

WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWE STALI ZAWOROWYCH NAPAWANYCH LASEROWO PROSZKIEM STELLITOWYM

Zdzisław BOGDANOWICZ*, Krzysztof GRZELAK*

*Katedra Budowy Maszyn, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

zbogdanowicz@wat.edu.pl, kgrzelak@wat.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości użytkowych warstw stelliteowych laserowo napawanych na elementach ze stali zaworowych 50H21G9N4 oraz H9S2. Dodatkowo dla porównania, badaniom poddano warstwy stelliteowe napawane plazmowo oraz techniką TIG (ang. tungsten inert gas), jak również materiał w stanie wyjściowym bez nanie-sionej warstwy stelliteowej.

1. WARUNKI PRACY ZAWORÓW SILNIKÓW SPALINOWYCH

Wymiana czynnika roboczego w silnikach spalinowych czterosuwowych odbywa się za pomocą mechanizmu rozrządu zaworowego. Głównymi elementami tego mechanizmu są zawory, dolotowe i wylotowe oraz wałek rozrządu z układem kinematycznym sprzęgającym te elementy. Grzybki zaworów wylotowych współpracują z gniazdami zaworów tworząc układ tribologiczny, który jest najbardziej obciążonym, cieplnie i mechanicznie, układem mechanizmu zaworowego. Układ ten obciążony jest siłami, które pochodzą od ciśnienia strumienia czynnika roboczego, od siły nacisku sprężyny, sił bezwładności elementów ruchomych oraz strumienia cieplnego wytworzonego w komorze spalania. Strumień ten, wywołany spalaniem czynnika roboczego, przepływa przez szczelinę wylotową w okresie otwarcia zaworu z prędkością krytyczną sięgającą nawet do 600 m/s, a temperatura spalania mieszanki paliwowej dochodzi do 2000-2500°C. Strumień cieplny omywający grzybek zaworu powoduje jego cykliczne nagrzewanie do temperatury 750-850°C. Pracując w tych warunkach zawór narażony jest na cykliczne obciążenia powierzchni przylgni, co może być przyczyną zużycia zmęczeniowego (Włodarski, 1982).

Praca elementów w takich warunkach cieplno-mechanicznych, wymaga stosowania materiałów odpornych na przegrzanie, zużycie ścierne, wywołane erozyjnym oddziaływaniem drobnych cząstek znajdujących się w strumieniu gazów oraz utlenianie wywołane oddziaływaniem strumienia cieplnego. Materiały, które spełniają te kryteria są relatywnie drogie dlatego często stosuje się uszlachetnianie warstwy wierzchniej wybranych powierzchni zaworu, które są najbardziej obciążone (Łunarski, 1986).

Jednym z nowoczesnych sposobów kształtowania własności warstwy wierzchniej jest proszkowe napawanie laserowe, które znalazło zastosowanie przy napawaniu przylgni zaworów wylotowych silników spalinowych (Bu-

rakowski i Wierzchoń, 1995; Klimpel, 2000; Kusiński, 2000).

2. PROCES NAPAWANIA LASEROWEGO

W procesie napawania laserowego, wykorzystuje się energię wiązki lasera, która stapia materiał dodatkowy w postaci drutów proszkowych lub proszków oraz nadtopia podłoże tworząc w ten sposób trwałe połączenie metalurgiczne (Klimpel, 2000; Kusiński, 2000). W procesie napawania laserowego wykorzystuje się gazy osłonowe do zabezpieczenia ciekłego metalu przed czynnikami zewnętrznymi jak również jako nośnik materiału dodatkowego (proszku). Często używanymi gazami osłonowymi są Ar lub CO₂ i ich mieszanki.

Proces napawania warstw stelliteowych zrealizowano przy użyciu lasera diodowego HDPL 020 firmy ROFIN. Jako materiał napawany zastosowano proszek stelliteowy AMI 3901. Parametry procesu zostały ustalone na podstawie odrębnych badań parametrów geometrycznych przekroju poprzecznego napoiny, rozkładu mikrotwardości napawanej warstwy oraz oceny jakościowej uzyskanego połączenia warstwy z podłożem. W prezentowanych badaniach parametry te przedstawiały się następująco: gęstość mocy wiązki lasera na powierzchni przedmiotu $q=9,8\text{kW/cm}^2$, prędkość skanowania wiązką $v=0,2\text{m/min}$, ilość podawanego proszku 6,3g/min. W artykule przedstawiono tylko wybrane właściwości istotne z uwagi na zastosowanie dla zaworów.

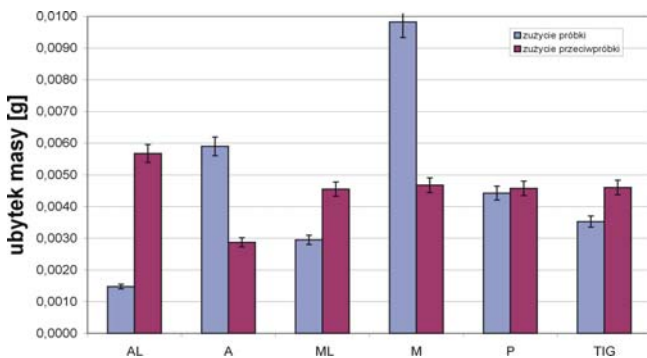
3. BADANIA ODPORNOŚCI WARSTWY STELLITOWEJ NA ZUŻYCIE TRIBOLOGICZNE W WARUNKACH TARCIA SUCHEGO

Badania zużycia tribologicznego przeprowadzono w skojarzeniu ślizgowym trących o siebie elementów w styku liniowym (rolka-kłoczek) w warunkach tarcia suchego. Badaniom poddano warstwy stelliteowe napawane

trzeba technikami: laserowo, plazmowo oraz TIG. Dodatkowo badaniom poddano próbki wykonane z materiału rodzimego bez naniesionej warstwy w stanie po obróbce cieplnej zgodnie z PN 71/H-86022.. Badanie miało na celu ocenę przewidywanego wzrostu odporności na zużywanie tribologiczne warstwy stellitej napawanej laserem w porównaniu z warstwami wykonanymi innymi technikami (plazmowo i TIG) oraz z materiałem w stanie wyjściowym. Jako przeciwpróbkę zastosowano rolę o średnicy $\phi=35\text{mm}$ i szerokości 9mm ze stali ŁH 15 o twardości 64HRC.

Badania tarcia przeprowadzono na maszynie tribologicznej T05, która umożliwia ciągły pomiar m.in. przemieszczenia liniowego zużywanej próbki, siły tarcia i temperatury w węźle tarcia. Dodatkowo zużycie określono metodą wagową rejestrując zmianę masy próbki i przeciwpróbki przed i po badaniu. Dokonano również identyfikacji głównego mechanizmu zużycia w badanym węźle tribologicznym.

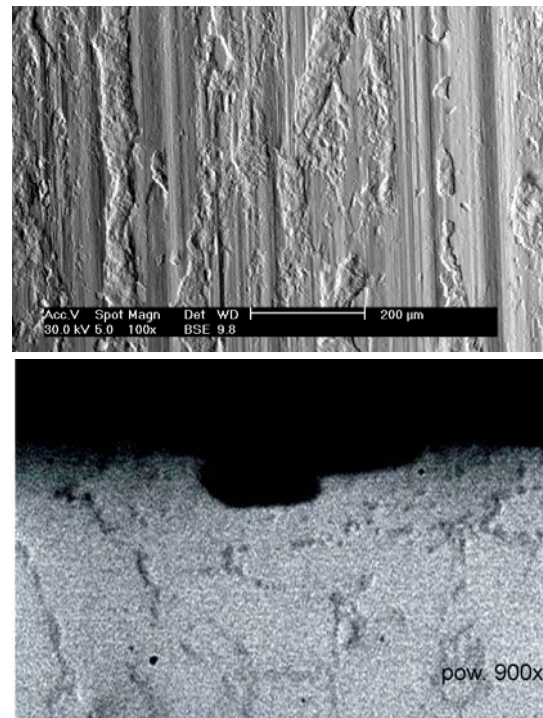
Badania przeprowadzono w następujących warunkach tarcia wężła ślizgowego: obciążenie styku $P=200\text{N}$, droga tarcia $s=3000\text{m}$, prędkość względna trących elementów 1,6m/s, długość styku liniowego wynosiła 6,3mm.



Rys. 1. Zużycie określone poprzez ubytek masy próbek oznaczenia: A – stal 50H21G9N4; M – H9S2; warstwa stellitej wykonana: AL – laserowo (na stali 50H21G9N4); ML – laserowo (stal H9S2); P – plazmowo

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów sporządzono wykres porównawczy zmiany masy próbek i przeciwpróbek poddanych próbie tarcia (rysunek 1). Na wykresie zauważyć można mniejsze zużycie masowe warstwy stellitej napawanej laserowo w porównaniu z materiałem wyjściowym oraz warstwami napawanymi plazmowo i TIG. Próbki z warstwą stellitej napawaną laserem na stali 50H21G9N4 (AL) wykazały najmniejszy ubytek masy. Natomiast próbki z warstwą stellitej wykonaną laserem na stali zaworowej H9S2 (ML) posiadały zbliżony ubytek masy do próbek z stali 50H21G9N4 w stanie wyjściowym. Warstwy napawane techniką plazmową oraz TIG cechują się nieznacznie większym ubytkiem masy w porównaniu z materiałem wyjściowym 50H21G9N4. Zdecydowanie największy ubytek masy zanotowano dla próbek ze stali H9S2.

Na podstawie zdjęć mikroskopowych powierzchni ciernych oraz zdjęć przekrojów poprzecznych próbek wykonanych po próbie tarcia stwierdzono, że głównym mechanizmem jest zużywanie adhezyjne pierwszego rodzaju (rysunek 2).



Rys. 2. Ślady zużycia adhezyjnego w wyniku szepienia (warstwa stellitej na stali H9S2)

Na podstawie analizy zdjęć, profili chropowatości oraz zmiany parametrów rejestrowanych podczas badań (temperatura, siła tarcia) stwierdzono występowanie „szepień” mikronierówności, a następnie ich ścinanie co powodowało powstawanie wyrw na powierzchni próbki oraz namazań materiału próbki na przeciwpróbce. W wyniku ścinania mikronierówności w przypadku próbki ze stali H9S2 dodatkowo zaobserwowano mechanizm mikroskrapania.

4. BADANIA ODPORNOŚCI WARSTWY STELLITOWEJ NA UTLENIANIE W WYSOKIEJ TEMPERATURZE

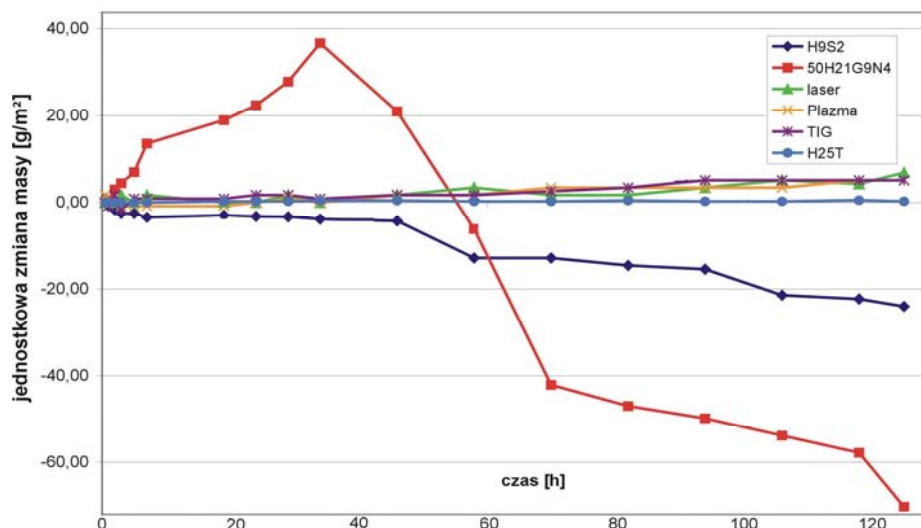
Ocenę kinetyki utleniania warstwy stellitej w wysokiej temperaturze przeprowadzono metodą grawimetryczną. Pomiar polegał na wygrzewaniu próbek w temperaturze 900°C przez okres 125h. W czasie wygrzewania prowadzono pomiar masy próbek w określonych odstępach czasu. Na podstawie uzyskanych pomiarów sporządzono wykres jednostkowej zmiany masy próbki w funkcji czasu trwania eksperymentu (rysunek 3).

Próbki z warstwą stellitej napawaną różnymi technikami były wykonane w postaci prostopadłościanu o wymiarach 24x16mm i grubości 3mm. Napawana warstwa posiadała grubość min. 2mm. Warstwy stellitej napawane były na podłożu ze stali żaroodpornej H25T posiadającej najwyższą odporność na utlenianie w wysokiej temperaturze.

Stal H9S2 w trakcie badań wykazywała stałą tendencję spadku masy. Jest to związane z utlenianiem się powierzchni w sposób ciągły w czasie wygrzewania, a tworząca się zgorzelina ma właściwości parujące (Mrowec, 1982). Nie odnotowano gwałtownych spadków masy po ostudzeniu próbki, co mogłoby wskazywać na stabilność

utworzonej warstewki (brak odprysków). Natomiast stal 50H21G9N4 do 40 godziny eksperymentu wykazywała stały wzrost warstwy tlenkowej. Po tym czasie jednak warstwa tlenków stała się niestabilna i gwałtownie odpryskiwała podczas pomiarów, co można zauważyć po gwałtownych i dużych spadkach masy próbki (rysunek 3). Zjawisko odpryskiwania warstwy tlenkowej związane jest z odmiennymi właściwościami materiału i warstwy tlenków, która

podczas stygnięcia, na skutek różnych współczynników rozszerzalności odpada od materiału. Po 80 godzinach wygrzewania proces odpadania warstwy tlenkowej ustabilizował się i nie miał już tak gwałtownego przebiegu. Warstwy stelliteowe nie wykazywały tendencji do utleniania, co może świadczyć o ich wysokiej odporności na utlenianie.



Rys. 3. Jednostkowa zmiana masy próbek w funkcji czasu trwania eksperymentu w temperaturze 900°C

5. WNIOSKI

- Badania tribologiczne wykazały najmniejsze ubytki masy próbek z laserowo napawaną warstwą stelliteową w warunkach tarcia suchego. Zużycie to jest mniejsze zarówno w porównaniu z materiałem rodzimym badanych stali zaworowych jak również z warstwami napawanymi innymi technikami (plazmowo i TIG). Przykładowo ubytek masy próbki w badaniach tribologicznych napawanej techniką laserową wynosił 1,4mg, plazmową - 4,3mg, TIG - 3,5mg.
- Badania żaroodporności potwierdziły dużą odporność warstw stelliteowych na utlenianie w wysokiej temperaturze. Nie zauważono istotnego wpływu techniki napawania warstwy stelliteowej na zmiany masy próbek podczas wygrzewania. W temperaturze 900°C na próbce ze stali 50H21G9N4 powstawała duża ilość tlenków w postaci warstwy, która wykazywała tendencję do odpryskiwania podczas badań. Przebieg zmian masy próbek ze stali H9S2 w temperaturze 900°C świadczy o wytworzeniu się warstwy tlenków, która posiadała właściwości parujące.

LITERATURA

1. **Burakowski T., Wierzchoń T.** (1995), *Inżynieria powierzchni*, WNT, Warszawa.
2. **Klimpel A.** (2000), *Napawanie i natryskiwanie cieplne*, WNT, Warszawa.
3. **Kusiński J.** (2000), *Lasery i ich zastosowanie w Inżynierii Materiałowej*, WN Akapit, Kraków.
4. **Łunarski J.** (1986), *Technologia Silników Lotniczych*, Rzeszów.
5. **Mrowec S.** (1982), *Kinematyka utleniania metali*, Wyd. Śląsk.
6. **Włodarski J. K.** (1982), *Tłokowe silniki spalinowe – procesy trybologiczne*, Warszawa.

SERVICE PROPERTIES OF VALVE STEELS LASER PAD WELDED WITH STELLITE POWDER

Abstract: The article presents experimental results of the selected service properties of laser pad welded stellite layers deposited on the surface of specimens made of steel: X53CrMnNiN 21-9 and X43CrSi 9-3. Additionally, laser, plasma and TIG overlayer welding stellite layers were subjected testings also the material in the initial state without the plotted stellite layer was investigated.