DENSO

ŚWIECE ZAPŁONOWE

Odkrywanie technologii **DENSO**

Driven by Quality

TO WYRÓŻNIA PRODUKTY DENSO

DENSO Aftermarket Europe jest częścią korporacji DENSO, jednym z trzech największych na świecie producentów zaawansowanych technologii, systemów i komponentów dla motoryzacji.

Firma DENSO, założona w 1949 roku, została pionierem produkcji produktów o wysokiej jakości dla przemysłu motoryzacyjnego, dostarczając szeroką gamę oryginalnego wyposażenia i części każdemu głównemu producentowi pojazdów na świecie. Oryginalne części DENSO znajdziesz w dziewięciu na każde dziesięć samochodów na drodze.

Naszą unikalną, specjalistyczną wiedzę oferujemy także na rynku części zamiennych. Nasze zaawansowane technologicznie produkty są specjalnie wybierane dla dystrybutorów i tzw. użytkowników końcowych. Mają one tę samą specyfikację jak części wykorzystywane przez producentów samochodów (tzw. części OEM).

Świece zapłonowe są jedną z głównych specjalizacji DENSO. Nasze nieustające działania w obszarze badań i rozwoju doprowadziły do wielu innowacji, do których należą m.in.: świece zapłonowe z elektrodą masowa zakończoną rowkiem w kształcie litery U – tzw. technologia U-groove, świece zapłonowe z najmniejszą na świecie końcówką irydową oraz świece zapłonowe, których elektroda masowa jest zakończona końcówką w kształcie walca, ustawioną naprzeciwko elektrody centralnej. Jako główny sponsor i partner techniczny takich zespołów sportu motorowego jak: Toyota Gazoo WEC, Volvo Cyan WTCC, Toyota WRC, Subaru WRT oraz innych, wiemy wszystko o wysokich osiągach. Wykorzystujemy nasze doświadczenie, opracowując irydowe i wyczynowe świece zapłonowe.

Dzięki świecy zapłonowej odpowiedniej do każdego zastosowania i spełniającej wymagania motoryzacyjne, możesz polegać na DENSO.

Autor
Wouter Knol – **DENSO Aftermarket Application Engineer**

Współautorzy
Peter Coombes – **Redaktor techniczny**
Gilbert Couvert – **DENSO Aftermarket Product Manager**

Spis treści

1. ŚWIECE ZAPŁONOWE - WPROWADZENIE 2
   1.1. Świece zapłonowe: o ich wyjątkowym udziale w procesie spalania 2
   1.2. Wymagania eksploatacyjne dla nowoczesnych świec zapłonowych 3
   1.3. Różne świece zapłonowe dla różnych silników 4

2. PRACA SILNIKA CZTEROSUWOWEGO I PRZEBIEG PROCESU SPALANIA 6
   2.1. Suwy czterosuwowego cyklu pracy silnika: dolotu, sprężania, pracy i wylotu 6

3. ZASADA PRACY UKŁADU ZAPŁONOWEGO Z CEWKĄ 8
   3.1. Zadania układu zapłonowego 8
   3.2. Cewki zapłonowe - wprowadzenie 8
   3.3. Cewki zapłonowe: transformacja niskiego napięcia na wysokie napięcie 9
   3.4. Czas zasilania cewki zapłonowej 11
   3.5. Moment zapłonu mieszanki: wyzwolenie przeskoku iskry we właściwym momencie 12

4. MECHANICZNE I ELEKTRONICZNE UKŁADY ZAPŁONOWE 16
   4.1. Mechaniczne układy zapłonowe - podstawy 16
   4.2. Elektroniczne układy zapłonowe wczesnego typu 20
   4.3. Współczesne elektroniczne układy zapłonowe 21

5. SZCZEGÓŁOWY OPIS PROCESU SPALANIA 24
   5.1. Spalanie mieszanki paliwowo-powietrznej 24
   5.2. Zapewnienie prawidłowego procesu spalania 26
   5.3. Przyczyny i następstwa nieprawidłowego przebiegu procesu spalania 27
   5.4. Zanieczyszczenia i szkodliwe emisje powstające podczas spalania 29
   5.5. Ograniczanie szkodliwych emisji i zużycia paliwa 30

6. ŚWIECE ZAPŁONOWE 32
   6.1. Klucz do procesu spalania 32
   6.2. Wymagania dotyczące wydajności 32
   6.3. Budowa świecy zapłonowej 33
   6.4. Iskra elektryczna i wymagane napięcie zapłonowe 35
   6.5. Czynniki wpływające na napięcie zapłonu 36
   6.6. Zakres temperatur roboczych 39
   6.7. Tłumienie płomienia utrudniające jego powstawanie i wzrost 41

7. TECHNOLOGIE DENSO POPRAWA WYDAJNOŚCI ŚWIEC ZAPŁONOWYCH 42
   7.1. Rozwój świec zapłonowych DENSO 42
   7.2. Materiały elektrod 43
   7.3. Materiały na elektrody centralne 44
   7.4. Materiały na elektrody masowe 45
   7.5. Inne technologie wykorzystywane w świecach zapłonowych DENSO 47
   7.6. Trendy rozwojowe 48

8. Oferta produktów firmy DENSO 50
   8.1. Świece zapłonowe dedykowane dla rynku OEM 50
   8.2. Świece zapłonowe Twin Tip 52
   8.3. Świece zapłonowe Iridium Power 53
   8.4. Świece zapłonowe Iridium Racing 54

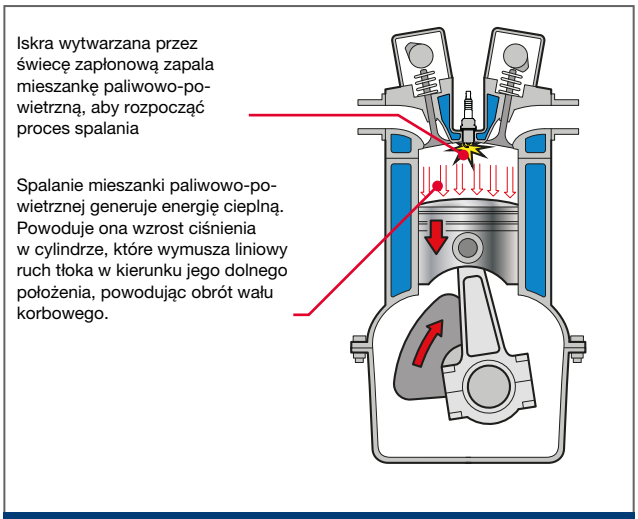
9. ZMIEŃ SWOJE ŚWIECE ZAPŁONOWE NA LEPSZE 56
   9.1. Dlaczego powinieneś wymienić swoje świece zapłonowe na lepsze? 56
   9.2. Generowana moc 57
   9.3. Oszczędność paliwa i zmniejszenie emisji 58
   9.4. Płynność pracy na biegu jałowym, wypadanie zapłonu i problemy z rozruchem silnika 59
   9.5. Silniki zasilane LPG i CNG 60
   9.6. Tuning i sporty motorowe 61

10. CZĘSTO ZADAWANE PYTANIA, MONTAŻ I ROZWIĄZYWANIE PROBLEMÓW 62
   10.1. CZĘSTO ZADAWANE PYTANIA (FAQ) 62
   10.2. Prawidłowy montaż świec zapłonowych 64
   10.3. Rozwiązywanie problemów 65

1. WPROWADZENIE DO ŚWIEC ZAPŁONOWYCH

1.1 Świece zapłonowe: o ich wyjątkowym udziale w procesie spalania

Silniki wewnętrznego spalania przekształcają energię cieplną w mechaniczną
Silnik spalinowy przekształca energię cieplną, która powstaje w wyniku spalania mieszanki paliwowo-powietrznej w jego cylindrach, na energię mechaniczną. Gorące spaliny z procesu spalania rozprężają się i wymuszają ruch osiowy tłoka na dół, który jest zamieniany na ruch obrotowy wału korbowego (rys. 1.1)



Rys. 1.1 Zapłon, proces spalania i powstawanie siły napędowej

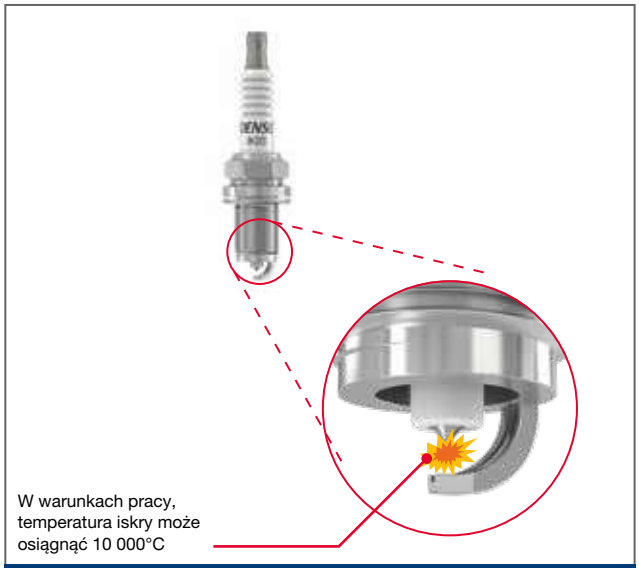
Proces spalania jest zatem jednym z najważniejszych etapów w pracy silnika. Jeśli przebiega nieprawidłowo, silnik nie uzyskuje wymaganych osiągów. Dodatkowo nieprawidłowe spalanie powoduje wzrost emisji składników szkodliwych oraz zużycia paliwa.

Aby proces spalania przebiegał prawidłowo, powietrze musi być mieszane z paliwem w ściśle określonym stosunku. Ruch tłoka w cylindrze, ku głowicy, spręża mieszankę paliwowo-powietrzną lub początkowo tylko powietrze (zależnie od konstrukcji układu zasilania silnika z zapłonem iskrowym). Wtłacza on ją do niewielkiej przestrzeni, nazywanej komorą spalania (patrz rozdział 2).

Sprężanie mieszanki paliwowo-powietrznej zwiększa jej temperaturę, ale nie jest ona wystarczająca, aby zainicjować proces spalania, dlatego dodatkową ilość energii cieplnej należy doprowadzić z zewnętrznego źródła. Jest nim iskra (gorący łuk elektryczny), dostarczona za pośrednictwem świecy zapłonowej, w ściśle określone miejsce komory spalania.

Powietrze atmosferyczne składa się z około: 78% azotu, 21% tlenu, niewielkiej ilości argonu, dwutlenku węgla i kilku innych gazów.
Benzyna silnikowa składa się głównie z wodoru i węgla. Podczas procesu zapłonu a następnie spalania mieszanki paliwowo-powietrznej, reagują ze sobą gazowe składniki powietrza i odparowane paliwo. Powstają gazowe składniki tych reakcji. One również reagują między sobą. Wyzwala się energia cieplna. Gorące produkty spalania, w postaci mieszaniny gazów, zwiększają swoją objętość.

Świeca zapłonowa jest bardzo istotnym elementem dla procesu spalania
Dokładnie we właściwym momencie układ zapłonowy dostarcza krótki impuls wysokiego napięcia do świecy zapłonowej. Generuje on powstanie iskry elektrycznej pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej. W jej środku - jądrze (rys. 1.2), temperatura może na krótko osiągnąć a nawet przekroczyć 10 000°C. Dostarczona energia elektryczna jest wystarczająca do ogrzania niewielkiej ilości mieszanki otaczającej końcówki elektrod świecy zapłonowej, do temperatury zapłonu.



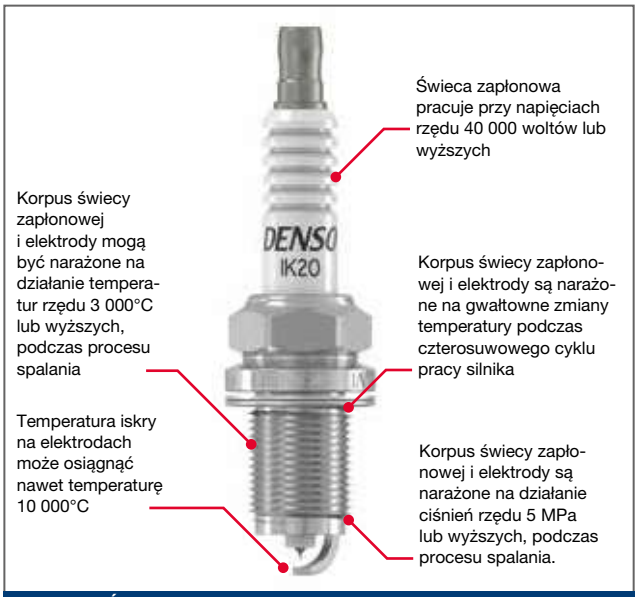
Rys. 1.2 Temperatura iskry

Tak zainicjowany proces spalania powoduje powstanie gorącego płomienia, który rozprzestrzenia się „w głąb" pozostałej części mieszanki wypełniającej komorę spalania.

Ciepło, wyzwolone w następstwie proces spalania, zwiększa ciśnienie gazów w komorze spalania. Wymusza ono osiowy ruch tłoka. Kluczową rolę w inicjacji procesu spalania w silniku z zapłonem iskrowym ma świeca zapłonowa, ponieważ doprowadza niezbędną ku temu energię elektryczną.

1.1. Świece zapłonowe: o ich wyjątkowym udziale w procesie spalania 2
1.2. Wymagania eksploatacyjne dla nowoczesnych świec zapłonowych 3
1.3. Różne świece zapłonowe dla różnych silników 4

1.2. Wymagania eksploatacyjne dla nowoczesnych świec zapłonowych



Rys. 1.3 Świeca zapłonowa musi pracować w bardzo nieprzyjaznym otoczeniu

Niezawodność i trwałość
Niezależnie od konstrukcji silnika, obszar wewnątrz cylindra, w którym odbywa się spalanie, nie stwarza ku temu sprzyjających warunków. Świeca zapłonowa musi dostarczać iskrę zapłonową o określonej temperaturze, aby zapalała mieszankę paliwowo-powietrzną podczas wielu tysięcy kilometrów przebiegu samochodu, rozpoczynając miliony kolejnych procesów spalania.

Napięcie a iskra elektryczna
Podstawowym zadaniem świecy zapłonowej jest wykorzystanie wysokiego napięcia do niezwłocznego generowania gorącej i silnej iskry. Wysokie napięcie zazwyczaj mieści się w przedziale od 10 000 do 40 000 tysięcy woltów (10kV do 40kV), ale obecnym celem jest uzyskiwanie napięć 45kV lub wyższych. Poszczególne części składowe świecy zapłonowej muszą być dobrze izolowane, aby zapewnić, by prąd o wysokim napięciu nie upłynął na zewnątrz świecy lub nie spowodował wewnętrznego zwarcia.

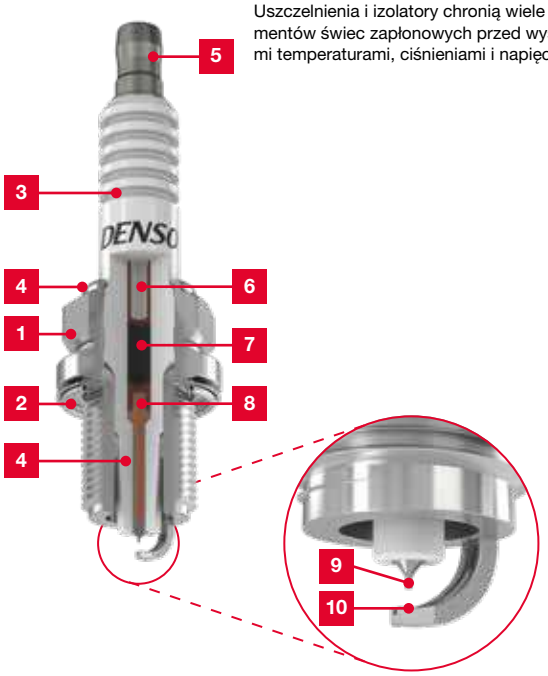
Temperatura
Podczas bardzo krótkiego okresu występowania iskry, elektrody świec zapłonowych mogą być początkowo wystawione na działanie temperatury sięgającej nawet 10 000°C, natomiast podczas bardziej długotrwałego procesu spalania obudowa świecy zapłonowej i elektrody narażone są na temperatury ok. 3 000°C . Występują również gwałtowne zmiany temperatur, na przykład gdy świeża mieszanka paliwowo-powietrzna lub powietrze (zależnie od konstrukcji układu zasilania silnika z zapłonem iskrowym), napływa do cylindra silnika w suwie dolotu i natychmiast chłodzi świecę zapłonową, która jeszcze przed chwilą była wystawiona na działanie wysokich temperatur procesu spalania.

Mogą również wystąpić wysokie temperatury, które mogą spowodować uszkodzenie elektrod i obudowy świecy zapłonowej. Istnieje też możliwość osiągnięcia przez część świecy zapłonowej tak wysokiej temperatury, która spowoduje, że jakiś jej punkt zainicjuje przedwcześnie proces spalania mieszanki, czyli jeszcze nim uczyni to iskra. Przedwczesny niekontrolowany zapłon mieszanki lub za wczesny, zainicjowany prawidłowo iskrą elektryczną, za wcześnie inicjuje proces spalania. W konsekwencji nadmiernie rośnie ciśnienie gazów w komorze spalania i za wcześnie rozprężają się. Przedwczesny wzrost ciśnienia a następnie przedwczesne rozprężanie się gazów, mogą wymuszać na tłoku ruch w dół cylindra, nim osiągnie on górny martwy punkt w suwie sprężania (patrz podrozdział 5.3).

Ciśnienie
Procesowi spalania mogą towarzyszyć ciśnienia rzędu 5 MPa lub wyższe, ale w niektórych bardziej wysilonych silnikach mogą być one znacznie wyższe.
Dlatego pomiędzy korpusem świecy zapłonowej a jej gniazdem w głowicy, musi być dobre uszczelnienie. Ale świeca zapłonowa musi również posiadać wewnętrzne uszczelnienie, aby zapobiec przenikaniu gorących spalin, o wysokim ciśnieniu, pomiędzy różnymi elementami świecy zapłonowej (rys. 1.4). Jeśli jakiekolwiek gazy przedostawałyby się przez zamontowaną świecę zapłonową, to oprócz spadku ciśnienia, mogłoby nastąpić również uszkodzenie elementów świecy zapłonowej.

Zanieczyszczenie i pokrycie osadami
Podczas procesu spalania powstaje wiele różnych zanieczyszczeń, w tym produkty spalania paliwa (szczególnie gdy przebiega nieprawidłowo), oraz oleju silnikowego. Mogą się one gromadzić na świecy zapłonowej i wpływać na jej prawidłową pracę. Wprawdzie świeca zapłonowa nie może mieć za wysokiej temperatury, ale jednocześnie musi ona zapobiegać zanieczyszczeniu świecy zapłonowej oraz umożliwiać wypalanie osadów (patrz podrozdział 6.6).

Wnioski
Ważnymi cechami świec zapłonowych są zatem: odporność na wysokie temperatury i jej zmiany, a także odporność na wysokie ciśnienia. W tych warunkach świeca zapłonowa musi pracować przy wysokim napięciu, aby co kilka tysięcznych sekundy, przez cały jej okres eksploatacji generować gorąca iskrę elektryczną.
Aby zapobiec uszkodzeniu przez wysokie temperatury, świeca zapłonowa musi być w stanie odprowadzać i rozproszyć nadmiar ciepła z niej samej oraz z głowicy silnika. Ale, co ważne, jeśli ze świecy zapłonowej zostanie odprowadzone lub rozproszone za dużo ciepła, może nastąpić obniżenie temperatury iskry. Zarówno zapłon mieszanki, jak i jej spalanie mogą wówczas przebiegać nieprawidłowo. Ponadto, jeśli za dużo ciepła zostanie odprowadzone lub rozproszone ze świecy zapłonowej, może ona nie być w stanie wypalać zanieczyszczeń.



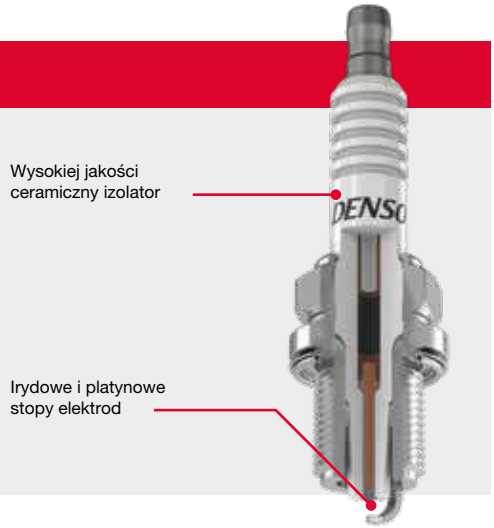
1	Korpus	6	Rdzeń świecy
2	Uszczelka	7	Rezystor
3	Izolator	8	Elektroda z miedzianym rdzeniem
4	Uszczelka pierścieniowa (2x)	9	Elektroda centralna
5	Końcówka profilowa	10	Elektroda masowa

Rys. 1.4 Irydowa świeca zapłonowa DENSO (Iridium)

TO WYRÓŻNIA PRODUKTY DENSO

Wykorzystanie metali szlachetnych i o szczególnych właściwościach

Materiały stosowane w świecach zapłonowych DENSO (specjalna ceramika wykorzystywana na izolatory i metale szlachetne używane w stopach irydowych oraz platynowych na elektrody) mogą wytrzymać bardzo wysokie temperatury silnika i w komorze spalania. Dzięki temu świece zapłonowe DENSO są jednymi z najbardziej trwałych na rynku.



1.3. Różne świece zapłonowe dla różnych silników

Różne konstrukcje silników z konieczności wymagają świecy zapłonowej o różnej wielkości, która może mieć całkowicie różne właściwości. Trend na coraz mniejsze świece zapłonowe do zastosowań w motocyklach rozpoczął się wiele lat temu, ale nowoczesne silniki samochodowe o zmniejszonej objętości skokowej (tzw. downsizing silników) są teraz też wyposażane w małe świece zapłonowe, które nadal muszą wytrzymywać te same trudne warunki pracy.

Specyficzne warunki pracy silnika, o różnych konstrukcjach, wpływają na wiele różnych cech konstrukcyjnych świec zapłonowych. Temperatury i ciśnienia w komorze spalania oraz stosowanie wyższych napięć wpływają na konstrukcję świecy zapłonowej. Na każdą nową generację silników nakładane są coraz bardziej rygorystyczne wymagania w zakresie emisji składników szkodliwych. Aby możliwe było ich spełnienie, konstrukcja świec zapłonowych stale ewoluuje.

Rys. 1.5 Irydowa świeca zapłonowa DENSO

Silniki różnią się budową. Teoretycznie wymagają różnych świec zapłonowych, o różnych cechach konstrukcyjnych i parametrach pracy. Jednak DENSO, dzięki zaawansowanym metodom projektowania i testów, jest w stanie wyprodukować stosunkowo niewielką gamę świec zapłonowych, które spełniają wymagania różnych typów silników. Zaawansowane konstrukcyjnie świece zapłonowe nowszej generacji mogą zastąpić wiele świec zapłonowych starszych generacji.

Jedną z zaawansowanych cech konstrukcyjnych świec zapłonowych DENSO jest zastosowanie irydu. Umożliwia on wytwarzanie świec zapłonowych DENSO Iridium, które posiadają ultra-cienką elektrodę centralą, o średnicy 0,4 mm (rys. 1.5).

W porównaniu do mniej zaawansowanych konstrukcyjnie świec zapłonowych, możliwe jest stosowanie mniejszej szczeliny pomiędzy elektrodami. Mniejsze jest również napięcie, konieczne do inicjacji iskry elektrycznej. Iryd, w porównaniu z bardziej tradycyjnymi materiałami elektrod, cechuje większa wytrzymałość oraz niższy opór elektryczny. Wyższa odporność na wysokie temperatury sprawia, że ich trwałość jest większa.

Zastosowanie elektrod irydowych oraz innych cech konstrukcji świec zapłonowych jest szczegółowo omówione w rozdziałach 6, 7 i 8.

TO WYRÓŻNIA PRODUKTY DENSO

Świeca zapłonowa DENSO dla każdego silnika

Unikalne świece zapłonowe wykorzystywane przez producentów samochodów (tzw. części OEM)

Gdy konstruowany jest silnik, producenci samochodów (odbiorcy części OEM) wybierają świecę zapłonową zgodnie z ich wymaganiami. Jednak specyficzne wymagania określonego silnika powodują, że producenci samochodów (odbiorcy części OEM) mają inne wymagania niż tzw. rynek wtórny.

Dla producentów samochodów (odbiorcy części OEM) zalety z wykorzystania wyjątkowej świecy zapłonowej są następujące:

> Świeca zapłonowa spełnia co najmniej minimalne wymagania
> Świeca zapłonowa ma akceptowalny okres eksploatacji pomiędzy wymianami
> Wyjątkowa świeca zapłonowa jest zwykle wynikiem osiągnięcia minimalnych wymagań w zakresie wydajności i trwałości, przy najniższych kosztach.

Opracowanie świecy zapłonowej o unikalnych cechach wiąże się z dodatkowymi kosztami, ale produkowane ilości są często wystarczająco duże, aby je zrekompensować.

Na rynku niezależnych producentów części zamiennych (IAM) niektórzy producenci świec zapłonowych skwapliwie wykorzystują te zalety, aby sprzedawać własne produkty o nietypowej konstrukcji, jako oryginalne. DENSO jest również producentem świec zapłonowych na rynek części zamiennych, ale technicznie są one takie same jak dla producentów samochodów.

Jednak, aby dobrać świecę zapłonową do każdego pojazdu, należałoby oferować ich pełen asortyment – ponad 400 rodzajów.

Oferta alternatywna DENSO

Aby zmniejszyć różnorodność produkowanych świec zapłonowych, DENSO proponuje alternatywne rozwiązanie. Na rynek wtórny DENSO dostarcza świecę zapłonową, która spełnia wyższe wymagania od określonych dla jakiejś ich grupy. Różnice pomiędzy świecami tej grupy są niewielkie, więc można je zastąpić jedną. Przykładowo, wystarczy tylko 35 numerów katalogowych wysokowydajnych świec zapłonowych 'DENSO Twin Tip', aby pokryć zapotrzebowanie 90% parku samochodowego. W tym celu opracowano wysokowydajne świece zapłonowe, z elektrodami wyróżniającymi się mała średnicą i odpornością na zużycie.

Wnioski

Gama świec zapłonowych Twin Tip jest opracowana z uwględnieniem wymagań niezależnego rynku części zamiennych (IAM) i wykorzystuje zaawansowaną technologię. Zastępuje wiele innych wariantów wykonań świec zapłonowych. Dorównują one, a nawet często przewyższają osiągi świec zapłonowych przeznaczonych na rynek pierwotny (OEM) i umożliwiają konsolidację asortymentu świec zapłonowych na rynek wtórny (IAM).

Niklowa świeca zapłonowa | Platynowa świeca zapłonowa | Irydowa świeca zapłonowa | Świeca zapłonowa SIP | Niklowa świeca zapłonowa TT | Irydowa świeca zapłonowa TT

2. PRACA SILNIKA CZTEROSUWOWEGO I PRZEBIEG PROCESU SPALANIA

2.1. Suwy czterosuwowego cyklu pracy silnika: dolotu, sprężania, pracy i wylotu

Silnik, opracowany przez N. Otto w 1876 roku, określany jako silnik zapłonem iskrowym – w skrócie ZI, lub popularnie jako silnik Otto, pracuje w tzw. czterosuwowym cyklu pracy. Składają się na niego następujące suwy pracy: dolot, sprężanie, praca i wylot.

(1) Suw dolotu

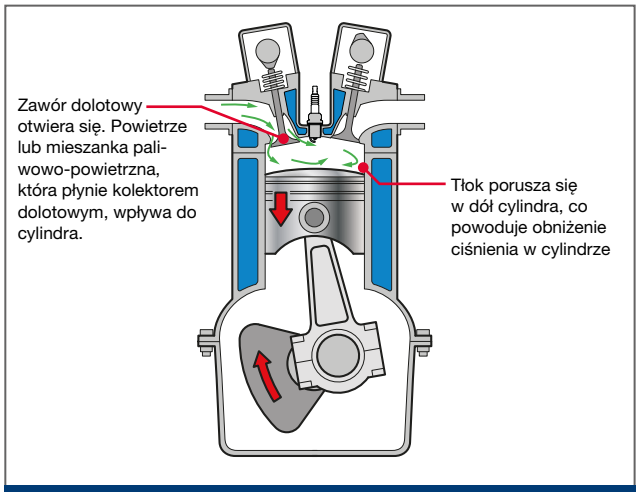
Podczas pierwszego suwu, tłok przesuwa się w dół cylindra (rys. 2.1). W silniku wolnossącym ciśnienie obniża się poniżej ciśnienia atmosferycznego. Ponieważ zawór dolotowy jest otwarty, powietrze z zewnątrz cylindra, o ciśnieniu atmosferycznym, płynie do cylindra, w którym ciśnienie jest niższe. Ruch tłoka wytwarza więc różnicę ciśnień (ssanie), które wymusza przepływ mieszanki lub powietrza (zależnie od konstrukcji silnika).

Jeśli silnik jest wyposażony w turbosprężarkę lub sprężarkę wyporową, zwiększają one ciśnienie powietrza w stosunku do ciśnienia atmosferycznego, co powoduje przepływ większej ilości powietrza przez kolektor dolotowy do cylindra.

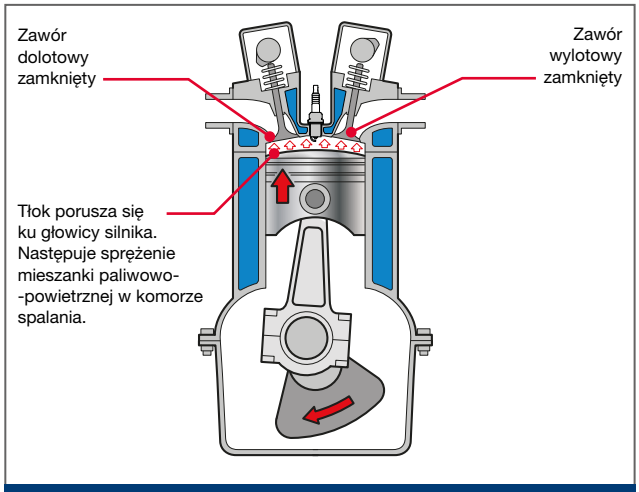
W części silników z zapłonem iskrowym, cała mieszanka paliwowo-powietrzna lub jej większość powstaje w kolektorze dolotowym jeszcze przed suwem dolotu (silniki o zasilaniu gaźnikowym lub z pośrednim wtryskiem benzyny do kolektora dolotowego). Do cylindra wpływa tylko mieszanka paliwowo-powietrzna, a nie powietrze. Obecnie nowoczesne silniki z zapłonem iskrowym są wyposażone w bezpośredni wtrysk paliwa do komory spalania. Jeśli dodatkowo nie posiadają systemu wtrysku pośredniego, to zależnie od chwilowych warunków pracy silnika i przyjętego dla nich sposobu tworzenia i spalania mieszanki, w suwie dolotu do cylindra napływa tylko powietrze, a paliwo jest wtryskiwane do cylindra w suwie dolotu lub dopiero w suwie sprężania.

(2) Suw sprężania

Podczas drugiego suwu (rys. 2.2) zawór dolotowy jest zamknięty. Cylinder jest szczelnie zamknięty, aby nie wydostawała się z niego mieszanka paliwowo-powietrzna lub powietrze, oraz by nie spadało w nim ciśnienie. Tłok porusza się ku głowicy silnika. Następuje wielokrotne zmniejszenie objętości mieszanki paliwowo-powietrznej (sprężenie). Jeśli przykładowo jest ono dziesięciokrotne, wówczas tzw. współczynnik sprężania wynosi 10 (w innym zapisie - 10:1). Jego wartość jest zależna od konstrukcji silnika. Teoretycznie ciśnienie w komorze spalania będzie około 10 razy wyższe od ciśnienia atmosferycznego (1 MPa) lub więcej, jeśli silnik wyposażony w turbosprężarkę lub sprężarkę wyporową.



Rys. 2.1 Suw dolotu



Rys. 2.2 Suw sprężania

(3) Suw pracy
Trzeci suw w silniku z zapłonem iskrowym rozpoczyna się zapłonem mieszanki przez iskrę elektryczną, bowiem temperatura uzyskana przez sprężenie mieszanki paliwowo-powietrznej jest ku temu niewystarczająca. Dostarczenie ciepła koniecznego do zapłonu, za pośrednictwem gorącej iskry, jest zadaniem świecy zapłonowej. W silniku z zapłonem samoczynnym, o wyższym stopniu sprężania, temperatura uzyskana przez sprężanie powietrza (paliwo jest wtryskiwane na końcu suwu sprężania), umożliwia samozapłon mieszanki paliwowo-powietrznej. Rozpoczyna on proces spalania całej dawki paliwa. Podczas suwu pracy (rys. 2.3), w następstwie spalania mieszanki paliwowo-powietrznej, powstaje duża ilość gorących gazów, o wysokim ciśnieniu. Rozprężają się (zwiększają objętość), wymuszają ruch tłoka na dół cylindra i wykonują pracę użyteczną. Mechanizm tłokowo-korbowy zamienia ruch liniowy tłoka w ruch obrotowy wału korbowego, a praca użyteczna spalin jest przekazywana wałowi korbowemu.

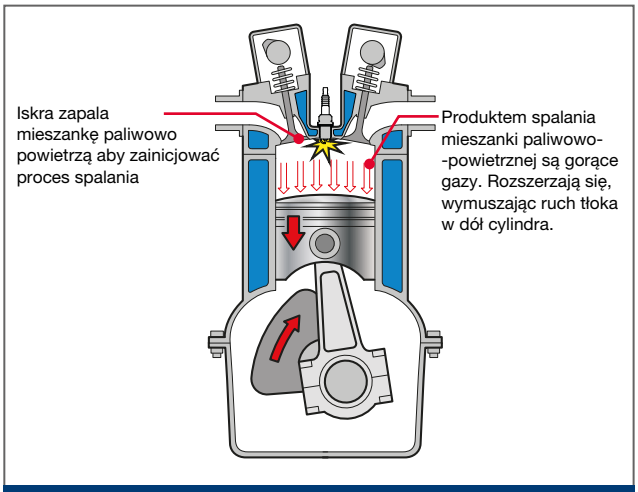
Teoretycznie iskra powinna zostać wygenerowana dokładnie w momencie, w którym tłok, poruszając się ku górze, osiąga tzw. górny martwy punkt (GMP). Po jego uzyskaniu, tłok rozpoczyna ponowny ruch w dół cylindra. Ponieważ zapalenie a następnie całkowite spalenie mieszanki paliwowo-powietrznej trwa kilka tysięcznych sekundy (w jego wyniku w cylindrze powstają gazy o wysokim ciśnieniu), konieczne jest aby iskra była generowana z wyprzedzeniem, dzięki czemu proces spalania może rozpocząć się wcześniej. Iskra zapłonowa inicjującą proces spalania jest więc generowana wówczas, gdy tłok pod koniec suwu sprężania (patrz podrozdział 4.3) zbliża się do górnego martwego punktu (GMP).

Wcześniejszy przeskok iskry i początek procesu spalania umożliwiają jego szybki i spokojny przebieg. Wyzwolenie ciepła i proces rozprężania gazów powinien następować w momencie wymaganym w danych warunkach pracy silnika.

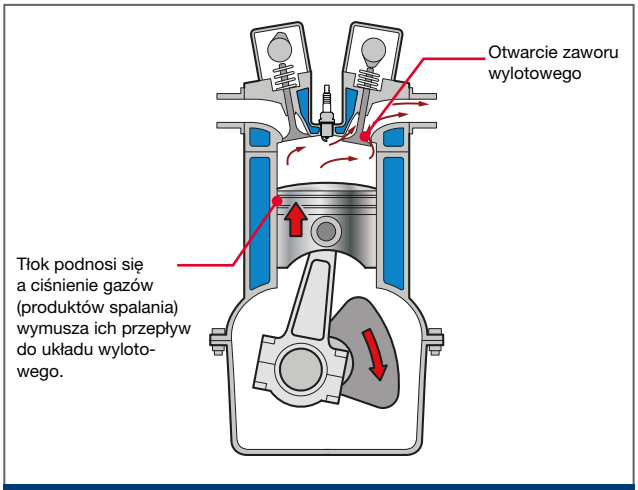
Ten suw zwyczajowo nazywany jest suwem pracy, ale podczas niego najpierw następuje zapłon mieszanki, potem jej spalanie, które przechodzi w rozprężanie gazów - produktów procesu spalania. Trwa ono do momentu otwarcia zaworu wylotowego. Rozprężające się gazy przemieszczają tłok w dół cylindra, a siła nacisku na niego, za pośrednictwem mechanizmu korbowego, jest przekształcana na moment obrotowy wału korbowego.

(4) Suw wylotu
Podczas czwartego suwu (rys. 2.4) zawór wylotowy jest otwarty. Obracający się wał korbowy przesuwa tłok w górę cylindra, co wymusza wypływ gazów - produktów procesu spalania, z cylindra do układu wylotowego.

Na końcu suwu wylotu, a przed zamknięciem zaworu wylotowego, otwiera się zawór dolotowy. Przez chwilę otwarte są oba zawory – jest to tzw. okres współotwarcia zaworów dolotowego i wylotowego. W tym okresie komora spalania jest „czyszczona" z reszty spalin (nie całej). W następnej kolejności zamykany jest zawór wylotowy. Od suwu napełniania rozpoczyna się kolejny czterosuwowy cykl pracy silnika. Nowa porcja mieszanki paliwowo-powietrznej lub powietrza (zależnie od rodzaju układu zasilania) wpływa do cylindra.



Rys. 2.3 Suw pracy



Rys. 2.4 Suw wylotu

Silniki o innych cyklach pracy
Zdecydowana większość silników samochodowych pracuje w czterosuwowym cyklu pracy, ale niektóre silniki wykorzystują dwusuwowy cykl pracy. Niektóre są silnikami z tzw. tłokiem obrotowym (silniki Wankla). Choć istnieją różnice pomiędzy cyklami pracy, we wszystkich silnikach z zapłonem iskrowym sprężona mieszanka paliwowo-powietrzna jest zapalana świecą zapłonową. Proces spalania powoduje, że uzyskujemy gazy o wysokim ciśnieniu. Ich rozprężanie powoduje pracę silnika z określoną wartością momentu obrotowego i mocy.

3. ZASADA PRACY UKŁADU ZAPŁONOWEGO Z CEWKĄ

3.1. Zadania układu zapłonowego

Niezawodność, długie okresy międzyobsługowe, umożliwiają zmniejszenie emisji składników szkodliwych
Układy zapłonowe ewoluowały przez lata od prostych układów mechanicznych do zaawansowanych układów elektronicznych, które są stosowane w nowoczesnych samochodach. Chociaż nowoczesne silniki pracują przy wyższych temperaturach i ciśnieniach procesu spalania, są zasilane bardziej ubogimi mieszankami, a ich prędkość obrotowa jest wyższa, ulepszenia układu zapłonowego stale zwiększają niezawodność, zmniejszają zużycie paliwa, wydłużaja okresy międzyobsługowe i zwiększają osiągi silnika. Jednak konstrukcja nowoczesnych układów zapłonowych musi stale nadążać za rosnącymi wymaganiami w zakresie redukcji emisji szkodliwych składników spalin.

Dwa podstawowe zadania
Układy zapłonowe muszą spełniać dwa podstawowe zadania:

(1) Wytwarzać wysokie napięcie, konieczna dla uzyskania iskry
(2) Dokładnie we właściwym momencie.

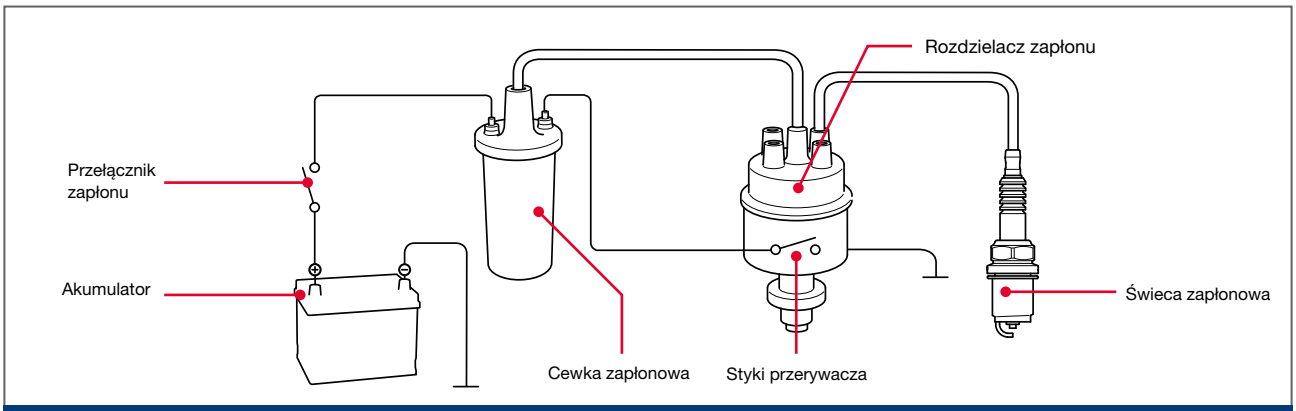
3.2. Cewki zapłonowe - wprowadzenie

Z bardzo nielicznymi wyjątkami, układy zapłonowe nowoczesnych samochodowych i motocyklowych silników zasilanych benzyną, dla uzyskania wysokiego napięcia koniecznego do przeskoku iskry, wykorzystują cewki wysokiego napięcia. Od lat siedemdziesiątych XX wieku układy zapłonowe uległy znaczym zmianom ze względu na zastosowanie elektroniki, ale nawet nowoczesne układy zapłonowe, które wykorzystują cewki zapłonowe, są ewolucją tradycyjnych układów zapłonowych, które były wprowadzone ponad 100 lat temu.

Wynalezienie układu zapłonowego, wykorzystującego cewkę zapłonową, jest przypisywane amerykańskiemu wynalazcy Charlesowi Ketteringowi. Opracował on układ zapłonowy montowany seryjnie w samochodach Cadillac około roku 1910/1911. Zastosowanie efektywnego układu zapłonowego z cewką zapłonową było możliwe dzięki zastosowaniu akumulatora, który również zasila elektryczny rozrusznik silnika (w rzeczywistości był on też wykorzystany przez Ketteringa w Cadillacu). Akumulator, generator i bardziej dojrzały układ elektryczny pojazdu zapewniały cewce zapłonowej stosunkowo stabilne zasilanie elektryczne.

W układzie zapłonowym Ketteringa (rys. 3.1) do uzyskania wysokiego napięcia była wykorzystana pojedyncza cewka zapłonowa. Następnie było ono rozprowadzane do świec zapłonowych poszczególnych cylindrów. Wysokie napięcie z cewki zapłonowej było przekazywane do tzw. palca rozdzielacza, który przekazywał je bezkontaktowo – przez szczelinę powietrzną, kolejno do elektrod zamontowanych w kopułce rozdzielaca zapłonu (jedna elektroda jest przypisana jednemu cylindrowi). Elektrody kopułki rozdzielacza były połączone przewodami zapłonowymi ze świecami zapłonowymi, w takiej kolejności, że możliwe było przekazywanie wysokiego napięcia do świec zapłonowych poszczególnych cylindrów, w kolejności występowania w nich zapłonów.

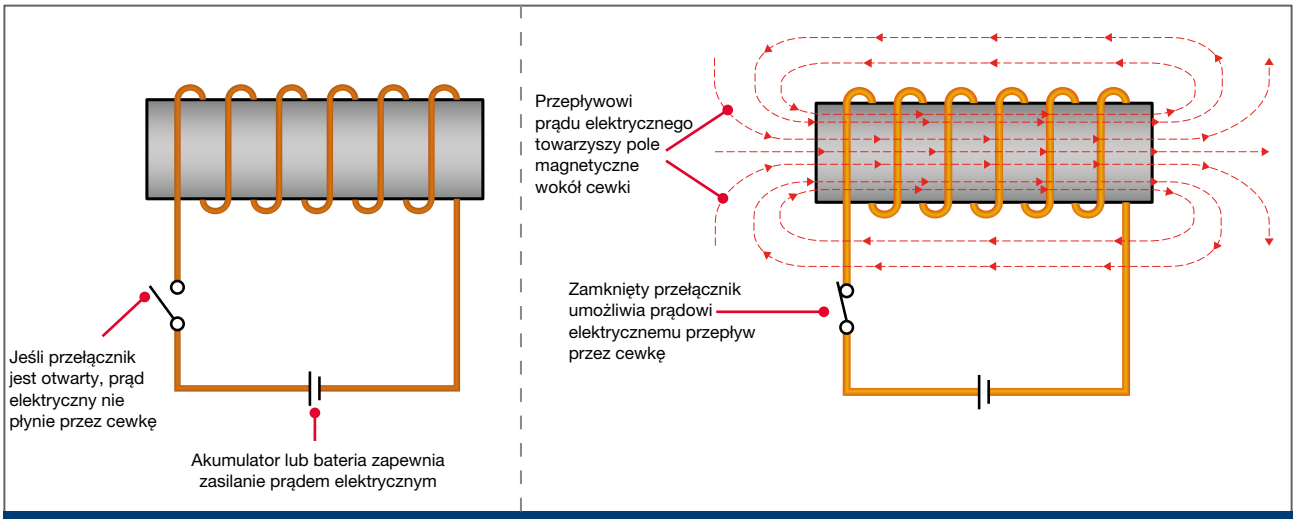
Układ zapłonowy Ketteringa stopniowo stał się prawie jedynym typem układu zapłonowego stosowanym w masowo produkowanych samochodach z silnikiem z zapłonem iskrowym, do momentu, kiedy w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych rozpoczęto zastępowanie mechanicznych układów zapłonowych przez układy zapłonowe wyzwalane i kontrolowane elektronicznie. (Patrz podrozdział 4.1).



Rys. 3.1 Główne elementy układu zapłonowego Ketteringa

3.1. Zadania układu zapłonowego 8
3.2. Cewki zapłonowe – wprowadzenie 8
3.3. Cewki zapłonowe: transformacja niskiego napięcia na wysokie napięcie 9
3.4. Czas zasilania cewki zapłonowej 11
3.5. Moment zapłonu mieszanki: wyzwolenie przeskoku iskry we właściwym momencie 12

3.3. Cewki zapłonowe: transformacja niskiego napięcia na wysokie napięcie



Rys.3.2 Wykorzystanie prądu elektrycznego do tworzenia pola magnetycznego

Aby możliwe było generowanie wysokiego napięcia, cewki zapłonowe wykorzystują zależności pomiędzy elektrycznością a magnetyzmem.

Wykorzystanie prądu elektrycznego do tworzenia pola magnetycznego
Jeśli prąd elektryczny płynie przez przewodnik elektryczny, taki jak cewka nawinięta z drutu, to wokół niej powstaje pole magnetyczne (rys. 3.2). W polu magnetycznym, a dokładniej w strumieniu magnetycznym, jest gromadzona energia. Można ją powtórnie przekształcić w energię elektryczną.

Gdy włączany jest przepływ prądu elektrycznego, jego natężenie stopniowo, szybko rośnie, aż do osiągnięcia stałej maksymalnej wartości. Jednocześnie stopniowo rośnie natężenie pola (strumienia) magnetycznego. Gdy natężenie prądu osiąga stałą maksymalną wartość, również natężenie pola magnetycznego osiąga stałą maksymalną wartość. W chwili wyłączenia prądu elektrycznego, pole magnetyczne zaczyna zanikać, a w uzwojeniu cewki generuje się prąd.

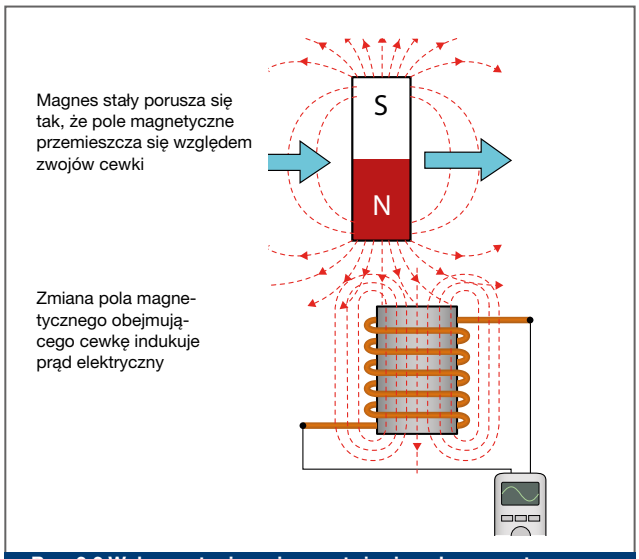
Na natężenie pola magnetycznego wpływ mają dwa główne czynniki:

(1) Zwiększenie natężenia prądu zasilającego cewkę zwiększa natężenie pola magnetycznego.

(2) Zwiększenie liczby zwojów cewki zwiększa natężenie pola magnetycznego.

Wykorzystanie zmiennego pola magnetycznego do indukcji prądu elektrycznego
Jeżeli zwoje cewki są objęte przez pole magnetyczne o zmiennym natężeniu lub pole magnetyczne będące w ruchu względem cewki, to w zwojach cewki powstaje prąd elektryczny. To zjawisko jest znane jako indukcja elektromagnetyczna.

Przykładem pola magnetycznego, które obejmuje zwoje cewki a jednocześnie może przemieszczać się względem nich, jest ruch magnesu stałego w stosunku do cewki. Ruch lub zmiana natężenia pola magnetycznego lub strumienia magnetycznego indukuje prąd elektryczny w zwojach cewki (rys. 3.3).



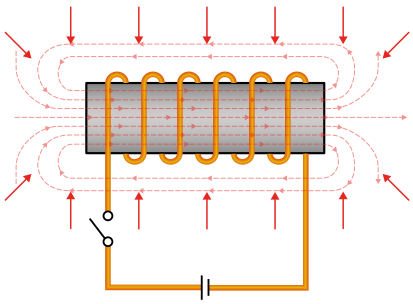
Rys. 3.3 Wykorzystanie zmiany natężenia pola magnetycznego lub jego ruchu do indukcji prądu elektrycznego w zwojach cewki

Są dwa główne czynniki, które wpływają na napięcie indukowanego prądu w cewce:

(1) Im szybszy jest ruch pola magnetycznego lub większa zmiana jego natężenia, tym większe jest indukowane napięcie.

(2) Im większa jest ilość uzwojeń cewki, tym większe jest indukowane napięcie.

Wykorzystanie zmiany lub zaniku pola magnetycznego do indukcji prądu elektrycznego
Jeśli pole magnetyczne jest tworzone przez zasilanie prądem elektrycznym cewki, to zwiększenie lub zmniejszenie natężenia prądu elektrycznego powoduje taką samą zmianę natężenia pola magnetycznego. Jeśli przepływ prądu elektrycznego zostanie wyłączony, to natężenie pola magnetycznego gwałtownie maleje – zanika.
Zanikające pole magnetyczne indukuje wówczas w cewce prąd elektryczny (rys. 3.4).



Jeśli pole magnetyczne powstaje wskutek przepływu prądu elektrycznego, a następnie przepływ tego prądu jest wyłączany, to zanikające pole magnetyczne indukuje w zwojach cewki przepływ drugiego prądu.

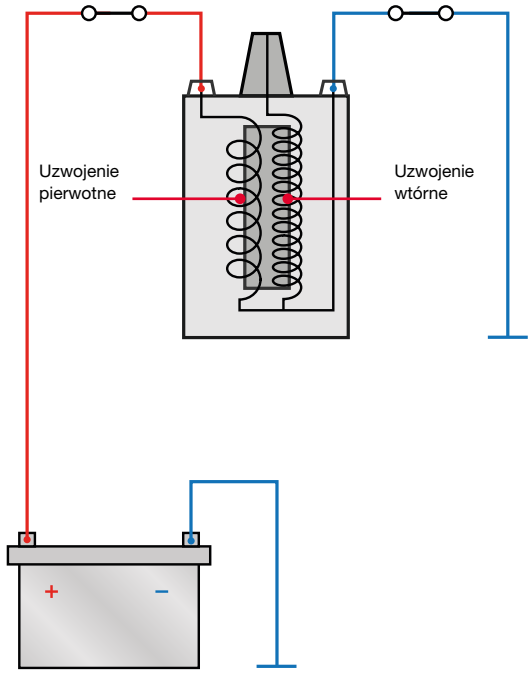
Rys. 3.4 Zanikające pole magnetyczne indukuje prąd elektryczny w cewce z drutu.

Analogicznie, tak jak wzrost prędkości ruchu pola magnetycznego, które obejmuje zwoje cewki, zwiększa indukowane napięcie, szybszy zanik pola magnetycznego powoduje indukowanie się wyższego napięcia. Ponadto indukowane w cewce wysokie napięcie zwiększa się, jeśli ma ona większą ilość zwojów.

Indukcja wzajemna i zasada pracy transformatora
Jeśli dwie cewki sąsiadują ze sobą lub są nawinięte współosiowo, a prąd elektryczny jest wykorzystywany do uzyskania pola magnetycznego wokół jednej z nich (to uzwojenie nazywamy pierwotnym), to powstałe pole magnetyczne obejmuje również drugą z cewek (to uzwojenie nazywamy wtórnym). Gdy prąd elektryczny zostanie wyłączony, pole magnetyczne gwałtownie zanika. Powoduje to indukcję napięcia zarówno w uzwojeniu pierwotnym, jak i wtórnym. Indukcję napięcia w uzwojeniu wtórym nazywamy indukcją wzajemną (rys. 3.5).

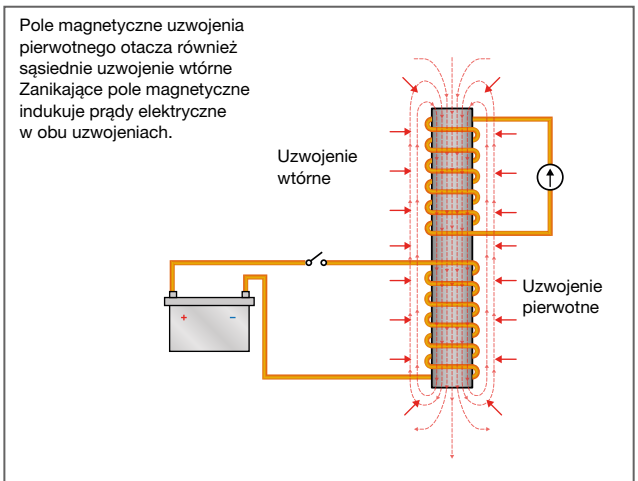
Uzwojenie wtórne cewek zapłonowych posiada większą ilość zwojów niż uzwojenie pierwotne, analogicznie jak w transformatorze, którego zadaniem jest zwiększenie napięcia wyjściowego, w stosunku do napięcia zasilania. Z tego powodu, gdy pole magnetyczne gwałtownie zanika, w uzwojeniu wtórym indukuje się napięcie wyższe w porównaniu do napięcia indukowanego w uzwojeniu pierwotnym (rys. 3.6).

Uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej tworzy zwykle 150 do 300 zwojów drutu, a uzwojenie wtórne tworzy zwykle od 15 000 do 30 000 zwojów drutu. Ilość zwojów uzwojenia wtórnego jest więc ok. 100 razy większa od ilości zwojów uzwojenia pierwotnego.



Uzwojenie wtórne cewki zapłonowej ma więcej zwojów niż uzwojenie pierwotne. Gdy pole magnetyczne zanika, napięcie indukowane w uzwojeniu wtórym będzie większe niż napięcie indukowane w uzwojeniu pierwotnym.

Rys. 3.6 Transformacja napięcia w cewce zapłonowej



Rys. 3.5. Indukcja wzajemna w sąsiednich zwojach drutu

Pole magnetyczne jest tworzone przez uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej. Z chwilą zamknięcia jego obwodu, to uzwojenie jest zasilane napięciem ok. 12 woltów, z instalacji elektrycznej samochodu. W momencie, gdy wymagany jest przeskok iskry elektrycznej na świecy zapłonowej, układ zapłonowy wyłącza przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne, co powoduje gwałtowny zanik pola magnetycznego. Zanikające pole magnetyczne będzie indukowało w uzwojeniu pierwotnym napięcie wynoszące ok. 200 woltów, ale jednocześnie, w obwodzie wtórnym, będzie indukować stukrotnie wyższe napięcie, wynoszące ok. 20 000 woltów.

Dzięki wykorzystaniu zjawiska indukcji wzajemnej oraz uzwojenia wtórnego, które ma 100 razy więcej zwojów niż uzwojenie pierwotne, możliwa jest transformacja napięcia 12 woltów, zasilającego uzwojenie pierwotne, w bardzo wysokie napięcie, o wartości ok. 20 000 woltów. Ten proces zmiany niskiego napięcia na wysokie napięcie określamy jako „transformację napięcia".

W cewce zapłonowej uzwojenia pierwotne i wtórne są nawinięte wokół żelaznego rdzenia. Wzmacnia i koncentruje on pole magnetyczne, dzięki czemu cewka zapłonowa umożliwia uzyskiwanie wyższych napięć.

3.4. Czas zasilania cewki zapłonowej

Czas zasilania cewki zapłonowej a powstawanie pola magnetycznego
Gdy rozpoczyna się zasilanie prądem pierwotnego uzwojenia pierwotnego cewki zapłonowej, upływa krótki okres czasu, aż prąd osiąga swoje maksymalne natężenie. Ponieważ natężenie pola magnetycznego (wielkość strumienia magnetycznego), które obejmuje uzwojenia cewki, jest proporcjonalne do natężenia przepływającego prądu elektrycznego, taki sam okres czasu jest niezbędny, aby pole magnetyczne osiągnęło wymagane natężenie. Gdy natężenia prądu i pola magnetycznego osiągają swoje wartości maksymalne, wówczas pole magnetyczne pozostaje stabilne.

Czas potrzebny do uzyskania przez pole magnetyczne maksymalnego natężenia jest często określany jako „czas ładowania" cewki zapłonowej.

(1) Jeśli prąd elektryczny nie przepływa przez uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej wystarczająco długo, wówczas pole magnetyczne nie osiągnie wymaganego natężenia.

(2) Jeśli prąd elektryczny przepływa przez uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej za długo, wówczas może nastąpić przegrzanie obwodów elektycznych i uzwojenia pierwotnego.

Wymagany czas zasilania cewki zapłonowej jest różny w zależności od typu cewki zapłonowej. Dla cewek zapłonowych starszej konstrukcji wynosi ok. 4 milisekund, a dla wielu nowoczesnych cewek zapłonowych wynosi ok. 1,5 milisekundy.

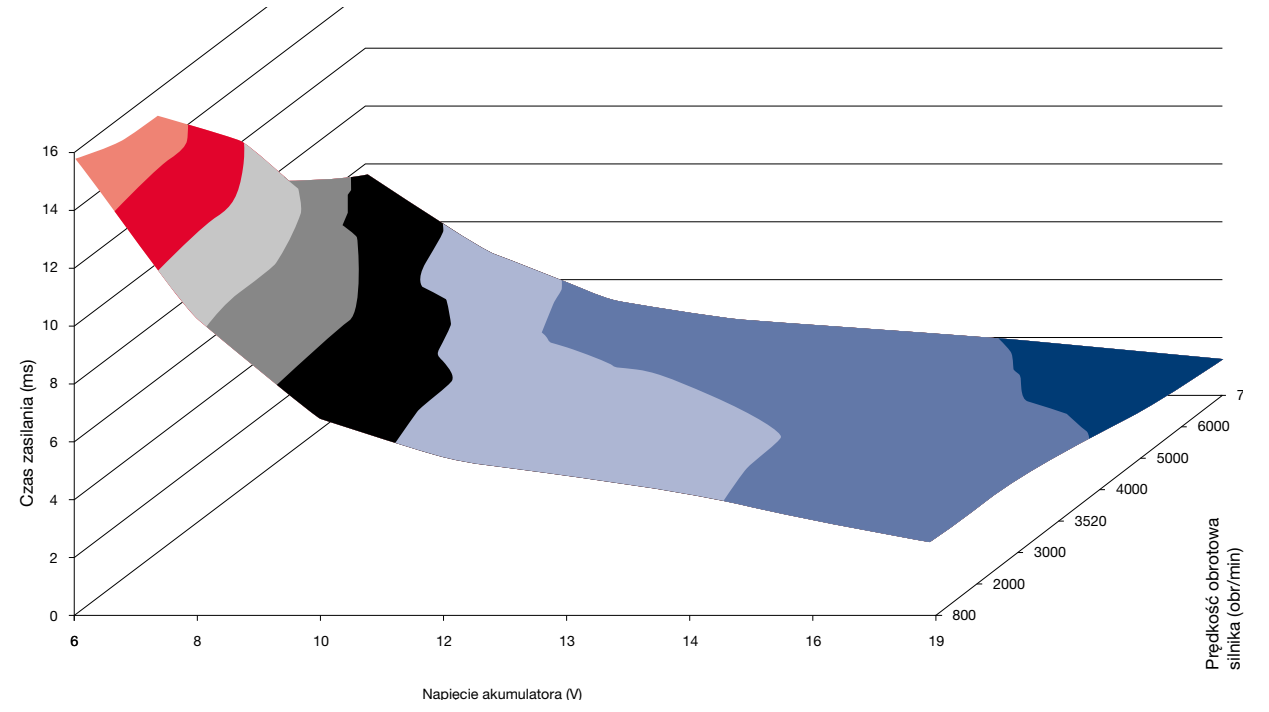
Czas, w którym uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej jest zasilane prądem elektrycznym jest często określany jako „okres zwarcia" lub „czas zwarcia", chodź nie chodzi tu o zwarcie w obwodzie elektrycznym. W tym przypadku określenie „zwarcie" dotyczy pozostawania w stanie zamkniętym styków mechanicznego przerywacza. Zagadnienie to jest omówione w podrozdziale 4.1. W nowoczesnych układach zapłonowych okres zasilania jest sterowany elektronicznie, aby zawsze umożliwił uzyskanie pola magnetycznego o wymaganym natężeniu. Jednak w przypadku starszych układów zapłonowych, w których mechaniczny przerywacz zapłonu włącza lub wyłącza przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej, jego ograniczenia konstrukcyjne powodują, że czas zasilania cewki zapłonowej maleje wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika. Dlatego przy wyższych prędkościach obrotowych silnika skrócenie czasu zasilania cewki zapłonowej uniemożliwia polu magnetycznemu osiągnięcie wymaganego natężenia.

Problem skracania czasu zasilania w mechanicznych układach zapłonowych jest wyjaśniony w rozdziale 4.

Wpływ napięcia zasilającego cewkę zapłonową na czas zasilania i czas powstawanie pola magnetycznego
Tak jak w każdym obwodzie elektrycznym, każda zmiana napięcia prądu powoduje zmiany jego natężenia. Jeśli rośnie napięcie prądu, którym instalacja elektryczna samochodu zasila uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej, to rośnie również jego natężenie. Zwiększenie natężenia prądu skraca czas potrzebny do uzyskania przez pole magnetyczne wymaganego natężania. Jednak spadek napięcia, a w konsekwencji również natężenia prądu, wydłuża czas konieczny by pole magnetyczne osiągnęło wymagane natężenie.

Niewielkie zmiany napięcia w instalacji elektrycznej pojazdu występują regularnie podczas normalnej jazdy, ale podczas rozruchu silnika może wystąpić znaczny spadek napięcia, bowiem wówczas znacznie maleje napięcie akumulatora. Obniżone napięcie istotnie wydłuża czas konieczny dla osiągnięcia przez pole magnetyczne wymaganego natężenia, ale w nowoczesnych, sterowanych elektronicznie układach zapłonowych kompensowany jest każdy spadek lub wzrost napięcia.

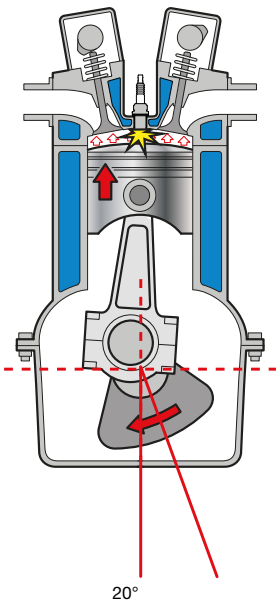
Na rys. 3.7 jest pokazana typowa charakterystyka czasu zasilania cewki zapłonowej (w milisekundach), nowoczesnego układu zapłonowego, w zależności od napięcia w instalacji elektrycznej samochodu i prędkości obrotowej silnika.



Rys.3.7 W nowoczesnym układzie zapłonowym, czas zasilania cewki jest określany z uwzględnieniem napięcia akumulatora i prędkości obrotowej silnika

3.5. Moment zapłonu mieszanki: wyzwolenie przeskoku iskry we właściwym momencie

Termin „moment zapłonu mieszanki" jest używany do oznaczenia momentu, w którym na elektrodach świecy zapłonowej jest wyzwalana iskra. Informacja o momencie wyzwolenia iskry jest podawana jako kąt zawarty pomiędzy położeniem tłoka w chwili, a górnym martwym położeniem tłoka (GMP) w czasie suwu sprężania, mierzony w stopniach obrotu wału korbowego. Tę informację nazywany kątem wyprzedzenia zapłonu. Przykładowo na rys. 3.8 jest pokazane ustawienie wału korbowego i tłoka, gdy zapłon następuje 20° przed GMP.



Rys. 3.8 Kąt wyprzedzenia zapłonu 20° - przesok iskry następuje 20° przed górnym martwym punktem (GMP)

Uwzględnienie czasu opóźnienia zapłonu, spalania i wzrostu ciśnienia

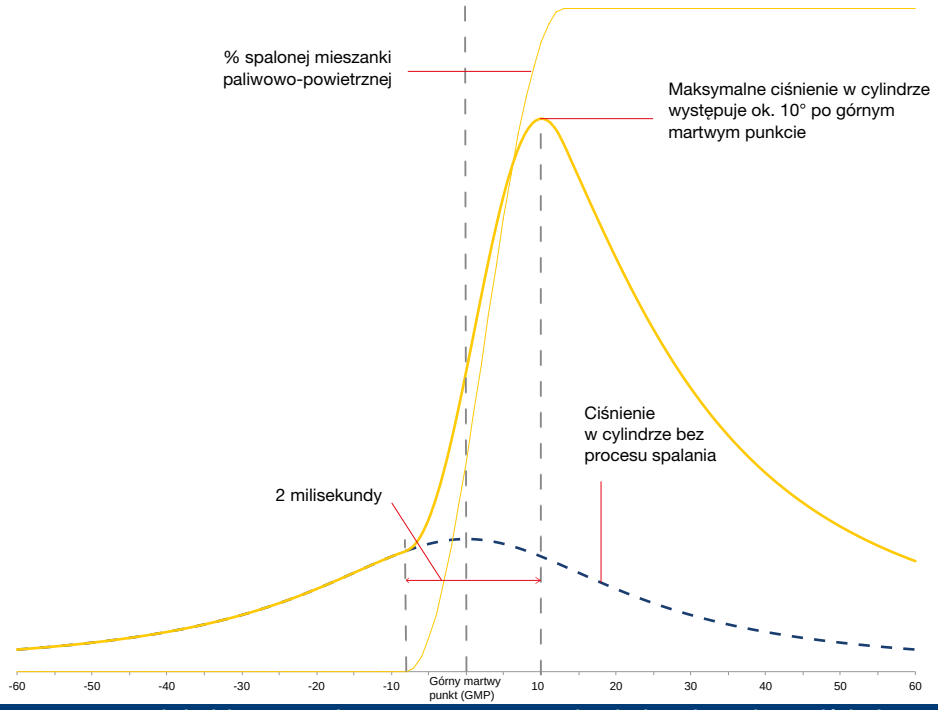
Przyjmuje się, że osiągi silnika są najlepsze (moment obrotowy, moc i zużycie paliwa), gdy maksymalne ciśnienie w cylindrze występuje w przybliżeniu 10° po GMP (gdy tłok zaczyna poruszać się w dół cylindra). Jednakże moment wystąpienia iskry musi być ustawiony z wyprzedzeniem, w stosunku do momentu, w którym wymagane jest maksymalne ciśnienie. Bezpośrednio po wystąpieniu iskry, mieszanka nie zapala się.

Ten bardzo krótki okres pomiędzy wystąpieniem iskry a początkiem procesu spalania mieszanki paliwowo-powietrznej jest nazywany czasem opóźnienia zapłonu. Potem potrzebny jest czas, aby płomień uzyskany przy inicjacji procesu spalania powiększał się, czyli propagował przez pozostałą część mieszanki wypełniającej komorę spalania. Mieszanka spala się, a powstałe ciepło jest wykorzystywane do rozprężania gazów.

Czas pomiędzy momentem wystąpienia iskry a momentem osiągnięcia maksymalnego ciśnienia może wynosić ok. 2 milisekund. Z tego powodu iskra powinna być dostarczona ok. 2 milisekundy przed oczekiwanym wystąpieniem maksymalnego ciśnienia.

Dokładny czas pomiędzy momentem wystąpienia iskry a momentem, w którym ciśnienie w cylindrze osiąga maksymalną wartość, zależy od konstrukcji silnika i zmienia się w zależności od warunków jego pracy. Efektywność procesu spalania jest na ogół lepsza w średnim zakresie prędkości obrotowych, co powoduje skrócenie czasu opóźnienia zapłonu i czas procesu spalania. Zmiany: obciążenia silnika, składu mieszanki paliwowo powietrznej oraz udziału recyrkulowanych spalin wpływają na czas opóźnienia zapłonu i czas procesu spalania.

Rys. 3.9 pokazuje przykład, w którym maksymalne ciśnienie w cylindrze jest osiągane 10° po GMP, ale z powodu czasu opóźnienia zapłonu i czasu potrzebnego na proces spalania iskra jest dostarczana z wyprzedzeniem 2 milisekund. Wał korbowy silnika obraca się z prędkością 1,500 obr/min, tak więc obrót o kąt 18° jest wykonywany w okresie 2 millisekund. Kąt wyprzedzenia zapłonu jest zatem ustawiony na 8° przed GMP. W tym momencie nastąpi przeskok iskry.

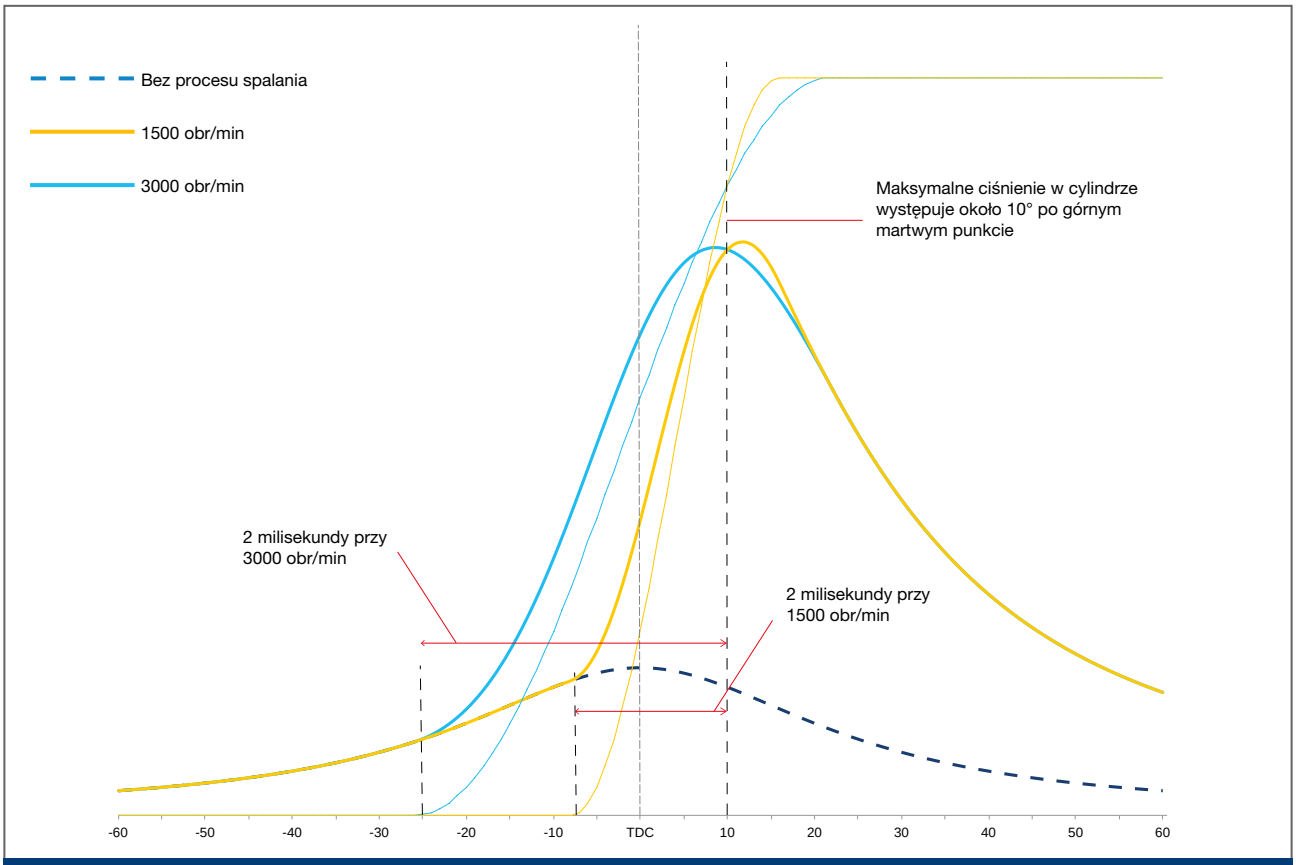


Rys. 3.9 Ustawiony moment przeskoku iskry wyprzedza wymagany moment osiągnięcia maksymalnego ciśnienia w cylindrze o ok. 2 milisekundy

Wzrost kąta wyprzedzenia zapłonu wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika

Jeśli prędkość obrotowa silnika zostanie zwiększona z 1500 obr/min do 3000 obr/min (rys. 3.10), przy założeniu, że od momentu przeskoku iskry, moment wystąpienia maksymalnego ciśnienia w cylindrze, powinien pozostać stały i wynosić 2 milisekundy, to w czasie 2 milisekund wał korbowy obróci się o 36° (przy 1500 obr/min obraca się o 18°). Dlatego, aby osiągnąć maksymalne ciśnienie w cylindrze przy 10° po GMP, kąt wyprzedzenia zapłonu musi zostać zwiększony do 26° przed GMP (w porównaniu do 8° przy 1500 obr/min).

Teoretycznie, kąt wyprzedzenia zapłonu powinien być zwiększany wprost proporcjonalnie do wzrostu prędkości obrotowej silnika, w całym zakresie jego prędkości obrotowych. Ponieważ wraz ze zmianami prędkości obrotowej silnika zmieniają się sprawności silnika i procesu spalania, dla większości nowoczesnych produkowanych silników samochodowych, kąt wyprzedzenia zapłonu osiąga wartość szczytową przy prędkości obrotowej ok. 3000 do 4000 obr/min



Rys. 3.10 Dwie różne wartości kąta wyprzedzenia zapłonu przy prędkościach obrotowych 1500 i 3000 obr/min

TO WYRÓŻNIA PRODUKTY DENSO

Świece zapłonowe DENSO: zmniejszają niepowtarzalność czasu opóźnienia zapłonu

Czas opóźnienia zapłonu może być niepowtarzalny, dlatego w różnych cyklach spalania może mieć różną wartość. Ta niepowtarzalność skraca lub wydłuża okres pomiędzy momentem przeskoku iskry elektrycznej a momentem wystąpienia maksymalnego ciśnienia w cylindrze.

Producenci silników muszą zatem zapewnić margines bezpieczeństwa przy doborze kąta wyprzedzenia zapłonu, aby upewnić się, że iskra elektryczna nie zostanie wyzwolona za wcześnie a więc i proces spalania nie będzie za wczesny.

Oferta świec zapłonowych DENSO obejmuje świece zapłonowe z cienką elektrodą (opatentowana, o średnicy 0,4 mm), które pomagają zmniejszyć nieregularność czasu opóźnienia zapłonu. Pozwala to producentom silników stosować mniejsze marginesy bezpieczeństwa przy doborze kątów wyprzedzenia zapłonu, dzięki czemu mogą być one bliższe wartościom optymalnym, co umożliwia bardziej prawidłowy przebieg procesu spalania i zwiększa sprawność silnika.

Kąt wyprzedzenia zapłonu zależny od obciążenia silnika
Optymalny kąt wyprzedzenia zapłonu zależy początkowo od prędkości obrotowej silnika, jednak zmienia się on także wraz ze zmianami obciążenia silnika.

Gdy silnik pracuje w warunkach małego obciążenia, co oznacza zazwyczaj, że przepustnica jest otwarta jedynie częściowo, do cylindra będzie się dostawać mniejsza ilość powietrza. Ciśnienie wewnątrz cylindra będzie zatem niższe niż w warunkach pełnego obciążenia. Ponadto w silnikach starszego typu, jak również w niektórych nowszych silnikach, mieszanka może być uboższa (mniejsza ilość benzyny zmieszana z powietrzem) w celu zapewnienia oszczędności i obniżenia emisji spalin. Przy niższych ciśnieniach w cylindrze i uboższych mieszankach spalanie trwa dłużej, co wymaga zwiększenia wyprzedzenia zapłonu, aby umożliwić dłuższy czas spalania oraz zapewnić, że maksymalne ciśnienie w cylindrze będzie nadal występować ok. 10° po GMP.

W warunkach małego obciążenia, układ EGR (układ recyrkulacji spalin) może przekierować znaczne ilości obojętnych gazów spalinowych do cylindra, zmniejszając temperaturę spalania oraz emisję szkodliwych substancji. Użycie układu EGR (patrz punkt 5.5) spowalnia proces spalania, co wymaga dalszego zwiększenia wyprzedzenia zapłonu.

Inne warunki eksploatacyjne mające wpływ na kąt wyprzedzenia zapłonu
W starszych pojazdach z mechanicznym układem zapłonowym (patrz punkt 4.1) optymalny kąt wyprzedzenia zapłonu zależał zazwyczaj jedynie od prędkości obrotowej silnika i obciążenia. Jednakże nowsze, sterowane elektronicznie układy zapłonowe (które zwykle są częścią układów sterowania silnikiem) zmieniają kąt wyprzedzenia zapłonu w zależności od wielu warunków eksploatacyjnych, do których należą: prędkość obrotowa silnika, obciążenie silnika, temperatura płynu chłodzącego, temperatura powietrza, stosunek powietrza do paliwa, otwarcie przepustnicy, jakość paliwa i współczynnik recyrkulacji spalin.

Warunki eksploatacyjne są wykrywane przez różnego rodzaju czujniki, które przekazują informacje za pośrednictwem sygnałów elektronicznych do komputera układu sterowania silnika. Komputer monitoruje sygnały i optymalizuje kąt wyprzedzenia zapłonu na podstawie informacji dostarczonej przez czujniki.

Wykrywanie spalania stukowego
Wiele współczesnych silników jest wyposażonych w dodatkowy czujnik, tzw. czujnik spalania stukowego, lub inny sprzęt wykrywający spalanie stukowe. W warunkach eksploatacyjnych silnika mogą występować niewielkie zmiany, których nie da się natychmiastowo wykryć przy pomocy innych czujników. Jednakże w przypadku wykrycia chwilowego lub długotrwałego spalania stukowego czujnik spalania stukowego przekaże informację o nim do jednostki sterującej silnika. Jednostka sterująca silnika może wówczas lekko zmniejszyć kąt wyprzedzenia zapłonu do momentu gdy spalanie stukowe ustanie.

W silnikach, które nie były wyposażone we wszystkie nowoczesne czujniki w komputerze zapłonu była zaprogramowana zdefiniowana z góry mapa zapłonu, która uwzględniała tylko prędkość obrotową silnika i jego obciążenie. Aby uniknąć sytuacji, w której wyprzedzenie zapłonu jest zbyt duże lub zbyt małe w krytycznych warunkach eksploatacyjnych, zdefiniowana z góry mapa zapłonu uwzględniała margines bezpieczeństwa, który pozwalał na przykład bardzo nieznacznie opóźnić zapłon, aby zapobiec wystąpieniu spalania stukowego.

Skutki przyspieszenia lub opóźnienia zapłonu
W większości silników w większości warunków eksploatacyjnych zapłon będzie miał miejsce w zakresie od kilku stopni kątowych przed GMP przy niskich prędkościach obrotowych do około 30° i więcej przed GMP przy wysokich prędkościach obrotowych. Natomiast w starszych silnikach o niższej wydajności i z komorą spalania o mniej wydajnej konstrukcji zapłon mógł następować nawet do 45° przed GMP.

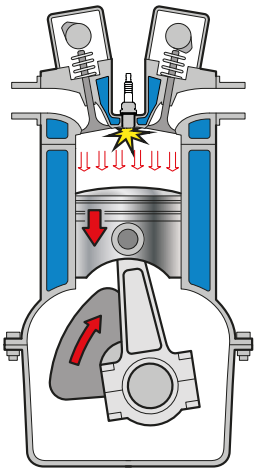
W przypadku niektórych konstrukcji silników oraz niektórych warunków eksploatacyjnych (zwykle związanych z emisją spalin) zapłon mógł następować tuż po GMP.

(1) Optymalny czas zapłonu. Optymalny czas zapłonu jest kluczowym warunkiem wydajnego spalania, które przekłada się na dobrą wydajność silnika, oszczędności i mniejszą emisję szkodliwych spalin.

(2) Zapłon przyspieszony. Zbyt wczesny zapłon mieszanki paliwa i powietrza powoduje zbyt wczesny wzrost ciśnienia i temperatury w cylindrze. Ciśnienie i temperatura mogą stać się zbyt wysokie i spowodować spalanie stukowe, w szczególności jeśli wzrost ciśnienia występuje w dużej mierze podczas unoszenia tłoka wykonującego suw sprężania (rys. 3.11).

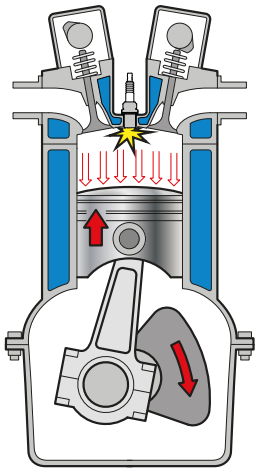
(3) Zapłon opóźniony. Zbyt późny zapłon powoduje zbyt późny wzrost ciśnienia wywołany spalaniem. Tłok przemieścił się w dół cylindra na większą odległość niż przy normalnej pracy, przez co siła zwiększonego ciśnienia popychająca tłok w dół cylindra będzie mniejsza i zostanie wytworzone mniej mocy (rys. 3.12).

Rys. 3.13 przedstawia porównanie skutków przyspieszonego, opóźnionego i optymalnego zapłonu.



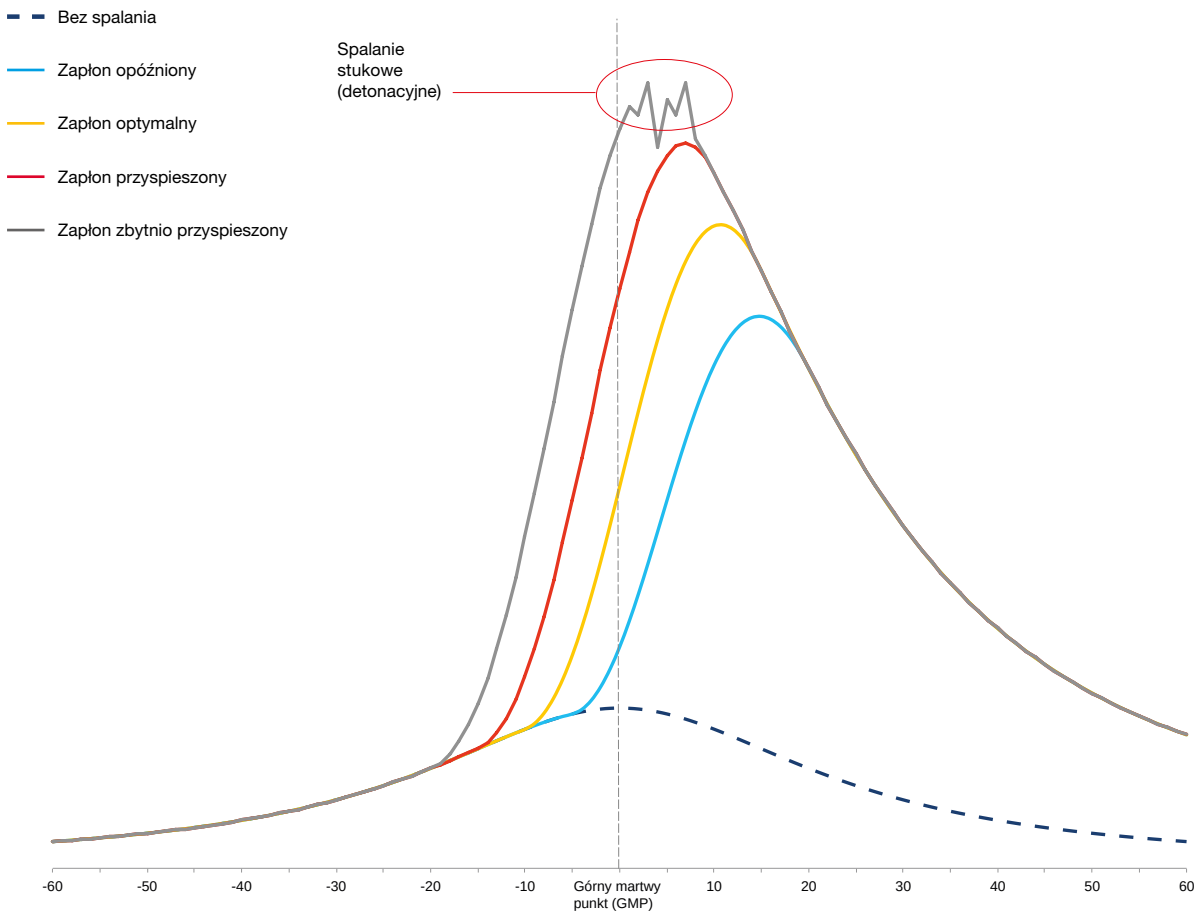
Jeżeli iskra powstanie zbyt wcześnie (zapłon przyspieszony), ciśnienie w cylindrze wzrośnie zbyt szybko, podczas gdy tłok wciąż unosi się, wykonując suw sprężania. Zbyt wczesny wzrost ciśnienia w cylindrze może spowodować spalanie stukowe.

Rys 3.11 Zapłon przyspieszony



Jeżeli iskra powstanie zbyt późno (zapłon opóźniony), wzrost ciśnienia w cylindrze również nastąpi zbyt późno. Tłok mógł już przemieścić się w dół cylindra, wykonując kolejny suw, przez co wzrost ciśnienia wywołany spalaniem będzie miał znacznie mniejszy wpływ na ruch tłoka w dół cylindra.

Rys 3.12 Zapłon opóźniony



Rys. 3.13 Porównanie zapłonu przyspieszonego, opóźnionego i optymalnego

4. MECHANICZNE I ELEKTRONICZNE UKŁADY ZAPŁONOWE

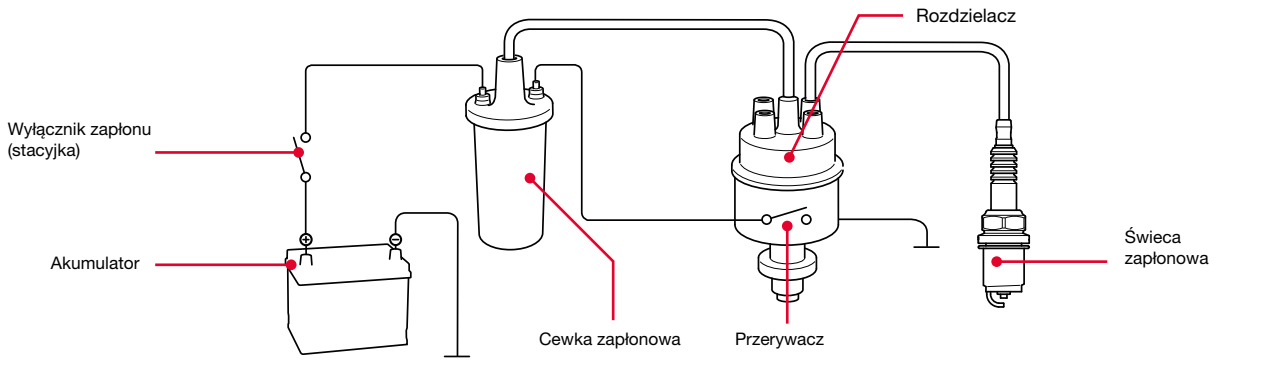
4.1. Mechaniczne układy zapłonowe - podstawy

Mechaniczne przełączanie obwodu pierwotnego
Rys. 4.1 przedstawia główne elementy mechanicznego układu zapłonowego bazującego na zasadach układu zapłonowego Ketteringa.

Akumulator dostarcza prąd o napięciu 12 V do cewki zapłonowej poprzez wyłącznik zapłonu (stacyjkę). Prąd płynie przez uzwojenie pierwotne cewki, a następnie do masy uziemienia poprzez przerywacz.

Pierwszy etap działania: Ładowanie cewki / okres spoczynku
Rys 4.2 przedstawia pierwszą fazę pracy systemu sterowanego mechanicznie.

Akumulator dostarcza prąd o napięciu 12 V do cewki zapłonowej poprzez wyłącznik zapłonu (stacyjkę). Prąd płynie przez uzwojenie pierwotne cewki, a następnie do masy uziemienia poprzez przerywacz.



Rys 4.1 Główne elementy mechanicznego układu zapłonowego

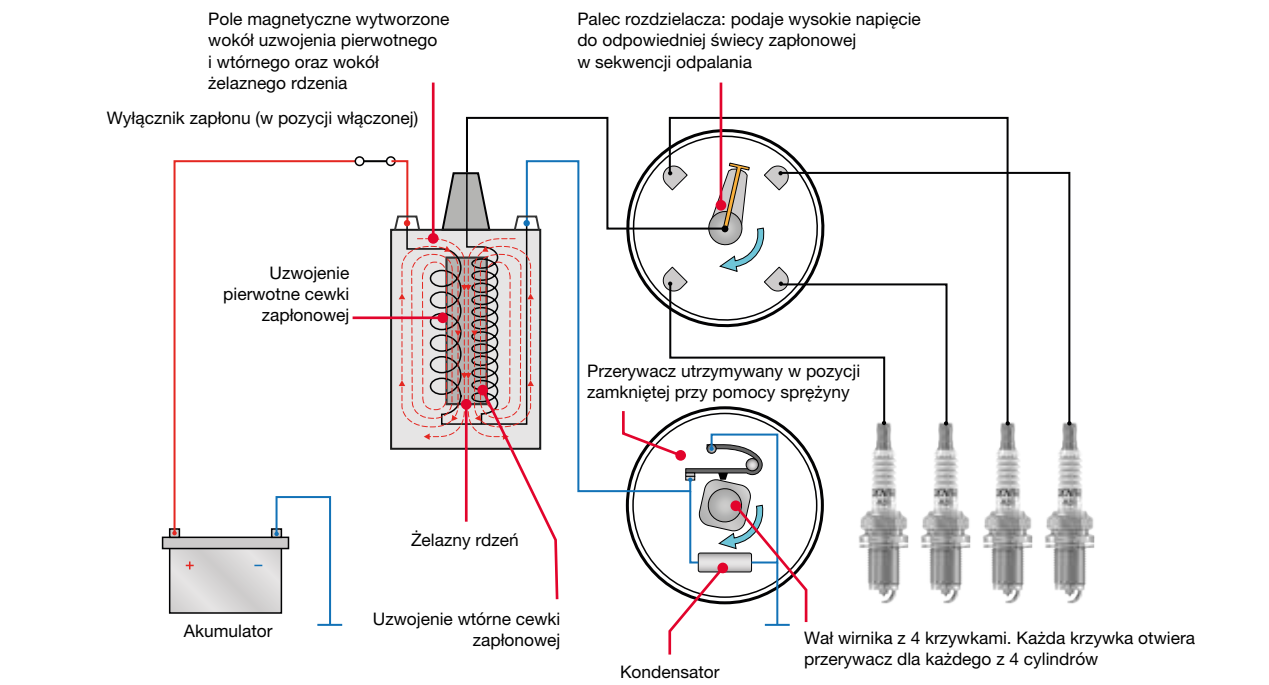


Fig 4.2 Działanie podstawowego mechanicznego układu zapłonowego. Etap 1 Okres spoczynku wytwarzający pole magnetyczne

4.1. Podstawowy mechaniczny układ zapłonowy 16
4.2. Elektroniczne układy zapłonowe wczesnego typu 20
4.3. Współczesne elektroniczne układy zapłonowe 21

Sprężyna stanowiąca część zespołu przerywacza utrzymuje styki w pozycji zamkniętej, co umożliwia przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne cewki. Następnie przepływ prądu wytwarza pole magnetyczne wokół uzwojenia pierwotnego i wtórnego.

Dla ułatwienia rys. 4.2 przedstawia wtórne uzwojenie cewki obok uzwojenia pierwotnego, jednak w rzeczywistości oba uzwojenia są owinięte wokół żelaznego rdzenia.

Drugi etap działania: rozładowanie wysokiego napięcia
Zestaw krzywek (po jednej na każdy cylinder) jest przytwierdzony do wału wirnika umiejscowionego wewnątrz korpusu rozdzielacza (rys. 4.3). Wał wirnika jest połączony z wałkiem rozrządu i obraca się z prędkością równą połowie prędkości obrotowej silnika. Obracające się krzywki wymuszają otwarcie we właściwym czasie przerywacza, który natychmiast odcina przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne cewki. Nastąpi bardzo szybki zanik pola magnetycznego zarówno w uzwojeniu pierwotnym, jak i wtórnym, co wywoła indukcję wysokiego napięcia do uzwojenia wtórnego.

Następnie wysokie napięcie płynie izolowanym przewodem do palca rozdzielacza umieszczonego wewnątrz kopułki rozdzielacza. Z uwagi na to, że palec obraca się również na wale wirnika, może on przekazać wysokie napięcie w sekwencji do czterech gniazd w kopułce. Następnie wysokie napięcie płynie izolowanymi przewodami do świec zapłonowych.

Kondensator w obwodzie pierwotnym
Po otwarciu styków przerywacza zanikające pole magnetyczne może indukować prąd elektryczny o napięciu ok. 150–200 V na uzwojenie pierwotne. Prąd będzie usiłował przeskoczyć przez otwarte styki przerywacza, tworząc łuk elektryczny, który spowodowałby szybką erozję powierzchni styku przerywacza. Ten indukowany prąd skutkowałby jednak także utrzymaniem pola magnetycznego wokół uzwojenia pierwotnego i wtórnego, co uniemożliwiałoby szybki zanik pola i indukcję wysokiego napięcia na uzwojenie wtórne.

Z tego powodu do uzwojenia pierwotnego podłączony jest kondensator, któremu skutecznie pochłania i przechowuje indukowane napięcie. Po ponownym zamknięciu styków przerywacza (umożliwiającym ponowny przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne) kondensator może rozładować przechowywaną energię z powrotem do uzwojenia pierwotnego, co pozwoli wytworzyć kolejne pole magnetyczne.

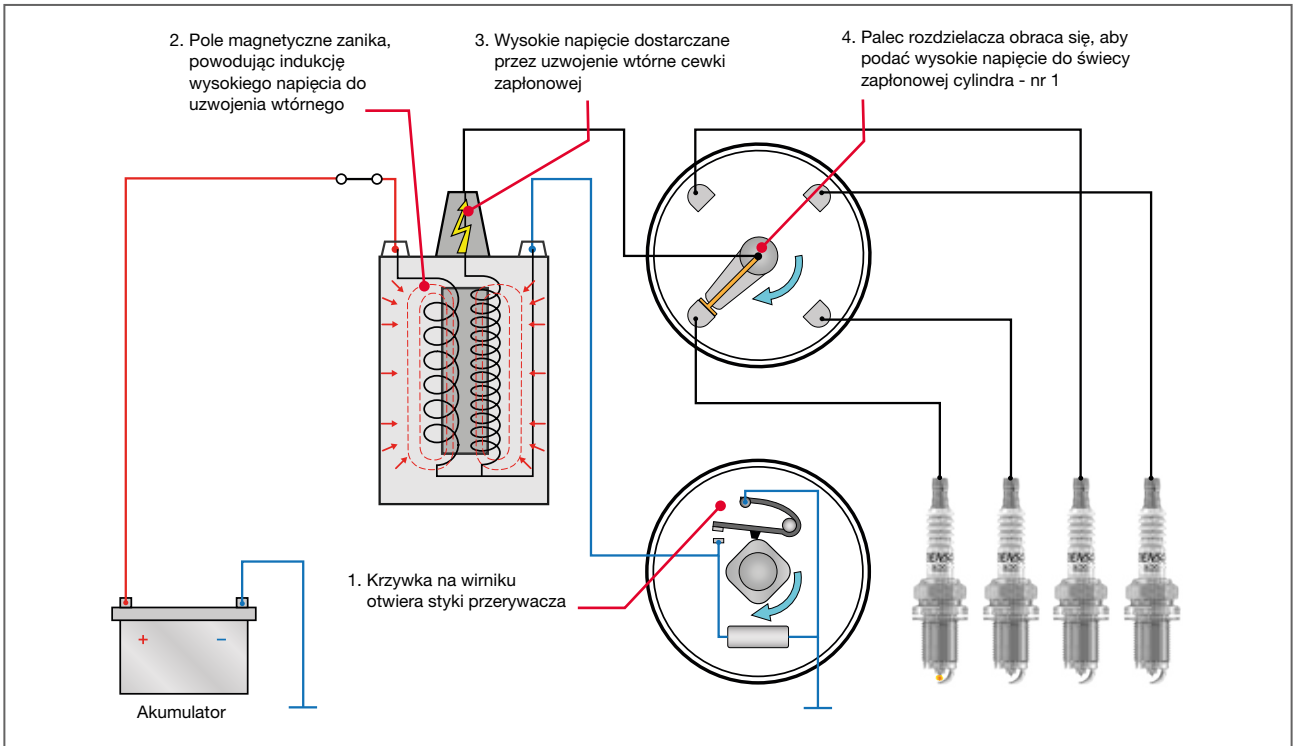
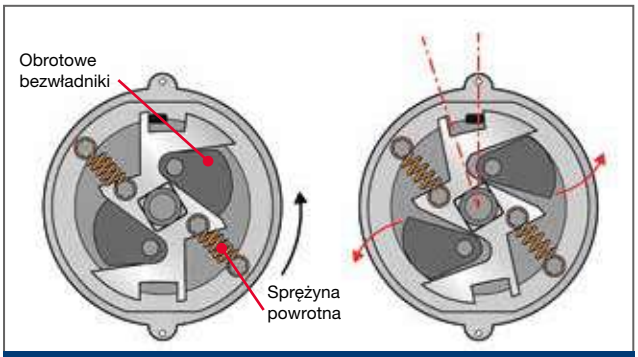


Fig 4.3 Działanie podstawowego mechanicznego układu zapłonowego. Rozładowanie wysokiego napięcia w etapie drugim w celu wytworzenia iskry

Mechanizmy przyspieszenia/opóźnienia zapłonu
W rozdziale 3 objaśniono, że kąt wyprzedzenia zapłonu musi ulegać zmianie wraz ze zmianami prędkości obrotowej i obciążenia silnika.

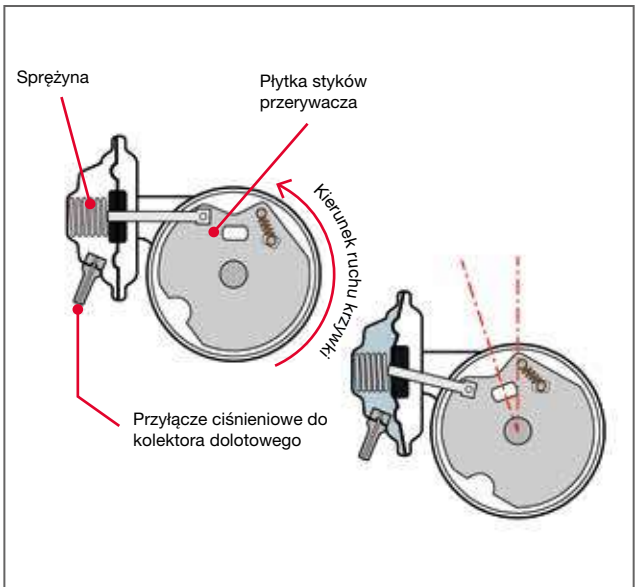
W mechanicznych układach zapłonowych przyspieszenie zapłonu wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika osiągnięto dzięki zastosowaniu obrotowych bezwładników i sprężyn (rys. 4.4). Bezwładniki są zamontowane na płytce przymocowanej do zespołu wału wirnika, a zatem obracają się one wraz z wałem. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika działanie siły odśrodkowej wypycha naprężone przy pomocy sprężyn bezwładniki na zewnątrz. Ruch bezwładników powoduje opóźnienie obrotu krzywek na wale wirnika, co skutkuje opóźnieniem otwarcia styków przerywacza, a tym samym opóźnieniem zapłonu.



Rys. 4.4 Mechanizm mechanicznego przyspieszenia zapłonu związanego z prędkością obrotową silnika

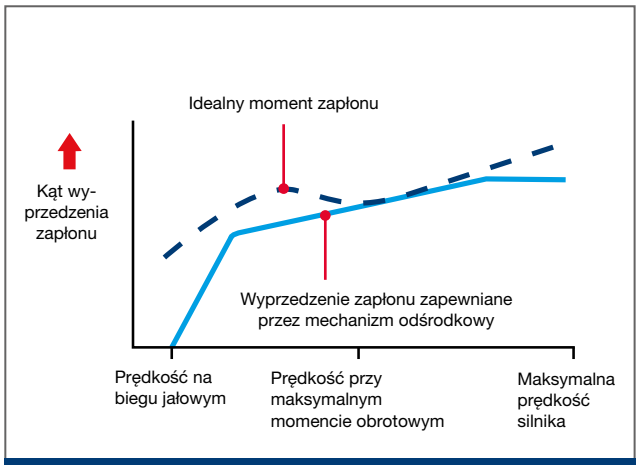
Inny mechanizm służy do zmiany wyprzedzenia zapłonu wraz ze zmianami obciążenia silnika (rys. 4.5). Przerywacz jest zamontowany na płycie podstawy, która ma możliwość lekkiego obrotu przeciwnie lub zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Płytka regulatora jest podłączona do kapsuły membranowej, która odbiera ciśnienie z kolektora dolotowego poprzez rurę.

Gdy ciśnienie w kolektorze dolotowym ulega zmianie wraz ze zmianami obciążenia silnika, membrana porusza się i powoduje lekki obrót płytki regulatora i styków przerywacza. Obrót płytki regulatora i styków zmienia następnie wyprzedzenie zapłonu wraz ze zmianami w obciążeniu silnika.



Rys. 4.5 Mechaniczne przyspieszenie zapłonu związane z obciążeniem silnika

Ograniczenia mechanicznych układów regulacji wyprzedzenia zapłonu
Dokładność wyprzedzenia zapłonu w mechanicznych układach zapłonowych jest ograniczona możliwościami sprzętu. Często w ramach rutynowych przeglądów niezbędne było precyzyjne dostrajanie, regulacja i wymiana części. Przykładem takich ograniczeń jest przedstawiony na rys. 4.6 wykres typowego przyspieszenia zapłonu związanego z prędkością obrotową silnika w mechanicznym układzie zapłonowym w porównaniu do wymaganego idealnego wyprzedzenia.



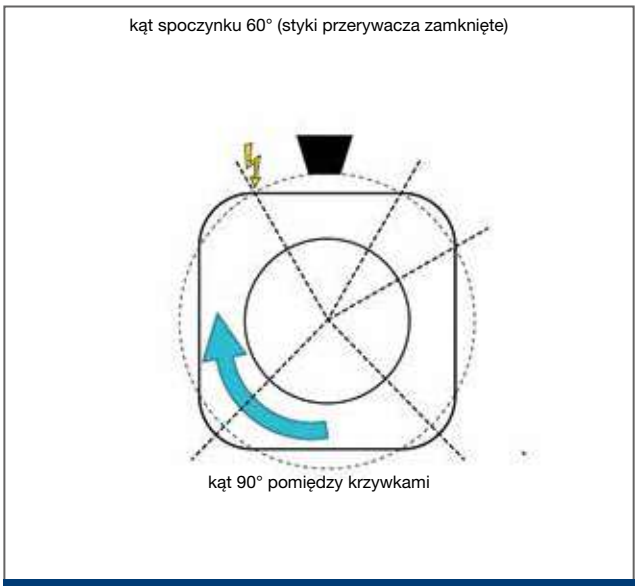
Rys. 4.6 Ograniczenia mechanizmu odśrodkowego

Ze względu na zastosowanie progresywnych sprężyn powrotnych (rys. 4.4) wyprzedzenie zapłonu zapewniane przez układ odśrodkowy zwiększa się w dwóch liniowych krokach. Tymczasem idealne wyprzedzenie zapłonu zmienia się nieliniowo. Aby zapobiec zbytniemu przyspieszeniu zapłonu, wyprzedzenie zapewniane przez układ odśrodkowy jest zawsze lekko opóźnione względem idealnej wartości.

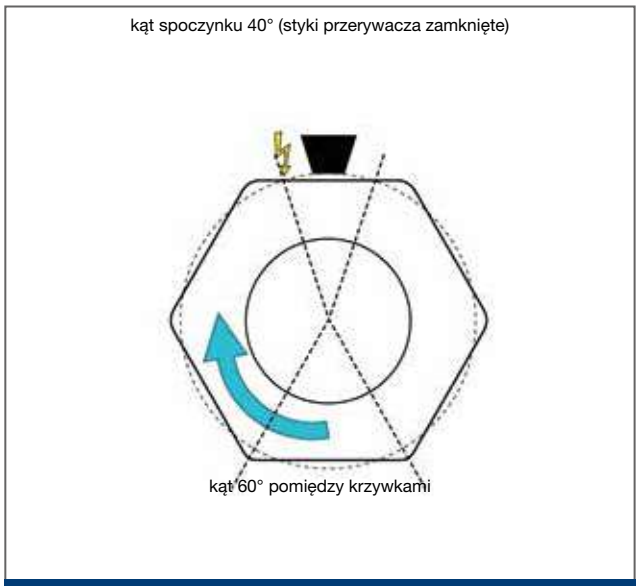
Okres spoczynku / kąt spoczynku
W mechanicznym układzie zapłonu okres spoczynku rozpoczyna się w momencie, gdy obracające się krzywki umożliwią zamknięcie styków przerywacza, tak aby prąd przepływał przez uzwojenie pierwotne cewki. Okres spoczynku kończy się w momencie, gdy krzywki wymuszą ponowne otwarcie styków przerywacza, co odetnie dopływ prądu do uzwojenia pierwotnego. Okres spoczynku można zatem zdefiniować jako kąt, o jaki obracają się krzywki podczas gdy styki przerywacza znajdują się w pozycji zamkniętej.

Rys. 4.7 prezentuje 4 krzywki (w silniku 4-cylindrowym), co oznacza, że różnica kąta pomiędzy tym samym punktem sąsiednich krzywek wynosi 90°. Kształt krzywek w przykładzie pozwala na utrzymanie styków przerywacza w stanie zamkniętym podczas obrotu o 60°. A zatem kąt spoczynku wynosi 60 stopni obrotu rozdzielacza, podczas którego styki przerywacza są zamknięte, a przez uzwojenie pierwotne płynie prąd.

Jeśli przykładowo wał korbowy obraca się z prędkością 1000 obr./min, wirnik rozdzielacza (który obraca się z prędkością równą połowie prędkości obrotowej silnika) będzie obracał się z prędkością 500 obr./min. Przy takiej prędkości obrót wału rozdzielacza o kąt spoczynku 60° będzie trwał 20 milisekund, tymczasem czas naładowania cewki zapłonowej wynosi jedynie ok. 4 milisekund, a zatem czas spoczynku potrzebny do wytworzenia pola magnetycznego w cewce jest więcej niż wystarczający.



Rys. 4.7 Kąt spoczynku przedstawiony jako kąt obrotu wału rozdzielacza o 60°



Rys. 4.8 Kąt spoczynku przedstawiony jako kąt obrotu wału rozdzielacza o 40° w silniku 6-cylidrowym

Kiedy silnik obraca się z prędkością 5000 obr./min, obrót wału rozdzielacza o ten sam kąt 60° będzie trwał tylko 4 milisekundy, czyli dokładnie tyle, ile potrzeba do wytworzenia w cewce pola magnetycznego o maksymalnej mocy. Jednak gdyby silnik obracał się szybciej, nie byłoby wystarczająco dużo czasu na pełne naładowanie cewki zapłonowej, co skutkowałoby zmniejszeniem energii w polu magnetycznym i zmniejszeniem napięcia podawanego do świec zapłonowych.

Problem skrócenia czasu spoczynku przy wzroście prędkości obrotowej silnika będzie miał większe znaczenie w przypadku silników o większej liczbie cylindrów. Na przykład w silniku sześciocylindrowym będzie 6 krzywek, z kątem różnicy pomiędzy każdą krzywką tylko 60° (rys. 4.8) i kątem spoczynku tylko 40°. W rezultacie przy prędkości obrotowej silnika 5000 obr./min, obrót o kąt spoczynku 40° będzie trwał tylko 2,6 milisekundy.
Jeśli pełne naładowanie cewki wymaga 4 milisekund, to czas spoczynku będzie znacznie za krótki, co spowoduje obniżenie napięcia i może prowadzić do przerw w zapłonie.

W mechanicznych układach zapłonowych stosowano różne rozwiązania problemu skrócenia czasu spoczynku.
Jednym z rozwiązań było zastosowanie mocniejszej cewki zapłonowej. Innym ekstremalnym rozwiązaniem stosowanym w silnikach wysokoobrotowych z 8 lub 12 cylindrami było wyposażenie w dwa oddzielne rozdzielacze, każdy z własną cewką zapłonową. Silniki te miały więc w rzeczywistości dwa oddzielne układy zapłonowe, które dostarczały wysokie napięcie do świec zapłonowych dla połowy cylindrów silnika.

ZWRÓĆ UWAGĘ

Układy mechaniczne pomagają nam zrozumieć rozwój obecnych cyfrowych układów zapłonowych.

Jedyną krytyczną częścią układu zapłonowego, która nigdy nie została i prawdopodobnie nigdy nie zostanie zmieniona, jest świeca zapłonowa.

Kluczową kwestią jest, aby świeca zapłonowa zapewniała wysoką wydajność i precyzyjny zapłon we właściwym czasie. DENSO rozumie, że aby sprostać wymaganiom producentów silników, wymagana jest wysoka jakość. W tym celu DENSO łączy najlepsze i sprawdzone systemy jakości z wieloletnim doświadczeniem.

4.2. Elektroniczne układy zapłonowe wczesnego typu

Elektroniczne przełączanie obwodu uzwojenia pierwotnego

Wczesne generacje elektronicznych układów zapłonowych były w rzeczywistości ewolucyjną wersją układów mechanicznych. Rys. 4.8 przedstawia główne elementy układu elektronicznego wczesnej generacji, w którym zachowano mechanizmy mechanicznego opóźniania i przyspieszania zapłonu, jak również palec rozdzielacza stosowany w układach w pełni mechanicznych. Jedną z głównych zmian w układach elektronicznych było zastosowanie elektroniki do włączania i wyłączania przepływu prądu przez uzwojenie pierwotne zamiast mechanicznego wyłącznika stykowego, który był niedokładny i wymagał regularnej konserwacji.

W funkcji przełącznika elektronicznego dla obwodu pierwotnego zastosowano tranzystor, który stanowi część stosunkowo prostego wzmacniacza, nazywanego często „modułem zapłonowym". Moduł zapłonowy reagował na sygnał wyzwalający lub sygnał pomiaru czasu dostarczany przez czujnik lub generator sygnału, który zazwyczaj znajdował się w korpusie rozdzielacza zapłonu.

Stosowano dwa główne typy czujników – czujniki indukcyjne i czujniki hallotronowe. Przykład przedstawia czujnik typu indukcyjnego, który wykorzystywał punkty odniesienia (po jednym dla każdego cylindra) umieszczone na wale wirnika rozdzielacza. Gdy wirnik obracał się, punkty odniesienia przesuwały się obok małej cewki z drutu owiniętej wokół magnesu stałego. Gdy punkt odniesienia przesuwał się obok magnesu i cewki, pole magnetyczne zmieniało się lub ulegało wahaniom, co następnie indukowało niewielki prąd elektryczny lub impuls elektryczny w cewce z drutu. Impulsy elektryczne dostarczały sygnał odniesienia dla modułu zapłonowego, który następnie wyłączał dopływ prądu do uzwojenia pierwotnego cewki zapłonowej.

Stały czas spoczynku i stała energia

Pomimo licznych różnic we wczesnych układach, w większości wariantów moduł zapłonowy sterował również włączaniem i wyłączaniem dopływu prądu do uzwojenia pierwotnego. W efekcie moduł zapłonowy sterował czasem przepływu prądu elektrycznego przez uzwojenie pierwotne, czyli czasem spoczynku.

W przeciwieństwie do mechanicznych układów zapłonowych, w których czas spoczynku zmniejsza się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika, czas spoczynku w układach elektronicznych jest utrzymywany na stosunkowo niezmiennym poziomie niezależnie od prędkości obrotowej silnika. Ponadto, aby umożliwić stosowanie cewek zapłonowych o dużej mocy, które pracują przy wyższych przepływach prądu przez uzwojenie pierwotne, zapalniki zawierały również elektroniczne urządzenie ograniczające prąd. Ograniczniki prądu początkowo pozwalają na przepływ wysokiego prądu przez uzwojenie pierwotne, ale gdy prąd osiągnie określony maksymalny poziom, jest następnie ograniczany, aby zapobiec przegrzaniu obwodu.

Zastosowanie stosunkowo stałego czasu spoczynku w połączeniu z ograniczeniem prądu pozwala na to, aby energia pola magnetycznego w cewce zapłonowej była prawie stała niezależnie od prędkości obrotowej silnika i niezależnie od normalnych zmian napięcia akumulatora. Te elektroniczne układy zapłonowe były zatem określane mianem układów zapłonowych o stałej energii.

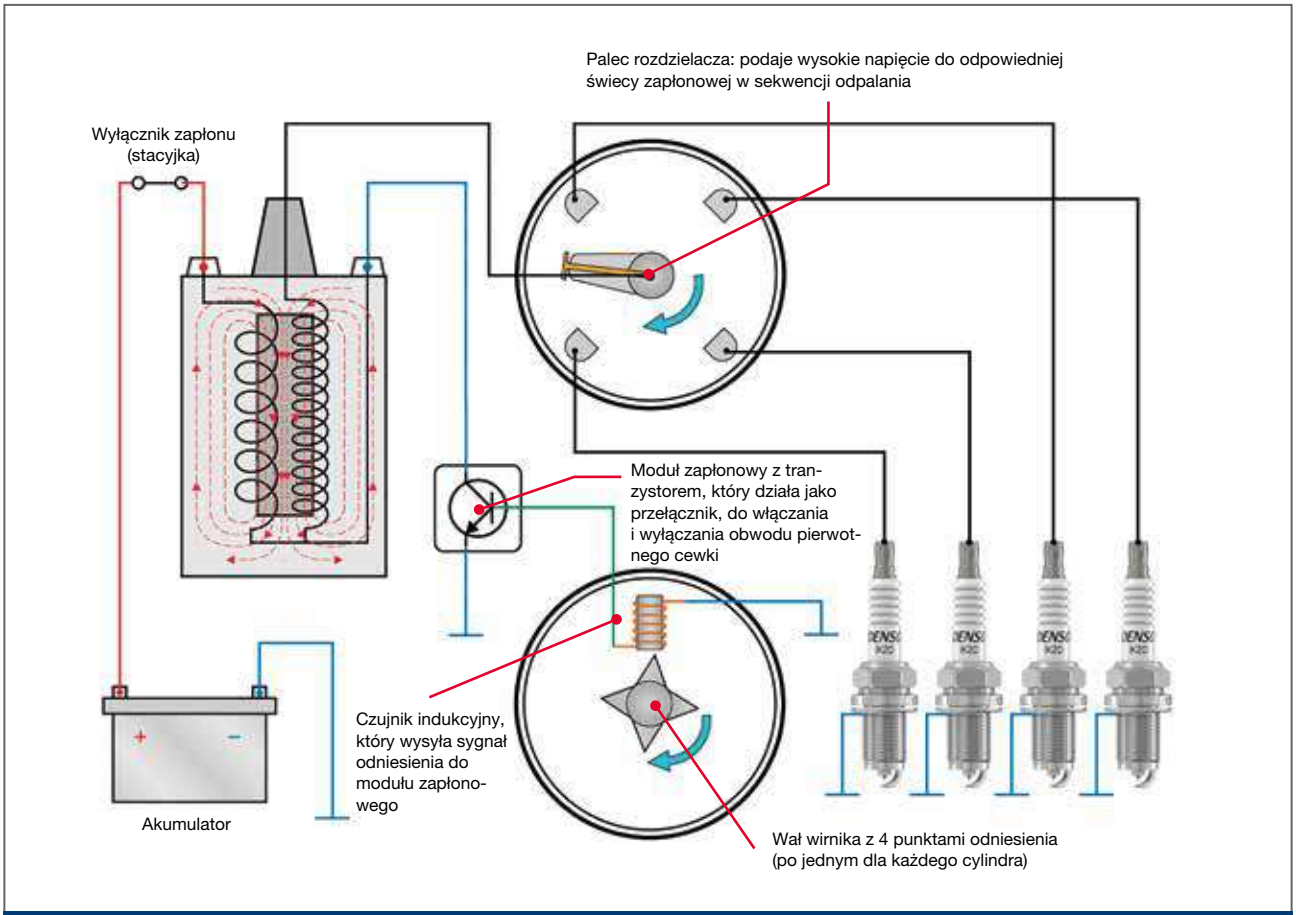


Fig 4.9 Podstawowy elektroniczny układ zapłonowy.

4.3. Współczesne elektroniczne układy zapłonowe

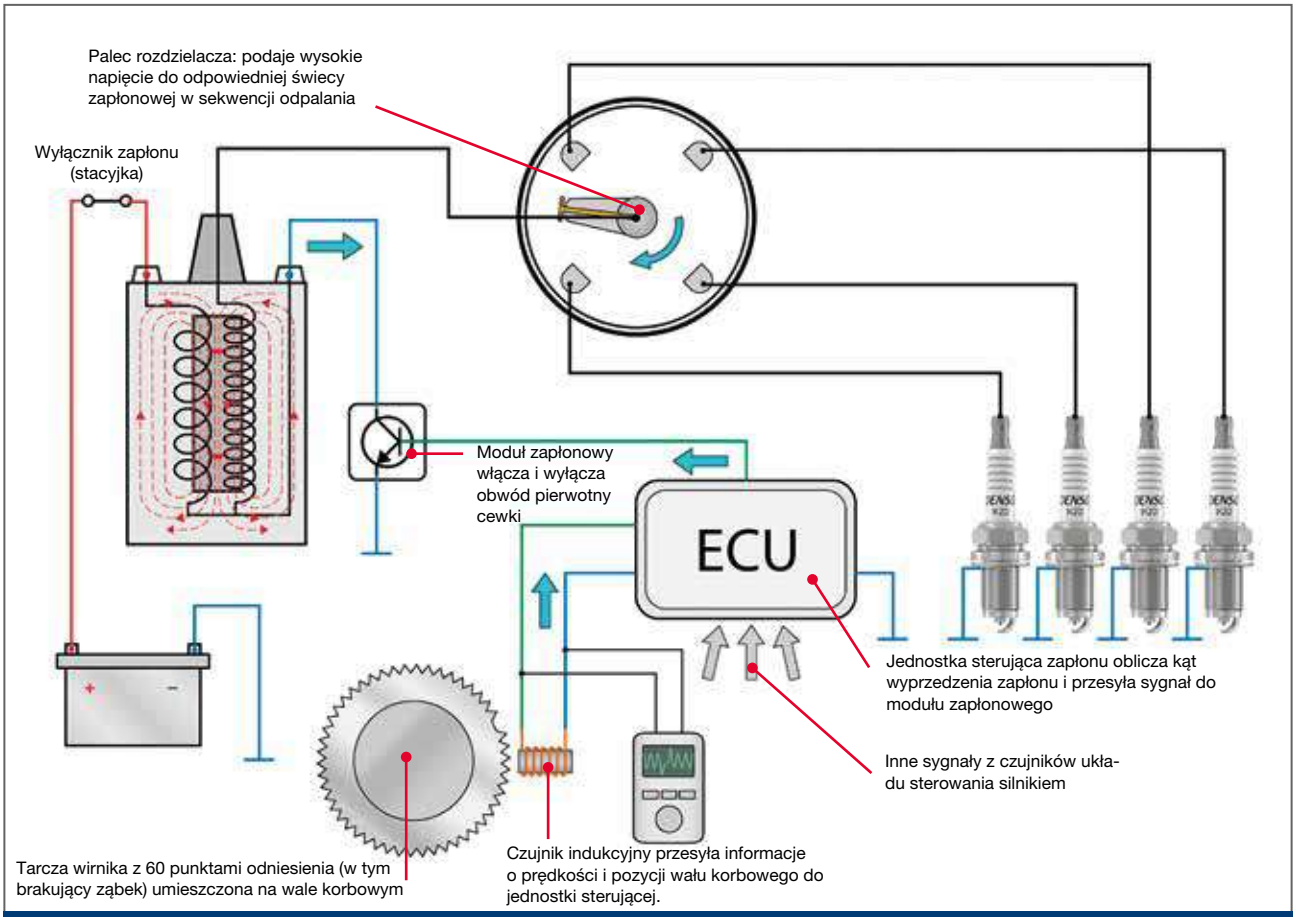
Elektroniczne sterowanie kątem wyprzedzenia zapłonu
Choć elektroniczne układy zapłonowe wczesnego typu zapewniały elektroniczne sterowanie czasem spoczynku i niezawodne elektroniczne przełączanie prądu przepływającego przez uzwojenie pierwotne cewki, nadal wykorzystywały one mechanizmy mechanicznego przyspieszania i opóźniania zapłonu. Układy te nie były w stanie zapewnić optymalnego kąta wyprzedzenia zapłonu przy wszystkich prędkościach obrotowych i obciążeniach silnika (patrz punkt 4.1). Wskutek coraz bardziej restrykcyjnych przepisów dotyczących emisji spalin, konieczna stała się bardziej precyzyjna i niezawodna regulacja kąta wyprzedzenia zapłonu, co doprowadziło do wprowadzenia elektronicznego sterowania kątem wyprzedzenia zapłonu, który konsekwentnie zapewniał optymalny kąt wyprzedzenia zapłonu w szerokim zakresie warunków eksploatacyjnych.

Układ sterowania silnikiem: integracja z innymi układami silnika
Elektroniczne układy zapłonu przeszły stopniową ewolucję w latach 80. i 90., otrzymując dodatkowe funkcje i możliwości. Bardziej zaawansowane elektroniczne układy zapłonu wykorzystywały zaawansowane komputery lub jednostki sterujące silnika (ECU), jednak zapłon, wtrysk paliwa, emisje i inne systemy związane z silnikiem wciąż stanowiły osobne układy. Ponieważ wszystkie te układy były sterowane komputerowo i wymagały tych samych lub podobnych informacji o pracy silnika, zostały one wkrótce zintegrowane, tworząc jeden układ sterowania silnikiem wykorzystujący jeden komputer lub jednostkę sterującą silnika do sterowania wszystkimi układami.

Jednostka sterująca silnika umożliwia wykorzystanie dodatkowych i bardziej precyzyjnych informacji o pracy silnika, dostarczanych przez różne czujniki (rys. 4.10). Czujniki są wykorzystywane do wykrywania takich warunków eksploatacyjnych silnika, jak prędkość i pozycja wału korbowego, pozycja wałka rozrządu, przepływ masowy powietrza, pozycja przepustnicy i temperatura płynu chłodzącego. Informacja z czujników jest przekazywana do jednostki sterującej silnika, który następnie oblicza optymalny kąt wyprzedzenia zapłonu na podstawie wstępnie zaprogramowanej mapy zapłonu. Następnie jednostka sterująca silnika przekazuje sygnał do modułu zapłonowego, który włącza i odłącza dopływ prądu do uzwojenia pierwotnego. W wielu układach zapłonowych moduł zapłonowy jest również zintegrowany z jednostką sterującą silnika.

Punkty odniesienia dla kąta opóźnienia zapłonu i czujniki prędkości obrotowej silnika
Przykładowy układ zapłonowy przedstawiony na rys. 4.10 posiada czujnik indukcyjny zlokalizowany obok wału korbowego. W przykładzie tarcza wirnika posiada 60 punktów odniesienia, z których każdy odpowiada obrotowi wału korbowego o 6°. Gdy wał korbowy i tarcza obracają się, każdy z punktów odniesienia przesuwa się obok czujnika indukcyjnego, co powoduje indukcję niewielkiego impulsu elektrycznego do cewki z drutu zlokalizowanej w korpusie czujnika. Do jednostki sterującej zapłonu przekazywana jest seria impulsów, dzięki którym otrzymuje on informację o prędkości i pozycji wału korbowego. Brakujący ząbek na tarczy wirnika powoduje powstanie unikalnego impulsu (jak pokazano na oscyloskopie na rys. 4.10), dostarczającego nadrzędne odniesienie dla pozycji wału korbowego, wskazujące jego konkretną pozycję (zazwyczaj wskazuje GMP dla cylindra 1). Wykorzystując informacje podawane przez czujnik, jednostka sterująca jest w stanie obliczyć dokładną pozycję kątową wału korbowego, a następnie wyznaczyć bardzo precyzyjny kąt wyprzedzenia zapłonu.

W różnych układach zapłonowych stosowane tarcze wirnika, stanowiące często część przedniego koła pasowego silnika lub koła zamachowego. Tarcze mogą mieć od 2 aż do 360 punktów odniesienia.



Rys. 4.10 Bezrozdzielaczowy elektroniczny układ zapłonowy sterowany przez jednostkę sterującą silnika

Układ zapłonowy bezrozdzielaczowy / z wieloma cewkami zapłonowymi (DLI)

Wcześniej podkreślono, że jedną z głównych wad stosowania pojedynczej cewki zapłonowej jest to, że przy wysokich prędkościach obrotowych silnika czas (spoczynku) potrzebny do wytworzenia w cewce zapłonowej pola magnetycznego o pełnej mocy jest skrócony. Problem ten dotyczy w szczególności silników o dużej prędkości obrotowej i silników o 6 i większej liczbie cylindrów. Czas spoczynku stał się jednak jeszcze bardziej krytyczny, ponieważ współczesne cewki zapłonowe muszą dostarczać jeszcze wyższe napięcia niż w przeszłości, aby zapewnić lepszy zapłon i wyższą sprawność spalania.

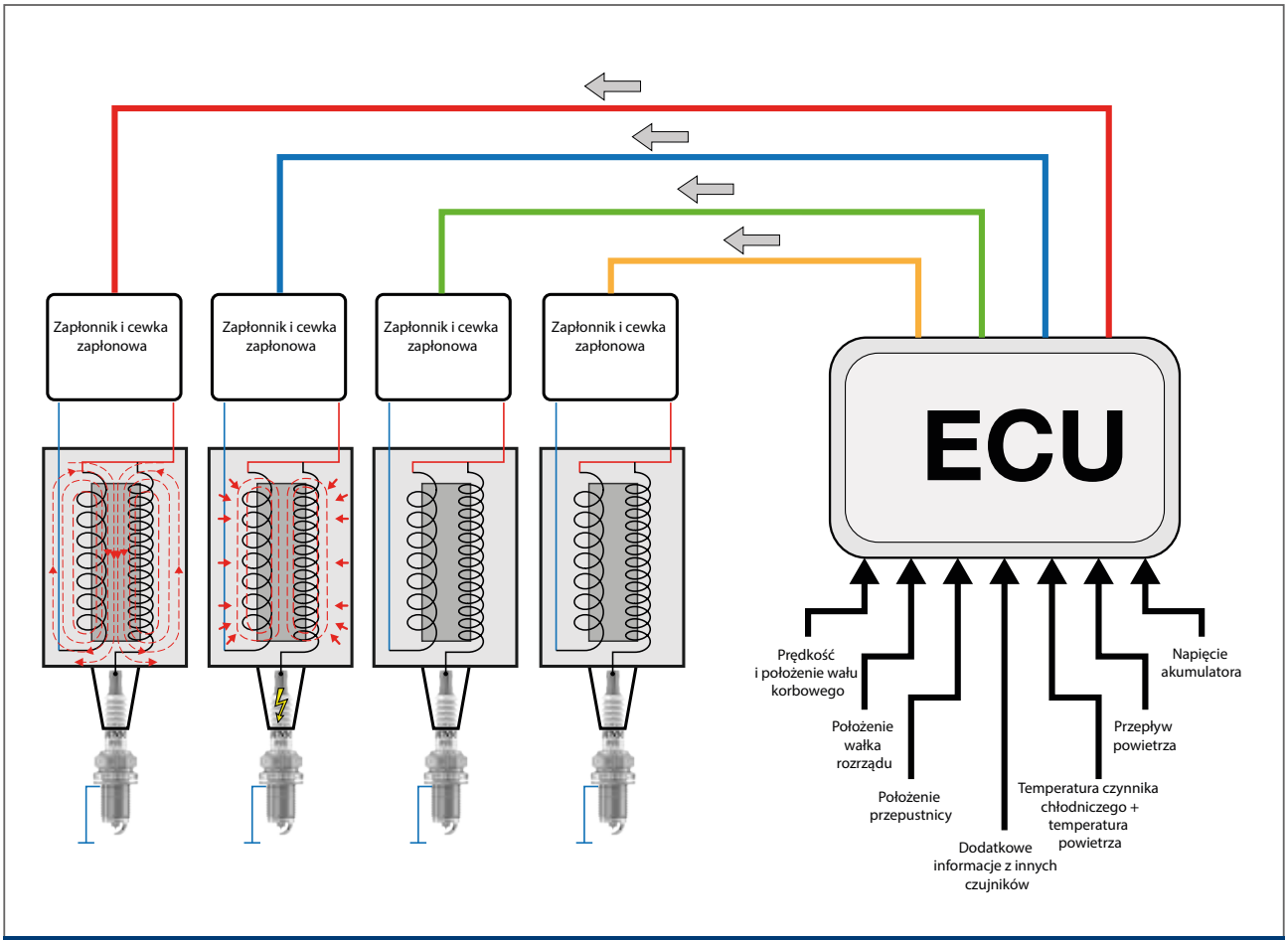
Oczywistym rozwiązaniem jest wykorzystanie po jednej cewce dla każdej świecy zapłonowej (jak pokazano na rys. 4.11), dzięki czemu każda cewka potrzebuje naładować się tylko raz w jednym pełnym cyklu silnika. Dla porównania w silniku 12-cylindrowym z pojedynczą cewką konieczne jest 12-krotne ładowanie cewki na każde 2 obroty wału korbowego. Indywidualne cewki dla każdej świecy zapłonowej wymagają zastosowania osobnego modułu zapłonowego dla każdej cewki. Indywidualne moduły zapłonowe mogą być zintegrowane z jednostką sterującą silnika lub umieszczone osobno. Jednakże obecnie używa się cewek zapłonowych z modułem zapłonowym umieszczonym w zespole cewki (np. cewki „prętowe" DENSO).

Kolejną zaletą stosowania indywidualnych cewek zapłonowych jest to, że palec i kopułka rozdzielacza nie są już potrzebne, co eliminuje możliwość wystąpienia łuku elektrycznego na stykach kopułki rozdzielacza, ogranicza konieczność konserwacji i poprawia niezawodność.

Niektóre rodzaje układów bezrozdzielaczowych do podłączenia cewek zapłonowych do świec zapłonowych nadal wykorzystywały izolowane przewody zapłonowe. Jednak w większości współczesnych układów sterowania silnikiem cewki zapłonowe są umieszczone bezpośrednio w świecach zapłonowych, co eliminuje konieczność stosowania przewodów.

Dzięki współczesnym technologiom zwiększyły się możliwości komputerów. Jeden komputer potrafi wykonać pracę, która dawniej wymagała wielu. Nie inaczej jest w przypadku jednostek sterujących silnikiem. Współcześnie większość pojazdów jest wyposażona w tylko jedną jednostkę sterującą silnika, która steruje całością pracy silnika, w tym układem zapłonowym, wtryskiem paliwa, układem recyrkulacji spalin itd. Do jednostki sterującej silnika docierają informacje z różnych czujników (również dostarczanych przez DENSO).

Możliwość sterowania indywidualnymi cewkami zapłonowymi pozwala jednostce sterującej silnika całkowicie wyłączyć którąkolwiek z cewek (oraz powiązany wtryskiwacz paliwa) w razie wystąpienia przerwy w zapłonie w cylindrze. Przerwa w zapłonie zwiększa poziom szkodliwych emisji, jednak niespalone lub częściowo spalone paliwo i nadmiar tlenu przejdą następnie do konwertera katalitycznego. Konwerter katalityczny stanie się wówczas nieefektywny, a długotrwała ekspozycja na nadmiar tlenu i niespalone paliwo (które w rzeczywistości może się zapalić w konwerterze) spowoduje jego uszkodzenie.



Rys. 4.11 Bezrozdzielaczowy elektroniczny układ zapłonowy sterowany przez jednostkę sterującą silnika

ZWRÓĆ UWAGĘ

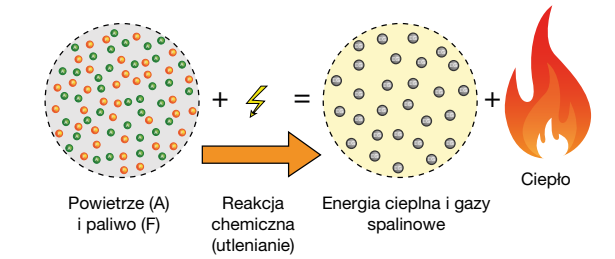
Cewki zapłonowe

DENSO jest nie tylko wiodącym producentem świec zapłonowych, lecz także wieloletnim liderem w technologii zapłonu, ściśle współpracującym z producentami pojazdów na całym świecie. Firma stworzyła pierwszą w branży samochodowej cewkę zapłonową typu prętowego. DENSO jest również pionierem w dziedzinie miniaturowych obwodów sterownika i ukośnych uzwojeń indukcyjnych zapewniających lepszą wydajność w mniejszej przestrzeni. Te i inne przełomowe rozwiązania projektowe zastosowane w cewkach zapłonowych DENSO na rynek wtórny, zapewniają niezawodny i wydajny zapłon podczas każdej podróży.

5 SZCZEGÓŁOWY OPIS PROCESU SPALANIA

5.1. Spalanie mieszanki paliwowo-powietrznej

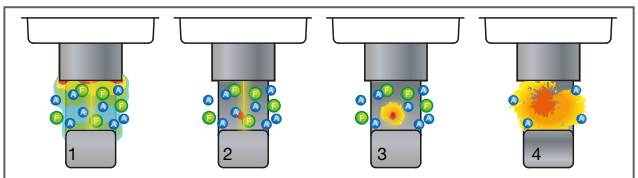
Otrzymywanie energii z reakcji chemicznych
Spalanie to proces, w którym zachodzą reakcje chemiczne między paliwem a tlenem. Proces ten jest nazywany również utlenianiem. Reakcje te mogą spowodować uwolnienie energii zgromadzonej w paliwie w postaci energii cieplnej. W silniku spalinowym paliwo jest mieszane z powietrzem, które zawiera niezbędny tlen. Do zainicjowania reakcji chemicznych w mieszance paliwowo-powietrznej niezbędne jest źródło wysokiej temperatury. Duża ilość energii cieplnej wytwarzanej podczas spalania jest następnie wykorzystywana do ekspansji gazów w cylindrze.



Rys. 5.1 Całkowite spalanie wytwarzające energię cieplną, dwutlenek węgla i wodę

W silniku benzynowym ciepło jest wytwarzane w trakcie suwu sprężania, jednak nie jest ono wystarczające, aby spowodować zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej. Z tego powodu używa się świecy zapłonowej, która w precyzyjnie określonym czasie wytwarza rozgrzaną iskrę (o temperaturze 10 000°C i wyższej), która podnosi temperaturę paliwa powyżej „temperatury zapłonu".

Możliwe jest wywołanie zapłonu paliwa jedynie przy pomocy ciepła wytwarzanego przez sprężanie – tak działa silnik Diesla. Wyższy stopień sprężania w silniku Diesla skutkuje większymi temperaturami i ciśnieniem w cylindrze. Wtrysk oleju napędowego do podgrzanego sprężonego powietrza w odpowiednim momencie umożliwia zapłon i spalenie paliwa w precyzyjnie określonym czasie.

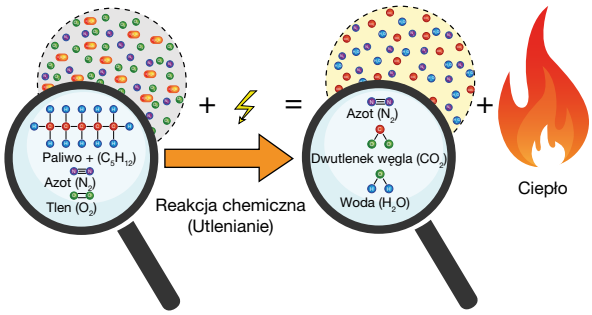


1. Wysokie napięcie wytwarzane przez cewkę zapłonową jest przekazywane do środkowej elektrody, co powoduje powstanie iskry pomiędzy elektrodami
2. Wysoka temperatura iskry powoduje zapłon niewielkiej ilości mieszanki paliwowo-powietrznej znajdującej się w pobliżu elektrod i powstanie płomienia.
3 Płomień powiększa się i zapala większe ilości mieszanki paliwowo-powietrznej w swoim pobliżu
4 Płomień stale rośnie i rozprzestrzenia się na całą mieszankę paliwowo-powietrzną w komorze spalania

Rys. 5.2 Wytwarzanie i wzrost płomienia

W silniku benzynowym iskra zapala tylko niewielką ilość mieszanki paliwowo-powietrznej, która jest w bezpośrednim kontakcie z iskrą, jednak to miejscowe spalania tworzy następnie płomień o temperaturze w okolicach 3 000°C na poziomie jądra płomienia. Płomień zmienia się w płomień samopodtrzymujący, który rozprzestrzenia się w sprężonej mieszance, optymalnie aż do całkowitego spalenia paliwa i tlenu (patrz punkt 5.3, w którym omówiono niepełne spalanie).

Reakcje chemiczne i idealny współczynnik powietrza do paliwa przy spalaniu
Benzyna jest paliwem węglowodorowym z cząsteczkami zawierającymi atomy wodoru (H) i atomy węgla (C). Cząsteczki tlenu zawierają dwa atomy tlenu (O_2), a podczas gdy w procesie spalania zachodzi utlenianie, wodór i tlen reagują ze sobą, tworząc H_2O (wodę), a węgiel i tlen reagują ze sobą, tworząc CO_2 (dwutlenek węgla). To te dwie reakcje zachodzące podczas spalania wytwarzają duże ilości ciepła. Aby jednak doprowadzić do całkowitego spalenia paliwa i tlenu oraz wytworzenia maksymalnej energii cieplnej, paliwo musi być w stanie mieszać się i reagować z dokładnie taką ilością tlenu, jaka jest niezbędna.



Paliwo węglowodorowe reaguje z tlenem, wytwarzając wodę i dwutlenek węgla. Azot w powietrzu optymalnie nie uczestniczy w procesie utleniania

Rys. 5.3 Reakcje chemiczne przy spalaniu całkowitym

Tlen zużywany w procesie spalania pochodzi z powietrza atmosferycznego, które zawiera ok. 21% tlenu (O_2), ok. 78% azotu (N2) oraz 1% innych gazów. Paliwo musi być jednolicie wymieszane z powietrzem we właściwych proporcjach, tak aby stosunek paliwa do tlenu był również prawidłowy. Prawidłowy stosunek powietrza do paliwa uzyskuje się, gdy masa powietrza jest 14,7 razy większa od masy paliwa (np. 14,7 grama powietrza na 1 gram paliwa).

Jednolite wymieszanie i rozprowadzanie paliwa w powietrzu określa się mianem „mieszaniny jednorodnej", a idealny stosunek powietrza do paliwa nazywa się „stosunkiem stechiometrycznym".

5.1. Spalanie mieszanki paliwowo-powietrznej 24
5.2. Zapewnienie prawidłowego procesu spalania 26
5.3. Przyczyny i następstwa nieprawidłowego przebiegu procesu spalania 27
5.4. Zanieczyszczenia i szkodliwe emisje powstające podczas spalania 29
5.5. Ograniczanie szkodliwych emisji i zużycia paliwa 30

Stosunek stechiometryczny i współczynnik lambda

W branży motoryzacyjnej zamiast terminu stosunek stechiometryczny najczęściej używa się obecnie pojęcia współczynnika lambda. Współczynnik lambda jest obliczany poprzez pomiar zawartości tlenu w spalinach. Sondy lambda monitorują zawartość tlenu w spalinach, która jest początkowo zależna od stosunku powietrza do paliwa. Sondy lambda, znane również jako czujniki tlenu (0_2) lub czujniki szerokopasmowe (A/F), również dostarczane przez DENSO, przesyłają sygnały elektroniczne do jednostki sterującej silnika, która może dzięki temu odpowiednio regulować stosunek powietrza do paliwa.

(1) Przy stechiometrycznym stosunku powietrza do paliwa współczynnik lambda wynosi 1.
(2) Uboga mieszanka, która wytwarza nadmiar tlenu, ma współczynnik lambda większy od 1.
(3) Bogata mieszanka z deficytem tlenu ma współczynnik lambda mniejszy od 1.

W teorii silnik powinien pracować ze współczynnikiem lambda wynoszącym 1 (stechiometryczny stosunek powietrza do paliwa), ale nawet w idealnych warunkach trudno jest uzyskać pełne wymieszanie i jednolite rozprowadzenie paliwa w powietrzu. Dlatego stale dokonywane są drobne regulacje w celu zapewnienia właściwego stosunku powietrze do paliwo.

Aby ograniczyć część szkodliwych emisji powstających podczas spalania, współczesne pojazdy wykorzystują zamontowane w układzie wydechowym konwertery katalityczne. Konwertery katalityczne wykorzystują reakcje chemiczne, które przekształcają szkodliwe zanieczyszczenia w mniej szkodliwe substancje (patrz punkt 5.5).

Stosunek powietrza do paliwa lub zakres lambda

Wykres na rys. 5.4 prezentuje zakresy stosunku powietrza do paliwa i odpowiadające im wartości współczynnika lambda powszechnie używane we współczesnych silnikach benzynowych.

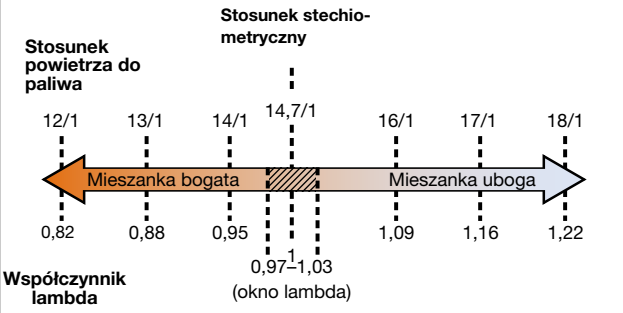
Wykres przedstawia stosunkowo wąski zakres dla wartości granicznych stosunku powietrza do paliwa w mieszankach ubogich i bogatych, które zapewniają wymaganą ilość tlenu do efektywnego spalania i wydajnej pracy konwertera katalitycznego. Kiedy stosunek powietrze/paliwo i poziom tlenu mieszczą się w wymaganym zakresie, wartości współczynnika lambda sytuują się pomiędzy ok. 1,03 (mieszanka uboga – nadmiar tlenu) i 0,97 (mieszanka bogata – nadmiar paliwa), czyli w tzw. oknie lambda.

Zastosowanie sond lambda do monitorowania zawartości tlenu w gazach spalinowych umożliwia wówczas jednostce sterującej silnika kontrolę stosunku powietrza do paliwa oraz poziomu tlenu w oknie lambda. W niektórych warunkach jazdy (opisanych w kolejnych sekcjach) konieczne jest zapewnienie przez krótki czas stosunku powietrza do paliwa lub poziomu tlenu, który mieści się poza oknem lambda.

Bogate mieszanki powodujące niepełne spalanie

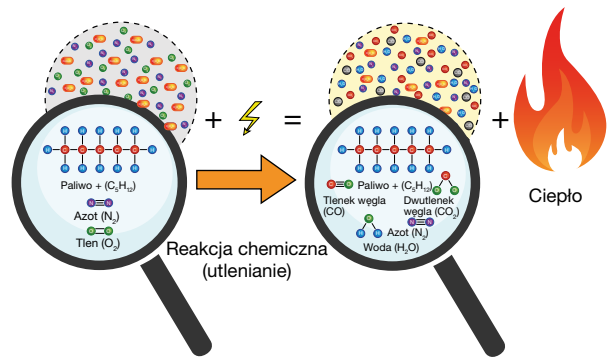
Jeśli mieszanka jest bogata, ilość paliwa będzie zbyt duża, aby móc się wymieszać z tlenem. Wodór w paliwie jest zazwyczaj w stanie wejść w reakcję z wymaganą ilością tlenu do produkcji H_2O (wody), ale część węgla nie będzie w stanie w pełni wejść w reakcję z odpowiednią ilością tlenu. W efekcie prowadzi to do niepełnego spalania, gdzie część węgla jest spalana tylko częściowo. W wyniku reakcji chemicznej zamiast mniej zanieczyszczającego dwutlenku węgla (CO_2) powstaje tlenek węgla (CO). Dodatkowo część paliwa może nie być w stanie w ogóle zareagować z tlenem, co oznacza, że paliwo to pozostanie całkowicie niespalone i przejdzie do układu wydechowego jako niespalony węglowodór (HC).

Gazy spalinowe emitowane po spaleniu mieszanki bogatej będą zatem zawierać tlenek węgla (CO) i niespalone paliwo (HC).
CO i HC są uważane za zanieczyszczenia, które mają szkodliwy wpływ na atmosferę i nasze zdrowie (dodatkowe informacje na temat zanieczyszczeń - patrz punkt 5.4).



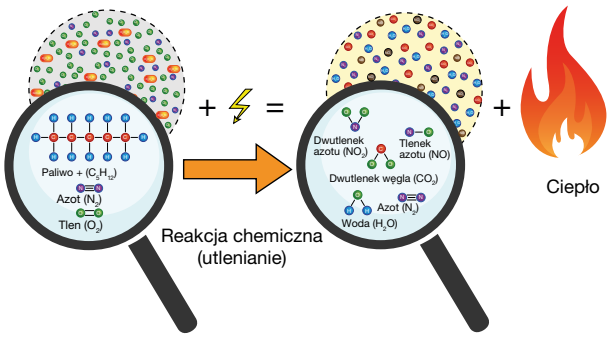
Wykres przedstawia przybliżone porównanie stosunku powietrza do paliwa oraz wartości współczynnika lambda.
W przypadku pojazdów wyposażonych w trójdrożne konwertery katalityczne, optymalnie stosunek powietrza do paliwa powinien być kontrolowany tak, aby osiągnąć wartość współczynnika lambda 0,97 do 1,03 (okno lambda), niemniej przy pełnym obciążeniu (np. maksymalne przyspieszenie) można zastosować stosunek powietrza do paliwa około 13/1 (wartość lambda około 0,88).

Rys. 5.4 Porównanie stosunku powietrza do paliwa i współczynnika lambda



Z powodu nadmiaru paliwa lub niewystarczającej ilości tlenu, część węgla reaguje z mniejszą ilością tlenu, tworząc CO (tlenek węgla). Jednak część węglowodoru nie jest w stanie wejść w reakcję z tlenem, pozostawiając niespalony HC

Rys. 5.5 Reakcje chemiczne z mieszanką bogatą



Z powodu nadmiaru tlenu i wyższych temperatur spalania azot reaguje z tlenem, tworząc NOx (tlenek azotu)

Rys. 5.6 Reakcje chemiczne z mieszanką ubogą

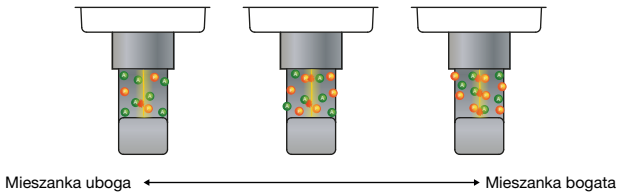
Bogata mieszanka jest często wykorzystywana do uzyskania wyższej mocy wyjściowej kosztem efektywności paliwowej. Około 10-procentowa nadwyżka paliwa (współczynnik lambda 0,9) może zostać wykorzystana w celu zapewnienia wystarczającej ilości paliwa na cały dostępny tlen, co skutkuje przyrostem mocy o około 2-3%.

Jedną z zalet bogatych mieszanek jest to, że paliwo płynne obniża temperaturę spalania. Podczas pracy z dużym obciążeniem wzrasta ciśnienie i temperatura spalania, co może prowadzić do przedwczesnego zapłonu i spalania stukowego. W przypadku stosowania mieszanki bogatej, dodatkowe ciepło pochłaniane przez nadmiar paliwa pomaga obniżyć temperaturę spalania, co zmniejsza ryzyko przedwczesnego zapłonu i spalania stukowego, umożliwiając w ten sposób bezpieczne wytwarzanie dużej mocy w procesie spalania.

Zazwyczaj mieszanka bogata jest również wymagana w trakcie i bezpośrednio po zimnym rozruchu. Niskie temperatury paliwa, jak również zimny cylinder i powierzchnie spalania mogą uniemożliwić przejście paliwa w stan gazowy i jego wymieszanie z powietrzem i tlenem, dlatego konieczna jest dodatkowa ilość paliwa w celu zapewnienia możliwości spalania.

Mieszanki ubogie powodujące niepełne spalanie
W mieszance ubogiej będzie występował nadmiar tlenu, co umożliwi reakcję całego paliwa z tlenem. Nadmiar tlenu zmniejsza powstawanie i emisję CO i HC. Zmniejszona ilość paliwa nie pochłania tyle ciepła, co mieszanka bogata, więc temperatury spalania będą wyższe.

Wyższe temperatury powodują wówczas reakcję azotu w powietrzu z nadmiarem dostępnego tlenu, który tworzy tlenki azotu (NOx). Tlenki azotu są substancjami zanieczyszczającymi, które są szkodliwe dla naszego zdrowia i środowiska.



W mieszance ubogiej cząstki paliwa są rzadziej rozmieszczone w rejonie pomiędzy elektrodami, w którym powstaje iskra. Trudniej jest zatem zapalić paliwo

Rys. 5.7 Utrudniony zapłon mieszanki ubogiej

W przypadku mieszanki ubogiej cząstki paliwa są rozmieszczone w większych odstępach w całej objętości powietrza, co oznacza, że mniej cząstek paliwa jest wystawionych na działanie iskry wytworzonej na świecy zapłonowej. Rzadsze rozmieszczenie cząstek paliwa utrudnia tym samym zapalanie mieszanki powietrzno-paliwowej. W mieszance ubogiej przemieszczanie się i propagacja płomienia są utrudnione. Skrajnie ubogie mieszanki mogą zatem powodować słaby zapłon i spalanie, co doprowadzi do przerw w zapłonie i wzrostu poziomu niespalonych węglowodorów (HC).

Niektóre silniki są przeznaczone do pracy na mieszankach ubogich w warunkach lekkiego obciążenia, co zwiększa oszczędność paliwa. Ze względu na trudności z zapłonem i spalaniem mieszanek ubogich w celu zapewnienia mocniejszej i trwającej dłużej iskry stosuje się układy zapłonowe i świece zapłonowe o wyższej wydajności. (patrz punkty 5.5 i 7.6).

5.2. Zapewnienie prawidłowego procesu spalania

Konstrukcja silnika i komory spalania
We współczesnych konstrukcjach silników priorytetem jest proces spalania.
Silnik musi wytwarzać wymaganą moc, a także zapewniać niski poziom emisji i oszczędne zużycie paliwa, co było trudne do osiągnięcia w przeszłości. Współczesne silniki czerpią korzyści z zastosowania elektronicznie sterowanych układów zapłonowych i paliwowych, które umożliwiają dokładniejsze sterowanie funkcjami takimi jak zapłon i wtrysk paliwa. Pozwala to poprawić sprawność spalania i uzyskać maksymalną energię przy jak najmniejszej ilości spalanego paliwa i możliwie najmniejszej produkcji zanieczyszczeń.

Na proces spalania mogą także mieć wpływ liczne aspekty (elektroniczne i mechaniczne) konstrukcji silnika, np.:

> **Świeca zapłonowa.** Świece zapłonowe doprowadzają wysokie napięcie do elektrod i wytwarzają gorącą iskrę w celu zapalenia mieszanki paliwowo-powietrznej. Świeca zapłonowa musi utrzymywać właściwą temperaturę, aby zapobiec zanieczyszczeniu lub przedwczesnemu zapłonowi. Więcej informacji na temat wymagań dotyczących świec zapłonowych znajduje się w rozdziale 6.

> **Układ zapłonowy.** Układy zapłonowe muszą dostarczać wymagane napięcie i energię elektryczną do świecy zapłonowej w odpowiednim czasie w celu uzyskania stałego zapłonu mieszanki powietrzno-paliwowej.

> **Stosunek powietrza do paliwa.** Stosunek musi być prawidłowy, aby zapewnić, że jak największa ilość paliwa zostanie całkowicie i efektywnie spalona.

> **Kąt wyprzedzenia wtrysku.** We współczesnych silnikach (z wtryskiem wielopunktowym lub bezpośrednim) właściwy kąt wyprzedzenia wtrysku pomaga w jednorodnym wymieszaniu powietrza i paliwa.

> **Kształt komory spalania.** Kształt komory spalania może sprzyjać powstawaniu turbulencji podczas suwu ssania, sprężania i spalania. Turbulencja wspomaga skuteczne wymieszanie powietrza i paliwa oraz rozprzestrzenianie się płomienia w całej komorze spalania.

> **Temperatura pracy silnika** Powierzchnie komory spalania (i ściany cylindrów) muszą być wystarczająco rozgrzane, aby nie powodować wygaszania płomienia spalania, ale nie mogą nagrzewać się do tego stopnia, by powodować przedwczesny zapłon.

> **Zmienne ustawienie rozrządu i wznios zaworu.** Zmiana ustawienia rozrządu i wzniosu zaworu w niektórych układach pozwala poprawić wypełnienie cylindra powietrzem i usuwania gazów spalinowych przy szerokim zakresie prędkości obrotowych i obciążeń silnika.

> **Układ recyrkulacji spalin (EGR).** Przy niskich obciążeniach świeże powietrze miesza się z gazami spalinowymi, które następnie przechodzą do komory spalania. Gazy spalinowe nie uczestniczą w spalaniu, zmniejszając w ten sposób temperaturę spalania i emisję NOx (patrz punkt 5.5).

> **Turbodoładowanie (i doładowanie).** Zwiększa masę powietrza dostającego się do cylindra, a tym samym ciśnienie/temperaturę w cylindrze, co powoduje wzrost momentu obrotowego silnika i mocy (patrz punkt 5.5).

5.3. Przyczyny i następstwa nieprawidłowego przebiegu procesu spalania

Konstrukcja silnika ma oczywiście bezpośredni wpływ na wydajność spalania. Osiągnięcie optymalnej wydajności spalania oznacza często zbliżanie się do wartości granicznych. Przekroczenie tych wartości granicznych może skutkować niepełnym spalaniem. Współczesne silniki czerpią korzyści z zastosowania elektronicznie sterowanych układów wtrysku paliwa, zapłonu i innych systemów związanych z silnikiem, które znacząco zmniejszają ryzyko niepełnego spalania w porównaniu z wcześniejszymi generacjami silników.

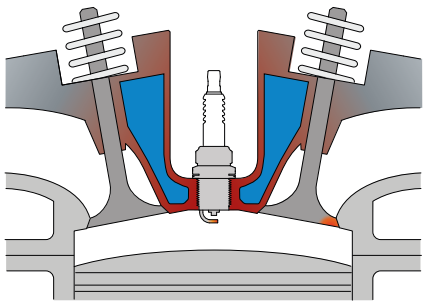
Przedwczesny zapłon i spalanie stukowe

Przedwczesny zapłon i spalanie stukowe to w rzeczywistości różne symptomy, które mogą być spowodowane przez wiele usterek wpływających na proces spalania.

Przedwczesny zapłon następuje wtedy, gdy gorący punkt w komorze spalania spowoduje zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej, zanim świeca zapłonowa zapewni prawidłowy czas zapłonu (rys. 5.8). Efekt jak taki sam jak w przypadku zbytnio przyspieszonego czasu zapłonu (patrz punkt 3.5). Przedwczesny zapłon paliwa spowoduje zbyt wczesny wzrost ciśnienia i temperatury w cylindrze, co może ostatecznie doprowadzić do bardziej szkodliwej w skutkach detonacji.

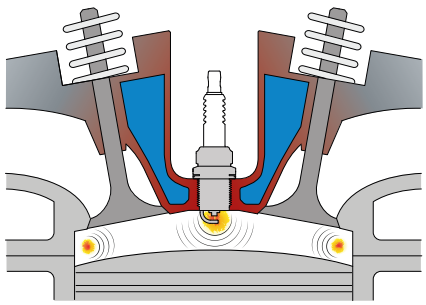
Detonacja następuje wtedy, gdy niewielkie pęcherzyki mieszanki paliwowo-powietrznej zapalają się niezależnie wskutek wysokiego ciśnienia po rozpoczęciu spalania (rys. 5.9). Podczas normalnego spalania, wraz ze stopniowym zwiększaniem się i rozprzestrzenianiem płomienia w komorze spalania następuje wzrost ciśnienia i temperatury w innych częściach komory spalania. Podczas detonacji ciśnienie i temperatura stają się zbyt wysokie w częściach, które jeszcze nie zostały objęte płomieniem. Pęcherzyki mieszanki paliwowo-powietrznej ulegają detonacji (eksplodują) niezależnie od płomienia. Detonacja tych pęcherzyków mieszanki może spowodować szybko rozprzestrzeniające się fale ciśnienia, wykrywalne jako odgłosy stukania lub świstania.

Długotrwała detonacja może spowodować poważne uszkodzenie silnika, takie jak stopienie tłoków, a nawet zaworów wydechowych.



Przedwczesny zapłon może zostać wywołany przez gorące punkty, takie jak osad z węgla na świecy zapłonowej lub zawory rozgrzane do tego stopnia, że zapalają mieszankę paliwowo-powietrzną przed wystąpieniem iskry

Rys. 5.8 Przedwczesny zapłon



Fala ciśnienia wytworzona przez przedwczesny zapłon powoduje detonację

Rys. 5.9 Spalanie stukowe

ZWRÓĆ UWAGĘ

Kształt elektrod

Większe elektrody blokują większy wzrost płomienia, podczas gdy najmniejsze elektrody umożliwiają lepszy jego wzrost w trzech wymiarach, jak opatentowana elektroda środkowa 0,4 mm i opatentowana technologia Twin Tip.

Jest to sposób DENSO na poprawę zapłonu poprzez zastosowanie mniejszych elektrod i poprawę wydajności.

Usterki powodujące słabe spalanie
Wiele usterek związanych z silnikiem może powodować słabe spalanie. Poniższa lista obejmuje jedynie główne problemy, które w większości przypadków są łatwe do zdiagnozowania i naprawienia.

> **Świece zapłonowe.** Awarie świec zapłonowych dotyczą zarówno współczesnych, jak i starszych silników. Punkt 10.3 zawiera szczegółowy przewodnik pozwalający zidentyfikować usterki związane ze świecami zapłonowymi. Kluczowe jest używanie odpowiednich świec zapłonowych.

Odpowiednią świecę zapłonową można łatwo zidentyfikować w e-katalogu DENSO na stronie denso-am.pl/e-katalog.

> **Kąt wyprzedzenia zapłonu.** Chociaż elektroniczne sterowanie układami zapłonu we współczesnych pojazdach nie powinno pozwalać na zmianę kąta wyprzedzenia zapłonu w stosunku do zaprogramowanej wartości, usterka w układzie sterowania silnikiem może spowodować nieprawidłowy kąt wyprzedzenia zapłonu. Jednak w przypadku starszych pojazdów, zwłaszcza z mechanicznymi i wczesnymi elektronicznymi układami zapłonowymi, zużycie komponentów i nieprawidłowe ustawienie kąta wyprzedzenia zapłonu będzie miało zauważalny wpływ na sprawność spalania i wydajność silnika.

> **Bogata mieszanka.** Chociaż nieznacznie bogatsza mieszanka może pomóc w uzyskaniu dobrej mocy i momentu obrotowego silnika, bogata mieszanka nie będzie w stanie całkowicie spalić całego paliwa z powodu niedoboru tlenu. Proces spalania będzie mniej efektywny, prowadząc do mniejszych oszczędności paliwa (patrz punkt 5.1).

Przyczyny występowania bogatej mieszanki we współczesnych pojazdach to zasadniczo:

> Przeciekanie lub kapanie z wtryskiwaczy paliwa
> Wysokie ciśnienie paliwa
> Zablokowane lub ograniczone filtry powietrza
> Uszkodzone sondy lambda

> **Uboga mieszanka.** W bardzo ubogiej mieszance cząstki paliwa są rozmieszczone rzadko w całej objętości powietrza, przez co zapłon mieszanki przez iskrę jest utrudniony.
W ubogiej mieszance paliwowo-powietrznej utrudniony jest także wzrost i rozprzestrzenianie się płomienia spalania. Trudności w zapłonie i podtrzymaniu palenia się mieszanki mogą prowadzić do przerw w zapłonie.

Przyczyny występowania ubogiej mieszanki we współczesnych pojazdach to zasadniczo:

> Wycieki powietrza w układzie dolotowym
> Niskie ciśnienie paliwa
> Zanieczyszczone lub zablokowane wtryskiwacze
> Uszkodzone sondy lambda

> **Usterki układu recyrkulacji spalin.** Układ recyrkulacji spalin (EGR) przekazuje część gazów spalinowych z powrotem do układu dolotowego w celu zmniejszenia niektórych szkodliwych emisji. Dlatego tak ważne jest, aby ilość recyrkulowanych gazów spalinowych była dokładnie kontrolowana.

Usterka systemu EGR może zmniejszyć ilość recyrkulowanych spalin, co może prowadzić do wzrostu temperatury spalania i przedwczesnego zapłonu, a nawet detonacji. Jeśli natomiast usterka powoduje recyrkulację nadmiernej ilości spalin, ogranicza to objętość świeżego powietrza i tlenu wprowadzanego do komory spalania, powodując w ten sposób słabe spalanie i wypadanie zapłonu.

> **Konstrukcja silnika i komory spalania.** Utrata płynu chłodzącego lub awaria układu chłodzenia może spowodować wzrost temperatury silnika i komory spalania. Temperatury spalania wzrosną, co może prowadzić do przedwczesnego zapłonu i detonacji.

Natomiast jeśli usterka układu chłodzenia uniemożliwia osiągnięcie przez silnik normalnej temperatury roboczej, ścianki cylindra i powierzchnie komory spalania będą chłodniejsze. Może to spowodować tłumienie płomienia spalania, zanim cała mieszanka paliwowo-powietrzna zostanie zużyta w procesie spalania. Silnik pracujący na zimno może zatem skutkować niską efektywnością paliwową.

5.4. Zanieczyszczenia i szkodliwe emisje powstające podczas spalania

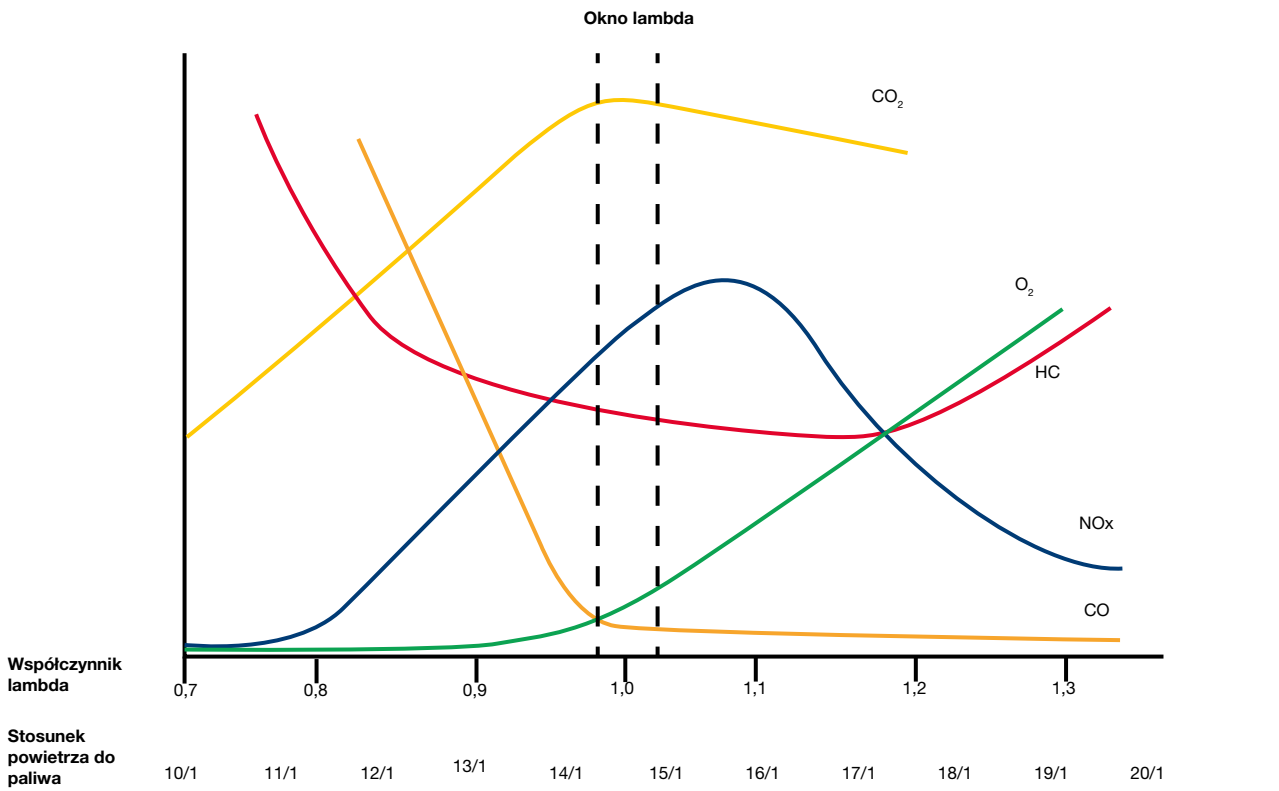
Od lat 60. przepisy dotyczące emisji spalin stopniowo stawały się coraz bardziej rygorystyczne, co wymusiło ulepszenia w konstrukcji silnika, jak również znaczące ulepszenia i zmiany w układach zapłonowym i paliwowym. Przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń nadal obejmują wiele różnych substancji zanieczyszczających. I chociaż niektóre z nich, np. siarka i ołów, zostały znacznie ograniczone lub wyeliminowane, substancje zanieczyszczające są nadal wytwarzane podczas procesu spalania w silniku. Główne substancje zanieczyszczające budzące obawy przedstawiono w tabeli w pkt 5.10.

Stosunek powietrza do paliwa i jego wpływ na emisje głównych substancji zanieczyszczających

Wykres na rys. 5.11 przedstawia główne zanieczyszczenia i zawartość tlenu w gazach spalinowych, pokazując, w jaki sposób nawet niewielkie zmiany w stosunku powietrza do paliwa mogą zauważalnie zwiększyć lub zmniejszyć poziom zanieczyszczeń. Utrzymywanie stosunku powietrza do paliwa w oknie lambda zapewnia rozsądny kompromis pomiędzy różnymi zanieczyszczeniami, jednak nadal konieczne jest stosowanie dodatkowych metod w celu dalszej redukcji emisji zanieczyszczeń.

Substancja zanie-czyszczająca	Symbol	Skutki	Przyczyny
Tlenek węgla	CO	Częściowo spalone paliwo, które może przedostać się do krwiobiegu, zastępując tlen i ograniczając możliwości dostarczania tlenu przez krew do różnych części ciała.	Bogata mieszanka, słaby zapłon (awaria iskry lub układu zapłonu), słabe spalanie, nieprawidłowy kąt wyprzedzenia zapłonu
Węglowodory	HC	Niespalone paliwo ma działanie kancerogenne (wywołuje raka) i może zakłócić wzrost komórek w ciele. Może reagować z innymi zanieczyszczeniami, tworząc ozon	Bogata mieszanka, słaby zapłon (awaria iskry lub układu zapłonowego), słabe spalanie, nieprawi-dłowy kąt wyprzedzenia zapłonu
Tlenki azotu	NOx (Tlenek azotu – NO i dwutlenek azotu – NO_2)	Może wywołać podrażnienie oczu i płuc oraz proble-my z oddychaniem. Przyczynia się do powstawania smogu i kwaśnych deszczy oraz ozonu na poziomie gruntu.	Powstaje ze spalania ubogich mieszanek w wyso-kiej temperaturze, kiedy azot z powietrza reaguje z tlenem
Dwutlenek węgla	CO_2	Najmniej szkodliwa substancja na tej liście. Nagromadzenie CO_2 w atmosferze zatrzymuje ciepło i przyczynia się do globalnego ocieplenia	Produkt pełnego spalania paliwa i tlenu.

Rys. 5.10 Główne substancje zanieczyszczające



Rys. 5.11 Wpływ stosunku powietrza do paliwa na poziom zanieczyszczeń

5.5. Ograniczanie szkodliwych emisji i zużycia paliwa

Ulepszenie konstrukcji silnika i poprawa procesu spalania pozwoliła osiągnąć znaczne obniżenie poziomu zanieczyszczeń.
Ponieważ przepisy dotyczące pojazdów silnikowych staną się bardziej rygorystyczne, niektórzy będą się koncentrować na ulepszonych układach oczyszczania spalin. Konieczne jest jednak opracowanie nowych technologii, aby zapobiec powstawaniu lub ograniczyć szkodliwe emisje. Niektóre z tych technologii objaśniono poniżej.

Konwertery katalityczne i sondy lambda stosowane w celu obniżenia poziomów CO, HC i NOx
W latach 80. wprowadzono trójdrożne konwertery katalityczne, które dziś są montowane niemal we wszystkich produkowanych masowo pojazdach benzynowych. Trójdrożne konwertery katalityczne zapewniają oczyszczanie gazów spalinowych w celu zmniejszenia emisji CO, HC i NOx wytwarzanych podczas spalania.

W samochodowych konwerterach katalitycznych metale szlachetne, takie jak pallad, rod lub platyna są wykorzystywane jako katalizator, który wspiera zachodzenie reakcji chemicznych, ale sam w nich nie uczestniczy.
Konwerter katalityczny wymaga ciepła, aby funkcjonować efektywnie.

Podczas oczyszczania CO i HC (spalonego częściowo oraz niespalonego paliwa) reakcje chemiczne zachodzące w konwerterze są w rzeczywistości kontynuacją reakcji, które nie zostały w pełni ukończone w trakcie spalania w silniku. Tlenek węgla (CO) i niespalone węglowodory (HC) reagują w konwerterze z tlenem w sposób podobny do reakcji utleniania, które mają miejsce podczas spalania. Aby zapewnić dostępność tlenu do reakcji, które następnie skutecznie przekształcą CO i HC w CO_2 (dwutlenek węgla) i H_2O (wodę), stosunek powietrza do paliwa jest nieco uboższy.

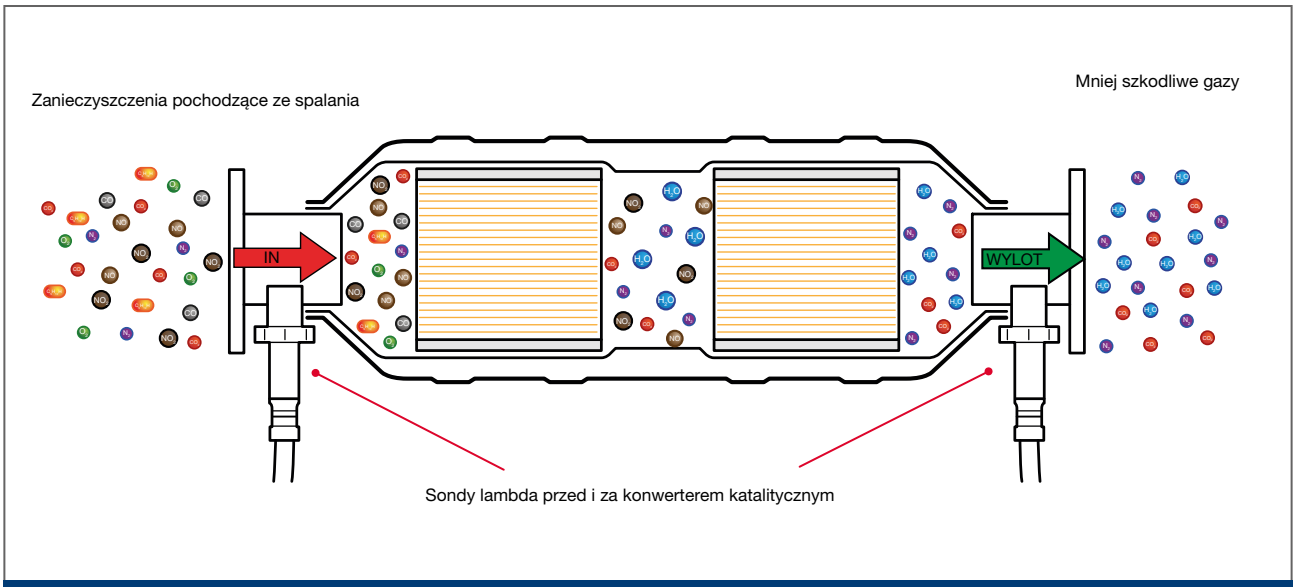
Zmniejszenie poziomu tlenków węgla (NOx) wytwarzanych w trakcie spalania wymaga innej reakcji chemicznej, która skutecznie oddzieli tlen (O_2) od azotu (N). Reakcja ta (nazywana redukcją) wymaga nieco bogatszej mieszanki z mniejszą zawartością tlenu, aby mógł się on oddzielić od azotu. Oddzielony tlen może następnie zostać wykorzystany do reakcji z pozostałymi w spalinach CO i HC, co z kolei ponownie tworzy CO_2.

Ponieważ jedna reakcja chemiczna wymaga nadmiaru tlenu, a druga jego niedoboru, jednostka sterująca silnika przełącza stosunek powietrza do paliwa pomiędzy wartościami granicznymi mieszanki bogatej i ubogiej w oknie lambda. Współczynnik lambda zawartości tlenu w gazach wydechowych waha się zatem od ok. 0,97 do ok. 1,03, co umożliwia wspieranie przez konwerter katalityczny dwóch różnych reakcji chemicznych.

Aby umożliwić jednostce sterującej silnika dokładną kontrolę stosunku powietrza do paliwa i zapewnić wymaganą ilość tlenu, umieszczona przed konwerterem sonda lambda przekazuje sygnał elektryczny, który wskazuje zawartość tlenu w spalinach przed konwerterem (rys. 5.12). W zależności od sygnału otrzymanego z sondy jednostka sterująca silnika dostosowuje stosunek powietrza do paliwa. Ten stały proces monitorowania i korygowania zawartości tlenu jest nazywany układem zamkniętym. Druga sonda lambda umieszczona za konwerterem monitoruje zawartość tlenu za konwerterem, aby sprawdzić, czy tlen został wykorzystany w reakcjach chemicznych. Z tego względu ta druga sonda jest nazywana sondą diagnostyczną.

Downsizing i turbodoładowanie
Oprócz ograniczania emisji dotychczas zidentyfikowanych zanieczyszczeń, w ostatnich czasach pojawił się nacisk na zmniejszanie ilości CO_2 (dwutlenku węgla) wytwarzanego w procesie spalania paliw kopalnych. W efekcie w połowie lat 2000. pojawiła się tendencja do zmniejszania pojemności (downsizingu) silników. Mniejszy silnik oznacza mniejszą całkowitą masę pojazdu, co pozwala obniżyć zapotrzebowanie na energię i zużycie paliwa. Aby jednak utrzymać oczekiwane osiągi pojazdu, mniejsze silniki muszą nadal wytwarzać podobną moc i moment obrotowy jak ich większe odpowiedniki, co wymaga zwiększenia mocy właściwej silnika.

Moc właściwa to moc maksymalna podzielona przez objętość skokową silnika (pojemność silnika). Skuteczną metodą zwiększania mocy właściwej jest turbodoładowanie. Wzrasta tendencja do stosowania turbosprężarek, które zwiększają masę powietrza przepływającego do cylindra (wymuszona indukcja). Większa masa powietrza zwiększa temperaturę spalania i ciśnienie, co powoduje wzrost mocy i momentu obrotowego.



Rys. 5.12 Konwerter katalityczny

Mieszanki ubogie i wtrysk bezpośredni
Kolejną funkcją, która pomaga zmniejszyć zużycie paliwa i emisję CO_2, jest praca silnika z zastosowaniem uboższych mieszanek w warunkach małego obciążenia. Zastosowanie uboższych mieszanek pozwala zapewnić, że całe paliwo zostanie wykorzystane do spalania i nie zostanie zmarnowane wskutek przedostawania się do układu wydechowego.

Jedną z metod umożliwiających pracę na ubogich mieszankach jest zastosowanie wtrysku bezpośredniego, gdzie benzyna zamiast do układu dolotowego silnika jest wtryskiwana bezpośrednio do komory spalania (rys. 5.13).

W warunkach niskiego obciążenia paliwo jest wtryskiwane podczas suwu sprężania. Następnie paliwo miesza się z niewielką ilością powietrza zawartego w cylindrze. Chociaż spalana jest wtedy tylko niewielka ilość mieszanki, proces spalania nadal wytwarza ciepło wystarczające do rozprężenia pozostałych gazów i wytworzenia mocy wystarczającej do pracy przy niskim obciążeniu. Ta zasada zapłonu tylko niewielkiej ilości mieszanki nazywana jest „spalaniem uwarstwionym".

W przypadku wyższych obciążeń, paliwo jest wtryskiwane podczas suwu ssania, co pozwala na zmieszanie się paliwa z całym powietrzem w cylindrze (mieszanka jednorodna), umożliwiając w ten sposób spalanie z normalnym stosunkiem powietrza do paliwa w celu wytworzenia większej mocy.

Podczas spalania uwarstwionego uboga mieszanka powoduje wysokie temperatury spalania. Połączenie wysokich temperatur i nadmiaru tlenu powoduje powstawanie wysokich poziomów NOx, które są następnie redukowane poprzez zastosowanie wyższego udziału procentowego recyrkulacji spalin.

Recyrkulacja spalin (EGR) w celu zmniejszenia poziomu emisji NOx
Recyrkulacja spalin (EGR) jest wykorzystywana w celu zapobiegania tworzeniu się NOx podczas spalania. Przy nadmiarze tlenu (mieszanka uboga) znacznie rosną poziomy NOx, a temperatury spalania przekraczają 1 600°C.

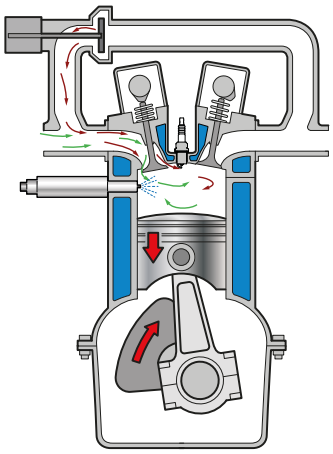
Poprzez recyrkulację kontrolowanej ilości spalin z powrotem do układu dolotowego silnika, gdzie mieszają się one ze świeżym powietrzem wlotowym (rys. 5.14), obojętne (niepalne) gazy spalinowe zastępują część powietrza i tlenu w cylindrze. Chociaż recyrkulowane spaliny są gorące, są chłodniejsze niż temperatura spalania, co pozwala gazom spalinowym na absorpcję ciepła z procesu spalania. Obniżone temperatury spalania ograniczają powstawanie NOx, a także zmniejszają ryzyko przedwczesnego zapłonu i detonacji.

Podczas pracy przy pełnym obciążeniu do uzyskania dużej mocy potrzebna jest jak największa ilość świeżego powietrza. Dlatego też EGR nie jest zwykle używany podczas pracy przy pełnym obciążeniu.

Jednostka sterująca silnika reguluje otwarcie zaworu EGR (również dostarczanego przez DENSO) tak, że w zależności od warunków pracy, do układu dolotowego może być doprowadzane od 5% do 15% spalin.

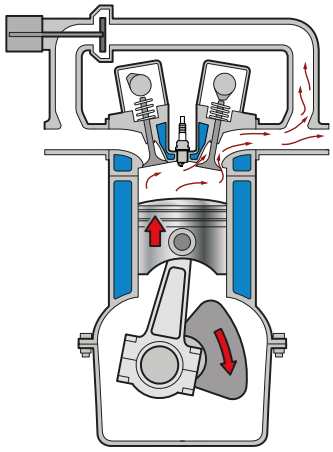
Technologie te zostały opracowane w celu redukcji emisji, poprawy wydajności i oszczędności paliwa.

Zostały one jeszcze bardziej rozwinięte. Nowe tendencje i ich wpływ na układ zapłonowy zostały opisane w punkcie 7.6

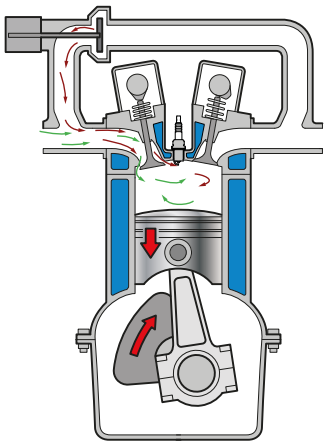


Paliwo jest wtryskiwane do komory spalania podczas suwu ssania, ale w wielu typach wtrysku bezpośredniego paliwo może być również wtryskiwane podczas suwu sprężania w warunkach pracy z lekkim obciążeniem

Rys. 5.13 Bezpośredni wtrysk paliwa



Podczas suwu wydechu część spalin jest w stanie przejść do zaworu EGR



Podczas suwu ssania zawór EGR pozwala na wymieszanie skalibrowanej ilości spalin z powietrzem wlotowym

Rys. 5.14 Recyrkulacja spalin (EGR)

6. ŚWIECE ZAPŁONOWE

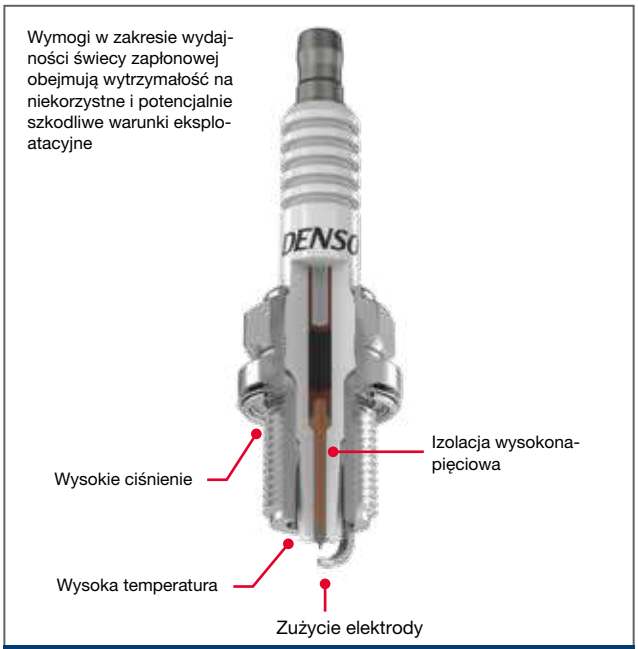
6.1. Klucz do procesu spalania

Świece zapłonowe mają kluczowe znaczenie dla skutecznego procesu zapłonu i spalania. Chociaż celem świecy zapłonowej jest zapewnienie iskry inicjującej spalanie mieszanki paliwowo-powietrznej, jej konstrukcja ma duży wpływ na proces spalania na wcześniejszych etapach.

Wiele elementów konstrukcyjnych świecy zapłonowej wpływa na sposób, w jaki świeca zapala mieszankę paliwowo-powietrzną, iskra musi być jednak zdolna do zapalenia mieszanki w szerokim zakresie warunków pracy, obejmującym zmiany temperatury, ciśnienia, stosunku powietrza do paliwa, prędkości obrotowej silnika i obciążenia silnika.

6.2. Wymagania dotyczące wydajności

Oprócz wytwarzania iskry świece zapłonowe muszą spełniać liczne wymagania w zakresie wydajności, z których najważniejsze zostały wymienione poniżej (rys. 6.1).



Rys. 6.1 Wymogi dotyczące wydajności świecy zapłonowej

Wytrzymałość na wysokie i stale zmieniające się temperatury
Powierzchnie świec zapłonowych w komorze spalania są stale wystawione na działanie temperatur w okolicach 3 000°C podczas spalania mieszanki paliwowo-powietrznej. Natomiast podczas suwu ssania świeca zapłonowa jest poddawana nagłemu schłodzeniu przez świeże powietrze wlotowe o niskiej temperaturze. To nagłe nagrzewanie i chłodzenie jest powtarzane w każdym czterosuwowym cyklu pracy silnika. Świeca zapłonowa musi nie tylko wytrzymywać ciepło, ale także odprowadzać je w ilości zapobiegającej powstawaniu gorących punktów, które mogą spowodować przedwczesny zapłon.

Wytrzymałość na znaczne zmiany ciśnienia
Podczas suwu ssania ciśnienie jest mniejsze niż 1 bar, zaś podczas suwu spalania może przekroczyć 50 barów. Świeca zapłonowa musi zatem mieć dostateczną wytrzymałość mechaniczną i trwałość zapewniającą jej odporność na wysokie ciśnienie i zmiany ciśnienia.

Izolacja wysokonapięciowa
W środowisku, w którym temperatura i ciśnienie ulegają drastycznym i ciągłym zmianom, świece zapłonowe muszą posiadać szczególną izolację zdolną wytrzymać wysokie napięcia sięgające we współczesnych układach zapłonowych ponad 40 kV.

Utrzymywanie hermetycznego uszczelnienia w trudnych środowiskach
Świece zapłonowe muszą zapewniać hermetyczne uszczelnienie pomiędzy korpusem a izolatorem w warunkach znacznych zmian temperatury i ciśnienia oraz wysokiego napięcia. W tym celu pomiędzy izolatorem a korpusem stosuje się wysokiej jakości uszczelki, które zapobiegają przedostawaniu się gorących gazów pod wysokim ciśnieniem przez świecę zapłonową na zewnątrz i niszczeniu elementów świecy.

Minimalizacja osadów produktów spalania
W trudnych warunkach eksploatacyjnych spalanie mieszanki paliwowo-powietrznej może spowodować zabrudzenie i zanieczyszczenie obudowy i elektrod świecy zapłonowej. Świece zapłonowe muszą minimalizować zanieczyszczenie elektrod i umożliwiać ich samooczyszczanie poprzez spalanie osadów produktów spalania przez ciepło.

Izolator w pobliżu elektrod powinien osiągać temperaturę samooczyszczania (około 500°C), dlatego pożądane jest, aby temperatura świecy zapłonowej rosła szybko nawet przy stosunkowo niskich temperaturach spalania (np. podczas jazdy przy niskim obciążeniu). Niektóre świece zapłonowe posiadają dodatkowe cechy konstrukcyjne, które minimalizują zanieczyszczenie lub poprawiają zdolność samooczyszczania (patrz punkt 6.6).

Minimalizacja zużycia elektrod
Elektrody świecy zapłonowej są narażone na działanie wysokich temperatur oraz szybkich zmian temperatury. Tymczasem elektrody muszą wielokrotnie wykonywać swoje główne zadanie – wytwarzanie rozgrzanej iskry, która występuje podczas przeskoku wysokiego napięcia pomiędzy elektrodami.

Elektrody muszą zatem zapewniać wysoki poziom odporności na zużycie i erozję powodowane przez proces iskrzenia i wynikającą z niego wysoką temperaturę (patrz punkt 7.2).

6.1. Klucz do procesu spalania 32
6.2. Wymagania dotyczące wydajności 32
6.3. Budowa świecy zapłonowej 33
6.4. Iskra elektryczna i wymagane napięcie zapłonowe 35
6.5. Czynniki wpływające na napięcie zapłonu 36
6.6. Zakres temperatur roboczych 39
6.7. Tłumienie płomienia utrudniające jego powstawanie i wzrost 41

ZWRÓĆ UWAGĘ

DENSO produkuje świece zapłonowe z elektrodami wykonanymi z metali szlachetnych, co w znacznym stopniu przyczynia się do zmniejszenia ich zużycia.

Zastosowanie zaawansowanych technologii, takich jak DENSO Twin Tip, pozwala uzyskać lepszą wydajność przez dłuższy czas. Świece zapłonowe DENSO Iridium o wydłużonej żywotności zapewniają trwałość nawet do 180 000 km.

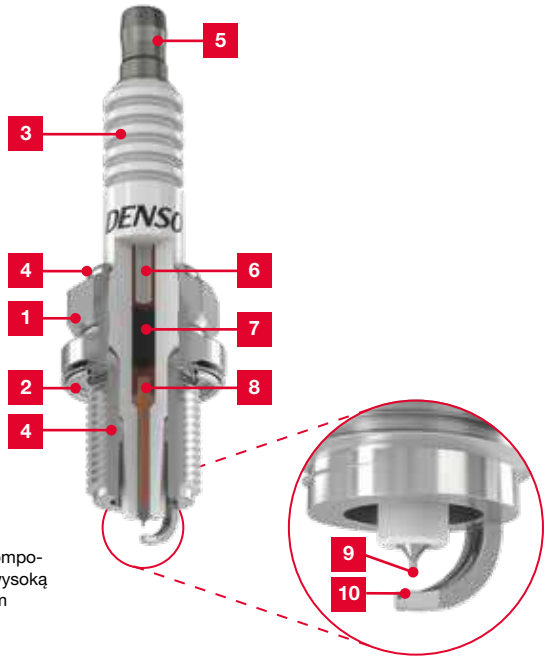
6.3. Budowa świecy zapłonowej

Główne elementy świecy zapłonowej
Aby móc pracować w trudnych warunkach i spełniać wymagania eksploatacyjne, świece zapłonowe składają się z trzech głównych części:
(1) Korpus
(2) Izolator
(3) Elektrody

Te główne części zawierają poszczególne komponenty świecy zapłonowej wykonane ze starannie dobranych materiałów.
Na wykresie (rys. 6.2) pokazano główne części i komponenty świecy zapłonowej DENSO Iridium Power.

Korpus
Korpus (nr 1) stanowi zewnętrzną osłonę, która otacza i podtrzymuje izolator, a także zapewnia mocowanie świecy zapłonowej do silnika. Podkładka lub uszczelka pierścieniowa (nr 2) zapewnia hermetyczne uszczelnienie pomiędzy korpusem świecy zapłonowej i silnikiem, zapobiegając wydostawaniu się jakichkolwiek gazów podczas sprężania i spalania.

Elektroda masowa (nr 10) jest przymocowana do dolnej, gwintowanej części korpusu, umożliwiając przepływ prądu elektrycznego przez silnik z powrotem do akumulatora.



1 Korpus
2 Uszczelka
3 Izolator
4 Uszczelka pierścieniowa (2x)
5 Zacisk
6 Rdzeń
7 Rezystor
8 Elektroda z rdzeniem miedzianym
9 Elektroda środkowa
10 Elektroda masowa

Uszczelki i izolator chronią wiele komponentów świecy zapłonowej przed wysoką temperaturą, ciśnieniem i napięciem

Fig 6.2 Budowa świecy zapłonowej

Izolator
Ceramiczny izolator (nr 3) zapewnia izolację elektryczną pomiędzy zaciskiem, rdzeniem i elektrodą środkową oraz korpusem.

Z uwagi na napięcie iskry, które we współczesnych układach zapłonowych przekracza 40 kV, izolator musi wykazywać wymagane właściwości izolacyjne przy zaledwie kilku milimetrach grubości.

Aby zapewnić wysokie właściwości żaroodporne, wytrzymałość mechaniczną i doskonałą izolację elektryczną, DENSO wykorzystuje materiał ceramiczny z tlenkiem glinu o wysokiej czystości.

Uszczelki pierścieniowe (nr 4) zapewniają bezpieczne dopasowanie i hermetyczne uszczelnienie pomiędzy korpusem i izolatorem.

Zacisk
Wysokie napięcie jest dostarczane przez zacisk (nr 5), albo z cewki zapłonowej umieszczonej bezpośrednio w podstawie, albo poprzez przewód zapłonowy łączący zacisk świecy z cewką. Produkowane są różne rodzaje zacisków, umożliwiające podłączenie niemal każdego przewodu zapłonowego lub cewki zapłonowej do zacisku świecy zapłonowej.

DENSO oferuje 4 różne rodzaje zacisku:

1. **Gwintowany** (bez nakrętki zacisku, wykorzystywany w motocyklach oraz w samochodach starszego typu)
2. **Z nakrętką zacisku**(gwint z łatwą do odkręcenia nakrętką)
3. **Karbowany** (gwint z karbowaną nakrętką zapewniającą lepsze połączenie między nakrętką a gwintem. Nakrętkę można zdjąć, jednak jest to trudniejsze)
4. **Jednolity** (jednolity zacisk do zastosowań samochodowych, bez możliwości zdjęcia)

Rdzeń
Stalowy rdzeń (nr 6) łączy zacisk z elektrodą środkową, umożliwiając przepływ prądu o wysokim napięciu.

Rezystor
Rezystor (nr 7), nazywany również tłumikiem, obniża wartość szczytową prądu iskry. Bez rezystora prąd szczytowy tworzyłby wybuchy pola elektromagnetycznego i szumy radiowe, które mogą zakłócać działanie urządzeń elektrycznych w samochodzie. Rezystory w świecach zapłonowych DENSO są wykonane ze specjalnej mieszanki szkła i proszku miedzianego.

Elektroda środkowa
Elektroda środkowa (nr 9) jest wykonana z wytrzymałych na wysokie temperatury materiałów takich jak stopy niklu. Materiały te muszą być również wyjątkowo twarde i trwałe w celu minimalizacji erozji spowodowanej przez iskrę. Środkowa część elektrody (nr 8) często posiada miedziany rdzeń, mający na celu zwiększenie jej przewodności cieplnej.

Dla zwiększenia wydajności i trwałości elektrody środkowe mogą być produkowane z końcówką wykonaną z metali szlachetnych, które są jeszcze twardsze niż materiały tradycyjnie stosowane w elektrodach. Te bardziej wytrzymałe materiały są w stanie pracować w wyższych temperaturach przy zmniejszonym zużyciu. Kolejną istotną zaletą twardszych materiałów jest to, że pozwalają one na stosowanie mniejszych elektrod, co przekłada się na lepszą wydajność zapłonu.

W świecach zapłonowych DENSO zastosowano liczne unikalne, opatentowane materiały:

1. Standardowy stop niklu, elektrody Ø 2,5 mm.
2. Nowy, unikalny stop niklu, elektrody Ø 1,5 mm (stosowany w niklowych świecach zapłonowych TT*) zmniejszający zużycie od iskry o 40% w porównaniu do standardowych świec niklowych.
3. Platyna, metal szlachetny wytrzymały na bardzo wysokie temperatury z elektrodami Ø 1,1 mm.
4. Stop irydu wysokiej czystości, wytrzymały na najwyższe temperatury i najtwardszy materiał kiedykolwiek zastosowany w świecach zapłonowych. Irydowe końcówki elektrod o średnicy 0,4 mm*, 0,55 mm lub 0,7 mm są przyspawane laserowo do środkowej elektrody.

Mniejsze elektrody wymagają niższego napięcia, zapewniają niezawodną iskrę, a także ograniczają zjawisko tłumienia płomienia i poprawiają wydajność zapłonu.

Elektroda masowa
Elektroda masowa (nr 10) jest narażona na ekstremalne zmiany temperatury wewnątrz komory spalania. W większości elektrod masowych używany jest stop niklu i chromu, ale w celu wydłużenia żywotności może być do nich także dodana platyna. Dla poprawy przewodności cieplnej niektóre świece zapłonowe są wyposażone w elektrodę masową z miedzianym rdzeniem.

W elektrodzie masowej DENSO stosuje specjalne środki poprawiające wydajność zapłonu:

1. Opatentowany rowek w kształcie litery U* zwiększa przekrój krawędzi, co ułatwia powstawanie iskry i szybszy wzrost płomienia.
2. Ścięta stożkowo elektroda masowa, której kształt ogranicza zjawisko tłumienia i polepsza wzrost płomienia.
3. Typ igłowy z wystającą elektrodą niklową Ø 1,5 mm* (Niklowe TT) lub wspawaną elektrodą platynową Ø 0,7 mm (SIP i Iridium TT).

Podobnie jak w przypadku elektrody środkowej, mniejsze elektrody igłowe wymagają niższego napięcia, zapewniają niezawodną iskrę, ograniczają zjawisko tłumienia i poprawiają wydajność zapłonu.

*Opatentowana technologia DENSO

6.4. Iskra elektryczna i wymagane napięcie zapłonowe

Iskra powstająca w odstępie między elektrodami świec zapłonowych zapewnia energię i temperaturę niezbędną do zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej w odpowiednim czasie, jednak jeśli iskra nie wytworzy wystarczającej ilości ciepła, może dojść do przerwy w zapłonie.

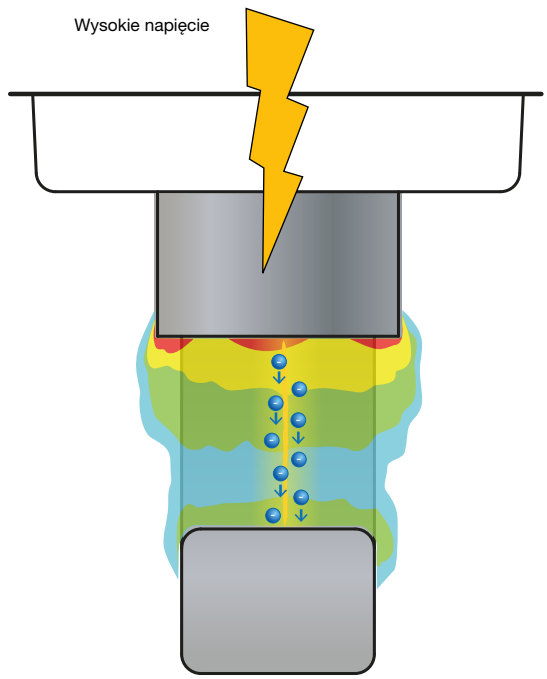
Jak objaśniono w rozdziale 3, energia w postaci pola magnetycznego jest wykorzystywana do indukcji wysokiego napięcia do uzwojenia wtórnego cewki zapłonowej. Wysokie napięcie jest następnie podawane do świecy zapłonowej w celu wytworzenia iskry elektrycznej w odstępie między elektrodami. Iskra powoduje następnie zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej znajdującej się bezpośrednio w odstępie między elektrodami świecy zapłonowej. Co ważne, iskra elektryczna może powstać tylko wtedy, gdy energia elektryczna jest wystarczająca do wytworzenia zjonizowanego, przewodzącego prąd elektryczny kanału lub ścieżki w mieszance paliwowo-powietrznej, która normalnie ma właściwości izolujące.

Jonizacja to złożony proces, w którym możliwa jest zmiana właściwości elektrycznych substancji. Powietrze jest jedną z wielu substancji będących naturalnymi izolatorami elektrycznymi, ponieważ atomy, które są obojętne elektrycznie, nie tworzą ścieżki dla przepływu prądu elektrycznego. Przy odpowiednio wysokim napięciu energia elektryczna wymusza przemieszczanie się naładowanych ujemnie cząstek (elektronów) w atomach pomiędzy atomami. Obojętne elektrycznie atomy przekształcają się w naładowane elektrycznie atomy nazywane „jonami". Stąd proces przekształcenia nazywany jest „jonizacją" (rys. 6.3).

W celu wytworzenia energii wystarczającej do zjonizowania powierza konieczne jest wysokie napięcie rzędu od 10 kV do 40 kV, a nawet 45 kV w niektórych zastosowaniach silnika. Jonizacja powietrza tworzy przewodzącą prąd ścieżkę dla energii elektrycznej, która wytwarza w odstępie między elektrodami iskrę o wysokiej temperaturze powodującą zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej.

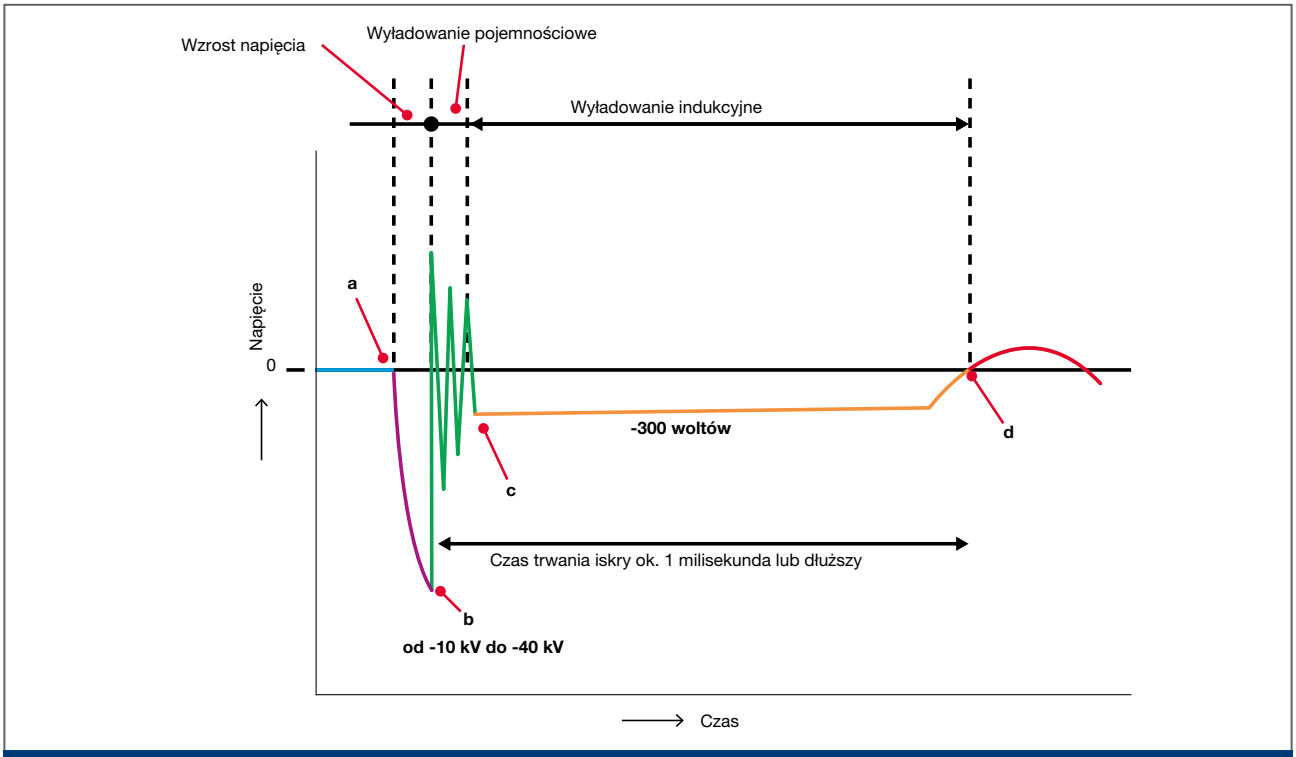
Sama iskra może osiągnąć temperaturę ponad 10 000°C. Wyładowanie elektryczne może jednak trwać tylko 1 milisekundę. Podczas tego krótkiego okresu rozładowania, struktura iskry jest niezwykle złożona i składa się z różnych faz i różnych poziomów napięcia, które pokazano na rys. 6.4.

Przepływ prądu (nawet w odstępie między elektrodami) to przepływ ujemnie naładowanych elektronów. Przepływ elektronów jest łatwiejszy do wytworzenia z gorętszej powierzchni. Iskra powstaje w wyniku wymuszenia przepływu elektronów z gorętszej środkowej elektrody do chłodniejszej elektrody masowej, co oznacza, że układ zapłonowy wytwarza iskrę o ujemnym napięciu. Wymagane napięcie od 10kV do 40kV jest więc napięciem ujemnym.
Dlatego też napięcia w punktach „b" i „c" na rys. 6.4 są ujemne.



Napięcie musi wzrosnąć do wystarczająco wysokiego poziomu, aby zjonizować powietrze, co pozwala elektronom ujemnym przepływać przez odstęp od elektrody środkowej do elektrody masowej.

Rys. 6.3 Jonizacja powietrza w odstępie między elektrodami



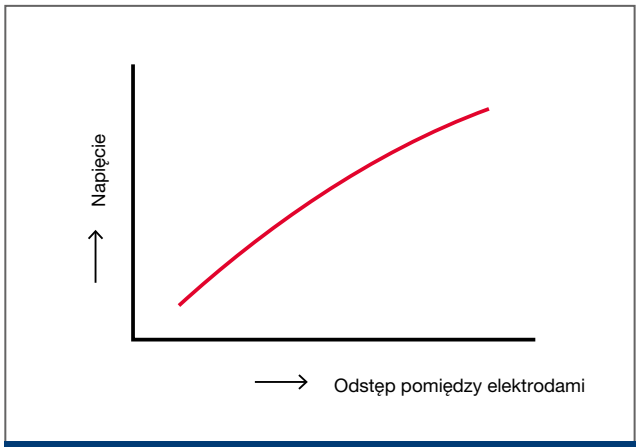
Rys. 6.4 Różne fazy i poziomy napięcia podczas wytwarzania i podtrzymywania iskry

1. Po odcięciu dopływu prądu do uzwojenia pierwotnego cewki zapłonowej (punkt „a”) wzrastające (ujemne) wysokie napięcie jest indukowane na uzwojenie wtórne, skąd biegnie do świecy zapłonowej.
2. W punkcie „b” napięcie wzrasta do 10–40 kV lub wyższego, tworząc iskrę, która powstaje pomiędzy elektrodami w momencie jonizacji powietrza.
3. Na początku wyładowania, pomiędzy punktami „b” i „c”, iskra jest początkowo wytwarzana przez energię elektryczną zgromadzoną w uzwojeniu wtórnym. Faza ta, zwana wyładowaniem pojemnościowym, charakteryzuje się dużym prądem, ale jej czas trwania jest krótki.
4. Po wytworzeniu iskry następuje dłuższa faza wyładowania pomiędzy punktami „c” i „d”, w której napięcie wynosi około 300 V. W tej fazie iskra (nazywana wyładowaniem indukcyjnym) jest wytwarzana przez energię elektromagnetyczną w cewce, w której następuje stopniowe zmniejszenie prądu w miarę upływu energii zgromadzonej w cewce. Iskra utrzymuje się przez ok. 1 milisekundę do punktu „d”, w którym pozostała energia nie wystarczy do podtrzymania iskry i następuje koniec wyładowania.

6.5. Czynniki wpływające na napięcie zapłonu

W punkcie 6.4 wyjaśniono, że napięcie dostarczane przez cewkę zapłonową będzie rosło do momentu, gdy będzie ona w stanie zjonizować powietrze w odstępie między elektrodami. Dwa główne czynniki wpływające na wymagane napięcie to wielkość odstępu między elektrodami oraz kształt i wielkość elektrody, ale na zapotrzebowanie na napięcie wpływają również różne warunki eksploatacyjne. Niektórymi z tych warunków można manipulować, dostosowując konstrukcję świecy zapłonowej, podczas gdy innymi nie. Zmniejszenie wymaganego napięcia oznacza mniejsze obciążenie cewki zapłonowej i, co ważniejsze, mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia przerw w zapłonie.

Odstęp między elektrodami świecy zapłonowej
Napięcie wymagane do wytworzenia iskry wzrasta proporcjonalnie do zwiększania odstępu między elektrodami (rys. 6.5). Większy odstęp między elektrodami oznacza, że musi być jonizowane więcej powietrza, co będzie wymagało wyższego napięcia.



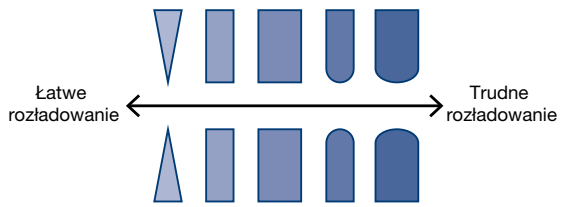
Rys. 6.5 Napięcie wymagane do wytworzenia iskry wzrasta wraz z odstępem między elektrodami

Kształt i wielkość elektrody

Jonizacja powietrza w odstępie między elektrodami jest łatwiejsza, gdy jonizacja jest bardziej skoncentrowana. Istnieją dwa główne czynniki w konstrukcji elektrod, które pomagają skoncentrować jonizację, a mianowicie kształt elektrody i jej wielkość.

Najważniejszym czynnikiem jest kształt elektrody (rys. 6.6), przy czym wyładowanie energii elektrycznej z ostrej krawędzi tworzy bardziej skoncentrowaną jonizację powietrza. Gdy elektrody zużywają się, krawędzie stają się zaokrąglone, co zwiększa wymagane napięcie.

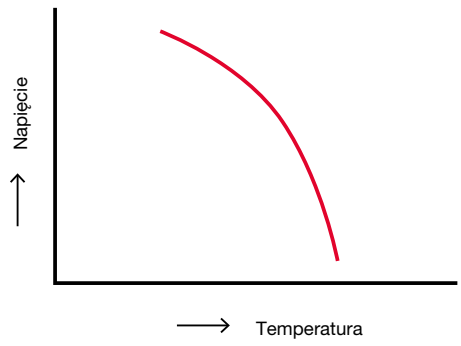
Mniejsze elektrody mają mniejszą powierzchnię, co z kolei powoduje bardziej skoncentrowaną jonizację powietrza, zmniejszając tym samym wymagane napięcie.



Rys. 6.6 Kształty elektrod ułatwiające lub utrudniające wyładowanie elektryczne

Temperatura elektrody

Napięcie wymagane do wytworzenia iskry zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury (rys. 6.7). Ponieważ temperatura elektrody wzrasta proporcjonalnie do prędkości obrotowej silnika, wymagane napięcie obniża się.

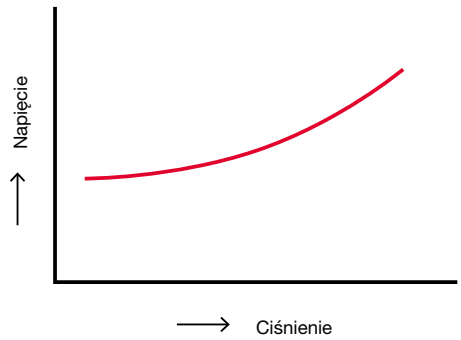


Rys. 6.7 Napięcie wymagane do wytworzenia iskry zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury elektrody

Ciśnienie sprężania

Napięcie wymagane do wytworzenia iskry wzrasta proporcjonalnie do ciśnienia sprężania (rys. 6.8). Przy wyższym ciśnieniu w odstępie między elektrodami konieczne będzie zjonizowanie większej liczby cząsteczek powietrza/paliwa, a tym samym wymagane będzie wyższe napięcie do osiągnięcia jonizacji.

Przy wyższych obciążeniach silnika do komory spalania dostanie się więcej mieszanki paliwowo-powietrznej, powodując wyższe ciśnienie i wyższe zapotrzebowanie na napięcie.



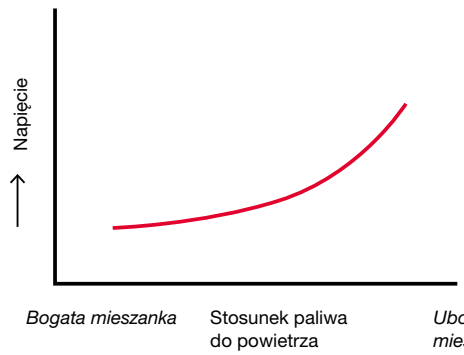
Rys. 6.8 Napięcie wymagane do wytworzenia iskry wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia sprężania

Wysokie stopnie sprężania i turbosprężarki, które stają się coraz powszechniejsze we współczesnych silnikach, również zwiększają ciśnienie sprężania, co ponownie wymaga wyższego napięcia w celu jonizacji.

Stosunek powietrza do paliwa

Paliwo, zwłaszcza w płynnej postaci, jest łatwiejsze do zjonizowania od powietrza. Bogatsze mieszanki są zatem łatwiejsze do zjonizowania i wymagają niższego napięcia niż mieszanki ubogie.

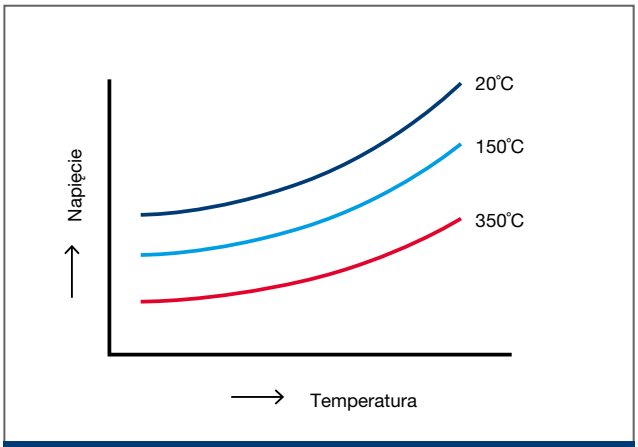
Niektóre silniki są projektowane tak, aby pracować na mieszankach ubogich w warunkach niskiego obciążenia. Dlatego układ zapłonowy musi być w stanie zapewnić wymagane wyższe napięcie.



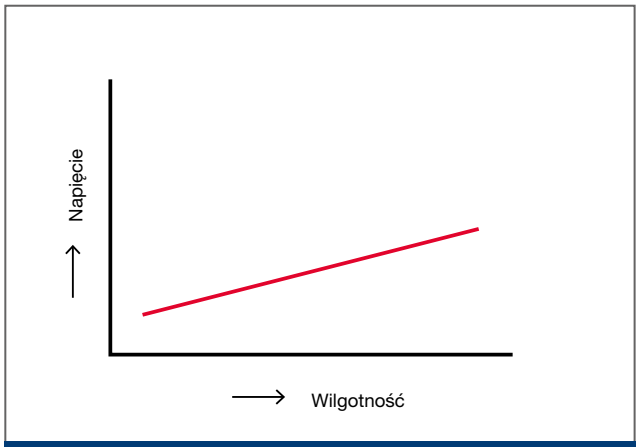
Rys. 6.9 Napięcie wymagane do wytworzenia iskry wzrasta w uboższych mieszankach

Temperatura mieszanki paliwowo-powietrznej
Napięcie wymagane do wytworzenia iskry zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury mieszanki paliwowo-powietrznej (rys. 6.10). W wyższych temperaturach drgania cząsteczek powietrza stają się bardziej intensywne, co ułatwia jonizację i obniża zapotrzebowanie na napięcie.

Wilgotność
Wraz ze wzrostem wilgotności, spada temperatura elektrod, w związku z czym ponownie wzrasta napięcie wymagane do jonizacji (rys. 6.11).



Rys. 6.10 Napięcie wymagane do wytworzenia iskry spada wraz ze wzrostem temperatury mieszanki paliwowo-powietrznej



Rys. 6.11 Napięcie wymagane do wytworzenia iskry wzrasta wraz ze wzrostem wilgotności

ZWRÓĆ UWAGĘ

Rozwiązanie DENSO

Aby rozwiązać problemy związane z coraz wyższymi napięciami wymaganymi do wytworzenia iskry, DENSO produkuje świece zapłonowe z mniejszymi elektrodami, które są wytwarzane z metali szlachetnych, takich jak iryd.

Niektóre świece zapłonowe DENSO Iridium, jak na przykład opatentowana świeca Iridium 0,4 mm, są wytwarzane z mniejszymi elektrodami środkowymi, zaś świece z linii SIP posiadają również mniejsze elektrody masowe.

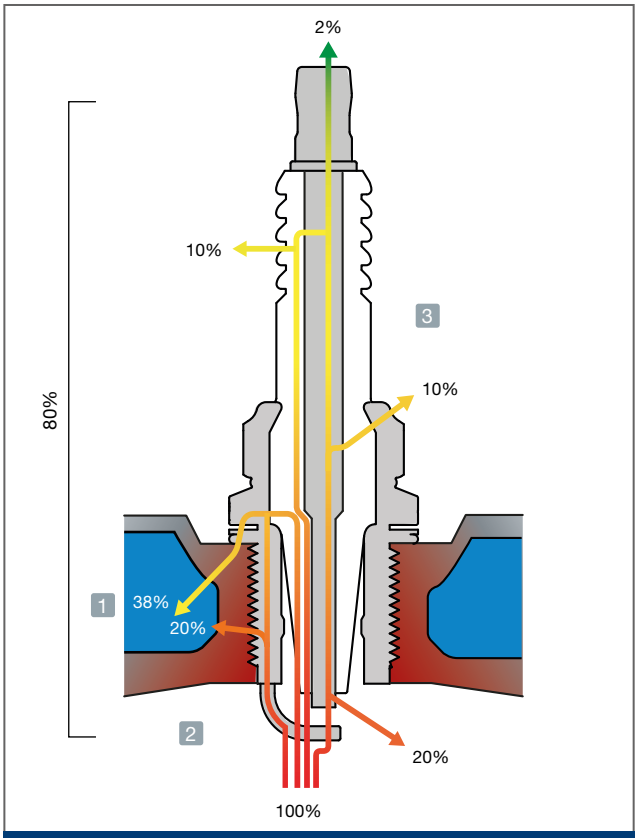
Mniejsze elektrody zmniejszają zapotrzebowanie na napięcie, a iryd zapewnia odporną na wysokie temperatury i zużycie powierzchnię elektrod.

Świece zapłonowe DENSO pozwalają zastąpić montowane w wielu pojazdach świece zapłonowe o standardowej specyfikacji i dzięki temu obniżyć wymagane napięcie zapłonu i wydłużyć żywotność układu zapłonowego, a nawet poprawić wydajność silnika.

Świeca zapłonowa DENSO SIP

6.6. Zakres temperatur roboczych

Świeca zapłonowa jest narażona na znaczne ilości ciepła z procesu spalania, jak również na ciepło wytwarzane przez iskrę pomiędzy elektrodami. Dlatego istotne jest rozproszenie wystarczającej ilości ciepła, aby świeca zapłonowa została schłodzona do dopuszczalnej temperatury roboczej. Niedostateczne schłodzenie doprowadzi do nadmiernego nagrzania świecy i przedwczesnego zapłonu. Nadmierne schłodzenie nie pozwoli świecy osiągnąć wymaganej temperatury koniecznej do oczyszczenia osadów produktów spalania, co może doprowadzić do zanieczyszczenia świecy. Stopień rozpraszania ciepła lub schładzania się świecy zapłonowej nazwany jest jej „zakresem temperatur roboczych".



Rys. 6.12 Rozpraszanie ciepła ze świecy zapłonowej

Rozproszenie ciepła, tj. schładzanie
Ilustracja na rys. 6.12 pokazuje, jak ciepło pochłaniane przez świecę zapłonową jest w dużej mierze odprowadzane do płynu chłodzącego silnika (1). Reszta ciepła rozprasza się w świeżo dostarczonej mieszance paliwowo-powietrznej (2), jak również przez korpus świecy zapłonowej i izolator do otaczającego powietrza (3).

Wybór właściwego zakresu temperatur roboczych
Istnieją graniczne temperatury, w których świece zapłonowe mogą pracować niezawodnie i efektywnie. Świeca zapłonowa działa prawidłowo tylko wtedy, gdy temperatura jej środkowej elektrody wynosi od około 500°C do 950°C.

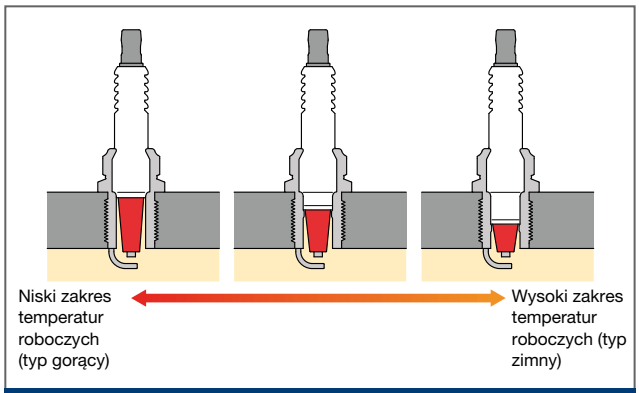
Temperatura samooczyszczania
W niektórych warunkach eksploatacyjnych, np. podczas rozruchu zimnego silnika, niepełne spalanie może spowodować osadzanie się małych cząstek węgla na stożku izolatora świecy zapłonowej. Po zainstalowaniu prawidłowej świecy zapłonowej środkowa elektroda powinna osiągnąć temperaturę powyżej 500°C, co spowoduje spalenie osadów, a na izolatorze nie powstaną żadne nowe osady. Ta dolna granica temperatury jest określana mianem „temperatury samooczyszczania".

Jeśli temperatura elektrody pozostaje poniżej temperatury samooczyszczania, nagromadzenie osadów węglowych może stworzyć ścieżkę elektryczną pomiędzy izolatorem a korpusem świecy. W efekcie powstawanie iskry pomiędzy elektrodami będzie ograniczone lub niemożliwe.

Temperatura przedwczesnego zapłonu
Gdy środkowa elektroda osiągnie temperaturę 950°C lub wyższą, stanie się tak gorąca, że może wywołać przedwczesny zapłon (patrz punkt 5.2).

Świece zapłonowe o wysokim i niskim zakresie temperatur roboczych
Terminy „niski" i „wysoki" zakres temperatur roboczych odnoszą się do warunków pracy, a nie do rzeczywistej temperatury świecy. Świeca zapłonowa o niskim zakresie temperatur roboczych zapewnia niewielkie rozpraszanie ciepła i dlatego może być określana mianem „świecy gorącej", która jest bardziej odpowiednia do pracy w warunkach niskich temperatur. Świeca zapłonowa o wysokim zakresie temperatur roboczych zapewnia zwiększone rozpraszanie ciepła i dlatego jest określana mianem „świecy zimnej", która jest bardziej odpowiednia do pracy w warunkach wyższych temperatur.

Przykłady na rys. 6.13 pokazują różne długości stożka izolatora, które są stosowane w świecach o trzech różnych zakresach temperatur roboczych.



Rys. 6.13 Świece o różnym zakresie temperatur roboczych, różniące się budową stożka izolatora

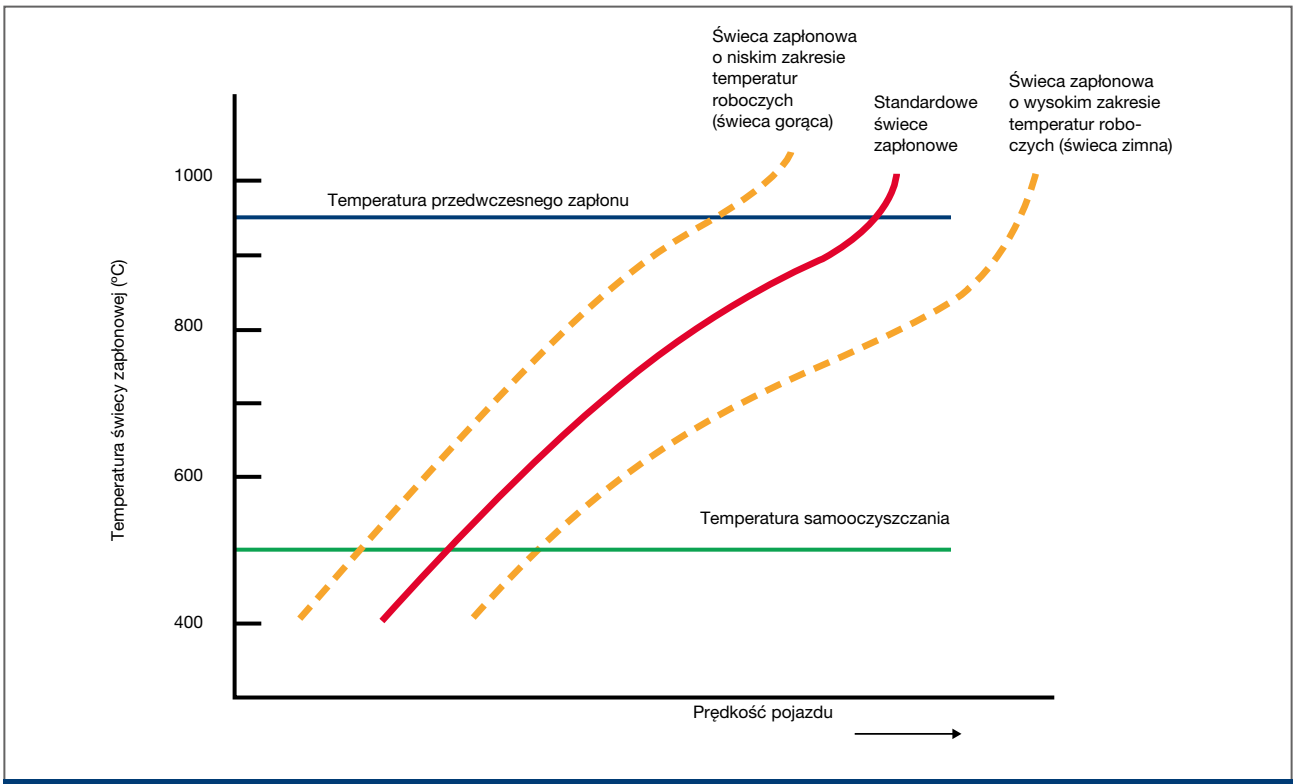
Świeca zapłonowa o niskim zakresie temperatur roboczych (świeca gorąca)
Świece zapłonowe o niskim zakresie temperatur roboczych mają długi stożek izolatora. Długi stożek zapewnia długą drogę do odprowadzenia ciepła lub rozproszenia go do korpusu świecy, obniżając w ten sposób rozpraszanie ciepła i powodując łatwy wzrost temperatury środkowej elektrody. W silnikach, w których ciepło wytwarzane przez spalanie jest na ogół niższe, świeca o niskim zakresie temperatur roboczych nagrzewa się nadal i szybko osiąga temperaturę samooczyszczania, co zapobiega gromadzeniu się węgla na izolatorze.

Świeca zapłonowa o wysokim zakresie temperatur roboczych (świeca zimna)
W przeciwieństwie do świec o niskim zakresie temperatur roboczych, świece o wysokim zakresie temperatur posiadają krótki stożek izolatora. Krótszy stożek zapewnia krótszą drogę do przebycia przez ciepło, co skutkuje szybszym jego odprowadzaniem. Temperatura środkowej elektrody nie podnosi się tak łatwo. Ponieważ jednak świece o wysokim zakresie temperatur roboczych są montowane w silnikach, w których ciepło wytwarzane podczas spalania jest na ogół wyższe, ciepło spalania nadal powoduje, że izolator osiąga temperaturę samooczyszczania.

Świece zapłonowe o wysokim zakresie temperatur roboczych są przeznaczone do użytku w szybkich, wysokowydajnych silnikach. Przy modyfikacji silnika w celu zapewnienia wyższej mocy wyjściowej i lepszych osiągów konieczne może być zastosowanie świecy o wyższym zakresie temperatur roboczy (zimniejszej), która poradzi sobie ze stale wyższymi temperaturami spalania (patrz punkt 9.6).

Inne czynniki wpływające na wymagania w zakresie temperatur roboczych

Zakres temperatur roboczych świecy zapłonowej jest bezpośrednio uzależniony od temperatury w komorze spalania, a więc styl jazdy, a także masa i wielkość pojazdu będą miały wpływ na obciążenie silnika, a tym samym na temperaturę spalania. Wykresy na rys. 6.14 pokazują zależności między prędkością pojazdu a temperaturami krytycznymi (temperatura samooczyszczania i temperatura przedwczesnego zapłonu) przy świecach zapłonowych o niskim i wysokim zakresie temperatur roboczych.



Rys. 6.14 Różne prędkości pojazdów wpływające na krytyczne temperatury świec zapłonowych o różnych zakresach temperatur

6.7. Tłumienie płomienia utrudniające jego powstawanie i wzrost

Powstawanie i wzrost płomienia
Gdy na elektrodach świecy zapłonowej powstaje iskra, jej wysoka temperatura inicjuje małe jądro płomienia spalającej się mieszanki paliwowo-powietrznej (patrz punkt 5.1). Ciepło jądra płomienia (około 3 000°C) powoduje zapalenie kolejnej warstwy mieszanki paliwowo-powietrznej.

Płomień wzrasta początkowo w odstępie między elektrodami, a następnie rozprzestrzenia się poza nią jako samopodtrzymujący się płomień w całej komorze spalania.

Czoło płomienia powinno rosnąć w stałym i równomiernym tempie, tak aby cała mieszanka paliwowo-powietrzna spalała się stopniowo, ale szybko. Jednolity wzrost płomienia zależy od kształtu komory spalania, turbulencji i mieszanki paliwowo-powietrznej w komorze spalania.

Nie jest jednak możliwe zapewnienie idealnie równomiernego wzrostu płomienia, ponieważ nie da się skonstruować komory spalania o możliwie idealnym kształcie, w której nadal znajdowałyby się zawory, świeca zapłonowa i, opcjonalnie, wtryskiwacz. Wzrost płomienia może zostać częściowo zakłócony lub ograniczony, a nawet może dojść do ugaszenia płomienia z powodu rozproszenia jego ciepła na zimną powierzchnię.

Turbulencja wspomaga wystawienie całej mieszanki na działanie czoła promienia, co pomaga spalić całą dostępną w komorze spalania mieszankę paliwowo-powietrzną.

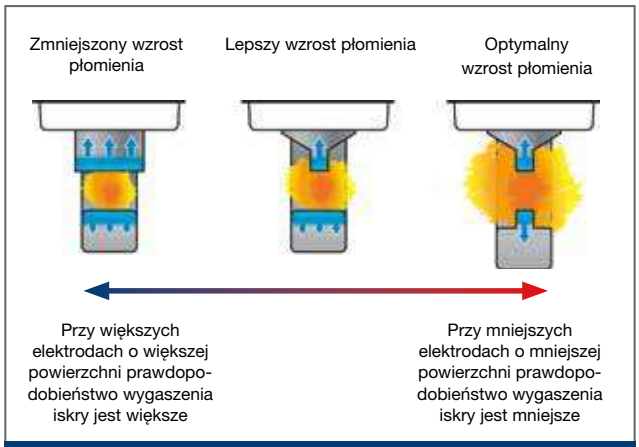
Tłumienie płomienia i temperatura elektrod
Przed powstaniem samopodtrzymującego się płomienia, kiedy jądro płomienia zostanie utworzone, płomień znajduje się bardzo blisko elektrod o niższej od niego temperaturze. Ta niższa temperatura powoduje odprowadzanie ciepła z jądra płomienia. Efekt chłodzenia może spowodować zanik płomienia, znany jako zjawisko „wygaszania".

Ponieważ zimne elektrody będą pochłaniały więcej energii cieplnej z płomienia niż elektrody gorące, konstrukcja świecy zapłonowej i elektrod musi umożliwiać utrzymanie przez elektrody wystarczającej temperatury, aby ograniczyć zjawisko wygaszania.

Zjawisko wygaszania można ograniczyć dzięki odpowiedniej konstrukcji świecy zapłonowej. Kształt elektrod i odstęp między nimi mają znaczący wpływ na wygaszanie płomienia.

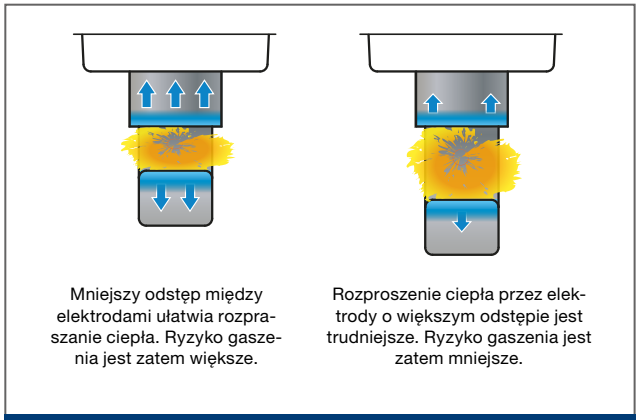
Gaszenie płomienia może wystąpić również wtedy, gdy wzrastające czoło płomienia znajduje się blisko ścian komory spalania. Jeśli silnik jest zimny (na przykład po zimnym rozruchu) powierzchnie o niskiej temperaturze wewnątrz cylindra mogą (częściowo) wygaszać płomień (patrz punkt 5.3).

Kształt elektrod. Przykłady pokazane na rys. 6.15 ilustrują, w jaki sposób większa elektroda pobiera więcej energii cieplnej z płomienia ze względu na większą masę i większą powierzchnię. Mniejsza elektroda środkowa, o mniejszej masie i mniejszej powierzchni, będzie pobierać mniej ciepła z jądra płomienia, ograniczając tym samym możliwość wygaszenia płomienia. Również mniejsza elektroda masowa będzie dawała taki sam efekt ograniczenia wygaszania.



Rys. 6.15 Zjawisko wygaszania powodowane przez elektrody o różnych rozmiarach

Odstęp między elektrodami świecy zapłonowej. Przy małym odstępie (rys. 6.16) elektrody znajdują się blisko jądra płomienia, co ułatwia odprowadzenie ciepła z płomienia do elektrod. Dlatego zjawisko wygaszania jest większe. Większy odstęp między elektrodami zapewnia większą przestrzeń, ograniczając zakłócenia w wytwarzaniu płomienia.



Rys. 6.16 Zjawisko wygaszania wywoływane przez małe i duże odstępy między elektrodami

ZWRÓĆ UWAGĘ

DENSO produkuje świece zapłonowe o różnych kształtach i rozmiarach elektrod, umożliwiające ograniczenie zjawiska wygaszania w różnych zastosowaniach silnika. Te różne konstrukcje świec zapłonowych pokazano w rozdziale 7.

7. TECHNOLOGIE DENSO: POPRAWA WYDAJNOŚCI ŚWIEC ZAPŁONOWYCH

7.1. Rozwój świec zapłonowych DENSO

DENSO ma wieloletnie doświadczenie w rozwijaniu technologii świec zapłonowych, przy czym niektóre z rozwiązań są unikalne dla DENSO, podczas gdy inne przyjęły się niemalże powszechnie na rynku świec zapłonowych.

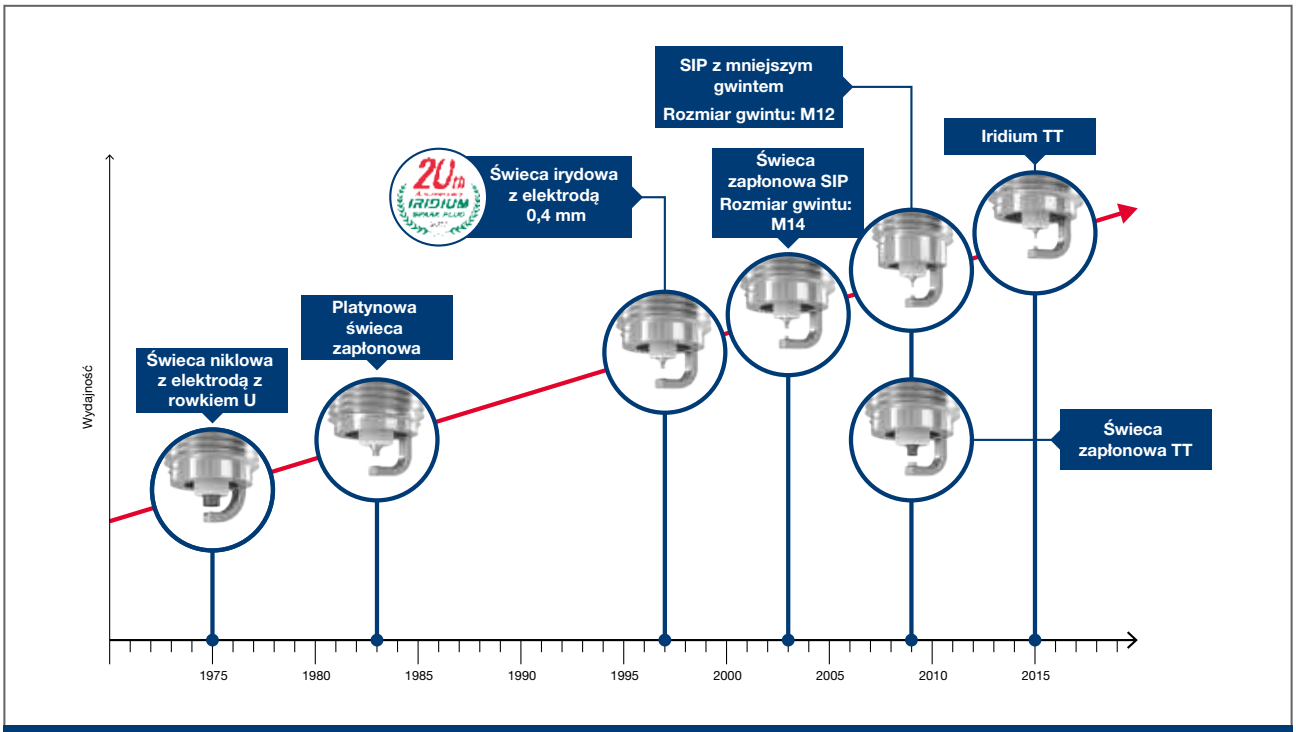
W 1960 roku DENSO rozpoczęło produkcję świec zapłonowych z miedzianym rdzeniem do pojazdów dwu- i czterokołowych. W 1972 roku opatentowano, a w 1975 roku wprowadzono na rynek elektrodę z rowkiem w kształcie litery „U" o zwiększonej wydajności. W 1983 roku wprowadzono świece zapłonowe z podwójną warstwą platyny o wydłużonej żywotności. Następnie w 1997 roku DENSO wprowadziło świece Iridium Power z do dziś najmniejszą na świecie elektrodą irydową.

Za jeden z największych przełomów na drodze do lepszej zapłonności można uznać opracowanie technologii Super Ignition Plug (SIP).

Technologia SIP zaowocowała powstaniem niklowych świec Nickel TT (2009) i irydowych świec Iridium TT (2015), które zostały opracowane specjalnie na potrzeby niezależnego rynku wtórnego (IAM).

Rosnąca tendencja w kierunku silników o mniejszych gabarytach doprowadziła do opracowania świec zapłonowych o dłuższym, ale węższym gwincie, np. 12 mm. Świece zapłonowe o węższym gwincie zapewniają więcej miejsca na przepływ płynu chłodzącego silnik, jak również na większe zawory wlotowe i wylotowe.

Te mniejsze świece zapłonowe, takie jak te produkowane przez DENSO, muszą być w stanie zapewnić podobną lub lepszą wydajność iskrzenia w porównaniu z bardziej tradycyjnymi rozmiarami świec zapłonowych, przy znacznie mniejszej i kompaktowej konstrukcji.



Rys. 7.1 Rozwój technologii świec zapłonowych DENSO

ZWRÓĆ UWAGĘ

Zero defektów

DENSO od 1959 roku ustanawia standardy technologii świec zapłonowych. Wszystkie świece zapłonowe DENSO są opracowywane we własnym zakresie i produkowane w należących do firmy zakładach na całym świecie, posiadających certyfikat IATF 16949. DENSO zapewnia tę samą doskonałą jakość zarówno dla producentów OEM, jak i dla rynku wtórnego IAM, każdorazowo gwarantując optymalną wydajność silnika.

7.1. Rozwój świec zapłonowych DENSO 42
7.2. Materiały, z których wykonane są elektrody 43
7.3. Materiały, z których wykonane są elektrody środkowe 44
7.4. Elektroda masowa 45
7.5. Inne technologie wykorzystywane w świecach zapłonowych DENSO 47
7.6. Trendy rozwojowe 48

7.2. Materiały, z których wykonane są elektrody

Umiejscowienie elektrod świecy zapłonowej w komorze spalania naraża je na ekstremalne temperatury i ciśnienia jak również częste i szybkie zmiany temperatury i ciśnienia. Tymczasem w tych ciężkich warunkach pracy elektrody muszą zapewniać niezawodną iskrę o dużej energii na miliony cyklów spalania i wiele tysięcy przejechanych kilometrów (aż do 180 000 km w przypadku niektórych typów świec).

Tabela 7.2. zawiera zestawienie różnych parametrów kilku materiałów, z których nikiel (często stopy niklu), platyna i iryd mają szerokie zastosowanie w produkcji elektrod dla świec zapłonowych DENSO. Chociaż tabela pokazuje, że z spośród trzech głównych materiałów wykorzystywanych w elektrodach najwyższą odporność na utlenianie ma platyna, iryd zapewnia najlepszą ogólną wydajność ze względu na bardzo wysoką temperaturę topnienia, jak również wysoką wytrzymałość i twardość.

	Iryd (Ir)	Platyna (Pt)	Nikiel (Ni)	Złoto (Au)	Srebro (Ag)
Temperatura topnienia (°C)	2454	1769	1453	1063	960
Wytrzymałość (kg/mm²)	112	14	68	13	13
Oporność elektryczna (μΩ · cm)	5,3	10,6	6,8	2,3	1,6
Twardość (HV, 20°C)	240	40	160	25	26
Odporność na utlenianie	+	++	+	++	++

Rys. 7.2 Rozwój technologii świec zapłonowych DENSO

Temperatura topnienia
Ze względu na wysokie temperatury i ciepło, które występują podczas spalania i wyładowania elektrycznego, materiały użyte do produkcji elektrod muszą mieć wysoką temperaturę topnienia, tak aby materiał elektrod nie ulegał topnieniu.

Wytrzymałość
Wytrzymalsze materiały zapewniają stabilność iskrzenia i zwiększoną trwałość, szczególnie w przypadku pracy w warunkach dużego obciążenia, która zwiększa fizyczne obciążenie elektrod świecy zapłonowej.

Odporność na utlenianie
Odporność na utlenianie, szczególnie w wysokich temperaturach, ma kluczowe znaczenie dla zmniejszenia zużycia elektrod.

Iryd nie ma doskonałej odporności na utlenianie, ale przez zmieszanie irydu z odrobiną rodu powstaje stop, który ma podobną odporność na utlenianie jak platyna.

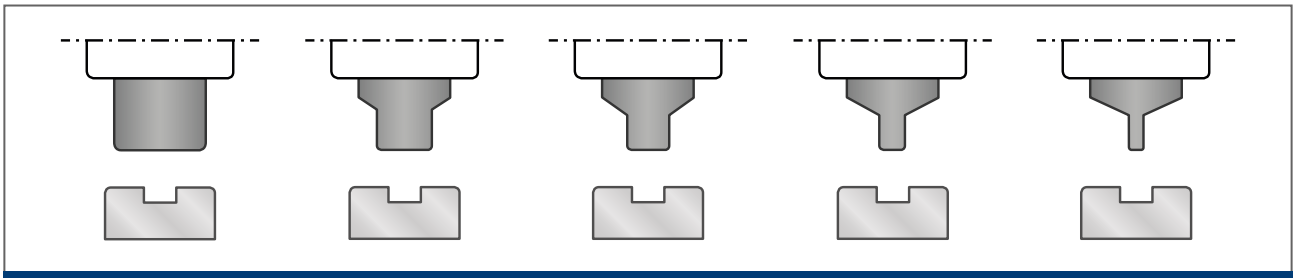
Oporność elektryczna
Metale mają zazwyczaj bardzo niską oporność elektryczną, która nie ma negatywnego wpływu na prąd lub napięcie wytwarzające iskrę. Jednak nawet wtedy, gdy elektrody pracują w trudnych warunkach, materiały, z których są one wykonane, muszą zachowywać bardzo niską oporność elektryczną przez cały okres użytkowania świecy zapłonowej.

7.3. Materiały, z których wykonane są elektrody środkowe

Ciągły rozwój silników spalinowych wraz z zapotrzebowaniem na większą moc, mniejsze zużycie paliwa i zmniejszoną emisję spalin sprawia, że temperatury spalania i ciśnienie w cylindrze są coraz większe, a ogólna skuteczność spalania ulega poprawie. W odpowiedzi na ten rozwój świece zapłonowe DENSO również ewoluowały, tak aby móc zapewniać iskrę o wyższej energii.

Elektrody środkowe o ulepszonej konstrukcji mają mniejsze średnice (rys. 7.3), które osiągnięto dzięki zastosowaniu trwalszych metali. Te zaś zapewniają podobny lub wyższy poziom energii przy niższych napięciach.

Mniejsze elektrody środkowe (i elektrody masowe) zmniejszają blokowanie płomienia podczas zapłonu i spalania, a także redukują przenoszenie ciepła z płomienia, ograniczając tym samym jego wygaszanie.



Rys. 7.3 Przykłady elektrod środkowych różnego typu i rozmiaru

Niklowa elektroda środkowa
Od wielu lat świece zapłonowe DENSO posiadają niklowe elektrody środkowe o najczęstszej szerokości 2,5 mm (rys. 7.4). Standardowe elektrody niklowe są bardzo niezawodne i przystępne cenowo, dlatego są używane do dziś.

Platynowa elektroda środkowa
Platyna jest stosowana w elektrodach środkowych z powodu jej odporności na wysokie temperatury. Do elektrody przyspawana jest platynowa końcówka, która dzięki wysokiej odporności temperaturowej pozwala zmniejszyć średnicę końcówki elektrody do 1,1 mm (rys. 7.5), a jednocześnie zapewnia dłuższy okres eksploatacji niż niklowe świece zapłonowe. Platynowe elektrody środkowe były bardzo popularne w latach 80. i 90. ze względu na ich doskonałe osiągi, ale od tego czasu były stopniowo zastępowane przez najwyższej klasy elektrody irydowe.

Rys. 7.4 Niklowa elektroda środkowa – średnica 2,5 mm

Rys. 7.5 Platynowa elektroda środkowa – średnica 1,1 mm

ZWRÓĆ UWAGĘ

Świece zapłonowe DENSO Iridium zawierają około 90% irydu i 10% rodu, co stanowi najwyższą koncentrację irydu na rynku. Inni producenci świec zapłonowych często reklamują swoje świece zapłonowe jako „irydowe”, ale w rzeczywistości zawierają one głównie stop platyny z niewielką zawartością procentową irydu. Ta mieszanka nie pozwala na stosowanie tych samych małych elektrod i może skutkować krótszym okresem użytkowania.

Irydowa elektroda środkowa
Irydowe elektrody środkowe DENSO wykonane są ze stopu irydu z największą zawartością irydu na rynku. Dzięki opatentowanej przez DENSO technologii produkcji, firma jest w stanie wyprodukować elektrody środkowe o średnicach 0,7 mm, 0,55 mm, a nawet unikalną, opatentowaną elektrodę o średnicy 0,4 mm (rys. 7.6).

Iryd jest najtwardszym i najbardziej odpornym na temperaturę materiałem, jaki kiedykolwiek zastosowano w świecy zapłonowej. Czysty iryd dla elektrod świec zapłonowych nie wykazuje jednak wystarczającej odporności na utlenianie w wysokiej temperaturze. Dlatego też DENSO opracowało stop irydu z rodem w celu poprawy jego odporności na utlenianie. Ten nowy stop jest materiałem opatentowanym przez DENSO.

Iryd jest materiałem niezwykle twardym. W przeszłości jedynym dostępnym procesem obróbki irydu było spiekanie. Ten sposób produkcji jest kosztowny i nakłada ograniczenia co do formy i wymiarów, co oznacza, że nie może być stosowany w produkcji świec zapłonowych. Tymczasem DENSO opracowało nową technologię obróbki metali szlachetnych, która pozwala na ciągnienie lub kształtowanie irydu w jego stopionej formie, umożliwiając produkcję irydowych elektrod środkowych. Elektroda irydowa jest przytwierdzana za pomocą opatentowanego procesu spawania laserowego 360°.

Dzięki tym nowym technologiom DENSO było pierwszą firmą, która wyprodukowała świece zapłonowe z elektrodami irydowymi.

Ze względu na wysoką temperaturę topnienia i doskonałą odporność na korozję, iryd jest szeroko stosowany w branżach wykorzystujących najnowocześniejsze technologie, takich jak lotnictwo i kosmonautyka, ale także w biżuterii.

Rys. 7.6 Irydowa elektroda środkowa – średnica 0,4 mm

7.4. Elektroda masowa

Elektroda masowa jest wysunięta do komory spalania i dlatego musi być wytrzymała na wysokie temperatury i ekstremalne wahania temperatury. Elektroda masowa ma również istotny wpływ na wydajność iskrzenia oraz spalania, a tym samym na ogólną wydajność silnika. Podobnie jak w przypadku elektrody środkowej, materiał, z którego wykonana jest elektroda masowa jest kluczowy dla zapewnienia długiego okresu użytkowania świecy zapłonowej. Dlatego też DENSO opracowało szereg technologii, które są stosowane w elektrodzie masowej.

Rowek w kształcie litery „U”
Elektroda DENSO z rowkiem w kształcie litery „U” (rys. 7.7) zwiększa długość krawędzi elektrody masowej, obniżając tym samym wymagane napięcie. Zwiększa również miejsce na mieszankę paliwowo-powietrzną w pobliżu iskry, co ułatwia zapalanie nawet ubogich mieszanek. Energia zapłonu jest większa, dzięki czemu zmniejsza się zanieczyszczenie produktami spalania i osiągane jest płynniejsze przyspieszenie.

Stożkowe ścięcie
Dzięki stożkowemu ścięciu elektrody (rys. 7.8) zmniejsza się rozmiar końcówki elektrody, co ogranicza zjawisko wygaszania i poprawia zapłonność.

Rys. 7.7 Elektroda masowa z rowkiem w kształcie litery „U”

Rys. 7.8 Elektroda masowa ścięta stożkowo

Świece zapłonowe z wyładowaniem powierzchniowym dla silników rotacyjnych
Świece zapłonowe z wyładowaniem powierzchniowym (rys. 7.9) są stosowane głównie w silnikach rotacyjnych, gdzie konwencjonalne elektrody masowe nie mieszczą się w komorze spalania. Iskra powstaje pomiędzy elektrodą środkową a wewnętrzną krawędzią elektrody masowej.

Rys. 7.9 Elektroda masowa z wyładowaniem powierzchniowym

Elektrody boczne
Konstrukcja świecy zapłonowej (rys. 7.10) zapewnia optymalną pracę z silnikami o wtrysku bezpośrednim, gdzie mieszanka paliwowo-powietrzna może być dość bogata w pobliżu świecy, powodując zanieczyszczenie świecy produktami spalania. W trakcie normalnej pracy iskra powstaje pomiędzy główną elektrodą a elektrodą masową, jednak w przypadku powstania zanieczyszczenia iskra przeskakuje na elektrody boczne, spalając osady produktów spalania (patrz rys. 10.3).

Rys. 7.10 Elektrody boczne

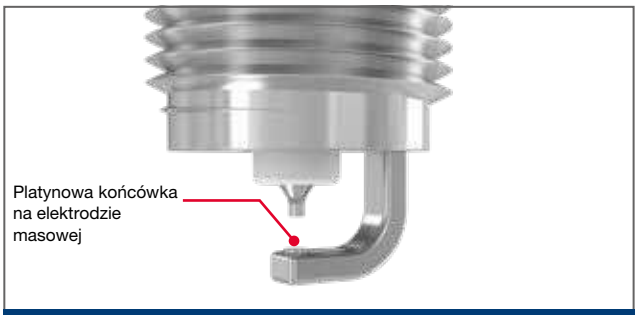
Świece zapłonowe ze szczeliną do wyładowań półpowierzchniowych
Zastosowanie świecy zapłonowej z wyładowaniem półpowierzchniowym zwiększa zapłonność i odporność na zabrudzenie (rys. 7.11). Krawędź po wewnętrznej stronie korpusu działa podobnie do elektrod bocznych. Gdy osad z węgla uniemożliwia powstanie iskry do zwykłej elektrody masowej, krawędź ta stanowi alternatywną drogę uziemienia. Ta alternatywna droga pozwala powstałej iskrze spalić zanieczyszczające świecę produkty spalania i tym samym przywrócić możliwość przepływu iskry normalnie przez elektrodę masową.

Rys. 7.11 Elektroda ze szczeliną do wyładowań półpowierzchniowych

Świece zapłonowe z wieloma elektrodami masowymi
W świecach niklowych możliwe jest łatwe wydłużenie żywotności dzięki dodatkowym elektrodom masowym. Ten typ świec zapłonowych DENSO jest wyposażony w dwie lub trzy elektrody masowe, co jest postrzegane jako efektywne kosztowo rozwiązanie wydłużające żywotność świecy zapłonowej. Jednakże większa liczba elektrod masowych nie wpływa korzystnie na wydajność spalania. Dlatego preferowanym rozwiązaniem wydłużającym żywotność jest wyposażenie elektrody masowej w platynową końcówkę.

Rys. 7.12 Wiele elektrod masowych

Elektroda masowa z końcówką platynową
Platyna jest bardzo odporna na korozję i wytrzymała na nagłe zmiany temperatury. Wydłuża żywotność świecy, nie zmieniając jej wydajności. Elektrody masowe z platynową końcówką są zawsze stosowane razem z platynową lub irydową elektrodą środkową (rys. 7.13).



Rys. 7.13 Elektroda masowa z platynową końcówką

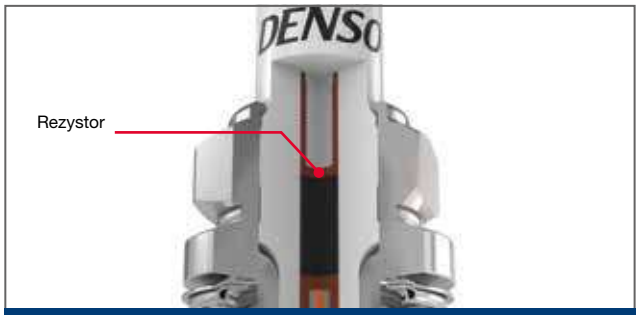
Świeca zapłonowa Super Ignition Plug (SIP)
W tej rewolucyjnej irydowej świecy zapłonowej wprowadzonej przez DENSO w 2003 roku elektroda masowa ma kształt igły o średnicy 0,7–1,0 mm i wykorzystuje technologię platynową DENSO. Ta elektroda masowa o małej średnicy zapewnia niezrównaną redukcję zjawiska wygaszania i nieograniczony wzrost płomienia.
Ta elektroda masowa o małej średnicy jest stosowana zawsze wraz z irydową elektrodą środkową (rys. 7.14).

Rys 7.14 Super Ignition Plug

7.5. Inne technologie wykorzystywane w świecach zapłonowych DENSO

Świeca zapłonowa z rezystorem
Umieszczenie rezystora 5kΩ pomiędzy zaciskiem a elektrodą środkową pozwoliło stworzyć świecę, która wytwarza mniej szumu elektromagnetycznego podczas zapłonu. Ze względu na rosnącą liczbę urządzeń elektronicznych używanych w pojazdach, wszystkie nowe samochody są obecnie standardowo wyposażone w świece zapłonowe z rezystorem (rys. 7.15).

Rezystor nie wpływa na napięcie, a jedynie obniża wartość szczytową prądową, ograniczając szum elektromagnetyczny bez obniżania wydajności iskrzenia.



Rys. 7.15 Świeca zapłonowa z rezystorem

Wydłużona/wysunięta świeca zapłonowa
Dzięki wydłużeniu elektrod (rys. 7.16) iskra powstaje bliżej środka komory spalania. Centralne umiejscowienie iskry może być korzystne dla silników o utrudnionej zapłonności, takich jak silniki o niskiej mocy lub niskim poziomie sprężania, które mają tendencję do pracy przy niższych temperaturach spalania. Jako że droga od elektrody do korpusu jest znacznie wydłużona, tego typu świece zapłonowe są dostępne jedynie dla niskich zakresów temperatur roboczych.

Rys. 7.16 Wydłużone/wysunięte elektrody

Osłona
Wydłużona osłona umożliwia przesunięcie pozycji igły (rys. 7.17). Podobnie jak w przypadku świec wysuniętych, świeca ta sięga dalej w głąb komory spalania. Jednakże dzięki ochronie zapewnianej przez osłonę, jest bardziej wytrzymała na wysokie temperatury i generowaną moc. Świece zapłonowe z osłoną są dostępne dla wyższych zakresów temperatur roboczych niż świece wydłużone/wysunięte.

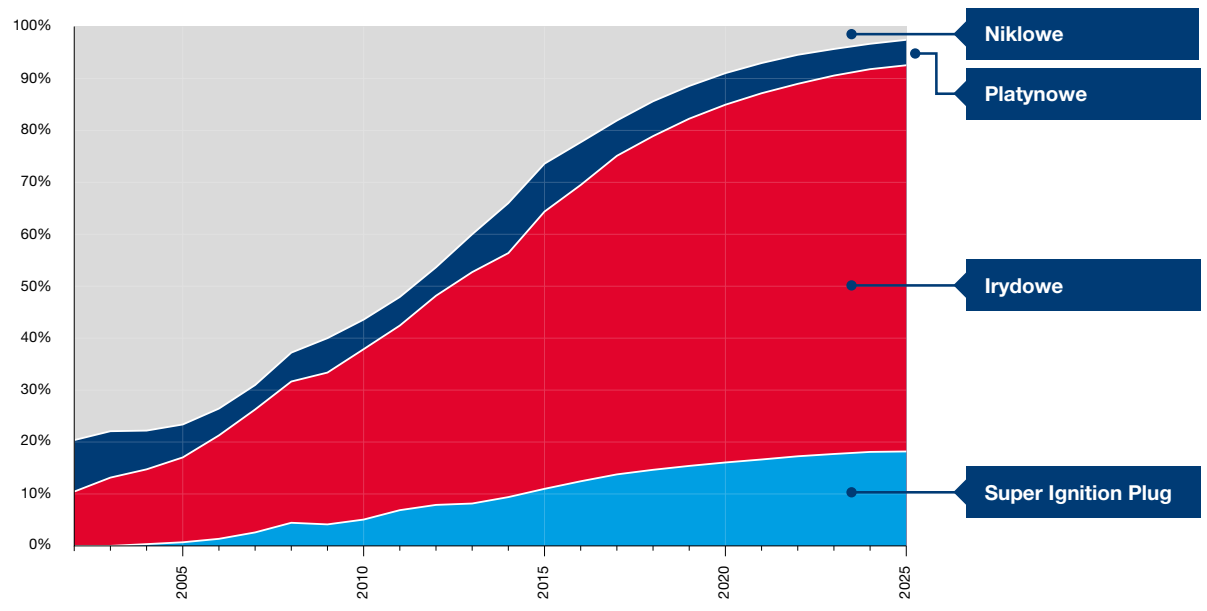
Rys. 7.17 Osłona

Świece zapłonowe z gniazdem stożkowym
Świece z gniazdem stożkowym są przeznaczone tylko dla pojazdów spoza Japonii, w których nie stosuje się uszczelki świecy zapłonowej (rys. 7.18). Wybór świec zapłonowych z gniazdem stożkowym lub z uszczelką zależy głównie od preferencji producenta silnika.

Rys 7.18 Świece zapłonowe z gniazdem stożkowym

7.6. Trendy rozwojowe

Przegląd
Obecnie w ponad 75% wszystkich nowo rejestrowanych samochodów benzynowych montuje się irydowe świece zapłonowe (rys. 7.19). Oczekujemy, że ta liczba ulegnie dalszemu zwiększeniu wraz z zaostrzeniem przepisów.

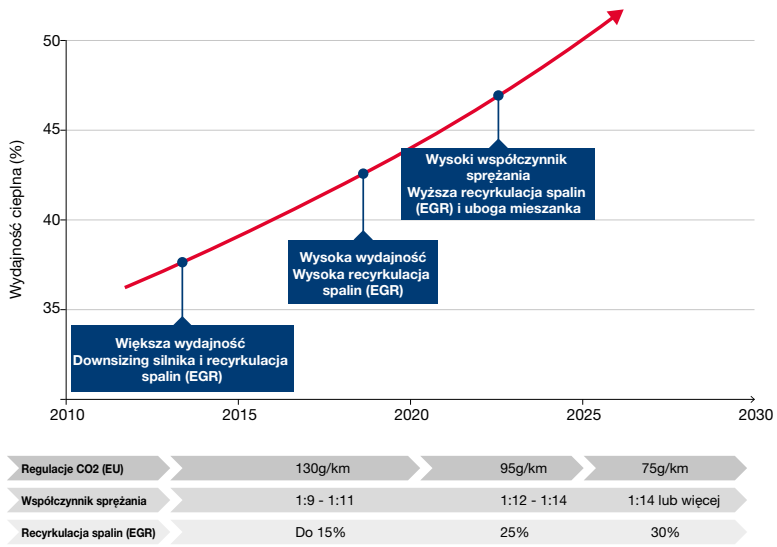


Rys. 7.19 Udział w rynku poszczególnych typów świec zapłonowych (prognoza do 2025 r.)

Aby spełnić jeszcze surowsze wymagania w zakresie emisji CO_2, producenci samochodów muszą znaleźć sposoby na zwiększenie wewnętrznej efektywności silników spalinowych. W silnikach benzynowych jest to możliwe dzięki wykorzystaniu wielu technologii, takich jak downsizing silników, wysokiego poziomu recyrkulacji spalin (EGR) i stosowanie ubogich mieszanek. Chociaż te rozwijające się technologie silników zostały omówione w punkcie 5.5, warto raz jeszcze pokrótce podkreślić wpływ, jaki mają one na konstrukcję świec zapłonowych, np. zdolność świec zapłonowych do wytrzymania jeszcze wyższych napięć przekraczających 45 kV.

Rys. 7.20 przedstawia przybliżoną prognozę trendów w konstrukcji silników spalinowych, która uwzględnia przepisy UE dotyczące emisji CO_2, stopnie sprężania i wskaźniki EGR do 2025 r.

Jako lider w dziedzinie opracowywania i rozwijania technologii motoryzacyjnych DENSO pozostanie na czele innowacji w projektowaniu silników spalinowych, tak aby produkty firmy mogły nadal zaspokajać zapotrzebowanie na zwiększoną wydajność i moc wyjściową silników oraz ograniczenie emisji.

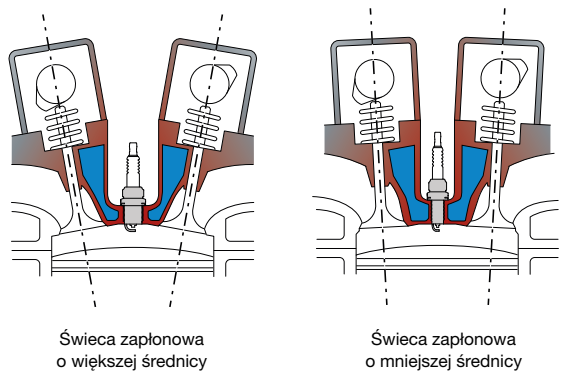


Rys. 7.20 Prognoza trendów w konstrukcji silników spalinowych

Downsizing
Od jakiegoś czasu producenci opracowują mniejsze silniki o stosunkowo niewielkiej objętości skokowej, której muszą jednak towarzyszyć wysokie moce wyjściowe, osiągane często przy pomocy turbodoładowania.

Zmniejszony silnik wiąże się z pewnymi szczególnymi wyzwaniami, związanymi np. z upakowaniem (rys. 7.21). Mniejsza głowica cylindra wciąż musi pomieścić 4 duże zawory, aby umożliwić prawidłową cyrkulację powietrza, oraz świecę zapłonową i często także wtryskiwacz paliwa. Tymczasem miejsca musi starczyć również na kanały dla płynu chłodzącego, aby silnik był utrzymywany we właściwej temperaturze. Jednym z rozwiązań stosowanych w celu poprawy upakowania elementów silnika jest wykorzystanie cienkich świec zapłonowych z długimi gwintami, które są już od jakiegoś czasu z powodzeniem stosowane w silnikach motocyklowych, a obecnie także w samochodach.

Downsizing i wysoka moc wiąże się ściśle z wyższymi ciśnieniami w cylindrze, czy to ze względu na wyższe ciśnienie turbosprężarki, czy też większy stopień sprężania. Zwiększone ciśnienie utrudnia jednak jonizację powietrza i powstanie iskry (więcej informacji na temat jonizacji w punkcie 6.4).
Aby obejść ten problem wymagane są iskry o wyższym napięciu – oczekuje się, że wymagane napięcie wzrośnie powyżej 45 kV.



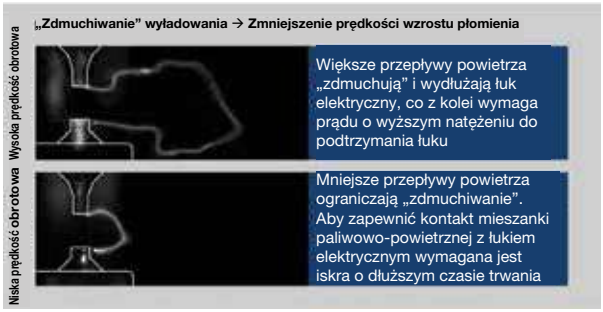
Rys. 7.21 Cieńsza świeca zapłonowa z dłuższym gwintem zajmuje mniej miejsca w głowicy cylindra

Wysoki stopień recyrkulacji spalin
Wraz ze wzrostem stopnia sprężania i temperatur spalania zwiększa się ryzyko detonacji i spalania stukowego. Aby zablokować spalanie stukowe, zwiększa się stopień recyrkulacji spalin, co daje możliwość obniżenia temperatur spalania, lecz również zwiększa przepływ gazów w komorze spalania, poprawiając wymieszanie powietrza i paliwa.

Ten zwiększony przepływ, zwłaszcza przy dużych prędkościach obrotowych silnika, ma tendencję do „zdmuchiwania" iskry z elektrod, co powoduje rozciągnięcie lub wydłużenie łuku elektrycznego i w efekcie wejście w kontakt z większą ilością mieszanki paliwowo-powietrznej, przekładający się na polepszoną zapłonność (rys. 7.22). Jednakże aby zapobiec całkowitemu „zdmuchnięciu" iskry, wymagane jest wyższe napięcie z cewki zapłonowej w celu podtrzymania łuku.

Jednocześnie przy niższym przepływie gazów, który może wystąpić przy niższych prędkościach obrotowych silnika, mieszanka powietrza, paliwa i spalin może być trudniejsza do zapalenia. Aby przezwyciężyć ten problem, iskra powinna trwać dłużej, aby wydłużyć czas ekspozycji na mieszankę paliwowo-powietrzną i znów poprawić zapalność.

Cewka zapłonowa musi zatem być w stanie dostarczyć do świecy zapłonowej wyższą energię, aby móc fizycznie podtrzymać dłuższy łuk oraz utrzymywać go przez dłuższy czas.



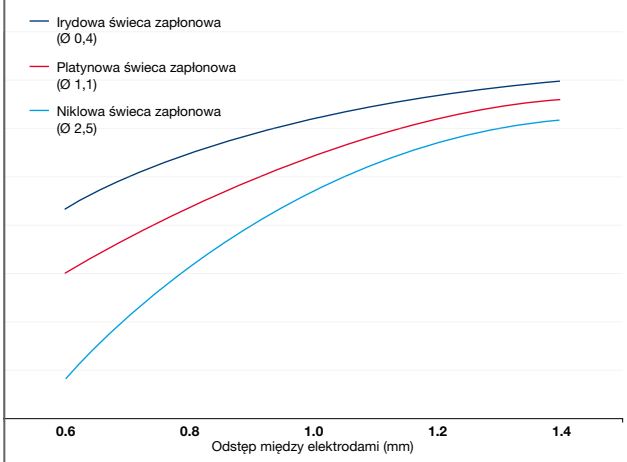
Rys. 7.22 Wpływ przepływu spalin na „zdmuchiwanie" iskry

Jednostką pomiaru energii jest dżul (J). Energia wytwarzana przez cewkę zapłonową zwykle mieści się w granicach 30–80 mJ (milidżuli, 1 mJ = 1/1000 J). Aby jednak móc zapewnić wymagane wyższe napięcia, wyższe natężenia i dłuższy czas trwania iskier, oczekuje się, że dostępna energia cewki wzrośnie do ponad 200 mJ.

Uboga mieszanka
Choć mieszanki ubogie powodują wyższe temperatury spalania, w rzeczywistości mogą one jednak poprawiać wydajność silnika. Mieszanki ubogie zwiększają również emisje NOx, które wymagają oczyszczania spalin. Podobnie jak w przypadku wysokich stopni recyrkulacji spalin, mieszanki ubogie również wymagają mocniejszej iskry zapłonowej. Wraz z przewidywanym wzrostem wartości współczynnika lambda do co najmniej 2 (stosunek powietrza do paliwa ok. 30 do 1) rozwój świec zapłonowych będzie zapewniał wytwarzanie możliwie najlepszej iskry, nawet w cięższych warunkach pracy.

Rys. 7.23 przedstawia zapłonność mieszanki paliwowo-powietrznej przy zastosowaniu niklowych, platynowych i irydowych świec zapłonowych z różnymi odstępami między elektrodami.

Irydowe świece zapłonowe zapewniają najlepszą wydajność. Dlatego w celu zapewnienia właściwej zapłonności cienkie elektrody na bazie irydu – jak te obecnie produkowane przez DENSO – staną się pewnego dnia standardem.



Uboższe mieszanki są trudniejsze do zapalenia. Rozwiązaniem są większe odstępy lub mniejsze elektrody

Rys. 7.23 Limity zapłonności świec zapłonowych różnego typu

8. OFERTA DENSO

8.1. Świece zapłonowe dedykowane dla rynku OEM (Direct Fit)

Wiodący producenci silników i pojazdów wybierają świece zapłonowe DENSO ze względu na ich niezawodność i wydajność. Świece zapłonowe DENSO Direct Fit są montowane w pojazdach wyższej klasy oraz pojazdach o wysokim wolumenie sprzedaży. Świece zapłonowe DENSO Direct Fit to świece dokładnie takie same jak oryginalne lub bezpośrednie odpowiedniki świec DENSO.

Linia Direct Fit obejmuje świece: niklowe, platynowe, irydowe i SIP, do ogólnych zastosowań samochodowych i motocyklowych, jak również do silników okrętowych, rolniczych i małych silników.

Niklowe
Niklowe świece zapłonowe DENSO posiadają opatentowaną elektrodę masową z rowkiem w kształcie litery „U", która poprawia skuteczność zapłonu (rys. 8.1).
Technologia rowka w kształcie litery „U" została opracowana przez DENSO i w latach 70. była postrzegana jako najlepsze dostępne ulepszenie dla świecy zapłonowej.
Producenci samochodów oryginalnie montujący świece zapłonowe DENSO natychmiast przyjęli technologię rowka w kształcie litery „U" i zaczęli wykorzystywać ją w swoich pojazdach.

Niklowe świece zapłonowe DENSO mają większe zakresy temperatur roboczych w porównaniu do świec innych producentów, co przekłada się na skonsolidowanie asortymentu części samochodowych i zmniejszenie zapasów magazynowych.

DENSO wciąż wykorzystuje technologię rowka w kształcie litery „U" w większości świec zapłonowych z pojedynczą elektrodą masową.

Wszystkie dostępne części DENSO można znaleźć pod adresem:
denso-am.pl/e-katalog

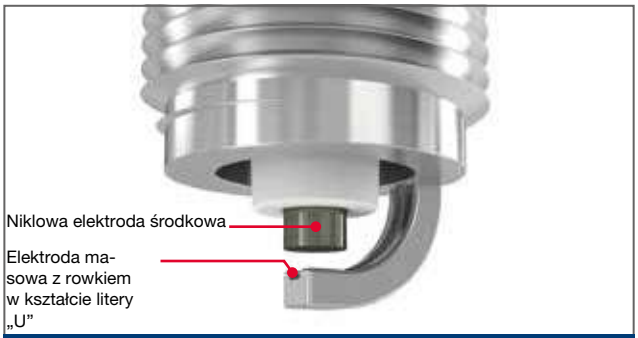
Platynowe
Platynowe świece zapłonowe stały się popularne w latach 80. i zapewniały poprawę wydajności świecy zapłonowej i silnika. Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na ograniczenie emisji konieczne było zastąpienie technologii niklowej świecami zapłonowymi o wyższej specyfikacji.

Platynowe świece zapłonowe o wydłużonej żywotności posiadają platynową elektrodę środkową oraz platynową końcówkę elektrody masowej (patrz rys. 8.2).

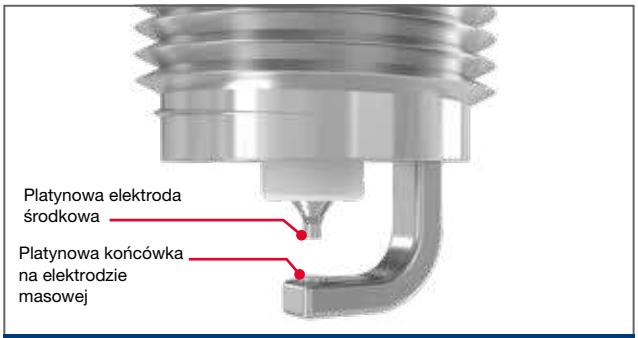
W dalszej kolejności DENSO skoncentrowało się na rozwijaniu lepszych świec irydowych zamiast platynowych. Platyna jest jednak w dalszym ciągu wykorzystywana na elektrodach masowych w większości współczesnych świec zapłonowych z uwagi na jej odporność na utlenianie.

Niklowe świece zapłonowe DENSO montowane były w bliźniaczych samochodach Toyota Aygo, Citroën C1 i Peugeot 107 z 2005 r. wyposażonych w silnik 1KR-FE o pojemności 1,0 l, jak również w innych pojazdach o wysokim wolumenie sprzedaży.

Platynowe świece zapłonowe DENSO można znaleźć w supersamochodzie Lexus LFA z silnikiem V10 z 2010 r.



Rys. 8.1 Elektroda masowa z rowkiem w kształcie litery „U"



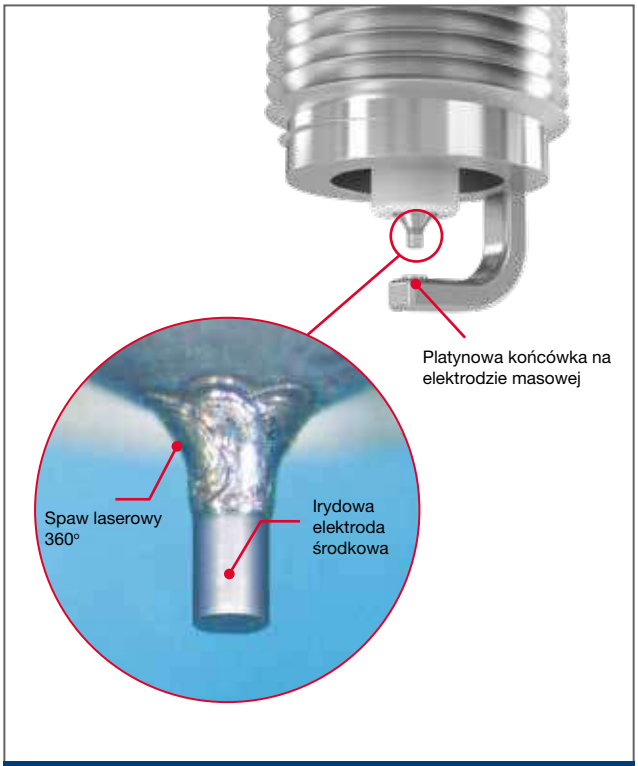
Rys. 8.2 Elektroda masowa z końcówką platynową

8.1. Direct Fit 50
8.2. Twin Tip 52
8.3. Iridium Power 53
8.4. Iridium Racing 54

Irydowe
Jako pionier w produkcji irydowych świec zapłonowych DENSO opatentowało najcieńszą na rynku elektrodę środkową o średnicy 0,4 mm oraz metodę jej przytwierdzania za pomocą spawania laserowego 360° (rys. 8.3).

Irydowa świeca zapłonowa jest nie tylko bardziej niezawodna, ale też bardziej precyzyjna. Pozwala zapalić mieszankę paliwowo-powietrzną dokładnie w odpowiednim czasie, zgodnie z instrukcjami otrzymanymi od układu sterowania silnikiem.

W połączeniu z platynową końcówką na elektrodzie masowej (patrz rys. 8.3) irydowe świece zapłonowe zapewniają dłuższą żywotność, zmniejszając koszty napraw.



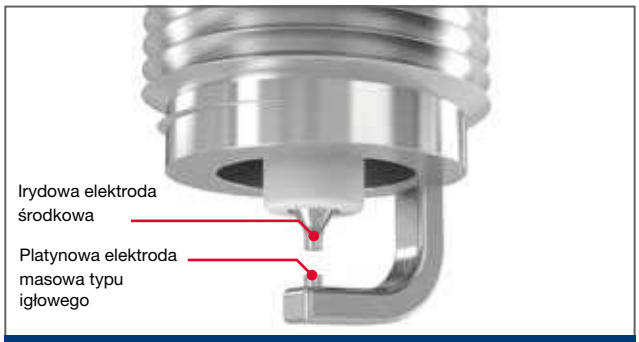
Rys. 8.3 Irydowa elektroda środkowa

Świece DENSO Iridium OEM były montowane w Volvo XC60 3.0 T6 AWD z 2015 r. oraz w wielu innych silnikach Volvo. Następnie na rynku wtórnym pojawiły się świece Iridium TT do innych nowych silników Volvo, zapewniające najlepsze osiągi i produkowane na tych samych liniach produkcyjnych.

Super Ignition
Świece zapłonowe w technologii Super Ignition zostały wprowadzone jako zaawansowane produkty pozwalające ograniczyć emisje spalin w pojazdach wysokiej klasy.
Jest to obecnie najlepsza z dostępnych technologii świec zapłonowych.
Wykorzystuje ona irydową elektrodę środkową oraz unikalną platynową elektrodę masową typu igłowego. Elektroda środkowa ma średnicę 0,55 mm lub 0,7 mm. Elektroda masowa ma postać platynowej igły o średnicy 0,7 mm lub 1,0 mm.

Unikalna platynowa elektroda masowa typu igłowego nie tylko zapewnia doskonałą żywotność. Obniża ona również wymagane napięcie i zapewnia więcej przestrzeni dla wzrostu płomienia, właściwie eliminując efekt jego wygaszania.

Świece zapłonowe DENSO Super Ignition FXE20HR11 montowano w Nissanie Qashqai z 2007 r. i w wielu innych pojazdach wysokiej klasy. Do takich zastosowań istnieje także odpowiednik Iridium TT spełniający wymogi tego silnika, wyposażony w opatentowaną elektrodę środkową o średnicy 0,4 mm.

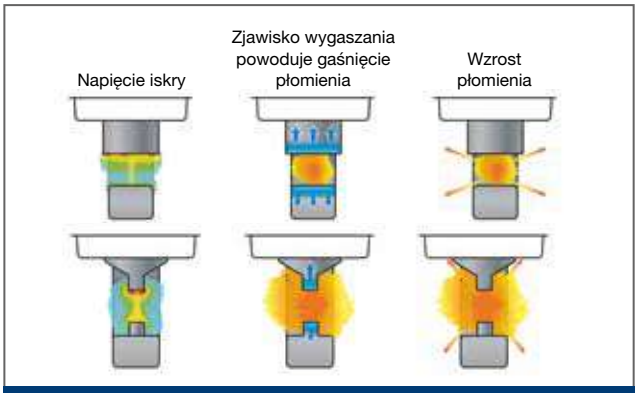


Rys 8.4 Świeca Super Ignition

8.2. Twin Tip

W poprzednich rozdziałach wyjaśniono, że dla niemal wszystkich kryteriów wydajności świecy zapłonowej najlepsza wydajność zapewniana jest przez mniejsze elektrody.

Mniejsze elektrody mają bardziej skoncentrowane pole elektryczne, co zmniejsza wymagane napięcie. Mniejsza powierzchnia i masa ogranicza zjawisko wygaszania i umożliwia swobodny wzrost płomienia.



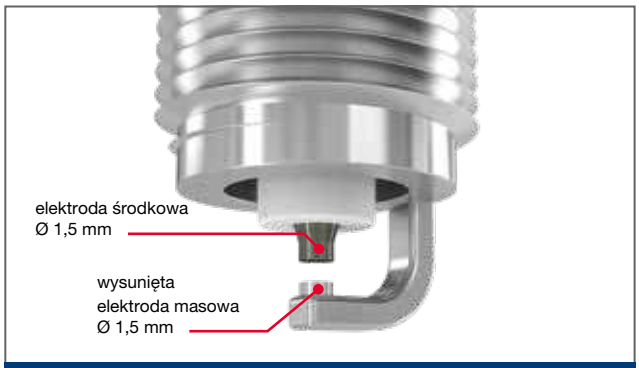
Rys. 8.5 Zalety małych elektrod

Zwykłe zmniejszenie rozmiarów elektrody powinno normalnie prowadzić do skrócenia żywotności świecy zapłonowej. DENSO opracowało unikalne materiały umożliwiające stosowanie mniejszych elektrod bez wpływu na żywotność świecy.

Na bazie zdobytego doświadczenia i sukcesu osiągniętego przez świece zapłonowe Super Ignition (SIP) z cienkimi elektrodami środkową i masową, DENSO opracowało dwa rodzaje świec zapłonowych Twin Tip, w których zastosowano małe elektrody bez skracania żywotności świecy. Co więcej, często żywotność ta jest wydłużona. Świece te mogą być stosowane jako alternatywa dla oryginalnych świec zapłonowych lub nawet jako ich modernizacja. Linia wysokowydajnych świec DENSO Twin Tip obejmuje wąski zakres produktów, które nadają się do zamontowania w większości pojazdów.

Niklowe TT
Nikiel to stosunkowo tani materiał wykorzystywany do produkcji elektrod świec zapłonowych. Jednakże z uwagi na wymaganą długą żywotność elektroda środkowa zwykle ma średnicę 2,5 mm. W przypadku, gdy wymagana jest mniejsza elektroda, konieczne jest zwykle przyspawanie dodatkowej końcówki do elektrody masowej, co znacznie podnosi koszty produkcji i obniża żywotność świecy.

W niklowej świecy DENSO TT (rys. 8.6) zastosowano unikalny, opatentowany stop zawierający nikiel, krzem, itr i tytan (Ni-Si-Y-Ti). Ma on właściwości podobne do niklu, jednak jest o 80% bardziej wytrzymały na utlenianie i o 40% bardziej odporny na zużycie powodowane przez iskrę.



Rys. 8.6 Niklowa świeca zapłonowa TT DENSO

Dzięki zastosowaniu tego specjalistycznego stopu możliwe jest stosowanie cieńszych elektrod o średnicy 1,5 mm i żywotności takiej samej jak w przypadku standardowych elektrod niklowych o średnicy 2,5 mm. Co więcej, nowy stop umożliwia wykrawanie małych elektrod masowych z materiału zamiast kosztownych procesów produkcyjnych. Nowy stop niklu jest tańszy od metali szlachetnych, takich jak platyna czy iryd, dzięki czemu stanowi dużą wartość dla użytkownika końcowego.

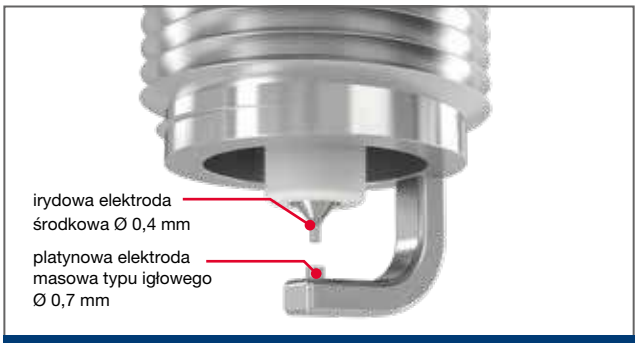
Dzięki dwóm elektrodom o średnicy 1,5 mm niklowe świece zapłonowe TT są w stanie zapewnić wydajność podobną do świec platynowych za cenę standardowej świecy niklowej.

Z uwagi na małe elektrody, które oferują wyższą wydajność w stosunku do standardowych niklowych świec zapłonowych, niklowa świeca zapłonowa TT może z powodzeniem zastąpić wiele innych świec zapłonowych o tym samym kształcie, często poprawiając wydajność silnika. Zaawansowane technologie pozwalają połączyć różne specyfikacje wielu typów świec zapłonowych w mniejszym zakresie referencji.

Stop Ni-Si-Y-Ti i wysunięta elektroda masowa stosowane w niklowych świecach TT zostały opatentowane przez DENSO.

Iridium TT
Dalszy rozwój technologii świec zapłonowych DENSO zaowocował opracowaniem świecy Iridium TT, łączącej podstawowe założenia niklowych świec TT i świec Super Ignition. Świeca ta stała się punktem odniesienia dla wszystkich irydowych świec zapłonowych. Technologia SIP w połączeniu z irydową elektrodą środkową o średnicy 0,4 mm tworzy unikalną świecę zapłonową, która przewyższa wszystkie inne technologie dostępne na rynku.

Nowa świeca Iridium TT (rys. 8.6) łączy technologię SIP z opatentowaną przez DENSO irydową elektrodą środkową o średnicy 0,4 mm i platynową elektrodą masową typu igłowego o średnicy 0,7 mm. Iridium TT jest świecą zapłonową o najlepszych na rynku osiągach i bardzo długiej żywotności. Jednocześnie wysoka wydajność Iridium TT pozwala zredukować emisję spalin i zużycie paliwa.



Rys. 8.7 Świeca zapłonowa DENSO Iridium TT

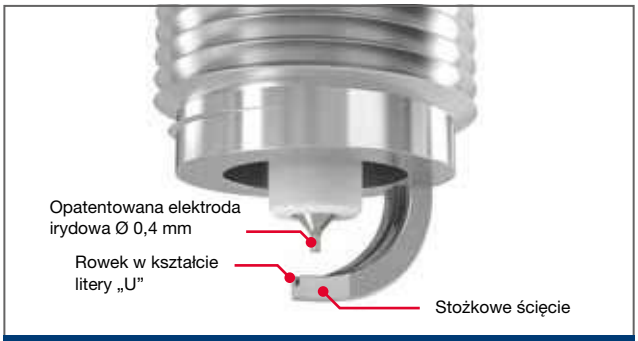
Z uwagi na swoją wysoką wydajność świeca Iridium TT może zastąpić wiele różnych typów świec zapłonowych. Dzięki temu bardziej skonsolidowana linia świec nadaje się do zastosowania niemal w każdym pojeździe. Obecnie linia świec Iridium TT obejmuje 19 referencji, które stanowią wysokowydajną alternatywę dla niemal wszystkich świec niklowych, platynowych, irydowych i SIP.

Elektroda środkowa o średnicy 0,4 mm jest produkowana przy użyciu opatentowanego stopu irydu o najwyższej na rynku zawartości irydu i szczególnie wysokiej temperaturze topnienia. Właściwości te umożliwiły również miniaturyzację elektrody środkowej w świecy Iridium TT, co pozwoliło zmniejszyć wymagane napięcie i poprawić wydajność zapłonu (więcej na temat irydowych elektrod środkowych w punkcie 7.3).

8.3. Iridium Power

Podczas gdy świece Iridium TT są najlepszym z dostępnych rozwiązań dla samochodów, Iridium Power to najlepsze rozwiązanie dla motocykli. Świeca Iridium Power jest wyposażona w tę samą cienką irydową elektrodę środkową o średnicy 0,4 mm (rys. 8.7) i zapewnia lepsze wyniki niż niemal każda inna świeca zapłonowa na rynku. Jest w stanie pracować przy wysokich prędkościach obrotowych silnika, dzięki czemu Iridium Power jest idealną świecą zapłonową dla motocykli i samochodów tuningowanych o wysokich osiągach.

Świece zapłonowe Iridium Power nadają się doskonale do silników o dużej mocy i dużych prędkościach obrotowych, np. w motocyklach, ale również w samochodach o wysokich osiągach, skuterach śnieżnych i wodnych.



Rys. 8.8 Świeca zapłonowa DENSO Iridium Power

Świece Iridium Power są dostępne dla szerokiego wachlarza zakresów temperatur roboczych, co sprawia, że świece zapłonowe z tej linii nadają się do wielu różnych zastosowań.

Ultra cienka irydowa elektroda o średnicy 0,4 mm

Dzięki zastosowaniu opatentowanej elektrody środkowej ze stopu irydu o średnicy 0,4 mm obniżone zostało wymagane napięcie i zwiększona wydajność zapłonu.

Elektroda masowa z rowkiem w kształcie litery „U” i stożkowym ścięciem

Elektrody masowe Iridium Power mogą być wytwarzane z rowkiem w kształcie litery „U” wyciętym na wewnętrznej stronie. Rowek w kształcie litery „U” zapewnia dużą przestrzeń do wytworzenia się płomienia, a dodatkowe krawędzie jeszcze bardziej obniżają wymagane napięcie. Technologia ta zapewnia doskonałą wydajność zapłonu bez zwiększania odstępu między elektrodami.

Końcówka elektrody masowej została uformowana w kształt stożka, dzięki czemu powierzchnia wchodząca w kontakt z płomieniem jest mniejsza. Ścięta stożkowo elektroda masowa ma mniejszy ciężar, co pozwala zmniejszyć obciążenie powodowane przez drgania i redukuje obciążenie grzewcze elektrody. Świeca zapłonowa może dzięki temu pracować w trudniejszych warunkach jazdy.

Nie wszystkie świece zapłonowe Iridium Power posiadają rowek w kształcie litery „U” i/lub stożkowe ścięcie.

IRIDIUM POWER®

8.4. Iridium Racing

Świece zapłonowe Iridium Racing cieszą się zaufaniem kierowców i zespołów wyścigowych ze względu na swoją niezawodność, trwałość i wydajność.

Świece zapłonowe Iridium Racing (rys. 8.9) są zaprojektowane specjalnie z myślą o bardzo wymagających warunkach pracy narzucanych przez silniki wyścigowe o wysokich osiągach i ciężkie warunki jazdy w trakcie zawodów.
Wyścigi z otwartą w pełni przepustnicą przy wysokich prędkościach obrotowych silnika wytwarzają stale wysokie temperatury spalania i ciśnienie. Dlatego też konstrukcja świec zapłonowych DENSO Iridium Racing koncentruje się na wytwarzaniu wysokiej jakości iskry zdolnej utrzymać się w tych ekstremalnych warunkach.

W wielu kategoriach wyścigów oszczędność paliwa i praca na ubogich mieszankach nie jest kwestią nadrzędną. W celu produkcji mocy wykorzystuje się bogatsze mieszanki paliwowo-powietrzne, które wytwarzają więcej osadów produktów spalania na świecy zapłonowej, w szczególności w przypadku okazjonalnej pracy w warunkach lżejszego obciążenia. Dlatego też świece zapłonowe Iridium Racing muszą być w stanie również szybko spalać osady produktów spalania, aby zapobiec zanieczyszczeniu świecy nagarem.

Ponadto elektrody wykorzystywane w większości świec zapłonowych stosowanych w transporcie drogowym są wysunięte w głąb komory spalania. Wysokie ciśnienie i temperatury powstające w silnikach wyścigowych o dużym stopniu sprężania mogłyby jednak uszkodzić wysunięte elektrody. Dlatego w świecach zapłonowych Iridium Racing stosowane są elektrody będące niemal na równi z tylną ścianą korpusu świecy.

Jako że świece zapłonowe Iridium Racing są przeznaczone wyłącznie do użytku w ciężkich warunkach panujących na wyścigach, nie są one projektowane pod kątem efektywnej pracy w normalnych warunkach, przy niskich prędkościach i małych obciążeniach. Nawet nieznacznie tuningowane silniki i silniki używane okazjonalnie na torze mogą nie być w stanie wytworzyć dostatecznej temperatury, ciśnienia i innych warunków, aby świece Iridium Racing mogły pracować efektywnie. Dla mniej wymagających silników i wymogów dotyczących jazdy (np. zwykłych samochodów tylko okazjonalnie wykorzystywanych na torze) najlepszym rozwiązaniem będą świece zapłonowe Iridium Power.

Ultra cienka irydowa elektroda o średnicy 0,4 mm

Dzięki opatentowanej ultra cienkiej irydowej elektrodzie o średnicy 0,4 mm świece zapłonowe Iridium Racing osiągają wybitną wydajność zapłonu.

Elektroda masowa o średnicy 0,8 mm wykonana w całości z platyny
Wysoka temperatura topnienia platyny w porównaniu do stopu niklu używanego w konwencjonalnych świecach zapłonowych ogranicza problemy związane ze stopieniem i zużyciem elektrody masowej. Platynowa końcówka zostaje przyspawana i odizolowana bez zginania elektrody, co zmniejsza naprężenia szczątkowe spowodowane procesami produkcyjnymi, a tym samym zwiększa trwałość i niezawodność.

Izolator do pojazdów wyścigowych
Dzięki zastosowaniu sprawdzonego w wyścigach izolatora, siła izolatora została zwiększona o ok. 20%.

Kieszeń do czyszczenia iskrą

Ponieważ zanieczyszczenia i osady produktów spalania mogą obniżyć wydajność świecy zapłonowej, wokół końcówki pomiędzy elektrodą środkową a izolatorem utworzono małą kieszeń. Umożliwia ona spalenie węgla i innych osadów przez wyładowanie elektryczne i tym samym utrzymanie wydajności świecy zapłonowej.

Powłoka silikonowa
Brak startu z powodu zanieczyszczenia osadami produktów spalania może być fatalny w skutkach w czasie wyścigu. Aby temu zapobiec, izolator został pokryty wysoce wodoodpornym silikonem, który chroni go przed wilgocią i węglem.

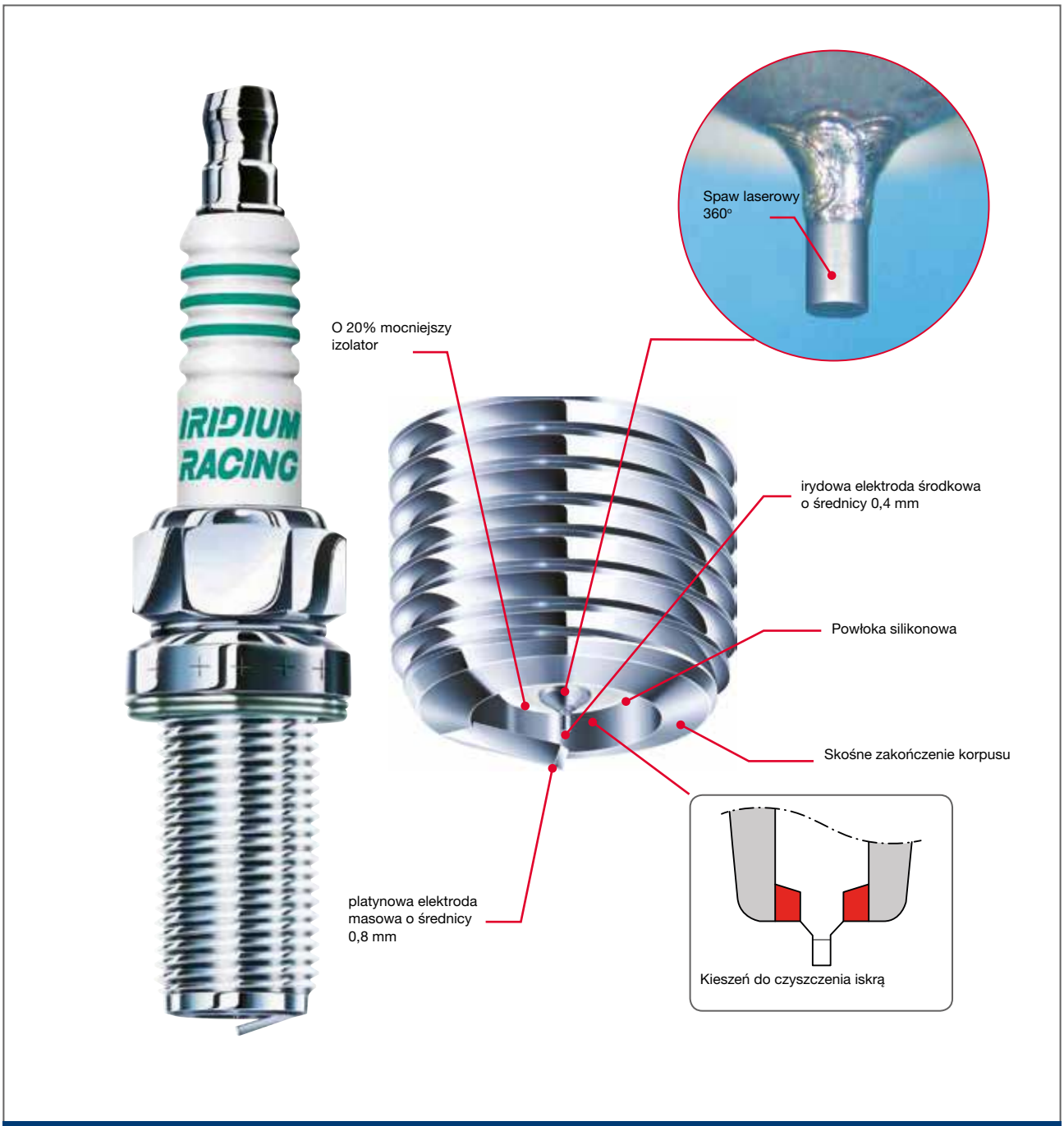
Skośne zakończenie korpusu
Aby poprawić tolerancję na trudne warunki spalania skośne zakończenie korpusu zostało poszerzone. Gazy ze spalania bogatych mieszanek paliwowo-powietrznych są wyprowadzane z izolatora, co zapobiega zanieczyszczeniu produktami spalania.

Elektrody, które są wysunięte w głąb komory spalania, zwykle charakteryzują się lepszą zapłonnością i wydajnością. Jednakże z uwagi na wysoki stopień sprężenia, ciśnienie i temperaturę panujące w silnikach wyścigowych o wysokich osiągach, zapotrzebowanie na świece zapłonowe z wysuniętą elektrodą jest niższe. Ponadto narażona na wysokie temperatury spalania długa elektroda masowa nie byłaby w stanie wystarczająco rozproszyć ciepła i stałaby się zbyt gorąca. Im wyższe osiągi silnika, tym niższe zapotrzebowanie na wysuniętą elektrodę.

IRIDIUM RACING®

Fernando Alonso, zwycięzca wyścigu 24h Le Mans w 2018 r., w hybrydowym samochodzie wyścigowym Toyota Gazoo

DENSO Kobelco SARD RC F, mistrz Super GT 500 w 2016 r.



Rys. 8.9 Świeca zapłonowa DENSO Iridium Racing

Polestar Cyan Racing, mistrz świata WTCC w 2017 r.

Subaru BRZ z serii Super GT

9. ZMIEŃ SWOJE ŚWIECE ZAPŁONOWE NA LEPSZE

9.1. Dlaczego powinieneś wymienić swoje świece zapłonowe na lepsze?

Istnieje wiele powodów, by zamienić standardową świecę zapłonową na świecę o wyższej wydajności, która zapewni wydajniejszy zapłon. Może to być chęć uzyskania maksymalnej możliwej mocy silnika do wyścigów, poprawy zużycia paliwa podczas normalnej codziennej jazdy, lub też rozwiązania problemu z uruchomianiem lub pracą silnika na biegu jałowym. Niezależnie od powodu wymiany oferta DENSO pozwala na modernizację świec zapłonowych niemal w każdym pojeździe.

E-katalog DENSO zawiera listę standardowych i ulepszonych świec zapłonowych dla większości pojazdów, w tym motocykli. E-katalog jest dostępny pod adresem: **denso-am.pl/e-katalog**

Główne korzyści płynące z modernizacji świec zapłonowych
Główne korzyści płynące z modernizacji świec zapłonowych zostały opisane w poprzednich rozdziałach. Obejmują one nie tylko zwiększenie mocy silnika i momentu obrotowego, lecz również zauważalną poprawę płynności pracy silnika, rozruchu, pracy na zimno i zużycia paliwa, a także ukryte korzyści płynące z redukcji emisji. Dodatkowo przejście na świece zapłonowe o lepszej specyfikacji może rozwiązać problem sporadycznych, a nawet uporczywych przerw w zapłonie na biegu jałowym lub przy dużym obciążeniu.

W pojazdach, w których używane są standardowe niklowe świece zapłonowe przejście na świece irydowe zapewnia lepszą wydajność zapłonu, osiąganą zazwyczaj przy niższych napięciach. Niższe napięcie początkowe powoduje mniejsze obciążenie cewki zapłonowej, dzięki czemu pozostaje w niej więcej energii. Poprawia to działanie układu zapłonowego w bardziej wymagających warunkach, takich jak przyspieszenie na pełnym obciążeniu.

LPG/CNG
W pojazdach, które zostały przystosowane do zasilania LPG lub CNG, korzyści płynące z modernizacji mogą być jeszcze bardziej zauważalne ze względu na trudniejszy zapłon paliw gazowych wymagający wyższego napięcia (patrz punkt 9.5). Również wahania temperatur spalania są większe w silnikach zasilanych LPG/CNG niż w przypadku silników benzynowych, co przyczynia się do skrócenia okresu eksploatacji nawet o 30%. Dzięki zmianie niklowych świec zapłonowych na świece irydowe o dłuższej żywotności poprawia się wydajność silnika i wydłuża się okres pomiędzy kolejnymi wymianami świec zapłonowych.

Zalety współczesnej technologii świec zapłonowych
Jednym z istotnych czynników, jakie należy wziąć pod uwagę, jest rozwój technologii świec zapłonowych w ostatnich latach. Wiele nowszych pojazdów jest standardowo wyposażanych w irydowe świece zapłonowe, które mają większą wydajność w porównaniu do wcześniejszych typów świec. Choć wymiana świec zapłonowych na takie o identycznej specyfikacji jest możliwa, korzystniejsze jest zastosowanie świec o nowocześniejszej konstrukcji i lepszej specyfikacji (takich jak DENSO Iridium TT), które poprawią wydajność zapłonu i pracę silnika.

Korzyści płynące z wymiany w dużej mierze zależą od standardowego typu świecy zapłonowej. Przy wymianie świecy niklowej na irydową pomiary wykażą zauważalną różnicę. Jednak przy wymianie świecy irydowej na SIP (np. DENSO Iridium TT) różnica będzie mniejsza.

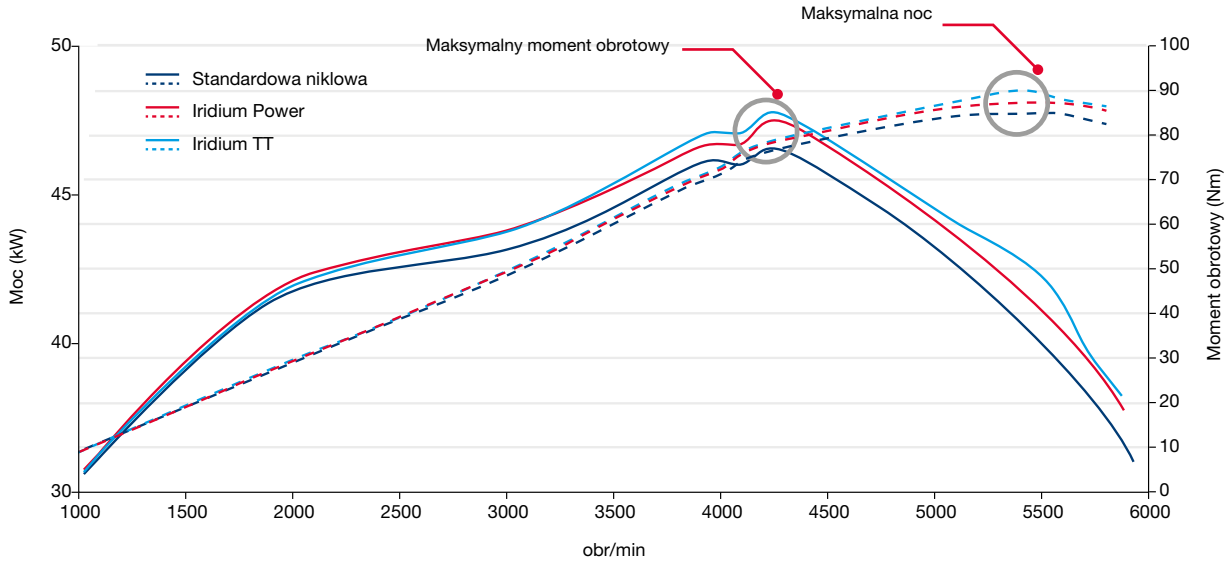
Najlepsze świece zapłonowe do silnika zasilanego LPG lub CNG znajdziesz w naszym e-katalogu:
denso-am.pl/e-katalog

9.1. Dlaczego powinieneś wymienić swoje świece zapłonowe na lepsze? 56
9.2. Generowana moc 57
9.3. Oszczędność paliwa i zmniejszenie emisji 58
9.4. Płynność pracy na biegu jałowym, wypadanie zapłonu i problemy z rozruchem silnika 59
9.5. Silniki zasilane LPG i CNG 60
9.6. Tuning i sporty motorowe 61

9.2. Generowana moc

Wymiana niklowych świec zapłonowych na irydowe może w sposób mierzalny zwiększyć moc i moment obrotowy silnika.
Wykresy na rys. 9.1 przedstawiają poprawę parametrów możliwą do osiągnięcia przy użyciu świec zapłonowych Iridium Power i Iridium TT w porównaniu ze standardowymi świecami zapłonowymi. Użycie świec Iridium Power skutkuje wzrostem mocy o nawet 3%, zaś w przypadku świec Iridium TT wzrost mocy wynosi do 4%, co jest w szczególności widoczne przy wyższych prędkościach obrotowych silnika.

Świece DENSO Iridium wykorzystują cieńsze elektrody, np. elektrody masowe w świecach Iridium TT mają średnicę 0,7 mm, a elektrody środkowe jeszcze mniejszą – 0,4 mm.
Cieńsze elektrody w mniejszym stopniu maskują płomień oraz znacznie ograniczają zjawisko wygaszania w porównaniu do większych elektrod niklowych. Płomień może dzięki temu rosnąć szybciej przy mniejszym ryzyku jego wygaszenia i skutecznie spalać większą ilość paliwa, zapewniając bardziej efektywne spalenie i produkcję większej mocy.



W porównaniu ze standardowymi świecami niklowymi, świece Iridium Power zapewniają nawet o 3% więcej mocy. Świece Iridium TT nawet 4%. Różnica jest najlepiej widoczna przy wysokich prędkościach obrotowych silnika.

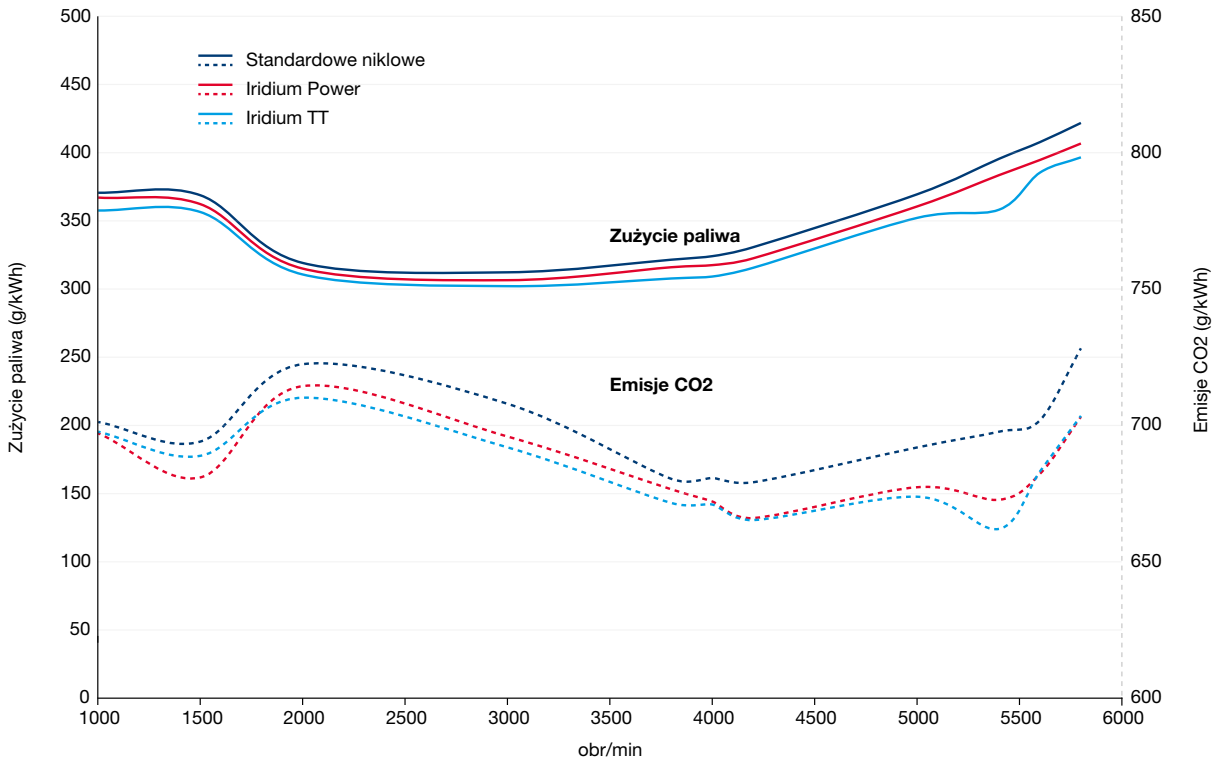
Dane otrzymano na podstawie średniej z 3 pomiarów wykonanych na silniku GM Z12XEP. Informacje przedstawione na wykresach dzięki uprzejmości Uniwersytetu HAN w Arnhem (Holandia).

Fig 9.1 Moc i moment obrotowy

9.3. Oszczędność paliwa i zmniejszenie emisji

Wymiana niklowych świec zapłonowych na irydowe może umożliwić bardziej efektywne zużycie paliwa podczas przyspieszania i w warunkach dużego obciążenia. Wykresy na rys. 9.2 stanowią porównanie świec zapłonowych Iridium Power i Iridium TT ze standardowymi świecami niklowymi. Wykresy pokazują lepsze zużycie paliwa, które osiągnięto dla identycznej ilości generowanej przez silnik mocy (kWh). Zużywając tę samą ilość paliwa, samochód przyspieszy szybciej, co pozwoli na wcześniejsze zwolnienie przepustnicy i tym samym zaoszczędzenie paliwa.

Mniejsza ilość paliwa wymagana do osiągnięcia takiej samej wydajności silnika przekłada się na zmniejszoną emisję CO_2. W związku z tym, że paliwo jest spalane bardziej efektywnie podczas spalania w silniku, a nie w układzie wydechowym, obniża się także poziom innych niebezpiecznych zanieczyszczeń.



Oba rodzaj świec irydowych pomagają zmniejszyć zużycie paliwa i emisję CO2 podczas pełnego obciążenia. Oba rodzaje świec zapewniają wynik lepszy nawet o 3,4%

Dane otrzymano na podstawie średniej z 3 pomiarów wykonanych na silniku GM Z12XEP. Informacje przedstawione na wykresach dzięki uprzejmości Uniwersytetu HAN w Arnhem (Holandia).

Rys. 9.2 Zużycie paliwa i emisja CO_2

9.4. Płynność pracy na biegu jałowym, wypadanie zapłonu i problemy z rozruchem silnika

Problemy podczas pracy na biegu jałowym
Silniki o spalaniu wewnętrznym są zaprojektowane tak, by dostarczać moc. Mogą one jednak przez długi czas pracować na biegu jałowym i nie przekazywać żadnej mocy do kół. Aby utrzymać niskie zużycie paliwa i niski poziom emisji w trakcie pracy na biegu jałowym, prędkość obrotowa biegu jałowego jest niska. Jednakże w trakcie pracy na biegu jałowym w komorze spalania jest bardzo mało powietrza i paliwa, a turbulencja powietrza jest niewielka. Mała ilość mieszanki paliwowo-powietrznej w połączeniu z niską turbulencją utrudniają zapłon mieszanki, co często prowadzi do przerw w zapłonie powodujących rzucanie silnika na biegu jałowym.

Niektórzy producenci silników dopuszczają wskaźnik do 30% przerw w zapłonie na biegu jałowym (zwłaszcza w silnikach o 4 i większej liczbie cylindrów), jeśli pozwala to obniżyć prędkość biegu jałowego. Niższa prędkość na biegu jałowym przekłada się na niższą emisję niż wyższa prędkość bez przerw w zapłonie.

Wymiana świec zapłonowych na bardziej wydajne, takie jak Iridium TT pozwala poprawić zapłonność dzięki mniejszym elektrodom, co zmniejsza ryzyko przerw w zapłonie i umożliwia płynniejszą pracę silnika na biegu jałowym. Mniej przerw w zapłonie i płynniejsza praca silnika przekłada się na zmniejszenie ilości niespalonego paliwa przepływających do układu wydechowego, a tym samym obniżenie emisji węglowodorów i tlenku węgla. Płynniejsza praca silnika pozwala również obniżyć prędkość biegu jałowego, co ponownie zmniejsza zużycie paliwa i obniża poziom emisji.

Duże różnice płynące z poprawy pracy na biegu jałowym można dostrzec w silnikach z 1, 2 lub 3 cylindrami, zwłaszcza w motocyklach z silnikiem V2.

Problemy z rozruchem
Problemy podobne do tych występujących w trakcie pracy na biegu jałowym mogą pojawić się także podczas rozruchu silnika z powodu bardzo niskiej prędkości rozruchowej. Podczas rozruchu w komorze spalania jest jeszcze mniej paliwa, wszystkie powierzchnie wciąż są bardzo zimne, dopływ powietrza jest niewielki, a turbulencja ograniczona, co z kolei utrudnia zapłon. Pojawia się także dodatkowy problem z powodu spadku napięcia akumulatora w trakcie rozruchu, co może obniżyć zdolność cewki zapłonowej do wytworzenia niezbędnego napięcia zapłonu i energii. Problem ten jest bardziej widoczny w układach zapłonowych o starszej konstrukcji, w których nie ma możliwości wydłużenia okresu spoczynku, tak aby zrekompensować obniżone napięcie akumulatora. Jednakże nawet we współczesnych układach zapłonowych, jeśli rozruch silnika trwa długo i przez to napięcie akumulatora ulega dalszemu obniżaniu, lub jeśli napięcie to jest niskie już przed rozruchem, zdolność układu zapłonowego do wytworzenia dobrej iskry również będzie ograniczona.

Poprawę rozruchu można osiągnąć przy pomocy ulepszonej świecy zapłonowej, np. DENSO Iridium, która wymaga niższego napięcia i zapewnia lepszą wydajność zapłonu.

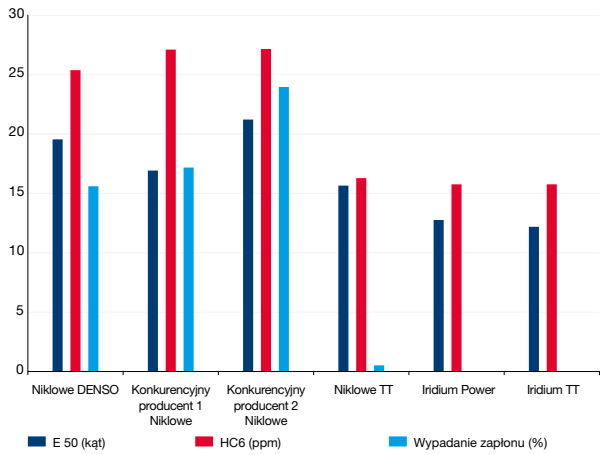
Niektóre świece Iridium Power o niskim zakresie temperatur roboczych standardowo posiadają odstęp 1,1 mm między elektrodami. W niektórych motocyklach (zwłaszcza starszych) układy zapłonowe mogą nie być w stanie wygenerować wystarczającego napięcia, aby wytworzyć iskrę przy takim dużym odstępie (zwłaszcza w czasie rozruchu). W tych szczególnych przypadkach możliwe jest zmniejszenie odstępu między elektrodami do 0,8 mm. W trakcie zmiany odstępu w świecach z elektrodami irydowymi należy zachować szczególną ostrożność i używać odpowiednich narzędzi, aby nie uszkodzić cienkiej elektrody środkowej.

Poprawa wydajności zapłonu na biegu jałowym Rys. 9.3 przedstawia porównanie wyników testów na biegu jałowym niklowych świec zapłonowych produkowanych przez DENSO i jego dwóch konkurentów oraz niklowych świec TT, Iridium Power i Iridium TT DENSO.

Pierwszy z wyników pokazuje kąt po GMP, przy którym ilość spalonego paliwa osiąga 50% (kąt E50). W przypadku świecy jednego z konkurentów spalenie 50% paliwa następuje ponad 20° za GMP, co oznacza, że tłok przebył już znaczną odległość w dół cylindra. Rozprężenie gazów i zwiększenie ciśnienia spowodowane spalaniem nie wywierają zatem maksymalnego nacisku na tłok.

Tymczasem przy zastosowaniu świecy zapłonowej DENSO Iridium TT spalanie 50% paliwa jest osiągane ok. 12° po GMP, co oznacza, że tłok znajduje się bliżej GMP i wzrost ciśnienia ma większy wpływ na popychanie tłoka w dół cylindra. W efekcie użycie świecy zapłonowej Iridium TT umożliwia bardziej efektywne wykorzystanie spalania, a zatem poprawę płynności na biegu jałowym i znacznie lepszy rozruch.

Wykresy pokazują także obniżenie emisji węglowodorów (HC) powstałych w trakcie spalania (HC6) przy zastosowaniu niklowej świecy DENSO TT. Redukcja poziomów HC jest nawet jeszcze wyższa, gdy używane są świece DENSO Iridium. Takie obniżenie emisji HC jest osiągane w dużej mierze dzięki redukcji odsetka przerw w zapłonie (% przerw w zapłonie) od 25% w przypadku świecy konkurencji niemal do zera w przypadku niklowej świecy DENSO TT. Jednocześnie zastosowanie świecy Iridium Power lub Iridium TT całkowicie eliminuje wypadanie zapłonu.



Dane otrzymano na podstawie średniej z 3 pomiarów wykonanych na silniku GM Z12XEP. Informacje przedstawione na wykresach dzięki uprzejmości Uniwersytetu HAN w Arnhem (Holandia).

Rys. 9.3 Wydajność świecy zapłonowej na biegu jałowym

9.5. Silniki zasilane LPG i CNG

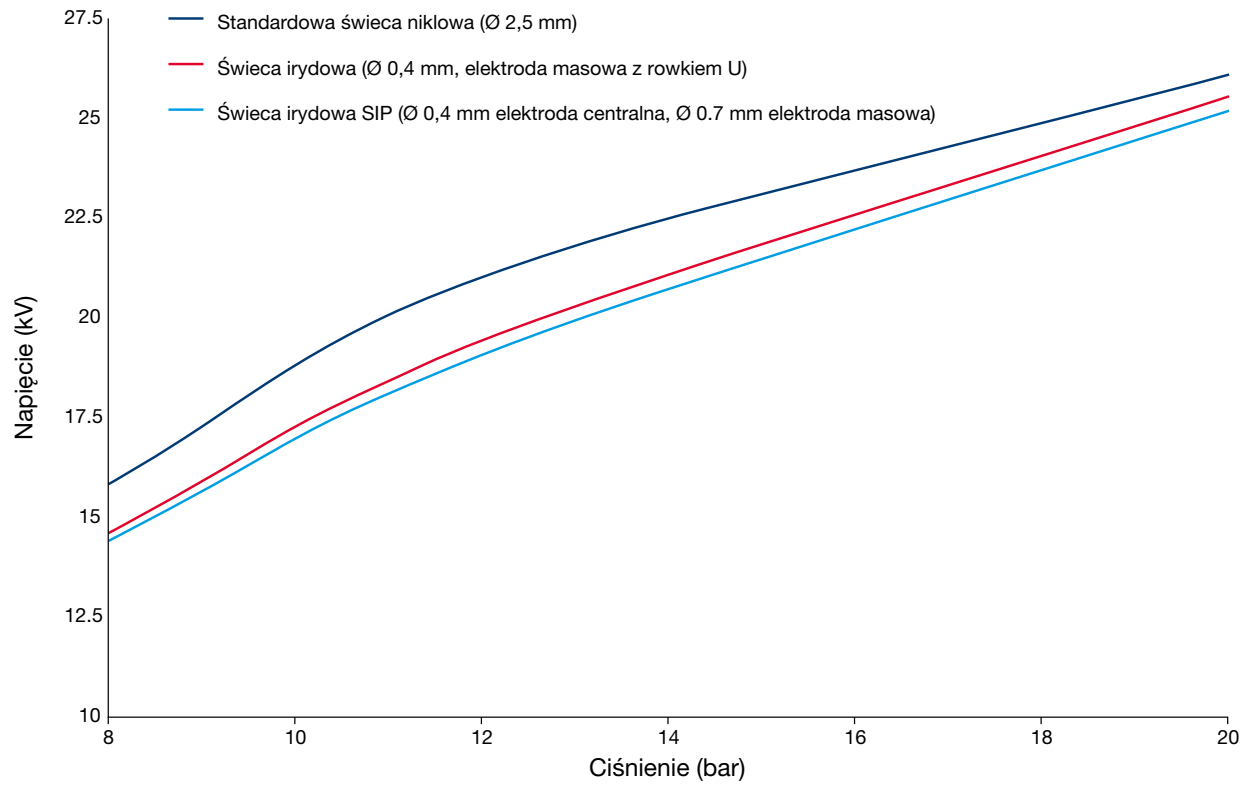
Zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej w przypadku gazu płynnego (LPG) i sprężonego gazu ziemnego (CNG) jest jeszcze trudniejszy niż w silnikach napędzanych benzyną. Większa trudność zapłonu wynika z tego, że LPG i CNG są wtryskiwane w postaci gazowej, podczas gdy benzyna jest podawana w formie płynnej. Gazy wymagają wyższego napięcia jonizacji do wytworzenia iskry niż płyny. Gaz zajmuje również większą przestrzeń niż płyn, dlatego w komorze spalania pozostaje mniej miejsca na świeże powietrze. Ogranicza to liczbę cząsteczek mieszanki paliwowo-powietrznej w okolicy elektrod. W rezultacie ryzyko wypadnięcia zapłonu jest wyższe.

Wyższe napięcie wymagane do zapłonu LPG/CNG zwiększa obciążenie cewki zapłonowej i świecy zapłonowej. Stąd w wielu przypadkach wybierana jest świeca z mniejszym odstępem między elektrodami w celu obniżenia wymaganego napięcia. Jednakże mniejszy odstęp obniża wydajność zapłonu. Alternatywna metoda zmniejszenia obciążenia cewki i świecy zapłonowej polega na zastosowaniu świec z cienkimi elektrodami, takimi jak świece irydowe DENSO, które wymagają niższego napięcia i umożliwiają zachowanie większego odstępu między elektrodami.

W niektórych zastosowaniach, np. w silnikach z turbodoładowaniem, może być konieczne zmniejszenie odstępu do 0,8 mm.

LPG i CNG spalają się, w wyższej temperaturze niż benzyna, co skutkuje większymi zmianami temperatury elektrod w czasie różnych cykli silnika. Większe wahania temperatury skracają żywotność świecy zapłonowej o ok. 20-30%. Wymiana świec na świece irydowe o przedłużonej żywotności wydłuży okres eksploatacji świecy i ograniczy całkowite koszty.

Najlepsze świece zapłonowe Iridium do silnika LPG/CNG można znaleźć w e-katalogu DENSO:
denso-am.pl/e-katalog



Rys. 9.4 Napięcie wymagane dla poszczególnych typów świec zapłonowych

9.6. Tuning i sporty motorowe

Podczas tuningu silnika w celu uzyskania największej możliwej mocy konieczne jest dobranie świecy zapłonowej odpowiadającej osiągom silnika (patrz punkty 8.3 i 8.4). Przy wyborze świecy zapłonowej należy wziąć pod uwagę kilka kwestii.

Na początek wymiary świecy zapłonowej muszą pasować do głowicy cylindra. W większości przypadku oryginalne świece zapłonowe mogą posłużyć za punkt odniesienia.

Rodzaj świecy zapłonowej
Ulepszone świece zapłonowe, takie jak DENSO Iridium Power, cechują się dobrymi wynikami i wszechstronnością. Zapewniają zwiększoną zapłonność i niezawodność we wszystkich zastosowaniach. W większości przypadków idealną świecą będzie DENSO Iridium Power, zwłaszcza jeśli samochód lub motocykl jest używany w normalnym ruchu i tylko okazjonalnie na torze.

Dla silników po znacznym tuningu, przystosowanych do użytku tylko na torze, lepszym rozwiązaniem mogą być specjalne świece wyścigowe, takie jak DENSO Iridium Racing. Świece wyścigowe są produkowane z bardziej wytrzymałych materiałów zdolnych wytrzymać wyższe szczytowe wartości ciśnienia wewnątrz silnika. Posiadają one irydowe elektrody środkowe i platynowe elektrody masowe, dzięki czemu zapewniają najbardziej niezawodny zapłon na rynku.

Świece zapłonowe Iridium Racing są dostępne w dwóch odmianach: skośnej i płaskiej (rys. 9.5). Typ skośny posiada skośną elektrodę masową, przeznaczoną do użytku w silnikach wolnossących i z turbodoładowaniem z ciśnieniem doładowania do 1,3 bar (19 psi).

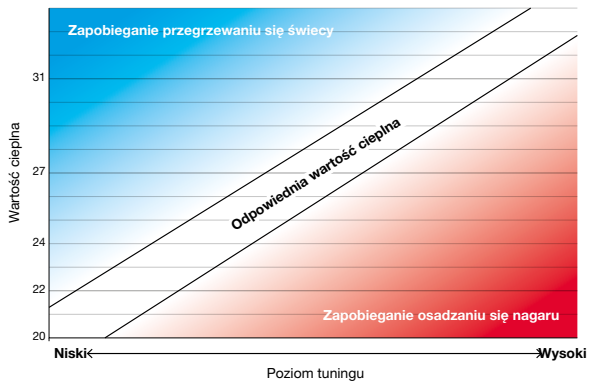
Świeca wyścigowa typu płaskiego, z płaską elektrodą masową, jest przeznaczona do użytku przy jeszcze wyższych ciśnieniach doładowania oraz w silnikach wyposażonych w system wtrysku podtlenku azotu.

Zakres temperatur roboczych
Wyższa moc wyjściowa silnika oznacza wyższe temperatury wewnątrz komory spalania. W efekcie zakres temperatur roboczych świecy zapłonowej musi zostać odpowiednio dobrany, jako że silniki o wyższej mocy wyjściowej wymagają zakresu temperatur o wyższym numerze (rys. 9.6). Istotny jest jednak także styl jazdy, ponieważ silniki samochodów używanych w normalnym ruchu nie osiągają takich samych temperatur jak silniki używane na torze. W związku z tym silnik do użytku na zwykłych drogach może wymagać niższego zakresu temperatur roboczych. W niektórych przypadkach zimą może być wymagany nieco niższy zakres temperatur, aby ułatwić zimny rozruch.

Iridium Power.
Idealna do używania w normalnym ruchu i okazjonalnie na torze.

Iridium Racing.
Zaprojektowane specjalnie pod kątem pojazdów wyścigowych lub okazjonalnie używanych na torze. Pokazana przykładowa świeca posiada skośną elektrodę masową, przeznaczoną do użytku w silnikach wolnossących i z turbodoładowaniem.

Rys. 9.5 Świece zapłonowe Iridium Power i Iridium Racing



Rys. 9.6 Wymagany zakres temperatur roboczych

W razie potrzeby inżynierowie DENSO chętnie pomogą w wyborze odpowiednich świec zapłonowych do konkretnego pojazdu. Więcej informacji można znaleźć na naszej stronie internetowej: **denso-am.pl /produkty /automotive-aftermarket / uklady-zaplonowe /swiece-zaplonowe/**

Mogą Państwo również skontaktować się z inżynierami DENSO pod adresem: **marketing@denso.nl**

10. CZĘSTO ZADAWANE PYTANIA, MONTAŻ I ROZWIĄZYWANIE PROBLEMÓW

10.1. CZĘSTO ZADAWANE PYTANIA

Jak wybrać odpowiednią świecę zapłonową?
Należy wziąć pod uwagę wiele czynników, takich jak rozmiary, wysunięcie i zakres temperatur roboczych. Najprostszym sposobem, by znaleźć właściwą świecę zapłonową, jest skorzystanie z e-katalogu DENSO (rys. 10.1 i 10.2).
E-katalog pozwala odnaleźć odpowiednie części DENSO na podstawie marki i modelu pojazdu lub odsyłacza.

Jaką świecę zapłonową mogę zamontować w silniku zasilanym LPG?
Silniki zasilane LPG i CNG wymagają wyższej wydajności świecy zapłonowej niż silniki benzynowe. W silnikach LPG/CNG sprawdzą się świece z linii TT, które spełniają ich wymogi. Więcej informacji w rozdziale 9, punkt 9.4.

Aby znaleźć właściwą dla swojego samochodu świecę zapłonową, można skorzystać z e-katalogu DENSO (rys. 10.1 i 10.2) pod adresem:
denso-am.pl/e-katalog

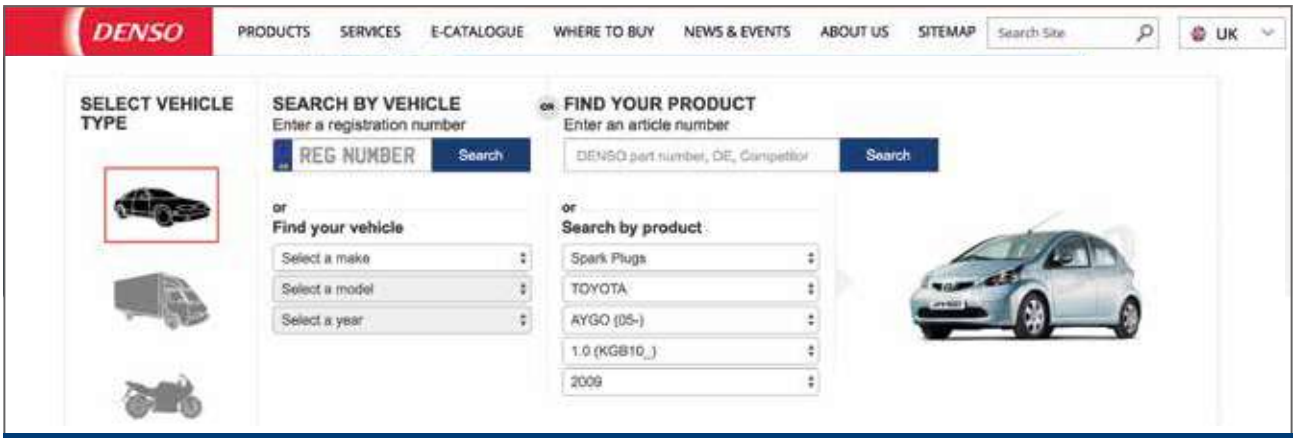
Czy potrzebuję zmienić odstęp między elektrodami?
Świece zapłonowe DENSO są produkowane z fabrycznie ustawionym odstępem pomiędzy elektrodami.
W przypadku świec niklowych, szczególnie w motocyklach, może być konieczne dostosowanie odstępu. Do zmiany odstępu należy zawsze używać specjalnie do tego przeznaczonego narzędzia. Nie należy zmieniać odstępu między elektrodami świec platynowych, irydowych lub Twin Tip, ponieważ cienkie elektrody mogą ulec uszkodzeniu.

Czym jest przedwczesny zapłon?
Przedwczesny zapłon lub samozapłon następuje wtedy, gdy mieszanka paliwowo-powietrzna spala się przed powstaniem iskry w wyznaczonym czasie. Może do tego dojść z powodu gorącej powierzchni wewnątrz komory spalania. Przedwczesny zapłon może zostać wywołany przez:

(1) Nadmiernie rozgrzaną końcówkę świecy zapłonowej (wybrano zły zakres temperatur roboczych).
(2) Niedostatecznie chłodzony zawór wydechowy.
(3) Żarzące się osady produktów spalania pozostałe po poprzednim cyklu spalania.

Więcej informacji na temat przedwczesnego zapłonu w punkcie 5.3.

Czym jest spalanie stukowe (detonacyjne)?
Spalanie stukowe następuje często w wyniku przedwczesnego zapłonu. Zamiast spalić się stopniowo mieszanka paliwowo-powietrzna wybucha w niekontrolowany sposób. Spalanie stukowe może być fatalne w skutkach dla świecy zapłonowej i spowodować poważne uszkodzenie silnika.
Więcej informacji na temat spalania stukowego w punkcie 5.3.



Rys. 10.1 E-katalog DENSO - część poświęcona pojazdom

Spark Plugs

kW	Engine Codes	Notes	Application years	Part number	TT	Iridium LPG/CNG	Qty of Fit
50	1KR-FE		07/05-05/11	K16HR-U11	KH16TT	IKH16TT	3

Rys. 10.2 Wyniki wyszukiwania świec zapłonowych w e-katalogu DENSO

10.1. CZĘSTO ZADAWANE PYTANIA 62
10.2. Prawidłowy montaż świec zapłonowych 64
10.3. Rozwiązywanie problemów 65

Jak często należy wymieniać świece zapłonowe?
Zasadniczo okres pomiędzy wymianami świec zapłonowych jest podawany przez producenta pojazdu. Te same okresy mają zastosowanie do świec zapłonowych DENSO.
Mogą one jednak ulec zmianie przy modernizacji świec zapłonowych na inny typ niż zalecany przez producenta.

W silnikach zasilanych LPG lub CNG żywotność świecy spada o 25-30%. Zaleca się regularne sprawdzanie stanu świec zapłonowych i wymianę w przypadku ich zanieczyszczenia.

Czy wolno nakładać smar na gwint świecy zapłonowej?
Nałożenie smaru do gwintów na gwint świecy zapłonowej grozi zbyt mocnym jej dokręceniem przy zastosowaniu zalecanego momentu obrotowego. Może to spowodować uszkodzenie świecy. W dalszej kolejności drgania mogą spowodować poluzowanie się świecy. Z tego względu DENSO zaleca nieużywanie smaru do gwintów.

Jedynie w kilku wyjątkowych przypadkach (na przykład w niektórych wózkach widłowych napędzanych LPG) może być konieczne nałożenie niewielkiej ilości smaru. W takich przypadkach świeca zapłonowa jest fabrycznie nasmarowana (patrz punkt 10.2).

Jaka jest różnica pomiędzy elektrodami bocznymi a elektrodami z wieloma elektrodami masowymi?
W silnikach o wtrysku bezpośrednim mieszanka paliwowo-powietrzna może być miejscami bardzo bogata, co może powodować zanieczyszczanie ceramicznego izolatora osadami produktów spalania. Nagar może utworzyć alternatywną drogę dla prądu elektrycznego wzdłuż izolatora do korpusu świecy (rys. 10.3a), powodując przerwę w zapłonie.

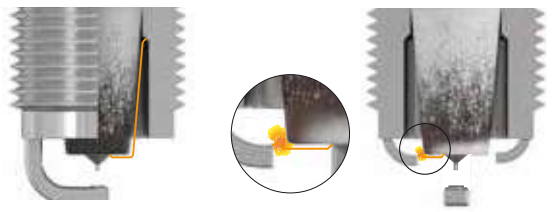
Dodanie elektrod bocznych (rys. 10.3b) powoduje skierowanie iskry z dala od izolatora do elektrody bocznej i zapobiega przerwom w zapłonie. Gdy zapłon rozpocznie się w pobliżu elektrod bocznych, wydzielane ciepło spali osady produktów spalania. W następnym cyklu izolator będzie czysty i iskra powstanie pomiędzy elektrodą środkową a główną elektrodą masową.

Jak dużego wzrostu wydajności mogę się spodziewać po modernizacji świec zapłonowych?
Wykazano poprawę mocy wyjściowej silnika o 5% po wymianie świec zapłonowych na Iridium TT lub Iridium Power. Zależy to jednak od silnika. Współczesne silniki są często fabrycznie wyposażone w świece zapłonowe o wysokiej wydajności, dlatego różnica nie jest tak duża. Poprawa wydajności objawia się zasadniczo lepszym rozruchem i płynniejszą pracy silnika. Więcej informacji na temat modernizacji świec zapłonowych w rozdziale 9.

Czy mogę wymienić świecę zapłonową z wieloma elektrodami masowymi na świecę z pojedynczą elektrodą masową?
Świece zapłonowe z wieloma elektrodami masowymi są preferowane przez niektórych producentów silników i pojazdów z uwagi na wydłużoną żywotność dzięki dodatkowym elektrodom masowym (rys. 10.4). Wydłużenie okresu pomiędzy wymianami świecy zapłonowej bez zastosowania metali szlachetnych jest bardzo efektywnym kosztowo rozwiązaniem.

Świece zapłonowe z wieloma elektrodami masowymi są zoptymalizowane pod kątem dłuższego okresu eksploatacji, a nie lepszej wydajności. Wymiana świecy zapłonowej z wieloma elektrodami masowymi na świecę z pojedynczą elektrodą masową poprawi jej wydajność, o ile weźmie się pod uwagę krótszą żywotność świecy z pojedynczą elektrodą.

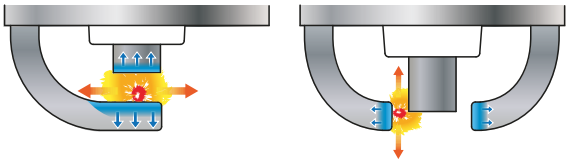
Jeżeli świeca z wieloma elektrodami masowymi zostanie wymieniona na irydową świecę o wydłużonej żywotności z jedną elektrodą masową, np. DENSO Iridium TT, okres użytkowania wręcz się wydłuży. Jednocześnie nastąpi poprawa wydajności.



a. Osady produktów spalania na stożku izolatora tworzy uziemienie dla prądu elektrycznego, które może uniemożliwić powstanie iskry pomiędzy elektrodami

b. Elektroda boczna prowadzi prąd z dala od izolatora, dzięki czemu może on popłynąć do ziemi przez elektrodę boczną i wytworzyć użyteczną iskrę

Rys. 10.3 Zaleta elektrod bocznych



Pojedyncza elektroda masowa zapewnia większą wydajność iskry

Zastosowanie wielu elektrod masowych zapewnia dłuższą żywotność

Rys. 10.4 Wydajność pojedynczej elektrody w porównaniu do elektrod bocznych

10.2. Prawidłowy montaż świec zapłonowych

Demontaż starych świec zapłonowych
W układach zapłonowych z przewodami zapłonowymi podłączonymi do świec zapłonowych najlepiej odłączyć przewody od świecy, ciągnąc za izolującą nasadkę, która osłania zakończenie świecy, a nie za węższą część przewodu. W niektórych przypadkach świeca jest osadzona głębiej w głowicy cylindra i może być konieczne użycie specjalnego narzędzia do usuwania przewodów świec zapłonowych. Sprawdź stan przewodów zapłonowych, zwracając uwagę na pęknięcia, złamania lub zanieczyszczenia, które mogłyby wywołać upływ wysokiego napięcia ze świecy zapłonowej, i wymień przewody, jeśli ich stan nie jest dobry.

Jeśli cewki zapłonowe są umiejscowione bezpośrednio na świecy zapłonowej, zapoznaj się ze wszelkimi specyficznymi instrukcjami demontażu cewki, które mogą mieć zastosowanie do danego pojazdu.

Przed zdemontowaniem starej świecy zapłonowej usuń olej, piasek i wszelkie inne zanieczyszczenia z zewnętrznej strony świecy, tak aby nie dostały się one do wnętrza silnika po zdemontowaniu świecy. Zdemontuj starą świecę przy pomocy klucza do świec zapłonowych lub klucza imbusowego o odpowiednim rozmiarze dla danej świecy.

Montaż, moment lub kąt dokręcania
Większość świec zapłonowych dla współczesnych silników ma fabrycznie dostosowany odstęp. Jednakże jeśli odstęp wymaga dostosowania, użyj specjalnego narzędzia do regulacji odstępu między elektrodami świecy zapłonowej. Zachowaj szczególną ostrożność podczas regulacji odstępu w platynowych i irydowych świecach zapłonowych. Elektrody łatwo ulegają uszkodzeniu.

Upewnij się, że nowa świeca jest właściwie ustawiona względem gwintowanego gniazda świecy zapłonowej, a następnie wkręć ją ręcznie aż do momentu, w którym będzie całkowicie osadzona.

Aby wkręcić świecę zapłonową do zalecanego momentu dokręcania, najlepiej użyj klucza dynamometrycznego o odpowiednim rozmiarze gniazda (zgodnie z tabelą momentów dokręcania na rys. 10.5). Jeśli nie masz klucza dynamometrycznego, zastosuj zalecany kąt dokręcania.

Zastosowanie właściwego momentu dokręcania podczas montażu świec zapłonowych jest bardzo ważne. Jeżeli zastosowany moment dokręcania będzie niewystarczający, może dojść do przecieków skutkujących stratami ciśnienia w komorze spalania, w szczególności podczas suwu pracy. Zbyt duży moment dokręcania spowoduje rozciągnięcie korpusu, które może wpłynąć na rozpraszanie ciepła lub naprężenia mechaniczne wewnątrz świecy zapłonowej, a nawet spowodować pęknięcie ceramicznego izolatora. Uszkodzony lub pęknięty izolator będzie powodował upływ iskry lub też zmieniał jej właściwości termiczne, co może prowadzić do nadmiernego rozgrzewania, przedwczesnego zapłonu, a w niektórych przypadkach nawet do uszkodzenia silnika.

Ponownie podłącz cewki lub przewody zapłonowe, upewniając się, że są one prawidłowo osadzone w zacisku świecy.

DENSO nie zaleca używania żadnego środka smarującego do gwintów. Nałożenie środka smarującego do gwintów, np. smaru, na gwint świecy, może doprowadzić do jej zbytniego dokręcenia podczas wkręcania świecy z zalecanym momentem obrotowym i spowodować nieszczelność. Środek smarujący jest wymagany tylko w szczególnych przypadkach. Wówczas świece zapłonowe DENSO są smarowane fabrycznie i gotowe do montażu po wyjęciu z opakowania.

Dokręcenie świecy zapłonowej z niewłaściwym momentem obrotowym powoduje utratę ważności gwarancji.

Rozmiar gwintu	Typ	Zalecany moment obrotowy	Zalecany kąt	
			Nowa świeca	Używana świeca
M8	Wszystkie typy	8 – 10 Nm	1 obrót	1/12 obrotu
M10	Inne niż podane poniżej	10 – 15 Nm	1/3 obrotu	1/12 obrotu
M10	Typy UFE, IUH, VUH, VNH	10 – 15 Nm	2/3 obrotu	1/12 obrotu
M10	Z uszczelką ze stali nierdzewnej (końcówka „S”)	10 – 15 Nm	3/4 obrotu	1/12 obrotu
M12	Wszystkie typy	15 – 20 Nm	1/3 obrotu	1/12 obrotu
M14	Inne niż podane poniżej	20 – 30 Nm	1/2 obrotu	1/12 obrotu
M14	Z uszczelką ze stali nierdzewnej (końcówka „S” lub G”)	20 – 30 Nm	2/3 obrotu	1/12 obrotu
M14	Wszystkie typy z gniazdem stożkowym	20 – 30 Nm	1/16 obrotu	1/16 obrotu
M18	Wszystkie typy	30 – 40 Nm	1/4 obrotu	1/12 obrotu

Rys. 10.5 Moment i kąty dokręcania świecy zapłonowej

UWAGA zabronione użycie świec zapłonowych

> **Nigdy nie używaj świec zapłonowych DENSO w silnikach jakichkolwiek urządzeń latających, w tym w samolotach, helikopterach, szybowcach i dronach. Dostępne w sprzedaży świece zapłonowe DENSO nie zostały zaprojektowane i wyprodukowane z przeznaczeniem dla jakiegokolwiek urządzenia latającego: ich użycie może spowodować katastrofę samolotu lub inne wypadki z powodu awarii silnika.**

> **Nigdy nie używaj świec zapłonowych DENSO wymienionych w tym katalogu w generatorach prądu i napędzanych gazem pompach ciepła w systemach klimatyzacji. Świece te nie zostały zaprojektowane i wyprodukowane w tym celu. Użycie świec zapłonowych w taki sposób może spowodować wypadki, w tym zatrzymanie wytwarzania prądu lub ciepła.**
Świece zapłonowe DENSO zaprojektowane specjalnie do generatorów (silników gazowych), zostały przedstawione w oddzielnym katalogu. Aby uzyskać więcej informacji, skontaktuj się z przedstawicielem firmy DENSO.

> **Nigdy nie używaj świec zapłonowych DENSO do zapłonu palnika gazowego. Dostępne w sprzedaży świece zapłonowe DENSO nie zostały zaprojektowane i wyprodukowane w tym celu. Ich użycie może spowodować awarię zapłonu lub uszkodzenie sprzętu wskutek przegrzania.**

10.3. Rozwiązywanie problemów

Możliwe jest wystąpienie wielu różnych objawów związanych z zapłonem, które początkowo mogą wydawać się związane ze świecami zapłonowymi. Jednakże wiele z tych objawów może być spowodowanych usterkami innych układów pojazdu lub innymi problemami, które mają wpływ na pracę świec zapłonowych.

W przypadku wystąpienia problemów należy najpierw upewnić się, czy typ używanych świec zapłonowych jest odpowiedni dla danego silnika i czy nie przekroczyły one zalecanego okresu użytkowania. Sprawdź stan elektrod i upewnij się, że izolator nie ma pęknięć lub uszkodzeń.

Poniższa lista zawiera niektóre łatwiejsze do zidentyfikowania problemy związane z zapłonem, które można zdiagnozować, przyglądając się z bliska elektrodom, stożkowi izolatora i korpusowi świecy, co często określa się mianem „odczytywania" świecy zapłonowej.

Normalne działanie

Wygląd: Jasnoszary lub brązowy osad i lekkie wżery na elektrodzie.

Zanieczyszczenie osadami produktów spalania

Wygląd: Sucha, miękka sadza na izolatorze i elektrodach.

Skutki: Słaby rozruch, przerwy w zapłonie w szczególności w trakcie przyspieszania oraz pod dużym obciążeniem.

Możliwe przyczyny: Zbyt bogate mieszanki paliwowo-powietrzne, niesprawne przewody zapłonowe, zbyt niski zakres temperatur roboczych świecy. W starszych pojazdach lub w pojazdach z regulowanym kątem wyprzedzenia zapłonu i gaźnikiem objawy mogą być spowodowane zbyt przyspieszonym/opóźnionym zapłonem lub usterkami związanymi z gaźnikiem, np. usterką układu zimnego rozruchu / ssania.

Zanieczyszczenie ołowiem

Wygląd: Żółte lub brązowe, przypominające żużel osady lub jasna, szklista powłoka na izolatorze

Skutki: Przerwy w zapłonie w razie nagłego przyspieszenia lub pod dużym obciążeniem, brak negatywnych skutków w typowych warunkach eksploatacji.

Możliwe przyczyny: Benzyna o wysokiej zawartości ołowiu.

Przegrzewanie

Wygląd: Mocno biały izolator z niewielkimi czarnymi osadami i przedwczesnymi wżerami elektrody.

Skutki: Utrata mocy przy dużej prędkości lub pod dużym obciążeniem.

Możliwe przyczyny: Niewystarczające dokręcenie świec, niewystarczające chłodzenie silnika, zbyt wysoki zakres temperatur roboczych świec, silna detonacja. W starszych pojazdach lub w pojazdach z regulowanym kątem wyprzedzenia zapłonu przyczyną może być nadmiernie opóźniony zapłon.

Przedwczesny zapłon

Wygląd: Stopiony lub spalony środek i/lub elektroda masowa, rozwarstwienie.

Wygląd świecy zapłonowej może dostarczyć wskazówek na temat niektórych usterek silnika, układu paliwowego lub zapłonu. Należy jednak pamiętać, że występowanie korony z rdzy, zwłaszcza gdy używane jest wyższe napięcie, jest normalne.

Rys. 10.6 Analiza usterek na podstawie wyglądu świecy zapłonowej

DENSO Europe B.V.
Hogeweyselaan 165, 1382 JL Weesp
The Netherlands

Tel: +31 294 493 493 I Fax: +31 294 417 122
marketing@denso.nl

www.denso-am.pl

DESP18PL03MM