

**Piotr BIELAWSKI**  
**Zygmunt RAUNMIAGI**  
Akademia Morska, Szczecin

## **NAPRAWY WYBRANYCH ELEMENTÓW OKRĘTOWEGO SILNIKA SPALINOWEGO**

### **Słowa kluczowe**

Silniki spalinowe, naprawy, zawory, tuleje, wtryskiwacze.

### **Streszczenie**

Dokonano przeglądu technologii napraw. Podano uzasadnienie celowości oraz zakres napraw i regeneracji elementów tworzących komorę spalania. Przedstawiono doświadczenia zdobyte podczas napraw zaworów, gniazd zaworowych i tulei silników średnioobrotowych promu pasażersko-samochodowego.

### **Wprowadzenie**

Dokumentacje techniczno-ruchowe okrętowych silników spalinowych wyróżniają tzw. elementy zużywające się, tzn. takie elementy, których długość życia jest z założenia krótsza od długości życia całego silnika. Elementy zużywające się muszą być odnawiane podczas eksploatacji silnika. Odnowa polegać może na wymianie uszkodzonego elementu na nowy, wymianie na element naprawiony lub naprawie elementu podczas remontu.

Naprawiane mogą być tylko te elementy, których:

- potencjał eksploatacyjny nie został wyczerpany,
- koszty naprawy są znacząco niższe od ceny elementu nowego.

W przypadku elementów silników okrętowych warunek pierwszy może być spełniony, jeżeli uszkodzenie elementu zostało spowodowane zużyciem tribolo-

gicznym, erozyjnym lub korozyjnym. Takim uszkodzeniom najczęściej ulegają tłoki, głowice, tuleje cylindrowe, zawory (w tym zawory wtryskowe), czopy wałów, powierzchnie pod łożyska ślizgowe.

Koszt naprawy zdeterminowany jest zastosowaną technologią określającą metody, środki i czas naprawy.

Celem niniejszego artykułu jest scharakteryzowanie wdrażanych technologii napraw elementów silnika, ocena skuteczności napraw i wykazanie konieczności dalszego rozwoju metod i środków napraw.

## **1. Zakres, powtarzalność i opłacalność napraw elementów silników okrętowych**

Generalnie zakres naprawy zależy od możliwości technologicznych i ceny naprawy. Uzasadniona ekonomicznie i możliwa technologicznie jest naprawa elementów dużych wolnoobrotowych silników okrętowych, duże ograniczenia występują przy naprawie elementów silników średnioobrotowych, natomiast naprawę elementów małych, szybkoobrotowych, czterosurowych silników pomocniczych należy uznać za nieuzasadnioną.

Zakres naprawy określa się na podstawie obrazu zużycia ustalonego w oparciu o badania nieniszczące elementu (nieciągłości wewnętrznych nie poszukuje się; przyjmuje się, że nie są one wynikiem zużycia, lecz procesu wytwarzania) oraz w oparciu o analizę danych historycznych elementu przeznaczonego do naprawy: wiek, ilość godzin pracy, ilość napraw.

Naprawy, których celem jest przywrócenie pierwotnego kształtu tzw. regeneracje elementu, polegają na całkowitym zdjęciu metodami obróbki ubytkowej zużytej (uszkodzonej) warstwy wierzchniej elementu, nałożeniu nowej warstwy i nadaniu ostatecznego kształtu metodami obróbki ubytkowej. Nakładanie nowej warstwy odbywa się najczęściej metodami spawalniczymi lub galwanicznymi.

O powodzeniu regeneracji metodami spawalniczymi decydują: właściwy wybór materiałów dodawanych podczas napawania, odprowadzanie ciepła podczas napawania i przede wszystkim odpowiednia wiedza o powstawaniu i rozkładzie naprężeń w elemencie regenerowanym. Regułą jest to, że otwory gwintowane, rowki itp. są zaspawane, a następnie odtwarzane, ponieważ nie jest możliwe odtworzenie tych elementów geometrycznych w tym samym miejscu. Przykładowo otwory w głowicach (zawsze) i otwory pod śruby dwustronne w tłokach często zaspawuje się (pęknięcia na otworach głowicy zawsze występują, w otworach tłoka często). Nowe otwory wierce się w innych miejscach, chyba że nie jest to możliwe ze względu na zorientowanie tłoka. Przestrzenie zamknięte są otwierane przez rozcięcie. Odchyłki po wytwarzaniu elementu, usunięcie zbyt dużych ilości materiału rodzimego, nieodpowiedni dobór metod i środków spawalniczych oraz niewłaściwe odprowadzanie ciepła skutkują obniżeniem jakości i niezawodności regenerowanego elementu [2, 7, 9]. Niebez-

pieczeństwo nieudanej regeneracji elementu wzrasta, głównie z powodu zmian strukturalnych na granicach ziaren i obniżania wytrzymałości wraz z liczbą przeprowadzonych wcześniej regeneracji. Prawidłowo przeprowadzone procesy regeneracji pozwalają na 5÷6-krotne odnowy elementu każdorazowo o trwałości porównywalnej z trwałością nowego elementu [9].

O wyborze między regeneracją metodami spawalniczymi i metodami galwanicznymi zdecydować może jakość lub funkcjonalność zregenerowanego elementu. Przykładowo istnieje konflikt między intensywnością smarowania tulei cylindrowej i zużyciem oleju. Odpowiednią intensywność smarowania można uzyskać poprzez celowe ukształtowanie warstwy wierzchniej (po nałożeniu warstwy regeneracyjnej) specjalną obróbką wykańczającą (honowaniem) lub poprzez galwaniczne nałożenie regeneracyjnej warstwy chromu porowatego.

Porowatość chromu poprawia jakość smarowania, zwiększa jednak zużycie oleju. Należy dobrać optymalną porowatość. Według [8] porowatość optymalna tulei wyrażona w % powierzchni pokrytej przez pory wynosi dla powierzchni powyżej okien wlotowych 20% i powierzchni poniżej okien wlotowych 10%.

Koszty regeneracji zależą od zakresu regeneracji. Koszt regeneracji dającej trwałość porównywalną z trwałością nowego elementu wynosi [9]:

- dla silników dwusuwowych 50÷70%,
- dla silników czterosuwowych 20÷30% ceny nowego elementu.

Regeneracje elementów silników okrętowych ze względu na dużą ilość koniecznych operacji i dość długi czas naprawy muszą być wykonane w wyspecjalizowanych przedsiębiorstwach. Zregenerowane elementy pełnią rolę elementów, którymi podczas odnowy zastępuje się elementy zużyte.

## 2. Naprawy elementów komory spalania silnika okrętowego

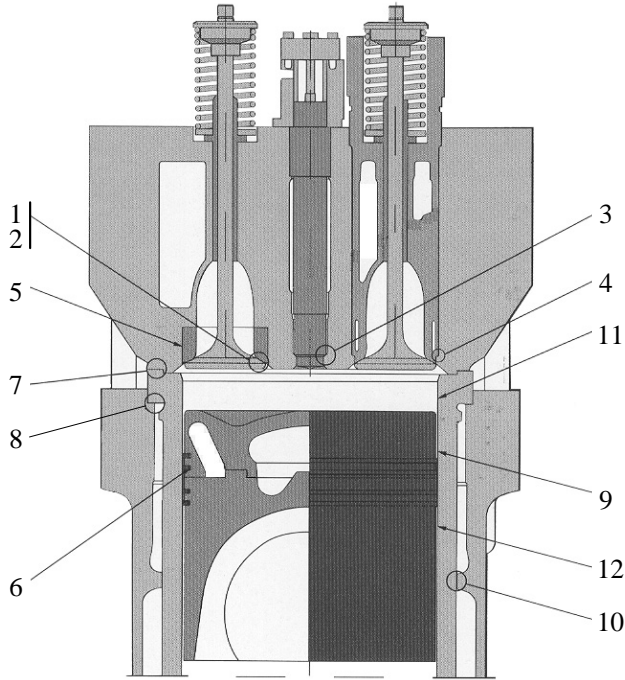
Najprostszą naprawą elementu jest przywracanie pożądanego kształtu (nie wymiarów) poprzez obróbkę ubytkową. Do obróbki ubytkowej zalicza się obróbkę wiórową i obróbkę ścierną. Rodzajem obróbki wiórowej jest toczenie, natomiast szlifowanie, gładzenie, dogładzanie oscylacyjne i docieranie są rodzajami obróbki ścierniej. Naprawy takie mogą być realizowane podczas remontu – podczas odnowy element nie jest wymieniany.

Warunki takich napraw można sformułować następująco:

- krótki czas naprawy nie wpływający znacząco na wydłużenie czasu remontu;
- naprawy wykonywane w pobliżu lub na silniku: ograniczony demontaż, wyeliminowanie kosztów transportu;
- technologia naprawy taka, że czas pracy elementu do kolejnej naprawy porównywalny z czasem pracy elementu nowego;
- dostęp do odpowiednich maszyn na statku, możliwość wykonania prac nawet podczas ruchu statku siłami własnymi załogi lub przez personel obcy.

Obecnie istnieją możliwości dokonywania napraw elementów tworzących komorę spalania silników dwusuwowych i czterosuwowych napędu głównego i silników agregatów. Na rynku oferowane są przenośne maszyny do napraw tych elementów.

Powierzchnie elementów komory spalania silnika czterosuwowego naprawialne obróbką ubytkową zaznaczono na rys. 1.



Rys. 1. Elementy komory spalania silnika czterosuwowego naprawiane obróbką ubytkową [6]:  
 1 – grzybek zaworu, 2 – gniazdo zaworu, 3 – gniazdo wtryskiwacza, 4, 5 – otwór pod gniazdo zaworu, 6 – rowki tłoka, 7 – powierzchnie styku głowicy z tuleją, 8, 10 – powierzchnie styku tulei z korpusem, 9 – miejsce powstawania progu na tulei, 11 – część nadłokowa tulei, 12 – powierzchnia tulei

Naprawa wtryskiwacza może polegać na:

- docieraniu (planowaniu) powierzchni czołowej korpusu wtryskiwacza (powierzchni styku korpusu wtryskiwacza z powierzchnią rozpylacza),
- szlifowaniu powierzchni czołowych korpusu wtryskiwacza i rozpylacza,
- szlifowaniu stożka iglicy wtryskiwacza,
- docieraniu stożka gniazda rozpylacza.

Naprawa zaworów ssących i wydechowych polega na:

- szlifowaniu przylgni grzybków zaworów,
- szlifowaniu lub skrawaniu przylgni gniazd zaworów.

Naprawa tulei polega na:

- usuwaniu nagaru (osadów węgla) z części nadłokowej tulei silników średnioobrotowych (z „gwintem wewnętrznym”); usuwanie mechaniczne za pomocą odpowiedniej maszyny;
- likwidacji progu powstałego w wyniku zużycia tribologicznego tulei silników agregatów prądotwórczych za pomocą specjalnej frezarki;
- nacinaniu „gwintu” na wewnętrznej stronie tulei, poprawie współosiowości, głębokości „gwintu” za pomocą specjalnej tokarki;
- honowaniu przed montażem tłoka z nowymi pierścieniami. Honowaniem usuwa się ślady zacierania i większość odchyłek kołowości tulei cylindrowej wydłuża długość życia tulei liczoną do wymiany tulei, redukuje zużycie oleju, wydłuża czas do osiągnięcia zużycia granicznego tulei i tłoka [6];
- szlifowaniu lub frezowaniu powierzchni pod uszczelnienia między tuleją i głowicą i/lub między tuleją a blokiem cylindrowym.

Naprawa głowicy polega na:

- szlifowaniu powierzchni pod uszczelnienie między głowicą i tuleją,
- szlifowaniu korpusów gniazd zaworów (otworów pod gniazda zaworów).

Naprawa tłoków polega na:

- szlifowaniu progów na powierzchni rowków w tłoku,
- skrawaniu powierzchni bocznej korony tłoka.

Obróbki gniazd zaworowych, zaworów, tłoków i tulei można dokonywać za pomocą przenośnych maszyn na statku. W przypadku stosowania maszyn tego rodzaju gniazda zaworów pozostają w głowicy, obróbki tulei można dokonywać również bez wyjmowania tulei z silnika [1, 6].

Mimo istnienia możliwości naprawy częstość i zakres napraw jest ograniczona. Przyczyn należy upatrywać w niedoskonałości „know-how” i braku badań eksploatacyjnych.

### 3. Badania eksploatacyjne technologii napraw

Od 2000 r. prowadzone są badania ukierunkowane na doskonalenie napraw elementów silnika. Skompletowano maszyny do napraw zaworów ssących i wydechowych, tulei oraz zaworów wtryskowych (wtryskiwaczy). Wybrano obrabiarki firmy Chris-Marine. Do obróbki gniazd zaworowych wybrano tokarkę zamiast szlifierki. Z dokumentacji obydwu maszyn wynika, że w procesie toczenia temperatura obrabianego elementu nie przekracza 250°C, natomiast w procesie szlifowania może ona osiągnąć 1000°C, co może prowadzić do przemian fazowych w materiale. W ramach współpracy naukowo-badawczej z Unity Line – operatorem kilku promów pasażersko-samochodowych, wdrożono tech-

nologię napraw dla elementów silnika średniobrotowego Stork-Wärtsila SW28 i SW38.

Silnik SW38 jest sześciocyndrowym silnikiem napędu głównego. Przenośną tokarką VSL naprawiono 152 gniazda zaworowe oraz szlifierką BSP-3 naprawiono 42 przyłgnię grzybków zaworów, w tym 80% zaworów ssących i 20% zaworów wydechowych.

Silnik SW28 jest sześciocyndrowym silnikiem napędu prądnic. Przenośną tokarką VSL naprawiono 72 gniazda zaworowe, szlifierką BSP-3 naprawiono 50 przyłgnię grzybków zaworów, honownicą typu S naprawiono 6 tulei cylindrowych.

Od stycznia 2007 r. do końca lipca 2007 r. dodatkowo naprawiono 53 zawory i 44 gniazda zaworowe silników Sulzer ZA40S.

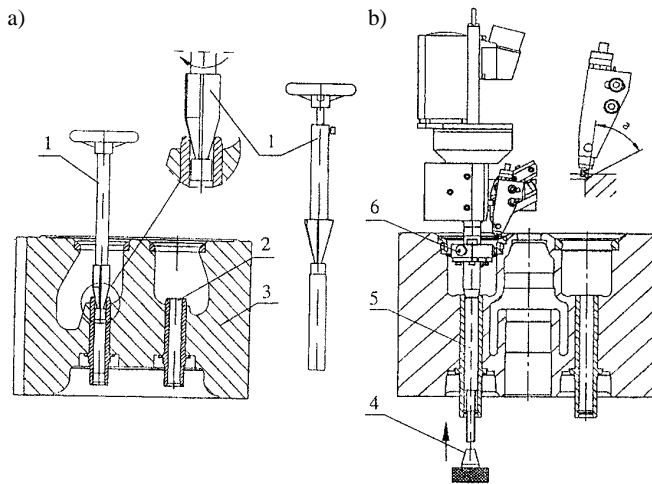
Wymienione naprawy wykonano z uwzględnieniem wymagań technicznych zawartych w dokumentacji techniczno-ruchowej silników [3, 4, 5]. Grubość warstwy zdjeta podczas naprawy nie przekraczała 0,4 mm. Podczas eksploatacji silników z naprawionymi elementami nie stwierdzono uszkodzeń tych elementów. Niektóre z naprawionych zaworów i gniazd zaworowych osiągają już przewidziany resursem czas pracy. Naprawione tuleje przepracowały już 8000 h i pracują bezproblemowo dalej. Stosowana dla tych silników strategia według resursu przewiduje dla wszystkich przedmiotowych elementów resurs równy 12 000 h pracy.

Po osiągnięciu przez naprawiany element resursu przewidywane są badania stanu elementu i ponowne naprawy.

Na dokładność obróbki, tj. na otrzymanie założonych wymiarów kątowych, kształtu, falistości i chropowatości obrobionej powierzchni decydujący wpływ ma dokładność mocowania i drgania obrabianego elementu. W przypadku obróbki gniazd zaworów dokładność mocowania zapewnia się przez poprzedzające obróbkę wykonanie specjalnym przyrządem stożkowych sfazowań w dolnej i górnej części prowadnicy zaworu. Sfazowania te umożliwiają ustawienie trzpienia prowadzącego obrabiarki w osi prowadnicy zaworu (rys. 2).

Podczas prowadzonych badań stwierdzono, że wpływ drgań generowanych przez silnik główny jest tak duży, że nie jest możliwe uzyskanie zadowalająco małej falistości powierzchni gniazda tokarką VSL na głowicy umieszczonej w pobliżu silnika. Odpowiednio małą falistość uzyskiwano podczas postoju promu oraz podczas rejsu przenosząc głowicę w miejsce o niskim poziomie drgań. Ustalono, że czasy napraw zależą od stanu powierzchni:

- czas naprawy jednego gniazda zaworu wynosi ok. 1 h,
- czas naprawy jednego grzybka zaworu wynosi  $1 \div 2$  h,
- czas naprawy honowaniem jednej tulei cylindrowej wynosi  $1 \div 8$  h.



Rys. 2. Przygotowanie głowicy i montaż tokarki VSL [6]; a) Frezowanie prowadnicy zaworu, b) montaż tokarki; 1 – frez stożkowy z pilotem, 2 – prowadnica zaworu, 3 – głowica, 4 – stożki mocujące, 5 – trzpień mocujący, 6 – stabilizator drgań

## Podsumowanie

Rynek obrabiarek do napraw elementów silnika u użytkownika, czasy i koszty napraw uzasadniają celowość stosowania napraw podczas remontu silnika.

Przy opracowywaniu technologii napraw i regeneracji wymagana jest dokładna znajomość konstrukcji i technologii wytwarzania elementu oraz dokładna znajomość procesów i obrazów zużycia elementu. Regeneracje powinny być wykonywane wyłącznie przez autoryzowane firmy, między innymi również przez producenta silników zakłady (konflikt interesów – producent chciałby produkować jak najwięcej nowych części).

W przypadku statków istnieją tzw. części rezerwowe/zespoły rezerwowe, które muszą znajdować się na pokładzie celem spełnienia wymogów bezpieczeństwa formalnego. Takie zespoły mogą być traktowane jako części wymienne i być naprawiane podczas postoju w porcie.

Doskonalenie technologii napraw przyczyni się do wyeliminowania konieczności powtarzania operacji wykonanych nieprawidłowo lub kasacji elementu z powodu niewłaściwie wykonanej naprawy, natomiast doskonalenie metod weryfikacji elementów pozwoli na eliminację kosztownych błędów klasyfikacji elementów.

Otrzymane rezultaty napraw zaworów i tulei zachęcają do opanowywania i doskonalenia „know-how” w odniesieniu do innych elementów silnika. Rozpoczęto kompleksowe badania w zakresie napraw wtryskiwaczy (zaworów wtry-

skowych). Planowane są prace w zakresie napraw otworów gniazd łożyskowych, napraw czopów łożysk korbowych i ramowych oraz czopów pod uszczelnienia promieniowe wałów.

### **Bibliografia**

1. Dalen G.: CHRIS-MARINE AB responds to current trends in shipboard engine maintenance programs. In: Maintenance of the Marine Machinery in Teaching and Research. Seminar WSM Szczecin, 6 February 2001, s. 29–30.
2. Dietrich W., Drews O.: Reconditionierung von Verschleißteilen bei Großdieselmotoren. Schiff & Hafen 7/2001, s. 39–42.
3. Instrukcja Techniczno-Ruchowa silnika Stork-Wartsila SW28.
4. Instrukcja Techniczno-Ruchowa silnika Stork-Wartsila SW38.
5. Instrukcja Techniczno-Ruchowa silnika Sulzer 40S.
6. Materiały informacyjne firmy Chris-Marine AB. Malmö 2001.
7. Materiały informacyjne firmy Diesel Marine International (niedatowane).
8. Twarde powłoki chromowe w eksploatacji silników okrętowych. Van der Horst. Materiały firmowe niedatowane.
9. Wim in den Haak: Reconditioning of Diesel Engine Components is it worth considering. In: Maintenance of the Marine Machinery in Teaching and Research. Seminar WSM Szczecin 6 February 2001, s. 77–82.

Recenzent:

**Kazimierz GOLEC**

### **Repairs of selected elements of marine combustion engine**

#### **Key words**

Combustion engines, repairs, valves, cylinder liners, injectors.

#### **Summary**

The review of repair's technologies was made. The justification of advisability and the range of repairs and renewing of combustion chamber elements were made. Some experiences with repairs of valves, valves seats and cylinder liners of medium speed engine of ferry were presented.