Część 4

1. BUDOWA SILNIKA (KADŁUB, GŁOWICA, UKŁAD KORBOWO-TŁOKOWY)
2. DIAGNOSTYKA SILNIKA

Na podstawie niżej zamieszczonego materiału odpowiedz na pytania:

1. Wymień elementy układu tłokowo-korbowego.
2. Na czym polega diagnostyka silnika?

Odpowiedzi prześlij na adres: aglanc@ckz.swidnica.pl

TERMIN: 12 maj 2020

9.1. Funkcja i zasada działania układu korbowo-tłokowego

Układ korbowo-tłokowy zamienia ruch posuwisto-zwrotny tłoka w cylindrze na ruch obrotowy wału korbowego silnika. Tylko prawidłowa analiza kinematyczna układu korbowo-tłokowego umożliwia obliczenie obciążeń dynamicznych silnika, a dokładnie – wpływu przyspieszeń na siły bezwładności oraz rozkładu tzw. sił gazowych, wynikających z oddziaływania ciśnienia gazów spalinowych na denko tłoka (czasami określane jako korona). Informacje te są niezbędne, aby określić wymagania dotyczące materiału (wytrzymałość, gęstość, rozszerzalność cieplną itp.) oraz geometrii poszczególnych elementów składowych mechanizmu.

Układ korbowy jest bardzo obciążony zarówno cieplnie, jak i mechanicznie. Wśród obciążeń mechanicznych możemy wyróżnić działające w układzie:

- siły gazowe wynikające z nacisku gazów spalinowych na denko tłoka,
- siły bezwładności wynikające z oddziaływania przyspieszenia i opóźnienia na ruchome elementy układu (pochodzące zarówno od ruchu postępowego, jak i dośrodkowe),
- siły wypadkowe stanowiące sumę wektorową sił gazowych i bezwładności,
- siły normalne (prostopadłe), z których wynika siła tarcia pomiędzy powierzchnią boczną tłoka a ścianką cylindra.

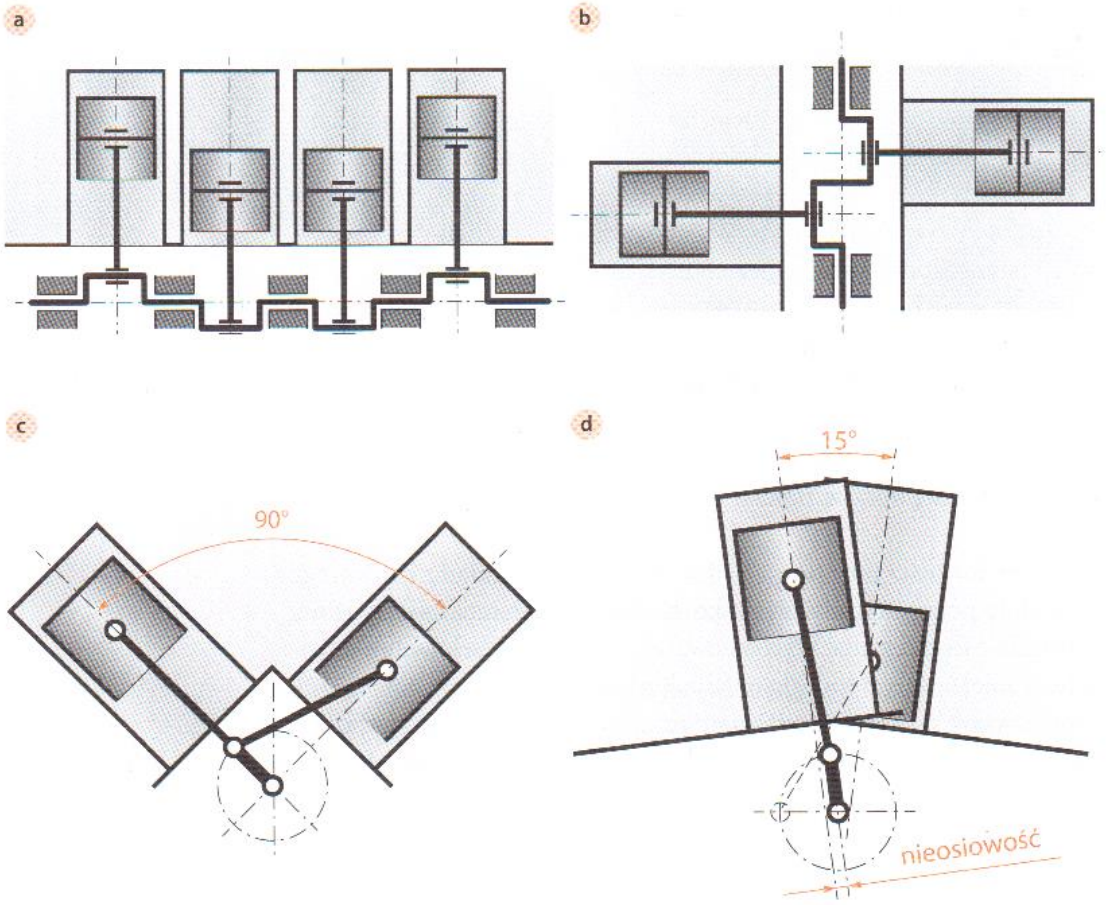
Zmienne wartości powyższych sił w trakcie ruchu układu korbowego powodują powstanie siły wypadkowej. Oddziałuje ona na cały silnik i powoduje jego drgania. Wyrównoważenie układu, częściowe lub całkowite, w zależności od rodzaju układu korbowo-tłokowego i konstrukcji silnika, wiąże się z wykorzystaniem przeciwciężarów (masy wyważającej) na wykorbieniach wału korbowego. Ich celem jest zminimalizowanie drgań pochodzących od sił bezwładności w układzie korbowo-tłokowym. W niektórych wypadkach stosuje się dodatkowe obracające się masy (wały wyrównoważające), zmniejszające drgania całego silnika.

9.2. Rodzaje układów korbowo-tłokowych

Budowa oraz konstrukcja układu korbowo-tłokowego w dużym stopniu zależą od wzajemnego położenia cylindrów oraz ich liczby w silniku.

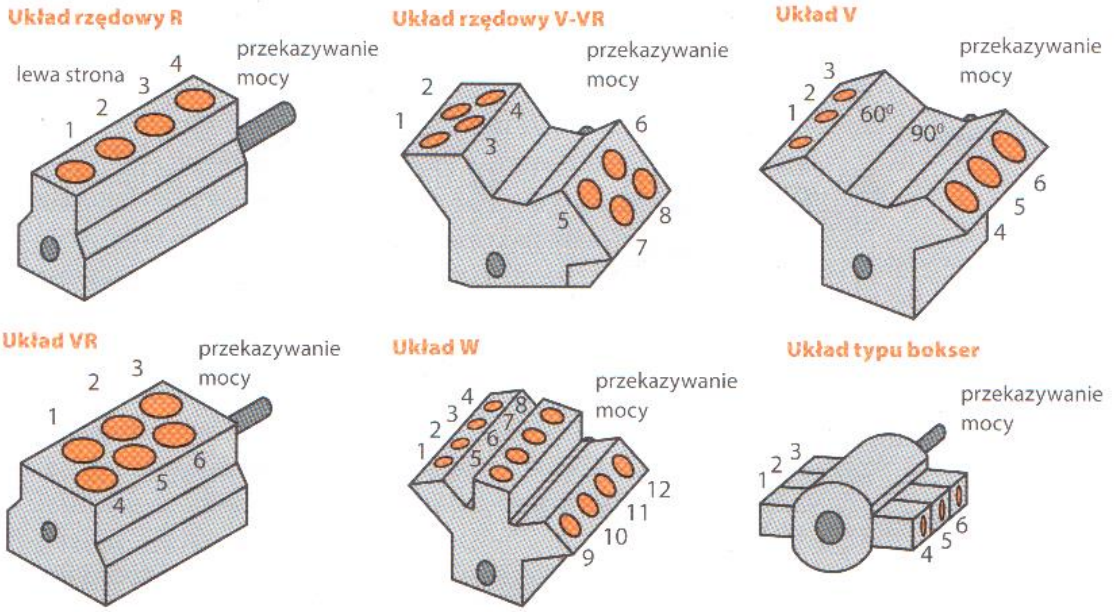
W zależności od usytuowania cylindrów w bloku silnika (rys. 9.1) rozróżniamy silniki:

- w układzie rzędowym,
- w układzie przeciwległym, zwanym potocznie bokser
- w układzie widlastym (w kształcie litery V, najczęściej kąty pomiędzy rzędami cylindrów wynoszą 60° lub 90°),
- inne złożenia tych rozwiązań – układ widlasto-rzędowy o niewielkim kącie rozwidlenia (np. 15°) oraz o przeciwległych parach cylindrów (180°) typu „rzeczywisty" bokser (cylindry i tłoki naprzeciw siebie, ze wspólną komorą spalania).



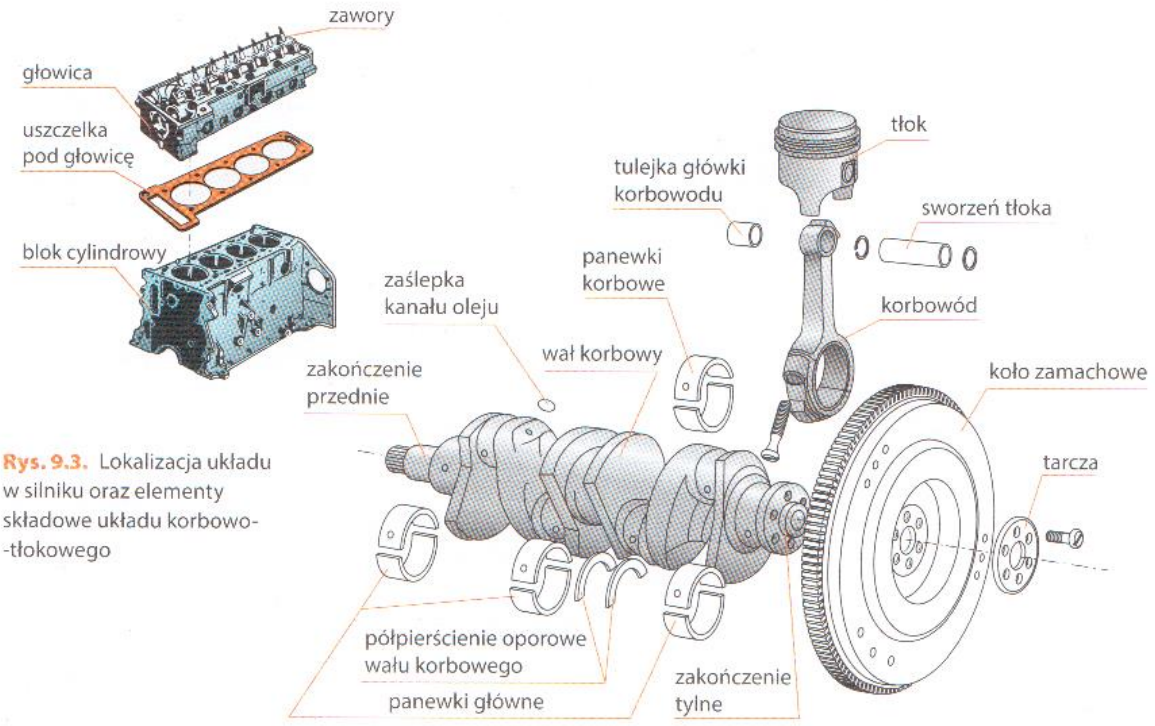
Rys. 9.1. Podział silników w zależności od usytuowania cylindrów: ⓐ w układzie rzędowym, ⓑ w układzie przeciwległym, ⓒ w układzie widlastym, ⓓ w układzie widlasto-rzędowym

Dla popularnych silników możemy wyróżnić układy przedstawione na rysunku 9.2.

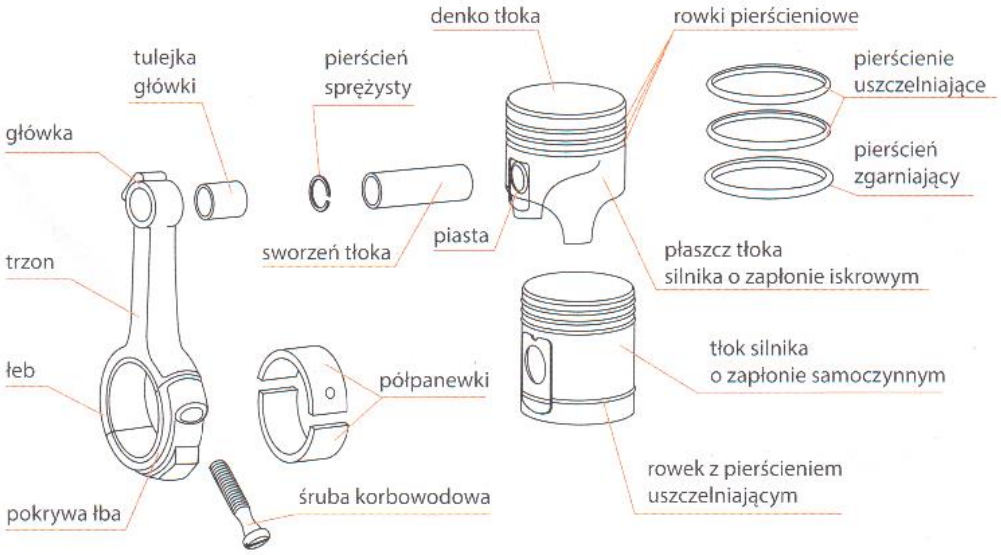


Rys. 9.2. Układy silników spalinowych. Liczba cylindrów może być różna, spotyka się np. silniki R2, R3, R4, R5 i R6 (dawniej także R8), także V2, V4, V6, V8, V10, V12. Wszystkie one realizowane są jako silniki czterosuwowe, a budowa układu rozrządu i system pracy silnika nie mają ścisłego związku z układem cylindrów

Układ tłokowo-korbowy jest integralną częścią silnika. Jest on zabudowany w bloku (kadłubie) silnika, co przedstawiają rysunki 9.3 i 9.4.



Rys. 9.3. Lokalizacja układu w silniku oraz elementy składowe układu korbowo-tłokowego

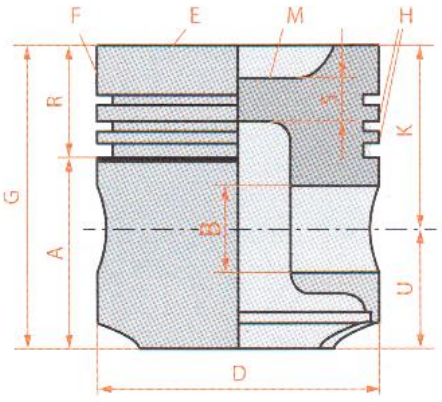


Rys. 9.4. Elementy składowe zespołu tłoka z korbowodem

Elementami typowego układu korbowo-tłokowego są (rys. 9.4):
- **tłok silnika z pierścieniami**,
- **sworzeń tłokowy**,
- **korbowód**,
- **wał korbowy silnika**.

Tłok silnika spalinowego

Tłok silnika spalinowego bierze bezpośredni udział w przemianie energii cieplnej paliwa na energię mechaniczną. Spalona mieszanka paliwo–powietrze zamienia się w gazy spalinowe pod bardzo dużym ciśnieniem, które wykonują pracę, naciskając na denko tłoka i przesuwając go w cylindrze. Tłok pracuje w bardzo trudnych warunkach, przenosząc obciążenia cieplne oraz mechaniczne. Budowę tłoka przedstawiono na rysunku 9.5.

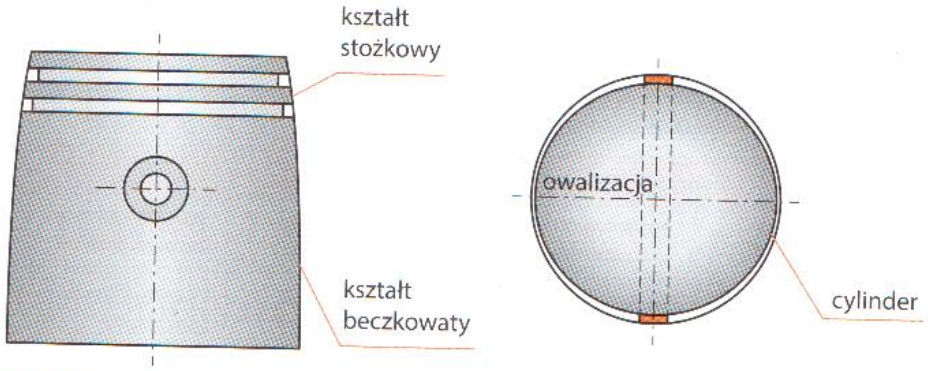


Rys. 9.5. Budowa tłoka silnika spalinowego : A – długość trzonu (części prowadzącej) tłoka, B – średnica sworznia tłokowego, D – średnica tłoka, E – dno tłoka, F – część ogniowa tłoka, G – długość całkowita, H – część pierścieniowa tłoka, R – strefa pierścieni tłokowych, K – wysokość części sprężającej, M – niecka komory spalania, U – długość dolnej części tłoka, S – grubość dna tłoka

Wśród części składowych tłoka wyróżniamy:

- denko – w zależności od typu silnika może być płaskie, wklęsłe, wypukłe lub o bardziej skompilowanych kształtach (komory zawirowań itp.). W trakcie pracy silnika nagrzewa się ono do temperatury 300–400°C. Odprowadzanie ciepła następuje poprzez części pierścieniową (do tulei cylindra), nośną (także do tulei cylindra) oraz poprzez wewnętrzną powierzchnię denka (do oleju w skrzyni korbowej);
- część pierścieniowa – ma za zadanie mocowanie oraz prowadzenie pierścieni tłokowych, których liczba zależy od rozwiązania konstrukcyjnego silnika;
- część nośna (część prowadząca, płaszcz) – położona jest ona poniżej części pierścieniowej, zapewnia stabilizację tłoka w cylindrze oraz przenosi naciski tłoka na gładź cylindra;
- piasta – służy do łożyskowania sworznia tłokowego łączącego obrotowo główkę korbowodu z tłokiem.

Ze względu na wysokie wymagania dotyczące zakresu temperatury pracy tłoka, jego kształt jest ściśle określony w poszczególnych przekrojach (rys. 9.6). Dlatego producent zawsze dokładnie określa miejsce, w którym należy dokonywać pomiaru średnicy tłoka, by porównać wyniki z danymi fabrycznymi.

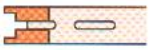


Rys. 9.6. Przekrój tłoka

Pierścienie tłokowe to elementy konstrukcyjne w postaci sprężystych, przeciętych pierścieni. W zależności od funkcji dzielimy je na (tab.. 9.1):

- pierścienie uszczelniające (górne) – ich zadaniem jest uszczelnienie tłoka w cylindrze oraz odprowadzenie ciepła z denka i płaszcza tłoka do ścianki cylindra;
- pierścienie zgarniające (dolne) – ich zadaniem jest ograniczenie ilości oleju przedostającego się do przestrzeni nad tłokiem.

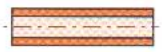
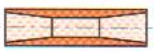
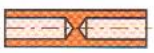
Tab. 9.1. Rodzaje pierścieni tłokowych. Prócz przedstawionych stosuje się też pierścienie (najczęściej zgarniające) o konstrukcji wieloczęściowej.

Pierścienie tłokowe					
Pierścienie uszczelniające			Pierścienie zgarniające		
Przekrój poprzeczny	Nazwa	Skrótowe oznaczenie	Przekrój poprzeczny	Nazwa	Skrótowe oznaczenie
	pierścień prostokątny	R		pierścień noskowy	N
	pierścień minutowy (nazwa pochodzi od niewielkiego kąta nachylenia stożka zewnętrznej powierzchni)	M		pierścień olejowy (normalny)	O
	pierścień trapezowy (jednostronnie)			pierścień olejowy ze sprężyną śrubową zwaną ekspanderem	

Sworzeń tłokowy

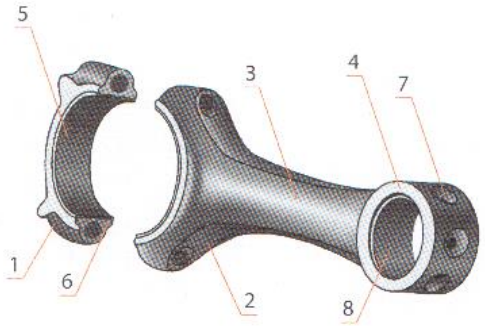
Sworzeń tłokowy łączy obrotowo główkę korbowodu oraz piastę tłoka. Jest prostym elementem w kształcie walca często z wydrążeniem, które ma na celu zmniejszenie jego masy. Typowe rodzaje sworzni tłokowych przedstawiono w tabeli 9.2.

Tab. 9.2. Rodzaje sworzni tłokowych

Sworznie tłokowe – rodzaje, cechy				
Typ sworznia				
Cecha	Przelotowy cylindryczny otwór	Stożkowe końcówki przelotowego otworu	Otwór jednostronnie zamknięty	Otwór w środku zamknięty
Zastosowanie	Silniki z zapłonem iskrowym i samoczynnym	Silniki samochodów sportowych	Silniki dwusuwowe	Dwusuwowe silniki sportowe

Korbowód

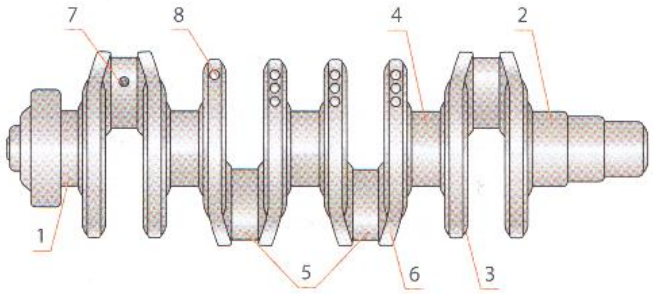
Korbowód to element łączący tłok z wałem korbowym. Zadaniem korbowodu jest przeniesienie sił działających na tłok oraz zmiana ruchu postępowo-zwrotnego (lub posuwisto-zwrotnego) tłoka na ruch obrotowy wału korbowego. Budowę korbowodu przedstawia rysunek 9.7.



Rys. 9.7. Budowa korbowodu: 1 – panewka łożyska korbowodu, 2 – trzon korbowodu, 3 – główka korbowodu, 4 – otwór olejowy, 5 – pokrywa stopy korbowodu, 6 – powierzchnia podziału, 7 – stopy korbowodu, 8 – tuleja łożyskowa

Elementami korbowodu są m.in.:
- główka korbowodu – mocująca sworzeń tłoka;
- trzon korbowodu – najczęściej o przekroju dwuteowym (H), łączący stopę oraz główkę korbowodu;
- stopa korbowodu – dzielona oprawa łożyska ślizgowego służąca do połączenia z czopem korbowym wału korbowego.

Wał korbowy silnika zmienia ruch postępowo-zwrotny na obrotowy, jednocześnie zapewniając przekazanie momentu obrotowego na sprzęgło oraz napęd urządzeń pomocniczych (rozrząd, pompa wody itp.) Budowę wału korbowego przedstawia rysunek 9.8.



Rys. 9.8. Budowa wału korbowego: 1 – czop łożyska ustalającego, 2 – czop pierwszego łożyska wału, 3 – masy wyważające, 4 – czop łożyska podporowego (główne), 5 – czopy łożysk korbowych, 6 – ramię korby, 7 – otwór doprowadzający olej, 8 – otwory po wyrównoważeniu

9.3. Diagnozowanie układu korbowego

Układ korbowo-tłokowy jest jednym z układów mechanicznych znajdujących się w kadłubie silnika. Podczas diagnozowania układu korbowo-tłokowego należy sprawdzić:
- silnik (oględziny zewnętrzne oraz zachowanie podczas pracy),
- stan techniczny układu korbowo-tłokowego,
- szczelność cylindrów,
- podciśnienie w przewodzie dolotowym,
- części układu korbowo-tłokowego po demontażu z silnika.

9.3.1. Diagnostyka organoleptyczna

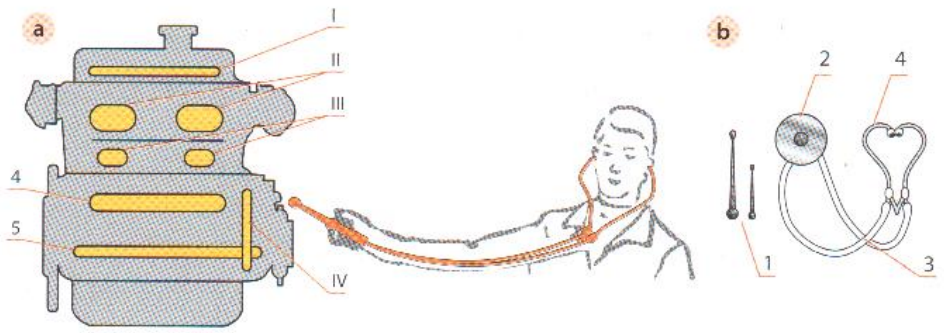
Silnik należy sprawdzić organoleptycznie: wizualnie podczas uruchamiania oraz osłuchowo za pomocą stetoskopu. Jeśli istnieje taka możliwość, warto przeprowadzić inspekcję cylindrów i komór spalania z wykorzystaniem endoskopu.

Oględziny silnika obejmują m.in.:
- ocenę stanu przewodów elastycznych podciśnienia – zwracamy uwagę na pęknięcia, nadgryzienia (np. przez gryzonie), obluzowania,
- ocenę luzów w mechanizmach napędzających osprzęt,
- szczelność układów chłodzenia, smarowania i zasilania – zwracamy uwagę na wszelkiego rodzaju wycieki paliwa, oleju silnikowego, wody, przedmuchy spalin,
- sprawdzenie stanu oleju oraz stanu i jakości cieczy chłodzącej (olej w cieczy chłodzącej może świadczyć o uszkodzeniu uszczelki pod głowicą lub pęknięciu kadłuba silnika).

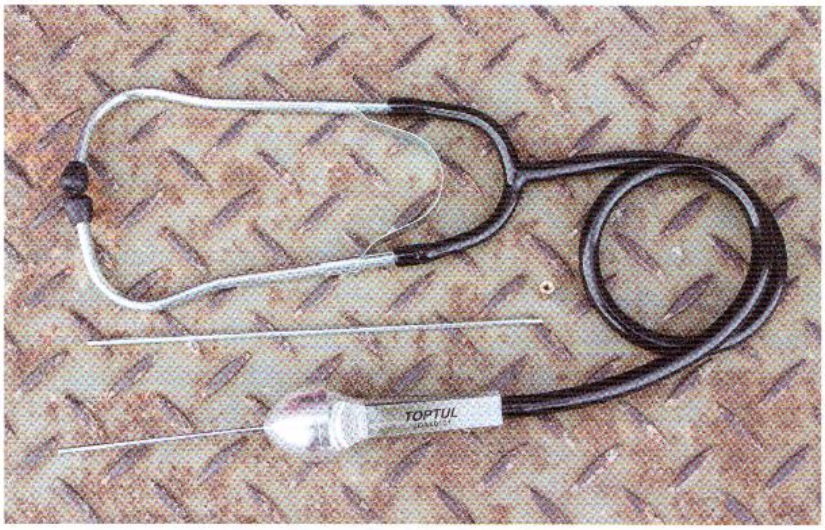
Diagnozowanie podczas uruchamiania silnika polega na:
- sprawdzeniu ciśnienia oleju, hałaśliwości pracy i drgań silnika, zabarwienia spalin, ewentualnych wycieków oraz przedmuchów,
- osłuchaniu silnika za pomocą stetoskopu.

Za pomocą stetoskopu (tradycyjnego lub elektronicznego) osłuchujemy pracujące elementy silnika (rys. 9.9, fot. 9.1).

Stetoskop elektroniczny działa jak tradycyjny stetoskop, ale pozwala precyzyjnie dostosować czułość urządzenia. Sygnał akustyczny w słuchawkach poddawany jest obróbce, co pozwala zredukować zakłócenia zewnętrzne (fala dźwiękowa z danego miejsca przechodzi do przetwornika, następnie zostaje odpowiednio obrobiona i trafia do ucha za pośrednictwem słuchawek). Zaawansowane urządzenia często umożliwiają nagranie dźwięku towarzyszącego danemu defektowi.



Rys. 9.9. (a) Miejsca osłuchania silnika stetoskopem i sposób jego użycia, (b) budowa stetoskopu: 1 – czujnik, 2 – puszka z membraną, 3 – przewody gumowe, 4 – słuchawki



Fot. 9.1. Elektroniczny stetoskop diagnostyczny

W strefie I i II (rys. 9.11a) ocena hałasu pozwala wykryć:
- nadmierny luz w układzie zaworowym, uszkodzenie krzywki rozrządu, popychacza itp. – dźwięczne metaliczne stuki, „klepanie",
- pęknięcie sprężyny zaworowej – cichy mechaniczny stuk regularnie co dwa obroty wału korbowego.

W strefie III (rys. 9.11a) ocena hałasu pozwala wykryć:
- zbyt duży luz w skojarzeniu tłok–cylinder, szczególnie podczas przyspieszania – regularnie przerywany, trzaskający dźwięk średniej wysokości,
- zbyt duże luzy sworzni tłokowych – głośny metaliczny dźwięk najwyraźniej słyszalny w zakresie średnich prędkości obrotowych.

W strefie IV (rys. 9.11a) ocena hałasu pozwala wykryć:
- nadmierny luz w łożyskach korbowych – dźwięki o średnim natężeniu i średniej wysokości, o charakterze metalicznych stuków, regularnych co obrót wału korbowego.

W strefie V (rys. 9.11a) ocena hałasu pozwala wykryć:
- nadmierny luz w łożyskach głównych wału korbowego – niski regularny stuk o głuchym tonie,
- nietypowe dźwięki przypominające mielenie, gwizdanie – zazwyczaj wskazują na pogorszenie stanu łożyska.

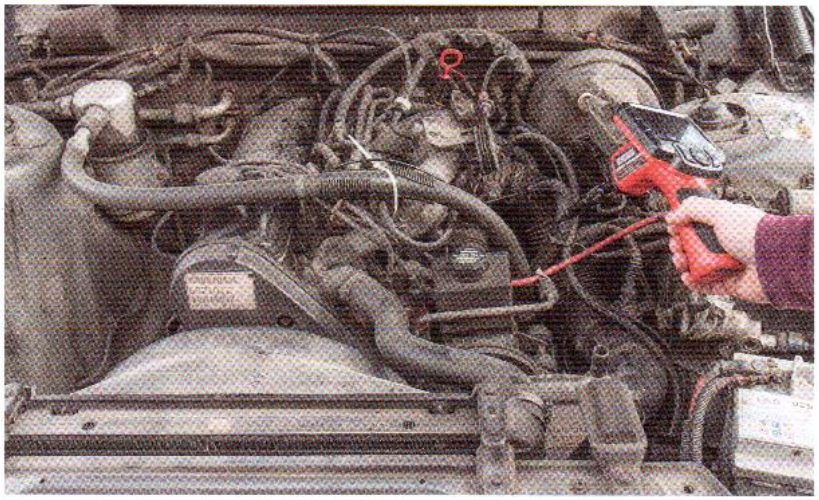
W strefie VI (rys. 9.11a) ocena hałasu pozwala wykryć:
- ocieranie przez rozciągnięty łańcuch rozrządu.

Diagnozowanie za pomocą stetoskopu wymaga dużego doświadczenia oraz znajomości budowy oraz typu silnika. W przeciwnym razie nie da się rozróżnić hałasu wywołanego procesami spalania od hałasu wynikającego z uszkodzeń mechanicznych poszczególnych układów. Dlatego choć metoda ta jest szybka i tania, zazwyczaj nie jest wystarczająca.

Badanie stanu technicznego endoskopem

Badanie stanu technicznego endoskopem (fot. 9.2 i 9.3) jest wykonywane w celu obserwacji wnętrza komory spalania. Giętką końcówkę endoskopu o średnicy kilku milimetrów wkładamy w gniazdo świecy zapłonowej, świecy żarowej lub wtryskiwacza. Obserwacja powierzchni zaworów, gładzi cylindra, komory spalania oraz denka tłoka umożliwia ocenę stanu technicznego silnika.

Fot. 9.2. Endoskop

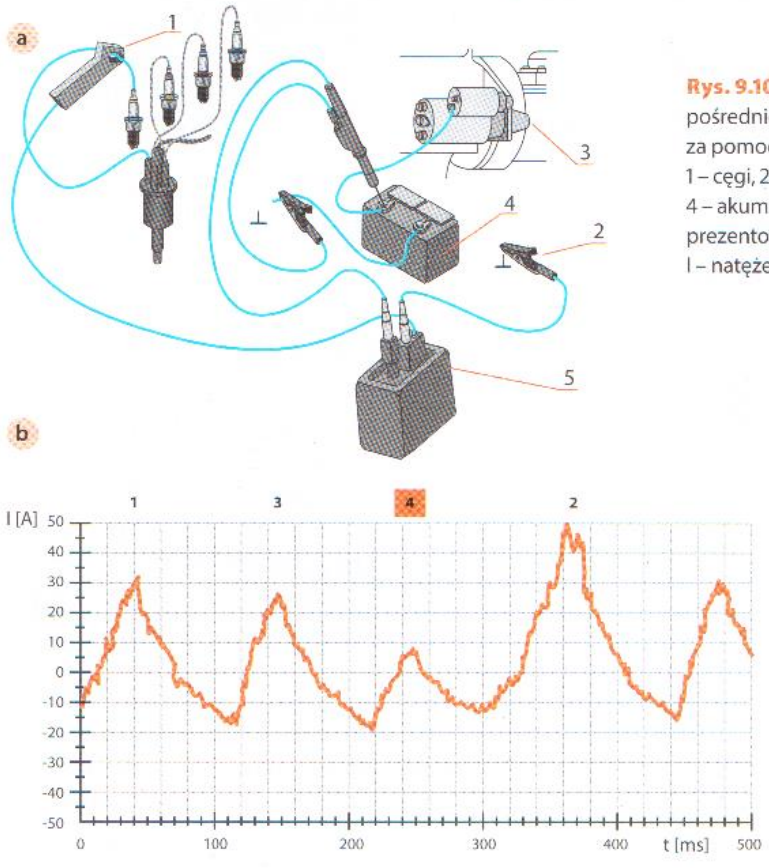


Fot. 9.3. Diagnostyka silnika z wykorzystaniem endoskopu

9.3.2. Pomiar ciśnienia sprężania

Zużycie gładzi cylindrów, pierścieni tłokowych, tłoków, zaworów oraz gniazd zaworowych wpływa na wartość ciśnienia sprężania. Oceny stanu technicznego tych elementów możemy dokonać, mierząc ciśnienie sprężania metodą pośrednią i bezpośrednią.

Pośredni pomiar ciśnienia sprężania wykonywany jest za pomocą testera lub diagnoskopu. Przebieg poboru prądu odwzorowuje zmiany momentu potrzebnego do obracania wałem korbowym. Po podłączeniu amperomierza szczypcowego do przewodu akumulatora (rys. 9.10a) można pośrednio ocenić stopień sprężania (rys. 9.10b), analizując przebieg prądu pobieranego przez rozrusznik podczas rozruchu silnika. Pośredni pomiar ciśnienia sprężania powinien być wykonywany na ciepłym silniku. Badanie umożliwia jedynie porównanie wartości ciśnień osiąganych w poszczególnych cylindrach. Dopuszczalna różnica między cylindrami nie powinna przekraczać wartości 5 A na amperomierzu. Jeżeli wartość ta zostanie przekroczona, to w danym cylindrze należy dokonać dokładnego pomiaru ciśnienia za pomocą manometru.

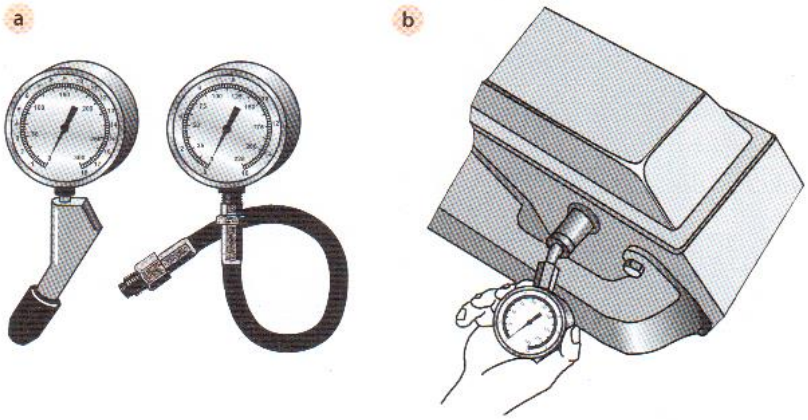


Rys. 9.10. ⓐ Schemat układu pośredniego pomiaru ciśnienia sprężania za pomocą amperomierza szczypcowego: 1 – cęgi, 2 – przyłącza masy, 3 – rozrusznik, 4 – akumulator, 5 – miernik, ⓑ test sprężania prezentowany na ekranie oscyloskopu I – natężenie prądu, t – czas

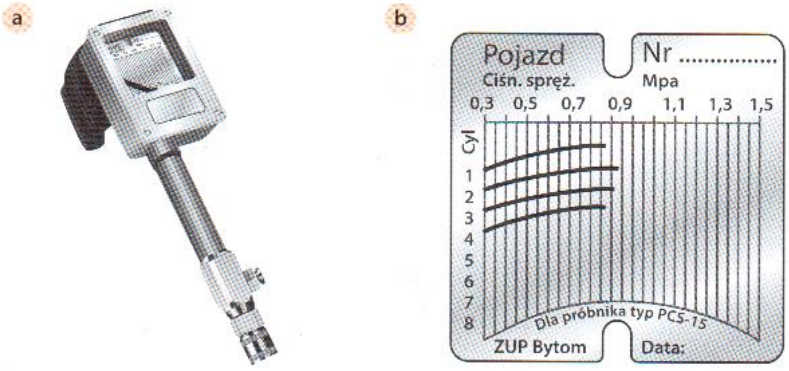
UWAGA

Badanie przeprowadzamy przy niewielkiej prędkości obrotowej silnika, zwykle obracając wał korbowy rozrusznikiem. Prędkość obrotowa wału nie powinna być jednak mniejsza niż 100 obr./min!

Bezpośredni pomiar ciśnienia sprężania wykonywany jest za pomocą manometru (rys. 9.11) wkręcanego w otwór świecy zapłonowej lub za pomocą przyrządu z końcówką wkręcaną w otwór wtryskiwacza. Test powinien być przeprowadzony na ciepłym silniku po doprowadzeniu go do normalnej temperatury pracy i z całkowicie otwartą przepustnicą. Luzy zaworowe należy w miarę możliwości wyregulować. Po spełnieniu tych wymagań wykręcamy kolejno wszystkie świece iskrowe (silnik ZI) lub świece żarowe albo wtryskiwacze (silnik ZS) i w te miejsca montujemy miernik. Badane wartości ciśnienia sprężania możemy odczytać – w zależności od rodzaju wykorzystanego miernika – z podziałki tarczy manometru, z wykresu rejestratora samopiszącego (rys. 9.12) lub z wyświetlacza cyfrowego. Otrzymane wyniki pomiarów porównujemy z wartościami nominalnymi dla danego rodzaju silnika.



Rys. 9.11. ⓐ Manometry do pomiaru ciśnienia sprężania, ⓑ sposób pomiaru

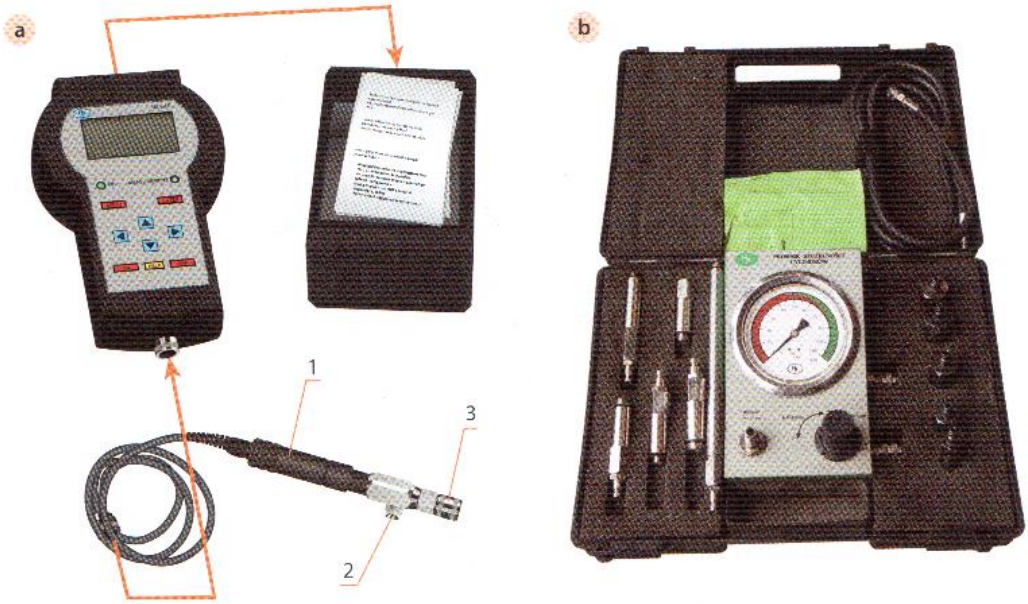


Rys. 9.12. ⓐ Próbnik ciśnienia sprężania z rejestratorem samopisującym i ⓑ diagram pomiarowy manometru SP CS-15 do pomiaru ciśnienia spiętrzania

Spadek ciśnienia sprężania nie powinien być większy niż 20% wartości nominalnej (podanej przez producenta). Większe wartości kwalifikują silnik do sprawdzenia oraz naprawy. Różnice ciśnień w poszczególnych

cylindrach nie powinny być większe niż 10% największej zmierzonej wartości. Podczas pomiaru szczególnie ważne są: szczelność między końcówką próbnika a otworem pomiarowym oraz każdorazowe odpowietrzenie próbnika przed pomiarem. Manometry mają zakres pomiarowy dostosowany do typowych wartości spotykanych w silnikach – do 2,1 MPa w silnikach z zapłonem iskrowym oraz do 10 MPa w silnikach z zapłonem samoczynnym. Najczęściej próbniki wyposażone są w wymienne końcówki umożliwiające dostęp do wszystkich cylindrów badanego silnika.

Próbnik ciśnienia z rejestratorem samopiszącym oraz próbnik ciśnienia z manometrem pokazano na rysunku 9.13 i fotografii 9.4.



Rys. 9.13. i fot. 9.4. (a) Próbnik ciśnienia z rejestratorem samopiszącym, (b) próbnik ciśnienia z manometrem

Próba olejowa umożliwia precyzyjne określenie zespołu odpowiedzialnego za zbyt duży spadek ciśnienia. Polega na wlaniu dawki ok. 10 cm^3 oleju do badanego cylindra i wykonaniu kilku obrotów wałem korbowym. Po tym zabiegu, którego celem jest rozprowadzenie oleju wewnątrz cylindra, należy powtórnie wykonać pomiar ciśnienia sprężania. Wzrost ciśnienia w stosunku do pomiarów wykonanych przed zalaniem cylindra o wartości:

- do 0,07 MPa – może świadczyć o zużyciu przylgni i gniazd zaworów lub uszkodzeniu uszczelki pod głowicą,
- od 0,07 do 0,2 MPa – o zużyciu gładzi cylindra, pierścieni tłokowych oraz tłoka.

Wynik pomiaru może również przekraczać wartość podaną przez producenta. Najczęściej powodem tego jest nagromadzenie się nadmierne nagaru na powierzchni dna tłoka oraz głowicy, co zwiększa rzeczywisty stopień sprężania silnika.

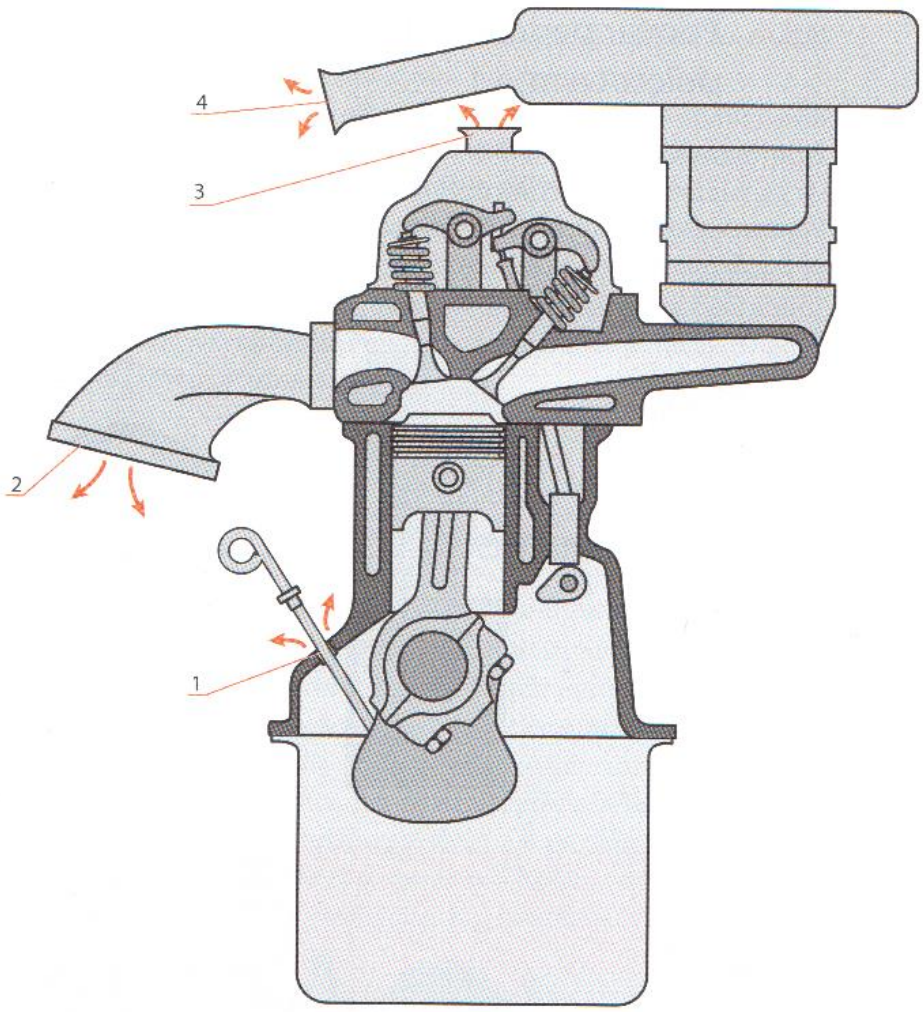
9.3.3. Pomiar szczelności cylindrów

Badanie to ma wskazać miejsca ewentualnych nieszczelności. Polega ono na pomiarze spadku ciśnienia po doprowadzeniu sprężonego powietrza do cylindra oraz osłuchaniu go w poszukiwaniu miejsc nieszczelności. Do osłuchania najlepszy jest stetoskop. Podobnie jak przy pomiarze ciśnienia sprężania ważne jest odpowiednie przygotowanie silnika do badania. Należy w miarę możliwości wyregulować luz zaworowy, nagrzać silnik do normalnej temperatury pracy, wykręcić świece iskrowe, żarowe albo wtryskiwacze oraz ustawić tłok badanego cylindra w górnym martwym położeniu (zamknięte zawory). Zmierzone wartości spadku ciśnienia porównujemy z danymi nominalnymi (tab. 9.3) i na tej podstawie określamy stan techniczny silnika.

Tab. 9.3. Dane do oceny szczelności cylindrów

Spadek ciśnienia (szczelność cylindra) [%]				Stan techniczny silnika
Silnik ZI			silnik ZS	
2-suwowy	4-suwowy o pojemności			
	poniżej 1000 cm^3	powyżej 1000 cm^3		
0–2 (100–98)	0–3 (100–97)	2–5 (98–95)	0–5 (100–95)	dobry
3–7 (97–93)	4–15 (96–85)	6–20 (94–80)	5–25 (95–75)	kwalifikujący się do eksploatacji
powyżej 7 (poniżej 93)	powyżej 15 (poniżej 85)	powyżej 20 (poniżej 80)	powyżej 25 (poniżej 75)	kwalifikujący się do naprawy

Kwalifikowanie silnika do naprawy wiąże się najczęściej z koniecznością lokalizacji przyczyny powstawania nieszczelności. Miejsca osłuchiwania silnika w poszukiwaniu nieszczelności pokazano na rysunku 9.14.



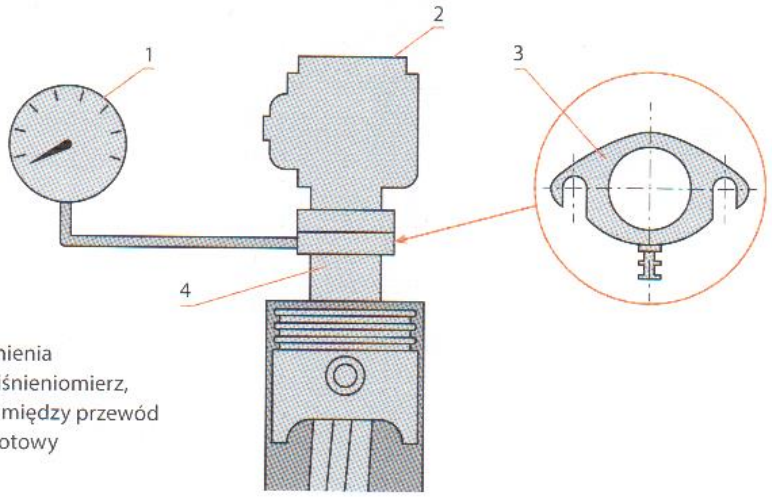
Rys. 9.14. Przepływ powietrza przez możliwe nieszczelności oraz miejsca osłuchiwania silnika (opis w tekście)

W zależności od strefy osłuchiwania można stwierdzić:

- przedmuchy w otworze bagnetu oleju oraz wlewu oleju świadczące o zużyciu lub uszkodzeniu pierścieni tłokowych, tłoka oraz gładzi cylindra (1, 3),
- przedmuchy w układzie wydechowym świadczące o zużyciu przylgni zaworu wylotowego (2),
- przedmuchy w układzie dolotowym świadczące o zużyciu przylgni zaworu ssącego (4),
- przedmuchy słyszalne w sąsiednim cylindrze lub występujące jako bąbelki powietrza w układzie chłodzącym silnika świadczące o uszkodzeniu uszczelki albo głowicy.

9.3.4. Pomiar podciśnienia w przewodzie dolotowym

Pomiar podciśnienia w przewodzie dolotowym (kolektorze ssącym – rys. 9.15) umożliwia tylko ogólną ocenę stanu technicznego silnika. Pomiar wykonujemy wakuometrem (fot. 9.5) na rozgrzanym silniku, podczas jego pracy.



Rys. 9.15. Sposób pomiaru podciśnienia w przewodzie dolotowym: 1 – podciśnieniomierz, 2 – gaźnik, 3 – podkładka zakładana między przewód dolotowy a gaźnik, 4 – przewód dolotowy

Fot. 9.5. Wakuometr – przyrząd do pomiaru podciśnienia

Zmierzoną wartość podciśnienia porównujemy z wartościami nominalnymi dla danego silnika. Jeżeli w trakcie pomiaru wskazówka przyrządu szybko drga, a drgania rosną ze wzrostem prędkości obrotowej,

może to świadczyć o zużyciu lub złamaniu sprężyny zaworowej. Jeżeli podciśnienie spada o kilkanaście kPa, powodem tego może być nieszczelny zawór, uszkodzona uszczelka pod głowicą, zawieszenie zaworu albo brak zapłonu w którymś z cylindrów. Obniżone wartości podciśnienia mogą świadczyć o zużyciu układu korbowo-tłokowego, ale również o nieprawidłowych (zbyt małych) luzach w układzie zaworowym, opóźnieniu zapłonu lub opóźnieniu otwierania zaworów. Należy zwrócić uwagę na czynniki wpływające bezpośrednio na dokładność pomiaru, takie jak: ciśnienie otoczenia, temperatura silnika, prędkość obrotowa i otwarcie przepustnicy.

9.4. Weryfikacja geometrii elementów układu korbowego-tłokowo

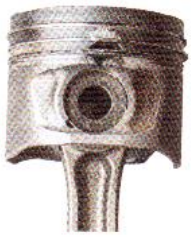
Nowoczesne silniki są bardzo wysilone. Elementy układu korbowo-tłokowego pracują w wysokich temperaturach dochodzących do kilkuset stopni Celsjusza. Zapewnienie właściwych warunków współpracy elementów układu wymaga zastosowania elementów, które spełniają rygorystyczne wymagania geometryczne (tolerancje wymiarowe odchyłki kształtu i położenia, chropowatość powierzchni). Weryfikacja części układu korbowo-tłokowego obejmuje pomiary geometrii poszczególnych elementów oraz pasowań w ich połączeniach, czyli obliczenia wartości luzów i porównania ich z wartościami nominalnymi.

Elementy układu korbowo-tłokowego podlegające sprawdzeniu to:
- **tłoki**,
- **cylindry**,
- **pierścienie tłokowe**,
- **sworznie tłokowe**,
- **korbowód**,
- **wał korbowy**,
- **panewki**,
- **kadłub silnika oraz głowica**.

9.4.1. Weryfikacja tłoków

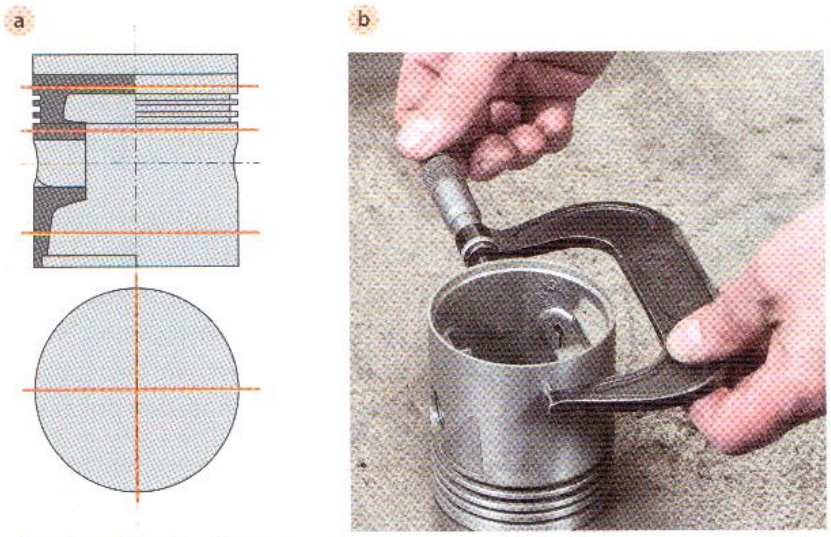
Sprawdzanie tłoków polega na oględzinach (pozwala to wykryć wszelkiego rodzaju pęknięcia i deformacje) oraz na pomiarze średnicy zewnętrznej tłoka i średnicy otworu osadzenia sworznia. Typowe uszkodzenia tłoków możliwe do zauważenia podczas oględzin podano w tabeli 9.4.

Tab. 9.4. Typowe uszkodzenia tłoków

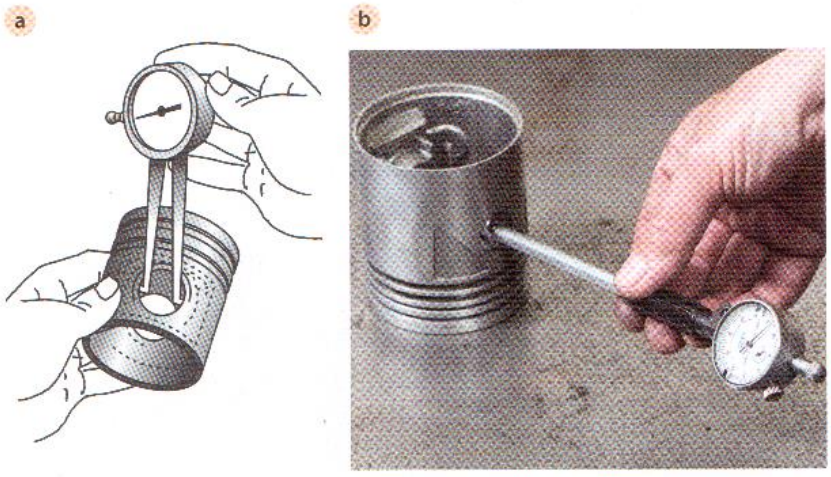
	Tłok zatarty w tulei cylindra najprawdopodobniej z powodu przegrzania silnika, złego (zbyt ciasnego) pasowania lub też na skutek rozcieńczenia filmu olejowego nadmiarem paliwa. To ostatnie bywa efektem złej regulacji albo awarii układu paliwowego.
	Tłok uszkodzony przez ciało obce, które przedostało się do komory spalania. Być może bezpośrednią przyczyną jest pęknięcie górnego pierścienia tłokowego lub gniazda zaworowego.
	Tłok zniszczony z powodu zatarcia w tulei cylindrowej i jednoczesnego wypalenia lub wypłukania materiału jego denka.
	Tłok o małym przebiegu i zużyciu, ale jego płaszcz został zapewne uszkodzony przy montażu albo na skutek poważnej awarii silnika (urwanie korbowodu).
	Tłok silnika z zapłonem iskrowym prawdopodobnie przegrzany na skutek złych regulacji układu zasilania i zapłonowego oraz spalania stukowego.

Pomiar średnicy zewnętrznej tłoka wykonujemy np. mikrometrem (rys. 9.16 i fot. 9.6). Otrzymaną wartość porównujemy z wartościami nominalnymi. Pomiar należy przeprowadzać w różnych miejscach i w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach, zgodnie z zaleceniami producenta silnika lub tłoka. Trzeba również zmierzyć średnicę wewnętrzną otworu osadzenia sworznia w tłoku (rys. 9.17 i fot. 9.7). Otrzymane wyniki należy porównać z wartościami podanymi przez producenta.

Pomiar średnicy zewnętrznej tłoka



Rys. 9.16. i fot. 9.6. (a) Pomiar średnicy zewnętrznej tłoka płaszczyzny oraz przekroje pomiaru, (b) przykład pomiaru śrubą mikrometryczną



Rys. 9.20. i fot. 9.7. Pomiar średnicy wewnętrznej otworu osadzenia sworznia w tłoku: (a) macki wewnętrzne zegarowe, (b) średnicówka czujnikowa

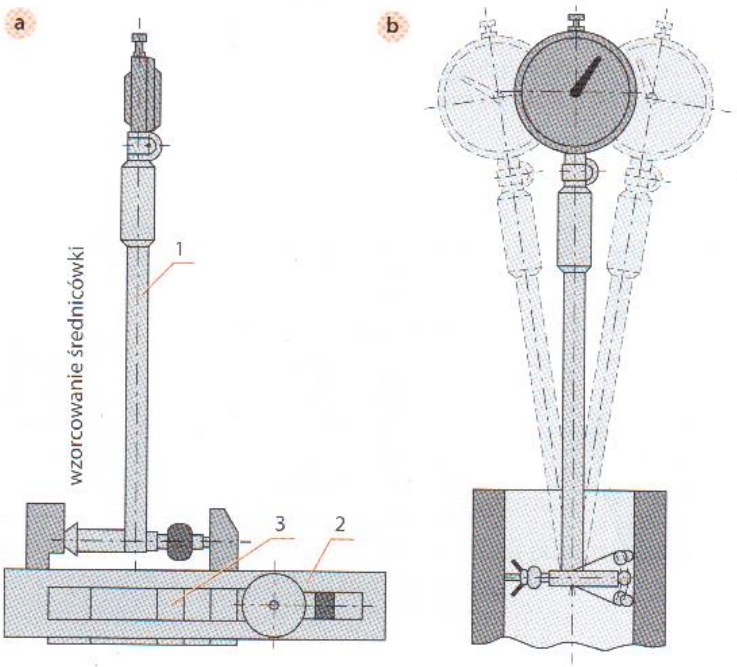
9.4.2. Weryfikacja cylindrów

Sprawdzanie cylindrów obejmuje ocenę wzrokową stanu gładzi cylindra oraz pomiary zużycia cylindra. Podczas oceny wzrokowej stanu gładzi cylindra należy zwrócić uwagę na odbarwienia oraz wszelkiego rodzaju smugi, rysy i wżery. Pomiary zużycia cylindra (ze względu na jego nierównomierne zużycie) wykonuje się w różnych przekrojach i płaszczyznach pomiarowych. Na ogół znacznie większe zużycie następuje w części górnej cylindra niż w dolnej (wtedy kształt cylindra jest zbliżony do ściętego stożka odwróconego podstawą do góry). Największe zużycie można zaobserwować w pobliżu górnego martwego położenia tłoka, na poziomie górnego pierścienia tłokowego. Zarys zużycia tulei cylindrowej na obwodzie najczęściej ma przekrój zbliżony do owalu.

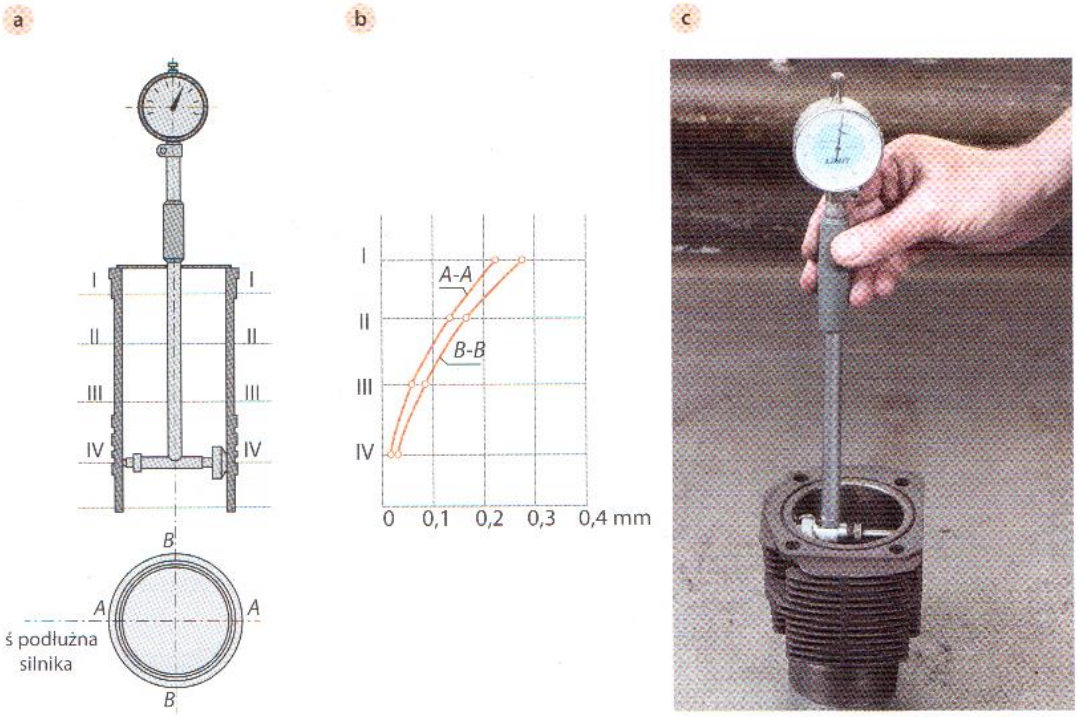
UWAGA

Nowoczesne materiały, technologie obróbki oraz pokrycia gładzi cylindrów przyczyniły się do znacznego wydłużenia przebiegu silnika, jednak te najnowocześniejsze rozwiązania zazwyczaj nie dopuszczają stosowania nadwymiarów naprawczych.

Pomiar wykonujemy średnicówką zegarową. Otrzymane wyniki porównujemy z wartościami podanymi przez producenta. Zużycie wynoszące 0,1–0,15 mm najczęściej kwalifikuje cylinder do naprawy, o ile jest ona przewidziana przez producenta. Wzorcowanie średnicówki zegarowej oraz zasadę pomiaru przedstawiono na rysunku 9.18. Przekroje, płaszczyzny pomiaru oraz sposób pomiaru pokazano na rysunku 9.19 i fotografii 9.8.

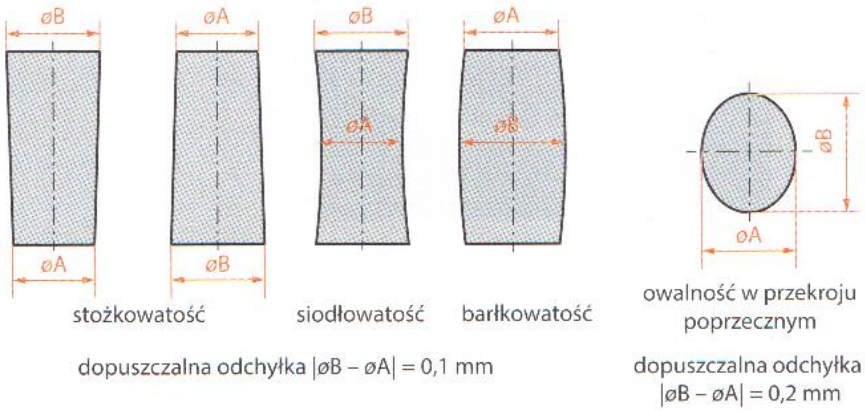


Rys. 9.18 (a) Wzorcowanie średnicówki (1 – średnicówka, 2 – uchwyt do płytek wzorcowych, 3 – stos płytek wzorcowych) oraz (b) zasada pomiaru

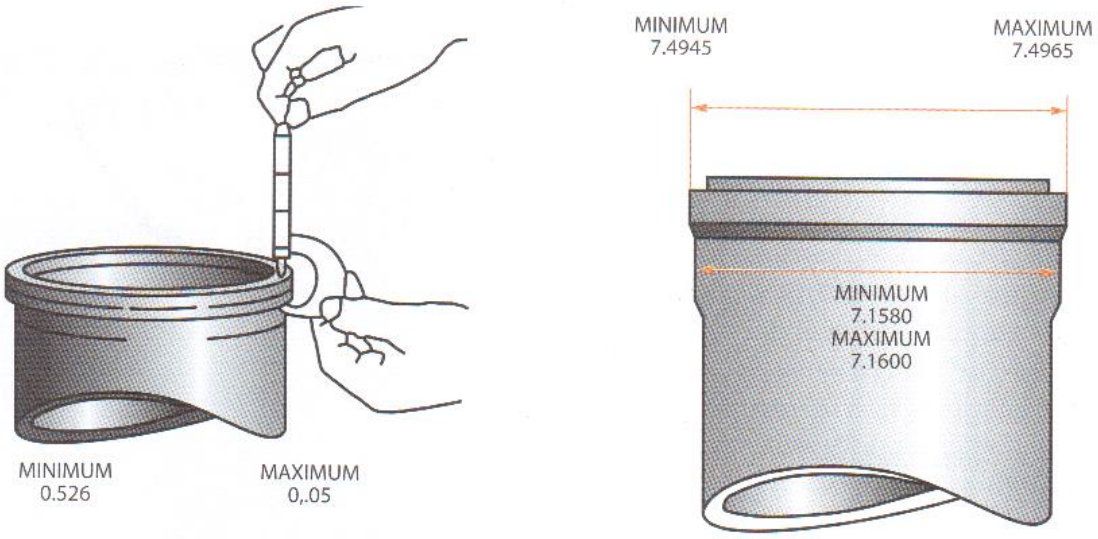


Rys. 9.19. i fot. 9.8. (a) Pomiar zużycia cylindra: przekroje i płaszczyzny pomiaru (I, II, III, IV – przekroje pomiarowe, A–A – płaszczyzny pomiaru w osi wzdłużnej silnika, B–B – płaszczyzny pomiaru w osi poprzecznej silnika, oś pozioma – zużycie [mm], oś pionowa – głębokość pomiarowa), (b) wyniki pomiaru, (c) sposób pomiaru średnicówką

Zmierzone odchyłki kształtu w przekroju wzdłużnym tulei cylindrowej (stożkowość, siodłowość, baryłkowość – rys. 9.20) nie powinny przekraczać dopuszczalnych wartości. Może być też wymagany pomiar grubości kołnierza tulei mokrych (rys. 9.21).

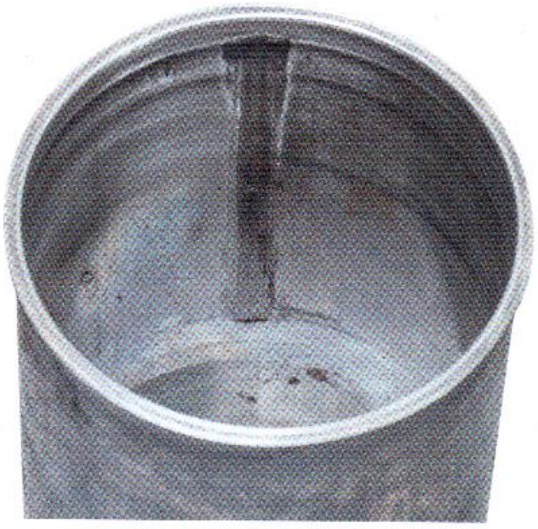


Rys. 9.23. Odchyłki kształtu tulei cylindrowej: *A* – najmniejsza średnica, *B* – największa średnica



Rys. 9.21. Pomiar grubości i średnicy zewnętrznej kołnierza (przykładowa karta producenta wraz z tolerancją)

Nadmierne zużycie w górnej części cylindra może być spowodowane osadami nagaru olejowego powstałego wskutek przedostawania się oleju do komory spalania (fot. 9.9).



Fot. 9.9. Przykład zużycia gładzi cylindrowej

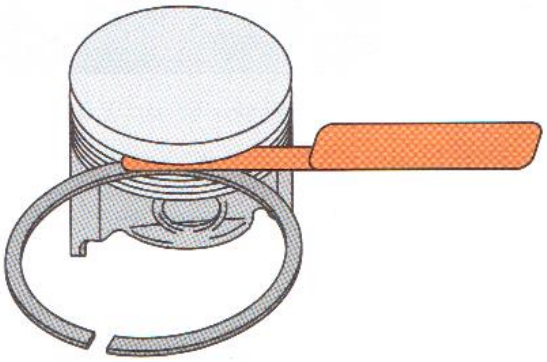
9.4.3. Weryfikacja pierścieni tłokowych

Podczas sprawdzania pierścieni tłokowych określamy luz pierścienia w rowku tłoka i luz zamka pierścienia. Pomiaru luzu dokonujemy

szczelinomierzem. Podczas **pomiaru luzu pierścienia** listek szczelinomierza należy wsunąć z niewielkim oporem między pierścień a ściankę rowka (rys. 9.22 i fot. 9.10). Nominalna wartość luzu najczęściej mieści się w granicach 0,02–0,04 mm. Maksymalne wartości luzu pierścieni oraz zasadę pomiaru podano na rysunku 9.23.

Pomiar luzu pierścienia

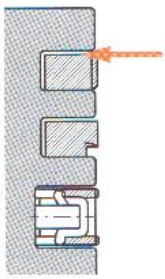
a



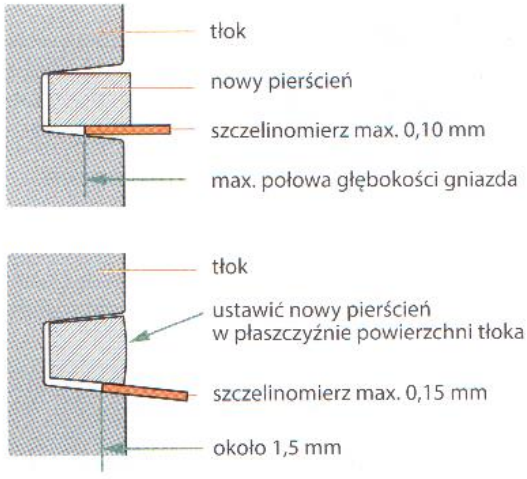
b

Rys. 9.22. i fot. 9.10. Pomiar luzu pierścieni za pomocą szczelinomierza

a

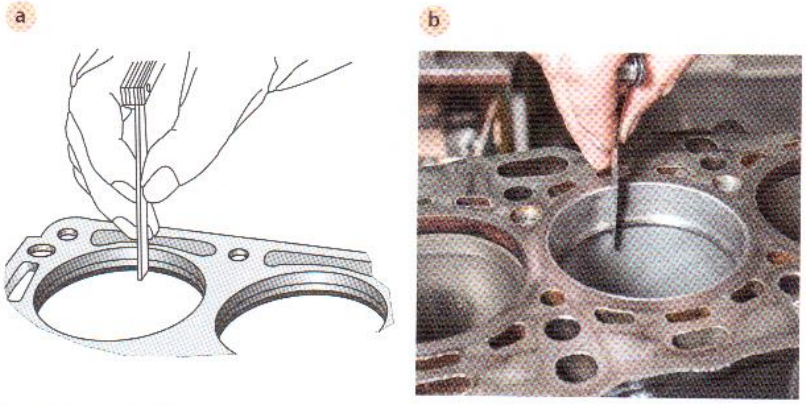


b



Rys. 9.23. (a) Maksymalny luz pierścieni i (b) zasada pomiaru

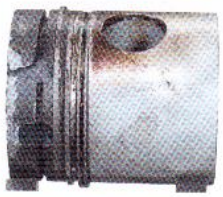
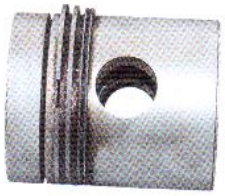
Sposób **pomiaru luzu zamka pierścienia** pokazano na rysunku 9.24 i fotografii 9.11. Pierścień jest umiejscowiony w cylindrze prostopadle do osi cylindra na głębokości kilkunastu milimetrów od płaszczyzny kadłuba. Wartość luzu w zamku jest sprawdzana za pomocą szczelinomierza (listek szczelinomierza powinien z niewielkim oporem wsunąć się w szczelinę). Najczęściej wartość luzu wynosi 0,2–0,6 mm.



Rys. 9.24. i fot. 9.11. Pomiar luzu zamka pierścienia w cylindrze: ⓐ szkic, ⓑ widok

Typowe uszkodzenia pierścieni tłokowych podano w tabeli 9.5.

Tab. 9.3. Typowe uszkodzenia pierścieni tłokowych

	Ubytki materiału w obszarze pierścienia mogą być spowodowane błędami montażowymi, zalaniem paliwem lub wibracjami pierścieni.
	Zużycie promieniowe pierścieni powstałe wskutek zalania paliwem, spowodowane nieprawidłową pracą układu zasilania lub złą filtracją powietrza.
	Zużycie osiowe pierścieni spowodowane zanieczyszczeniami pozostałymi z montażu, docierania lub złej filtracji oleju silnikowego. Podobne zużycie powstaje naturalnie, skutkiem bardzo długiej (prawidłowej) eksploatacji.

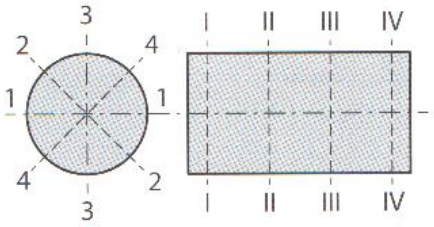
9.4.4. Weryfikacja sworzni tłokowych

Badanie to polega na ocenie wzrokowej oraz pomiarze średnicy zewnętrznej sworznia.

Podczas oceny wzrokowej należy zwrócić uwagę na stan powierzchni (wżery, ubytki, pęknięcia itp.). Średnicę zewnętrzną można zmierzyć

mikrometrem w kilku przekrojach i co najmniej w dwóch płaszczyznach prostopadłych (rys. 9.25 i fot. 9.12). Wymiary porównujemy z dopuszczalnymi odchyłkami podanymi przez producenta.

a



b

Rys. 9.25. i fot. 9.12. (a) Przekroje i płaszczyzny pomiaru geometrii sworznia (I, II, III, IV – przekroje pomiarowe, 1, 2, 3, 4 – płaszczyzny pomiarowe), (b) pomiar mikrometrem

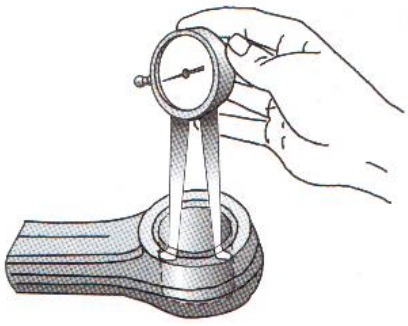
9.4.5. Weryfikacja korbowodu

Weryfikacji tej dokonuje się na podstawie oceny wzrokowej oraz pomiaru:
- **średnic wewnętrznych panewek**,
- **równoległości osi otworów w główce i w stopie korbowodu** (opcjonalnie),
- **odchyłek średnicy wewnętrznej stopy korbowodu**.

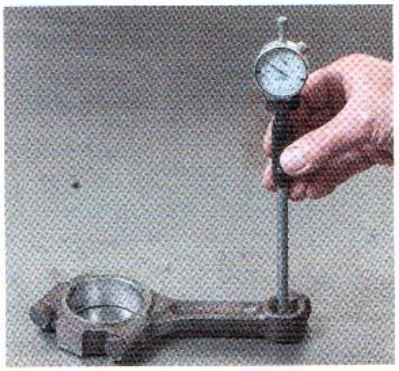
Pomiary średnic wewnętrznych panewki

Podczas oceny wzrokowej zwracamy uwagę na pęknięcia, rysy, wgniecenia oraz korozję. **Pomiary średnic wewnętrznych panewki** w główce korbowodu pokazano na rysunku 9.26 i fotografii 9.13. Średnicę mierzymy co najmniej w dwóch prostopadłych przekrojach. Używamy do tego celu mikrometru do otworów lub sprawdzianu szczękowego. Wartości zmierzone porównujemy z danymi producenta.

a



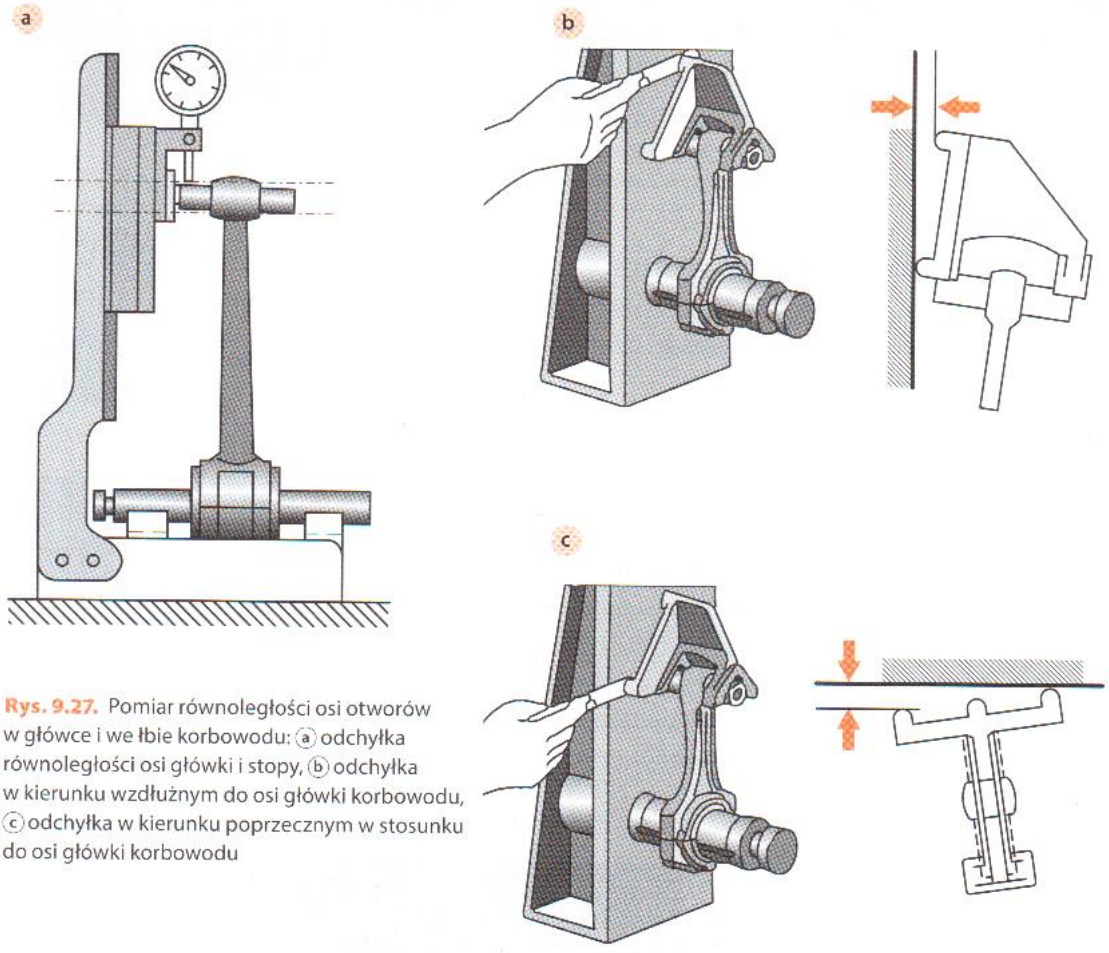
b



Rys. 9.26. i fot. 9.13. (a) Pomiar średnicy wewnętrznej panewki w główce korbowodu sprawdzianem szczękowym, (b) średnicówką zegarową

Pomiar równoległości osi otworów w główce i w stopie korbowodu

Pomiar równoległości osi otworów w główce i w stopie korbowodu za pomocą specjalnego przyrządu pokazano na rysunku 9.27. Po zamontowaniu korbowodu na stanowisku mierzone są odchyłki równoległości osi główki i stopy z wykorzystaniem czujnika zegarowego (rys. 9.27a) oraz (za pomocą szczelinomierza) odchyłki w dwóch prostopadłych płaszczyznach (rys. 9.27 b i c). Błędy równoległości osi otworów korbowodu można w pewnych granicach korygować metodą jego precyzyjnego wyginania.

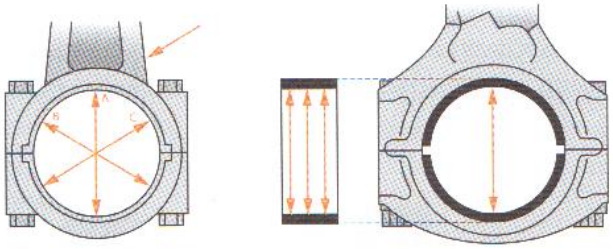


Rys. 9.27. Pomiar równoległości osi otworów w główce i we łbie korbowodu: (a) odchyłka równoległości osi główki i stopy, (b) odchyłka w kierunku wzdłużnym do osi główki korbowodu, (c) odchyłka w kierunku poprzecznym w stosunku do osi główki korbowodu

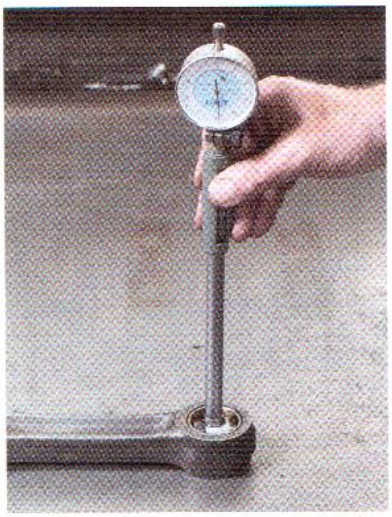
Pomiar odchyłek średnicy wewnętrznej stopy korbowodu

Pomiar odchyłek średnicy wewnętrznej stopy korbowodu pokazano na rysunku 9.28 i fotografii 9.14. Średnicę mierzymy co najmniej w dwóch prostopadłych przekrojach za pomocą mikrometru do otworów lub średnicówki zegarowej. Wartości zmierzone porównujemy z danymi producenta.

a



b



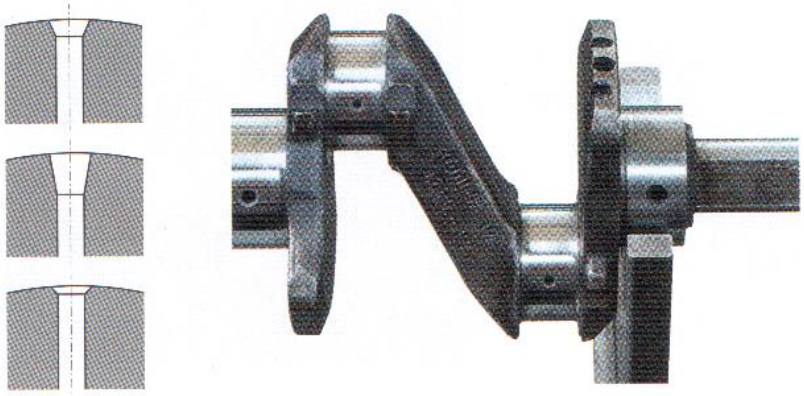
Rys 9.28. i fot. 9.14. Pomiar odchyłek średnicy wewnętrznej stopy korbowodu: (a) miejsca pomiaru, (b) sposób pomiaru z wykorzystaniem średnicówki zegarowej

9.4.6. Weryfikacja wału korbowego

Sprawdzanie wału korbowego polega na jego ocenie wzrokowej, a także na pomiarze:

- **średnic poszczególnych czopów głównych i korbowych,**
- **bicia promieniowego czopów głównych,**
- **promienia przejścia czopów głównych i korbowych.**

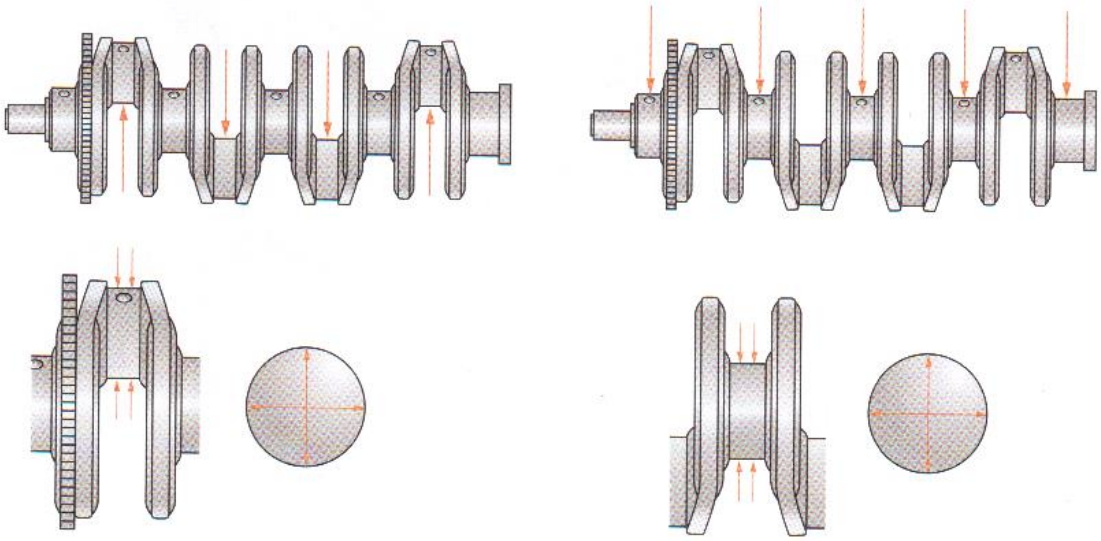
Oględziny powierzchni czopów można wykonać za pomocą lupy. Należy zwrócić uwagę na rysy, wgniecenia, pęknięcia, zatarcia oraz ślady korozji, a także na krawędzie kanałów olejowych na powierzchni czopa (powinny być zaokrąglone i wygładzone – rys. 9.29 i fot. 9.15).



Rys 9.29. i fot. 9.15. Kształty krawędzi kanałów olejowych wału korbowego

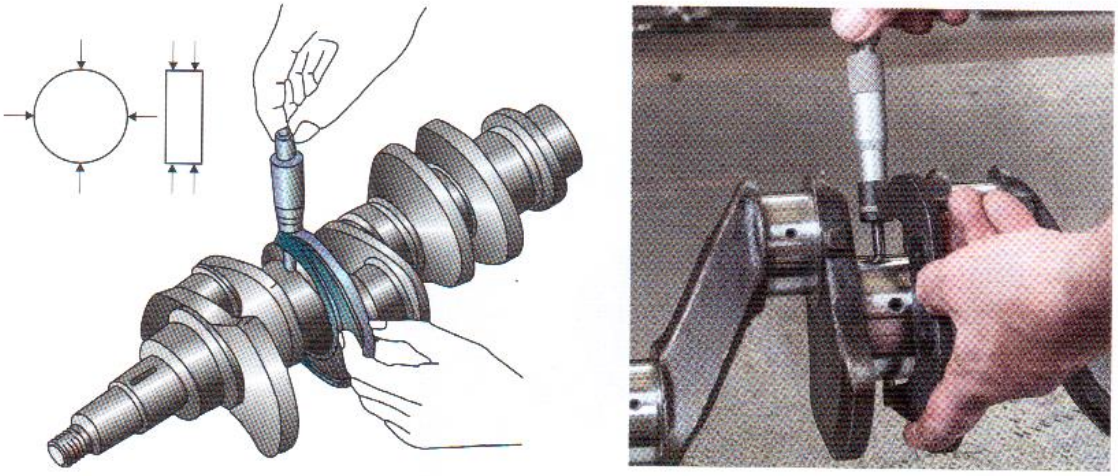
Pomiar średnic poszczególnych czopów głównych oraz korbowych

Pomiar średnic poszczególnych czopów głównych oraz korbowych wykonujemy mikrometrem w kilku przekrojach i co najmniej w dwóch prostopadłych płaszczyznach (rys. 9.30 oraz 9.34 i fot. 9.16). Jest to konieczne do stwierdzenia ewentualnych odchyłek kształtu. Zmierzone wartości porównujemy z wartościami nominalnymi podanymi przez producenta.



Rys. 9.30. Określenie płaszczyzn i przekrojów pomiarowych średnic czopów głównych i korbowych wału korbowego

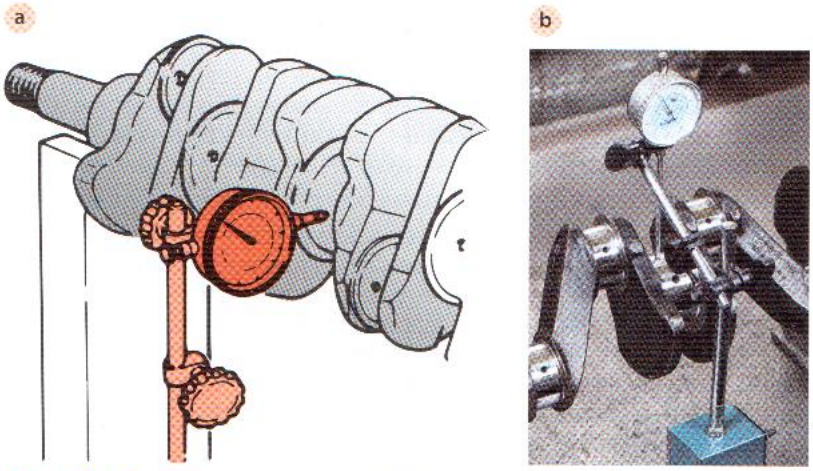
Przykład pomiaru średnic czopów głównych i korbowych wału korbowego śrubą mikrometryczną przedstawiono na rysunku 9.34 i fotografii 9.16.



Rys. 9.31. i fot. 9.16. Przykład pomiaru średnic czopów głównych i korbowych wału korbowego śrubą mikrometryczną

Pomiar bicia promieniowego czopów głównych należy wykonać czujnikiem zegarowym. Wał musi być zamontowany w pryzmach lub na stanowisku kłowym (rys. 9.32 i fot. 9.17). Po ustawieniu końcówki czujnika zegarowego w osi czopu głównego wykonujemy jeden pełny obrót wałem. Odchyłkę bicia określamy jako różnicę skrajnych wskazań na czujniku po wykonaniu jednego pełnego obrotu. Wartość zmierzoną porównujemy z wartością dopuszczalną odchyłki podaną przez producenta.

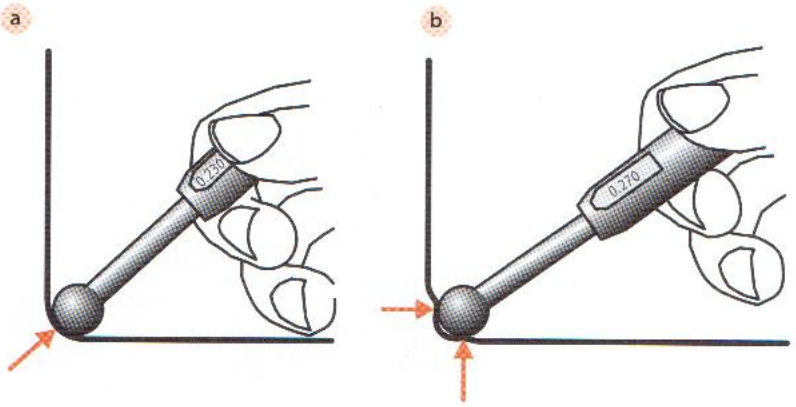
Pomiar bicia promieniowego czopów głównych



Rys. 9.32. i fot. 9.17. Pomiar bicia promieniowego czopów głównych: (a) rysunek poglądowy, (b) widok

Po szlifowaniu czopów na podwymiar może być również wymagany **pomiar promienia przejścia czopów głównych i korbowych** za pomocą specjalnych wzorników (rys. 9.33). Wzornik o mniejszym promieniu powinien mieć jeden punkt styku, wzornik o większym promieniu powinien mieć dwa punkty styku z mierzonym promieniem. Sprawdzenie styku powinno być wykonane z dodatkowym oświetleniem (z przeciwnej strony w stosunku do strony oględzin) w trakcie pomiaru.

Pomiar promienia przejścia czopów głównych i korbowych



Rys. 9.33. Przykładowy pomiar promienia przejścia z wykorzystaniem wzorników promieni: (a) wzornik o mniejszym promieniu – 0,23, (b) wzornik o większym promieniu – 0,27

9.4.7. Weryfikacja panewek

Sprawdzenie panewek polega głównie na ich oględzinach. Niedopuszczalne są głębokie zarysowania, wgniecenia, ubytki zmęczeniowe, nadmierne zużycie widoczne w postaci ujawnienia głębszych warstw materiału. Typowe przykłady zużycia panewek podano w tabeli 9.6.

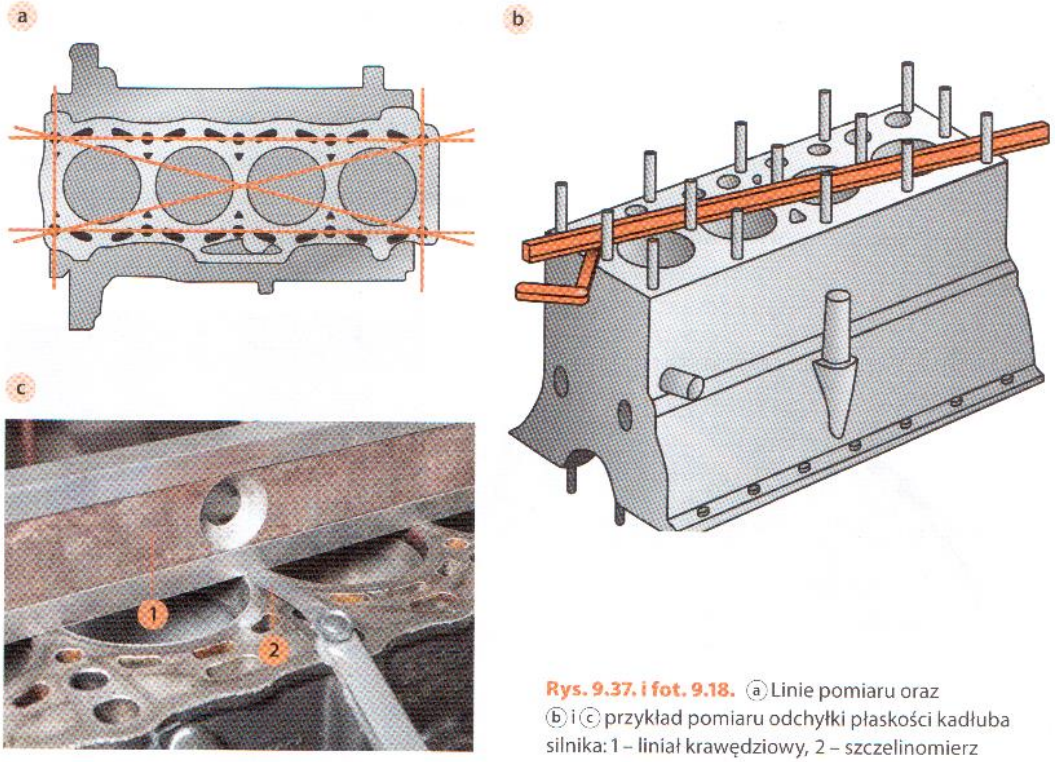
Tab. 9.6. Typowe przykłady zużycia panewek

	Zniszczenie warstwy ślizgowej – starta lub nadtopiona powierzchnia świadczy o niedostatecznym smarowaniu na skutek chwilowego lub całkowitego braku przepływu oleju, niewspółosiowości lub zniekształceniu czopa i panewki. Takie uszkodzenie niesie ze sobą poważne uszkodzenie czopa wału korbowego, można je naprawić, jedynie szlifując czop na kolejny podwymiar (o ile producent dopuszcza taką naprawę).
	Wyrwane fragmenty warstwy ślizgowej łożyska na skutek miejscowego przeciążenia. Uszkodzenie po jednej stronie panewki sugeruje nieprawidłowy kształt (stożkowość) czopa wału korbowego, skrzywiony korbowód, nieosiowość otworów panewek głównych silnika (jeżeli jest to panewka główna), względnie wręcz pęknięty i skrzywiony wał korbowy. Należy bardzo dokładnie zweryfikować otwory panewek w kadłubie bądź korbowody oraz sam wał korbowy. Ewentualna naprawa tych części (wyrównanie otworów, prostowanie korbowodów, szlif czopów wału) jest możliwa, ale nie w każdym wypadku.
	Wytopienie lub wytarcie warstwy wierzchniej ze śladami przebarwień cieplnych świadczy o przegrzaniu łożyska na skutek zniekształcenia gniazd łożysk albo niedostatecznego smarowania (np. chwilowe przerwy w smarowaniu z powodu niskiego poziomu oleju). W grę wchodzi także znaczne zanieczyszczenie oleju. W ramach naprawy należy dokładnie zmierzyć luzy między (nowymi) panewkami a czopami wału korbowego, gdyż też one mogą być uszkodzone i wymagać szlifu na kolejny podwymiar (o ile producent dopuszcza taką naprawę).
	Zarysowania i zadrapania oraz ślady erozji w okolicy otworu smarowania, ale po zewnętrznej stronie panewki (od strony korpusu lub otworu korbowodu), świadczą o wyjątkowo niestarannym montażu bez prawidłowego oczyszczenia części.
	Porowata i odbarwiona powierzchnia warstwy ślizgowej świadczy o korozji spowodowanej zanieczyszczonym olejem. Pomiar luzu pomiędzy nowymi panewkami a czopami ślizgowymi wału wskaże, czy naprawa będzie wymagać tylko wymiany panewek, czy też szlifu czopów na kolejny podwymiar.
	Panewka bez wyraźnych uszkodzeń warstwy ślizgowej, ale jednostronne przebarwienie świadczy o nieprawidłowym wykonaniu czopa wału (stożkowość) lub o tym, że wał jest skrzywiony albo (jeżeli jest to panewka korbowodowa) skrzywiony jest korbowód.

9.4.8. Weryfikacja kadłuba oraz głowicy

W kadłubie i w głowicy silnika sprawdzeniu podlegają:
- **powierzchnie styku i powierzchnie zewnętrzne**,
- **błędy liniowości dolnej powierzchni głowicy silnika**,
- **wzajemne położenie gniazd łożysk głównych wału korbowego w bloku**,
- **odchyłki średnicy wewnętrznej osadzenia łożysk głównych wału korbowego**,
- **śruby łączące głowicę z blokiem**.

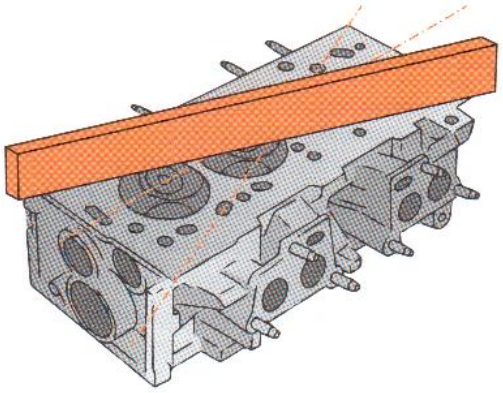
Podczas oceny wzrokowej jakości **powierzchni kadłuba i głowicy silnika** zwracamy uwagę na wszelkiego rodzaju pęknięcia, wyłamania materiału oraz ewentualne uszkodzenia gwintu w otworach świec zapłonowych, żarowych i wtryskiwaczy. Pomiaru płaskości powierzchni styku kadłuba i głowicy dokonujemy liniałem oraz szczelinomierzem (rys. 9.37 i fot. 9.18). Kładąc liniał we wskazanych położeniach (rys. 9.37a), należy spróbować wsunąć listek szczelinomierza z niewielkim oporem pomiędzy liniał a powierzchnię bloku współpracującą z głowicą. Dopuszczalna odchyłka nieliniowości wynosi zwykle 0,1 mm.



Rys. 9.37. i fot. 9.18. ⓐ Linie pomiaru oraz ⓑ i ⓒ przykład pomiaru odchyłki płaskości kadłuba silnika: 1 – liniał krawędziowy, 2 – szczelinomierz

Pomiar błędów liniowości dolnej powierzchni głowicy silnika

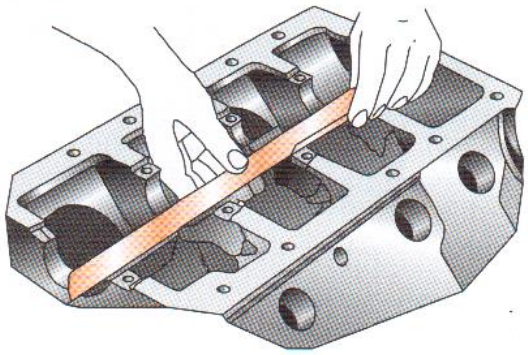
Analogicznie wykonujemy **pomiar błędów liniowości dolnej powierzchni głowicy silnika** (rys. 9.35 i fot. 9.19). Dopuszczalna odchyłka liniowości wynosi zwykle 0,05 mm. Jednak dobrą praktyką jest maszynowe wyrównanie głowicy po każdym demontażu, niezależnie od wyniku tego pomiaru.



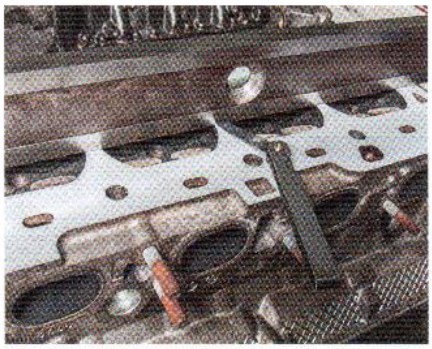
Rys. 9.35. Pomiar błędów liniowości dolnej powierzchni głowicy silnika: linie pomiaru,

Sprawdzeniu podlega również **wzajemne położenie gniazd łożysk głównych wału korbowego w bloku** za pomocą liniału (rys. 9.36). Liniał kładziemy na powierzchni gniazd łożysk głównych, a następnie, wykorzystując szczelinomierz, określamy wielkość ewentualnej odchyłki (grubość listka szczelinomierza, który daje się wsunąć z niewielkim oporem). Wynik porównujemy z danymi producenta. Kontroli wzajemnego położenia łożysk głównych można też dokonać za pomocą walcowego sprawdzianu, dedykowanego dla określonego typu silnika.

a



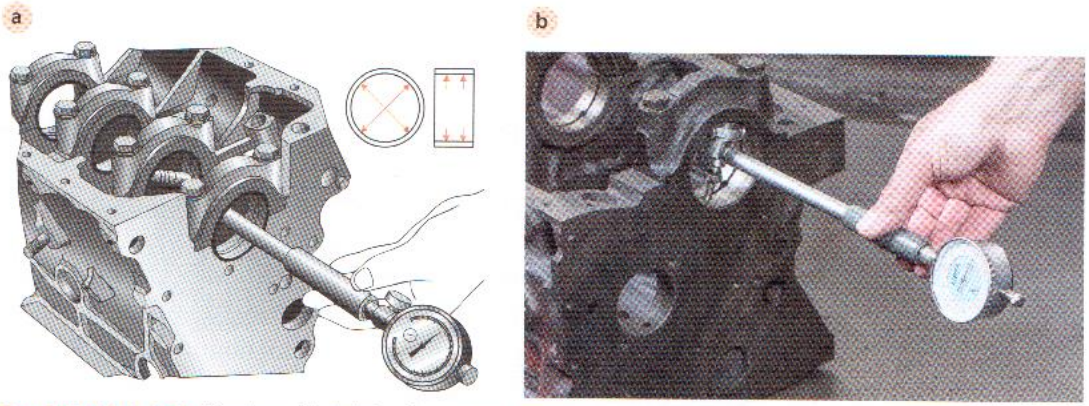
b



Rys. 9.36. i fot. 9.19. (a) Pomiar wzajemnego położenia gniazd łożysk w bloku (b) widok pomiaru z liniałem i ze szczelinomierzem

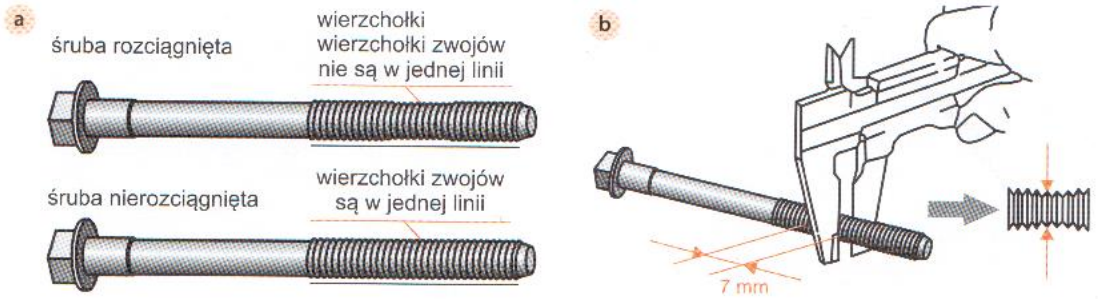
Pomiaru odchyłek średnicy wewnętrznej osadzenia łożysk głównych wału korbowego dokonujemy za pomocą średnicówki czujnikowej (rys. 9.37 i fot. 9.20). Po złożeniu oprawy łożyska mierzymy wartość odchyłki co najmniej w dwóch prostopadłych przekrojach. Wartości odchyłek porównujemy z wartościami dopuszczalnymi podanymi przez producenta.

Pomiar odchyłek średnicy wewnętrznej osadzenia łożysk głównych wału korbowego



Rys. 9.37. i fot. 9.20. Pomiar odchyłek średnicy wewnętrznej osadzenia łożysk głównych wału korbowego: ⓐ wskazanie płaszczyzn oraz przekrojów pomiarowych, ⓑ sposób pomiar

Sprawdzenia śrub łączących głowicę z blokiem dokonujemy za pomocą oceny wzrokowej, mierzymy też ich średnicę. Niedopuszczalne są wszelkiego rodzaju skrzywienia czy uszkodzenia powierzchni gwintowanej śrub. Szczególną uwagę należy zwrócić na przekrój śruby w miejscu łączenia głowicy z blokiem (widoczna zmiana średnicy zewnętrznej, uszkodzenie gwintu). Średnicę śruby w tym miejscu mierzymy suwmiarką lub mikrometrem (rys. 9.38). Jeśli stwierdzimy różnicę w stosunku do średnicy w innych przekrojach, musimy zastosować nowe śruby. Należy pamiętać, że w wielu silnikach śruby te, a także śruby i nakrętki pokryw korbowodów, są jednorazowego użycia, niezależnie od ich wymiarów i wyglądu.



Rys. 9.38. ⓐ Miejsca uszkodzenia śrub oraz ⓑ pomiar średnicy śruby w przekroju łączenia głowicy z blokiem

9.5. Pomiar luzów w złożeniach

W celu sprawdzenia wartości luzów należy wykonać pomiary w złożeniach:

- **tłok–cylinder**,
- **tłok–sworzeń**,
- **sworzeń–panewka w główce korbowodu**,
- **czop korbowy–korbowód**

oraz

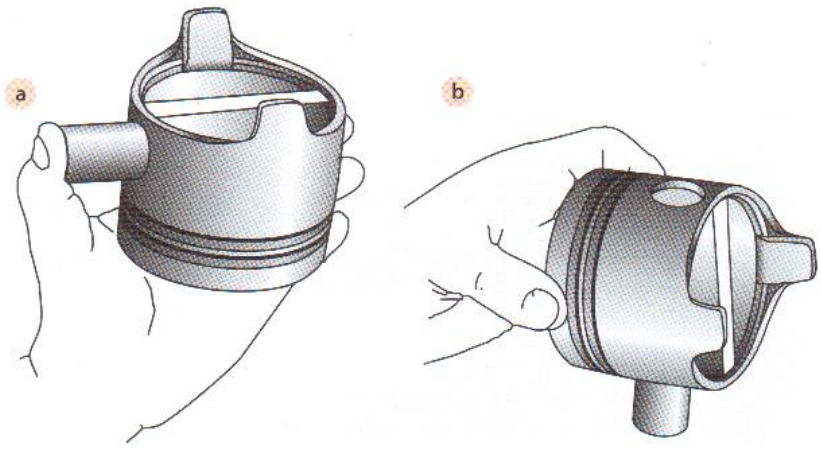
- **pomiary odległości powierzchni tłoka od powierzchni bloku silnika**,
- **pomiary luzu osiowego wału korbowego**.

Pomiar luzu w złożeniu tłok – cylinder

Luz w złożeniu tłok–cylinder obliczamy na podstawie wyników pomiarów jako różnicę średnicy wewnętrznej tulei cylindrowej oraz średnicy zewnętrznej tłoka i porównujemy z wartościami nominalnymi. W razie luzu przekraczającego wartość dopuszczalną silnik podlega naprawie (np. przez powiększenie tulei do wymiaru naprawczego i użycie pierścieni oraz tłoków nadwymiarowych).

Pomiaru luzu w złożeniu tłok–sworzeń

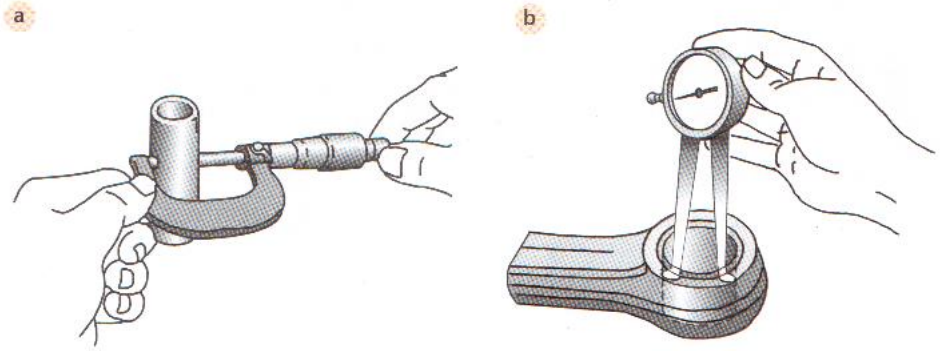
W celu określenia luzu w złożeniu tłok–sworzeń mierzymy średnicę sworznia w przekroju łączenia z tłokiem oraz średnicę piasty sworznia w tłoku. Następnie obliczamy luz jako różnicę tych wymiarów w tym złożeniu. Najczęściej dopuszczalny luz wynosi 0,01–0,02 mm. Luz można sprawdzić orientacyjnie przez wsunięcie sworznia w otwór pod naciskiem kciuka; sworzeń nie powinien się wysuwać pod własnym ciężarem (rys. 9.42).



Rys. 9.39. (a) Pomiar luzu w złożeniu tłok–sworzeń: wsunięcie sworznia w otwór pod naciskiem kciuka, (b) sprawdzenie, czy sworzeń nie wysuwa się pod własnym ciężarem

Pomiaru luzu w złożeniu sworzeń–panewka w główce korbowodu dokonujemy w sposób następujący: za pomocą mikrometru mierzymy średnicę sworznia w przekroju łączenia z korbowodem (rys. 9.40a), a za pomocą sprawdzianu szczękowego – średnicę wewnętrzną panewki (rys. 9.40b) w główce korbowodu. Luz wyliczamy jako różnicę zmierzonych wymiarów. Wartość tego luzu porównujemy następnie z danymi podanymi w specyfikacji. Luz ten można również sprawdzić orientacyjnie, tak jak podano wyżej, przy pomiarze luzu sworzeń – tłok.

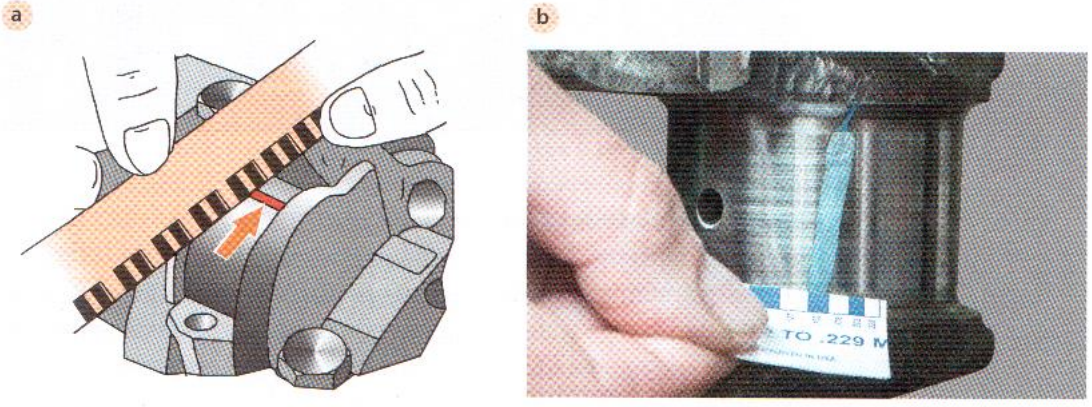
Pomiaru luzu w złożeniu sworzeń - panewka w główce korbowodu



Rys. 9.40. Pomiary: (a) średnicy sworznia, (b) średnicy panewki w główce korbowodu

Pomiar luzu w złożeniu czop korbowy–korbowód wykonujemy za pomocą pręcików pomiarowych z tworzywa sztucznego (ang. *plastigage*). Pręcik pomiarowy umieszczamy wzdłuż czopa (rys. 9.41). Następnie składamy pokrywy łożyska i skręcamy je z wymaganym momentem siły. Po ponownym rozkręceniu złożenia odkształcony pręcik porównujemy z podziałką skali (fot. 9.21) i na tej podstawie określamy wartość luzu. Najczęściej luz ten wynosi 0,02–0,07 mm. Pręcik pomiarowy oczywiście po pomiarze usuwamy.

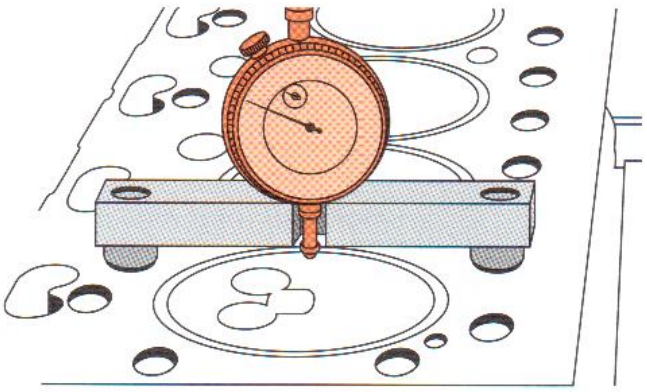
Pomiar luzu w złożeniu czop korbowy-korbowód



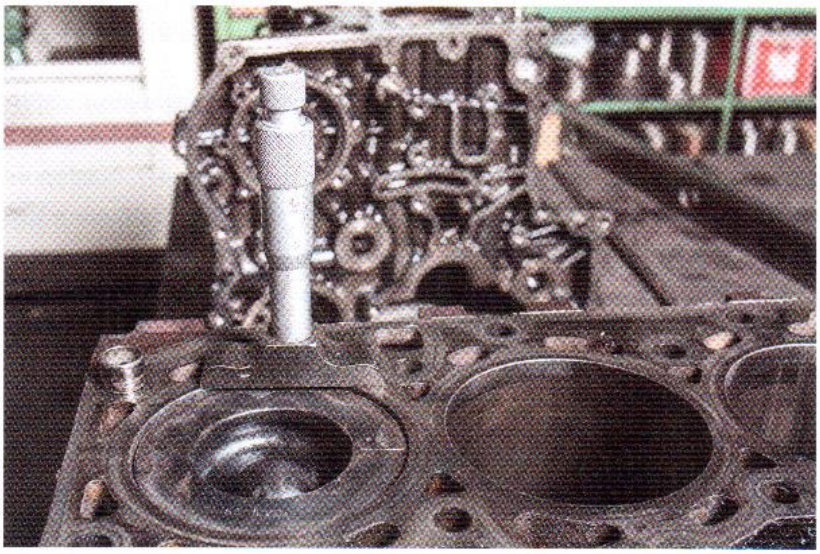
Rys. 9.41. i fot. 9.21. Pomiar luzu na podstawie szerokości odkształconego pręcika: (a) schemat, (b) widok

Do **pomiaru odległości powierzchni tłoka od powierzchni bloku silnika** używamy czujnika zegarowego lub głębokościomierza mikrometrycznego. Mierzymy odległość górnej powierzchni tłoka od płaszczyzny bloku (rys. 9.42 i fot. 9.22), a otrzymane wartości porównujemy ze specyfikacją.

a



b

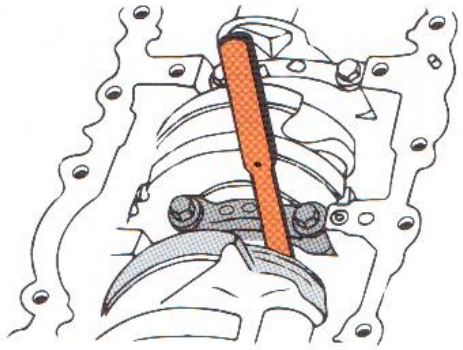


Rys. 9.42. i fot. 9.22. Pomiar odległości powierzchni tłoka od powierzchni bloku silnika: (a) czujnikiem zegarowym, (b) głębokościomierzem mikrometrycznym

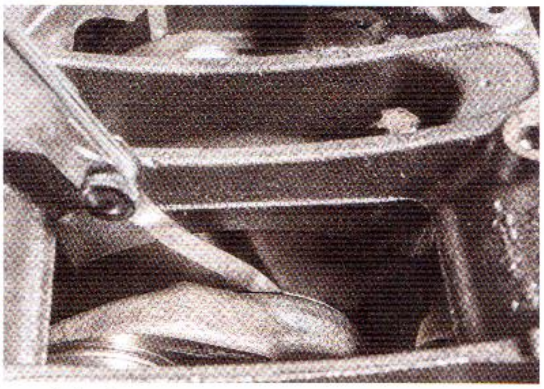
Podczas **pomiaru luzu osiowego wału korbowego** wał należy przesunąć do skrajnej pozycji w prawo lub w lewo (np. za pomocą śrubokręta) i szczelinomierzem zmierzyć luz pomiędzy boczną powierzchnią łożyska oporowego wału a boczną powierzchnią przy czopie głównym wału korbowego, na którym znajduje się łożysko oporowe (rys. 9.43 i fot. 9.23). Zmierzoną wartość porównujemy z danymi podanymi w specyfikacji. Pomiaru możemy też dokonać przy użyciu czujnika zegarowego (rys. 9.44 i fot. 9.24). Należy przesunąć wał w dwie skrajne pozycje

(przesuwając go wzdłuż osi w prawo i w lewo). Wartość luzu obliczamy jako różnicę wskazań czujnika w skrajnych położeniach wału.

a

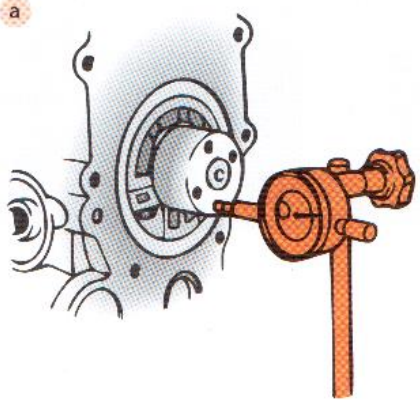


b

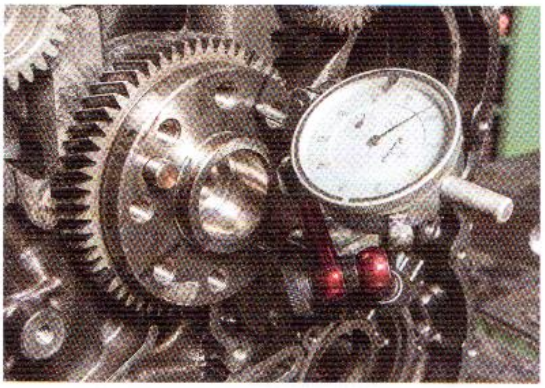


Rys. 9.43. i fot. 9.23. Pomiar luzu osiowego korbowodu na czopie korbowym: (a) schemat, (b) widok

a



b

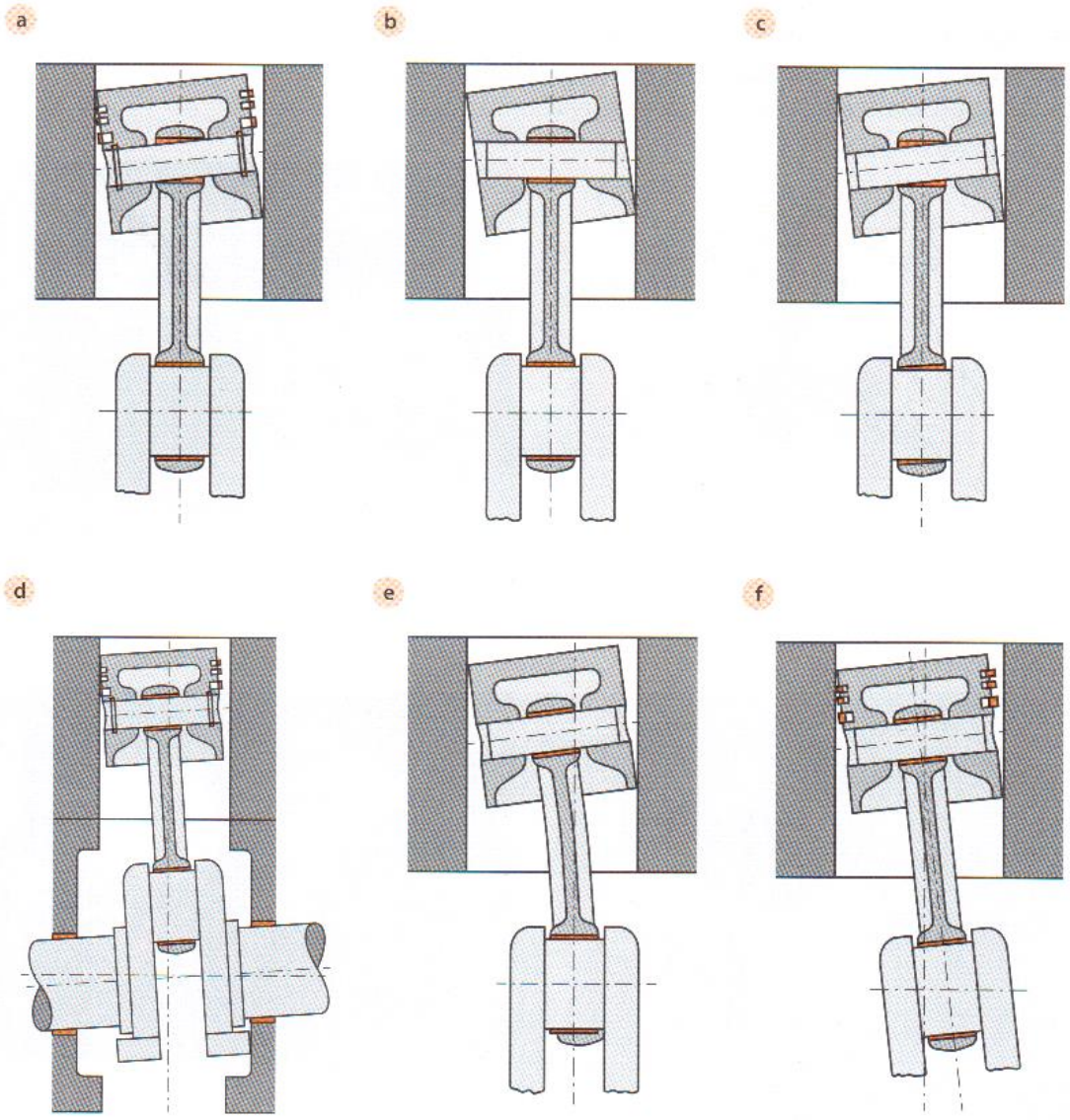


Rys. 9.44. i fot. 9.24. Ocena luzu osiowego wału korbowego za pomocą czujnika zegarowego: (a) schemat, (b) widok

Wzajemne pasowania i odpowiednie położenie wszystkich elementów składowych układu korbowo-tłokowego są bardzo ważne i mają decydujący wpływ na żywotność układu. Poszczególne pasowania obejmują:

- tłok w cylindrze (uszczelnienie za pomocą pierścienia),
- sworzeń z tłokiem oraz sworzeń z główką korbowodu (korbowód jest elementem łączącym tłok z wałem korbowym),
- korbowód z czopem korbowym wału korbowego,
- wał korbowy w łożyskach głównych.

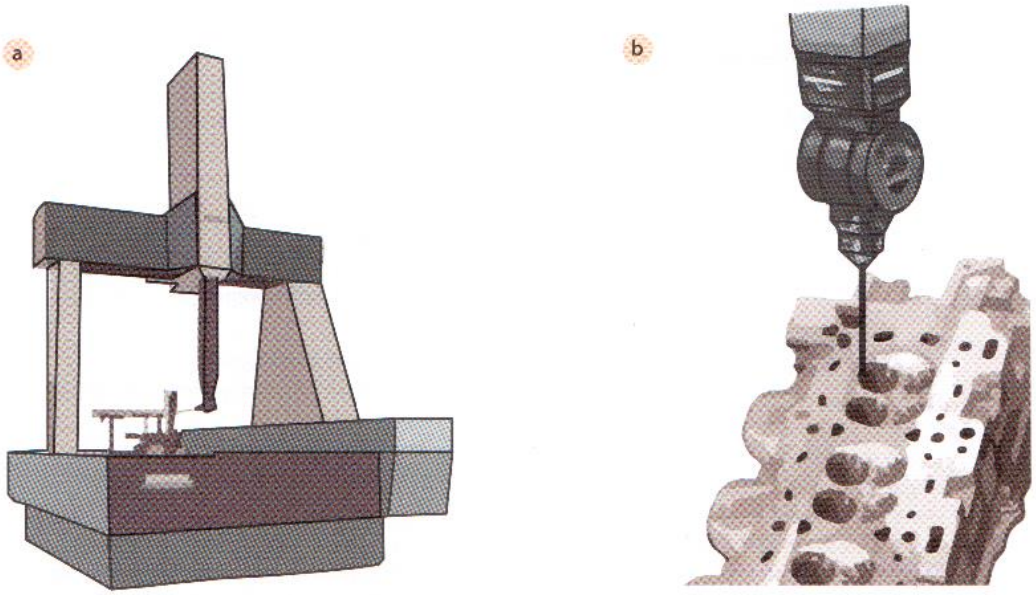
Złe pasowanie oraz położenie elementów powodują skrzywienia, a więc nierównomierne i nadmierne zużycie elementów oraz nadmierne opory, co pokazano na rysunku 9.45.



Rys. 9.45. Sytuacje powstawania nierównoległości i braku prostopadłości (złe pasowanie):
ⓐ przekoszenie w tulejce główki korbowodu, ⓑ przekoszenie w piastach tłoka, ⓒ przekoszenie na czopie korbowodu, ⓓ przekoszenie wału korbowego w otworach panewek głównych, ⓔ skrzywienie korbowodu, ⓕ brak prostopadłości osi cylindra do osi wału korbowego

Geometrię elementów układu korbowo-tłokowego można również sprawdzić na specjalistycznych maszynach pomiarowych (fot. 9.25) lub uniwersalnych współrzędnościowych maszynach pomiarowych (rys. 9.46). Takich pomiarów jednak rzadko dokonuje się w warsztatach samochodowych, częściej w firmach zajmujących się obróbką mechaniczną części.

Fot. 9.25. Przykład specjalistycznej maszyny do pomiarów geometrii wału korbowego



Rys. 9.46. ⓐ Współrzędnościowa maszyna pomiarowa, ⓑ przykład sprawdzania geometrii gniazda zaworu w głowicy