

Jan MONIETA*, **Paweł KUSIAK**
Akademia Morska*, Szczecin

BADANIA ZUŻYCIA PRZEZ UTLENIANIE I KOROZJĘ POWIERZCHNI ROZPYLACZY WTRYSKIWACZY SILNIKÓW OKRĘTOWYCH

Słowa kluczowe

Silniki okrętowe, rozpylacze wtryskiwaczy, zużycie, utlenianie, korozja.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań własnych intensywności zużycia korozyjnego oraz utleniającego korpusów i iglic rozpylaczy wtryskiwaczy silników okrętowych. Badane obiekty były użytkowane w naturalnych warunkach eksploatacyjnych w środowisku olejów pozostałościowych. Eksperyment przeprowadzono z wykorzystaniem metod: wagowej, mikroskopowej i analizy obrazów.

Wstęp

Układy zasilania paliwem są najbardziej zawodnymi systemami silnika okrętowego, a zwłaszcza aparatura wtryskowa [1, 2]. Zużycie elementów aparatury wtryskowej powoduje zmianę parametrów pracy i przejście silników spalinowych do stanu niezdatności oraz prowadzi do nierównomiernego obciążenia układu korbowego.

W niniejszej pracy autorzy poruszają problem zużycia przez utlenianie i korozję rozpylaczy wtryskiwaczy silników okrętowych. Dokonując przeglądu aktualnego stanu wiedzy, będącej przedmiotem pracy, napotkano mało publikacji, wyraźnie podejmujących ten problem w odniesieniu do wtryskiwaczy silni-

ków okrętowych [1, 2, 3, 7]. Dlatego ze względów naukowych zostały podjęte badania mające na celu wyjaśnienie problemu zużycia i uszkodzeń rozpylaczy wtryskiwaczy silników okrętowych do wtrysku paliwa pozostałościowego.

1. Utlenianie i korozja rozpylaczy

Zużycie rozpylacza to niepożądane, trwałe zmiany jego stanu, określone przez cechy geometryczne i fizykochemiczne, które zachodzą podczas jego eksploatacji. Do czynników geometrycznych, określających stan elementu, zalicza się: kształt, wymiary, falistość, chropowatość powierzchni, kierunki śladów obróbki i niedoskonałość powierzchni. Czynniki fizykochemiczne natomiast obejmują: skład chemiczny materiału, jego strukturę, rozkład mikrotrwałości, charakterystykę dyslokacji itp. [2].

Przy badaniu rozpylaczy można rozróżnić zużycie: ścierne, erozyjne, chemiczne, korozyjne, przez utlenianie, termiczne, fretting, kawitację itp. [6].

Zużycie chemiczne powoduje przyspieszenie innych form zużycia lub tworzenie się nowych substancji, których usuwanie jest łatwiejsze niż materiału podłoża [6]. **Korozja** oznacza stratę materiału bez formowania się nowych substancji. Zużycie przez **utlenianie** to zużycie powierzchni trących się ciał na skutek procesu tworzenia i usuwania utlenionej warstwy wierzchniej [5]. Występuje ono przy tarcii ślizgowym, granicznym i suchym.

Procesy te, dotyczące par precyzyjnych, wywołane są głównie aktywnymi substancjami zawartymi w paliwie, którymi są przede wszystkim związki siarki. Poszczególne składniki paliwa mają bardzo duży wpływ na korozję poszczególnych elementów silników spalinowych. Ma to znaczenie w odniesieniu do rozpylacza, który jest poddany chemicznemu i erozyjnemu działaniu paliwa oraz działaniu wysokich temperatur spalania w cylindrze.

Na podstawie badań rozpylaczy, które zostały przeprowadzone w warunkach eksploatacyjnych, przy zastosowaniu różnych gatunków paliwa w silniku okrętowym typu 55VTBF110 stwierdzono [2], że zwiększenie luzu w parze precyzyjnej następuje przede wszystkim pod wpływem działania korozyjnego paliwa. Pierwsze objawy korozji uwiadcniają się jako pociemnienie powierzchni i wytworzenie się na niej cieniutkich plam produktów korozji. Korozja ta jest głównie wywołana bardzo aktywnymi substancjami zawartymi w paliwie, do których zalicz się aktywne związki siarki, takie jak:

- siarkowodór – działa na żelazo, ołów, tworząc siarczki;
- merkaptany – działają na nikiel i stopy miedzi;
- siarka – działa na miedź, tworząc siarczki (korozja następuje już przy zawartości 1 mg siarki).

Oddziaływanie korozyjne paliwa przejawia się w tworzeniu kwaśnych produktów spalania oraz tworzeniu głównie siarczanów w osadach paliwa. W procesie spalania powstają tlenki siarki SO_2 oraz znacząca ilość pary wodnej, które

przedostają się do wnętrza rozpylacza. W obecności katalizatorów tlenki te zostają dalej utleniane do SO_3 [7]. Powstałe tlenki siarki łączą się z wodą, przechodząc w kwas siarkowy. Kwas siarkowy po wykropleniu się i połączeniu z wodą jest agresywny. Rezultatem zużycia wymuszanego przepływem paliwa, przez otworki jest powiększenie się średnicy otworków rozpylacza [2].

Badania literatury wykazały, że problem utleniania i korozji powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych korpusów i iglic rozpylaczy wtryskiwaczy silników okrętowych w ostatnich latach był mało badany.

2. Obiekt badań

Obiektem badań była próbka 12 rozpylaczy wraz z iglicami, wtryskiwaczy silników okrętowych 6AL20/24H, zdemontowanych z pomocniczych silników spalinowych statku morskiego armatora krajowego, po przepracowaniu kilku tysięcy godzin pracy. Statek to masowiec typu B 567/1 4 o pojemności brutto 9 815 t przy wyporności pełnej 13 770 t, o nieograniczonym rejonie żeglugi, eksploatowany w różnych warunkach klimatycznych.

Kadłuby rozpylaczy wykonane są ze stali WCLVŽ ulepszonej cieplnie do twardości $37\div 42$ HRC oraz azotowane. Iglice wykonane są ze stali szybko tnącej SW7M o twardości $62\div 64$ HRC, a więc znacznie większej niż korpusu.

3. Stosowane metody badań

Celem podjętego tematu pracy było zbadanie zużycia przez utlenienie i korozję rozpylaczy wtryskiwaczy wysokoprężnych silników okrętowych. Realizowano to przez badania i obserwacje zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni rozpylaczy, dążąc do ustalenia rodzaju i stopnia zużycia badanego obiektu. Były to badania wstępne.

W pracy wykorzystano następujące metody badań: metodę wagową, oględziny, metodę mikroskopową i analizę obrazów.

4. Metoda wagowa

Do metody tej została wykorzystana waga elektroniczna, wskazująca cyfrowo i analityczna o wskazaniu analogowym. Waga analityczna została użyta do pomiaru mas iglic rozpylaczy, a waga elektroniczna do pomiaru mas korpusów rozpylaczy.

Badane rozpylacze zostały umyte, a następnie oczyszczone chemicznie i mechanicznie z paliwa pozostałościowego oraz osuszone sprężonym powietrzem. Po wcześniejszym umieszczeniu rozpylaczy, wraz ze szklanymi pojemnikami (bez pokrywek) w ekscykalatorze na czas około 1 godziny, próbki zostały umieszczone na wadze w celu odczytu ich masy. Warunki otoczenia spełniały

wymagania zgodnie z normą PN-EN ISO 7384. Waga została wykalibrowana. Przestrzegano również, by wahania temperatur podczas pomiaru nie przekraczały 0,5°C na godzinę.

Po dokonaniu wszystkich obserwacji i przeprowadzeniu oceny badane elementy zostały poddane procesowi usunięcia produktów utleniania i korozji. Proces usuwania produktów utleniania przebiegał tak, by nie nastąpiło usunięcie lub uszkodzenie warstwy rdzenia korpusu lub iglicy. Iglice rozpylaczy zostały umieszczone we wrzecionie wiertarki stołowej, a następnie po wprowadzeniu w ruch obrotowy i użyciu filcu i pasty polerskiej usunięto warstwę utleniania i korozji. Po czynności usuwania produktów utleniania i korozji, iglice zważono na wadze analitycznej. Następnie porównano wyniki pomiarów z wynikami pomiarów poprzedzających czyszczenie. Różnice pomiaru mas umieszczono w tabeli 1. Podobnie postąpiono z korpusami rozpylaczy.

Tabela 1. Wyniki przedstawiające różnice pomiarów mas przed i po oczyszczeniu

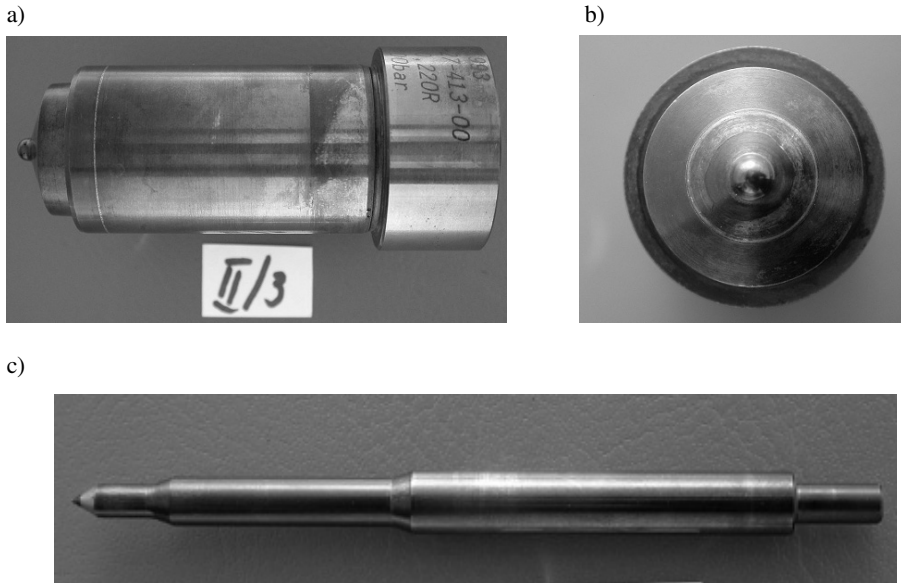
Lp.	Nr cylindra	1	2	3	4	5	6
1	Oznaczenie rozpylacza	III / 1	III / 2	III / 3	III / 4	III / 5	III / 6
2	Różnica mas korpusów [g]	0,003	0,004	0,002	0,003	0,004	0,004
3	Różnica mas Iglic [g]	0,0037	0,0054	0,0042	0,0052	0,0036	0,0054

5. Analiza obrazów

Podczas badań przeprowadzonych metodą analizy obrazów podjęta została próba procentowej oceny utleniania i korozji powierzchni korpusów rozpylaczy i iglic. Badane rozpylacze zostały fotografowane w odpowiednich warunkach, tak by uniknąć nadmiernego nasłonecznienia i refleksów świetlnych, jak i niedoświetlenia. Zdjęcia zostały wykonane tak, by można było przedstawić cały badany obiekt. Korpus fotografowano dwukrotnie, by przedstawić powierzchnie badanego obiektu obrócone względem siebie o 180° i jedno zdjęcie od czoła.

Na rys. 1 przedstawiono przykładowe zdjęcia. Następnie na wykonane zdjęcia została nałożona siatka (rys. 2), o wymiarach zgodnie z normą PN-67/H-04633, w celu ustalenia stopnia skorodowania powłok przez ustalenie częstotliwości występowania punktów korozyjnych. Podobne czynności wykonano z iglicami rozpylacza, z tą różnicą, że wykonano tylko zdjęcia boczne, bez powierzchni czołowej od strony czopa (rys. 1c).

Następnym krokiem było ustalenie stopnia skorodowania poszczególnych kwadratów. Przyjęto, że ocenie będą podlegały kwadraty, które są skorodowane w ponad połowie, a pozostałych nie uwzględniono. Wyniki przedstawiono w tabeli, gdzie 1 oznaczało powierzchnię kompletnie skorodowaną, 255 to powierzchnia wolna od utleniania i korozji.



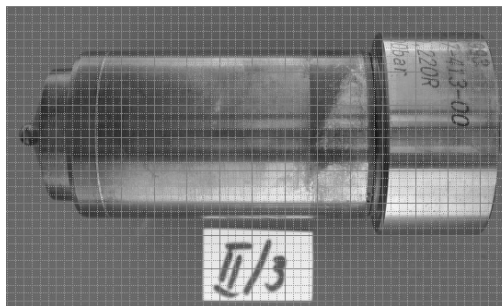
Rys. 1. Widok korpusu badanego rozpylacza (a), widok na korpus od strony czoła rozpylacza (b) i widok iglicy rozpylacza (c)

Do przeliczenia stopnia zabarwienia powierzchni korpusu rozpylacza na procentowe skorodowanie poszczególnych „kwadracików” zastosowano następujący wzór:

$$S_s = \frac{B_{rz} - L}{B_{cz}} 100\% \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

- S_s – stopień skorodowania,
- B_{rz} – barwa rzeczywista,
- B_{cz} – barwa czarna,
- L – średnia jasność występowania w obrazie.



Rys. 2. Widok korpusu rozpylacza z siatką ułatwiającą ocenę stopnia skorodowania

Procent skorodowania P obliczono według wzoru:

$$P = \frac{n}{N} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (2)$$

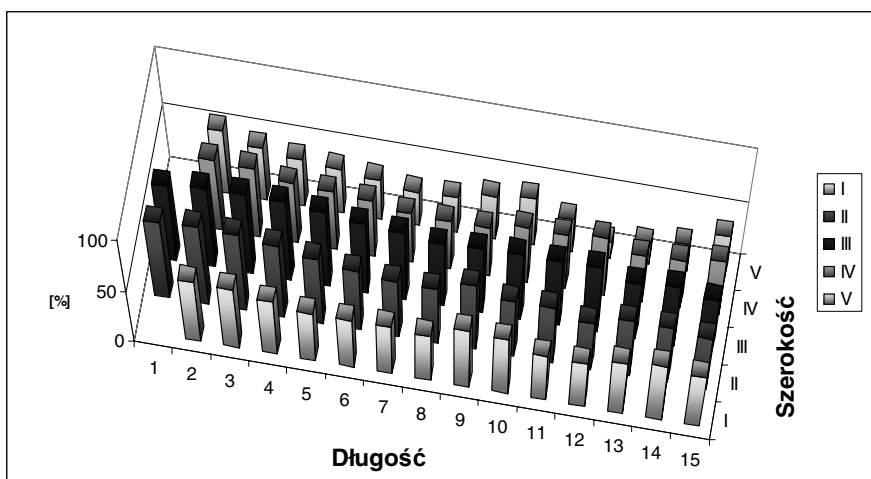
gdzie:

n – liczba kwadratów o boku 5 mm, na powierzchni których wystąpiły korozja i utlenianie,

N – liczba kwadracików o boku 5 mm obejmujących całą badaną powierzchnię.

Wyniki określające procent skorodowania powierzchni przedstawia się liczbowo lub w przypadku badania przebiegu korozji w czasie, w postaci wykresów ukazujących zależność procentu skorodowania powierzchni do czasu trwania badań [4]. Na rys. 3 przedstawiono procentowo skorodowanie powierzchni korpusu rozpylacza.

Korzystając z pomocy tabeli zawartej w normie [4], można zamienić procent skorodowania powierzchni korpusu rozpylacza na stopnie skorodowania. Stopień 10 oznacza powierzchnię bez jakichkolwiek zmian korozyjnych, a stopień 0 powierzchnię skorodowaną powyżej 50%. Stosowanie tej metody umożliwia określenie stopnia skorodowania powierzchni [4].



Rys. 3. Wykres obrazujący stopień skorodowania powierzchni korpusu rozpylacza

Wnioski

Z przeprowadzonych badań autorów wysunięto następujące wnioski:

- 1) Z upływem czasu eksploatacji na rozpylaczach pojawiają się produkty utleniania i korozji.
- 2) Na powierzchniach sferycznych badanych rozpylaczy widać, że plamy korozji i utleniania występowały głównie przy nosku i w jego otoczeniu.
- 3) Utlenianie w otworach korpusów rozpylaczy, prowadzących iglicę, miało miejsce głównie w okolicy występowania rys obwodowych i wzdłużnych, czyli w górnej i dolnej części powierzchni prowadzącej.
- 4) Korozja i utlenianie iglic występowały w stopniu niewielkim, głównie w dolnej części powierzchni uszczelniającej, obciążonej cieplnie i mechanicznie.
- 5) Na stożkach iglic zaobserwowano ślady zużycia, można też zauważyć początki niewielkich punktów korozji wżerowej.
- 6) Z analizy obrazów wynika, że uśrednione wartości skorodowanych powierzchni przekraczają 50% badanych korpusów rozpylaczy.

Bibliografia

1. Gąsowski W.: Wpływ zużycia na charakterystyki hydrauliczne i wzrost koksowania rozpylaczy silników wysokoprężnych. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn* 1986, 3–4, s. 527–537.
2. Idzior M.: Studium optymalizacji parametrów rozpylaczy silników o zapłonie samoczynnym w aspekcie kształtowania ich własności użytkowych nr rozprawy 384. Wyd. Politechnika Poznańska, Poznań 2000.
3. Piaseczny L.: *Technologia napraw okrętowych silników spalinowych*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1992.
4. PN-67-H-04633 *Badanie powłok galwanicznych. Ocena wyników badań korozyjnych*.
5. PN-91/M-04301 *Tribologia, terminologia podstawowa*.
6. Szczerek M., Wiśniewski M.: *Tribologia i trybotechnika*. Polskie Towarzystwo Tribologiczne Instytut Technologii Eksploatacji Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich, Radom 2000.
7. Włodarski J.K.: *Tłokowe silniki spalinowe – procesy trybologiczne*. WKiŁ, Warszawa 1982.

Recenzent:
Andrzej NIEWCZAS

Researches of oxidative wear and corrosion of the surfaces of marine engine injector nozzles

Key words

Marine engine, injector nozzles, wear, oxidation, corrosion.

Summary

This paper presents the results of research on the wear intensity caused by corrosion and oxidation bodies and injection needles of marine diesel engine injectors. The objects of research were utilised in the natural conditions of ships in a residual fuel medium and the reaction of processes in the combustion chamber. The experiment was carried utilising gravimetric and microscope methods and images analysis.