

Ocena zużycia korozyjnego elementów wtryskiwaczy

Tomasz Stoeck, Wawrzyniec Gołębiowski

Streszczenie

W artykule przedstawiono przyczyny i skutki korozji, wpływającej destrukcyjnie na stan techniczny oraz niezawodność eksploatacyjną wtryskiwaczy układów Common Rail. Analizie poddano wybrane części składowe, wskazując na elementy najczęściej ulegające procesom niszczącym. Wskazano na niedomagania charakterystyczne dla wtryskiwaczy czołowych producentów, których przykłady dodatkowo zilustrowano.

Słowa kluczowe: wtryskiwacze paliwa, system Common Rail, korozja elementów.

Wstęp

Procesem zużywania określić można wszelkie zmiany w aparaturze wtryskowej, powstające w skutek użytkowania i prowadzące do jej stopniowej utraty funkcjonalności lub trwałego uszkodzenia. Spośród szeregu czynników istotną rolę odgrywa korozja, która może zachodzić według mechanizmu chemicznego lub elektrochemicznego. Pierwszy z nich dotyka podzespoły mające kontakt z paliwem i występuje w warstwach powierzchniowych par trących, posiadających odmienne własności niż materiał pierwotny. W drugim przypadku powstają ogniwa galwaniczne, które w obecności elektrolitu prowadzą do reakcji redukcji oraz utleniania [8]. Zużyciem przyspieszonym określić można sytuację, w której intensywność tworzenia produktów korozji jest większa niż niszczenie powierzchni w wyniku tarcia granicznego.

Istotny wpływ na intensywność procesów niszczących ma jakość paliwa, w tym głównie zawartość wody i siarki. W literaturze wskazuje się również na inne przyczyny, do których zaliczono m.in.: wysokie ciśnienia i temperatury w komorze spalania, zjawiska balistyczne, turbulentny przepływ cieczy, erozję, kawitację [2, 3, 4, 5, 7, 9]. Najczęściej rozpatruje się parę precyzyjną, tzn. iglicę i rozpylacz, której wymienione czynniki dotyczą w sposób bezpośredni. Ponadto części te coraz częściej poddaje się różnym modyfikacjom, celem wstępnej obróbki i przygotowania wtryskiwanego paliwa [6]. Badania własne wykazały jednak, iż korozja w niemal równym stopniu dotyka części zespołu zaworu i twornika.

1. Zakres i metodyka

Zasadniczym celem badań była statystyczna ocena zużycia korozyjnego elementów wtryskiwaczy różnych typów i producentów, przy uwzględnieniu czynników wpływających negatywnie na ich niezawodność. W analizie brano pod uwagę charakter utylarny prowadzonych napraw, a więc możliwość eliminacji omówionych niesprawności.

Obiekt badawczy stanowiły wtryskiwacze Common Rail w liczbie 3200 sztuk, będących konstrukcjami czołowych producentów: Bosch, Delphi, Denso i Siemens. Oględziny i weryfikację analizowanych elementów składowych prowadzono na stanowiskach laboratoryjnych, wyposażonych w następującą aparaturę i oprzyrządowanie:

- stoły probiercze (EPS 200 Bosch, Diesel Bench CRU 2 Zapp, Diesel Tech DS2 Zapp),
- mikroskop z kamerą do zapisu obrazów (FL150/70),
- myjki ultradźwiękowe (Elma Elmasonic S 10 H, Carbon Tech Ultrasonic Bath S15/C2),
- imadła i zestawy do demontażu oraz montażu wtryskiwaczy.



Rys. 1. Widok ogólny stanowiska z mikroskopem laboratoryjnym

W pierwszej fazie wtryskiwacze demontowano na części, które poddawano oględzinom i weryfikacji. Ocenę poziomu korozji prowadzono metodą organoleptyczną (wzrokową), jak też przy dużym powiększeniu na stanowisku z mikroskopem laboratoryjnym (rysunek 1). Kolejny etap rozpoczynał proces

mycia w wannach ultradźwiękowych. Pomijano elementy elektryczne i takie, które wcześniej zakwalifikowano do wymiany. Po dokładnym osuszeniu i przedmuchiowaniu sprężonym powietrzem poszczególne wtryskiwacze montowano, a następnie przeprowadzano fazę testów końcowych na stołach probierczych (rysunek 2). Ewentualna korekcja dawek obejmowała tylko te konstrukcje, dla których uzyskano niezadawalające wyniki pracy.

W celu przeprowadzenia analizy statystycznej założono wizualne poziomy oceny korozji, tzn.: 0-brak, 1-mała, 2-średnia, 3-duża. Wyjątek stanowiły tylko te elementy, które wyeliminowano z powodu widocznych wżerów o dużym stopniu nasilenia. Pomimo, iż wielkość powierzchni dotkniętej zmianami była nieznaczna, zaliczano ją do poziomu 3.



Rys. 2. Widok ogólny stołu Diesel Bench CRU 2 Zapp

3. Wyniki badań

Uzyskane rezultaty opracowano posługując się pojęciem gęstości korozji, której zapis można przedstawić wzorem [9]:

$$D_C = \frac{\sum_{i=1}^e L_i}{e} \quad (1)$$

gdzie:

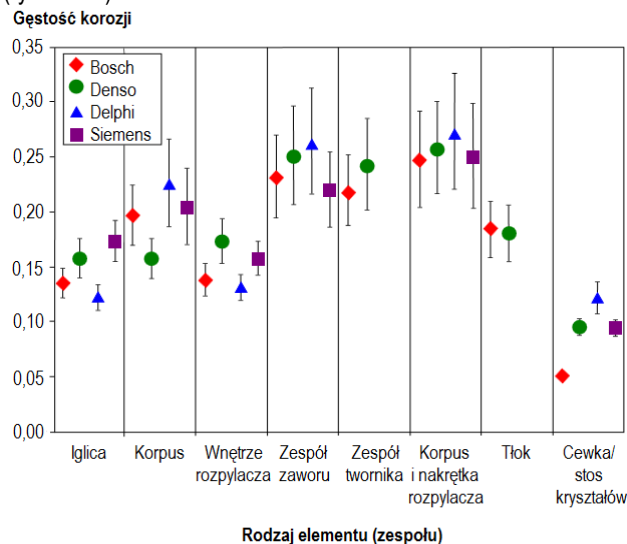
D_C - gęstość korozji,

L_i - poziom klasyfikacji korozji dla i -tego elementu,

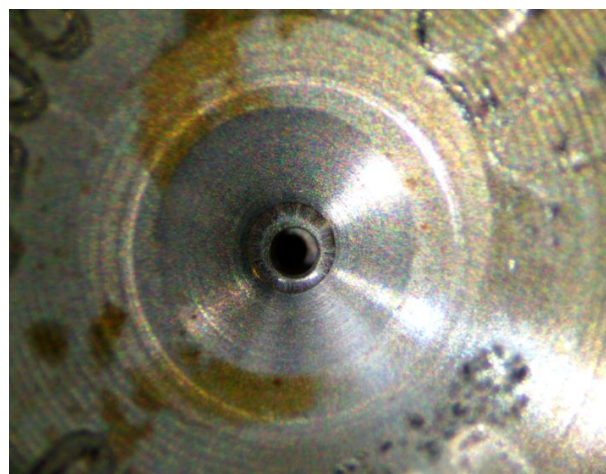
e - liczba elementów.

Najbardziej podatne na korozję okazały się korpusy rozpylaczy wraz z nakrętkami oraz zespoły zaworów sterujących (rysunek 3 i 4). W pierwszym przypadku zasadniczą przyczynę należy upatrywać w oddziaływaniu wysokich temperatur, które powodują przyśpieszoną degradację powierzchni metali, przy jednoczesnym współdziałaniu reakcji chemicznych i elektrochemicznych ładunku w komorze spalania silnika. Procesy korozyjne w zdecydowanie mniejszym stopniu dotyczą parę precyzyjną, co potwierdzają wyniki badań prezentowane w publikacji [9]. W danym aspekcie najkorzystniej wypadły iglice firmy Delphi, charakteryzujące się śrubowymi nacięciami na powierzchni

przewodzącej, wykonanymi celem zachowania stabilnej pracy przy wyższych ciśnieniach wtrysku i zwiększeniu turbulencji przepływu. Korozja występowała głównie w owych zagłębieniach i w ich pobliżu, ale jej ślady zaobserwowano zaledwie na 42 spośród 448 rozpatrywanych elementów (rysunek 5).



Rys. 3. Gęstość korozji dla wybranych elementów (zespołów) [1]



Rys. 4. Ślady korozji przy gnieździe zaworowym (Bosch)

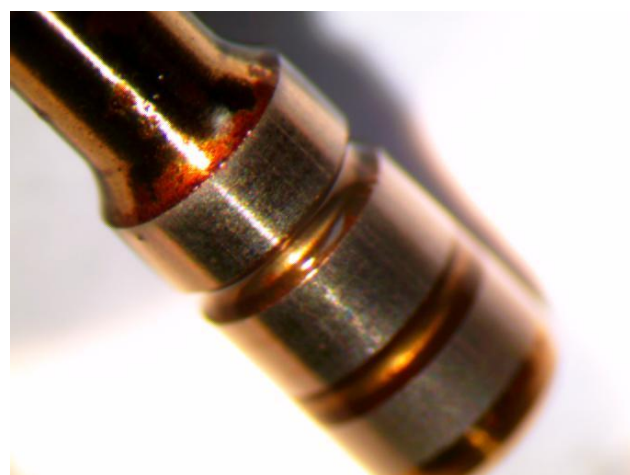
Przyczyny zwiększonej awaryjności przy stosunkowo niskich przebiegach tłumaczyć można zużyciem pomp paliwa, a w szczególności obszarów napędu sekcji tłoczących, które w szybkim czasie generują opiłki dostające się do wnętrza wtryskiwacza. Ostre krawędzie nacięć iglicy powodują zakleszczanie się twardych zanieczyszczeń i przyśpieszone zacieranie pary precyzyjnej. W podobny sposób następuje przyśpieszone niszczenie zespołu sterującego, który narażony jest na procesy erozji, kawitacji oraz korozji. Dotyczy to przede wszystkim gniazda zaworu i stopki grzybka (rys. 6). Należy również wspomnieć o znacznie wydłużonej budowie cewki

elektromagnetycznej, mającej częstszy kontakt z paliwem w porównaniu do rozwiązań innych producentów.



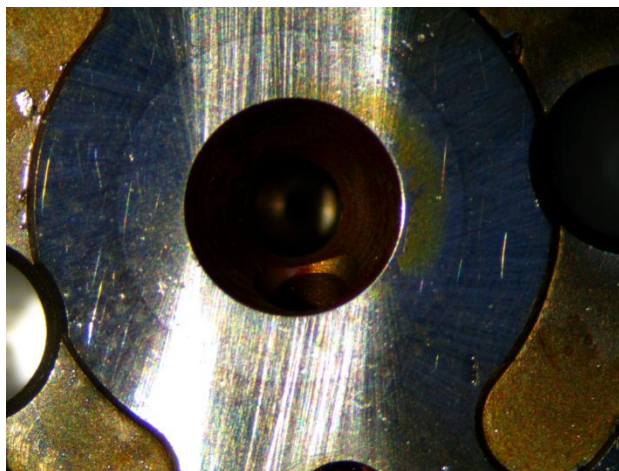
Rys. 5. Skorodowana iglica wtryskiwacza (Delphi)

Osadzenie elementu przez niemal całą długość korpusu sprawia, że nawet przy niewielkich przebiegach eksploatacyjnych mogą pojawić się problemy z uszczelnieniami typu o-ring. Ubytki materiału i ślady korozji obserwowano we wtryskiwaczach silników wysokoprężnych napędzających pojazdy Ford Transit, Focus, Mondeo.



Rys. 6. Korozja na stopce grzybka zaworu (Delphi)

Przeprowadzona weryfikacja wykazała, iż zużycie zespołu twornika, występującego wyłącznie w konstrukcjach dwóch producentów (Bosch, Denso), postępuje analogicznie jak układów zaworowych. Zmiany widoczne są zwykle na powierzchniach talerzyka (znacznie rzadziej rdzenia) oraz elementach z nim współpracujących (rysunek 7). Przy zbliżonej budowie i zasadzie działania uzyskano porównywalną wartość omawianego parametru, tzn.: $D_{c(\text{zespół twornika Bosch})}=0,22$ oraz $D_{c(\text{zespół twornika Denso})}=0,24$.



Rys. 7. Ślady korozji na powierzchni talerzyka (Denso)

Spośród wszystkich elementów dotkniętych korozją, blisko 58% zostało sklasyfikowanych na poziomie 1. W rezultacie jej ślady były możliwe do usunięcia po półgodzinnych kąpielach w myjkach ultradźwiękowych. Jest to niezwykle istotne w przypadku produktów Denso, gdyż dostępność do poszczególnych części tego wytwórcy pozostaje bardzo ograniczona.

4. Wnioski

Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują, iż korozja jest czynnikiem wpływającym istotnie na awaryjność układów Common Rail. Skutkami jej oddziaływania jest przyspieszone zużycie poszczególnych części i zespołów, a powstałe produkty zanieczyszczają wnętrze wtryskiwaczy oraz zakłócają procesy robocze. Obok rozpylaczy, narażonych na oddziaływanie wysokich temperatur i reakcji zachodzących w komorze spalania, procesy niszczące w niemal równym stopniu dotyczą zespoły zaworu sterującego oraz twornika, mające bezpośredni kontakt z paliwem. Przy braku takiej styczności zużycie elementów elektrycznych spotykane jest najrzadziej, ale przy negatywnej weryfikacji następuje dyskwalifikacja wtryskiwacza z dalszej eksploatacji (brak możliwości umycia lub wymiany).

Bibliografia

1. Abramek K F, Stoeck T, Osipowicz T.: *Statistical Evaluation of the Corrosive Wear of Fuel Injector Elements Used in Common Rail Systems*. Journal of Mechanical Engineering 2/61 (2015).
2. Andriotis A, Gavaises M, Arcoumanis C.: *Vortex flow and cavitation in diesel injector nozzles*. J. Fluid Mech. 610 (2008).
3. Günther H.: *Układy wtryskowe Common Rail w praktyce warsztatowej*. WKiŁ, Warszawa (2011).
4. Idzior M.: *Tendencies of the construction changes in self-ignition engines injectors*. MOTROL - Motorization and Power Industry in Agriculture 8 (2006).

5. Karamangil M I, Taflan R A.: *Experimental investigation of effect of corrosion on injected fuel quantity and spray geometry in the diesel injection nozzles*. Fuel 112 (2013).
6. Klyus Oleh.: *Wstępna obróbka paliw pochodzenia roślinnego w silnikach z zapłonem samoczynnym*. Logistyka 6 (2010).
7. Olszowski S.: *Examination of permeating oil causes in new generation diesel engines*. Transcomp - XIV international conference. Computer systems aide science, industry and transport 6 (2010).
8. Perez N.: *Electrochemistry and corrosion science*. Kluwer Academic Publishers, Boston (2004).
9. Taflan R A, Karamangil M I.: *Statistical corrosion evaluation of nozzles used in diesel CRI systems*. Fuel 102 (2012).

Evaluation of the corrosive wear of fuel injector elements

Abstract

This paper presents the causes and consequences of corrosion which has a destructive impact on the technical condition and operational reliability of Common Rail fuel injectors. The analysis included selected components, pointing to the elements and assemblies being most frequently subject to destructive processes. The troubles being typical for the fuel injectors of leading manufacturers, the examples of which were additionally illustrated, were shown.

Key words: fuel injectors, Common Rail system, component corrosion.

Autorzy:

Dr inż. **Tomasz Stoeck** - Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Dr inż. **Wawrzyniec Gołębiewski** - Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie