

**Hanna SMOLEŃSKA**  
Politechnika Gdańska

## **MORFOLOGIA NAPAWANYCH WARSTW NA BAZIE KOBALTU PO UTLENIANIU I KOROZJI W GAZACH SPALINOWYCH**

### **Słowa kluczowe**

Napawanie laserowe, napawanie PTA, stopy kobaltu, zawory, korozja gazowa.

### **Streszczenie**

Przedmiotem badań były warstwy wytworzone z proszku na bazie kobaltu, napawane laserowo i plazmowo na przyłgnie zaworów wylotowych silników Diesla. Dla wszystkich warstw stwierdzono dobrą jakość, brak pęknięć i jednorodność struktury na powierzchni. Badania degradacji wykonano w specjalnie wykonanej komorze w gazach spalinowych silnika okrętowego. Badania napoin przeprowadzono po 2 miesiącach ekspozycji w podwyższonej temperaturze w zakresie 600–800°C lub po utlenianiu w powietrzu w temperaturze 650°C przez 100 godzin.

### **Wprowadzenie**

Zawory okrętowych silników Diesla pracują w warunkach silnego obciążenia mechanicznego i termicznego dodatkowo w warunkach złożonej atmosfery gazowej powstałej w wyniku spalania paliwa, często różnej jakości. Stopy kobaltu są szeroko stosowane w warunkach pracy, gdzie wymagana jest odporność na działanie wysokich temperatur połączona z wysoką odpornością na zużycie, korozję w złożonych atmosferach i odpornością mechaniczną. Z punktu widzenia eksploatacji największą uwagę należy poświęcić wąskiej powierzchni przy-

Igni zaworu, której dokładność dopasowania decyduje o jego szczelności. Pomimo stosowania stali wysokostopowych obrobionych cieplnie trwałość zaworów jest często niewystarczająca. Szczególnie niską trwałością charakteryzują się powierzchnie przylgni grzybka zaworu i gniazda. Pokrycie przylgni stopami charakteryzującymi się większą odpornością na warunki pracy poprawia ich trwałość. W niniejszym opracowaniu zajęto się analizą odporności na utlenianie i działanie atmosfery gorących spalin na powierzchnie przylgni zaworów napawanych proszkiem na bazie kobaltu przy zastosowaniu różnych technik. Spośród metod wykorzystujących oddziaływanie na materiał wysokoenergetycznej wiązki laserowej najszerze zastosowanie znalazły metody napawania i stopowania laserowego oraz plazmowego. Napawanie laserowe charakteryzuje się przetopieniem zarówno proszku materiału powłokowego, jak również materiału podłoża dając w rezultacie nową warstwę o składzie chemicznym różnym zarówno od podłoża, jak i proszku [1, 2]. Metody napawania laserowego charakteryzują się mniejszą wydajnością w porównaniu z metodami napawania plazmowego, warstwy otrzymane w pojedynczym przejściu są cieńsze, co wiąże się z koniecznością stosowania większej ilości przejść. Wykazują jednakże znacznie mniejszy stopień wymieszania materiału powłoki i podłoża, mniejsze oddziaływanie ciepła na podłoże, małe odkształcenie obrabianej powierzchni, warstwa powierzchniowa wykazuje zwartą strukturę pozbawioną pęknięć i porowatości oraz bardzo dobre związanie z podłożem [1, 3]. Metody napawania plazmowego są dobrze opanowane i stosowane od dawna, charakteryzują się większą wydajnością i niższym kosztem urządzeń jednakże wytwarzanie warstwy powoduje silniejsze oddziaływanie cieplne na podłoże i większe wymieszanie materiału napoiny i podłoża.

## 1. Metodyka badań

W poniższym opracowaniu przeanalizowano zachowanie i własności napawanych laserowo i plazmowo warstw wykonanych ze stopu kobaltu w postaci proszku EUTROLOY 16012, o następującym składzie chemicznym: 1,55%C, 1,21%Si, 29,7%Cr, 9,0%W, 2,0%Ni, 0,01%Mo, 1,7%Fe i reszta Co, poddanych utlenianiu w temperaturze 650°C w powietrzu przez 100 godzin oraz procesowi korozji gazowej w spalinach nagranych do temperatury 600÷800°C przez 254 godziny. Średni skład chemiczny spalin to: CO 2002 mg/m<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> 20 mg/m<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> 424 mg/m<sup>3</sup>. Badania korozji w spalinach wykonano na specjalnym stanowisku badawczym, wykorzystującym rzeczywiste gazy spalinowe z laboratoryjnego silnika okrętowego typu L-22. Analizę spalin wykonano za pomocą analizatora MRU95/2D.

Zastosowano następujące parametry procesu napawania plazmowego (PTA):

- natężenie prądu: – 45,0–55,0 A dla pierwszej warstwy napoiny; 45,0–60,0 A dla drugiej i trzeciej;



- natężenie przepływu gazu ochronnego 7,0 l/min;
- natężenie przepływu gazu transportującego 3,0 l/min;
- natężenie podawania proszku 10,0–12,0 g/min.

Grzybki zaworów wykonano z odkuwek ze stali zaworowej H10S2M (X40CrSiMo10–2) poddanych obróbce cieplnej. Badania przeprowadzono na zaworach próbnym o powierzchni roboczej grzybka przygotowanej przez podtoczenie o szerokości ok. 4,0 [mm] i głębokości ok. 1,0 [mm] napawanych w pozycji podolnej w obrotniku sterowanym numerycznie. W celu zapewnienia wymaganego nadatku na obróbkę wykańczającą zaworów konieczne było wykonanie napoin o grubości 4,0–4,5 [mm] i szerokości 9,0–10,0 [mm]. Takie wymiary napoin oraz konieczność ograniczenia wpływu ciepła napawania na grzybek zaworu o małej pojemności cieplnej wymagały zastosowania technologii napawania PTA trzema warstwami zawierającymi trzy ściegi, z zakładką ściegów ok. 3,0 [mm]. Proces napawania prowadzono z podgrzewaniem wstępnym grzybka zaworu do temperatury ok. 250°C, a temperaturę międzysciegową utrzymywano na poziomie ok. 200°C, w celu zapobieżenia pęknięciom poprzecznym napoiny.

Do napawania laserowego wykorzystano laser diodowy dużej mocy ROFIN DL 020. Powierzchnie przyłgni przygotowano przez podtoczenie o szerokości ok. 4,0 [mm] i głębokości ok. 0,8 [mm], mocowano w obrotniku sterowanym numerycznie, a dwa ściegi napoiny o zakładce rzędu 30–40% (ok. 3,0 [mm]), układano w pozycji podolnej. W celu zapewnienia wymaganego nadatku na obróbkę wykańczającą zaworów oraz ograniczenia wpływu ciepła napawania na grzybek zaworu o małej pojemności cieplnej, konieczne jest wykonanie napoin o grubości 4,0–4,5 [mm] i szerokości 8,5–9,0 [mm]. Takie wymiary napoin wymagały zastosowania napawania trzywarstwowego z dwoma ściegami w każdej warstwie i zakładką ok. 3,0 [mm]. Dla napawania laserowego zastosowano następujące parametry:

- Moc lasera [kW] – 1,0–1,2 dla pierwszej warstwy (2 ściegi), 1,1–1,2 dla drugiej i trzeciej warstwy (2 ściegi);
- Prędkość napawania – 0,2 m/min;
- Natężenie podawania proszku – 5,0 g/min;
- Grubość ściegu napoiny [mm]: 1,0–1,2 dla pierwszej warstwy, 1,3–1,5 dla drugiej i trzeciej warstwy;
- Szerokość ściegu napoiny [mm]: 5,5–6,0 dla pierwszej warstwy, 6,0–6,5 dla drugiej i trzeciej warstwy.

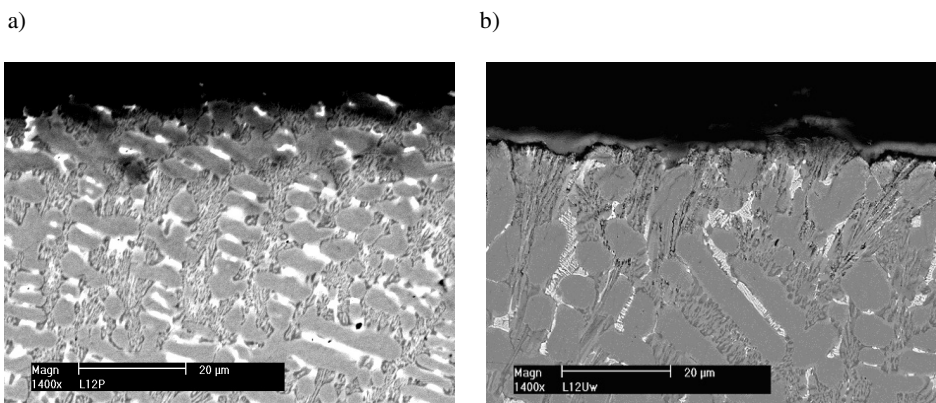
Otrzymane warstwy po napawaniu, utlenianiu w powietrzu i korozji w spalinach poddane zostały badaniom metalograficznym z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego i skaningowego, analizie chemicznej w mikroobszarach z wykorzystaniem analizy EDX.



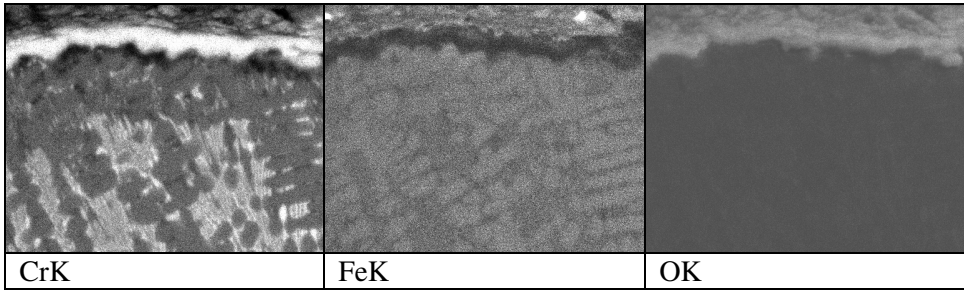
## 2. Mikrostruktury

Po procesie napawania otrzymane struktury na powierzchni napoiły miały typowy charakter dendrytyczny, kierunkowy (rys. 1a, 3a). Obszary dendrytyczne to austenit kobaltowy umocniony roztworowo przez takie pierwiastki jak chrom, wolfram czy molibden. Eutektyki międzidendrytyczne i węgliki są bogate w chrom, wolfram i krzem. Analiza fazowa wykazała obecność węglików typu  $M_{12}C$  ( $Co_6W_6C$ ) i  $M_{23}C_6$  ( $Cr_{23}C_6$ ). Po procesie utleniania dla warstw wykonanych obiema metodami obserwowano na powierzchni wyraźnie widoczną warstwę utlenioną (rys. 1b, 3b). Analiza rozkładu pierwiastków wykazała, że składa się on głównie z tlenku chromu z niewielkim udziałem kobaltu, żelaza, wolframu i krzemu (rys. 2 i 4). Charakter rozkładu pierwiastków był taki sam dla warstw napawanych laserowo i plazmowo. Po procesie korozji w środowisku spalin zaobserwowano znacznie mniejsze zmiany na powierzchni. Powstająca warstewka jest znacznie cieńsza niż w przypadku utleniania a czasami trudna do zaobserwowania na zglądach prostopadłych do powierzchni. Składa się jak poprzednio głównie z tlenku chromu. Wyraźniej widoczna jest dla warstw napawanych plazmowo (rys. 5). Na przekrojach poprzecznych nie udało się zaobserwować występowania faz zawierających siarkę. Przeprowadzone jakościowe analizy EDS na powierzchni przylgni zaworu wykazały obecność siarki, jakkolwiek jej udział był znacznie niższy niż tlenu, co wskazuje na przeważający udział tlenku chromu i tlenku żelaza w zgorzelinie.

Przeprowadzona porównawcza analiza składu chemicznego dendrytów w pobliżu powierzchni w stanie po napawaniu, po utlenianiu i po korozji w spalinach, wskazuje na zachodzenie procesów dyfuzji (rys. 6 i 7).



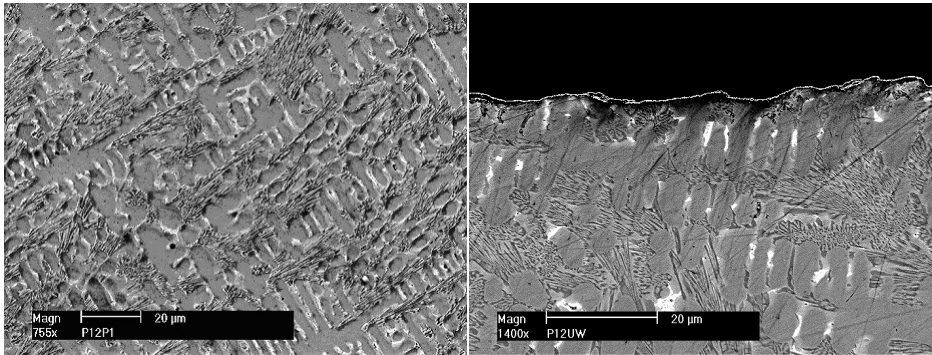
Rys. 1. Wierzchnia warstwa napoiły laserowej: a) po napawaniu, b) po utlenianiu



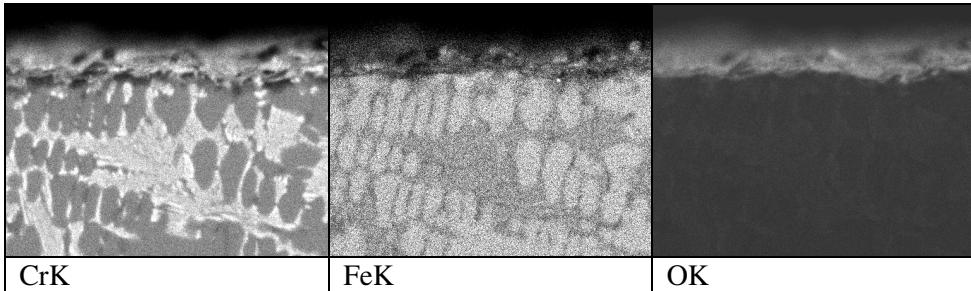
Rys. 2. Rozkład pierwiastków w wierzchniej warstwie napoiny laserowej po utlenianiu

a)

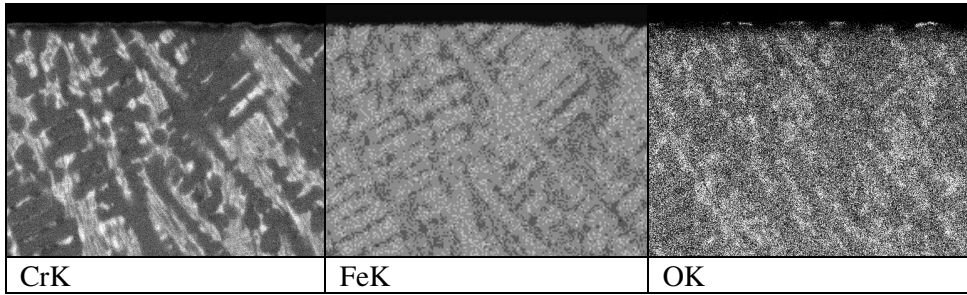
b)



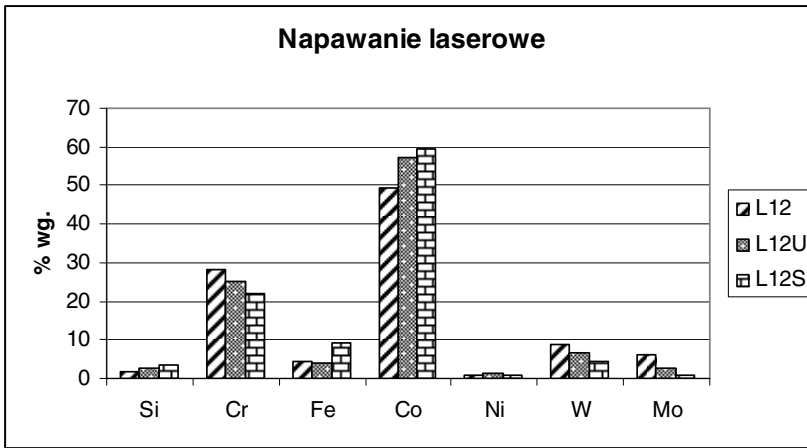
Rys. 3. Wierzchnia warstwa napoiny plazmowej: a) po napawaniu, b) po utlenianiu



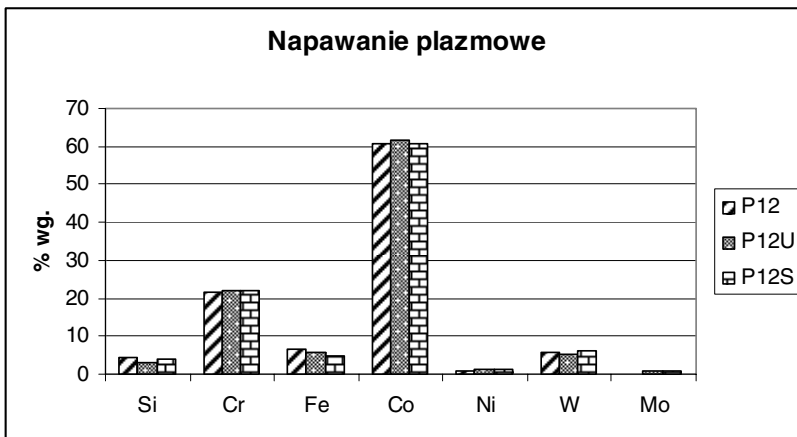
Rys. 4. Rozkład pierwiastków w wierzchniej warstwie napoiny plazmowej po utlenianiu



Rys. 5. Rozkład pierwiastków w wierzchniej warstwie napoiny plazmowej po korozji w spalinach



Rys. 6. Porównawcza analiza chemiczna (EDS) w obrębie dendrytów napoiny laserowej: L12 – stan wyjściowy, L12U – po utlenianiu, L12S po korozji w spalinach



Rys. 7. Porównawcza analiza chemiczna (EDS) w obrębie dendrytów napoiny plazmowej, P12 – stan wyjściowy, P12U – po utlenianiu, P12S – po korozji w spalinach

## Podsumowanie

Korozja w środowisku gorących gazów, to jest powietrza o temperaturze 650°C i spalin o temperaturze 600÷800°C, przez co najmniej 100 godzin nie wpłynęła znacząco na dendrytyczną budowę warstwy napawanej. Jednakże obserwowana warstwa tlenkowa, jak również zmiany w składzie chemicznym dendrytów pod powierzchnią zgorzelinowaną wskazują na zachodzenie procesów dyfuzyjnych. Analiza chemiczna w obrębie warstwy zgorzeliny wykazała obecność przede wszystkim warstw tlenków chromu i żelaza. Obecność faz zawierających siarkę po procesie korozji w spalinach jest nieznaczna. Co więcej, bardziej szkodliwym dla napoiny środowiskiem okazało się powietrze niż spaliny mimo dłuższego czasu ekspozycji w tych ostatnich. Tym samym stwierdzono przydatność proponowanych proszków na bazie kobaltu do wykonywania napoin mających przedłużyć żywotność przylgni zaworów silników okrętowych.

## Bibliografia

1. d'Oliveira A.S.C., Vilar R., Feder C.G.: High temperature behaviour of plasma transferred arc and laser Co-based alloy coatings; *Applied Surface Science* 201(2002).
2. Jiang W.H., Yao X.D., Guan H.R., Hu Z.Q.: Relationship between degeneration of M7C3 and precipitation of M23C6 in a cobalt base superalloy, *Materials Science and Technology*. London: May 1999 Vol. 15.
3. Jong-Ning Aoh, Jian-Cheng Chen: On the wear characteristics of cobalt-based hardfacing layer after thermal fatigue oxidation, *Wear*, 250 (2001).

Recenzent:  
**Bogusław MAJOR**

## Morphology of the clad layers after oxidation and corrosion in exhaust gases

### Summary

Cobalt base cladding layers on the exhaust valve head face, produced by laser and PTA cladding have been investigated. For the all sort of layers good quality, lack of cracks and proper microstructure for the top part of clad was obtained. The investigations on the degradation process run on the special chamber in the exhaust gases of the ship diesel engine. The layers were exposed for two month for the exhaust gases at elevated temperature 600–800°C and after oxidation in air at temperature 650°C for 100 hours. The chemical and phase composition of the scale were determined.



