



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PÍSTNÍ KROUŽKY SOUDOBÝCH VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

PISTON RINGS OF MODERN DIESEL ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR HOMOLA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETER RAFFAI

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Homola

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Pístní kroužky soudobých vznětových motorů

v anglickém jazyce:

Piston Rings of Modern Diesel Engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je provést rešerši pístních kroužků soudobých vznětových motorů, a to zejména z hlediska tvarů, materiálů a povrchových úprav.

Cíle bakalářské práce:

1. úvod do problematiky pístních kroužků
2. funkce a požadavky kladené na pístní kroužky
3. popis použitých tvarů
4. popis použitých materiálů
5. popis použitých povrchových úprav
6. vlastní závěr a shrnutí práce

Seznam odborné literatury:

[1] ANDERSSON, Peter, Jaana TAMMINEN a Carl-Erik SANDSTRÖM. Piston ring tribology: A literature survey. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 2002. ISBN 951-38-6107-4.

[2] HEYWOOD, John B. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill, 1988, 930 p. ISBN 0-07-028637-X.

[3] FEDERAL-MOGUL BURSCHEID GMBH. Piston Ring Handbook [online]. 2008 [cit. 2013-10-21]. Dostupné z: <http://korihandbook.federalmogul.com/en/index.htm>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Peter Raffai

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na pístní kroužky soudobých vznětových motorů a je rozdělena do několika kapitol. První kapitola řeší funkce pístních kroužků a požadavky na ně kladené, v další kapitole nalezneme rozdělení dle typu kroužku a konstrukčního řešení. předposlední kapitola rozebírá materiály nejčastěji používané při výrobě pístních kroužků a v poslední kapitole nalezneme nejčastěji používané povrchové úpravy.

Klíčová slova

Pístní kroužky, vznětové motory, tvary, materiály, povrchové úpravy

Abstract

This bachelor thesis concentrates on piston rings and is divided into several points. First point deals with the functions of piston rings and with the demands for them, in the second point there is a division according to the type of the ring and constructing solution. Another chapter deals with materials that are used the most when fabricating piston rings and the last chapter deals with the surfacing that is used the most.

Keywords

Piston rings, diesel engines, shapes, materials, surface treatments



Bibliografická citace

HOMOLA, P. *Pístní kroužky soudobých vznětových motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Peter Raffai.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Raffaie a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2015

.....

Petr Homola



Poděkování

Tímto bych chtěl srdečně poděkovat panu Ing. Petru Raffaiovi za jeho rady, konzultace a odborné vedení při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych rád poděkovat rodině a přátelům za jejich podporu při studiu.



Obsah

Úvod.....	10
1 Vznětové motory.....	12
2 Pístní kroužky	14
2.1 Funkce pístních kroužků	15
2.2 Silové působení na pístní kroužek.....	15
2.2.1 Síla vyvozená vlastní pružností materiálu	16
2.2.2 Síla vyvozená tlakem plynů.....	17
2.2.3 Síla vyvolaná třením	18
2.3 Pístní kroužky – schéma.....	18
2.4 Drážka pístního kroužku	19
3 Typy pístních kroužků	20
3.1 Těsnící pístní kroužky	20
3.1.1 Kroužky s lichoběžníkovým průřezem	20
3.1.2 Kroužky s polovičním lichoběžníkovým průřezem.....	21
3.1.3 Kroužky s úkosem	21
3.1.4 Kroužky se zkosením nebo vybráním na vnitřní horní hraně.....	22
3.1.5 Kroužky se zkosením nebo vybráním na vnitřní spodní hraně.....	22
3.2 Stírací pístní kroužky	23
3.2.1 Jednodílné stírací kroužky	23
3.2.2 Vícedílné stírací kroužky	25
3.3 Zámek pístního kroužku.....	26
3.3.1 Kolmý zámek.....	26
3.3.2 Šikmý a tvarový zámek.....	27
3.3.3 Hákový zámek	27
3.3.4 Krokový zámek.....	28
4 Materiály pístních kroužků	29
4.1 Tvárná litina	29
4.2 Šedá litina.....	30
4.3 Ocel	31
5 Povrchové úpravy pístních kroužků	32
5.1 Chemické povlakování.....	32
5.1.1 Fosfátování.....	32
5.2 Elektro-chemické povlakování.....	33
5.2.1 Galvanické chromování	33
5.2.2 CKS/GDC povlak	34
5.3 Chemicko-tepelné povlakování.....	35



5.3.1 Nitridace.....	35
5.4 Povlaky vytvořené ve vakuu	35
5.4.1 PVD povlakování.....	36
5.5 Tepelné nástřiky	36
5.5.1 Nástřík plazmou	37
Závěr	38
Použité informační zdroje.....	39
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	41

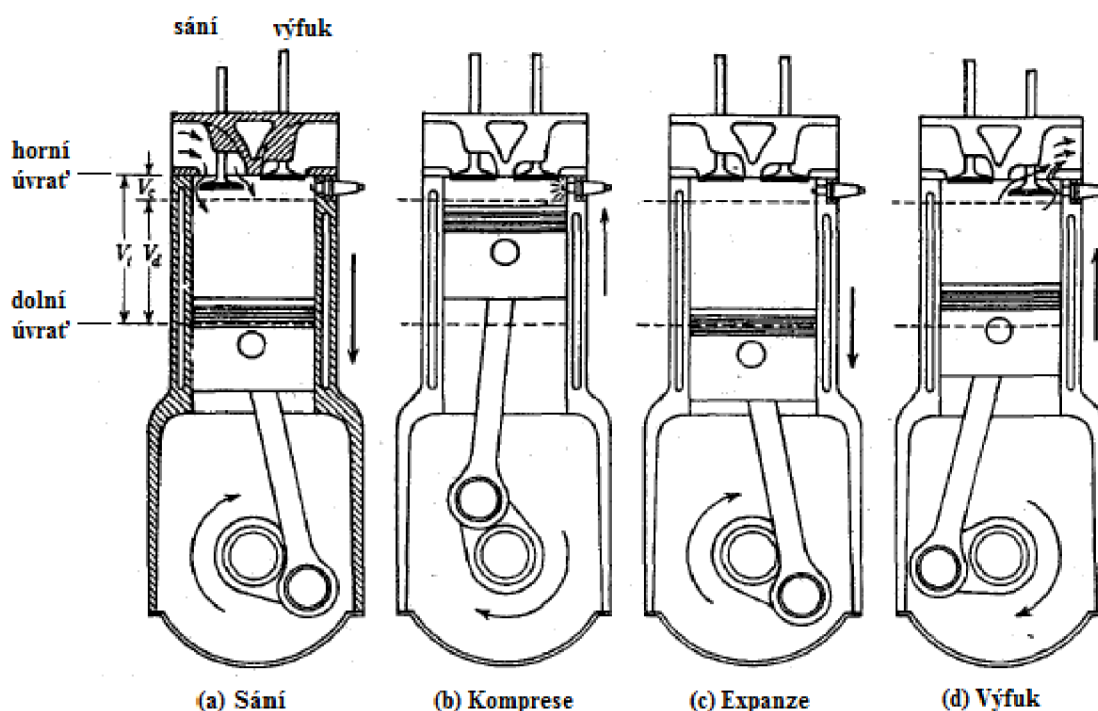


Úvod

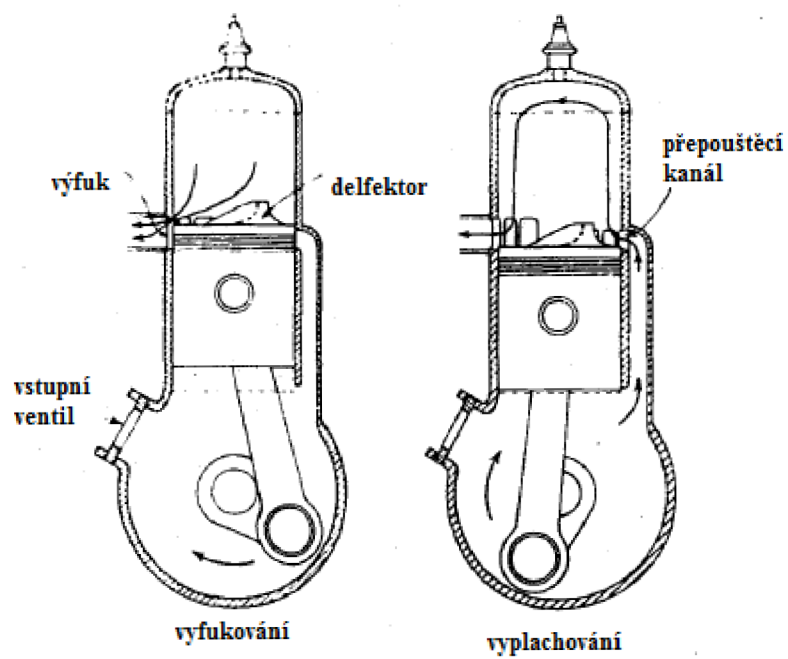
Vznětové motory se řadí do kategorie pístových motorů s vnitřním spalováním, motor tedy využívá potenciální tlakovou energii plynů vznikajících při spalování paliva v pracovním prostoru válce. Historie vznětových motorů se datuje od roku 1892, kdy byl vydán první patent Rudolfa Dieselovy, který se dlouho snažil sestavit motor s ideálním Carnotovým cyklem a nakonec položil teoretický základ vznětovým motorům. Motor měl podobný průběh dob jako čtyřdobé benzinové motory s Ottovým cyklem, s tím rozdílem že jako palivo sloužila nafta nebo těžké ropné oleje a k její iniciaci se nepoužívala elektrická jiskra, nýbrž vysoká teplota vznikající při velké kompresi vzduchu.

Již ve svých počátcích byly první naftové motory ekonomičtější a dosahovaly vyšších výkonů než jejich soudobé benzinové protějšky, byly ovšem rozměry velké a těžké, proto se využívaly spíše jako stacionární motory v továrnách a dílnách. Jejich masovější využití umožnil až vynález vstřikovacího čerpadla, které nahradilo velké kompresory.

Od té doby urazil vývoj naftových motorů dlouhou cestu a motor byl mnoha způsoby vylepšen a modifikován. Do této kategorie neustále se vyvíjejících komponentů spadají i pístní kroužky, součástka rozměry titěrná, avšak s důležitou úlohou pro správný a účinný chod motoru. Jsou na ně kladeny vysoké nároky kvůli jejich velkému zatížení při provozu. Konstrukční řešení i materiál, z kterého jsou vyrobeny, musí splňovat řadu podmínek, aby měli požadovaný účinek. Funkci pístních kroužků, jejich nejčastějšímu konstrukčnímu provedení i materiálům a povrchovým úpravám nejčastěji používaných při jejich výrobě jsou věnovány následující řádky. [2], [4]



Obr. 1 Cyklus čtyřdobého motoru [2]



Obr. 2 Cyklus dvoudobého motoru [2]



1 Vznětové motory

Soudobé vznětové motory pracují na podobném principu jako motory zážehové, mají ovšem několik podstatných odlišností. Chemická energie obsažená v palivu je uvolněna jeho vznícením pomocí vstříknutí paliva do stlačeného vzduchu, na rozdíl od motorů zážehových, kde je již namixovaná směs vzduchu a paliva stlačována dohromady a iniciována elektrickou jiskrou. Ke vznícení paliva u naftových je potřeba dosáhnout značného tlaku, proto musí mít motor velký kompresní poměr. Běžný kompresní poměr, tzn. poměr, aby bylo dosaženo potřebné teploty stlačeného vzduchu a došlo ke vznícení paliva, je u motorů s přímým vstříkáváním $\epsilon_{\min}=17$. Tlak na konci stlačování vzduchu se pohybuje mezi 3,0 až 5,5 MPa a teplota dosahuje hodnot 700 až 900°C. U benzinových motorů se hodnoty tlaků pohybují mezi 0,9 až 1,5 MPa a teplot 400 až 600°C. Vstříknutím paliva u vznětových motorů do takto stlačeného vzduchu dojde k uvolnění chemické energie v něm vázané a její přeměně na potenciální (tlakovou) energii výfukových plynů, která působí na spalovací komoru na spodní straně uzavřenou pístem. Píst, jenž je pomocí ojnice spojen s klikovou hřídelí, je takto tlačěn a koná translační pohyb z horní úvratě do dolní. Kliková hřídel tento translační pohyb mění na pohyb rotační.

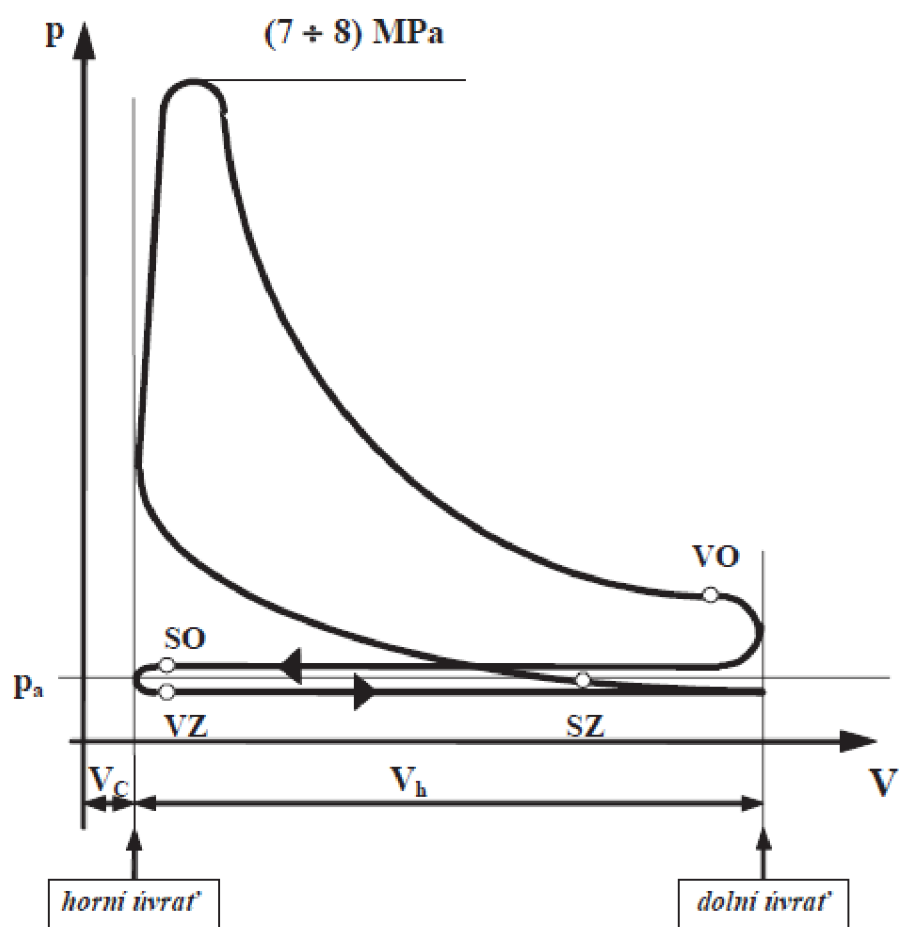
Celý tento proces je „uzavřen“ do pracovního cyklu, jehož výslednou podobu ovlivňuje konstrukční řešení daného motoru. Může se jednat o čtyřdobý motor, tedy motor s čtyřdobým pracovním cyklem (nejčastěji používaný u soudobých automobilů), u nějž každá doba znamená jednu otáčku klikové hřídele, při které se provede vždy jedna fáze pracovního cyklu, tzn. celý pracovní cyklus, sání – komprese – expanze – výfuk, je proveden během čtyř otáček klikové hřídele, přičemž pouze při expanzi je konaná práce. Ve zbylých dobách se práce spotřebovává.

Nebo se může jednat o motor dvoudobý s dvoudobým pracovním cyklem, to v praxi znamená, že celý pracovní cyklus je proveden během dvou otáček klikové hřídele a za každou dobu se provedou vždy dvě fáze pracovního cyklu, to znamená, že fáze sání + komprese a expanze + výfuk probíhají vždy spolu během jedné doby, tedy během jedné otáčky klikové hřídele.

Celková účinnost vznětových motorů je vyšší než u motorů zážehových a to díky vyšší účinnosti Dieselova tepelného cyklu.

V současnosti se používá celá škála různých modifikací vznětových motorů od atmosférických po přeplňované, to znamená, že vzduch je do spalovací komory vháněn pod vyšším tlakem, než je tlak atmosférický, například pomocí kompresoru nebo turbodmychadla. Dále jsou k dispozici různá řešení sestavy válců, kdy mohou být seřazeny v řadě, do tvaru V, boxer apod.

Vývoj vznětových motorů neustále probíhá a jejich efektivita se zvyšuje. Jedním z prvků, které umožňují zvýšení efektivity, jsou i pístní kroužky, které si blíže přiblížíme. [2], [4]



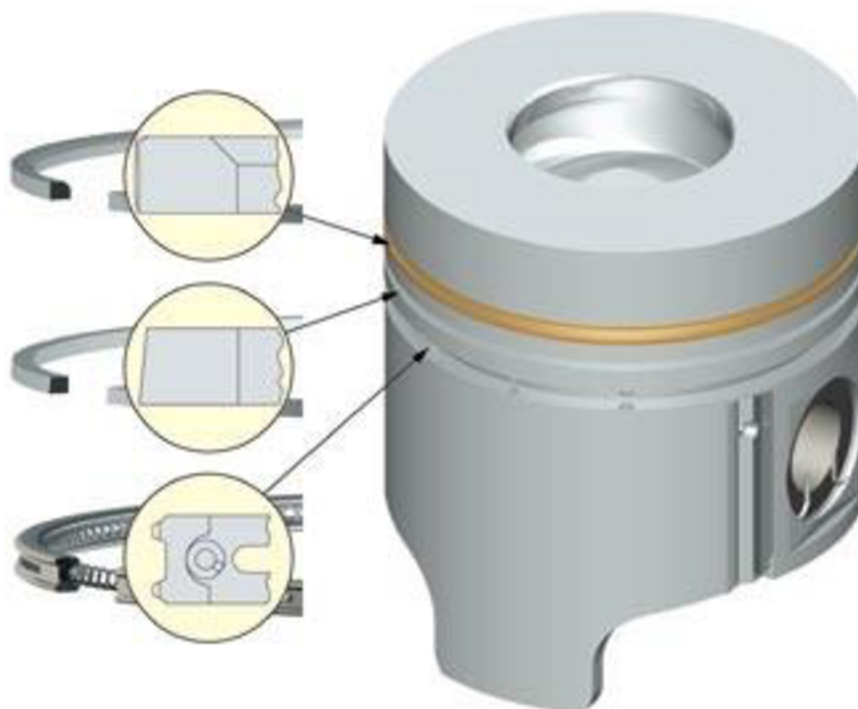
Obr. 3 Diagram pracovního cyklu vznětového motoru [4]



2 Pístní kroužky

S vývojem a zvyšováním efektivity pístových motorů s vnitřním spalováním se zvyšovaly i nároky na utěsnění pístu uvnitř válce. Dosahování vyšších teplot a tlaků znamenalo jediné, nutnost vymezení vůle mezi stěnou pístu a stěnou válce, která dosahovala svého maxima při rozběhu motoru za studena. Proto byly vytvořeny první pístní kroužky. Tyto kroužky byly nejčastěji složeny z několika částí a měli jediný úkol, zamezit vnikání plynů ze spalovací komory do prostoru klikové hřídele. Toto vylepšení zvýšilo efektivitu využití tlaku rozpínajících se plynů při hoření a tím i celkovou efektivitu motoru. V roce 1854 vytvořil Ramsbottom první pístní kroužek z jednoho kusu materiálu. Jeho vnější rozměr byl asi o 10% větší než vnitřní rozměr válce a byl na jedné straně rozdělen, při jeho namontování si radiální sílu potřebnou k utěsnění komory kroužek vyvodil sám díky své pružnosti, axiální síla a směr jejího působení pak závisela na směru pohybu pístu, tlaku ve spalovací komoře a dalších aspektech. Jednalo se tedy o podobný systém, jaký využíváme v dnešních motorech.

S dalším rozvojem motorů a zvyšováním jejich výkonů a otáček vznikl další problém ohledně mazání a jeho správného dávkování, proto byl do pístní skupiny zařazen další druh kroužku, kroužek stírací. Ten měl za úkol udržovat na vnitřních stěnách válce konstantní mazací film a přebytečný olej stírat zpět do prostoru klikové skříně. Zamezilo se tak zbytečnému plýtvání mazivem, a také ke snížení možných emisí, které by vlivem spalování nadbytečného maziva vznikaly. [1], [2], [4], [11]



Obr. 4 Píst vznětového motoru [12]



2.1 Funkce pístních kroužků

Hlavními funkcemi pístních kroužků jsou utěsnění vůle mezi pístem a stěnou válce, stabilizace pístu v prostoru válce, přenos tepla z pístu do stěn válce a zabránění pronikání přebytečného maziva do spalovacího prostoru.

Utěsnění prostoru mezi pístem a stěnou válce je velmi důležité. Píst je konstruován s vůlí, protože se počítá s jeho roztažením vlivem tepla při provozu. Tato vůle je logicky maximální při startu za studena, proto jsou těsnící pístní kroužky montovány nejčastěji ve dvojicích a zámkové pístní kroužky jsou orientovány tak, aby ve výsledku tvořily tzv. labyrintové uložení, které i při startu za studena poskytuje dostatečné těsnící schopnosti a zabraňuje plynům pronikat až do prostoru klikové skříně. Kvůli snadné instalaci jsou pístní kroužky na jedné straně otevřené, toto konstrukční provedení se nazývá zámek kroužku. U motorů kde je potřeba zabránění otáčení kroužku v drážce může zámek doléhat na čep.

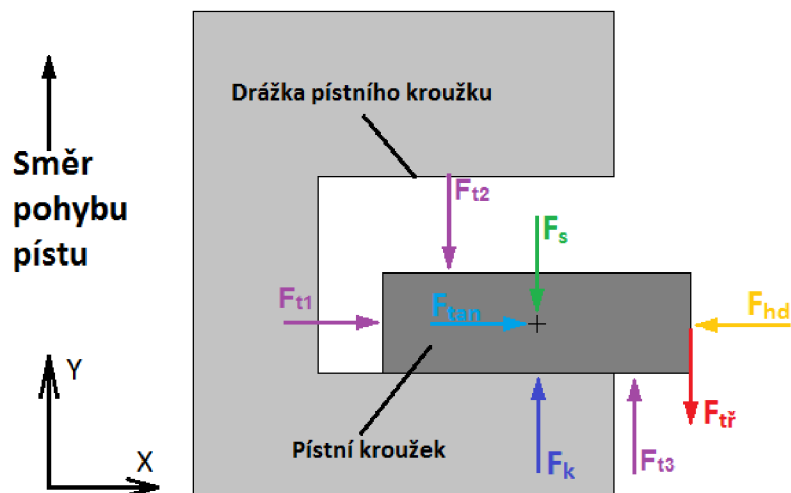
Dobrá tepelná vodivost je extrémně důležitá. U vznětových motorů s přímým vstřikováním tvoří prostor ve dnu pístu celý spalovací objem a je tedy velmi silně zahříván. I píst motorů komůrkových s dělenou spalovací komorou je silně tepelně namáhán, protože prostor ve dnu pístu zaujímá 40 až 60% z celkového spalovacího objemu, v závislosti na jeho konstrukci. Proto musí pístní kroužek dostatečně odvádět odpadní teplo ze dna pístu do stěny válce, a dále do chladicího systému motoru, aby tak zabránil jeho přehřívání.

V neposlední řadě pístní kroužky stabilizují píst v prostoru válce. Na pístní kroužek působí celá řada silových účinků, což může způsobovat jeho natačení, naklánění a otáčení. Po celou dobu provozu musí kroužek tvořit dostatečnou podporu pístu, zabraňovat jeho nežádoucím pohybům.

Všechny tyto vlastnosti jsou pro chod motoru velmi důležité a jakákoliv jejich disfunkce může vést k zvýšení hlučnosti motoru, spotřebě oleje, ke zvýšení vznikajících emisí, nebo ke klesání výkonu motoru apod. [1], [2], [11]

2.2 Silové působení na pístní kroužek

Na pístní kroužek, jako na komponentu pístní skupiny, působí a při provozu spolu reagují zcela odlišné druhy struktur: oleje, plyny, pružné materiály, ty produkují různé silové účinky, jako například tlaky plynů při jejich kompresi či expanzi, třecí síly při pohybu pístu a pístního kroužku nebo síla vyvolaná pružností samotného kroužku. Tyto síly se nesmí při návrhu a konstrukci kroužku zanedbat a musí se počítat s jejich působením, které může být při chodu motoru proměnlivé. [1], [2]



Obr. 5 Silové působení na pístní kroužek

Silové působení v ose Y:

- F_{t2} – Tlaková síla od plynů ve spalovací komoře
- F_s – Setrvačná síla
- F_{t3} – Tlaková síla od plynů v klikové skříni
- F_k – Kontaktní síla
- $F_{tř}$ – Třecí síla

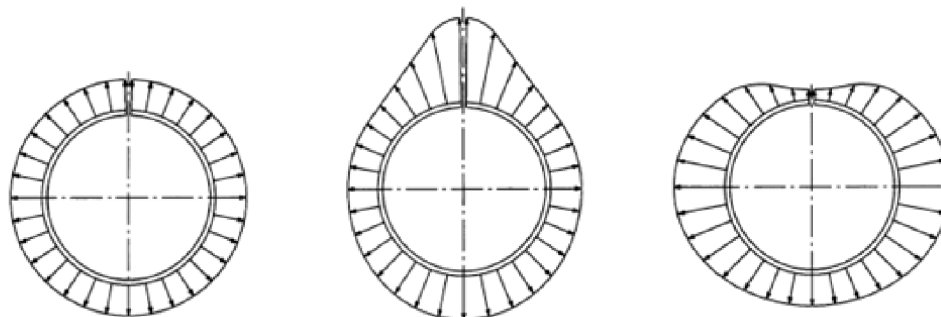
Silové působení v ose X:

- F_{t1} – Tlaková síla od plynů ve spalovací komoře
- F_{tan} – Tangenciální síla kroužku
- F_{hd} – Hydrodynamická síla

Působíště příslušných sil jsou pouze teoretická, reálné rozložení působíšť jednotlivých sil se mohou lišit. V případě různých tvarových modifikací kroužků nebo drážek se mohou objevit nebo zaniknout některé další síly. Tento obrázek slouží pouze pro obecnou představu působení hlavních sil na těsnící kroužek.

2.2.1 Síla vyvozená vlastní pružností materiálu

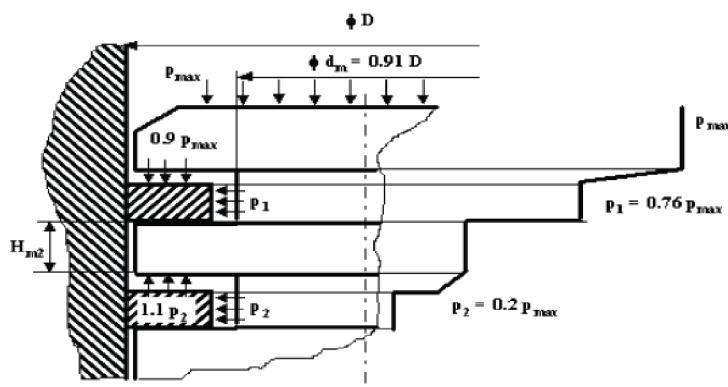
Je radiální síla dotyku kroužku se stěnou válce vyvolaná jeho stlačením a následnou snahou vrátit se do původního stavu, tedy vlastní pružností materiálu kroužku. Různé předepsané síly dotyku pro jednotlivé pístní kroužky jsou normalizovány a popsány normách ISO 6621 až ISO 6626. [1], [2], [4]



Obr. 6 Druhy radiálních sil kroužků [19]

2.2.2 Síla vyvozená tlakem plynů

Síla vyvolaná tlakem plynů ve válci. Na první pístní kroužek působí při běhu motoru největší tlaky, logicky tedy i tlakové síly budou největší. Tlak za druhým pístním kroužkem je již značně menší než tlak u předcházejícího kroužku. Tyto tlaky kolísají během celého pracovního cyklu. Tlak za třetím, stíracím, kroužkem zůstává během cyklu prakticky konstantní a je stejný jako tlak v klikové skříni.



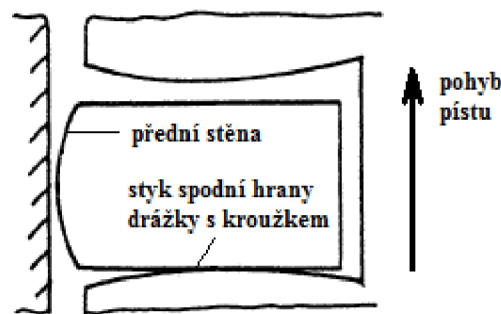
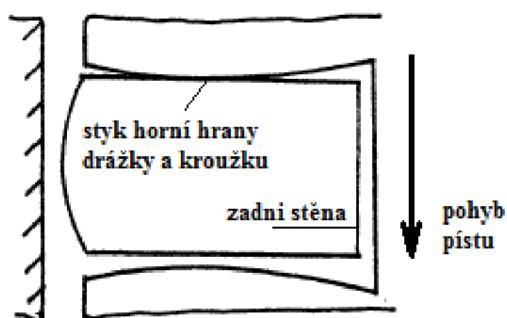
Obr. 7 Silové působení plynů na kroužek [4]

H_{m2} – výška můstku mezi prvním a druhým pístním kroužkem

P_{max} – maximální tlak vyvinutý na píst

P_1, P_2 – tlaky působící na jednotlivé pístní kroužky odvozené z P_{max}

Tlak plynů a tření vyvolané pohybem pístu tvoří hlavní silové složky, které způsobují axiální pohyb pístního kroužku v drážce. Při pohybu pístu z dolní úvratě do horní se tyto síly sčítají a pístní kroužek je „natlačen“ na spodní stranu pístní drážky. Při pohybu z horní úvratě do spodní působí tyto síly proti sobě, jelikož je třecí síla větší, bude pístní kroužek doléhat na horní stranu drážky. [1], [2], [4]



Obr. 8 Styk drážky a kroužku při pohybu pístu z horní úvratě [2]

Obr. 9 Styk drážky a kroužku při pohybu z dolní úvratě [2]

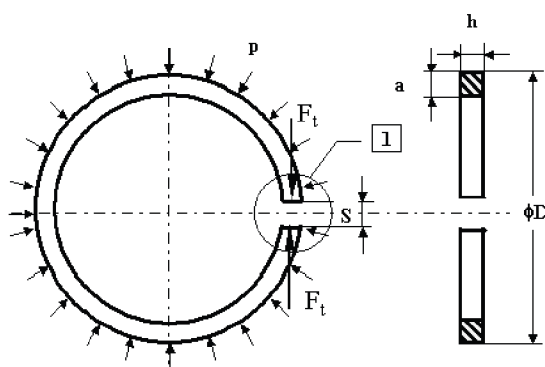
2.2.3 Síla vyvolaná třením

V místě styku pístního kroužku se stěnou válce dochází vzhledem k pohybu pístu vůči válci ke tření. V provozu je tento styk oddělen tenkou vrstvou maziva a můžeme ho tak považovat za kapalinné tření. Jeho velikost závisí zejména na viskozitě, objemové hmotnosti maziva a rychlosti pohybu pístu. Tloušťka mazacího filmu je velmi malá, pohybuje se od 1 do 10 mikrometrů a definuje nám vůli mezi pracovní stěnou pístního kroužku a stěnou válce.

Při provozu může docházet i k pohybům uvnitř drážky v radiálním směru a může v místě dotyku se stěnou drážky vyvozovat třecí sílu. Tento pohyb je ovšem výrazně menší než pohyby v jiných směrech a proto ji ve výsledku zanedbáváme. [1], [2]

2.3 Pístní kroužky – schéma

Pístní kroužek je zařazen mezi normalizované komponenty, proto jeho hlavní rozměry můžeme najít v normách, ovšem konstrukční provedení tvaru průřezu kroužku se může lišit dle výrobce.



Obr. 10 Schéma pístního kroužku [4]

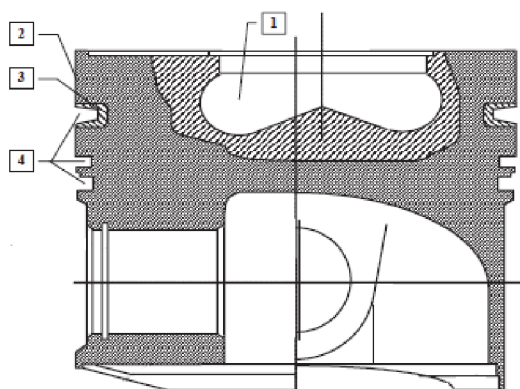
h – tloušťka kroužku
 a – šířka stěny kroužku
 D – nominální průměr kroužku
 s – vůle volného kroužku
 F_t – tangenciální síla
 p – tlak z předpětí kroužku

Zámek pístního kroužku (bod 1 na obr.) umožňuje snadnou montáž pístního kroužku do drážky a také kompenzuje jeho tepelnou dilataci. Při tepelném roztažení ovšem nesmí dojít k vymezení vůle zámku, jinak může dojít k poškození pístního kroužku. [1], [2], [4]



2.4 Drážka pístního kroužku

Důležitým prvkem pro správné fungování je také drážka pro pístní kroužek, která je umístěna na pístu. Písty soudobých vznětových motorů obsahují nejčastěji tři drážky pro pístní kroužky, pro dva těsnící a jeden stírací. Geometrie a zpracování drážky musí být kvalitní a poskytovat dostatečnou podporu, aby spolu s pístním kroužkem tvořili funkční sestavu. V dnešních vznětových motorech jsou drážky pístních kroužků velmi silně namáhány, a proto se může přistoupit ke zvýšení jejich odolnosti například indukčním kalením nebo pokovováním. V zásadě se takto upravuje první drážka shora pro těsnící kroužek, nebo drážky pro oba dva těsnící kroužky v případě vysoko výkonných vznětových motorů.



- 1 – spalovací prostor ve dně pístu
- 2 – můstek
- 3 – nosič pístního kroužku
- 4 – drážky pístních kroužků

Obr. 8 Schéma pístu vznětového motoru s přímým vstřikováním [4]

Můstek nad prvním pístním kroužkem je u vznětových motorů vyšší než u motorů zážehových, je to nutné kvůli požadavkům k dodržení určité teploty na prvním pístním kroužku při působení velkých teplot a tlaku při spalování paliva. Kvůli většímu tepelně mechanickému namáhání pístu vznětového motoru, oproti motoru zážehovému, se do drážky pro první těsnící pístní kroužek může montovat tzv. nosič pístního kroužku. Ten zabraňuje opotřebovávání drážky při pohybech pístního kroužku. V případě vysokovýkonných agregátů se může přistoupit k rozšíření nosiče i do dalších drážek. [1], [2], [4]



3 Typy pístních kroužků

V soudobých vznětových motorech narazíme nejčastěji na dva typy pístních kroužků, na kroužky těsnící a stírací. Počet těsnících a stíracích kroužků závisí na typu vznětového motoru, ovšem nejpoužívanější kombinací v dnešních automobilech je: dva těsnící kroužky, které zajišťují dostatečné utěsnění spalovací komory od prostor klikové hřídele, jeden kroužek stírací, zajišťující souměrný olejový film na stěně válce. Těsnící a stírací kroužky od sebe můžeme jasně rozeznat dle účelu použití, tím ale jejich rozdělení nekončí. Tyto typy mají různé tvarové modifikace, které jim dodávají různé funkční vlastnosti každé s jinou specifikací a vhodností použití. Trendem u stále se vyvíjejících vznětových motoreů je dosahování co možná nejvyšší efektivity a nejmenšího tření. Proto je snahou konstruktérů zmenšovat axiální tloušťku kroužku, díky menší axiální výšce se mohou zmenšovat i tangenciální síly při zachování funkčnosti kroužku. [1], [2], [11]

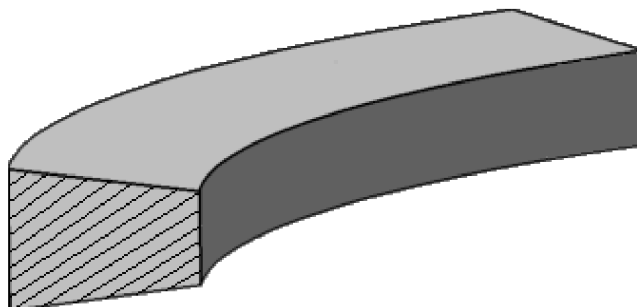
3.1 Těsnící pístní kroužky

Hlavním úkolem těsnících kroužků je utěsnění spalovací komory, zabránění unikání plynů do prostor klikového hřídele a tím co možná nejefektivněji využít potenciální tlakovou energii plynů a přeměnit ji na práci. Tuto funkci zajišťuje vlastní pružnost kroužku, která je vyvolána jeho stlačením. Obecně se vyrábí kroužek s přibližně o 10% větším průměrem, při jeho vsazení do pístní drážky a stlačením stěnami válce vznikne dostatečná radiální síla pro utěsnění komory. Kroužek, zejména první těsnící kroužek, je velmi namáhán jak tepelně, tak tlakově, proto i jeho tvar vybíráme s ohledem na toto zatížení. V automobilovém průmyslu se objevuje celá škála těsnících kroužků různých tvarů, které se liší od výrobce k výrobcu. Typická axiální tloušťka těsnících kroužků osobních automobilů dosahuje hodnot mezi 2 - 3,5 mm, u motorů nákladních automobilů jsou tyto hodnoty mezi 2,5 – 4 mm. [1], [2], [11]

Nejčastější používané konstrukční varianty těsnících kroužků:

3.1.1 Kroužky s lichoběžníkovým průřezem

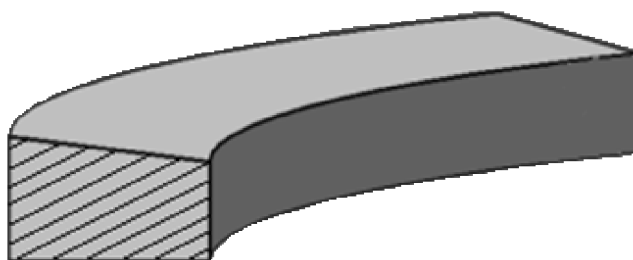
Jedná se o nejčastěji používaný tvar kroužku pro první drážku ve vznětových motorech. Tyto kroužky jsou nejvíce tepelně namáhány a mohou se zde hromadit zkarbonizované usazeniny z hoření, které brání axiálnímu pohybu kroužku a mohou tak zapříčinit zapečení kroužku do drážky a zhoršit jeho funkčnost. Vlivem tvaru kroužku a vhodným tvarem vložky drážky pro kroužek dochází za provozu ke zvětšování a zmenšování vůle mezi kroužkem a vložkou. To zabraňuje případnému hromadění usazenin a možnému zapečení do drážky. Zkosení hran se pohybuje mezi 6° až 15°, obecně platí, čím větší zkosení, tím menší je nebezpečí zapečení kroužku. Tyto kroužky se montují do velmi tepelně namáhaných dieselových motorů, kde je hrozba zapečení velká. [1], [2], [11]



Obr. 9 Lichoběžníkový kroužek

3.1.2 Kroužky s polovičním lichoběžníkovým průřezem

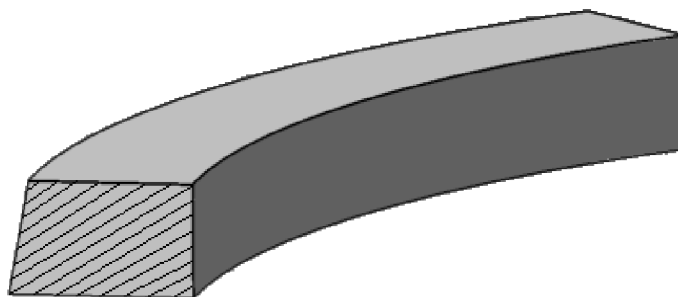
Tyto kroužky mají podobné vlastnosti jako výše zmíněné lichoběžníkové kroužky, ovšem mají zkosenou jen horní stranu kroužku. Vlivem kolísání velikosti vůle mezi kroužkem a drážkou dochází k zabránění zapečení kroužku do drážky. Tento kroužek se nejčastěji montuje do první drážky vznětových motorů, kde není riziko zapečení až tak velké. [1], [2], [11]



Obr. 10 Kroužek s polovičním lichoběžníkovým průřezem

3.1.3 Kroužky s úkosem

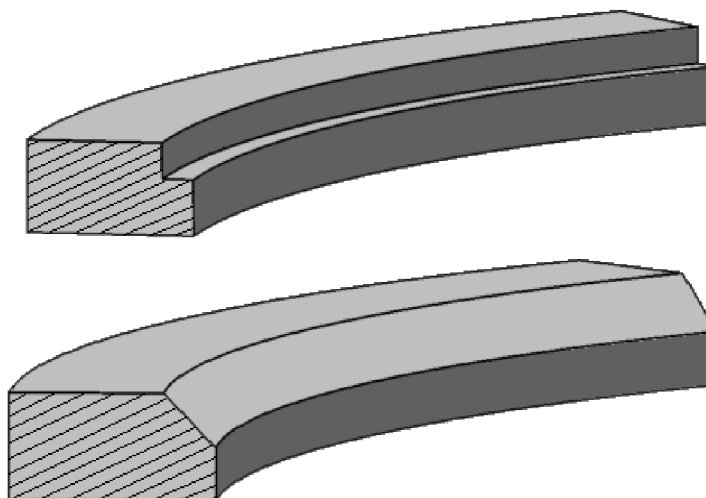
Tyto kroužky se nejčastěji používají jako varianta pro druhou drážku vznětových motorů. Zkosená je pracovní hrana, to umožňuje, aby se kroužek při práci motoru natočil. Natačení umožňuje při pohybu pístu z dolní úvratě do horní, aby se kroužek natočil do takové polohy, při které snadněji propouští olej pod kroužek. Naopak při pohybu pístu z horní úvratě do dolní se kroužek lineárně dotýká stěny válce pouze malou plochou, a proto se dokáže lépe přizpůsobit jeho tvaru, toto natočení dodává kroužku také lepší stírací vlastnosti. [1], [2], [11]



Obr. 11 Kroužek se zkosenou pracovní hranou

3.1.4 Kroužky se zkosením nebo vybráním na vnitřní horní hraně

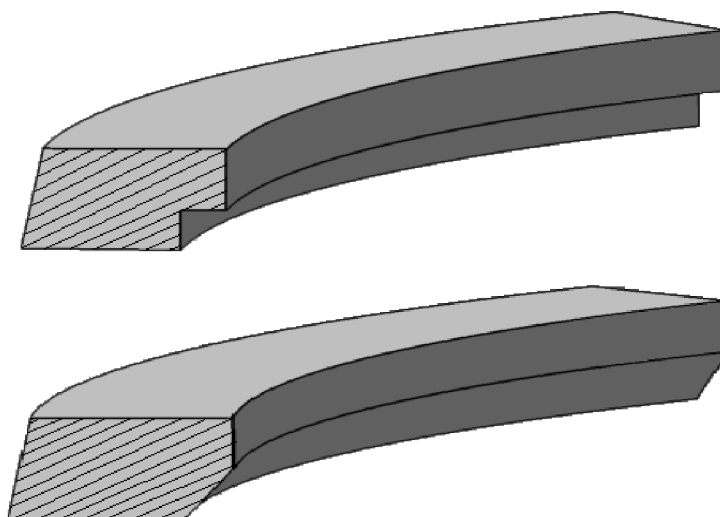
Tento kroužek disponuje podobnými vlastnostmi jako kroužek se zkosenou pracovní hranou. Díky vybrání, nebo zkosení, se může kroužek při běhu motoru v drážce natáčet a tím je v lineárním kontaktu se stěnou válce pouze jedna jeho hrana. Díky tomu má kroužek velmi dobré stírací vlastnosti a také se dobře přizpůsobuje tvaru stěny válce. Podobně jako kroužky se zkosenou pracovní hranou se i tento kroužek používá zejména v druhé drážce. [1], [2], [11]



Obr. 12 Kroužek se zkosením a vybráním na vnitřní horní hraně

3.1.5 Kroužky se zkosením nebo vybráním na vnitřní spodní hraně

Tyto kroužky se nejčastěji kombinují se zkosením pracovní hrany. Při namontování kroužku způsobuje jeho vybrání opačné natáčení než předchozí kroužek, proto musí jeho pracovní hrana disponovat dostatečným zkosením, aby zamezila styku horní vnější hrany se stěnou válce. Díky tomuto tzv. negativnímu zkroucení kroužku dochází k lineárnímu kontaktu spodní hrany kroužku se stěnou válce, ale také ke kontaktu dolní strany kroužku s hranou drážky, čímž zabraňuje pronikání oleje za kroužek. [1], [2], [11]



Obr. 13 Kroužek se zkosením a vybráním na vnitřní spodní hraně

3.2 Stírací pístní kroužky

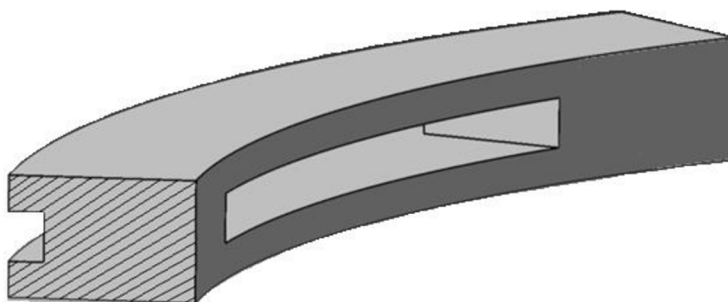
Hlavním úkolem stíracích pístních kroužků je regulace tloušťky maziva na stěnách válce. Kroužek propouští jen potřebné množství maziva a vytváří tak na povrchu stěny válce konstantní olejový film o tloušťce 1 až 10 mikrometrů, přebytečné mazivo je kroužkem odebráno a odvedeno zpět do klikové skříně, resp. do olejové vany. Odebírání přebytečného maziva je důležité, aby nedocházelo ke zbytečnému zvyšování emisí. Obvykle se v soudobých vznětových motorech s čtyřdobým cyklem používá spolu s těsníci kroužky jeden stírací kroužek na válec, ojediněle se může vyskytovat i větší počet. Jejich hlavní rozdíl oproti stíracím kroužkům je zejména v konstrukci, která může sestávat z jednoho, nebo více dílů. Nacházejí se v nejspodnější drážce a pro jejich správnou funkci je důležité dodržovat přesný postup montáže. [1], [2], [11]

3.2.1 Jednodílné stírací kroužky

Jak již název vypovídá, tento stírací kroužek sestává pouze z jedné části. Je to nejjednodušší stírací kroužek a tvarem je velmi podobný těsníci pístním kroužkům. Ovšem vzhledem k malému tangenciálnímu silám, a tím i malému přítlaku, jsou tyto kroužky méně přizpůsobivé tvaru válce a již nestačí plnit nároky dnešních vznětových motorů, proto se s nimi setkáme jen zřídka v některých nízko-otáčkových motorech. [1], [2], [11]

3.2.1.1 Stírací kroužek se štěrbinou

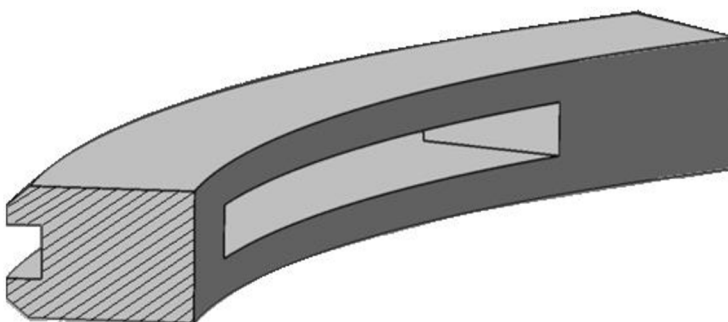
Jednoduchý stírací kroužek se dvěma plochami, tzv. fasetkami, rozdělenými drážkou. Čím menší jsou čelní plochy fasetek, tím větší tlak na stěnu může kroužek vyvinout. Štěrba v kroužku umožňuje odtok přebytečného oleje drážkou a kanálky zpět do olejové vany. [1], [2], [11]



Obr. 14 Kroužek se štěrbinou

3.2.1.2 Kroužek se zkosenými hranami

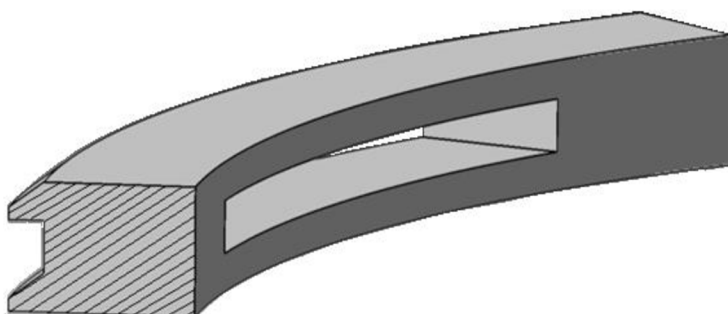
Pracuje na podobném principu jako stírací kroužek se štěrbinou, ovšem hrany fasetek jsou zkoseny. Plocha je tak zmenšena, a proto je tlak vyvinutý kroužkem na stěnu větší. [1], [2], [11]



Obr. 15 Kroužek se zkosenými hranami

3.2.1.3 Kroužek s dvojitým zkosením

Tlak vyvinutý tímto stíracím kroužkem je srovnatelný jako v předchozím případě, ovšem speciální zkosení fasetek dodává kroužku lepší stírací vlastnosti. [1], [11]



Obr. 16 Kroužek s dvojitým zkosením

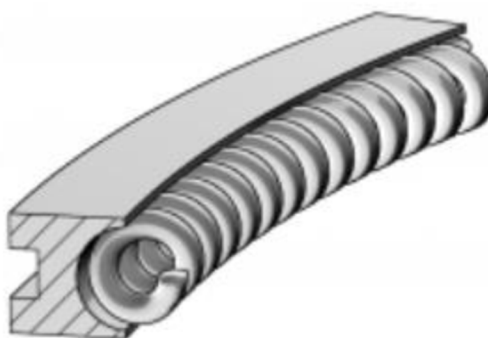


3.2.2 Vícedílné stírací kroužky

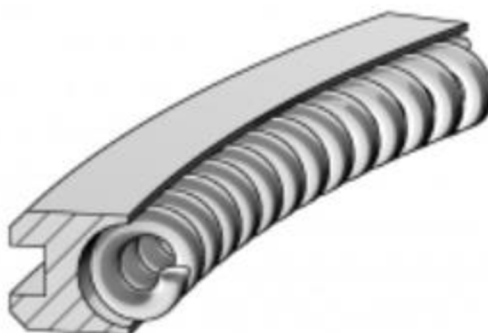
Na rozdíl od jednoduchých jednodílných stíracích kroužků obsahuje konstrukční provedení kroužku více částí. Se zvyšující se efektivitou vznětových motorů vzrůstaly i nároky kladené na stírací kroužky. Jednodílné již nestačili, proto se objevily stírací kroužky sestavené z více částí, kombinující vlastnosti jednotlivých prvků do kompaktního celku. V praxi se u vznětových motorů můžeme setkat výhradně s kroužky dvoudílnými. [1], [11]

Dvoudílné kroužky

Konstrukce kroužku sestává ze dvou hlavních částí: ze spirálové pružiny, která vyvozuje dostatečnou tangenciální sílu působící rovnoměrně po celém obvodu kroužku na stěnu válce, a z prstence s určitým profilem, na který pružina doléhá. Drážka pro tyto kroužky může mít polokruhový nebo tzv. V tvar, který má pozitivní vliv na redukci momentu setrvačnosti kroužku. Pro dosažení vyšší životnosti může být styčná plocha prstence a pružiny povrchově upravena např. povlakováním teflonem, což sníží tření mezi pružinou a prstencem. Stejně jako v předešlých případech, i profily prstenců u dvoudílných kroužků se objevují v mnoha modifikacích disponujícími různými vlastnostmi. Oproti třídílným kroužkům disponují delší životností, ovšem jejich pořizovací cena je vyšší. [1], [2], [11]



Obr. 17 Dvoudílný stírací kroužek se štěrbinou [11]



Obr. 18 Dvoudílný stírací kroužek se zkosením [11]



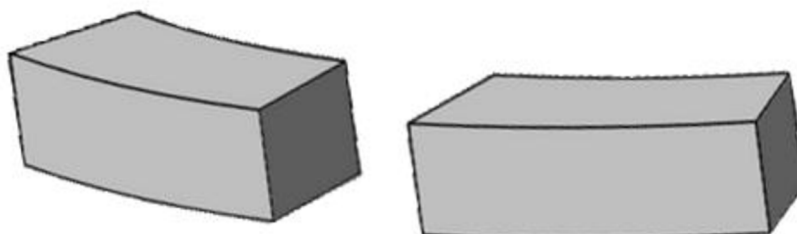
Obr. 19 Dvoudílný stírací kroužek s dvojným zkosením [11]

3.3 Zámek pístního kroužku

Aby bylo možné pístní kroužek usadit do drážky na pístu, musí být kroužek rozříznut. Místo rozříznutí se nazývá zámek pístního kroužku a nalezneme jej u obou kategorií pístních kroužků, tedy jak u těsnících, tak stíracích. Zámek také umožňuje rozpínání kroužku vlivem tepla produkovaného při běhu motoru, tzv. tepelnou dilataci, vůle zámku musí být taková, aby ani při dosažení maximální provozní teploty nedošlo k jejímu vymezení a tím k možnému zničení kroužku. Za běhu motoru se pístní kroužky otáčejí kolem své osy tam a zpět ve velmi malých vzdálenostech, proto je důležité, aby v případě konstrukčního řešení pístu s více kroužky neleželi jejich zámky v jedné řadě. To by mohlo způsobit zhoršení těsnících vlastností. V praxi se používá několik možných konstrukčních provedení zámků. [1], [11]

3.3.1 Kolmý zámek

Nejjednodušší provedení zámku, které nedisponuje žádnými přídatnými vlastnostmi. [1], [11]

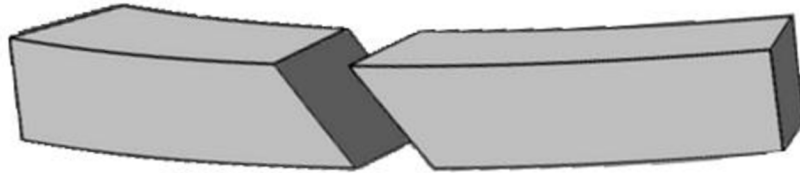


Obr. 20 Kolmý zámek

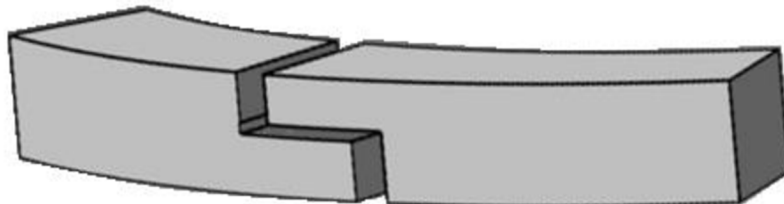


3.3.2 Šikmý a tvarový zámek

Jako předchozí ani toto konstrukční provedení nedisponuje žádnými přidavnými vlastnostmi, je to jen jeho tvarová modifikace. [1], [11]



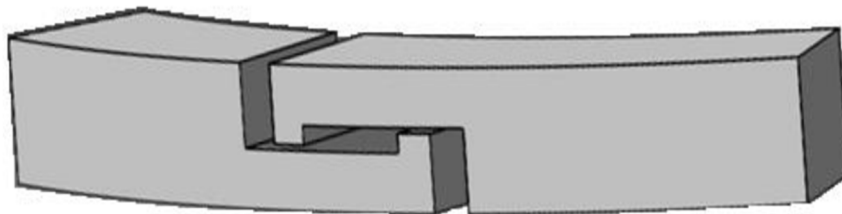
Obr. 21 Šikmý zámek



Obr. 22 Tvarový zámek

3.3.3 Hákový zámek

Tento zámek taktéž nedodává žádné funkční vylepšení pro kroužek, pouze usnadňuje jeho uchycení do drážky. [1], [11]

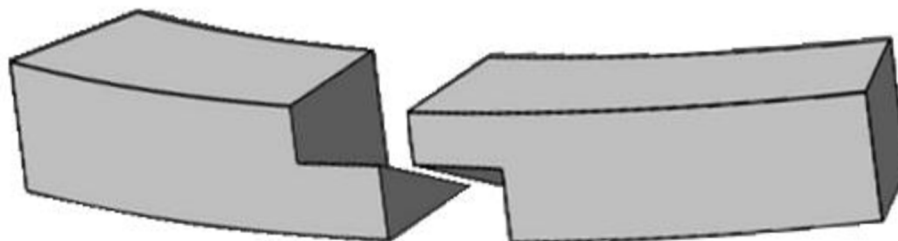


Obr. 23 Hákový zámek

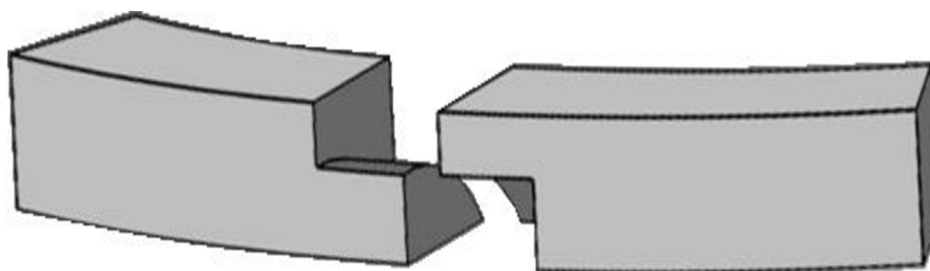


3.3.4 Krokový zámek

Na rozdíl od předešlých, tento zámek zlepšuje těsnící vlastnosti pístního kroužku. Nejčastější jsou jeho dvě tvarové modifikace, vypouklá a šikmá. [1], [11]



Obr. 24 Krokový šikmý



Obr. 25 Krokový zámek vypuklý



4 Materiály pístních kroužků

Pístní kroužky vznětových motorů jsou namáhány celou řadou zatížení: tepelným, tlakovým, silovým apod. Proto je při jejich konstrukci kladen velký nárok na použitý materiál, který musí těmto zatěžujícím vlivům odolat. Důležitou vlastností je tepelná stálost, tedy schopnost materiálu přestát i vysoké teploty beze změny vnitřní struktury, která by mohla znamenat také změnu mechanických vlastností. Důležitá je i vlastní pevnost materiálu, která by měla zůstat neměnná i při vysokém tepelném zatížení, hlavně v oblasti pružnosti. Zejména u vznětových motorů s přímým vstřikováním jsou písty extrémně tepelně namáhány, proto je u jejich kroužků vyžadována dobrá tepelná vodivost, aby docházelo k lepšímu odvodu tepla z pístu do stěn válce a dále do chladicího systému.

Další nezbytnou vlastností je korozivzdornost, materiál musí odolat vlivu působení vzduchu, paliva, maziva i výfukových plynů. Požadovány jsou také dobré třecí vlastnosti, zejména při startu motoru může docházet k nedostatečnému mazání a to může vést až k tzv. suchému tření, které musí kroužek přestát bez poškození. Nezbytná je také dostatečná tvrdost materiálu kroužku, aby nedocházelo k jeho rychlému opotřebení a vytloukání a ustál i rázové namáhání při chodu motoru. Měrná hmotnost je dalším důležitým aspektem pístního kroužku, snahou konstruktérů je dosažení co nejmenší hmotnosti kroužku a tím co možná nejvíce zredukovat působení setrvačných sil.

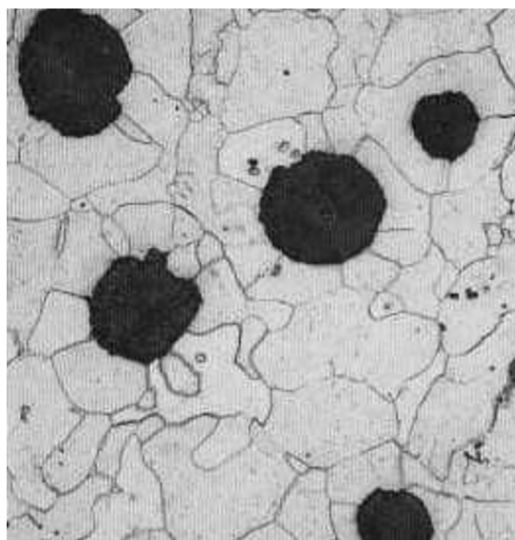
K dosažení požadovaných vlastností kroužku, resp. jeho materiálu, je nutno dělat kompromisy a kombinovat různá řešení. Žádný z materiálů nám nedokáže poskytnout všechny požadované vlastnosti, proto se nejčastěji materiály kroužků opatřují vhodnou povrchovou úpravou, neboť je důležité, aby základní materiál, substrát, disponoval dobrou přilnavostí. K dispozici je široká škála různých kombinací materiálů a povrchových úprav, každá se specifikacemi vhodnými k různým účelům. [1], [10], [11]

Nejčastěji používané materiály pístních kroužků:

4.1 Tvárná litina

Nejčastější volbou pro materiál prvních pístních kroužků vznětových motorů je tvárná litina neboli litina s kuličkovým grafitem. U litin je jedním z nejdůležitějších aspektů chemické složení, které má zásadní vliv na výslednou strukturu a mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálu. Litina je označení pro slitinu železa s uhlíkem, a to s obsahem uhlíku vyšším než 2,14%. V případě tvárných litin je obvyklý obsah uhlíku 3,65%. Dalšími prvky objevujícími se ve složení jsou křemík (2,40%), síra (0,01%), fosfor (0,02%), mangan (0,40%), další prvky mohou být dodány pro zlepšení některých mechanicko-fyzikálních nebo chemických vlastností.

Díky vyššímu obsahu uhlíku má oproti šedé litině lepší mechanické vlastnosti, zejména pružnost a pevnost v ohybu. Na druhou stranu hůře snáší rázy, má horší kluzné vlastnosti a horší schopnost útlumu, proto se materiál musí opatřit vhodnou povrchovou úpravou. [5], [8], [11]



Obr. 26 Feritická tvárná litina, zvětšení 400x [8]

4.2 Šedá litina

Stejně jako u tvárné litiny, i šedá litina je slitinou železa a uhlíku, zpravidla je obsah uhlíku do 3,5%, a dalších prvků. Uhlík se zde vyskytuje ve formě lamelárního grafitu, tzn. ve formě malých lupínků, jejichž délka je mnohem větší než tloušťka. Grafit ve struktuře pozitivně ovlivňuje mazací schopnosti materiálu, důležité hlavně při nedostatku maziva. Grafit má také schopnost na sebe vázat oleje a tak může sám sloužit jako zásobník maziva. Šedá litina dobře tlumí rázy a na rozdíl od tvárné litiny ji lze snadno obrábět. Lamelární tvar grafitu také dodává lepší tepelnou vodivost než má litina tvárná, zároveň však negativně ovlivňuje pevnostní charakteristiky litiny. Legovaná nebo tepelně upravená šedá litina má velmi dobrou tvrdost, která dodává kroužku dobrou otěruvzdornost, proto je tato litina nejčastěji volena pro materiál druhých těsnících kroužků. Nelegovaná šedá litina má sice horší tvrdost a pružnost, ale dobrou přiléhavost na stěnu válce a proto je volena i jako materiál pro výrobu vícedílných stíracích kroužků. Šedá litina je v dnešní době nejčastějším materiálem používaným při výrobě pístních kroužků. [5], [8], [11]

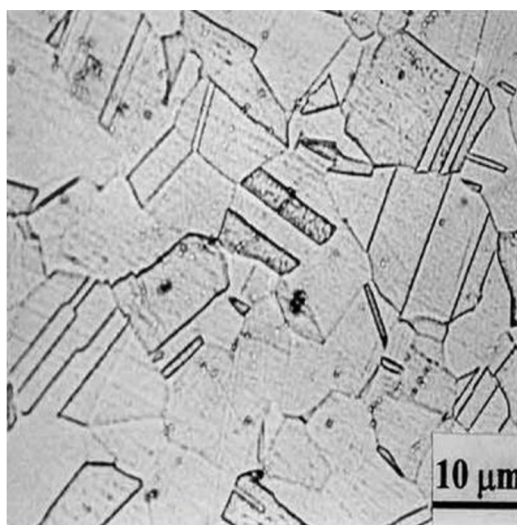


Obr. 27 Šedá litina, zvětšení 100 mikrometrů [9]



4.3 Ocel

Nejčastěji se používá ocel s vysokým obsahem chromu a křemíku. Chrom-křemíková ocel je legovaná ocel s obsahem chromu cca 13% a nízkým obsahem uhlíku cca 0,05%. Její základní struktura je tvořena martenzitem, ve kterém jsou uloženy karbidy. Křemík ve slitině zvyšuje pevnost a mez kluzu a zvyšuje jeho odolnost vůči oxidacím za vysokých teplot, nad koncentraci 1% ovšem snižuje plasticitu. Výhodou této oceli je její menší měrná hmotnost, což redukuje celkovou hmotnost pístní skupiny a setrvačné síly v ní. Disponuje také vysokou únavovou pevností, díky níž má dlouhou životnost. Nevýhodou oceli jsou ovšem horší třecí vlastnosti než u litin, proto je nutné kroužek dále opatřit povrchovou úpravou. Díky svým dobrým pevnostním charakteristikám, životnosti a hmotnosti se materiál hodí pro kroužky vysokovýkonných a rychloběžných dieselových motorů. [7], [11]



Obr. 28 Chromová ocel [20]



5 Povrchové úpravy pístních kroužků

Kvůli stále zvyšujícím se nárokům kladeným na pístní kroužky byl do jejich výroby zakomponován proces povrchových úprav k vylepšení jejich fyzikálně-mechanických vlastností. Díky vhodným povrchovým úpravám můžeme zvýšit otěruvzdornost, tvrdost, korozivzdornost a další důležité aspekty pístních kroužků. Upravený povrch musí správně spolupracovat jak se základním materiálem pístního kroužku, tzv. substrátem, tak s povrchem stěny spalovací komory. V zásadě je povrchově upravován buď celý povrch kroužku, nebo jen čelní plocha přicházející do styku se stěnou válce. Druhy povrchových úprav můžeme dělit dle jejich technologie, například chemicko-tepelné nanášení, elektro-chemické nanášení apod. Tyto a další metody povrchových úprav budou podrobněji představeny. [1], [6], [10], [11]



Obr. 29 Povrchové úpravy různé [17]

5.1 Chemické povlakování

Povlakování na základě chemických pochodů, základní materiál není tepelně namáhán a proto je vhodné i pro tepelně upravené materiály. Jedním z případů chemického povlakování je například fosfátování, v dnešní době, stejně jako u cínování, ale jeho používání ubývá na úkor nových technologií. [6]

5.1.1 Fosfátování

Patří mezi chemické povrchové úpravy, kdy se na povrchu v lázni ponořeném kroužku vytvoří tenká vrstva krystalků, fosforečnanů. Výsledná vrstva je nerozpustná ve vodě a organických rozpouštědlech, má dobrou korozivzdornost a porezitu, která je zejména výhodná při kombinaci s mazivem, kdy disponuje lepšími kluznými vlastnostmi než nefosfátovaný materiál. Krystalky fosfátů rovněž zlepšují záběh kroužku a zabraňují tvorbě mikro-svarů a zadírání. Fosfátovaný kroužek můžeme rozeznat pomocí jeho výrazně tmavší barvy oproti nefosfátovanému. Samotný proces probíhá za nízkých teplot, některé firmy již dokázali fosfátovat i při pokojové teplotě, což výrazně snižuje energetickou náročnost procesu. Díky nízké teplotě může být, stejně jako v případě cínování, aplikován na tepelně upravené povrchy bez poškození jejich struktury nebo mechanických vlastností. Vlastnosti jsou podobné jako u cínování, ovšem fosfátování se v dnešní době používá častěji. [6], [12]



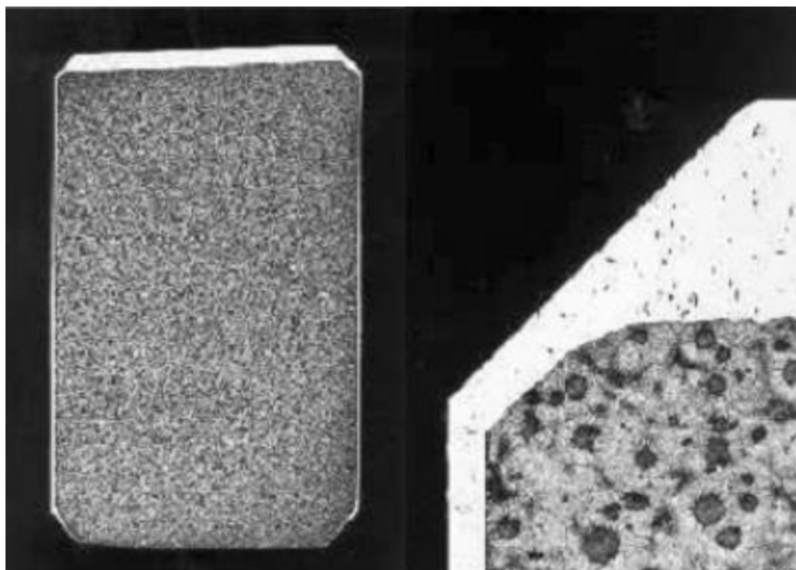
Obr. 30 Fosfátované pístní kroužky [14]

5.2 Elektro-chemické povlakování

Mezi nejrozšířenější elektro-chemické způsoby povlakování patří galvanické pokovování, kdy se na základní materiál ponořený v elektrolytické lázni nanáší pomocí elektrochemických pochodů tenká vrstva kovu. Nejčastěji se jako materiál povlaku užívá chrom (Cr), méně často pak nikl (Ni) a cín (Sn). Galvanické cínování je dnes méně používaný proces povlakování pro zlepšení korozivzdornosti a záběhu kroužku. Samotný proces povlakování neprobíhá za vysokých teplot a proto se může kombinovat i s tepelně upraveným materiálem. [3], [6]

5.2.1 Galvanické chromování

Jedná se o galvanické pokovování, kdy je na povrch materiálu nanесena tvrdá vrstva chromu, proto se proces nazývá také jako tvrdé chromování. Vzniklá vrstva se musí ještě dále povrchově upravovat broušením. Tento způsob povrchové úpravy je mezi pístními kroužky nejrozšířenější. Kvůli horší tepelné stálosti se používá zejména jako varianta pro pístní kroužky druhých drážek vznětových motorů. Vrstva vyniká otěruvzdorností, dobrou korozivzdorností a vysokou tvrdostí, která dosahuje hodnot mezi 800 – 1100 HV. Má horší vlastnosti při záběhu, ty lze zredukovat další úpravou, například lapováním upraveného povrchu nebo jeho naleptáním a tím vytvoření porézního povrchu, tato vrstva má lepší nasákavost a spolu s mazivem zlepšuje mazačí schopnosti kroužku. Galvanické chromování probíhá za relativně nízkých teplot, proto nedochází k narušení struktury základního materiálu a tak vydrží i vysoké mechanické zatížení. [3], [6], [18]



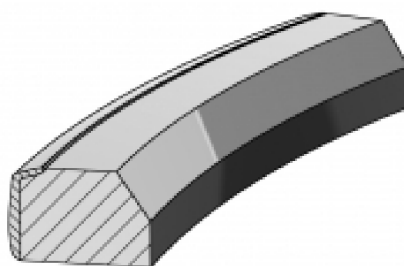
Obr. 31 Průřez kroužkem s chromovým povlakem [11]



Obr. 32 Povrch chromového povlaku [13]

5.2.2 CKS/GDC povlak

Trendem, zejména u nových vznětových motorů, je kompozitní povlak speciálně vytvořený hlavně pro extrémně namáhané kroužky v prvních drážkách pístů. Tento povlak na bázi chromu (Cr) je patentem německé firmy specializující se na výrobu pístních kroužků Goetze. Jedná se o elektro-chemicky nanášenou vrstvu nitridu chromu (CrN). V krystalické mřížce chromu se vyskytují mikrotrhliny, které jsou vyplněny keramickými částicemi oxidu hliníku. V případě obdobné metody GDC jsou mikrotrhliny vyplněny mikro-diamanty. Povlak vyniká výbornou otěruvzdorností, vysokou stálostí za tepla a tvrdostí, tvrdost se pohybuje mezi 900 – 1200 HV. Povlak se nanáší zejména jen na čelní pracovní plochu kroužku. [6], [15]



Obr. 33 Kroužek s CKS povlakem na čelní straně [11]

5.3 Chemicko-tepelné povlakování

Jedná se o technologii povrchových úprav využívající chemických reakcí za zvýšené teploty, zejména sycení povrchu základního materiálu atomy jiného prvku. Tím vzniká povrchová vrstva s jiným chemickým složením a tím i s jinými mechanickými vlastnostmi. Do této skupiny patří například nitridace, karbonitridace nebo sulfinitridace. Nejvyužívanější metodou pro úpravu povrchů pístních kroužků je nitridace, kterou si dále přiblížíme. [1], [3], [6]

5.3.1 Nitridace

Jedná se o proces sycení povrchu základního materiálu, oceli, dusíkem za zvýšené teploty, cca 480 °C. Vzniká nitridační vrstva tvořená dvěma složkami, na povrchu velmi tvrdá vrstva intermetalické sloučeniny železa a dusíku, která je tlustá několik mikrometrů, a z další difuzní vrstvy, její tloušťka záleží na délce nitridace. Nitridace může být provedena několika technologiemi, například v solné lázni, v plynné prostředí nebo plazmovou metodou. Poslední zmíněná metoda je v současnosti nejpoužívanější pro povrchové úpravy pístních kroužků. Plazmová nitridace probíhá za sníženého tlaku s obsahem plynů, nejčastěji vodíku a dusíku. Po zavedení stejnosměrného napětí vzniká elektrické pole, ve kterém dochází k pohybu atomů plynů, jejich štěpení a ionizaci. Vlivem elektrického pole jsou následně ionty urychleny na základní materiál se záporným nábojem, který je nárazy zahříván a dusík uvolněný z plynů difunduje do povrchu materiálu. Výsledná nitridační vrstva vyniká vysokou tvrdostí, otěruvzdorností, odolností vůči korozi. [1], [3], [6]

5.4 Povlaky vytvořené ve vakuu

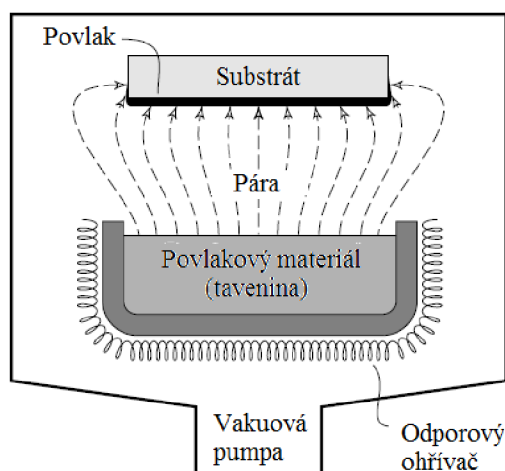
Jedná se o nanášení povlaku kovu ve vakuu, kdy je materiál určený pro povlak přeměněn na páru, ta je následně usměrněna a zkondenzována na očištěném povrchu materiálu, který chceme povlakovat. Chceme-li zajistit dobré přilnutí povlaku k základnímu materiálu, musí být jeho povrch dokonale čistý, odstranění nežádoucího znečištění z povrchu materiálu může být dosaženo například bombardováním ionty argonu, všechny nečistoty se z povrchu odpráší a zůstane jen čistá plocha beze změn mikrostruktury materiálu. Díky absenci vzduchu a jiných nežádoucích plynů nedochází ke kontaminaci ani k oxidaci materiálů při procesu. V zásadě využíváme dvě techniky,



PVD a CVD povlakování. Nanášení PVD technologií je realizováno za nižších teplot a je častější volbou pro povlakování pístních kroužků než technika CVD. [1], [3], [6]

5.4.1 PVD povlakování

Zkratka z anglického Physical vapour deposition, patří do kategorie tvrdého povlakování, kdy je na povrch pístního kroužku nanášena tenká vrstva vhodného materiálu, nejčastěji nitrid chromu (CrN), nitrid titanu (TiN) nebo tzv. DLC povlaku, z anglického Diamond Like Carbon, tzn. diamantu podobný uhlíkový povlak, disponující vysokou tvrdostí a nízkým koeficientem tření. Požadovaný materiál povlaku je nataven elektrickým obloukem, nebo odprášen bombardováním atomy, vzniklá pára kovu je zionizována a vlivem záporného předpětí na kroužku je usměrněna a nanesena na jeho povrch. Nanášení probíhá na maximálně čistý základní materiál umístěn ve vakuové komoře. Výsledkem je hladký povrch s vysokou tvrdostí, stálostí za vysokých teplot, nízkým třením a dobrou korozivzdorností. Díky relativně nízkým teplotám dosahovaných při povlakování se v materiálu vyskytuje jen minimální zbytkové pnutí. Tvrdost povlakované vrstvy se pohybuje mezi 800 – 1200 HV, maximální tloušťka se pohybuje okolo 50 mikrometrů. PVD povlakování umožňuje i tvorbu více vrstevých povlaků a tím tvořit kombinaci různých povlaků. Tato forma povrchové úpravy kroužků je ovšem finančně náročnější a používá se zejména pro zakázkovou výrobu a speciální, například závodní, dieselové motory. [1], [6], [16]



Obr. 34 Princip PVD povlakování [6]

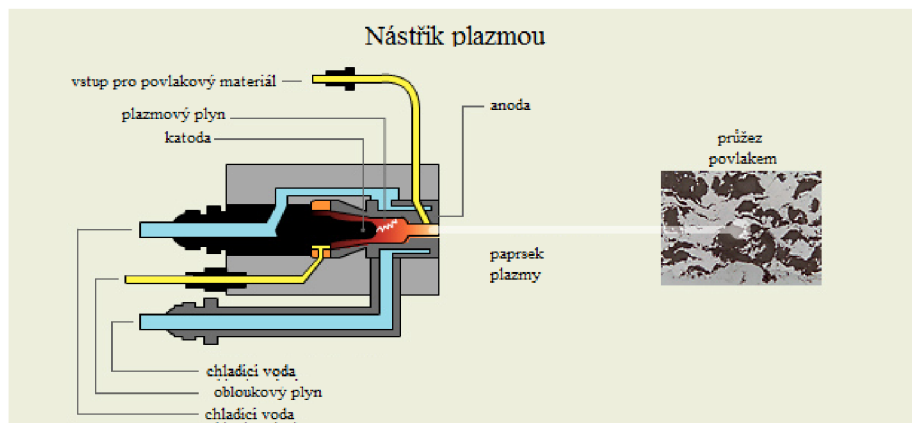
5.5 Tepelné nástřiky

Pracují na principu roztavení materiálu zdrojem tepla a jeho urychlení na základní materiál. Roztavený materiál dopadá na povrch vzorku, kde tuhne a vytváří tak mechanickou vazbu mezi povlakem a základním materiálem. Z tohoto důvodu jsou možnosti povlakování tepelným nástřikem širší než například u galvanického pokovování a je s ním možné nanášet i nekovové materiály. Zdrojem tepla může být plamen, el. oblouk a podobně. Nejčastěji se pro pístní kroužky volí nástřik plazmou, jehož povlak má ve výsledku lepší vlastnosti než například povlak nástříknutý plamenem. [6]



5.5.1 Nástřik plazmou

Volí se pro silně tepelně namáhané kroužky se specifickými požadavky. Plazmový plyn je silně zahřán elektrickým obloukem vzniklým mezi dvěma elektrodami, je přeměněn na plazmu a tím zvětší svůj objem, je urychlen a vypuštěn tryskou ven. Proud plazmy nataví povlakový materiál, který je dodáván například ve formě prášku a je nastříknut na základní materiál ve formě kapiček a materiál povlaku na povrch přilne. Používají se různé materiály pro povlakování: kompozitní, keramické nebo nejčastěji molybden. Molybdenový povlak má ještě lepší mechanické vlastnosti než chrom a velmi vysokou stálost za vysokých teplot, ovšem jeho vytvoření je ekonomicky náročnější. [6], [19]



Obr. 35 Schéma nástřiku plazmou [19]



Závěr

Automobilový průmysl je jedním z nejprogresivnějších odvětví strojírenství a konkrétně agregáty automobilů jsou toho důkazem. Vznětové motory od svého vzniku v 90. letech 19. století prodělaly mnoho úprav a dostaly mnoho vylepšení, jejich efektivita narůstala a zvyšoval se jejich výkon. Postupem času začal být kladen větší důraz na ekologičnost provozu vznětových motorů, jejich spotřebu paliva a emise škodlivých plynů. Jednou ze součástí, která umožnila tento rozvoj, je pístní kroužek. Zařazení kroužku do pístní skupiny umožnilo efektivnější využití tlaků ve válci motoru, lepší kontrolu a dávkování maziva a tím i snížení emisí. V průběhu dalšího vývoje proběhlo rozdělení kroužků dle funkce na těsnící a stírací, a dále se ve svých skupinách dělili dle tvaru profilů, které se vyznačovali rozdílnými schopnostmi, a tím i vhodnostmi použití. Pístní kroužky mimo jiné pracují za extrémních podmínek, v prostředí vysokých teplot, tlaků, korozivních vlivů, reverzních pohybů. Proto i materiály pístních kroužků prošly významným vývojem. Musí disponovat dobrou tepelnou vodivostí, aby odváděly teplo z extrémně tepelně namáhaného dna pístu do stěn válce a dál do chladicího systému, dostatečnou stálostí za tepla, aby ani při vysokých teplotách nedocházelo ke změnám struktury materiálu, což by mohlo vést ke změnám mechanických vlastností. Se stále zvyšujícím se výkonem vznětových motorů, jejich kompresních poměrů a tlaků již žádný materiál nedokázal dostatečně plnit všechny požadavky na ně kladené a do procesu výroby pístních kroužků byl přidán další proces, tzv. povrchová úprava. Kombinací základního materiálu a vhodné povrchové úpravy mohlo být dosahováno lepších mechanických vlastností kroužku.

Vývoj pístních kroužků vznětových motorů není ještě zdaleka u svého konce. Na celkovém tření ve vznětovém motoru mají pístní kroužky až 50% podíl, proto je trendem dnešních výrobců zmenšování axiální výšky pístních kroužků. Menší axiální rozměry kroužku nepotřebují tak velké tangenciální síly a z toho logicky plyne i menší tření mezi kroužkem a stěnou válce. Experimentuje se také i s novými materiály a kompozitními povlaky, které zredukuje hmotnost kroužku a zvýší jejich životnost. Životnost kroužku je jeho velmi důležitým aspektem. Stále častěji tvoří vložky válců dnešních vznětových agregátů spolu s blokem motoru jeden nerozebíratelný celek a proto většina výrobců, při zjištění například velké spotřeby oleje, ztráty tlaků ve válcích apod., volí výměnu rovnou celého bloku na místo časově náročnější výměny pístních kroužků. Můžeme jen hádat, kam až vývoj pístních kroužků a celé pístní skupiny bude pokračovat, nicméně prostor pro vylepšování jeho parametrů tu stále je.



Použité informační zdroje

- [1] ANDERSSON, Peter, Jaana TAMMINEN a Carl-Erik SANDSTRÖM. Piston ring tribology: A literature survey. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 2002. ISBN 951-38-6107-4.
- [2] HEYWOOD, John B. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill, 1988, 930 p. ISBN 0-07-028637-X.
- [3] PYE, David. 2003. Practical nitriding and ferritic nitrocarburizing. Materials Park, Ohio: ASM International, xii, 256 p. ISBN 08-717-0791-8.
- [4] RAUSCHER, J., Spalovací motory, Studijní opory VUT v Brně, 2005.
- [5] ROUČKA, Jaromír. 1998. Metalurgie litin. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 166 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1263-1.
- [6] STACHOWIAK, G. 2005. Engineering tribology. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann, xxiv, 801 s. ISBN 07-506-7836-4.
- [7] ŠENBERGER, Jaroslav. 2003. Metalurgie oceli na odlitky. 1. vyd. Brno: CERM, 148 s. ISBN 80-214-2509-1.
- [8] OTÁHAL, Vlastislav. Tvárná litina: Litina s kuličkovým grafitem [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://otahalconsult.cz/wp-content/pdf/TVL-II_vytah.pdf
- [9] Esterer Giesserei: Šedá litina [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.esterer-giesserei.de/cz/sluzby/materialy/seda-litina-en-gjl/>
- [10] Federal mogul: Piston ring coating [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.federalmogul.com/en-US/Media/Documents/MTZ_CarboGlide_ENG_Apr12.pdf
- [11] FEDERAL-MOGUL BURSCHEID GMBH. Piston Ring Handbook [online]. 2008[cit.2013-10-21].Dostupné z: <http://korihandbook.federalmogul.com/en/index.htm>
- [12] Goetze: Pistní kroužky [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.cesomot.cz/doc_cz/GOETZE-pistni-krouzky.pdf
- [13] Hard chrome plating: Surface treatments [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/hvof-sprayed-wc-co-cr-as-a-generic-coating-type-for-replacement-of-hard-chrome-plating-march-2002/>
- [14] Phosphating: Surface treatments [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <https://www.highpowermedia.com/articles/2016/phosphating/>
- [15] Piston ring coatings: CKS coating [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.federalmogul.com/en-us/eit/daros/pages/productdetail.aspx?productid=6194#.VUtUbKkddCO>



- [16] Piston ring coatings: PVD coating [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.federalmogul.com/en-us/eit/goetze%20piston%20rings/pages/productdetail.aspx?productid=6157#.VUti>
- [17] Piston rings raw material: Surface treatment [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-detail/engine-mitsubishi-pajero-4m40-piston-ring_60098132247.html
- [18] Surface treatment: galvanic processes [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.sti-surface.com/en/services/surface-treatment/galvanic-processes/hard-chrome>
- [19] TSTcoating: Plasma spray [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.tstcoatings.com/plasma_spray.html
- [20] Upscavenger: Corrosion [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.upscavenger.com/wiki/corrosion/#page=wiki>



Seznam použitých zkratek a symbolů

CVD		Chemical Vapour Disposition, chemické nanášení povlaků
DLC		Diamond Like Carbon, diamantu podobný povlak vytvořený metodou PVD
GDC		Goetze Diamond Coating, kompozitní povlak s porušenou chromovou maticí vyplněnou mikro-diamanty
HV		Jednotka tvrdosti podle Vickerse
KSC		Chrom Ceramic Coating, kompozitní povlak s porušenou chromovou maticí vyplněnou oxidy hliníku
PVD		Physical Vapour Disposition, fyzikální nanášení povlaků
a	[mm]	Radiální šířka
Cr		Chrom
CrN		Nitrid chromu
D	[mm]	Nominální průměr kroužku
F_t	[N]	Tangenciální síla
h	[mm]	Axiální šířka kroužku
Ni		Nikl
p	[Pa]	Tlak z předpětí kroužku
s	[mm]	Mezera mezi konci nesevřeného zámku kroužku
Sn		Cín
TiN		Nitrid titanu