

Emil WRÓBLEWSKI, Antoni ISKRA, Maciej BABIAK

MINIMALIZACJA ZUŻYCIA ELEMENTÓW GRUPY TŁOKOWO-CYLINDROWEJ

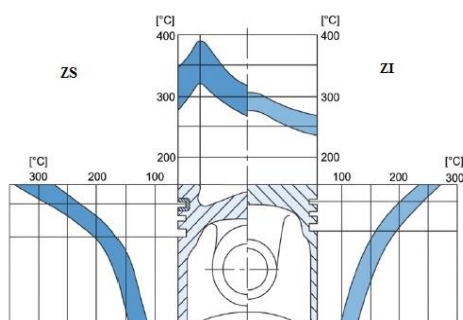
Artykuł opisuje zagadnienie związane z grupą tłokowo-cylindrową, a w szczególności zagadnienia minimalizacji zużycia poszczególnych jej elementów takich jak tłok, pierścienie tłokowe i cylinder. Przedstawione zostały metody minimalizacji zużycia się grupy tłokowo-cylindrowej używanych we współczesnych silnikach spalinowych. Zawarto również opis grupy tłokowo-cylindrowej, elementów wchodzących w jej skład, a także opis warunków pracy i zjawisk towarzyszących procesom zużywania się.

WSTĘP

Tłok z pakietem pierścieni tłokowych oraz cylindrem stanowią jeden z najważniejszych węzłów kinematycznych silnika spalinowego. Dbałość o ochronę środowiska, podniesienie standardów podróży, obniżenie kosztów eksploatacji oraz produkcji, wymaganie niezawodności wymuszają nieustanną pracę nad nowymi rozwiązaniami w konstrukcji, produkcji oraz eksploatacji silników spalinowych [1]. Współpraca poszczególnych elementów grupy tłokowo-cylindrowej ma istotny wpływ na sprawność silnika oraz jego trwałość. Dokładne poznanie zjawisk smarowania i zużycia występującego podczas współpracy elementów grupy tłokowo-cylindrowej umożliwia pracę nad doskonaleniem konstrukcji zespołu tłok-pierścienie-cylinder [3].

Straty tarcia decydują o sprawności mechanicznej silnika. Ograniczenie strat tarcia przyczynia się do zmniejszenia ilości zużywanego paliwa przy wykonywaniu tej samej pracy. W nowoczesnych silnikach spalinowych za większość strat tarcia odpowiadają tłok i pierścienie tłokowe. Zespół tłok-cylinder może mieć udział nawet w okolicach 60% ogólnych strat mechanicznych w silniku spalinowym [4]. Tribologiczne działanie zespołu tłok-cylinder ma istotny wpływ na sprawność oraz trwałość silnika spalinowego.

W czasie pracy silnika spalinowego denko tłoka narażone jest na bezpośredni kontakt z czynnikiem roboczym silnika spalinowego, znajdującym się w komorze roboczej silnika. W wyniku procesu spalania, temperatura czynnika roboczego może osiągnąć wartość sięgającą nawet 2000 °C. Nieuniknionym efektem oddziaływania tak wysokiej temperatury jest wymiana ciepła, która następuje głównie poprzez przejmowanie [9]. Wymiana ciepła między czynnikiem roboczym a denkiem zmienia się okresowo. Biorąc pod uwagę znaczne prędkości obrotowe wału korbowego silnika spalinowego okresy zmian są małe. Na rys. 1. przedstawiony został rozkład temperatury na tłoku, zarówno dla silnika ZS oraz ZI.



Rys. 1. Rozkład temperatury na tłoku dla silnika ZS i ZI [9]

Zbyt duże temperatury w grupie tłokowo-cylindrowej mogą powodować obniżenie trwałości elementów wchodzących w jej skład. Wraz ze wzrostem temperatury wytrzymałość materiału oraz odporność na ścieranie maleje. Powierzchnia komory roboczej może ulegać utlenianiu pod wpływem działania wysokiej temperatury oraz czynnika roboczego. Zbyt wysoka temperatura jest szkodliwa także dla oleju, powodując jego rozkład i odkładanie warstwy laku. Kolejnym problemem staje się odkształcenie materiałów, powodujące powstawanie luzów między cylindrem a tłokiem [6].

W artykule przedstawiona zostanie analiza zespołu tłok-cylinder silnika spalinowego, związana z minimalizacją zużycia poszczególnych jej elementów tj. tłok, pierścienie tłokowe oraz cylinder. Przedstawione zostaną metody minimalizacji zużycia się elementów grupy tłokowo-cylindrowej używanych we współczesnych silnikach spalinowych.

1. PRZYCZYNY ZUŻYWANIA SIĘ ELEMENTÓW GRUPY TŁOKOWO-CYLINDROWEJ

Zużyciem elementów pary kinematycznej nazywa się stratę materiału między stanem początkowym a stanem obecnym. Zużycie jest wynikiem zmian właściwości elementów zachodzących podczas eksploatacji [8]. Głównymi czynnikami powodującymi zużywanie się elementów grupy tłokowo-cylindrowej są [7]:

- utlenianie, powodowane przez zjawisko tarcia granicznego i mieszanego, najczęściej w pobliżu miejsc zwrotnych położenia tłoka,
- zużycie adhezyjne, dzięki braku filmu olejowego w okresie trwania rozruchu i zatrzymywania silnika,
- ścieranie, powodowane przez pojawienie się twardych zanieczyszczeń między pierścieniami a gładzią cylindra. Najczęściej są to metaliczne produkty zużycia lub cząsteczki krzemu pochodne.

Największy wpływ na zużycie silnika zazwyczaj ma proces zużycia ściernego, który występuje w strefach styku elementów grupy tłokowo-cylindrowej. Przyczyną tego zużycia jest przedostawanie się do strefy styku twardych zanieczyszczeń z paliwa, oleju, powietrza oraz cząstek metalu generowanych przez zużywanie się w procesie eksploatacji. Aby zminimalizować zużywanie ściernie stosuje się systemy filtracji układów paliwowego, smarowania i dolotowego, co pozwala dwukrotnie wydłużyć żywotność silnika.

Mniejszy wpływ na trwałość silnika ma występowanie tarcia mieszanego w zwrotnych położeniach tłoka. Tarcu mieszanemu

towarzyszy utlenianie się powierzchni trących, które charakteryzuje się stosunkowo niską intensywnością.

2. MECHANIZM ZUŻYWANIA ZESPOŁU TŁOK-CYLINDER

W pobliżu górnego martwego punktu oraz dolnego martwego punktu między pierścieniami tłokowymi a cylindrem zachodzi zjawisko tarcia mieszanego, które prowadzi do zużycia utleniającego oraz zużycia ściernego. Proces zużycia między powierzchniami tych elementów ma charakter mechaniczno-chemiczny, rys.2.

Wierzchnia warstwa omawianych elementów składa się z kilku stref. Pierwszą strefę stanowią cienkie błonki struktur wtórnych. Powstają one w skutek tarcia oraz oddziaływania bliskiego otoczenia, tworzonego przez płyn smarowy i atmosferę gazową. Druga strefa tworzona jest przed podpowierzchniową warstwą materiału. W tej strefie powstaje rozdrobniona struktura ziarnista pod wpływem sprężysto-plastycznych odkształceń pośrednich. Trzecią strefę nazywa się warstwą głębiej położoną. W tej strefie ma miejsce zjawisko falowego odkształcenia sprężystego. Na wierzchniej warstwie występują także strefy zaadsorbowanych cząstek oleju oraz zanieczyszczeń.

Skutkiem wielokrotnego zaczepiania nierówności powierzchni współpracujących w lokalnych warstewkach powstają mikropęknięcia, które w trakcie dalszej współpracy rozwijają się oraz prowadzą do odspajania i degradacji tych warstw. Dzięki temu zjawisku w głąb materiału propagowane są oddziaływania ciepłno-mechaniczne, prowadzące do przemian w warstwach podpowierzchniowych. Po zniszczeniu struktur warstwy wierzchniej jej rolę przejmuje strefa podpowierzchniowa i cykl się powtarza.

W trakcie współpracy elementów pary kinematycznej pojawia się twardej cząstki zanieczyszczeń powoduje zainicjowanie zjawiska zużycia ściernego. Zużywanie ściernie zalicza się do chemiczno-mechanicznych lub do mechanicznych rodzajów procesów zużycia. W przypadku chemiczno-mechanicznego zużycia ściernego wskutek działania metalicznych zanieczyszczeń dochodzi do ścierania tylko cienkiej warstewki przypowierzchniowej tworzonej przez utlenione cząsteczki powierzchni elementów współpracujących. Zużywanie mechaniczne zachodzi przez mikroskrawanie warstwy wierzchniej dużymi nierównościami powierzchni elementów współpracujących lub luźnymi ścierniwami. Zużywanie mechaniczne jest procesem głębszego zużycia niż zużywanie chemiczno-mechaniczne. Granicą podziału między zużyciem mechanicznym a zużyciem chemiczno-mechanicznym jest stosunek twardości metalu zużywanego do twardości ścierniwa.

3. SPOSOBY MINIMALIZACJI ZUŻYCIA ELEMENTÓW GRUPY TŁOKOWO-CYLINDROWEJ

Celem smarowania w silniku spalinowym jest zmniejszenie tarcia i ograniczenie zużycia powierzchni par kinematycznych. Olej smarujący poprawia również szczelność układów oraz ułatwia odprowadzanie ciepła. Zastosowanie oleju smarującego pozwala

odprowadzać zanieczyszczenia oraz tłumić drgania.

Największe zmniejszenie oporów ruchu wywołanych tarcie ślizgowym można uzyskać w procesie tarcia płynnego. Tarcie płynne pozwala całkowicie odizolować od siebie powierzchnie elementów współpracujących. Tarcie zachodzi wówczas wewnątrz warstwy oleju. Zmniejszenie grubości filmu olejowego do pewnego stopnia może prowadzić do bezpośredniego kontaktu między powierzchniami par kinematycznych. Zjawisko takie nosi nazwę tarcia płynnego.

Utrzymanie procesu tarcia płynnego między dwiema powierzchniami ciał stałych rozdzielonych filmem olejowym wymaga spełnienia warunków smarowania hydrodynamicznego. Warunki występowania smarowania hydrodynamicznego to [5]:

- szczelina smarowa zmniejszająca się w kierunku ruchu,
- wypełnienie szczeliny lepkiem płynem (smarem),
- względny ruch ciał stanowiących elementy układu tribologicznego.

Siła wyporu hydrodynamicznego warunkuje nośność układu tribologicznego, który stanowi łożysko ślizgowe. Wartość siły wyporu hydrodynamicznego zależy od:

- lepkości środka smarnego,
- kształtu szczeliny smarowej,
- prędkości względnej przemieszczających się ciał.

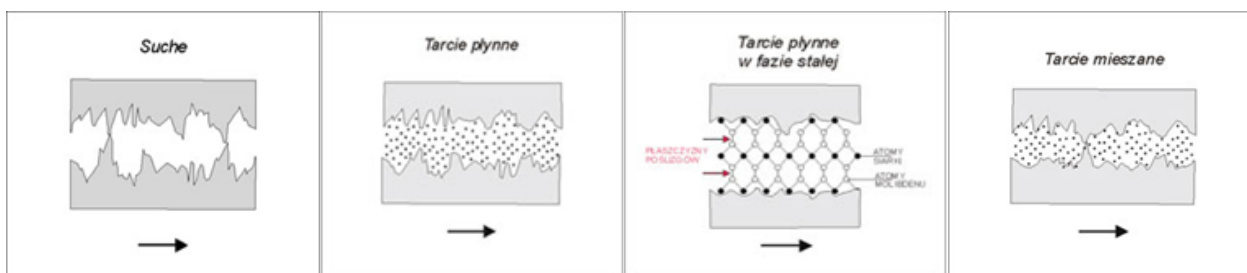
Tłok wraz z pierścieniami tłokowymi porusza się ze zmienną prędkością względem gładzi cylindra. W suwach dołotu i rozprężania pierścieni zgarniający porusza się po warstwie świeżo zgromadzonego na gładzi cylindrowej oleju smarującego. Pierścienie uszczelniające zaś po warstwie oleju pozostawionego przez pierścieni zgarniający. Większa ilość pozostaje po pierścieniu zgarniającym oznacza to, że więcej oleju dostanie się pod powierzchnie pierścieni uszczelniających. Przy zmianie zwrotu tłoka kolejność następowania po sobie pierścieni ulega odwróceniu.

Aby powierzchnia tłoka i pierścienia była oddzielona od gładzi cylindra wymagane jest wytworzenie ciśnienia w filmie olejowym na tyle dużego, aby równoważyło ono siły obciążające pierścienie w czasie pracy. Na nośność filmu olejowego ma wpływ ciśnienie gazów z przestrzeni nad i pod tłokiem oraz sprężystość własna pierścienia.

Podstawowe wymagania i oczekiwania, jakie muszą spełniać oleje smarujące do silników spalinowych to [4]:

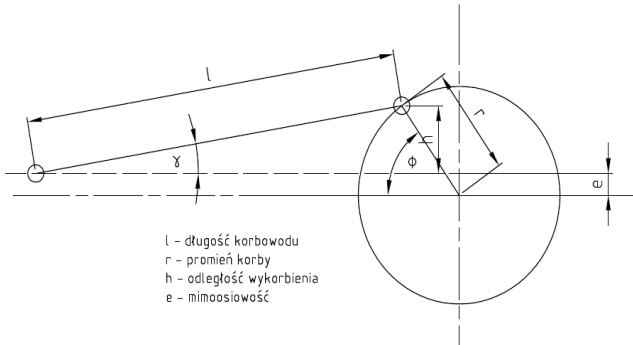
- maksymalne ograniczenie tarcia między współpracującymi elementami,
- efektywne odprowadzanie ciepła i produktów zużycia z węzłów kinematycznych,
- wydłużona trwałość oleju oraz uszlachetniających go dodatków podczas eksploatacji,
- ograniczenie emisji związków szkodliwych do atmosfery.

Oporzy tarcia wywołanych przez grupę tłokowo-cylindrową stanowią 75%. Wytwarzają je głównie pierścienie tłokowe, natomiast resztę przypisuje się tarcu między płaszczem tłoka a gładzią cylindrową. W celu zmniejszenia tarcia pierścieni wprowadza się tłoki z dwoma pierścieniami, doskonalą ich profil i rodzaj powierzchni ślizgowej. Zaś tarcie płaszcza tłoka przez optymalizację jego profilu.



Rys. 2. Zróżnicowane formy współpracy powierzchni elementów grupy tłokowo-cylindrowej

W wielu współczesnych silnikach oś cylindrów przesunięta jest w stosunku do osi wału korbowego. Przesunięcie osi cylindrów pozwala zapewnić równomierny nacisk tłoka na gładź cylindra, dzięki czemu zużywanie się cylindrów w kierunku promieniowym jest podobne w każdym punkcie. Mechanizm o przesuniętej osi cylindrów względem osi wału korbowego nazywa się mimoosiowym mechanizmem tłokowo-korbowym. Taki rodzaj mechanizmu przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Schemat mimoosiowego mechanizmu tłokowo-korbowego

Konstrukcja tłoków stosowanych w szybkoobrotowych silnikach spalinowych musi uwzględniać fakt, że tarcie o tuleję cylindra jest jednym z głównych składników strat, które decydują o sprawności mechanicznej silnika.

Tłoki do silników o zapłonie samoczynnym poddawane są większym obciążeniom niż tłoki do silników o zapłonie iskrowym. Silniki o zapłonie samoczynnym charakteryzują się wyższymi temperaturami oraz większymi ciśnieniami w procesie spalania. Tłoki wyposażone są we wzmocnione stalowe rowki pod pierścieniem uszczelniającym rys. 4. W celu zachowania kontroli nad rozszerzalnością termiczną płaszczka stosuje się również zatopione stalowe wkładki na wysokości osi sworznia tłokowego. Firma MAHLE produkuje również tłoki wraz z kanałami chłodzonymi natrykiwanym olejem silnikowym, polepszającym odprowadzanie ciepła do denka tłoka lub kanały zamknięte, wypełnione sodem podwyższając w ten sposób współczynnik przewodności ciepła [2,9].



Rys. 4. Tłok ze stalową wkładką pod pierścieniem uszczelniającym [9]

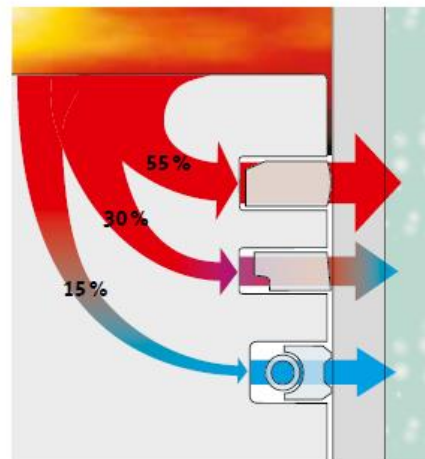
Standardowym rozwiązaniem zwiększającym trwałość aluminiowych tłoków do silników pojazdów ciężarowych są stalowe rowki pierścieniowe. Do wysiłonych silników o zapłonie samoczynnym stosuje się powszechnie dwuczęściowe tłoki typu Ferrotherm [9], rys. 5. Korona tłoka z częścią pierścieniową jest wykonana ze stali stopowej, co oznacza, że siły gazowe i dynamiczne przenoszone są na sworznie tłokowy poprzez część stalową, która jest także odporna termicznie.

W celu uzyskania jak najmniejszej masy wymiary tłoka ograniczone są do minimum. Powoduje to jednak szybsze zużycie gładzi cylindrowej oraz powierzchni bocznej tłoka. Następuje tak ze względu na większe naciski jednostkowe.



Rys. 5. Tłok typu Ferrotherm [9]

Najważniejszym zadaniem pierścieni tłokowych jest zapewnienie należytej szczelności układu tłok-cylinder. Pierścienie tłokowe powinny zmniejszać do minimum opory tarcia i jednocześnie nie dopuścić do przenikania oleju z skrzyni korbowej do spalania. Kolejną funkcją pierścieni tłokowych jest prawidłowe rozprowadzenie oleju smarującego na wewnętrznej powierzchni cylindra. Pierścienie tłokowe odgrywają też znaczną rolę w odprowadzaniu ciepła od denka tłoka rys. 6.



Rys. 6. Procentowy udział przekazywania ciepła przez pierścienie tłokowe [9]

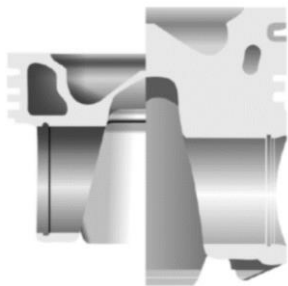
Pierścienie tłokowe są dociskane do gładzi cylindra siłami sprężystości własnej pierścienia, wspieranej dodatkowo ciśnieniem gazów roboczych. Konsekwencją działania tych sił jest nacisk wywierany na gładź cylindrową przez pierścień. Wielkość tego nacisku jest uzależniona od konstrukcji pierścienia i modułu sprężystości materiału pierścienia. Nacisk wywierany na cylinder może być na całym obwodzie równomierny lub nie w zależności od wykonania. Pierścienie okrągłe charakteryzują się jednakowym naciskiem na gładź cylindra na całym jej obwodzie. Pierścienie nieokrągłe wywierają nacisk zmienny w zależności od odległości osi zamka [8].

Bardzo niekorzystne warunki pracy tłoków wymagają wielu wymagań dotyczących materiałów, z których wykonywane są tłoki. Materiałami stosowanymi na tłoki są głównie stopy aluminium, stali stopowe oraz żeliwa. Aby zmniejszyć współczynnik rozszerzalności cieplnej stosuje się stopy o wysokiej zawartości krzemu. Zwiększoną twardość uzyskuje się również dzięki zabiegom obróbki cieplnej.

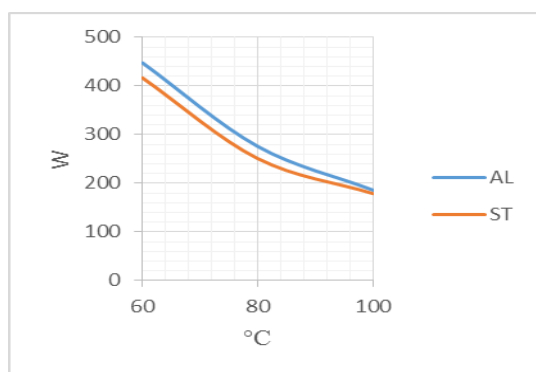
Coraz częściej ze względu na wyższe wskaźniki wytrzymałościowe oraz rozszerzalność cieplną stosuje się stale stopowe. Mimo dużej gęstości tłoki stalowe dorównują pod względem całkowitej masy tłokom aluminiowym, dzięki możliwości stosowania finyzyjnych kształtów o małych przekrojach rys. 7.

Na rys. 8 przedstawione zostały wyniki symulacji mocy tarcia dla tłoków aluminiowych i stalowych w funkcji temperatury oleju. Redukcja tarcia wnosi ok. 6% dla tłoków stalowych w stosunku do tłoków aluminiowych.

Tłoki żeliwne charakteryzują się dobrymi właściwościami ślizgowymi, dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi w podwyższonych temperaturach i małym współczynnikiem rozszerzalności liniowej. Żeliwo ma jednak dużą gęstość, co powoduje, że żeliwne tłoki są stosunkowo ciężkie.



Rys. 7. Porównanie wysokości tłoka stalowego i aluminiowego



Rys. 8. Wyniki mocy tarcia tłoków aluminiowych i stalowych w funkcji temperatury oleju

Na stronie płaszcza przenoszącej siłę normalną stosuje się specjalne powłoki żywic hydroksybenzenowych związanych z grafitem. W niektórych rozwiązaniach, gdzie lekkie tłoki aluminiowe współpracują z aluminiowymi cylindrami na powierzchniach ślizgowych tłoka nakładane są stalowe lub chromowe cienkie powłoki, które poprawiają warunki współpracy tych elementów [1].

Materiał na pierścienie tłokowe powinien się charakteryzować odpowiednimi właściwościami mechanicznymi, dużym modulem sprężystości, wysoką wytrzymałością na zginanie oraz ściskanie, odpowiednią w stosunku do gładzi cylindra twardością, małym współczynnikiem tarcia i odpornością na ścieranie w stosunku do materiału cylindra, odpornością na korodujące działanie produktów spalania. Właściwości te muszą być zachowane w odpowiednich granicach zmiennych i stosunkowo wysokich temperaturach panujących w czasie pracy silnika [3].

Pierścienie tłokowe wykonywane są najczęściej z żeliwa ciągliwego lub szarego sferoidalnego. Pomiedzy składem chemicznym i twardością żeliwa a jego odpornością na zużycie nie da się ustalić prostego związku. Wyraźniejsza jest natomiast zależność między zużyciem a strukturą żeliwa. Im żeliwa jest bardziej gruboziarniste tym lepiej zachowują pod względem odporności na ścieranie. Najkorzystniejsza ze względu na zużycie zawartość węgla wynosi około

3,42%. Nieduże dodatki stopowe jak chrom, molibden zwiększają odporność żeliwa na ścieranie. Małe zawartości takich dodatków obniżają własności sprężyste pierścieni. Bardzo duży wpływ na zużycie zarówno pierścieni tłokowych jak i gładzi cylindra ma odpowiedni dobór twardości materiałów na cylinder i pierścieniu.

We wcześniejszych rozwiązaniach silników spalinowych stosowano najczęściej suche lub mokre żeliwne tuleje cylindrów osadzone w aluminiowym kadłubie. Zmniejszona sztywność konstrukcji i trudności z uszczelnieniem przestrzeni cieczy chłodzącej w przypadku tulei mokrych oraz gorsze warunki odprowadzania ciepła w przypadku tulei suchych takiego rozwiązania obecnie się nie stosuje. Wprowadzenie stopów aluminium jako materiału na kadłub stało się możliwe po zastosowaniu specjalnych technologii, głównie w odniesieniu do warstwy gładzi cylindra współpracującej z tłokiem [1,9].

W celu poprawienia współpracy gładzi cylindra z tłokiem są stosowane specjalne technologie [10] :

- Powierzchnia robocza cylindra pokryta materiałem o dobrych właściwościach ślizgowych odpornych na zużycie.

Takim materiałem może być nikiel. Tworzy on cienką warstwę o grubości 0,06-0,1 mm. Nanosi się elektrolitycznie. Taka warstwa podlega honowaniu i w efekcie uzyskuje się bardzo niewielką wartość odchyłki, średnio wynoszącą 0,4 μm. Powierzchnia ta charakteryzuje się dużą odpornością na zużycie dzięki twardości powierzchni. Dobra współpraca z tłokiem osiągnięta jest ze względu na specyficzne działanie zagłębień po honowaniu, w których utrzymuje się olej silnikowy.

Innym materiałem używanym do tworzenia warstwy odpornej na zużycie jest chrom. Warstwę chromu również nanosi się elektrolitycznie i osiąga ona grubość 0,06 – 0,08 mm. Nanoszenie chromu poprzedzone jest radełkowaniem powierzchni cylindra. Pozwala to tworzyć przestrzenie, w których przetrzymywany jest olej silnikowy. Powłoka jest następnie honowana przy użyciu diamentowego lub ceramicznego narzędzia. W terminologii firmy MAHLE powierzchnia taka jest nazywana CROMAL [10].

Kolejnym sposobem przygotowania powierzchni aluminiowego cylindra jest płomieniowe pokrycie żelaza. Po obróbce mechanicznej mikropory oraz ślady po honowaniu pozwalają na bardzo dobre utrzymywanie się filmu olejowego. Powierzchnia ta, znana jako FERRAL zapewnia dobre własności ślizgowe oraz dużą twardość powierzchni zapewniającą dużą odporność na zużycie [9].

- Powierzchnia robocza cylindra pokryta stopem aluminium o podwyższonych właściwościach mechanicznych, szczególnie twardości i odporności na ścieranie.

Powszechnie znanym stopem stosowanym do tej technologii jest hipereutektyczny stop aluminium, krzemu (17%), miedzi (4-5%) oraz magnezu (0,4-0,7%). Przed honowaniem cylindra stosuje się elektrolityczne grawerowanie powierzchni cylindra. Taka powierzchnia wymaga jednak chromowania współpracujących z nią powierzchni tłoka i pierścieni tłokowych. Zwiększenie twardości oraz odporności na zużycie jest efektem znacznego udziału krzemu w stopie [10].

Technologie kompozytowe [6,7] :

- stop aluminium wylewany wokół wcześniej odlanej tulei cylindrowej z żeliwa szarego. Między dwoma materiałami powstaje wiązanie metaliczne między cząsteczkowe oraz dodatkowo wiązania typowo mechaniczne. Dzięki tej technologii uzyskuje się poprawę własności mechanicznych gładzi, silne powiązanie obu materiałów, dobre przewodzenie ciepła,
- żeliwna tuleja z odpowiednio ukształtowaną powierzchnią zewnętrzną zalana w stopie aluminium. Otrzymuje się połączenie obu materiałów z jednoczesnym zwiększeniem powierzchni ciepła,

- zalanie tulei ze stopu aluminium o zwiększonej zawartości krzemu w stopie aluminium typowym dla kadłuba silnika. Powstaje wówczas powierzchnia robocza o większej twardości i odporności na zużycie z bardzo dobrym wiązaniem międzycząsteczkowym obu stopów i bardzo dobrymi warunkami odprowadzania ciepła.

PODSUMOWANIE

Rozwój tłokowych silników spalinowych jest determinowany głównie wpływem jego działania na otoczenie człowieka. Negatywny wpływ na środowisko można zminimalizować poprzez zwiększenie sprawności silnika. Sprawność silnika wiąże się nierozłącznie ze stratami tarcia, które z kolei występują głównie w układzie tłokowo-korbowym.

Grupa tłokowo-cylindrowa jest jednym z najbardziej obciążonych zespołów silnika spalinowego. Ponadto zespół tłok-cylinder bierze udział przy zamianie ruchu posuwisto-zwrotnego tłoka na ruch obrotowy wału korbowego. Tłok spełnia dodatkowo bardzo istotną funkcję ruchomej części komory spalania. Z tych względów wynika wiele wymagań, wpływających na konstrukcję, technologię wytwarzania, używanie materiały, eksploatację grupy tłokowo-cylindrowej.

Podczas wielu badań znacznie poprawiono sprawność silnika spalinowego, straty generowane podczas zmiany energii chemicznej na mechaniczną, parametry pracy. Mimo to silnik spalinowy wymaga dalszej nieustanej pracy nad doskonaleniem. Grupa tłokowo-cylindrowa jest jedną najważniejszych grup silnika spalinowego i posiada bardzo dużo rozwiązań konstrukcyjnych.

Znaczne pole manewru przy udoskonaleniu grupy tłokowo-cylindrowej zostawia materiałoznawstwo oraz duży postęp w tej dziedzinie w ostatnich latach. Nowe materiały, głównie kompozyty wykazują bardzo dobre właściwości i prace nad ich wykorzystaniem powinny pomóc udoskonalić pracę grupy tłokowo-cylindrowej. Nowe rodzaje płynów eksploatacyjnych powinny pozwolić również poprawić bilans strat tarcia i zużycia się elementów grupy tłokowo-cylindrowej.

BIBLIOGRAFIA

1. Baberg A., Freidhager M., Mergel H., Schmidt K. Aspekte der Kolbenmaterialwahl bei Dieselmotoren, MTZ, 12/2012.
2. Backhaus R., Kolben aus Stahl für PkW-Dieselmotoren, MTZ, 12/2009.

3. Blümm M., Baberg A., Dörnenburg F., Leitzmann D., Innovative Schaffbeschichtungen für Otto- und Dieselmotorkolben, MTZ, 02/2016.
4. Deuss T., Ehnis H., Rose R., Künzel R., Reibleistungsmessungen am Befeueren Dieselmotor-Potenziale der Kolbengruppe, MTZ, 5/2010.
5. Deuss T., Ehnis H., Rose R., Künzel R., Reibleistungsmessungen am Befeueren Dieselmotor-Einfluss von Kolbenschaftbeschichtungen, MTZ, 4/2011.
6. Dörnenburg F., Lades K., Kenningley S., Neue Technik für Höhere Warmfestigkeit von Aluminiumkolben, MTZ, 04/2010.
7. Fahr M., Hanke W., Klimesch Ch., Rehl A., Reibungsreduzierung bei Kolbensystemen im Ottomotor, MTZ 07-08/2011.
8. Golloch R., Untersuchungen zur Tribologie eines Dieselmotors im Bereich Kolbenring/Zylinderlaufbuchse, VDI Verlag GmbH, Reihe 12, Nr. 473, Düsseldorf 2001.
9. Mahle GmbH, Piston and engine testing, Stuttgart 2012.
10. Mahle GmbH, Piston Manual, Cylinder and Cylinder Blocks, Stuttgart 2012.

Minimizing wear of components piston-cylinder group

The article describes the problem associated with the piston-cylinder group and in particular issues minimizing the consumption of its individual parts such as a piston, piston rings and cylinder. Were presented methods to minimize wear of the piston-cylinder used in modern internal combustion engines. It also contains a description of the piston-cylinder elements comprising it and a description of the working conditions and phenomena processes wear.

Autorzy:

mgr inż. **Emil Wróblewski** – Politechnika Poznańska,

Institut Silników Spalinowych i Transportu

emil.z.wroblewski@doctorate.put.poznan.pl

prof. dr hab. inż. **Antoni Iskra** – Politechnika Poznańska,

Institut Silników Spalinowych i Transportu

antoni.iskra@put.poznan.pl

dr inż. **Maciej Babiak** – Politechnika Poznańska,

Institut Silników Spalinowych i Transportu

maciej.babiak@put.poznan.pl