

Marek IDZIOR¹
Maciej BIELIŃSKI²
Tomasz BOROWCZYK³
Wojciech KARPIUK⁴

ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW EKSPLOATACJI NA STAN TECHNICZNY TURBOSPŘĘŻAREK DOŁADOWANYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

W artykule przedstawiono informacje na temat układu turbodoładowania współcześnie stosowanych silników spalinowych w pojazdach samochodowych. Opisano działanie i konstrukcję turbosprężarki jako naczelnego elementu tego układu. Omówiono podstawowe źródła i skutki uszkodzeń turbosprężarek z uwzględnieniem warunków eksploatacji oraz podano zalecenia warunkujące prawidłową eksploatację.

ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS EFFECTS ON TURBOCHARGER'S MECHANICAL CONDITION IN SUPERCHARGED COMBUSTION ENGINES

The paper presents information on turbocharged system in modern internal combustion engines used in self-propelled vehicles. Operating and construction of turbocharger as the main unit of system were described. Fundamental origin and effects of turbocharger's damage including condition of operating were discussed as well as recommendations concerning proper operating were quoted.

1. WSTĘP

1.1 Konstrukcja układu turbodoładowania

Doładowanie silnika spalinowego polega na dostarczeniu do cylindrów silnika świeżego ładunku o zwiększonej gęstości, co umożliwia doprowadzenie większej masy paliwa (nie zmieniając współczynnika nadmiaru powietrza λ). Celem doładowania jest zwiększenie mocy jednostkowej, zwiększenie sprawności, zmniejszenie emisji jednostkowej składników

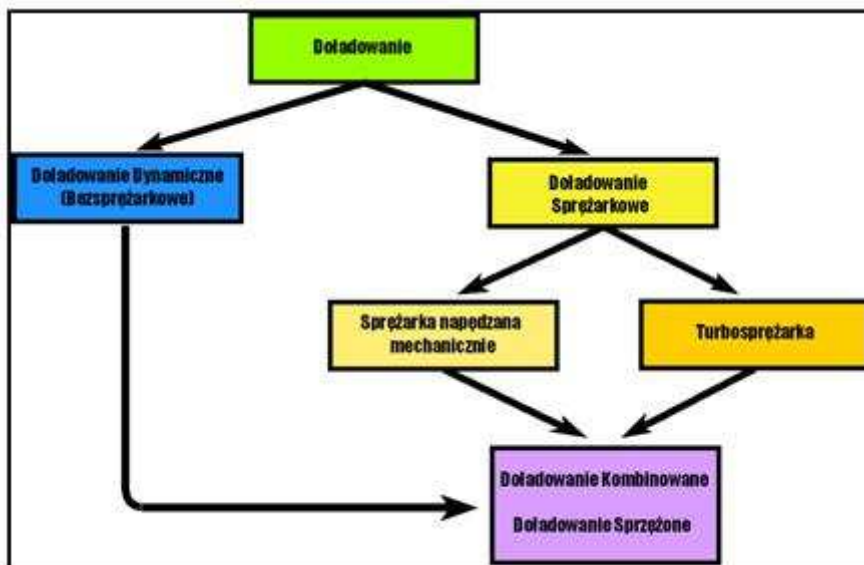
¹Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, POLSKA, tel. (+48) 61 665-23-50, fax: (+48) 61 665-22-04, e-mail: marek.idzior@put.poznan.pl

²Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, POLSKA, tel. (+48) 61 647-58-62, fax: (+48) 61 665-22-04, e-mail: maciej.bielinski@O2.pl

³Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, POLSKA, tel. (+48) 61 647-58-62, fax: (+48) 61 665-22-04, e-mail: tomasz.borowczyk@doctorate.put.poznan.pl

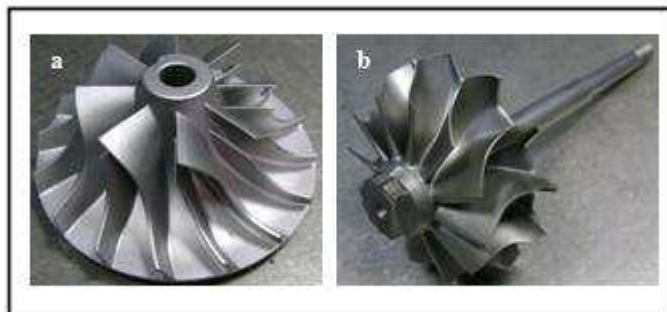
⁴Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, POLSKA, tel. (+48) 61 665-27-05, fax: (+48) 61 665-22-04, e-mail: wojciech.karpiuk@doctorate.put.poznan.pl

toksycznych spalin [4]. Zwiększenie gęstości ładunku uzyskuje się poprzez zastosowanie urządzenia zewnętrznego (sprężarki), bądź wykorzystując właściwości dynamiczne samego silnika. Ogólny podział systemów doładowania stosowanych w współczesnych silnikach spalinowych wykorzystywanych do napędu pojazdów przedstawiono na Rys. 1.



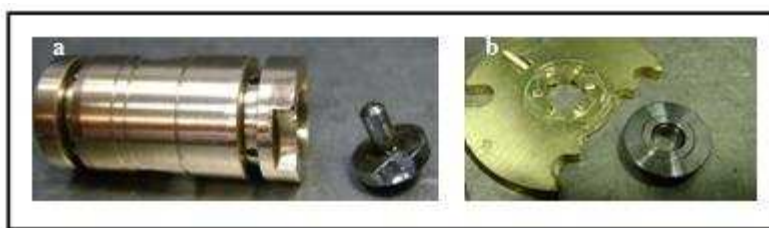
Rys.1. Ogólny podział systemów doładowania silników spalinowych ze względu na rodzaj urządzenia sprężającego

Turbodoładowanie należy do grupy doładowania sprężarkowego (ze sprężarką przepływową). Naczelnym elementem tego systemu jest turbosprężarka – maszyna przepływowa, w której wirnik turbiny i sprężarki zamontowany jest na wspólnym wale. W systemach turbodoładowania stosowanych najczęściej w pojazdach samochodowych wykorzystuje się osiowo promieniowe (promieniowo-osiowe) koła wirnikowe sprężarek i turbin. Koła wirnikowe sprężarek (Rys.2a.) zbudowane są bez tarczy nakrywającej i wykonane są jako oddzielny element (najczęściej ze stopu aluminium), a napływ i wypływ powietrza z koła sprężarki ograniczony jest spiralnym korpusem (także z aluminium). Koło wirnikowe turbiny (Rys.2b.) wykonane jest również w formie otwartej i najczęściej połączone jest na stałe z wałkiem wirnika (zespawane tarciowo). Materiałami na koło turbiny są najczęściej wysokostopowe stale żarowytrzymałe, stopy niklu, kadmu, tytanu i inne. Stopień turbinowy może być wyposażony, lecz nie musi w kierownicę, najczęściej o możliwości zmiany kąta pochylecia łopatek (co pozwala regulować wydatek turbiny). Napływ i wypływ spalin z koła turbiny ograniczony jest żeliwnym korpusem.

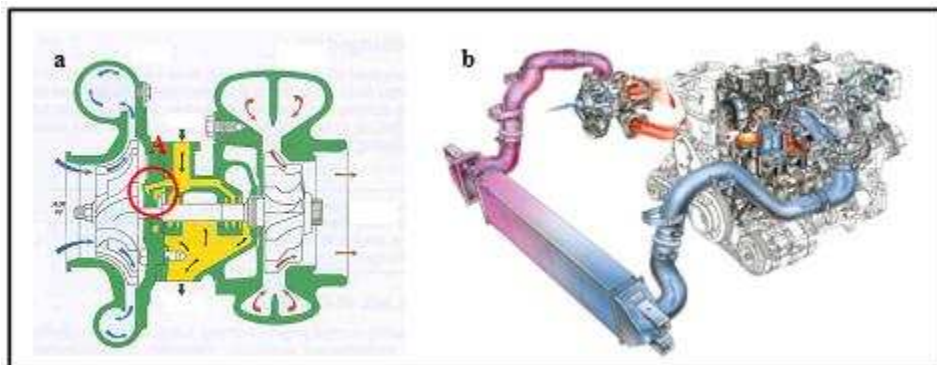


Rys.2. Koło wirnika sprężarki a) i turbiny b) [6]

Turbosprężarka posiada złożony system łożyskowania. Wirnik łożyskowany jest ślizgowo: poprzecznie i wzdłużnie. Łożyska poprzeczne występują w formie tulei lub tulejek wykonanej z stopu miedzi (Rys.3a.). Tuleja łożyska w korpusie środkowym może być osadzona na stałe lub pływająco. Łożysko poprzeczne składa się z dwóch części: płytki wykonanej ze stopu miedzi osadzonej na stałe w korpusie oraz z ruchomego talerzyka ze stali stopowej (Rys.3b.). Łożysko poprzeczne przenosi osiowe siły z osiowo - promieniowych wirników turbiny i sprężarki, pochodzące od rozprężanych gazów spalinowych oraz od sprężanego powietrza. Czynnikiem smarującym łożyska turbosprężarki jest olej pochodzący z magistrali silnika, który spełnia także zadania chłodziwa. Układ smarowania turbosprężarki uszczelniony jest za pomocą rozprężnego pierścienia (pierścieni) po stronie turbiny, oraz za pomocą uszczelki po stronie sprężarki. Przekrój poprzeczny złożonej turbosprężarki przedstawiono na Rys.4a. Typowy układ turbodoładowania (Rys.4b.) zawiera prócz turbosprężarki chłodziwce powietrza doładowanego (intercooler), czujniki ciśnienia i temperatury powietrza i spalin, człony wykonawcze regulacji mocy turbiny (siłownik elektryczny lub pneumatyczny). Regulacja mocy turbiny może odbywać się m.in. poprzez zastosowanie zaworu upustowego, zmianę czynnej powierzchni łopatek, zmianę kąta napływu spalin na łopatki oraz zmianę pulsacji strumienia spalin.



Rys.3. Łożyska typowej turbosprężarki: poprzeczne wraz z zabezpieczeniem a) i wzdłużne b) [6]



Rys.4. Przekrój poprzeczny turbosprężarki a) [3], schemat układu doładowania b) [7]

1.2 Warunki eksploatacji turbosprężarek

Przedstawiony powyżej skrótowy opis konstrukcji typowej turbosprężarki pokazuje, że składa się ona zaledwie z kilku głównych podzespołów oraz kilkunastu części. Wnioskować można, że tego typu układ powinien pracować bezawaryjnie przez cały okres eksploatacji pojazdu. Praktyka wskazuje jednak zupełnie inaczej. Parametry konstrukcyjne turbosprężarki to nie wszystko, by analizować przypuszczalne zużycie tych zespołów. Pomocne w analizie mogą być warunki eksploatacji przedstawione w *Tab. 1*.

Tab. 1. Warunki pracy turbosprężarki.

Parametr	Wartość
zakres prędkości obrotowych	120 - 230 tyś. obr/min
temperatura gazów przed turbiną	max ZS - 900, ZI - 1100 °C
temperatura gazów za turbiną	max 750 - 850 °C
temperatura gazów przed sprężarką	20 - 40 °C
temperatura gazów za sprężarką	80 - 150 °C
wydatek powietrza sprężarki	0,05 - 0,65 m ³ /s
spręż	2 - 3,5
ciśnienie doładowania	0,5 - 2,5 bar
sprawność adiabatyczna	dla $D_{\text{wirnika}} = 200\text{mm}$ -> 85%
	dla $D_{\text{wirnika}} = 50\text{mm}$ -> 77%
naprężenia na końcach łopatek	śr 100 MPa

Turbosprężarka jest, zatem stosunkowo prostym, lecz precyzyjnym urządzeniem, pracującym w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Ze względu na bardzo wysoką prędkość obrotową wirnika oraz znaczną temperaturę spalin wymagane jest perfekcyjne

działanie układu smarowania turbosprężarki. Szczególnie ważna jest drożność kanalików olejowych (*szczegół „A” Rys.4a.*) i kanałów odprowadzających i doprowadzających olej z magistrali smarowania silnika. Ponadto olej musi posiadać odpowiednie właściwości: gęstość, lepkość, klarowność oraz, co bardzo ważne odpowiednią temperaturę (przy zbyt niskiej temperaturze olej wykazuje mniejszą zdolność przeciskania przez kanaliki smarujące o małej średnicy, przy zbyt wysokiej pogarszają się właściwości smarne, spada pojemność cieplna, dochodzić może do termolizy jego składników). Prócz wymogu właściwego smarowania turbosprężarki istotnym jest, by wirnik nie przekroczył swych granicznych prędkości obrotowych. Zbyt wysoka prędkość obrotowa (nawet +-10% prędkości maksymalnej), odpowiedzialna za wartość sił odśrodkowych, w połączeniu z wysoką temperaturą gazów spalinowych omywających wirnik turbiny doprowadzić może m.in do zjawiska pękania materiału koła turbiny i przekroczenia naprężeń dopuszczalnych. Podobna zależność występuje przy zbyt wysokiej temperaturze spalin, która doprowadzić może do nadtopienia łopatek turbiny. Zmiana geometrii przepływowej koła turbiny (także koła sprężarki), czy to w wyniku zbyt wysokiej temperatury czy prędkości obrotowej, pogarsza nie tylko sprawność ekspansyjną. Zniekształcenie doprowadzić może do niebezpiecznego w skutkach niewyważenia zespołu wirnika. Niewyważenie jest przyczyną drgań układu, pojawiają się siły poprzeczne, które doprowadzają do szybkiego i postępującego zużycia elementów turbosprężarki. Czas pracy niewyważonego wirnika może wynosić kilka sekund. W związku z powyższym, powszechnie uważa się, że w procesie zużywania turbosprężarki obszar zużycia dopuszczalnego jest znikomy. Trudno jest określić przeciętnie żywotność całego zespołu. Zdarza się, że np. w samochodach ciężarowych, które przejechały około 1 mln. km turbosprężarka nie wykazuje praktycznie żadnych śladów zużycia np. niewielkie, płytkie rysy na pow. łożysk. Zdarzają się również przypadki, że po jednokrotnym uruchomieniu silnika z założoną nową turbosprężarką dochodzi do zużycia awaryjnego (zniszczenia) jej podzespołów. Szerzej różne przyczyny eksploatacyjnego zużywania, niszczenia elementów turbosprężarek omówione zostały w punkcie 2 niniejszej rozprawy.

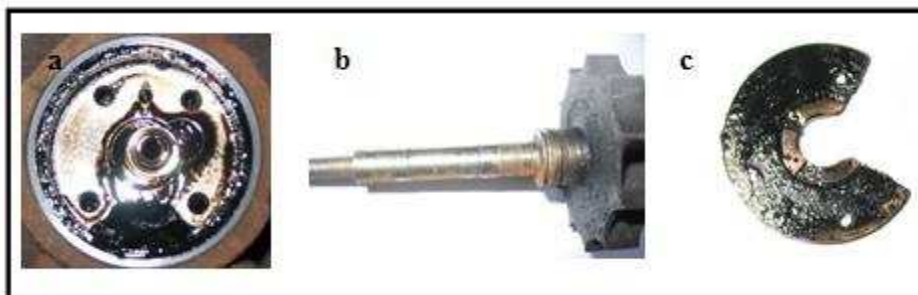
2. USZKODZENIA TURBOSPRĘŻAREK W ASPEKCIE KONSTRUKCJI I WARUNKÓW EKSPLOATACJI

2.1 Uszkodzenia spowodowane olejem złej jakości

Ponieważ turbosprężarka smarowana jest olejem pochodzącym z magistrali olejowej silnika zdarza się, że olej ten nie jest wystarczającej jakości. Na skutek jego pracy w ciężkich warunkach silnikowych pogarszają się jego właściwości fizyczne (gęstość, lepkość) i inne parametry (np. pogarsza się odporność na pienienie). Ponadto w swej objętości olej posiadać może stałe makrocząstki (np. produkty zużycia ściernego elementów silnika, produkty zużycia korozyjnego etc.), które mikroskrawają, rysują, brudzą warstwy wierzchnie węzłów smarnych. Spadek parametrów jakościowych oleju wraz z postępującą eksploatacją pojazdu jest zjawiskiem normalnym. Przyczyn uszkodzeń turbosprężarek spowodowanych złej jakości olejem należy doszukiwać się w:

- oleju silnikowym – pierwotnie złej jakości (niestosowanie się do zaleceń producenta),
- filtry oleju – niedrożnym w wyniku zabrudzenia, pierwotnie niewłaściwym, o nieprawidłowych parametrach,

- braku czasowej lub dystansowej wymiany oleju i filtrów zgodnie z zaleceniami producenta.



Rys.5. Uszkodzenia elementów turbosprężarek wywołane zanieczyszczeniem oleju: zaczopowanie otwory olejowe korpusu środkowego a) i płycie łożyska wzdłużnego c), głębokie rysy na czopach wałka wirnika b) [6]

Uszkodzenie turbosprężarki wywołane olejem złej jakości skutkuje m.in.:

- pogorszeniem warunków pracy łożyska ślizgowego i wzdłużnego, w wyniku zmniejszenia przekrojów czynnych otworków smarujących,
- miejscowym przegrzewaniem się elementów, wzrostem temperatury styku,
- szybkim zniszczeniem turbosprężarki objawiającym się m.in.: głębokimi rysami na czopach wału wirnika i powierzchniach łożyska, zmianą parametrów warstw wierzchnich styku, rozkalibrowaniem otworów mocujących łożyska korpusu środkowego, zapieczenie pierścieni uszczelniających w rowkach (Rys.5.).

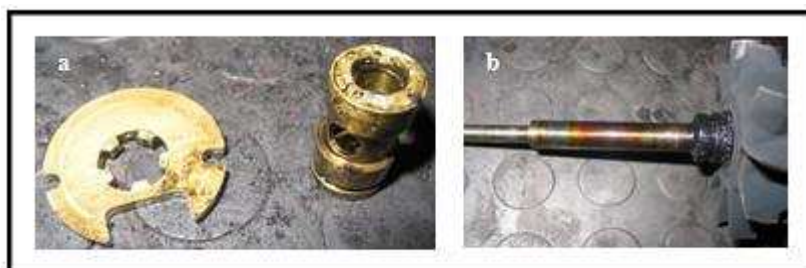
2.2 Uszkodzenia spowodowane spadkiem ciśnienia oleju lub chwilowym jego brakiem

Stwierdzono, że szczególną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu turbosprężarki odgrywa olej o odpowiednich parametrach jakościowych i mechanicznych. Powyżej omówiono konsekwencje nieprawidłowych parametrów jakościowych oleju. Równie ważne są parametry mechaniczne (ciśnienie, ilość). Ważne jest by olej do turbosprężarki doprowadzany był w odpowiedniej ilości pod odpowiednim ciśnieniem (2 – 4 bar). Istotne jest także by olej odpowiednio szybko odpływał ze strefy tarcia oraz korpusu środkowego. Jeśli olej ma niewłaściwe ciśnienie i jeśli w obrębie łożysk ślizgowych jest go zbyt mało spada możliwość tworzenia filmu olejowego. Wzrasta także bardzo szybko temperatura styku, a w korelacji z obrotami wirnika rzędu 200 000 obr/min duże wartości osiąga wydzielane ciepło tarcia.

Przyczyny chwilowych przerw w dostarczeniu oleju do turbosprężarki wynikają z:

- niedopełnienia czynności serwisowych – brak oleju w czasie pierwszego uruchomienia po zamontowaniu nowej bądź regenerowanej turbosprężarki,
- spadku sprawności układu smarowania – zmniejszenie waporowej sprawności pompy oleju na skutek zużycia, zanieczyszczenie (zaczopowanie) kanałów olejowych i filtra oleju etc.,

- błędach eksploatacyjnych – długa przerwa w użytkowaniu pojazdu, niedopełnienie okresowych czynności serwisowych, długotrwała praca silnika pod dużym obciążeniem przy niskich prędkościach obrotowych.



Rys.6. Uszkodzenia elementów turbosprężarek wywołane spadkiem ciśnienia oleju: trwałe zniekształcenia, rysy w obrębie łożysk a), przegrzany (widoczne przebarwienia) wał wirnika b) [6]

Uszkodzenie turbosprężarki wywołane przerwą w dostarczeniu oleju objawia się :

- zniszczeniem w obrębie warstw wierzchnich materiału łożysk i czopu wału wirnika,
- zmianie właściwości fizycznych materiału wału wirnika i łożysk,
- zapieczeniem tulei łożysk w otworach korpusu środkowego,
- termolizą składników oleju (koksowanie) – produkty w postaci nagaru osadzają się w otworach smarujących korpusu środkowego doprowadzając do ich niedrożności (Rys.6.).

2.3 Uszkodzenia spowodowane brakiem oleju

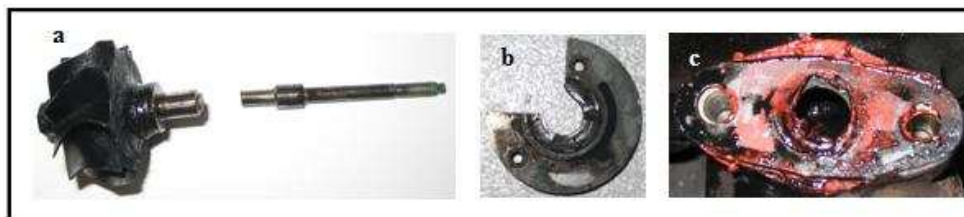
W podrozdziale 2.2 zwrócono uwagę, na uszkodzenia turbosprężarek spowodowane spadkiem parametrów fizycznych oleju. Większy wpływ od parametrów fizycznych na widoczne uszkodzenia podzespołów turbosprężarki ma chwilowy, ale całkowity brak smarowania. Temperatura w węzłach tarcia bardzo szybko przekracza wartości krytyczne. Kilka sekund pracy turbosprężarki w warunkach braku smarowania doprowadza do zniszczenia.

Brak smarowania i zarazem chłodzenia węzłów tarcia może wynikać z:

- niedrożnego bądź niesprawnego układu smarowania silnika – utrudniony przepływ oleju przez kanały po stronie dopływu i odpływu oleju z turbosprężarki (zgięcie, złamanie bądź niedrożność przewodu doprowadzającego lub odprowadzającego olej, który jest wrażliwym punktem układu turbodoładowania, a jego wymiana nie wchodzi w zakres czynności obsługowych), niesprawna pompa, zaczopowany filtr,
- zbyt niskiego poziomu oleju w misce olejowej, długotrwałej pracy silnika w niewłaściwej pozycji,
- zapowietrzenie układu smarowania – wynikać może m.in. z niewłaściwie działającego układu odpowietrzenia skrzyni korbowej.

Uszkodzenie turbosprężarki wywołane brakiem oleju objawia się :

- natychmiastowym zatarciem wału wirnika w łożyskach poprzecznych – w wyniku tego procesu dochodzi także do ścięcia zabezpieczeń utrzymujących pojedynczą tulejkę łożyska we właściwym położeniu a nawet do rozerwania wału,
- zniekształceniem płytki łożyska wzdłużnego,
- zapieczeniem pierścieni uszczelniających w rowkach (Rys.7.).



Rys.7. Uszkodzenia elementów turbosprężarek wywołane brakiem oleju: ukrecony wał wirnika w wyniku zatarcia łożysk a), stopiona powierzchnia trąca łożyska wzdłużnego b), niedrożny przewód odprowadzający olej z turbosprężarki w wyniku niewłaściwej naprawy (gruba warstwa silikonowej uszczelki) c) [6]

2.4 Uszkodzenia spowodowane przegrzaniem

Przegrzanie elementów turbosprężarki ma zasadniczo dwa źródła: zbyt wysoka temperatura spalin (dla silników ZS > 850 °C, dla ZI > 1050 °C) oraz nagłe unieruchomienie silnika poprzedzone jazdą ze znacznym obciążeniem i prędkością obrotową. Gorące spaliny silnie nagrzewają (zwłaszcza na drodze przewodzenia) elementy turbosprężarki – w szczególności żeliwnego korpusu turbiny, a także korpusu środkowego.

Nadmiernie wysoka temperatura spalin wynika m.in. z:

- niesprawności układu zasilania silnika – niewłaściwa praca wtryskiwaczy, zużyte (cieknące) końcówki rozpylacza, niesprawność jednostki sterującej wtryskiem,
- niesprawności układu sterowania silnikiem – m.in. nieprawidłowo działający czujnik ciśnienia doładowania,
- niesprawności układu wydechowego – utrudniony wylot spalin w wyniku np. zapchanego filtra cząstek stałych.

Uszkodzenie turbosprężarki wywołane zbyt wysoką temperaturą gazów spalinowych objawia się:

- zniekształceniem (w wyniku nadtopienia) oraz korozją wysokotemperaturową łopatek turbiny – obserwowane jest także zjawisko ablacji (erozja materiału pod wpływem przepływu gazów o dużej entalpii)
- pęknięciem korpusu turbiny – szczególnie niebezpieczne są naprężenia termiczne powstałe w wyniku nagłego schłodzenia (np. strumieniem wody padającym na rozgrzaną turbinę),
- zniekształceniem innych elementów mających kontakt z gorącymi spalinami – szczególnie przylgni zaworu upustowego, mechanizmu zmiennej geometrii łopatek kierownicy,

- gromadzeniem się nagaru (powstałego w wyniku koksowania oleju) w wewnętrznych przekrojach turbiny – w rowkach pierścieni, oraz na samych pierścieniach uszczelniających na wałku wirnika turbiny i korpusie, w kanałach doprowadzających olej do łożysk jak i w samych łożyskach (Rys.8).

Jak zauważono nagłe unieruchomienie silnika z nagrzaną i rozpędzoną turbosprężarką (temp. wirnika turbiny ≈ 600 °C, prędkość $\approx 200\,000$ obr/min) doprowadza także do nieporządnego zjawiska przegrzania. Po wyłączeniu silnika na koło wirnika turbiny przestają docierać spaliny, równocześnie gwałtownie spada ciśnienie i ilość oleju dopływającego i odpływającego z turbosprężarki. Olej bardzo szybko nagrzewa się w procesie przewodzenia ciepła i w krótkim czasie osiąga temperaturę koksowania. W kanałkach smarujących osiada w postaci dławiącego przepływu nagaru. Wirnik turbosprężarki, nie zatrzymuje się od razu – obraca się wielokrotnie nim wyhamuje. Olej, który znajduje się w łożyskach nie zapewnia tworzenia odpowiedniej warstwy filmu, dochodzi do przegrzania styku i osłabienia warstwy wierzchniej. Naprężenia termiczne powstają także w wałku wirnika, przyczyniając się do utraty osiowości, co wiąże się z niewyważeniem. Nawet jednorazowe doprowadzenie turbosprężarki do pracy w takich warunkach najczęściej kończy się jej zniszczeniem. Zaleca się pozostawienie pracującego silnika w warunkach biegu jałowego przez czas ok. 1 min. Gazy spalinowe będą miały w tych warunkach temperaturę około 80 °C oraz niewielką prędkość, wirnik zostanie wyhamowany, a temperatura oleju wewnątrz korpusu nie przekroczy temperatury koksowania.



Rys.8. Uszkodzenia elementów turbosprężarek wywołane zbyt wysoką temperaturą spalin: zniekształcone łopatki koła turbiny a), nagar olejowy zgromadzony w korpusie środkowym b), pęknięcie korpusu turbiny c) [6], [3]

2.5 Uszkodzenia spowodowane przez ciało obce

Uszkodzenie tego typu powstaje w następstwie przedostania się ciał obcych do układu dolotowego lub wylotowego. Mechanizm powstawania uszkodzenia jest erozyjny i zależy od wielkości ciała przedostającego się na łopatki wirnika. Nawet najmniejszy element niesiony wraz ze strumieniem spalin lub powietrza trafiając na koło wirnikowe, w wyniku znacznej energii strumienia gazu, silnie oddziałuje z łopatkami.

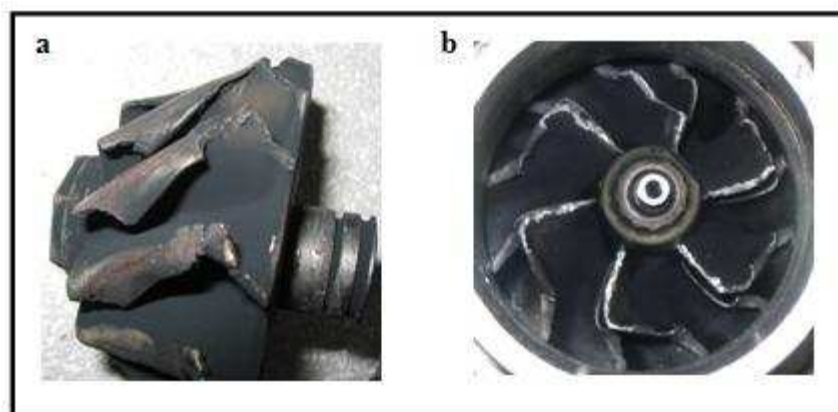
Ciała obce przedostające się na koła wirnikowe sprężarki lub turbiny pochodzą z:

- po stronie układu dolotowego – nieszczelnego układu dolotowego, nadmiernie zanieczyszczonego i zużytego filtra powietrza, pozostawienia w obrębie kanału dolotowego obcych ciał po montażu lub naprawie (podkładki, nakrętki), wykruszenia fragmentów króćców i łączników etc.,
- po stronie układu wylotowego – części silnika: fragmenty zaworów, gniazd, prowadnic, tłoków, pierścieni, świec żarowych, wtryskiwaczy etc., twarde cząstki nagaru, rdzy.

Objawy związane z uszkodzeniem turbosprężarki przez ciała obce:

- zniekształcenie geometrii łopatek koła wirnikowego turbiny i sprężarki – od niewielkich ubytków materiału na zewnętrznych powierzchniach łopatek po całkowite zniszczenie wirnika, pęknięcie korpusu,
- ubytek materiału w kanałach korpusu (turbiny i sprężarki),
- zniekształcenie, zniszczenie innych elementów – łopatek zmiennej geometrii stojana turbiny, przylgni zaworu upustowego (Rys.9.).

W wyniku przedostania się ciała obcego w obręb pracy wirników turbosprężarki powstają rozległe uszkodzenia, w najlepszym przypadku doprowadzając do spadku sprawności sprężania lub rozprężania. Spadek sprawności objawia się dyssypacją energii w postaci szmerów i gwizdów. Nawet najmniejsze uszkodzenie wywołuje niewyrównoważenie sił i w związku z tym szybko postępujące zniszczenie zespołu. Często zdarzają się uszkodzenia tak rozległe, że wykluczają jakąkolwiek naprawę.



Rys. 9. Uszkodzenia elementów turbosprężarek spowodowane przez ciała obce: zniszczona łopatka koła turbiny a), zniszczona łopatka koła sprężarki b) [6]

3. ZAKOŃCZENIE

Wprowadzenie układów turbodoładowania w silnikach spalinowych jest powszechnie stosowanym zabiegiem pozwalającym na zwiększenie mocy jednostkowej silnika, polepszenie sprawności ogólnej, zmniejszenie emisji jednostkowej składników toksycznych spalin. Głównym elementem układu turbodoładowania jest turbosprężarka, która z silnikiem połączona jest więzią termodynamiczną (w sensie mechanicznym silnik i turbosprężarka pracują niezależnie). Turbosprężarka jest precyzyjną maszyną przepływową, o względnie prostej i zwartej konstrukcji. Pracuje jednak w trudnych warunkach wysokiej temperatury i agresywnych chemicznie gazów. Wymagane jest perfekcyjne smarowanie łożysk ślizgowych wirnika, a olej pochodzący z magistrali smarującej silnika, spełnia ponadto funkcje czynnika chłodzącego. Bardzo ważnym elementem wpływającym na trwałość turbosprężarki, jest odpowiednie eksploatowanie silnika, z którym turbosprężarka współpracuje. Omówione powyżej błędy w eksploatacji (lecz także w obsłudze serwisowej) wskazują, że w celu zapewnienia długotrwałej i bezawaryjnej pracy turbosprężarki należy zwracać szczególną uwagę na: częstą wymianę oleju (średnio dla samochodów osobowych co 10 tyś. km i nie rzadziej jak raz do roku) oraz filtra oleju (stosując filtr oryginalny lub sprawdzonej marki), czystość filtra powietrza (ważna jest jego czystość a nie okres po którym jest wymieniony – praktyka wskazuje, że jeśli pojazd pracuje w warunkach dużego zapylenia filtr należy wymieniać częściej niż zaleca producent), szczelność i czystość pozostałych elementów układu dolotowego (drożność chłodnicy powietrza doładowanego, prawidłowość działania czujnika ciśnienia powietrza doładowanego) oraz brak uszkodzeń mechanicznych, czystość magistrali olejowej (zalecane jest płukanie silnika oraz sprawdzenie drożności kanałów olejowych), sprawdzenie wydatku i ciśnienia pompy olejowej, właściwie działający układ zasilania, wykonywanie czynności eksploatacyjno – obsługowych w renomowanych i sprawdzonych warsztatach naprawczych (z możliwością uzyskania gwarancji na fachowość wykonanych czynności).

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Chmielniak T.: *Turbiny cieplne. Podstawy teoretyczne*, Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 1998.
- [2] Idzior M.: Nowe metody rozwiązywania problemów współczesnych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej* nr 3 (66) 2007.
- [3] Turbocharger Technician's Guide, Detroit/Michigan, Detroit Diesel Corporation 1994.
- [4] Wisłocki K.: *Systemy doładowania szybkoobrotowych silników spalinowych*, Warszawa, WKiŁ 1991.
- [5] Witkowski A.: *Sprężarki wirnikowe. Teoria, konstrukcja, eksploatacja*, Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2004.
- [6] Materiały zebrane z praktyki rzeczoznawczej autorów
- [7] Materiały www: www.popularmechanics.com.