Odporność korozyjna austenitycznej stali zaworowej 4H14N14W2M, z której wykonany jest zawór wydechowy oraz napoiny stellitowej typu 6 wytworzonej na bazie proszku stopowego AMI 3901 jest wyraźnie zróżnicowana. Warstwa napawana stellem posiada wyższą wartości prądu korozyjnego ($E_p=420\text{mV}$) niż materiał rodzimy ($E_p=270\text{mV}$).
- Odporność napoiny stellitowej na oddziaływanie wysokiej temperatury, szoki termiczne i środowiska korozyjnego zweryfikowano w 400.h. próbie hamownianej, w której do tłokowego silnika lotniczego zamontowano rzeczywiste zawory. Próba zakończyła się pomyślnie i jest ona podstawą do zastosowania napawania laserowego zaworów proszkami stellitowymi typu AMI 3591. Z kolei intensywne utlenianie materiału rodzimego starych zaworów silnika lotniczego ASz62IR i ubytki masy zaworów w wysokiej temperaturze stanowią przesłankę do zastosowania nowego materiału do produkcji zaworów np.: stali 50H21G9N4.

Literatura

- [1] Burakowski, T., Wierzchoń, T., *Inżynieria powierzchni metali*, WNT, Warszawa 1995.
- [2] Kusiński, J., *Lasery i ich zastosowanie w inżynierii materiałowej*, Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków, 2000.