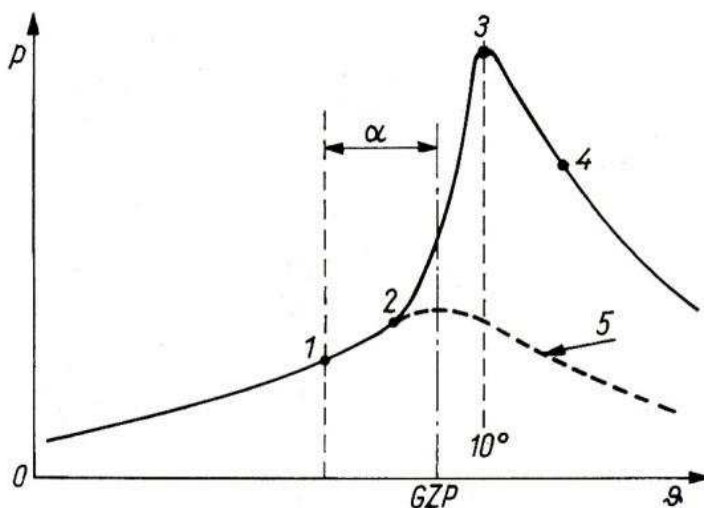


UKŁAD ZAPŁONOWY. Aparat zapłonowy

Regulacja kąta wyprzedzenia zapłonu

Po zapłonie mieszanki paliwowo-powietrznej niezbędny jest pewien czas na propagację płomienia w obszarze komory spalania. Jest to przyczyną niewielkiego opóźnienia między chwilą zapłonu a chwilą osiągnięcia maksymalnego ciśnienia spalania. Ponieważ parametry wyjściowe silnika są największe przy maksymalnym ciśnieniu spalania (to jest ok. 10° za **Górnym Zwrotnym Punktem** (GZP)), w związku z tym okres propagacji (rozprzestrzeniania) płomienia musi być wzięty pod uwagę przy określaniu kąta, przy którym następuje zapłon. Na rysunku 5.11 pokazano poszczególne fazy procesu spalania. Aby osiągnąć najkorzystniejsze parametry wyjściowe silnika, maksymalne ciśnienie spalania powinno wystąpić ok. 10° za GZP. Jednak, ze względu na zwłokę czasową niezbędną na rozprzestrzenienie się płomienia po zapłonie, zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej musi w rzeczywistości nastąpić przed GZP. Zwane jest to **wyprzedzeniem zapłonu**. Konieczne są zatem możliwości zmiany (przyspieszenia lub opóźnienia) kąta, przy którym następuje zapłon, aby kąt ten najlepiej odpowiadał prędkości obrotowej silnika, jego obciążeniu itp.



Rys. 5.11. Ilustracja poszczególnych faz procesu spalania w postaci charakterystyki ciśnienia w funkcji kąta obrotu wału korbowego:

1 – zapłon, 2 – początek spalania, 3 – maksymalne ciśnienie spalania, 4 – koniec spalania, 5 – tylko sprężanie, α – kąt wyprzedzenia zapłonu

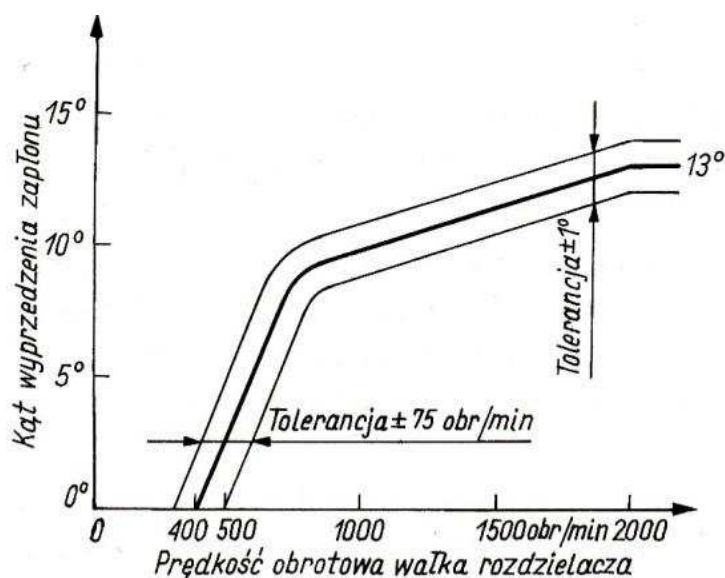
- GZP – Górny Zwrotny Punkt (GMP – górne martwe położenie tłoka)
- Najkorzystniejsze parametry silnika występują, gdy maksymalne ciśnienie spalania występuje około 10° za GZP.
- Ze względu na zwłokę czasową niezbędną na rozprzestrzenianie się płomienia po zapłonie, zapłon musi nastąpić przed GZP (wyprzedzenie zapłonu)
- Kąt wyprzedzenia zapłonu musi być dostosowany do obciążenia silnika i jego prędkości obrotowej.

W tym celu przewidziano **odśrodkowy i podciśnieniowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu**. Ponieważ czas rozprzestrzeniania się płomienia staje się dłuższy wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika i zmienia się w zależności od podciśnienia w kolektorze dolotowym (czyli od obciążenia silnika oraz składu mieszanki), a zatem kąt wyprzedzenia zapłonu powinien być regulowany w zależności od tych warunków.

W związku z tym, w aparacie zapłonowym przewidziano **podzespół regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu**, składający się z **regulatora odśrodkowego**, regulującego kąt

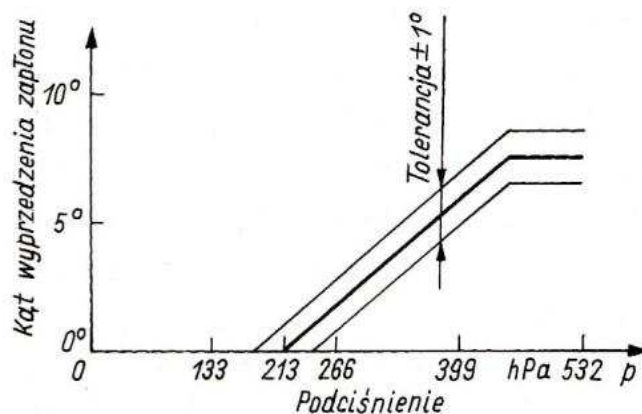
wyprzedzenia zapłonu zgodnie ze zmianą prędkości obrotowej oraz **regulatora podciśnieniowego**, regulującego kąt wyprzedzania zapłonu zgodnie ze zmianą obciążenia silnika.

Charakterystyka regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu zależy od typu silnika. Przykładową charakterystykę odśrodkowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu aparatu zapłonowego typu S91Bx pokazano na rys. 5.12, a charakterystykę podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu aparatu zapłonowego typu S91Bx - na rys. 5.13.



Rys. 5.12. Charakterystyka odśrodkowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu aparatu zapłonowego typu S91Bx

Rys. 5.13. Charakterystyka podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu aparatu zapłonowego typu S91Bx

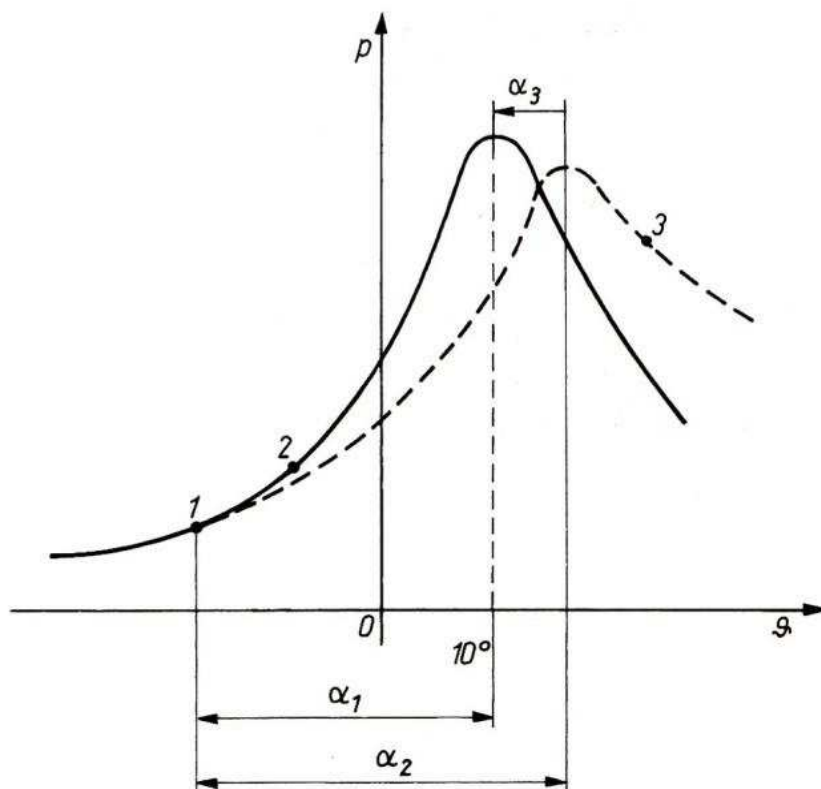


Odśrodkowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu

Odśrodkowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu reguluje kąt wyprzedzenia zapłonu zgodnie z prędkością obrotową silnika. Ponieważ prędkość rozchodzenia się płomienia jest prawie stała przy zmianach prędkości obrotowej silnika (przy stałym składzie mieszanki paliwowo-powietrznej), więc kąt obrotu wału korbowego w okresie rozprzestrzeniania się płomienia wzrasta. Innymi słowy: czas propagacji płomienia staje się dłuższy ($\alpha_1 < \alpha_2$) przy wzroście prędkości obrotowej silnika, a więc krzywa ciśnienia, ilustrująca kąt obrotu wału korbowego przy maksymalnym ciśnieniu, przesuwa się w prawo (rys. 5.14). Odśrodkowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu przyspiesza zatem zapłon wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika tak, aby maksymalne ciśnienie spalania wystąpiło zawsze przy kącie obrotu wału korbowego 10° za GZP.

Rys. 5.14. Charakterystyka ciśnienia w funkcji kąta obrotu wału korbowego ilustrująca działanie odśrodkowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu:

1 – zapłon, 2 – początek spalania, 3 – duża prędkość obrotowa silnika, α_3 – kąt wyprzedzenia maksymalnego ciśnienia, α_1 i α_2 – kąt wyprzedzenia zapłonu przy małej i dużej prędkości obrotowej silnika

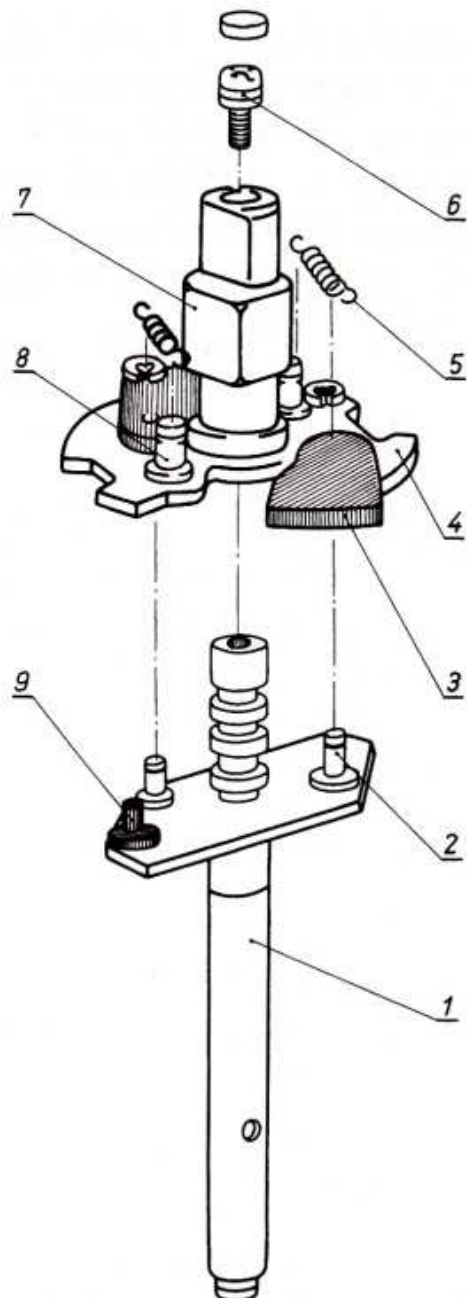


Na wałku aparatu zapłonowego są zamocowane ciężarki za pośrednictwem sworzni. Krzywka i płytki podstawy krzywki są przykręcone do górnej części wałka aparatu zapłonowego tak, że ich położenie względne może być zmieniane w kierunku obrotu wałka.

Odśrodkowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu obraca krzywkę względem wałka aparatu zapłonowego dzięki wykorzystaniu zwiększenia się siły odśrodkowej, działającej na ciężarki obracające się wraz z wałkiem - przyspieszając w ten sposób rozwieranie się styków przerywacza.

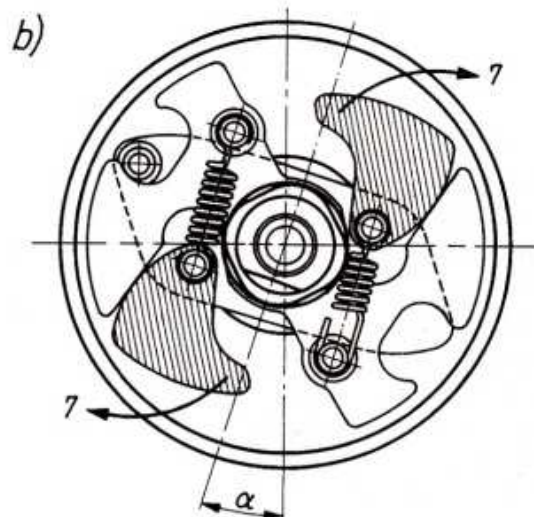
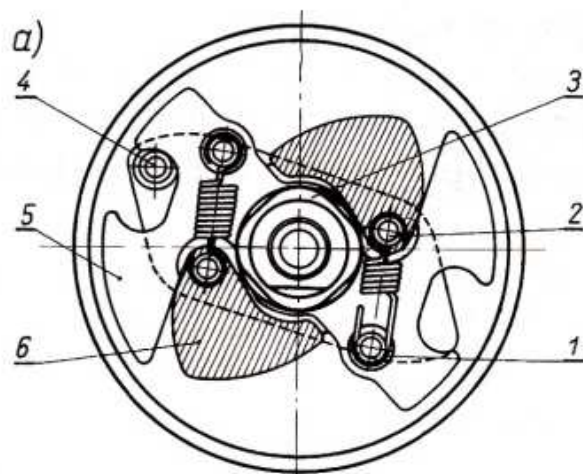
Jeden z końców obu sprężyn regulatora jest zaczepiony o sworznię ciężarka na wałku aparatu zapłonowego, a drugi koniec jest zaczepiony do sworzni sprężyny na płytce podstawy krzywki. Sprężyny te utrzymują ciężarki w położeniu bliskim osi wałka przy małych prędkościach obrotowych. Gdy wałek aparatu zapłonowego obraca się, wówczas ciężarki są wypychane na zewnątrz, obracając się wokół swoich sworzni. Powoduje to

obrót płytki podstawy krzywki względem wałka aparatu zapłonowego, aż do chwili, gdy siła odśrodkowa zostanie zrównoważona przez siłę sprężyn regulatora. Ponieważ krzywka jest połączona z płytką podstawy, przeto jest ona obracana o ten sam kąt (α) w tym samym kierunku. Powoduje to wcześniejsze o kąt α rozwarcie styków i przyspieszenie zapłonu. Dla określenia maksymalnego kąta wyprzedzenia zapłonu przewidziano trzpień prowadzący. Gdy wycięcie w płytce podstawy krzywki zetknie się z trzpieniem prowadzącym, wówczas nie będzie możliwy dalszy obrót, a tym samym wyprzedzenie zapłonu. Na rysunku 5.15 przedstawiono elementy składowe odśrodkowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu, a na rys. 5.16 - zmianę położenia ciężarków regulatora przy zwiększaniu prędkości obrotowej.



Rys. 5.15. Elementy składowe odśrodkowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu:

1 – wałek aparatu zapłonowego, 2 – trzpień ciężarka regulatora, 3 – ciężarek regulatora, 4 – płytki podstawy krzywki, 5 – sprężyna regulatora, 6 – śruba, 7 – krzywka, 8 – sworzeń sprężyny regulatora, 9 – trzpień prowadzący



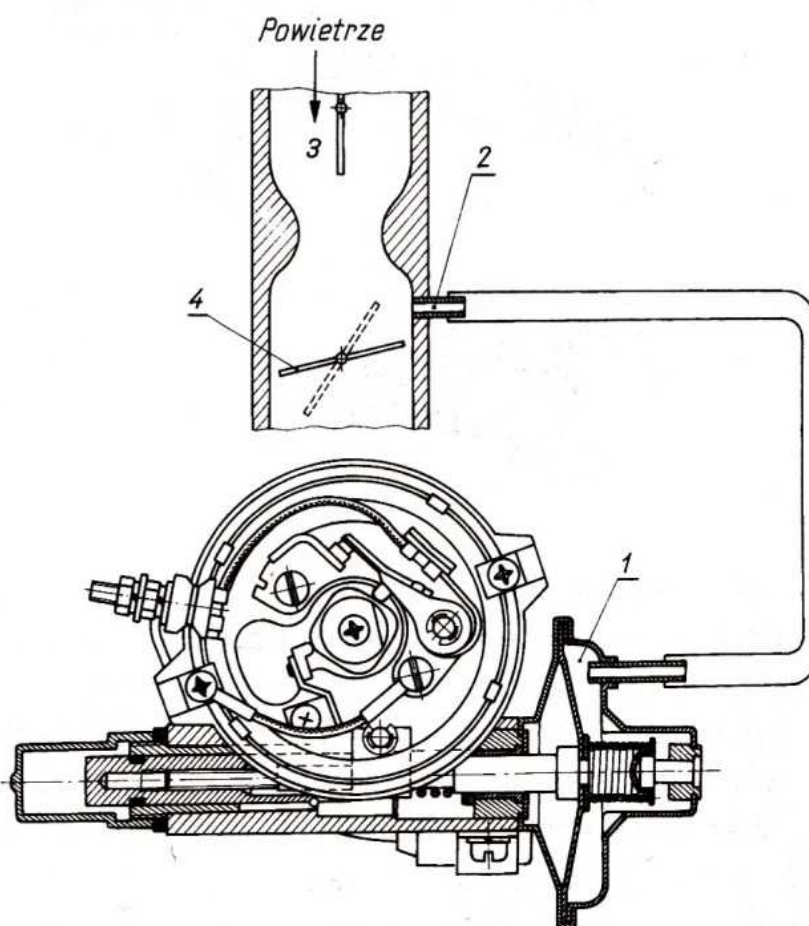
Rys. 5.16. Ilustracja zmiany położenia ciężarków regulatora przy zwiększaniu prędkości obrotowej silnika: a) prędkość mała; b) prędkość duża

1 – sprężyna regulatora, 2 – sworzeń sprężyny regulatora, 3 – krzywka, 4 – trzpień prowadzący, 5 – płytki podstawy krzywki, 6 – ciężarek regulatora, α – kąt wyprzedzenia zapłonu, 7 – siła odśrodkowa

Gdy prędkość obrotowa silnika znacznie wzrośnie, wówczas turbulencja mieszanki w cylindrze spowoduje zwiększenie prędkości rozprzestrzeniania się płomienia. Z tego względu, w zakresie dużych prędkości obrotowych przyspieszenie zapłonu w zależności od prędkości obrotowej jest niecelowe.

Podciśnieniowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu

Podciśnieniowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu reguluje zapłon na podstawie zmieniającego się podciśnienia w kolektorze dolotowym przy zmianie obciążenia silnika, odpowiednio przyspieszając kąt wyprzedzenia zapłonu. Przy niewielkim obciążeniu silnika, gdy otwarcie przepustnicy jest niewielkie, podciśnienie w kolektorze dolotowym silnika zwiększa się. Wysokie podciśnienie w kolektorze dolotowym pogarsza sprawność napełnienia silnika, powodując doprowadzenie niewielkiej ilości mieszanki paliwowo-powietrznej do cylindrów. Powoduje to zmniejszenie prędkości rozprzestrzeniania się płomienia po zapłonie. Gdy obciążenie silnika zwiększy się, wówczas podciśnienie w kolektorze dolotowym zmniejszy się. Wskutek tego sprawność napełnienia silnika poprawia się, co daje w rezultacie zwiększenie prędkości rozprzestrzeniania się płomienia po zapłonie. Podciśnieniowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu przyspiesza zatem zapłon przy niewielkim obciążeniu silnika, zapewniając występowanie maksymalnego ciśnienia spalania zawsze przy 10° za GZP.

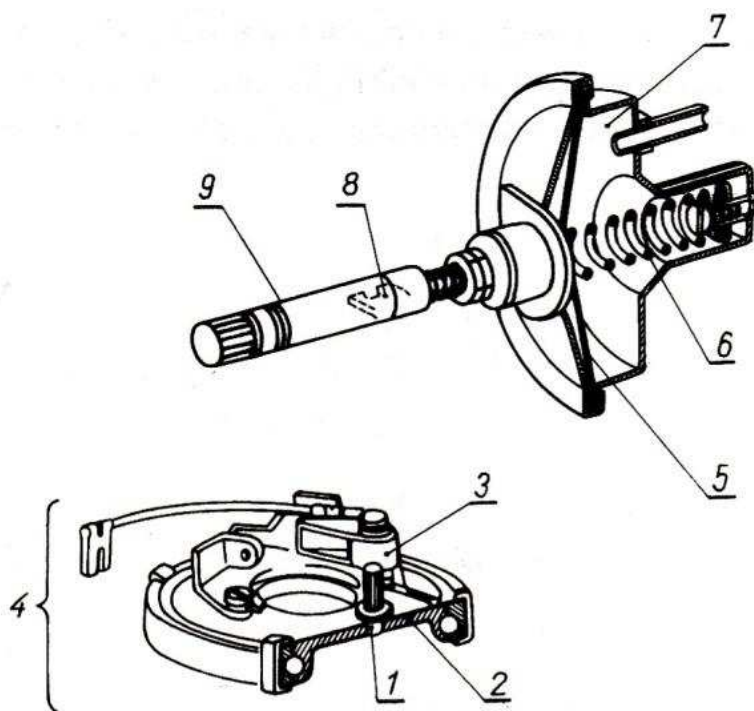


Rys. 5.17. Schemat podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu:
1 – przepona, 2 – końcówka wyjścia przewodu podciśnienia, 3 – wlot powietrza, 4 – przesłona przepustnicy

Na rysunku 5.17 przedstawiono schemat podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu. Składa się on z **regulatora** (przepona, sprężyna przepony, ciągnio regulatora itp.) oraz **przerywacza zapłonu** (płytki przerywacza, styki przerywacza, płytki nieruchome itp.).

Podciśnieniowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu jest przedzielony przeponą na **komorę podciśnieniową i komorę powietrzną**. Przy biegu jałowym silnika spalinowego (tzn. przepustnica zamknięta), w komorze podciśnieniowej i w przewodzie

podciśnieniowym wartość ciśnienia jest równa ciśnieniu atmosferycznemu i nie zachodzi konieczność przyspieszenia zapłonu (zwiększenia kąta wyprzedzenia zapłonu). Zwiększając obciążenie silnika spalinowego (tzn. otwierając przepustnicę) w komorze podciśnienia i w przewodzie podciśnieniowym wzrasta podciśnienie, powodując w konsekwencji pociągnięcie cięgna regulatora (rys. 5.18). Ponieważ zaczep cięgna regulatora jest połączony ze Sworznem na płytce przerywacza, więc płytka zostanie obrócona w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Następuje przyspieszenie zapłonu (tj. zwiększenie kąta wyprzedzenia zapłonu).



Rys. 5.18. Elementy podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu:
1 – sworzень, 2 – płytki przerywacza, 3 – styki przerywacza, 4 – przerywacz zapłonu, 5 – przepona, 6 – sprężyna przepony, 7 – komora podciśnieniowa, 8 – zaczep, 9 – cięgno regulatora

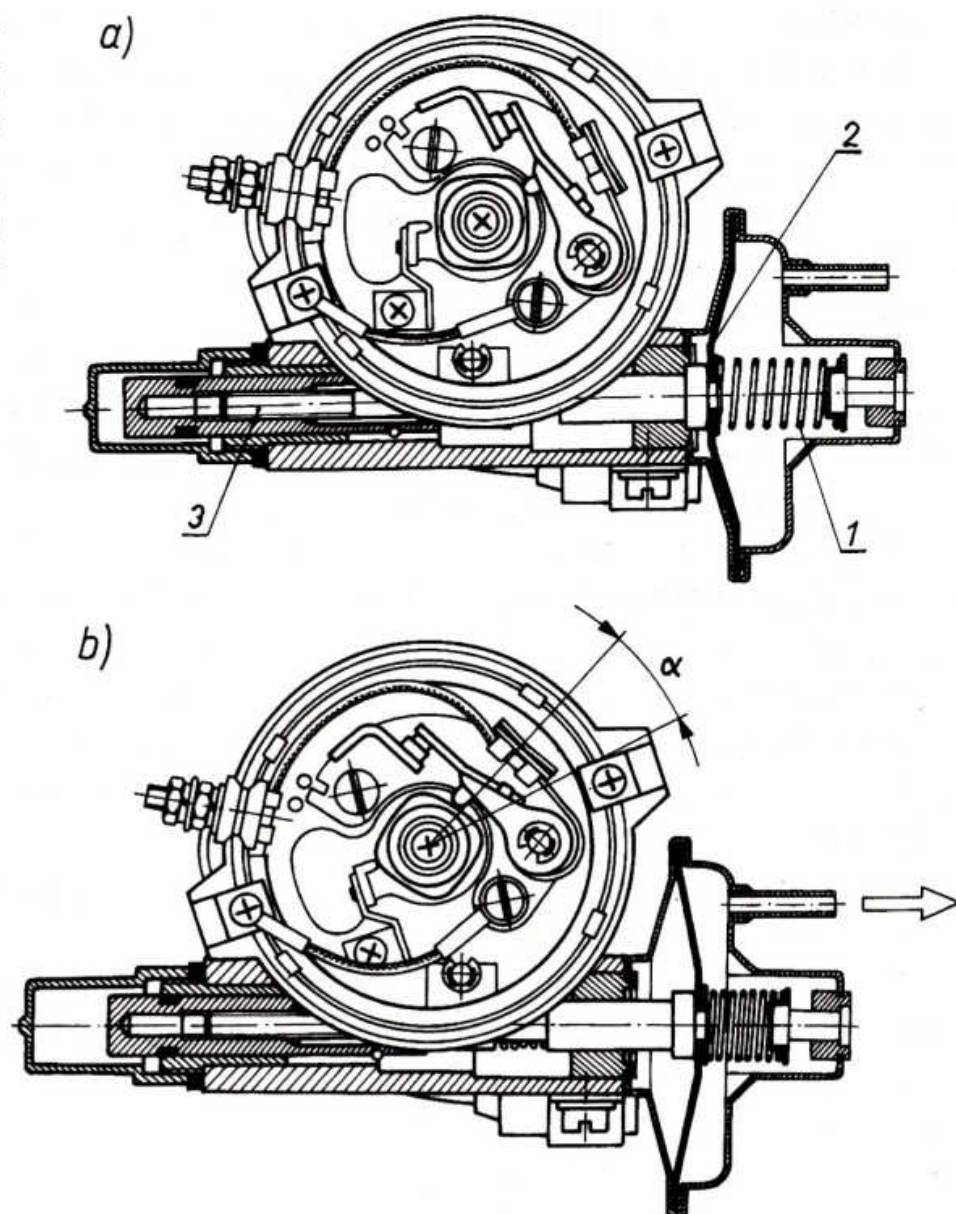
Na rysunku 5.19 przedstawiono regulator podciśnieniowy przed i podczas przyspieszania zapłonu. Przy niewielkim otwarciu przepustnicy podciśnienie w komorze podciśnienia ma znaczną wartość. Podciśnienie to oddziałuje na przeponę, ciągnąc cięgno regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu. W wyniku tego płytka przerywacza jest obracana w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu krzywki, zatem zapłon zostaje przyspieszony o kąt obrotu płytki. Przy dalszym wzroście podciśnienia na wejściu regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu - wzrasta przesunięcie przepony, a więc i kąt obrotu płytki przerywacza (kąt wyprzedzenia zapłonu).

Charakterystyka podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu, podobnie jak w przypadku regulatora odśrodkowego, jest określona na podstawie wymaganych osiągnięć silnika. Wyprzedzenie zapłonu jest regulowane przez siłę sprężyny przepony podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu.

W niektórych nowoczesnych silnikach, wyposażonych w urządzenia ograniczające emisję toksycznych składników spalin (reaktory katalityczne, filtry cząstek stałych), stosuje się podwójne podciśnieniowe regulatory kąta wyprzedzenia zapłonu. Ten typ regulatora nieznacznie przyspiesza zapłon na biegu jałowym, redukując zawartości węglowodorów (niespalonej benzyny) w spalinach.

Rys. 5.19. Regulator podciśnieniowy kąta wyprzedzenia zapłonu: a) przed przyspieszeniem zapłonu, b) podczas przyspieszania zapłonu

1 – sprężyna przepony, 2 – przepona, 3 – ciągnio regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu, α – kąt wyprzedzenia zapłonu

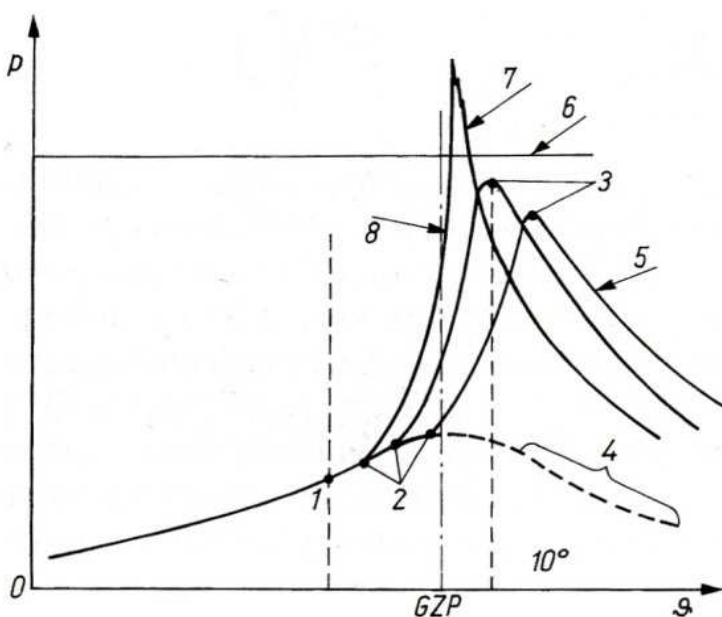


Selektor liczby oktanowej

Kąt wyprzedzenia zapłonu powinien być regulowany tak (przy oszacowaniu czasu spalania mieszanki paliwowo-powietrznej), aby ciśnienie spalania wewnątrz cylindra osiągało swoją wartość maksymalną przy kącie obrotu wału korbowego 10° za GZP. Szybkość spalania mieszanki paliwowo-powietrznej (prędkość rozprzestrzeniania się paliwa) jest zależna od rodzaju paliwa - od jego liczby oktanowej. Dlatego też kąt wyprzedzenia zapłonu powinien być wyregulowany w zależności od liczby oktanowej paliwa, co zapewni optymalne wykorzystanie mocy silnika, wyzwolonej w wyniku procesu spalania. Przy używaniu benzyny o małej liczbie oktanowej, punkt zapłonu (temperatura) paliwa jest niższy niż w przypadku benzyny normalnej, zatem czas pomiędzy wystąpieniem iskry na elektrodach świecy zapłonowej a spalaniem jest krótki, a szybkość spalania (prędkość rozprzestrzeniania się płomienia) wysoka. Dlatego maksymalne ciśnienie spalania wystąpi przy kącie mniejszym niż 10° za GZP. Z tej przyczyny, nie tylko silnik nie osiąga swych potencjalnych pełnych osiągnięć, lecz również ciśnienie wewnątrz cylindra staje się zbyt wysokie, powodując łatwe wystąpienie spalania stukowego związanego z samozapłonem.

Przy używaniu benzyny o dużej liczbie oktanowej punkt zapłonu jest wyższy niż w przypadku normalnego paliwa, zatem jest potrzebny dłuższy czas od wystąpienia iskry na elektrodach świecy zapłonowej do rozpoczęcia procesu spalania. Prędkość spalania w tym przypadku jest mała. Dlatego czas do osiągnięcia maksymalnego ciśnienia spalania może być zbyt długi, powodując wydłużenie spalania tak, że to ciśnienie zostanie osiągnięte przy kącie większym niż 10° za GZP. Ponieważ tłok w tym przypadku będzie znajdował się w dolnej części cylindra, ciśnienie spalania będzie zbyt małe i silnik nie będzie w stanie osiągnąć optymalnych parametrów pracy.

Jak z tego wynika, **przy używaniu paliwa o małej liczbie oktanowej zapłon powinien być opóźniony, a w przypadku paliwa o dużej liczbie oktanowej - przyspieszony.**



Rys. 5.20. Charakterystyki ciśnienia p w funkcji kąta obrotu wału korbowego θ , ilustrujące zmienność czasów rozprzestrzeniania się płomienia w zależności od liczby oktanowej paliwa - wg [4]:

1 - zapłon, 2 - początek rozprzestrzeniania się płomienia, 3 - maksymalne ciśnienie spalania, 4 - tylko sprężanie, 5 - duża liczba oktanowa, 6 - poziom samozapłonu, 7 - spalanie stukowe, 8 - mała liczba oktanowa

Na rysunku 5.20 przedstawiono charakterystyki ilustrujące zmienność czasów rozprzestrzeniania się płomienia w zależności od liczby oktanowej paliwa. W przypadku aparatu zapłonowego typu S91Bx (produkcji polskiej) zmianę kąta wyprzedzenia w zależności od liczby oktanowej paliwa można uzyskać przez zmianę ustawienia wałka rozdzielacza w stosunku do płytki przerywacza. W przypadku paliwa o niższej liczbie oktanowej płytkę przerywacza można obrócić o 5° zgodnie z kierunkiem wirowania wałka od położenia początkowego. Przeciwnie - w przypadku paliwa o wyższej liczbie oktanowej krzywkę przerywacza można obrócić o 5° od położenia początkowego w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania wałka. Zmiana kąta płytki przerywacza jest regulowana obrotem pierś-cienia umieszczonego między korpusem aparatu zapłonowego a regulatorem podciśnieniowym. W tabelicy 5.1 podano wybrane parametry aparatów zapłonowych, dotyczące kąta wyprzedzenia zapłonu.

Tabela 5.1

Wybrane parametry aparatów zapłonowych produkcji polskiej

Typ rozdzielacza zapłonu	Wyprzedzenie zapłonu	
	odśrodkowe	podciśnieniowe
S152A <i>Zelmot, Marelli</i>	$9^\circ \pm 1^\circ$	–
S146A <i>Marelli</i>	$14^\circ \pm 1^\circ$	–
S135Bx <i>Marelli, Cojowec</i>	$14^\circ \pm 1^\circ$	–
S147H <i>Marelli</i>	$14^\circ \pm 1^\circ$	–
S91B <i>Zelmot</i>	$10^\circ 30' \pm 1^\circ$	$7^\circ 30' \pm 1^\circ$
S91Bx <i>Zelmot</i>	$13^\circ \pm 1^\circ$	$7^\circ 30' \pm 1^\circ$
4492 <i>Zelmot</i>	$12^\circ \pm 1^\circ$	–

W różnych typach i rodzajach aparatów zapłonowych istnieją różne możliwości regulacji. **Niezależnie od typu aparatu zapłonowego, selektor liczby oktanowej umożliwia dokładne ustawienie kąta wyprzedzenia zapłonu przez zmianę charakterystyki regulatora podciśnieniowego w zależności od liczby oktanowej benzyny (rys. 5.21).**

Rys. 5.21. Zmiany charakterystyki podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu za pomocą selektora liczby oktanowej:

1 – zapłon przyspieszony, 2 – zapłon opóźniony, 3 – zapłon normalny

