

ANALIZA USZKODZEŃ TURBOSPREŻAREK

Współczesny tłokowy silnik spalinowy stanowi konstrukcję, której długotrwała praca jest możliwa, jeśli spełniane są wymagania eksploatacyjne stawiane przez producenta samochodu do napędu którego jest on przeznaczony. Spełnienie tych wymagań pozwala również na zachowanie dopuszczalnych poziomów emisji szkodliwych składników spalin, określonych obowiązującymi normami. Nieprawidłowa eksploatacja silnika przyczynia się do szybszego zużycia jego podzespołów i zwiększonego szkodliwego oddziaływania na środowisko. W artykule omówiono kierunki rozwoju współczesnych samochodowych silników spalinowych. Opisano przyczyny uszkodzeń turbosprężarek powszechnie stosowanych w układach dolotowych w celu zwiększenia ilości powietrza doprowadzanego do cylindrów silnika. Omówiono wybrane aspekty eksploatacyjne samochodów mające wpływ na długotrwałą i prawidłową eksploatację turbosprężarek. Przedstawiono dokumentację fotograficzną prezentującą częste uszkodzenia elementów turbosprężarek. Określono przyczyny prezentowanych uszkodzeń. Przeprowadzona analiza wykazała, że największy wpływ na trwałość turbosprężarki ma właściwe jej smarowanie.

WSTĘP

Konstrukcja tłokowych silników spalinowych jest rozwijana już od prawie 150 lat. Stanowią one obecnie konstrukcje o wysokim stopniu doskonałości. Są podstawowym źródłem napędu pojazdów samochodowych oraz różnych maszyn roboczych. Dotychczasowy rozwój tłokowych silników spalinowych podzielić można na trzy etapy:

- doskonalenie konstrukcji mające na celu poprawę wskaźników pracy silnika, wzrost trwałości i niezawodności,
- dążenie do ograniczania zużycia paliwa,
- ograniczanie szkodliwego wpływu silnika na środowisko naturalne i człowieka.

Aktualnie głównym czynnikiem stymulującym rozwój tłokowych silników spalinowych i decydującym o ich powodzeniu jest niska uciążliwość dla środowiska naturalnego, wyrażana małą emisją toksycznych składników spalin i niskim zużyciem paliwa.

Współczesne samochodowe silniki spalinowe stawiają znaczne wymagania eksploatacyjne ich użytkownikom. Nie przestrzeganie tych wymagań prowadzi do znacznych kosztów związanych z zakupem nowych podzespołów lub ich naprawami. Dotyczy to zwłaszcza układów zasilania paliwem oraz układów dolotowych. Kosztownymi elementami w układach zasilania są wtryskiwacze i pompy wysokiego ciśnienia, a w układach dolotowych turbosprężarki, powszechnie stosowane zarówno w silnikach o zapłonie samoczynnym, jak również w silnikach o zapłonie iskrowym. Na rynku motoryzacyjnym istnieją wyspecjalizowane firmy zajmujące się naprawami tych elementów. Istnieją również specjalistyczne i kosztowne urządzenia i narzędzia niezbędne do realizacji napraw turbosprężarek, czy elementów układu zasilania oraz do ich weryfikacji przed ponownym montażem do silnika.

Turbosprężarki tłokowych silników spalinowych są elementami pracującymi w bardzo trudnych warunkach. Są połączone z kolektorem wydechowym. Spaliny o wysokiej temperaturze i dużej energii kinetycznej napędzają turbinę. Prędkości obrotowe wałka i osadzonego na nim wirnika turbosprężarki przekraczają 200 000 obr/min. Długotrwała praca turbosprężarki jest możliwa, jeśli są przestrzegane wymagania eksploatacji samochodów z nowoczesnymi silnikami. Wymagania te, to terminowe wymiany oleju w silniku połączone z wymianą filtra oleju i wymianą filtra powietrza. Konieczne jest

stosowanie olejów, a także filtrów najlepszej jakości, zalecanych przez producenta silnika. Ważne są również kontrole poziomu oleju i jego uzupełnianie, jeśli jest taka konieczność. Nieprzestrzeganie tych prostych zasad może przyczynić się do przedwczesnego zużycia turbosprężarki i znacznych kosztów jej wymiany lub naprawy. Ponadto ważny jest sposób codziennej eksploatacji nowoczesnych silników, zgodny z zaleceniami producenta samochodu.

1. KIERUNKI ROZWOJU SAMOCHODOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

Intensywny rozwój współczesnych tłokowych silników spalinowych jest efektem rygorystycznych wymagań, jakie są im stawiane. Wymagania te dotyczą dążenia do zminimalizowania negatywnego oddziaływania silników spalinowych na środowisko. Badania i analizy wykazują jednoznacznie szkodliwy wpływ stanu środowiska na zdrowie i życie ludzi. Na stan środowiska bardzo duży negatywny wpływ ma transport, w którym powszechnie wykorzystuje się silniki spalinowe i paliwa otrzymywane z ropy naftowej [2]. Podejmowane są różne działania, które mają się przyczynić do zmniejszenia szkodliwego oddziaływania samochodowych silników spalinowych na środowisko. Działania te dotyczą konstrukcji silników i ich układów, a zwłaszcza układu zasilania paliwem, układu doprowadzania powietrza i układu wylotu spalin. Poza tym poszukuje się paliw, które można by stosować zamiast benzyn i olejów napędowych.

Działania rozwojowe tłokowych silników spalinowych mają na celu zmniejszenie ilości wytwarzanych toksycznych składników spalin i zmniejszenie ilości wytwarzanego dwutlenku węgla przyczyniającego się do pogłębiania efektu cieplarnianego. Dążenia te można realizować na różne sposoby. Pierwszy z nich to ingerencja w przebieg procesu spalania. Stworzenie takich warunków, przy których proces ten będzie zachodził w sposób coraz bardziej całkowity i zupełny. Czyni się to poprzez kształtowanie procesu napełniania cylindrów silnika powietrzem, sterowanie zawiroowaniem powietrza w zależności od warunków pracy silnika, wymuszanie zawiroowania poprzez odpowiednie ukształtowanie kolektorów dolotowych, zmianę ich konfiguracji poprzez stosowanie sterowanych kłapek zmieniających sposób przepływu powietrza oraz odpowiedni dobór kształtu komory spalania umieszczonej w denku tłoka. Powszechnie stosuje się głowice wielozaworowe z zaworami, których czasy

otwarcia i zamknięcia są zmienne w zależności od warunków pracy silnika, określanych obciążeniem i prędkością obrotową wału korbowego. Docelowo najprawdopodobniej wprowadzone zostaną zawory sterowane elektromagnetycznie, co pozwoli na prawie dowolne sterowanie ich pracą. Poza tym na proces tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej i jej spalanie oddziałuje się poprzez sterowanie przebiegiem procesu doprowadzania paliwa. Obecnie powszechnie stosuje się bezpośredni wtrysk paliwa do cylindrów silnika zarówno w przypadku silników o zapłonie samoczynnym oraz o zapłonie iskrowym. Rozwój silników w tym zakresie obejmuje obecnie prace nad sposobami kształtowania przebiegu wtrysku, tak aby wytwarzana mieszanina paliwowo-powietrzna uległa całkowitemu i zupełnemu spalaniu przy jak największym efektywnym wykorzystaniu energii doprowadzonej z paliwem do cylindrów. Czyni się to poprzez podnoszenie ciśnienia wtryskiwanego paliwa, zwłaszcza w silnikach o zapłonie samoczynnym, podział dawki wtryskiwanego paliwa na części, optymalizację początków i końców wtrysku poszczególnych dawek paliwa, kształtowanie strugi wtryskiwanego paliwa, dopasowanie strugi wtryskiwanego paliwa do kształtu komory spalania i wymuszonych zawirowań powietrza. Precyzyjny sposób sterowania procesami zachodzącymi w silniku jest obecnie możliwy dzięki rozwojowi elektroniki i techniki komputerowej. Sterowanie mechaniczne nie jest w stanie spełnić aktualnych wymagań. Dzięki zastosowaniu sterowania elektronicznego możliwe stało się uwzględnienie w czasie rzeczywistym wielu różnych czynników i parametrów mających wpływ na przebieg procesu spalania w cylindrze. Poza tym sterowanie elektroniczne umożliwiło kontrolę prawidłowości pracy poszczególnych podzespołów i elementów silnika i pojazdu w którym jest on zainstalowany. Dotyczy to zwłaszcza tych podzespołów, które mają wpływ na szkodliwe oddziaływanie pojazdu na środowisko i na bezpieczeństwo ludzi.

Działania związane z konstrukcją silnika okazały się niewystarczające do tego, aby spełnić normy emisji spalin. Koniecznym stała się więc obróbka spalin w układzie wydechowym silnika. To spowodowało, że układy wydechowe współczesnych samochodowych silników spalinowych stały się konstrukcjami skomplikowanymi, wymagającymi dla spełnienia swoich funkcji, sterowania elektronicznego. Konieczna jest również kontrola skuteczności ich pracy. Wszystko to spowodowało, że współczesne układy wydechowe są kosztowne, a prawidłowa ich praca wymaga spełnienia zaleceń eksploatacyjnych określanych przez producentów silników i samochodów. Bardzo ważna w tej sytuacji staje się również świadomość techniczna ludzi użytkujących współczesne i nowoczesne samochody. W silnikach o zapłonie iskrowym z wielopunktowym wtryskiem paliwa, dla spełnienia wymagań w zakresie toksyczności spalin wystarczające są katalizatory trójfunkcyjne. Dla silników z bezpośrednim wtryskiem benzyny koniecznym jest stosowanie dodatkowych katalizatorów tlenków azotu. Ponadto w układach wydechowych tych silników, zgodnie z zapowiedziami, mają być również stosowane filtry cząstek stałych. Układy wydechowe nowoczesnych silników o zapłonie samoczynnym to skomplikowane konstrukcje w skład których może wchodzić katalizator utleniający, katalizator tlenków azotu DeNO_x, filtr cząstek stałych, katalizator SCR tlenków azotu z płynem AdBlue, katalizator amoniaku oraz czujniki monitorujące skuteczność pracy całego układu i umożliwiające sterowanie jego pracą. Dąży się do tego, aby układy wydechowe współczesnych silników były trwałe i skuteczne przez cały okres eksploatacji samochodu. Jest to możliwe do spełnienia, przy rygorystycznym przestrzeganiu wymagań eksploatacyjnych nowoczesnych silników.

Paliwami konwencjonalnymi do zasilania samochodowych silników spalinowych są benzyny i oleje napędowe, czyli paliwa węglowodorowe otrzymane z ropy naftowej, przy spalaniu których

produktem spalania zupełnego jest dwutlenek węgla, będący gazem cieplarnianym. Zmniejszenie ilości szkodliwych składników spalin i dwutlenku węgla wprowadzanych do atmosfery przez silniki spalinowe, można uzyskać poprzez zmniejszenie zużycia paliwa, zwiększenie sprawności jego wykorzystania oraz również poprzez zastosowanie paliw alternatywnych w stosunku do benzyn i olejów napędowych, o korzystniejszych właściwościach w zakresie ich oddziaływania na środowisko. Modyfikacja składu paliw konwencjonalnych oraz poszukiwanie i stosowanie paliw alternatywnych do zasilania silników to kolejny obszar działań na rzecz ograniczenia negatywnego wpływu silników na środowisko. W przypadku paliw konwencjonalnych zmniejsza się w nich zawartość siarki, ogranicza ilość węglowodorów najbardziej toksycznych dla środowiska, zmniejsza ilość węglowodorów ciężkich, które trudniej parują w procesie tworzenia mieszanki i nie spalają się w sposób zupełny, wprowadza się dodatki poprawiające właściwości eksploatacyjne paliw oraz wprowadza się dodatki paliw odnawialnych np.: estrów olejów roślinnych i alkoholi. Prowadzona jest polityka, której celem jest zwiększenie dostępności i zainteresowania użytkowników samochodów paliwami alternatywnymi. Wskazuje się na konieczność zwiększenia udziału paliw alternatywnych w transporcie o mniejszej szkodliwości dla środowiska oraz pozwalających na niezależnienie się od dostępności źródeł ropy naftowej [8]. Stosowane są paliwa pochodzenia roślinnego [1, 5, 9, 11, 13]. W Unii Europejskiej wskazuje się na konieczność większego zainteresowania gazem ziemnym do zasilania silników samochodowych, możliwość stosowania wodoru oraz rozwój rynku samochodów elektrycznych [3, 6, 10].

Wdrożonym i stosowanym kierunkiem rozwoju tłokowych silników spalinowych jest downsizing [7, 12]. Polega on na zastąpieniu silnika o dużej objętości skokowej, silnikiem o mniejszej objętości skokowej przy zachowaniu lub uzyskaniu większych wartości mocy efektywnej i efektywnego momentu obrotowego. Obecnie powszechnie stosuje się silniki o małych objętościach skokowych, z doładowaniem za pomocą turbosprężarek, większym stopniach sprężania, z bezpośrednim wtryskiem paliwa i sterowaniem elektronicznym. Umożliwia to zachowanie lub nawet poprawę wskaźników efektywnych pracy takich silników w porównaniu do silników wcześniej stosowanych o większych objętościach skokowych. Celem downsizingu jest zmniejszenie zużycia paliwa i ilości szkodliwych składników spalin wytwarzanych przez silniki. Przykładem silnika zaprojektowanego zgodnie z zasadami downsizingu jest nowa konstrukcja firmy Volkswagen, która była pionierem tego kierunku rozwoju silników. Jest to silnik trzycylindrowy, w którym z jednego litra pojemności skokowej osiągnięto moc 200 kW i moment obrotowy 270 Nm [14]. Innym kierunkiem rozwoju samochodowych silników spalinowych, dotyczącym głównie silników o zapłonie iskrowym jest downsizing [4]. Jego celem jest zmniejszenie zużycia paliwa poprzez przesunięcie najczęściej wykorzystywanego obszaru pracy silnika w kierunku mniejszych prędkości obrotowych wału korbowego i wyższych obciążeń. Tendencje rozwoju downsizingu oraz downsizingu stosuje się zazwyczaj jednocześnie w tłokowych silnikach spalinowych. Innym hasłem określającym nowy kierunek rozwoju silników zaproponowanym przez firmę Audi jest rightsizing [14]. Zwrócono uwagę na to, że przy zmniejszaniu pojemności i prędkości obrotowej wału korbowego silnika powinno zwrócić się uwagę na dostosowanie silnika do klasy pojazdu i warunków w jakich jest on eksploatowany. Zwrócono uwagę na to, że warunki codziennej eksploatacji silnika są inne niż podczas badań testowych silnika w warunkach laboratoryjnych. Zmniejszenie zużycia paliwa w warunkach laboratoryjnych niekoniecznie musi się przełożyć na mniejsze zużycie paliwa w warunkach ruchu drogowego.

2. UKŁAD DOLOTOWY SILNIKA SPALINOWEGO

Układ dolotowy tłokowego silnika spalinowego ma za zadanie pobrać powietrze z jego otoczenia i doprowadzić je w jednakowej ilości do poszczególnych cylindrów silnika, w danych warunkach jego pracy. Poza tym podstawowym zadaniem, spełnia również inne szczegółowe zadania, dotyczące ilości i jakości doprowadzanego do cylindrów czynnika roboczego. W układzie dolotowym należy oczyścić powietrze z możliwych zanieczyszczeń, tak aby nie dostawały się do cylindrów i miały wpływ na przyspieszone zużycie silnika. Oprócz tego, dla silników z zewnętrznym sposobem tworzenia mieszanki, jest miejscem jej przygotowania i równomiernego rozdziału do poszczególnych cylindrów. Układ dolotowy ma za zadanie dostarczać do cylindrów odpowiednią ilość powietrza w zależności od warunków pracy silnika. W nowoczesnych silnikach chcąc zwiększyć ich moc z jednostki objętości należało zwiększyć ilość powietrza doprowadzanego do cylindrów. Zastosowanie dodatkowych urządzeń doładowujących umożliwiło to zrealizować. Konstrukcja układu dolotowego ma również wpływ na proces tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej i jej jakość.

Układ dolotowy współczesnych silników, w zależności od rodzaju silnika, może składać się z następujących elementów: wlotu powietrza, filtra lub filtrów powietrza, przepływomierza powietrza, kolektora dolotowego, kanałów łączących poszczególne elementy układu dolotowego, urządzenia zwiększającego ciśnienie czynnika roboczego przed zaworami dolotowymi, przepustnicy powietrza, chłodnicy powietrza doładowującego, czujników temperatury i ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym. Konstruując układ dolotowy należy zwrócić uwagę na to, aby umożliwiał on możliwie najlepsze napełnienie cylindrów powietrzem, nie generował nadmiernego hałasu i pozwalał na tworzenie mieszanki paliwowo-powietrznej o wymaganym składzie i jakości. Pozwoli to na efektywny przebieg procesu spalania i zmniejszenie ilości szkodliwych składników spalin.

Ważnymi elementami układów dolotowych współczesnych tłokowych silników spalinowych są rozwiązania konstrukcyjne umożliwiające zwiększenie ilości powietrza doprowadzanego do cylindrów, czyli doładowanie. Doładowanie silników może być sprężarkowe lub bezsprężarkowe. Obecnie w silnikach powszechnie stosuje się turbosprężarki. Wykorzystują one energię spalin opuszczających cylindry silnika do zwiększenia ciśnienia powietrza przed zaworami dolotowymi. Nie stanowią one skomplikowanej konstrukcji. Ze względu jednak na ciężkie warunki ich pracy, wymagają przestrzegania podstawowych zasad eksploatacji silników z turbodoładowaniem.

3. PRZYCZYNY USZKODZEŃ TURBOSPRĘŻAREK I ICH OBJAWY

Współczesne tłokowe silniki spalinowe, zarówno o zapłonie samoczynnym jak i o zapłonie iskrowym, są powszechnie wyposażane w turbosprężarki. Ich zadaniem jest zwiększenie ilości powietrza doprowadzanego do cylindrów silnika, dzięki czemu możliwe jest zwiększenie momentu obrotowego i mocy silnika oraz zmniejszenie ilości emitowanych szkodliwych składników spalin. Turbosprężarki są projektowane tak, aby ich trwałość odpowiadała trwałości silników do których są montowane. Nie stanowią skomplikowanych konstrukcji. Pracują jednak w ciężkich warunkach, przy dużych obciążeniach mechanicznych i cieplnych. Do ich konstruowania stosuje się wytrzymałe, specjalne materiały oraz nowoczesne technologie produkcji. Niezmiernie ważnym warunkiem prawidłowej i długotrwałej pracy turbosprężarek jest właściwa, zgodna z wymaganiami eksploatacja silników w których są one stosowane. Właści-

wa eksploatacja silników to nie tylko trwałość samej turbosprężarki, ale również całego silnika.

Uszkodzenia turbosprężarek zazwyczaj nie wynikają ze zużycia eksploatacyjnego. Zdecydowana większość przyczyn ich uszkodzeń wynika z nieodpowiedniego procesu ich smarowania. Zachowanie odpowiednich warunków smarowania mocno obciążonych turbosprężarek zależy od wielu różnych czynników. Należy do nich zaliczyć:

- stosowanie właściwego oleju zgodnie z wymaganiami producenta,
- wymiana oleju po określonych przebiegach silnika,
- wymiana filtra oleju przy każdej wymianie oleju,
- stosowanie dobrej jakości filtrów oleju,
- nie zastępowanie oleju syntetycznego olejem półsyntetycznym lub mineralnym,
- systematyczne kontrolowanie poziomu oleju i jego uzupełnianie do wymaganego poziomu,
- częstsze wymiany oleju gdy samochód jest eksploatowany na krótkich odcinkach przejazdowych, na przykład na obszarze miejskim, a silnik nie uzyskuje właściwej temperatury pracy,
- częstsze wymiany oleju przy stosowaniu do zasilania silnika biopaliw,
- sprawdzanie drożności i czyszczenie kanałów doprowadzających i odprowadzających olej z turbosprężarki,
- krótkie nagrzewanie oleju po uruchomieniu silnika, zanim zostanie on mocno obciążony,
- krótkie chłodzenie turbosprężarki po jej pracy z dużym obciążeniem poprzez pracę silnika przy małych obciążeniach i opóźnienie wyłączenia silnika.

Paliwo wtryskiwane do komory spalania może po ściankach cylindra przedostawać się do miski olejowej i rozcieńczać olej. Może to mieć miejsce w przypadku, kiedy mamy do czynienia z uszkodzonymi wtryskiwaczami. Na przykład paliwo jest wtryskiwane pod niskim ciśnieniem. Żle rozpylane, osadza się na ściankach cylindra. Duże krople paliwa nie odparowują w całości i paliwo przedostaje się do skrzyni korbowej. Rozcieńczony paliwem olej ma gorsze właściwości smarnościowe, co będzie przyczyniało się do pogorszenia warunków smarowania silnika w tym także turbosprężarki. Przedostawanie się paliwa do oleju może mieć również miejsce w przypadku, gdy mamy do czynienia z silnikami o zapłonie samoczynnym z filtrem cząstek stałych, który jest okresowo regenerowany poprzez wtrysk dodatkowych dawek paliwa do cylindrów, które mają spalać się w układzie wydechowym powodując wypalanie cząstek stałych zebranych w filtrze. Jeśli taki proces nie będzie doprowadzony do końca na skutek jego pracy przy zbyt niskich temperaturach lub przedwczesnego wyłączenia silnika, to będzie się on powtarzał przy kolejnych uruchomieniach silnika. Część paliwa dodatkowo wtryskiwana do cylindra w celu regeneracji filtra, może przedostawać się do miski olejowej i rozcieńczać olej. Niskie temperatury pracy silnika sprzyjają temu procesowi. Sytuacja taka może zachodzić przy eksploatacji samochodów na krótkich odcinkach przejazdowych zwłaszcza na obszarze miejskim. Silnik nie uzyskuje wówczas odpowiednio wysokiej temperatury, w której proces spalania jest bardziej całkowity i zupełny, a proces regeneracji filtra, jeśli nie będzie doprowadzony do końca, będzie się powtarzał. Może to prowadzić do uszkodzenia turbosprężarki, a także całego silnika.

Eksploatacja silnika w niskich temperaturach, przy niskiej temperaturze jego pracy, na krótkich odcinkach przejazdu, nie sprzyja uzyskaniu przez silnik wymaganej temperatury pracy, a sprzyja zawilgoceniu oleju. Woda zawarta w oleju również pogarsza jego właściwości smarnościowe, a tym samym pogarsza warunki pracy turbosprężarki.

Częstą przyczyną uszkodzeń turbosprężarek są ciała obce, które mogą się dostać do układu dolotowego wraz z powietrzem. Przyczyną tego może być rzadko wymieniany filtr powietrza, uszkodzony filtr powietrza, nieszczelności w układzie dolotowym, kawałki lodu z zamrożonej wody w kanale dolotowych i elementy, które mogą dostać się do kanału dolotowego w czasie obsługi i napraw silnika.

Dla prawidłowej pracy turbosprężarek istotna jest również właściwa eksploatacja układu dolotowego silnika. Wiąże się ona z systematycznymi wymianami filtra powietrza. Przy okazji wymiany filtra należy wyczyścić również jego obudowę oraz sprawdzić szczelność układu dolotowego. Należy zabezpieczyć w czasie wymiany filtra powietrza lub innych napraw układu dolotowego przed możliwością przedostania się zanieczyszczeń do układu przed turbosprężarkę. Mogą się one przyczynić do późniejszego, szybkiego uszkodzenia turbosprężarki na skutek uderzenia twardego ciała obcego w wirnik sprężarki. Poza tym, gdy silniki są eksploatowane w mocno zanieczyszczonym powietrzu to warto częściej wymieniać filtr powietrza. Mocno zanieczyszczony filtr powietrza może powodować spadek ilości powietrza doprowadzanego do cylindra, a to z kolei może przyczynić się do niecałkowitego spalania i czarnego zadymienia spalin. Mocno zanieczyszczony filtr powietrza może również powodować powstawanie podciśnienia w kolektorze dolotowym i wysysania oleju z sprężarki do kolektora dolotowego. Skutkiem tego jest wzrost emisji węglowodorów i zadymienia spalin o zabarwieniu niebieskim.

Przyczyną uszkodzeń turbosprężarek może być ograniczony dopływ oleju do turbosprężarki i odpływ oleju z turbosprężarki. Powodem tego może być nagar powstający z oleju w wysokich temperaturach, przy starzeniu się oleju, stosowaniu niewłaściwej jakości oleju i nieprzestrzeganiu zaleceń dotyczących eksploatacji silników z turbosprężarkami. Po pracy silnika z dużymi obciążeniami, należy nie wyłączać od razu silnika, tylko poczekać na wystudzenie turbosprężarki. Turbosprężarki mocno wysiłonych silników, przy pracy z dużymi obciążeniami nagrzewają się do bardzo wysokich temperatur. Jeśli silnik po takim obciążeniu zostanie nagle wyłączony to sprężarka nie będzie prawidłowo, stopniowo schłodzona, a z oleju który w niej pozostanie wytrącający nagar. Olej dopływa do turbosprężarki wąskimi kanałami. Nagar osadzający się w tych kanałach powoduje, że ilość oleju, która będzie docierać do łożysk wałka turbosprężarki może być niewystarczająca do jej prawidłowego smarowania. Ponadto przy sprzyjających warunkach nagar może się gromadzić w kanałach odprowadzających olej z turbosprężarki. Blokowanie odpływu oleju z turbosprężarki do miski olejowej może powodować przedostawanie się oleju do kolektora wylotowego i dolotowego silnika. Przepływ oleju przez kanały w turbosprężarce może być również blokowany na skutek złego jej montażu w czasie regeneracji. Olej przedostający się do kolektora dolotowego jest doprowadzany do cylindrów, gdzie nie spala się w sposób całkowity powodując duże zadymienie spalin o barwie niebieskiej.

Niekorzystne warunki smarowania występują również po uruchomieniu zimnego silnika, zwłaszcza przy niskich temperaturach otoczenia. Jeśli tuż po uruchomieniu silnika w takich warunkach szybko go obciążymy, to współpracujące powierzchnie nie są dobrze smarowane. Olej przez kanały o małych przekrojach dociera do współpracujących powierzchni z pewnym opóźnieniem, smarowanie jest graniczne i ma miejsce zwiększone ich zużycie. Dotyczy to również wałka turbosprężarki łożyskowanego w łożyskach ślizgowych. Po uruchomieniu zimnego silnika powinno się odczekać od kilku do kilkadziesiąt sekund, aż olej dopłynie do wszystkich węzłów smarowania i się nagrzej. Wówczas stworzone są właściwe warunki do pracy i silnik może być obciążony.

Olej silnikowy jest zanieczyszczany produktami zużycia współpracujących elementów oraz osadami i nagarami powstającymi w czasie eksploatacji silnika. Jeśli olej nie jest dobrze filtrowany to zanieczyszczenia mogą dostawać się do węzłów smarowania i powodować przyspieszone zużycie współpracujących powierzchni, również w turbosprężarce. Ważnym aspektem są systematyczne wymiany filtra oleju. Mocno zanieczyszczony filtr oleju nie spełnia swojej funkcji, gdyż olej omija go przez zawór obiegowy. Kontrolka ciśnienia oleju nie zaświeci się, a olej zanieczyszczony cząstkami stałymi będzie dopływał do smarowanych powierzchni i powodował ich przyspieszone zużycie. Dlatego bardzo ważną procedurą obsługową silnika jest wymiana oleju smarnego i filtra we właściwym czasie.

Niewłaściwe smarowanie łożysk ślizgowych wałka w turbosprężarce lub zanieczyszczony olej powoduje ich zużycie ścierne. Prowadzi to do stopniowego zwiększania się luzu poprzecznego w łożyskach wałka. Efektem jest zwiększone przemieszczanie się wirników i ich uderzanie o korpus. Prowadzi to do zniszczenia wirników. Dodatkowo elementy wirników mogą dostawać się dalej do cylindrów silnika i powodować dalsze zniszczenia w silniku.

Inną przyczyną uszkodzenia turbosprężarki może być przekroczenie dopuszczalnej prędkości obrotowej jej wałka. Wówczas również dochodzi do uderzania wirników o obudowy i ich rozerwania. Fragmenty wirników mogą dostać się dalej do cylindrów silnika i spowodować uszkodzenie silnika. Przyczyną przekroczenia dopuszczalnej prędkości obrotowej wałka turbosprężarki może być zapiecenie łopatek zmiennej geometrii, sterujących wydatkiem turbosprężarki lub uszkodzenie mechanizmu regulacji wydatkiem turbosprężarki. Inną możliwą przyczyną tego typu uszkodzenia turbosprężarki to nieprawidłowy tuning silnika lub założenie niewłaściwej turbosprężarki.

Nowoczesne samochodowe silniki spalinowe, zwłaszcza o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny i układem doładowania, są konstrukcjami mocno obciążonymi cieplnie. Układy wylotowe wraz z turbosprężarkami uzyskują bardzo wysokie temperatury. Dodatkowy wzrost temperatury spalin może wynikać z agresywnej jazdy, tuningu silnika lub zakłóceń procesu spalania wynikających z przebiegu procesu doprowadzania paliwa i tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej oraz rodzaju i jakości paliwa. Efektem zbyt wysokich temperatur mogą być pęknięcia żeliwnych korpusów turbosprężarek.

Najczęstsze objawy uszkodzenia turbosprężarek to spadek mocy silnika, duże zadymienie spalin i jej głośna praca. Szybkiej oceny stanu turbosprężarki, bez jej demontażu z silnika, można dokonać sprawdzając stan jej korpusu, czy są wycieki oleju na zewnątrz, czy olej znajduje się wewnątrz kanałów dolotu powietrza oraz jaki jest luz wałka turbosprężarki i stan wirnika sprężarki.

Uszkodzona turbosprężarka zazwyczaj jest poddawana procesowi regeneracji, rzadziej wymieniana na nową. Zanim jednak do silnika zamontuje się naprawioną lub nową turbosprężarkę, należy zdiagnozować, co było przyczyną jej uszkodzenia. Jeśli przyczyną było zatkanie kanałów doprowadzających lub odprowadzających olej to należy je udrożnić i wyczyścić. Należy również sprawdzić stan filtra powietrza, najlepiej wymienić go na nowy oraz wyczyścić cały układ dolotowy. Jeśli to nie będzie zrobione, to po założeniu nowej turbosprężarki szybko może ona ulec uszkodzeniu. Zdarza się to w praktyce w efekcie nieprofesjonalnych napraw.

4. PRZEGLĄD USZKODZEŃ TURBOSPRĘŻAREK

Na rysunku 1 przedstawiono uszkodzony wirnik sprężarki z turbosprężarki firmy Garrett z silnika 1,9 DCI samochodu Renault Laguna. Zdjęcie wykonano jeszcze przed demontażem turbosprę-

żarki. Widoczne na nim uszkodzenie wirnika jest efektem jego uderzenia o korpus sprężarki. Stwierdzono również nadmierny luz poprzeczny wałka turbosprężarki. Po demontażu turbosprężarki zauważono nieprawidłowe zabarwienie wałka świadczące o jego zużyciu (rys. 2). Powodem takiego zużycia jest nieprawidłowe smarowanie wałka turbosprężarki. Spowodowało ono zbyt duże tarcie w łożysku ślizgowym wałka, jego przegrzanie i zużycie, którego efektem był nadmierny luz. Za duży luz wałka był przyczyną uderzenia wirnika o aluminiowy korpus sprężarki.



Rys. 1. Uszkodzony wirnik sprężarki w turbosprężarce Garrett z silnika 1.9 DCI samochodu Renault Laguna



Rys. 2. Uszkodzenie wałka turbosprężarki Garrett z silnika 1.9 DCI samochodu Renault Laguna spowodowane nadmiernym tarcem

Podobną przyczynę uszkodzeń stwierdzono w przypadku turbosprężarki firmy Garrett z silnika Perkins. Widok wirnika sprężarki z widocznymi uszkodzeniami, jeszcze przed demontażem turbosprężarki przedstawiono na rysunku 3. Po demontażu turbosprężarki również stwierdzono zmianę zabarwienia wałka oraz materiał łożyska napawany na czopie wałka, co było efektem zatarcia współpracujących elementów na skutek niewystarczającego smarowania (rys. 4). Na rysunku 5 przedstawiono uszkodzony wirnik turbiny z turbosprężarki silnika Perkins. Jego uszkodzenia są podobne jak w przypadku wirnika sprężarki. Są efektem uderzenia wirnika o żeliwny korpus turbiny.



Rys. 3. Uszkodzony wirnik sprężarki w turbosprężarce Garrett z silnika Perkins



Rys. 4. Uszkodzony wałek turbosprężarki Garrett z silnika Perkins



Rys. 5. Uszkodzony wirnik turbiny turbosprężarki Garrett z silnika Perkins

Na rysunku 6 przedstawiono złamany wałek z wirnikiem turbiny. Takie uszkodzenie jest również wynikiem nieprawidłowego smarowania turbosprężarki. Brak odpowiedniej ilości oleju przyczynił się do przegrzania elementów turbosprężarki i w efekcie do złamania wałka. Po pęknięciu wałka doszło do uderzenia wirnika turbiny o obudowę. Taki rodzaj uszkodzenia stanowi zagrożenie dla silnika. Fragmenty elementów turbosprężarki mogą dostać się do cylindrów silnika i spowodować poważne jego uszkodzenie. Na rysunku 7 pokazano złamany wałek turbosprężarki w widoku od czola.



Rys. 6. Złamany wałek wraz z wirnikiem turbiny



Rys. 7. Złamanie wałka turbosprężarki widoczne od czola

Na rysunku 8 widoczne są wyraźne uszkodzenia wirnika sprężarki Borg Warner pochodzącej z silnika samochodu ciężarowego Mercedes Atego. Przyczyną takich uszkodzeń jest obecność w powietrzu twardych cząstek stałych. Przykładem uszkodzenia spowodowanego najprawdopodobniej przez rzadką wymianę filtra powietrza jest uszkodzenie wirnika sprężarki w turbosprężarce z silnika samochodu Mercedes-Benz ML 320 CDI przedstawione na rysunku 9. Wirnik sprężarki ma charakterystyczne uszkodzenia powodowane przez obecność cząstek stałych w powietrzu dopływającym do turbosprężarki. Po demontażu filtrów powietrza stwierdzono bardzo duże ich zanieczyszczenie oraz obecność ciał obcych w obudowach, między innymi piasku.



Rys. 8. Uszkodzenie wirnika sprężarki Borg Warner pochodzącej z samochodu ciężarowego Mercedes Atego spowodowane przez ciała obce



Rys. 9. Uszkodzenie wirnika sprężarki Garrett w samochodzie Mercedes-Benz ML 320 CDI spowodowane zbyt rzadką wymianą filtrów powietrza

Przykład uszkodzenia wirnika, które powstało na skutek przekroczenia dopuszczalnej prędkości obrotowej wałka turbosprężarki przedstawiono na rysunku 10. Widoczne są uszkodzenia łopatek wirnika na skutek ich uderzenia w korpus. Fragment wirnika uległ oderwaniu. Ten rodzaj uszkodzenia turbosprężarki może prowadzić do uszkodzenia silnika. Będzie ono wynikiem przedostania się elementów oderwanych od wirnika do cylindrów silnika.



Rys. 10. Uszkodzony wirnik sprężarki na skutek zbyt wysokiej prędkości obrotowej

Przyczyną uszkodzenia mogą być zanieczyszczenia znajdujące się w oleju. Taka była przyczyna uszkodzenia wałka turbosprężarki przedstawionego na rysunku 11. Na wałku widoczne były ślady zużycia na powierzchniach czopów łożysk. Ponadto od strony turbiny widoczny jest nagar pochodzący z oleju, który może być wynikiem niewłaściwej jakości oleju, lub może wynikać ze sposobu eksploatacji silnika.



Rys. 11. Uszkodzony wałek turbosprężarki na skutek zanieczyszczenia oleju

Na rysunku 12 przedstawione jest uszkodzenie żeliwnego korpusu turbosprężarki, który jest połączony z kolektorem wydechowym silnika 2.0 TFSI. Widoczne jest wyraźne pęknięcie korpusu przebiegające po jego obwodzie wokół komory turbiny. Przyczyną tego uszkodzenia była wysoka temperatura.



Rys. 12. Uszkodzenie korpusu żeliwnego turbosprężarki Borg Warner połączonego z kolektorem wydechowym, pochodzącej z silnika 2.0 TFSI

PODSUMOWANIE

Zastosowanie turbosprężarki w układzie dolotowym silnika umożliwiło wykorzystanie energii spalin do zwiększenia ilości powietrza doprowadzanego do cylindrów. Pozwoliło na uzyskanie z mniejszych pojemności cyklowych większych wartości mocy efektywnej i momentu obrotowego, przy zmniejszeniu zużycia paliwa i zawartości szkodliwych związków w spalinach silników. Umożliwiło bardziej elastyczne kształtowanie przebiegu charakterystyki momentu obrotowego.

Konstrukcja turbosprężarek nie jest skomplikowana. Pracują one jednak przy dużych obciążeniach mechanicznych i cieplnych. To powoduje konieczność stosowania w konstrukcji turbosprężarek bardziej wytrzymałych materiałów oraz dokładnego i precyzyjnego ich wykonania. Wymaga również przestrzegania zasad eksploatacji współczesnych, mocno obciążonych, turbodoładowanych silników.

Turbosprężarki są tak skonstruowane, aby wytrzymały cały okres eksploatacji silnika. Nieprzestrzeganie jednak zasad eksploatacji silnika niesie ze sobą ograniczenie trwałości turbosprężarek i często również możliwość dalszych uszkodzeń silnika. Przyczynia się do znacznych dodatkowych kosztów poniesionych na naprawę lub zakup nowej turbosprężarki i ewentualne dalsze naprawy silnika.

Przeprowadzona analiza uszkodzeń różnych turbosprężarek wykazała, że najczęściej przyczyną ich niesprawności jest niewystarczające smarowanie lub jego brak. Bardzo różne mogą być jego przyczyny: źle dobrany olej, brak wymiany oleju w zalecanych okresach, zanieczyszczony olej, niewymienianie filtra oleju, woda lub paliwo w oleju, nagar w kanałach doprowadzających i odprowadzających olej i inne.

Nieprzestrzeganie zasad eksploatacji silnika to stopniowe zużycie elementów turbosprężarki i znacznie zwiększone jego szkodliwe oddziaływanie na środowisko. To powoduje, że silnik nie spełnia norm emisji spalin. Dla zapewnienia prawidłowej pracy silnika i zachowania jego właściwości ekologicznych bardzo ważna jest właściwa jego eksploatacja.

BIBLIOGRAFIA

1. Ambroziak A., Ambroziak T., Kurczyński D., Łagowski P., The Influence of Injection Advance Angle on Fuel Spray Parameters and Nitrogen Oxide Emissions for a Self-Ignition Engine Fed with Diesel Oil and FAME, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 23, No 6, 2014, s. 1917-1923.
2. Ambroziak A., Kurczyński D., Łagowski P., Wskaźniki energetyczne silnika Perkins 1104D-E44TA zasilanego dwupaliwowo olejem napędowym i gazem ziemnym. Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, nr 12/2016, s. 760÷767.
3. Ambroziak A., Kurczyński D., Łagowski P., Warianek M.: Load characteristics of the Perkins 1104D-E44TA engine, powered with diesel fuel and natural gas. Proceedings of The Institute of Vehicles 1(110)/2017, s. 55-66.
4. Bandel, W., Fraidl, G. K., Friedl, H., Kapus, P. E., Mehrwertorientierte Techniken für ottomotorische Antriebssysteme. In: MTZ 67 (2006), Nr. 2, s. 110–117.
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.

6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej.
7. Golloch R., Downsizing bei Verbrennungsmotoren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2005.
8. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Czysta energia dla transportu: europejska strategia w zakresie paliw alternatywnych. Bruksela 24.01.2013.
9. Kousoulidou M., Fontaras G., Ntziachristos L., Samaras Z., Biodiesel blend effects on common-rail diesel combustion and emissions. Fuel 89/2010, s. 3442–3449.
10. Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. Ver 2.6, 2017.
11. Kruczyński S.W., Orliński P., Combustion of methyl esters of various origins in the agricultural engine. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, Vol. 20, December 2013, pp. 483-491.
12. Merkisz J., Rozwój silników spalinowych w aspekcie ich ekologii. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2(78)/2010, s. 103÷125 Warszawa 2010.
13. Millo F., Debnath B.K., Vlachos T., Ciaravino C., Postriotti L., Buitoni G., Effects of different biofuels blends on performance and emissions of an automotive diesel engine. Fuel 159/2015, s. 614–627.
14. Rosenow J. Downsizing silników – Nie za duży, nie za mały. Auto Expert Technika – Warsztat – Handel, 7-8/07.2016.

Turbocharger compressors failures – analysis

The modern piston combustion engine is a design whose long-term functioning is possible if operational requirements, set by a car manufacturer for a specific drive, are met. Fulfilment of the requirements enables reduction of exhaust fumes whose acceptable level of harmful components is regulated by the valid standards. Improper use of an engine contributes to a faster wear of its components and to environmental damage. The article discusses the development of modern automotive combustion engines. What is more, the paper investigates the failure causes of turbocharger compressors that are commonly used in engine air intake systems in order to increase the amount of air fed into engine cylinders. Also examined are selected operating aspects of a vehicle which influence the long-term and proper exploitation of turbocharger compressors. Photographic documentation is provided to show common failure causes of elements of turbocharger compressors. The causes of the presented failures have been determined. The analysis shows that durability of a turbocharger compressor depends to the largest extent on its lubrication.

Autorzy:

dr inż. **Dariusz Kurczyński** – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu, kdarek@tu.kielce.pl

mgr inż. **Paweł Piwowarczyk** – Absolwent Politechniki Świętokrzyskiej Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn, pawelvag1@gmail.com