

Dariusz KURCZYŃSKI, Augustyn ADRIAN

ANALIZA USZKODZEŃ WTRYSKIWACZY UKŁADÓW ZASILANIA COMMON RAIL

Układ zasilania tłokowego silnika spalinowego w ostatnich kilkunastu latach ulegał intensywnemu rozwojowi. Rozwój ten był wynikiem rygorystycznych wymagań stawianych silnikom, związanych z dążeniem do ograniczenia ich szkodliwego oddziaływania na środowisko. W celu zmniejszenia zużycia paliwa oraz emisji szkodliwych składników spalin wprowadzono nowe rozwiązania konstrukcyjne układów zasilania. Prawidłowa i długotrwała ich praca, a tym samym spełnienie wymagań stawianych silnikom w istotny sposób zależy od prawidłowej ich eksploatacji oraz jakości stosowanego paliwa. W artykule krótko scharakteryzowano układy zasilania Common Rail powszechnie stosowane we współczesnych silnikach o zapłonie samoczynnym. Przedstawiono w postaci dokumentacji fotograficznej uszkodzenia elementów wtryskiwaczy stosowanych w układach zasilania Common Rail. Określono przyczyny tych uszkodzeń. Największy wpływ na długotrwałą i bezawaryjną eksploatację wtryskiwaczy ma jakość paliwa stosowanego do zasilania silników o zapłonie samoczynnym wyposażonych w układ zasilania Common Rail.

WSTĘP

Rudolf Diesel pierwszy silnik o zapłonie samoczynnym uruchomił w 1895 roku [18]. Publicznie zaprezentowany został on w 1897 roku. Był to silnik jednocylindrowy w którym do cylindra zasysane było czyste powietrze sprężane do ciśnienia około 3,5 MPa. W nagrzanym na skutek sprężania powietrze wdmuchiwane było przez dyszę wtryskową dokładnie rozpylone paliwo, którego ciśnienie musiało być większe niż ciśnienie sprężonego powietrza. Ciśnienie powietrza konieczne do wdmuchiwania paliwa uzyskiwane było przez zainstalowaną na silniku sprężarkę. Skomplikowany układ zasilania był jednak zawodny i uniemożliwiał uzyskiwanie większych prędkości obrotowych wału korbowego. Silnik skonstruowany przez Rudolfa Diesla był silnikiem wolnoobrotowym i znalazł początkowo zastosowanie głównie w przemyśle. Jego zaletą była większa sprawność i mniejsze zużycie paliwa w porównaniu do silników o zapłonie iskrowym. Na początku XX wieku zaczęto go stosować do napędu statków i lokomotyw kolejowych. Do napędu pojazdów samochodowych wymagany był silnik szybkoobrotowy. Dalszy rozwój silników o zapłonie samoczynnym był możliwy dzięki skonstruowaniu przez Roberta Boscha wielosekcyjnej rzędowej pompy wtryskowej, której seryjna produkcja rozpoczęła się w 1927 roku [21]. Wynalazek ten doprowadził do zastosowania silników o zapłonie samoczynnym w samochodach ciężarowych, a później w samochodach osobowych. Pierwszy układ z wielosekcyjną pompą wtryskową został zastosowany w 1928 roku do silnika o zapłonie samoczynnym samochodu ciężarowego firmy MAN [17]. Pompy te stosowano powszechnie w samochodach ciężarowych do końca XX wieku. Konstrukcja tych pomp była doskonała w całym okresie ich stosowania. Sterowanie mechaniczne zastąpiono sterowaniem elektronicznym, które poprawiło właściwości układów zasilania z pompami rzędowymi. Pozwoliło to na poprawę wskaźników pracy silnika, zwiększenie ich elastyczności, zmniejszenie hałasu i emisji szkodliwych składników spalin. Firma MAN rzędowe pompy wtryskowe stosowała najdłużej w układach zasilania silników napędzających samochody ciężarowe.

W latach sześćdziesiątych wprowadzono do stosowania układy zasilania z pompą rozdzielaczową. Zastąpiły one częściowo wielosekcyjne rzędowe pompy wtryskowe. Sekcje pompy rzędowej zastąpiono jedną sekcją, która poprzez rozdzielacz tłoczy paliwo do poszczególnych cylindrów silnika. Pompy tego typu charakteryzują się mniejszymi wymiarami i masą oraz mniejszą hałaśliwością pracy. Pompy rozdzielaczowe były stosowane w układach zasilania silników w samochodach osobowych i dostawczych oraz w silnikach do zastosowań pozadrogowych.

W latach dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku do zasilania silników samochodów ciężarowych w Europie wprowadzono układy zasilania z pompowtryskiwaczami i układy zasilania z indywidualnymi pompami wtryskowymi [17]. Pompowtryskiwacz to konstrukcja, w której w jednym elemencie umieszczono pompę wytwarzającą wysokie ciśnienie paliwa i wtryskiwacz. Wyeliminowano przewody wysokiego ciśnienia, które są źródłem nierównomierności dawkowania paliwa do poszczególnych cylindrów i utrudniają precyzyjne i powtarzalne sterowanie przebiegiem wtrysku. Na każdy cylinder przypada jeden pompowtryskiwacz napędzany za pomocą wałka krzywkowego. W przypadku układów z indywidualnymi pompami wtryskowymi, na każdy cylinder przypada oddzielna pompa wysokiego ciśnienia połączona z wtryskiwaczem krótkim przewodem wysokociśnieniowym. Tego typu układy były stosowane tylko w dużych silnikach wykorzystywanych do napędu samochodów ciężarowych. Zarówno do układów z pompowtryskiwaczami jak i z indywidualnymi pompami wtryskowymi zastosowano sterowanie elektroniczne. Dzięki takiemu sterowaniu można uwzględnić znacznie większą ilość parametrów mających wpływ na dobór dawki paliwa oraz przebieg wtrysku paliwa do warunków pracy silnika, a tym samym spełnić wymagania stawiane silnikom.

Rozwój tłokowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym, zwłaszcza o małych pojemnościach skokowych, stosowanych do napędu samochodów osobowych, był ograniczony możliwością zwiększenia prędkości obrotowych wału korbowego. Wynikało to z dość dużego kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego opóźnieniu samozapłonu paliwa. Duże opóźnienie samozapłonu paliwa w cylindrze powoduje twardą pracę silnika i znaczne obciążenia mechaniczne układu korbowo-tłokowego. Silniki o zapłonie

samoczynnym w porównaniu do silników o zapłonie iskrowym, odznaczały się dużym ciężarem, większą hałaśliwością pracy silnika i mniejszą mocą uzyskiwaną z objętości skokowej cylindra. Z tych powodów silniki te znalazły zastosowanie głównie w dużych samochodach ciężarowych, znacznie mniejsze w osobowych. Poprawę tej sytuacji szukano na drodze działań mających na celu skrócenie czasu opóźnienia samozapłonu paliwa. Stosowane klasyczne pompy wielosekcyjne oraz pompy rotacyjne nie pozwalały na uzyskiwanie coraz większych ciśnień, które były niezbędne do poprawy warunków tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej w cylindrze i jej samozapłonu. Udoskonalenie układów zasilania z pompowtryskiwaczami oraz zastosowanie układów zasilania Common Rail z elektronicznie sterowanymi wtryskiwaczami pozwoliło na wyeliminowanie dotychczasowych wad silnika o zapłonie samoczynnym. Nowoczesne silniki o zapłonie samoczynnym mają mniejszy ciężar, są mniej hałaśliwe, a przede wszystkim pozwalają na uzyskiwanie wskaźników pracy silnika, takich jak moc i moment obrotowy, porównywalnych ze współczesnymi silnikami o zapłonie iskrowym, przy mniejszym zużyciu paliwa.

1. UKŁAD ZASILANIA COMMON RAIL

W latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku firma Fiat realizowała projekt, którego celem było opracowanie nowego typu układu zasilania do silników o zapłonie samoczynnym [22]. Powstała wówczas koncepcja zasobnikowego układu zasilania Common Rail. Nazwa tego typu układu zasilania pochodzi od najbardziej charakterystycznego elementu w układzie jakim jest zasobnik paliwa. Jest to mało skomplikowany element układu. Prace w ramach wspomnianego projektu realizowane były w latach od 1987 do 1990 przez firmę Magneti Marelli i przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Fiata w Orbassano oraz przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Elasis [22]. Okres przedprodukcyjny trwał do 1993 roku. W 1994 roku projekt dotyczący układu zasilania Common Rail odstąpiony został firmie Bosch. Dalszy rozwój tego układu realizowany przez firmę Bosch doprowadził do rozpoczęcia w 1997 roku jego produkcji seryjnej i sprzedaży [10]. Pierwszym samochodem wyposażonym w 1997 roku w nowy układ zasilania Common Rail był Alfa Romeo 156 JTD. Przez pierwsze dwa lata produkcji firmy Fiat i Bosch miały wyłączność na ten układ. Później został on wprowadzony na resztę rynku motoryzacyjnego [22]. Do chwili obecnej firma Bosch wprowadziła na rynek trzy generacje układów Common Rail do samochodów osobowych oraz cztery generacje do samochodów ciężarowych. Producentami układów zasilania typu Common Rail są również inne firmy zajmujące się produkcją różnych komponentów dla motoryzacji. Są to takie znane firmy jak: Delphi, Denso i Siemens.

Pierwsza, wprowadzona do powszechnego stosowania w 1997 roku przez firmę Bosch, generacja układów zasilania Common Rail stosowanych w silnikach do napędu samochodów osobowych charakteryzowała się ciśnieniem wtrysku wynoszącym 135 MPa [16]. Zastosowano w nich trójtłoczkową pompę wysokiego ciśnienia oznaczoną symbolem CP1 oraz wtryskiwacze elektromagnetyczne pierwszej generacji CR11. Drugą generację układu zasilania Common Rail firma Bosch wprowadziła do stosowania już w 2001 roku. Zastosowano w nich wtryskiwacze elektromagnetyczne nowej konstrukcji oraz trójtłoczkowe pompy wysokiego ciśnienia pozwalające uzyskiwać ciśnienia w zależności od typu, od 145 MPa do 180 MPa. Układ Common Rail firmy Bosch trzeciej generacji dedykowany do samochodów osobowych i lekkich dostawczych wiąże się z wprowadzeniem do stosowania wtryskiwaczy piezoelektrycznych. Możliwe do osiągnięcia w nim ciśnienia wtrysku wynoszą do 220 MPa. W tej generacji układów nadal stosowane są pompy trójtłoczkowe oraz wprowadzono do stosowania pompy jedno- i dwutłoczkowe.

Firma Bosch układ zasilania Common Rail po raz pierwszy do samochodów ciężarowych wprowadziła w 1999 roku. Charakteryzował się on ciśnieniem wtrysku wynoszącym 140 MPa. Ciśnienie to wytwarzane było za pomocą pompy rządowej dwutłoczkowej. W drugiej generacji układów zasilania Common Rail do samochodów użytkowych zastosowano trójtłoczkową pompę wysokiego ciśnienia. Trzecia generacja układu zasilania CR wprowadzona została do silników samochodów użytkowych w 2005 roku. Uzyskiwano w niej ciśnienia wtrysku wynoszące 180 MPa [16]. W silnikach samochodów użytkowych firma Bosch wprowadziła również czwartą generację układów zasilania Common Rail. Cechą charakterystyczną tych układów jest to, że ciśnienie z jakim paliwo jest wtryskiwane do cylindra jest wytwarzane dwustopniowo. Najpierw pompa wytwarza ciśnienia paliwa, które jest doprowadzane do zasobnika paliwa i wtryskiwaczy, a następnie ciśnienie jest zwiększane w samym wtryskiwaczu. Wprowadzone zostały do stosowania wtryskiwacze elektromagnetyczne z wzmocniaczem hydraulicznym. Pozwoliło to na uzyskanie ciśnień wtrysku paliwa wynoszących od 220 MPa do 250 MPa przy jednoczesnym obniżeniu ilości elementów obciążonych wysokimi ciśnieniami [16]. Pompy wysokiego ciśnienia w układach czwartej generacji wytwarzają mniejsze ciśnienia niż pompy stosowane w układach trzeciej generacji. Pozwoliło to na zmniejszenie obciążeń mechanicznych elementów układu zasilania wynikających z bardzo dużych ciśnień paliwa. Paliwo w zasobniku jest pod znacznie mniejszym ciśnieniem, niż ciśnienie przy którym realizowany jest wtrysk paliwa.

Układy zasilania Common Rail pozostałych producentów takich jak Delphi, Denso czy Siemens mają zbliżoną budowę do układów zasilania Common Rail firmy Bosch. Różnice dotyczą szczegółów rozwiązań konstrukcyjnych poszczególnych elementów. Firmy Delphi i Denso produkują układy zasilania Common Rail z pompami wysokiego ciśnienia z dwoma różnymi sposobami napędu sekcji tłoczących. Pierwszy z nich typowy dla wszystkich producentów układów zasilania CR to napęd z zewnętrznym pierścieniem krzywkowym umieszczonym na wale napędowym pompy napędzającym 2 lub 3 tłoczki, lub 2 pary tłoczków. Drugi sposób napędu sekcji tłoczących stosowanych w niektórych rozwiązaniach pomp firm Delphi i Denso to wewnętrzny pierścień krzywkowy napędzający jedną lub dwie pary tłoczków [10]. Cechą wyróżniającą pompy wysokiego ciśnienia firmy Denso jest charakterystyczny zewnętrzny przewód łączący poszczególne sekcje ssąco-tłoczące. Dzięki takiemu rozwiązaniu nastąpiło zmniejszenie obciążeń panujących we wnętrzu pompy, wynikających z wytwarzanego ciśnienia paliwa. Dodatkowo, po zastosowaniu technologii powlekania sekcji tłoczących warstwą ceramiczną, uzyskano zwiększenie wytrzymałości i trwałości pompy [11]. Układy zasilania Common Rail różnią się konstrukcją zasobnika paliwa. Mogą one mieć kształt podłużnej rury, kolektora kulistego lub ewentualnie walcowego [6]. Dwa ostatnie typy zasobników znajdują zastosowanie w nowoczesnych generacjach układów Common Rail, a zwłaszcza w asortymencie firmy Delphi. W układach zasilania Common Rail poszczególnych producentów stosowane są wtryskiwacze elektromagnetyczne, a w nowszych konstrukcjach piezoelektryczne. Wtryskiwacze różnych producentów różnią się rozwiązaniami konstrukcyjnymi poszczególnych wewnętrznych elementów wykonawczych.

W każdym układzie zasilania Common Rail wyróżnić można trzy układy składowe: układ niskiego ciśnienia, układ wysokiego ciśnienia i układ elektronicznego sterowania. Układ niskiego ciśnienia odpowiada za przechowywanie paliwa, jego oczyszczanie i dostarczanie do układu wysokiego ciśnienia, w którym wytwarzane jest ciśnienie pod którym paliwo wtryskiwane jest do cylindrów. Pompa niskiego ciśnienia przetłacza paliwo ze zbiornika poprzez filtry do pompy wysokiego ciśnienia. Pompa wysokiego ciśnienia

spręża paliwo i tłoczy do zasobnika paliwa. Przewodami wysokociśnieniowymi paliwo z zasobnika jest dostarczane do wtryskiwaczy. Wtryskiwacze elektromagnetyczne lub piezoelektryczne wtryskują paliwo do komory spalania w cylindrze silnika. Pracą całego układu zasilania kieruje układ elektronicznego sterowania. Za pośrednictwem elementów kontrolnych i sterownika określa on przebieg wtrysku i wielkość wtryskiwanej dawki paliwa w zależności od warunków pracy silnika, opisanych takimi parametrami jak: kąt obrotu wału korbowego, prędkość obrotowa wału korbowego, wartość ciśnienia paliwa w kolektorze paliwa, wartość ciśnienia doładowania, obciążenie silnika, temperatura paliwa, temperatura powietrza, temperatura cieczy chłodzącej oraz masa dostarczonego powietrza.

Układy zasilania z wielosekcyjną pompą wtryskową, z pompą rozdzielaczową, z pompowtryskiwaczami i z indywidualnymi pompami wtryskowymi, różnią się od układów Common Rail tym, że przebieg wtrysku paliwa jest połączony z wytwarzaniem ciśnienia. Przyrost ciśnienia powoduje otwarcie wtryskiwacza i wtrysk paliwa do komory spalania. W układach tych przebieg wytwarzania ciśnienia jest zależny od prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Ponadto w układach tych, poza układem z pompowtryskiwaczami, są przewody wysokociśnieniowe, którymi sprężane przez pompę paliwo jest przetłaczane do wtryskiwaczy w czasie wtrysku. Ma to znaczny wpływ na równomierność dawkowania paliwa oraz powtarzalność przebiegu wtrysku paliwa, a następnie procesu spalania. Cechą charakterystyczną układu zasilania Common Rail oraz jego główną zaletą w porównaniu z pozostałymi typami układów jest to, że przebieg wtrysku paliwa jest oddzielony od przebiegu wytwarzania wysokiego ciśnienia. Wytwarzanie wysokiego ciśnienia w układzie Common Rail jest niezależne od prędkości obrotowej wału korbowego silnika. W wtryskiwaczach panuje ciśnienie takie jak w zasobniku, przy którym paliwo jest wtryskiwane do cylindrów. W wtryskiwaczach stosowanych w układach zasilania Common Rail czwartej generacji do samochodów ciężarowych jest ono zwiększane za pomocą wzmacniacza hydraulicznego.

W układach zasilania Common Rail nastąpił znaczny wzrost ciśnienia wtrysku paliwa w stosunku do poprzednich rozwiązań układów zasilania stosowanych w silnikach o zapłonie samoczynnym. Elektroniczne sterowanie pracą wtryskiwaczy umożliwia podział dawki wtryskiwanego paliwa w jednym cyklu na części. Pozwala to na poprawę procesu spalania, zmniejszenie emisji szkodliwych składników spalin, zmniejszenie zużycia paliwa, zmniejszenie hałaśliwości pracy silnika, poprawę właściwości eksploatacyjnych silników. Powoduje to, że układy Common Rail są obecnie najczęściej stosowane do zasilania silników spalinowych o zapłonie samoczynnym, a wcześniejsze rozwiązania układów zasilania wychodzą z użycia. Układy Common Rail uważane są za przyszłościowe, ponieważ umożliwiają swobodną regulację ciśnienia wtrysku oraz dowolną regulację procesu wtrysku paliwa.

2. KIERUNKI ROZWOJU UKŁADÓW ZASILANIA SILNIKÓW O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

Rozwój współczesnych tłokowych silników spalinowych wymuszony jest koniecznością ograniczenia negatywnego wpływu tłokowych silników spalinowych na środowisko [2, 3, 12, 15, 19]. Firmy produkujące samochody napędzane tłokowymi silnikami spalinowymi, aby móc je sprzedawać na różnych rynkach muszą spełnić coraz bardziej wymagające normy obniżające emisję szkodliwych związków powstających w procesie spalania paliw w cylindrze i wprowadzanych do atmosfery. Wymusza to konieczność prowadzenia intensywnych badań i prac projektowych pozwalających na opracowywanie nowoczesnych technologii w dziedzinie konstrukcji silnika o zapłonie samoczynnym. Biorąc pod uwagę układy zasilania

największy nacisk kładzie się na rozwój nowoczesnej wysokociśnieniowej aparatury wtryskowej i jej sterowanie.

Układy zasilania silników o zapłonie samoczynnym dzięki nowoczesnym rozwiązaniom pozwalają na obniżenie zużycia paliwa, a tym samym zmniejszenie ilości powstających zanieczyszczeń środowiska, wynikających z stosowania oleju napędowego będącego mieszaniną wielu różnych węglowodorów. Aktualnie w silnikach o zapłonie samoczynnym stosuje się wyłącznie wtrysk bezpośredni przy wykorzystaniu wysokociśnieniowych układów zasilania Common Rail oraz rzadziej pompowtryskiwaczy. Umożliwiły one uzyskanie bardzo wysokich ciśnień wtrysku dochodzących do 220 MPa w przypadku silników samochodów osobowych i 250 MPa w przypadku silników samochodów ciężarowych. Tak wysokie ciśnienia wtrysku, w powiązaniu z elektronicznym sterowaniem przebiegiem wtrysku, pozwoliło zmniejszyć zużycie paliwa i obniżyć emisję szkodliwych związków w spalinach, a tym samym obniżyć koszty eksploatacji [7]. W przyszłości możliwy jest dalszy wzrost ciśnienia wtrysku paliwa nawet do 300 MPa [20].

Przebieg wtrysku paliwa ma wpływ na tworzenie się mieszaniny paliwowo-powietrznej w cylindrze i przebieg procesu spalania [1]. Precyzyjne sterowanie przebiegiem wtrysku jest możliwe dzięki zastosowaniu wtryskiwaczy elektromagnetycznych i piezoelektrycznych. Umożliwiają one podział dawki paliwa wtryskiwanej do cylindra na jeden cykl pracy na kilka części. Prace rozwojowe związane z sterowaniem przebiegiem wtrysku mają na celu oddziaływanie na przebieg wywiązywania się ciepła w cylindrze i poprawę efektywności jego wykorzystania. Zwiększając ciśnienia wtrysku paliwa zwiększa się również liczbę otworków w rozpylaczu i zmniejsza ich średnicę. Pozwala to na poprawę rozpylenia strugi paliwa, ograniczając przy tym głębokość jej penetracji. Ma to wpływ na zmniejszenie zadymienia spalin [8]. Dąży się do zastosowania wtryskiwaczy o zmiennym przekroju wypływu paliwa i dowolnej modyfikacji charakterystyki wtrysku zwłaszcza na obciążeniach częściowych co pozwoli na mniejszą emisję cząstek stałych PM i tlenków azotu [14]. Poza zmniejszaniem średnic otworków rozpylacza dąży się również do stosowania rozpylaczy ministudzienkowych ze stożkowymi otworkami. Umożliwia to zwiększenie prędkości wypływu paliwa, co powoduje zmniejszenie średnic kropeł rozpylanego paliwa, a dzięki temu wpływa na poprawę tworzenia mieszaniny paliwa i powietrza [8]. Ponadto opracowywane są rozpylacze, w których całkowicie wyeliminowano studzienkę, co ma wpływ na obniżenie emisji węglowodorów w spalinach. W przyszłości rozpylacze być może będą wykonane z porowatego materiału, który umożliwi przenikanie cząstek paliwa przez pory w materiale i bardzo dobre rozdrobnienie i wymieszanie paliwa z powietrzem [8]. Możliwe staje się również konstruowanie rozpylaczy o bardzo małych wymiarach, co ma wpływ na zmniejszenie masy jego elementów, a tym samym poprawę własności dynamicznych i zmniejszenie objętości wewnętrznej rozpylacza. Pozwoli to na skrócenie czasu wtrysku. Firma Scania w celu poprawy warunków tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej w cylindrach nowoczesnych silników zastosowała wtryskiwacze obrotowe. Ruch obrotowy wtryskiwacza jest wymuszony za pośrednictwem specjalnej przekładni przez silnik elektryczny.

Wzrost ciśnienia wtrysku paliwa oraz stopnia obciążenia silnika powoduje, że warunki pracy elementów aparatury wtryskowej są coraz trudniejsze. Wymusza to konieczność stosowania coraz to bardziej wytrzymałych materiałów, które pozwolą na utrzymanie wymaganej charakterystyki pracy układu zasilania w czasie eksploatacji silnika. Nowoczesne materiały stosowane do wytwarzania elementów układu zasilania mają za zadanie poprawić ich wytrzymałość, odporność na ścieranie i korozję. Poza tym muszą być przyjazne dla środowiska. Widoczna jest tendencja stosowania nowoczesnych materiałów takich jak proszki metali oraz tworzywa

sztuczne, które wzmocnione na przykład włóknem szklanym lub polipropylenem, wykorzystuje się do produkcji między innymi zbiorników paliwa i listw paliwowych [7, 13]. Elementy pomp wysokiego ciśnienia wykonywane są przy użyciu nowoczesnych technologii i materiałów takich jak na przykład proszki spiekane. Poszukuje się coraz bardziej wytrzymałych materiałów, zwłaszcza do produkcji rozpylaczy obciążanych coraz większymi ciśnieniami.

Wtryskiwacze mają największy wpływ na przebieg procesu tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej w cylindrach silnika, a następnie na przebieg procesu spalania. Można się spodziewać, że w przyszłości ich konstrukcja będzie modyfikowana i do stosowania wejdą nowe rozwiązania, dzięki którym silniki o zapłonie samoczynnym będą spełniać coraz bardziej rygorystyczne wymagania w zakresie oddziaływania na środowisko. Korzystnym dla tych silników byłoby to, aby wymagania te były spełnione bez konieczności stosowania rozbudowanych układów oczyszczania spalin.

3. WARUNKI PRACY ELEMENTÓW UKŁADU ZASILANIA COMMON RAIL

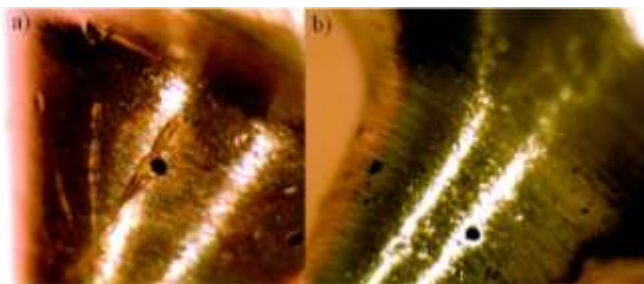
Elementy obwodu wysokiego ciśnienia w układzie zasilania Common Rail pracują w bardzo trudnych warunkach. Poddawane są one wysokim ciśnieniom, obciążeniom mechanicznym, obciążeniom cieplnym, przepływom paliwa z bardzo dużymi prędkościami oraz oddziaływaniu chemicznemu składników paliwa. Warunki pracy elementów obwodu wysokiego ciśnienia układu zasilania są wynikiem wysokich ciśnień wytwarzanych w układzie, osiągających w najnowszych rozwiązaniach układów Common Rail wartości nawet do 220 MPa w przypadku silników samochodów osobowych i 250 MPa w przypadku silników napędzających samochody ciężarowe. Paliwo sprężone do tak dużych ciśnień uzyskuje wysoką temperaturę co generuje obciążenia cieplne elementów układu zasilania. Poza tym wtryskiwacz jest osadzony w głowicy silnika, a sama końcówka rozpylacza znajduje się w komorze spalania. Jest to źródło bardzo dużych obciążeń cieplnych wtryskiwaczy. Współpracujące elementy pomp wysokiego ciśnienia i wtryskiwaczy stosowanych w układach zasilania Common Rail wykonane są z bardzo dużymi dokładnościami przy zastosowaniu coraz to mniejszych tolerancji i pasowań. Dla przykładu luz prowadzenia iglice rozpylacza wynosi tylko 0,002 mm [23]. Współpraca par precyzyjnych w wysokociśnieniowych pompach paliwa i wtryskiwaczach układów zasilania jest możliwa tylko przy zapewnieniu właściwego ich smarowania i chłodzenia. Czynnikiem smarnym i chłodniczym w przypadku wtryskiwaczy może być tylko i wyłącznie paliwo, które jest sprężane do wysokiego ciśnienia, a następnie wtryskiwane do cylindra. Pompy wysokiego ciśnienia również zazwyczaj są smarowane i chłodzone paliwem. Spotyka się również rozwiązania konstrukcyjne, w których pompy te smarowane i chłodzone są olejem silnikowym. Paliwo stosowane do zasilania silników o zapłonie samoczynnym wyposażonych w układy zasilania Common Rail, w celu zapewnienia długotrwałej pracy elementów aparatury wtryskowej, musi spełniać bardzo rygorystyczne wymagania. Między innymi musi charakteryzować się dobrymi właściwościami smarnymi i zdolnością do odprowadzania ciepła. W układzie zasilania, na powrocie paliwa nadmiarowego mającego wysoką temperaturę do zbiornika, musi być umieszczona chłodnica paliwa. Pozwala to na odbieranie ciepła od paliwa, które chłodzi aparaturę paliwową i pozwala również poprawić bezpieczeństwo eksploatacji samochodu. Wytwarzanie wysokiego ciśnienia w układzie zasilania powoduje również duże siły działające na elementy układu i generuje w nich bardzo duże naprężenia. Powoduje to konieczność stosowania materiałów o bardzo dużej wytrzymałości. Poza tym elementy układów zasilania pracują w kontakcie z paliwem, w którym mogą znaj-

dować się różnego rodzaju związki chemiczne, również takie, które mogą powodować korozję. Paliwo w elementach układu zasilania przepływa z dużymi prędkościami, co również nie jest bez znaczenia dla niezawodności pracy tego układu. Strugi paliwa wypływające z otworków rozpylacza poruszają się z bardzo dużą prędkością. Ze względu na położenie rozpylacza w komorze spalania i duże ciśnienia w nim panujące podlega on ciągłym i zmiennym obciążeniom mechanicznym i cieplnym. Opisane powyżej warunki pracy układu zasilania, a zwłaszcza elementów obwodu wysokiego ciśnienia, sprzyjają procesom zużycia: ściernego, erozyjnego, kawitacyjnego, korozyjnego i zmęczeniowego.

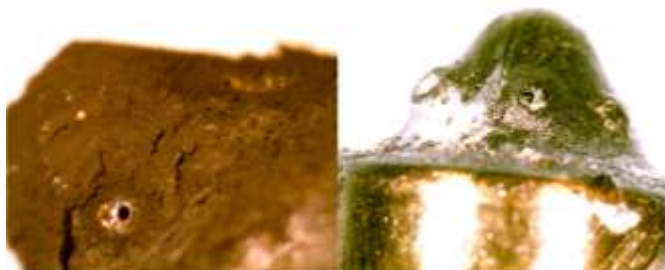
4. USZKODZENIA WTRYSKIWACZY UKŁADÓW ZASILANIA COMMON RAIL I ICH PRZYCZYNY

Uszkodzenia elementów aparatury wtryskowej układów zasilania Common Rail mogą być wynikiem normalnej, długotrwałej pracy w trudnych warunkach oraz mogą być efektem niewłaściwej eksploatacji silników, to znaczy zasilania ich paliwami złej jakości, nie spełniającymi znormalizowanych wymagań w zakresie właściwości, zwłaszcza zawartości zanieczyszczeń, składu chemicznego, właściwości smarnych. Niewłaściwa eksploatacja to również nie przestrzeganie terminów wymiany filtrów i płynów eksploatacyjnych. W artykule przedstawiono przykłady uszkodzeń wtryskiwaczy Common Rail opracowane na podstawie dokumentacji fotograficznej udostępnionej przez Firmę „Bosch Service Pawlik” z siedzibą w Stalowej Woli [5].

Uszkodzenia elementów aparatury wtryskowej można podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne. Uszkodzenia zewnętrzne dotyczą zewnętrznych powierzchni i są najczęściej wynikiem niewłaściwego demontażu i montażu. Niewłaściwy demontaż czy też montaż wtryskiwaczy może wynikać na przykład z wykonywania czynności nie zgodnie z technologią producenta, przy wykorzystaniu nie przeznaczonych do tego celu narzędzi i w nieodpowiednich warunkach. Na rysunku 1 przedstawiono przykłady takich uszkodzeń. Uszkodzenia zewnętrzne wtryskiwaczy mogą dotyczyć końcówki rozpylacza i mogą być wynikiem jej umieszczenia w komorze spalania i niewłaściwego przebiegu procesu spalania. Przykłady takich uszkodzeń przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Na powierzchniach zewnętrznych końcówek rozpylaczy nagromadziły się duże ilości nagaru. Otworki rozpylaczy pokazanych na rysunku 3 uległy zakokosowaniu. Iglica rozpylacza pracuje w bardzo trudnych warunkach. Jest ona dokładnie spasowana z gniazdem rozpylacza. Obciążana jest bardzo dużymi ciśnieniami i wykonuje wiele cykli otwierania i zamykania przepływu paliwa w krótkim okresie czasu. Ponadto jest obciążona cieplnie, gdyż końcówka rozpylacza umieszczona jest w komorze spalania. Rozpylacz chłodzony jest przepływającym paliwem. Ekstremalne obciążenia cieplne mają miejsce przy dużych obciążeniach silnika i na przykład jazdy na wybiegu, czy też z góry, kiedy nie jest realizowany wtrysk paliwa i wtryskiwacz nie jest chłodzony wtryskiwanym paliwem. Na rysunku 4 przedstawiono iglice wtryskiwaczy z układu Common Rail, na których powierzchniach widać ślady miejscowego przegrzania.



Rys. 1. Zewnętrzne uszkodzenia końcówek rozpylaczy: a - uszkodzenia rozpylacza spowodowane najprawdopodobniej niewłaściwym demontażem lub montażem wtryskiwacza, który spowodował uszkodzenie powierzchni rozpylacza oraz deformację otworka, b - ślady szlifowania końcówki rozpylacza, widoczny zdeformowany otworek



Rys. 2. Nagar na końcówkach rozpylaczy wraz z widocznymi narostami oraz śladami korozji



Rys. 3. Zakokosowanie otworków rozpylaczy



Rys. 4. Uszkodzenia iglic rozpylaczy w wyniku wyraźnego miejscowego przegrzania

Uszkodzenia wewnętrzne wtryskiwaczy są wynikiem procesów zużycia jego elementów wewnętrznych pracujących w ciężkich warunkach. Możliwe procesy zużycia elementów wewnętrznych wtryskiwaczy to zużycie: ścierne, erozyjne, kawitacyjne, korozyjne i zmęczeniowe. Zużycie ścierne jest częstą przyczyną uszkodzeń elementów wtryskiwaczy układów zasilania Common Rail. Może być ono wynikiem długotrwałej normalnej eksploatacji lub brakiem odpowiednich właściwości smarnych oleju napędowego. Zużyciu ściernemu ulegają współpracujące powierzchnie par precyzyjnych wtryskiwaczy. Obecność w paliwie cząstek stałych stanowiących jego zanieczyszczenie znacząco przyspiesza zużycie ścierne

współpracujących powierzchni smarowanych i chłodzonych paliwem.

Zużycie erozyjne jest wynikiem obecności cząstek stałych w płynie poruszającym się z dużą prędkością. Cząstki te mając dużą energię kinetyczną uderzają w powierzchnię materiału powodując jego niszczenie. W aparaturze paliwowej zjawisko erozji ma miejsce wówczas, kiedy w paliwie znajdują się cząstki stałe stanowiące jego zanieczyszczenie. Cząstki te poruszając się z dużą prędkością i powodują niszczenie powierzchni elementów aparatury paliwowej.

Kawitacja to zjawisko fizyczne polegające na gwałtownej przemianie fazowej, to znaczy przejściu z fazy ciekłej w fazę gazową, wywoływane zmiennym polem ciśnienia w cieczy. W miejscach spadku ciśnienia wywołanego szybkim wzrostem prędkości przepływu cieczy powstają pęcherzyki wypełnione parą lub gazem. Pęcherzyki te rosną, a następnie w strefie wyższego ciśnienia ulegają implozji, czyli gwałtownemu zmniejszeniu wymiarów prowadzącemu do ich zaniku. W miejscu, w którym pęcherzyki ulegają zanikowi wzrasta gwałtownie ciśnienie prowadzące do powstania zmiennych sił działających na powierzchnię materiału, powodujących wyrwanie drobnych cząstek materiału i tworzenie się wżerów. Warunkiem zachodzenia kawitacji jest pojawianie się pęcherzyka na powierzchni elementu [4, 9]. W wysokociśnieniowej aparaturze paliwowej nowoczesnych układów zasilania Common Rail może zachodzić kawitacja gdyż podczas jej pracy mają miejsce przepływy przez wąskie kanały o zmieniających się przekrojach, z dużymi prędkościami i przy bardzo dużych ciśnieniach. Prędkości tych przepływów zmieniają się pulsacyjnie zależnie od pracy sekcji pompy wysokiego ciśnienia oraz otwierania i zamykania się rozpylacza. Kawitacja powoduje wyrwanie cząstek materiału i zanieczyszczenie nimi paliwa, co intensyfikuje znacząco zużycie ścierne współpracujących elementów oraz zużycie erozyjne wynikające z obecności w paliwie twardych cząstek.

Zużycie zmęczeniowe materiału jest wynikiem długotrwałej pracy elementów. Pod wpływem powtarzających się zmiennych obciążeń mechanicznych następuje spadek wytrzymałości materiału i jego niszczenie. W przypadkach wtryskiwaczy układów zasilania Common Rail zużycie zmęczeniowe zachodzi na przykład w miejscu współpracy iglicy rozpylacza z gniazdem.

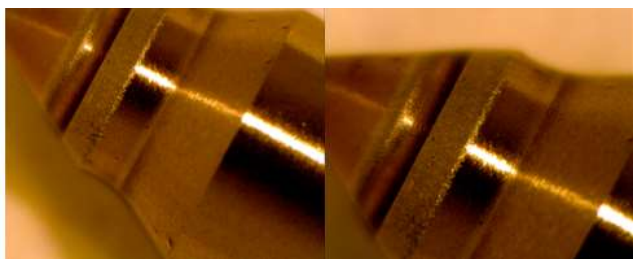
Korozja jest zjawiskiem niszczenia warstwy wierzchniej materiału na skutek niekorzystnego oddziaływania czynników otaczającego go środowiska. Jest wynikiem reakcji chemicznych metalu z czynnikiem powodującym korozję lub procesów elektrochemicznych. Korozja elementów aparatury paliwowej jest zależna od składu chemicznego paliwa, czyli obecności w paliwie związków reagujących z metalem. Czynnikiem powodującymi korozję aparatury paliwowej jest najczęściej siarka i woda. Ważnym jest, aby paliwo spełniało stawiane mu wymagania normatywne. Należy dbać o czystość całego układu zasilania, zasilać silnik paliwem wysokiej jakości oraz realizować obsługę okresową zgodnie z zaleceniami producenta. Produkty korozji ulegają oderwaniu od powierzchni i dostają się do paliwa powodując następnie zużycie ścierne i erozyjne elementów aparatury paliwowej.

Najczęstszą przyczyną zużycia ściernego aparatury wtryskowej jest paliwo zawierające cząstki stałe, niewłaściwie filtrowane przez elementy filtrujące w układzie zasilania. Poza tym dla zapewnienia właściwej pracy par precyzyjnych pomp wysokiego ciśnienia i wtryskiwaczy niezbędna jest właściwa i wymagana smarność paliwa. Zużycie ścierne wtryskiwaczy ma miejsce również na skutek zużycia elementów pompy wysokiego ciśnienia w wyniku, którego powstają cząstki stałe dostające się do paliwa. Na rysunku 5 przedstawiono przykłady zużycia ściernego iglic rozpylaczy wtryskiwaczy z układów zasilania Common Rail. Na rysunku 6 przedstawiono

uszkodzenia powierzchni przylgni iglicy rozpylacza mające miejsce najprawdopodobniej na skutek obecności w paliwie drobnych, twardych cząstek zanieczyszczeń, które będąc w paliwie dostały się pomiędzy współpracujące powierzchnie iglicy i gniazda rozpylacza, uszczelniające wypływ paliwa w czasie, kiedy nie jest realizowany wtrysk. Uszkodzenie tych powierzchni może powodować, że rozpylacz jest nieszczelny. Uszkodzenie wtryskiwaczy często jest wynikiem obecności w paliwie cząstek stałych będących jego zanieczyszczeniami lub cząstek metali będących produktami zużycia elementów aparatury paliwowej. Obecność takich zanieczyszczeń we wtryskiwaczach pokazano na rysunku 7. Na trzpieniach zaworów sterujących widać wyraźnie opiłki metali oraz ślady zużycia będące efektem ich obecności.



Rys. 5. Przykłady zużycia ściernego iglic rozpylaczy wtryskiwaczy Common Rail

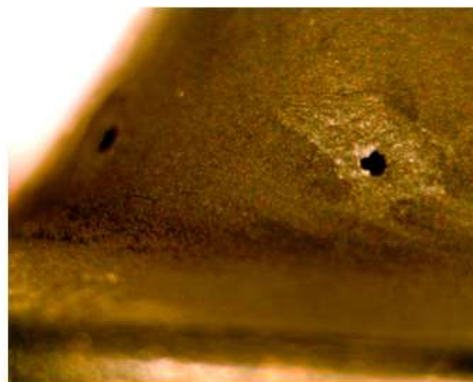


Rys. 6. Uszkodzenia powierzchni przylgni iglicy rozpylacza



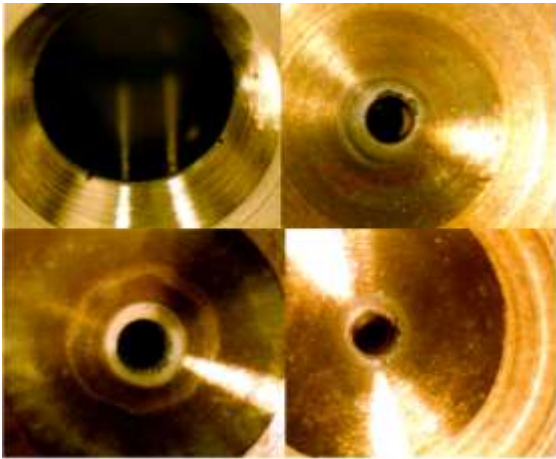
Rys. 7. Obecność opiłków na trzpieniach zaworów sterujących wtryskiwaczy elektromagnetycznych powodujących zużycie ściernie

Końcówka rozpylacza znajduje się w komorze spalania i podczas pracy silnika jest obciążona cieplnie. Paliwo podczas wtrysku wypływa przez otwórki rozpylacza z bardzo dużą prędkością. Paliwo to chłodzi rozpylacz. Obecność cząstek stałych w paliwie może się przyczynić do rozkalibrowania otworków i zmiany ich kształtu. Powoduje to zmianę charakterystyki przebiegu wtrysku strugi paliwa. Na rysunku 8 widać otworek rozpylacza z wyraźnie zmienionym kształtem. Zużycie takie mogło mieć miejsce na skutek obecności w paliwie twardych trących cząstek przyczyniających się do zużycia erozyjnego.

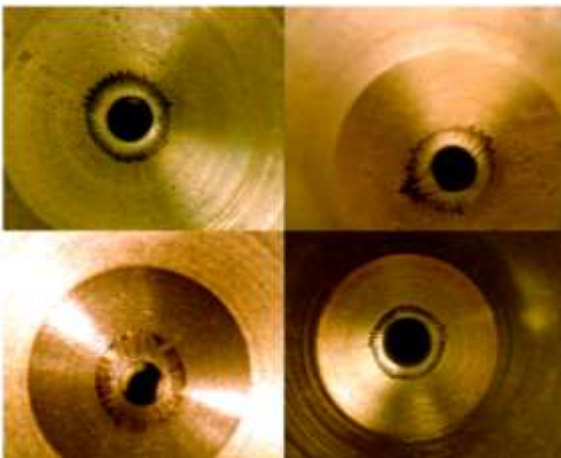


Rys. 8. Deformacja otworu rozpylacza na skutek zużycia erozyjnego

Elementem wtryskiwacza, który jest znacznie obciążony i podatny na zużycie jest otwór zaworu sterującego. Otwór ten ma bardzo małą średnicę. W czasie, kiedy ma mieć miejsce wtrysk przez otwór zaworu sterującego wypływa z dużą prędkością z komory sterującej paliwo znajdujące się pod bardzo wysokim ciśnieniem. W obszarze zaworu sterującego mają miejsce zjawiska powodujące erozję oraz kawitację na granicy wysokiego i niskiego ciśnienia. Cząstki materiału zaworu sterującego mogą być wmywane z powierzchni przez paliwo przepływające z bardzo dużą prędkością. Przykłady zużycia otworu i gniazda zaworu sterującego przedstawiono na rysunkach 9, 10 i 11. Otwór i powierzchnia przylegania kulki do gniazda zaworu sterującego nie powinny mieć żadnych uszkodzeń. Uszkodzenia zaworu sterującego powodują niewłaściwą pracę wtryskiwacza. Powodują one zbyt duży przelew paliwa i uniemożliwiają równomierne i prawidłowe dawkowanie paliwa do cylindrów. Wtryskiwane dawki paliwa są inne niż określone przez jednostkę sterującą. Wpływa to na równomierność pracy silnika, zwłaszcza na biegu jałowym oraz przyczynia się do pogorszenia osiągnięć silnika. Na rysunku 9 przedstawiono przykłady zużycia otworów zaworów sterujących wtryskiwaczy elektromagnetycznych. Widać wyraźne ubytki materiału w powierzchni i krawędzi wylotowej otworów zaworów sterujących. Na rysunku 10 przedstawiono uszkodzenia powierzchni przylegania kulki do gniazda zaworu sterującego. Ubytki materiału w powierzchni przylegania zaworu sterującego mają postać gładkich smug rozchodzących się promieniowo od osi tego otworu. Na rysunku 11 widać zniszczone zawory sterujące wtryskiwaczy elektromagnetycznych. Widoczne są wyraźne ubytki materiału w otworach oraz na powierzchni przylegania kulki do gniazda. Poza tym widoczne są wyraźne ślady korozji. Uszkodzenia zaworów sterujących powodują, że są one nieszczelne i ma miejsce zwiększony wypływ paliwa z komory sterującej na przelew.



Rys. 9. Przykłady uszkodzeń otworu zaworu sterującego wtryskiwaczy elektromagnetycznych



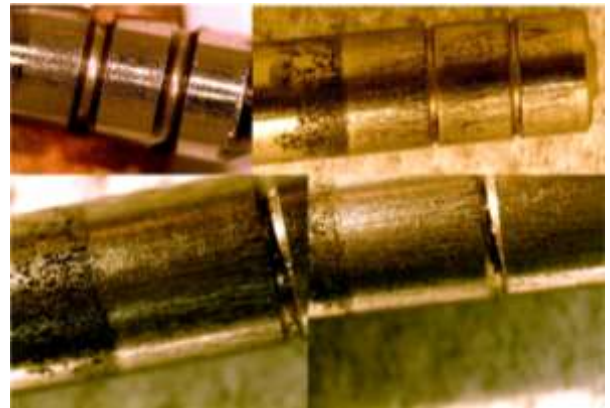
Rys. 10. Przykłady uszkodzeń powierzchni przylegania kulki do gniazda zaworu sterującego wtryskiwaczy elektromagnetycznych



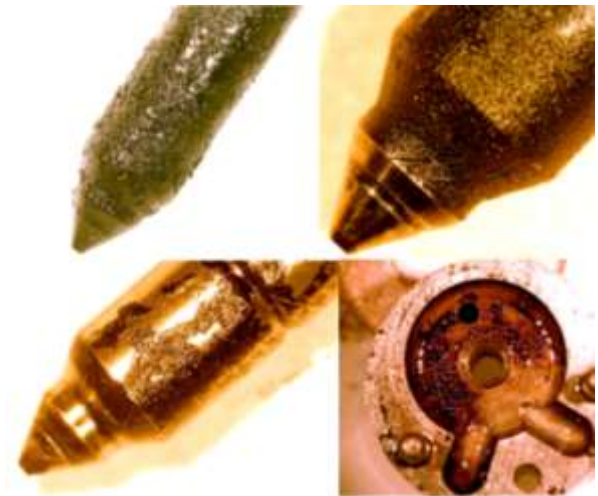
Rys. 11. Przykłady uszkodzeń otworu i powierzchni gniazda zaworu sterującego wtryskiwaczy elektromagnetycznych wraz z wyraźnie widocznymi śladami korozji

Zużycie kawitacyjne może mieć miejsce na powierzchni iglicy wtryskiwaczy układów zasilania Common Rail. Wynika ono z dużych ciśnień we wtryskiwaczach, dużych częstotliwości unoszenia się i opadania iglicy oraz wypływu paliwa z dużymi, zmiennymi prędkościami. Przykłady takiego zużycia przedstawiono na rysunku 12.

Jakość paliwa ma wpływ na długotrwałą i poprawną pracę wtryskiwaczy. Paliwo złej jakości, o niewłaściwym składzie chemicznym, może powodować powstawanie osadów na powierzchniach elementów wewnętrznych wtryskiwaczy. Obecność takich zanieczyszczeń na elementach wtryskiwaczy powoduje, że nie pracują one poprawnie. Zmianie może ulegać wielkość dawki wtryskiwanego paliwa. Poza tym mogą sprzyjać innym procesom zużycia, na przykład korozji i zużyciu ściernemu. Przykłady znacznych zanieczyszczeń iglicy wtryskiwaczy i gniazda zaworu sterującego przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 12. Wżery kawitacyjne na powierzchni iglic wtryskiwaczy układu zasilania Common Rail



Rys. 13. Osady na iglicach rozpylaczy i gnieździe zaworu sterującego wtryskiwacza elektromagnetycznego

Częstymi uszkodzeniami elementów aparatury paliwowej jest korozja na ich powierzchni. Przykłady zużycia korozyjnego różnych elementów wtryskiwaczy Common Rail przedstawiono na rysunkach od 14 do 18. Korozja jest najczęściej związana z obecnością w paliwie związków siarki i wody.



Rys. 14. Korozja na powierzchni gniazd zaworów sterujących wtryskiwaczy Common Rail



Rys. 15. Korozja pod talerzykiem trzpieni zaworów sterujących wtryskiwaczy elektromagnetycznych Common Rail



Rys. 16. Korozja na trzpieniu zaworu sterującego wtryskiwacza Common Rail



Rys. 17. Korozja na iglicach rozpylaczy wtryskiwacza Common Rail



Rys. 18. Korozja na powierzchniach korpusów wtryskiwacza Common Rail

Spotykanym uszkodzeniem wtryskiwacza Common Rail jest pęknięcie korpusu. Może być ono wynikiem długotrwałej pracy wtryskiwacza w ciężkich warunkach wynikających z wysokich ciśnień i obciążeń cieplnych. Przyczyną pęknięcia korpusu wtryskiwacza może być również niewłaściwy montaż lub demontaż wtryskiwacza z gniazda w głowicy. Pęknięcia korpusów wtryskiwacza Common Rail przedstawiono na rysunku 19.



Rys. 19. Pęknięcia korpusów wtryskiwacza Common Rail

PODSUMOWANIE

Układ zasilania Common Rail jest obecnie najczęściej stosowanym typem układu zasilania w silnikach o zapłonie samoczynnym. Jest on powszechnie stosowany zarówno do zasilania małych silników stosowanych do napędu samochodów osobowych i lekkich dostawczych, jak również do zasilania dużych silników stosowanych do napędu samochodów ciężarowych. Jest również stosowany

w silnikach o zastosowaniach pozadrogowych. Koncepcja i zasada działania tego układu umożliwiła spełnienie wymagań stawianych silnikom o zapłonie samoczynnym w zakresie ich szkodliwego oddziaływania na środowisko, zmniejszenia zużycia paliwa, zmniejszenia hałaśliwości i poprawy właściwości trakcyjnych, zwłaszcza w przypadku samochodów osobowych. Dzięki wdrożeniu układów zasilania Common Rail silniki o zapłonie samoczynnym o małych pojemnościach powszechnie zaczęto stosować do napędu samochodów osobowych również tych najmniejszych.

Układ zasilania Common Rail w odróżnieniu od wszystkich pozostałych stosowanych do zasilania tłokowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym ma jedną charakterystyczną cechę, a zarazem największą zaletę. Jest to rozdzielenie procesu wytwarzania wysokiego ciśnienia paliwa od procesu jego wtrysku do komory spalania. Pompa wysokiego ciśnienia tłoczy paliwo do zasobnika, w którym utrzymywane jest ciśnienie, przy którym będzie realizowany wtrysk, niezależne od prędkości obrotowej wału korbowego. Paliwo pod takim samym ciśnieniem jak w zasobniku znajduje się również we wtryskiwaczach. Podniesienie iglicy rozpylacza to wtrysk paliwa przy ciśnieniu, jakie panuje w zasobniku. Rozdzielenie procesu wtrysku od procesu wytwarzania wysokiego ciśnienia oraz zastosowanie wtryskiwaczy sterowanych elektronicznie pozwoliło na swobodne sterowanie przebiegiem wtrysku paliwa, a tym samym przebiegiem procesu spalania paliwa w cylindrach silnika.

Wtryskiwacze układu zasilania Common Rail są najbardziej obciążonymi elementami układu zasilania. Elementami wewnętrznymi wtryskiwaczy, które ulegają najczęściej uszkodzeniom są gniazda zaworów sterujących i iglice rozpylaczy. Otwory zaworów sterujących poddane są procesom zużycia erozyjnego, kawitacyjnego oraz zmęczeniowego. Zużycie iglic rozpylaczy również wynika z procesów zużycia erozyjnego, kawitacyjnego a także ściernego. Częstą przyczyną uszkodzeń elementów wtryskiwacza jest korozja. Korozji ulegają praktycznie wszystkie elementy wtryskiwacza, z którymi ma kontakt paliwo sprzyjające zachodzeniu tego procesu, czyli zawierające wodę, siarkę i ewentualnie inne związki reagujące z materiałem z którego wykonane są elementy wtryskiwacza. Zużycie wtryskiwaczy może być wynikiem długotrwałej ich pracy w ciężkich warunkach. Przyspieszone procesy zużycia elementów wtryskiwaczy mogą mieć miejsce na skutek stosowania zanieczyszczonego paliwa, niewystarczającego jego filtrowania, paliwa o złym składzie, zawierającego za dużo wody i siarki, paliwa o niewystarczających właściwościach smarnych, obecności w paliwie zanieczyszczeń będących produktami zużycia innych elementów układu zasilania. Uszkodzenia wtryskiwaczy mogą być również wynikiem nieprawidłowego demontażu lub montażu. Proces naprawy wtryskiwacza wymaga znacznej wiedzy i umiejętności oraz specjalistycznych narzędzi i zachowania właściwych warunków otoczenia w którym realizowana jest jego naprawa.

Zużycie aparatury paliwowej pracującej przy ciśnieniach dochodzących do nawet 250MPa, przy dużych prędkościach przepływu, przy obecności w paliwie różnych związków węglodorowych, związków siarki i innych będących zanieczyszczeniami lub dodatkami do paliwa powoduje, że procesy zużycia trudno jednoznacznie opisać i nazwać. Trudno również jednoznacznie podać przyczyny, bez przeprowadzenia dodatkowych badań, na przykład takich, które oceniają jakość paliwa, zapewnienie wymaganych warunków eksploatacji, czy też właściwy dobór materiałów na elementy instalacji układu zasilania. Zazwyczaj przy pracy elementów aparatury paliwowej zachodzą jednocześnie różne procesy powodujące zużycie ich powierzchni. Zużycie kawitacyjne czy też korozja powoduje intensyfikację procesów zużycia ściernego i erozyjnego. Zużycie zmęczeniowe wynikające z normalnej eksploatacji przy wysokich ciśnieniach i wysokich temperaturach również prowadzi do niszczenia

nia współpracujących powierzchni i dostawania się twardych cząstek do paliwa, a następnie przyspieszone zużycie ściernie i erozyjne. Często podawaną przyczyną zużycia aparatury paliwowej jest jakość paliwa. Paliwo zawierające drobne cząstki stałe może szybko prowadzić do uszkodzeń aparatury paliwowej.

Eksploatacja współczesnych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym wyposażonych w układ zasilania Common Rail wymaga rygorystycznego przestrzegania zasad serwisowania tego typu silników. Przede wszystkim terminowych wymian płynów eksploatacyjnych i filtrów paliwa oraz stosowanie materiałów eksploatacyjnych zalecanych przez producenta silnika. Jeszcze ważniejszym jest stosowanie paliw najwyższej jakości spełniających rygorystyczne wymagania aktualnych norm. Nawet jednorazowe zatankowanie zbiornika paliwem złej jakości, zanieczyszczonym może doprowadzić do unieruchomienia silnika, a w przypadku niedostatecznego filtrowania również do uszkodzenia elementów aparatury wysokociśnieniowej.

BIBLIOGRAFIA

1. Ambrozik A., *Analiza cykli pracy czterosurowych silników spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Kielce 2010.
2. Ambrozik A., Ambrozik 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.
3. Ambrozik A., Ambrozik T., Łagowski P., *Fuel impact on emissions of harmful components of the exhaust gas from the CI engine during cold start-up*, „Maintenance and Reliability”, Vol. 17, No 1, 2015, s. 95-99.
4. Bagiński J., *Kawitacja w urządzeniach wodociągowych i ciepłowniczych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
5. Dokumentacja fotograficzna udostępniona przez Firmę „Bosch Service Pawlik” z siedzibą w Stalowej Woli.
6. Günther H., *Układy wtryskowe Common Rail w praktyce warsztatowej*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
7. Idzior M., Następstwa wymogów gospodarowania energią w kierunkach rozwoju silników spalinowych o zapłonie samoczynnym, „MOTROL”, nr. 8A/2006, str. 148-157.
8. Idzior M., Tendencje zmian konstrukcyjnych wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym, „MOTROL”, nr. 8/2006, str. 81-91.
9. Ignaciuk P., Gil L., *Uszkodzenia kawitacyjne w silnikach spalinowych*, Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, nr 5/2014.
10. Kaparuk J., *Układy common rail w silnikach z zapłonem samoczynnym samochodów osobowych*, Poradnik Serwisowy, nr. 6/2011.
11. Kaparuk J., *Układy common rail w silnikach z zapłonem samoczynnym samochodów osobowych*, „Poradnik Serwisowy”, nr. 1/2012.
12. 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.
13. Menes M., *Współczesne kierunki rozwoju techniki samochodowej*, „Transport Samochodowy”, nr. 4/2011.
14. Merksiz J., *Tendencje rozwojowe silników spalinowych*, „Silniki Spalinowe”, nr. 1/2004, str. 28-40.
15. Merksiz J., *Rozwój silników spalinowych w aspekcie ich ekologii*, „Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów”, 2(78)/2010, Warszawa 2010, s. 103-125.
16. pl.bosch-automotive.com/pl
17. Pudło J., *Układy wtryskowe Bosch w samochodach ciężarowych*. Od pompy rzędowej do układu Common Rail, Robert Bosch Sp. z o.o., Warszawa 2013, www.martextruck.pl/.../Autospec_2015_dodatek_uklady_wtryskowe.pdf.
18. Rychter W., *Dzieje samochodu*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1983.
19. Schindler V., Sievers I., *Forschung für das Auto von Morgen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2008.
20. Stanik W., Jakóbiec J., *Proekologiczny rozwój technologii silników o zapłonie samoczynnym*, „Autobusy-Technika-Eksploatacja-Systemy Transportowe”, nr. 7-8/2012, str. 191-196.
21. *Sterowanie silników o zapłonie samoczynnym*, Robert Bosch GmbH, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.
22. www.fiat.pl/fiatpedia/sownik/common-rail
23. *Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail*, Robert Bosch GmbH, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2009.

Analysis of damages of the Common Rail injector systems

During the recent several years, the fuel feeding systems of piston combustion engines have been undergoing an intensive development. It is directly linked to strict requirements to be met by engines, aimed at reducing their negative impact upon the natural environment. New constructional solutions in fuel feeding systems have been introduced in order to decrease the fuel consumption and emission of harmful components of exhaust gases. Failure-free and long operation of supply systems, and thereby meeting the requirements for engines, is strictly linked to their correct use and high quality of fuel. The paper contains a short characteristics of the Common Rail fuel feeding system, broadly used in modern Diesel engines. It also presents photographic documentation of damaged elements of the injectors, used in the Common Rail systems and it identifies the causes of damages. The major factor contributing to a faultless and long operation of Diesel engines with Common Rail injectors is the quality of fuel.

Autorzy:

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

mgr inż. Augustyn Adrian – Absolwent Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, augustyn.adriann@gmail.com.