



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



SAMORZĄD WOJEWÓDZTWA  
WIELKOPOLSKIEGO  
WOJEWÓDZKI URZĄD PRACY  
W POZNANIU

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Maciej Bieliński**

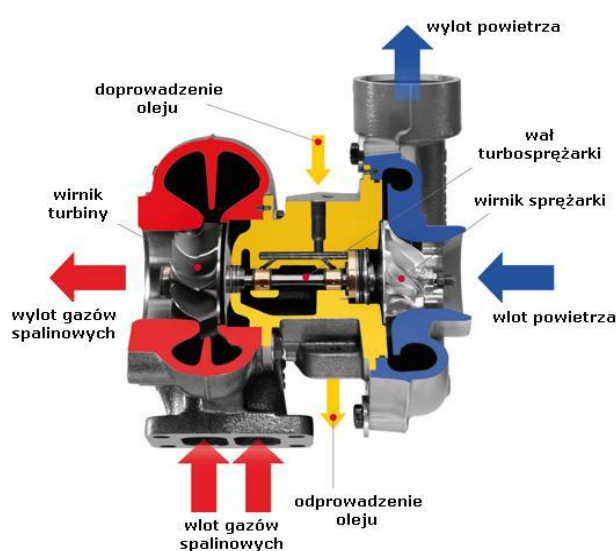
**Politechnika Poznańska**

Stypendysta projektu pt. „Wsparcie stypendialne dla doktorantów na kierunkach uznanych za strategiczne z punktu widzenia rozwoju Wielkopolski”, Poddziałanie 8.2.2 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki

## Identyfikacja przyczyn uszkodzeń turbosprężarek silników spalinowych w aspekcie ich wskaźników pracy i emisji toksycznych składników spalin

Doładowanie silnika spalinowego polega na dostarczeniu do cylindrów świeżego ładunku o zwiększonej gęstości, co umożliwia doprowadzenie większej masy paliwa, nie zmieniając współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda$ . Celem procesu jest maksymalizowanie mocy jednostkowej i sprawności silnika, ale również zmniejszenie emisji jednostkowej składników toksycznych spalin. Turbodoładowanie należy do grupy doładowania sprężarkowego ze sprężarką przepływową. Podstawowym podzespołem systemu jest turbosprężarka – maszyna przepływowa, w której wirnik turbiny i sprężarki zamontowany jest na wspólnym wale (rys. 1).

W systemach turbodoładowania stosowanych najczęściej w pojazdach samochodowych wykorzystuje się osiowo-promieniowe koła wirnikowe sprężarek i turbin. Koła wirnikowe sprężarek 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 aluminiowym korpusem. Koło wirnikowe turbiny wykonane jest również w formie otwartej i najczęściej połączone jest na stałe z wałkiem wirnika. Materiałami na koło turbiny są najczęściej wysokostopowe stале



Rys. 1. Przekrój typowej turbosprężarki  
(<http://www.mahle-aftermarket.com>)

żarowytrzymałe, stopy niklu, kadmu, tytanu i inne. Stopień turbinowy może być wyposażony, lecz nie musi w kierownicę, najczęściej o możliwości zmiany kąta pochylenia łopatek, co pozwala regulować wydatek turbiny. Napływ i wypływ spalin z koła turbiny ograniczony jest żeliwnym korpusem.

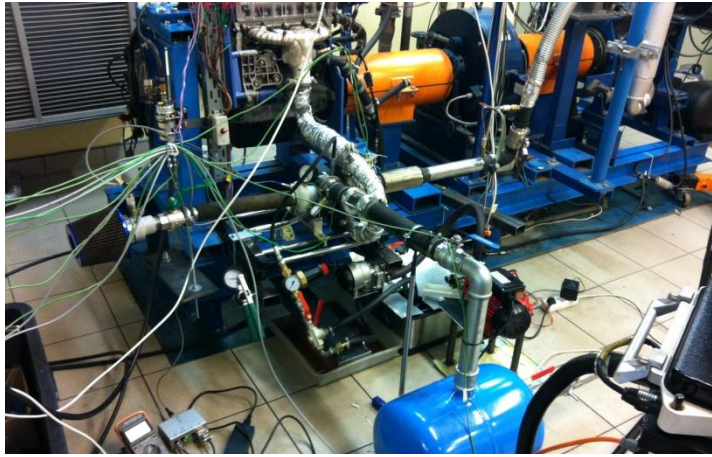
Turbosprężarka posiada złożony system łożyskowania. Wirnik łożyskowany jest ślizgowo: poprzecznie i wzdłużnie. Łożyska poprzeczne występują w formie tulei lub tulejek wykonanych ze stopu miedzi, a tuleja łożyska w korpusie środkowym może być osadzona na stałe lub pływająco. Łożysko poprzeczne składa się z dwóch części: płytki wykonanej ze stopu miedzi osadzonej na stałe w korpusie oraz z ruchomego talerzyka ze stali stopowej. 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 po stronie turbiny oraz za pomocą uszczelki po stronie sprężarki. Typowy układ turbodoładowania zawiera prócz turbosprężarki chłodnicę powietrza doładowanego, czujniki ciśnienia i temperatury powietrza i spalin oraz 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.

W pracy skupiono się przede wszystkim na identyfikacji przyczyn uszkodzeń turbosprężarek. Aby skutecznie analizować te zjawiska, poza wymienionymi parametrami konstrukcyjnymi należy zwrócić uwagę się również na warunkach eksploatacji urządzenia. Ze względu na bardzo wysoką prędkość obrotową rozwijaną przez wirnik oraz znaczną temperaturę spalin wymagane jest perfekcyjne działanie układu smarowania turbosprężarki. Szczególnie ważna jest drożność kanałków olejowych 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 niskich jej wartościach olej wykazuje znaczne opory przeciskania przez posiadające małe średnice kanałki smarujące, z kolei przy zbyt wysokiej temperaturze pogarszają się właściwości smarne, spada pojemność cieplna i w rezultacie 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  $\pm 10\%$  prędkości maksymalnej), odpowiedzialna za wartość sił odśrodkowych, w połączeniu z wysoką temperaturą gazów spalinowych omywających wirnik turbiny doprowadzić może m.in. do zjawiska pełzania 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 zarówno koła turbiny, jak i koła sprężarki, czy to w wyniku zbyt wysokiej temperatury, czy prędkości obrotowej, pogarsza m.in. sprawność ekspansyjną. Zniekształcenie doprowadzić może również do niebezpiecznego w skutkach niewyważenia zespołu wirnika, stanowiącego przyczynę drgań układu. W takich sytuacjach pojawiają się siły poprzeczne, które doprowadzają do szybkiego (czas pracy niewyważonego wirnika może wynosić kilka sekund) i postępującego zużycia elementów turbosprężarki.. W związku z powyższym, powszechnie uważa się, że w procesie eksploatacji turbosprężarek, zakres ich dopuszczalnego zużycia jest niewielki.

Przedstawiony skrótowy opis konstrukcji typowej turbosprężarki pokazuje, że składa się ona zaledwie z kilku głównych podzespołów oraz kilkunastu części. Wnioskować można zatem, że tego typu układ powinien pracować bezawaryjnie przez cały okres eksploatacji pojazdu. Praktyka w tym przypadku wskazuje jednak inaczej. Turbosprężarka jest podzespołem stosunkowo prostym, wykonanym jednak bardzo precyzyjnie i pracującym w warunkach eksploatacyjnych, które uznać należy za trudne. Nie jest łatwo określić przeciętnie żywotność całego zespołu. Zdarza się, że np. w samochodach ciężarowych, które przejechały około 1 mln kilometrów turbosprężarka nie wykazuje praktycznie żadnych śladów zużycia np. niewielkie, płytkie rysy na powierzchni łożysk. Zdarzają się jednak również i takie przypadki, że po jednokrotnym uruchomieniu silnika z założoną nową turbosprężarką dochodzi do zużycia awaryjnego (zniszczenia) jej podzespołów. Ze względu na niekorzystne warunki pracy: m.in. wysoką temperaturę spalin, bardzo wysokie prędkości obrotowe dochodzące nawet do 250 000 obr/min, precyzyjną konstrukcję oraz utrudnioną zabudowę, turbosprężarkę należy uznać za podzespół szczególnie narażony na uszkodzenia i awarie. Świadczą o tym dane pokazujące rosnącą liczbę awarii tego rodzaju podzespołów, co wynika między innymi ze zwiększającej się liczby pojazdów w których montowane są turbosprężarki. Znaczny koszt nowej turbosprężarki oraz relatywnie łatwy jej demontaż powiązany w Polsce z szerokim dostępem do części powodują, że na rynku funkcjonuje coraz więcej firm regenerujących tego typu urządzenia (kilkanaście w samej Wielkopolsce). Skuteczność napraw, prowadzonych w tego typu zakładach, jest różna reprezentując niejednokrotnie niski poziom, co wynika z braku wiedzy, zarówno praktycznej jak i teoretycznej, nieodpowiedniego przeszkolenia personelu oraz wielu innych czynników. Proces regeneracji jest w pełni akceptowalnym z punktu widzenia użytkownika regenerowanych turbosprężarek, stanowiąc jednocześnie dobry przykład metody pozwalającej na ochronę środowiska poprzez zastosowanie recyklingu.

Prowadzone badania w zakresie analizy uszkodzeń turbosprężarek zawierają w sobie projekt jak i wykonanie stanowiska umożliwiającego kontrolę poprawności przeprowadzonej usługi (rys. 2).



Rys. 2. Stanowisko do badań turbosprężarek  
(autor zdj. Maciej Bieliński)

Użycie stanowiska ma w zamierzeniu w znacznym stopniu poprawić konkurencyjność regenerowanych podzespołów

w stosunku do ich nowych odpowiedników. Ma to niewątpliwie znaczący aspekt ekonomiczny szczególnie dla wspomnianych wyżej zakładów zajmujących się regeneracją turbosprężarek oraz wiele zakładów mechaniki pojazdowej, które również wykonują naprawy tego typu. Wdrożenie wyników pracy doktorskiej może podnieść jakość świadczonych usług oraz dodatkowo obniżyć koszt naprawy uszkodzonych podzespołów przyczyniając się tym samym do ochrony środowiska i zmniejszenia zużycia zasobów naturalnych, poprzez recykling elementów nadających się do ponownego wykorzystania. Na tym etapie wyłączone są więc problemy kraju związane z gospodarką i utylizacją odpadów.